

P.- 32.013

U.S. 311088



**327082**

**327082**

MEMORIA DESCRIPTIVA

que se presenta para unir a la solicitud  
de

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

formulada el 24 de Mayo de 1.966, con el número 327.082

en

E S P A Ñ A

por VEINTE años

a nombre de GULF RESEARCH & DEVELOPMENT COMPANY, entidad norteamericana, establecida en Gulf Building, 7th Avenue and Grant Street, Pittsburgh, Pensilvania, Estados Unidos de América, por:

"UN METODO DE TALADRAR CON AYUDA DE CHORROS HIDRAULICOS EL AGUJERO DE SONDEO DE UN POZO"

=====

Este invento se refiere a la técnica de perforar agujeros de sondeo profundos en la tierra y en particular concierne a un procedimiento de perforación y a una broca, barrena o trepano en que se emplean chorros hidráulicos para efectuar sustancialmente la totalidad de la acción de corte de roca.

5



Los dispositivos usuales para perforar agujeros de sondeo profundos trabajan haciendo contacto físico las superficies de corte de una barrena metálica con la formación de roca en el fondo del agujero para cortar mecánicamente la roca. Las barrenas bien conocidas tales como la barrena en cola de pescado, la barrena de arrastre, la barrena tubular sacatestigos, la barrena de rodillos, la barrena de cono, la barrena de discos, etc., funcionan todas para hacer el agujero desmenuzando mecánicamente la roca en el fondo del agujero, de donde se retiran los trozos cortados a la superficie de la tierra por medio de un medio fluido en circulación, tal como aire, espuma, o barro o lodo de perforación. Al desmenuzar mecánicamente la roca es inevitable que se produzca también, en grado sustancial, desgaste y rotura de los elementos de corte de tal barrena, de modo que finalmente la barrena se desgasta y llega a no poder hacer agujero. El vástago de la barrena debe entonces ser retirado desde el agujero, sustituirse la barrena, y volverse a insertar el vástago de barrena con la nueva barrena en el agujero de sondeo. En la perforación de formaciones duras en un agujero profundo, el tiempo que se invierte en sustituir barrenas usuales puede exceder del tiempo de perforación real en el fondo, y ello da por resultado una pérdida de rendimiento y aumenta muy sustancialmente los gastos de la operación de perforación.

Antes de ahora se han incluido ya chorros hidráulicos con las barrenas usuales, pero esos chorros han tenido como finalidad conservar los filos de corte de la barrena, o bien la superficie de la roca que se está cor-

327082



tando, libre de barro y de recortes producidos por la barrera, para aumentar con ello el rendimiento de los cortadores mecánicos de la barrera. No obstante, tales chorros antiguos, como los que se han empleado con barrenas para roca usuales, no producen acción eficaz de corte cuando se hacen funcionar bajo las presiones normalmente empleadas para circulación de fluido en operaciones mecánicas usuales de perforación.

Se ha comprobado, de acuerdo con nuestro invento, que cuando se hacen funcionar chorros hidráulicos a muy alta presión, de modo que el chorro que emerge alcanza velocidades extremadamente altas, el chorro de fluido es muy eficaz para hacer agujero incluso en roca dura. Suprimiendo sustancialmente la totalidad de cortadores mecánicos de la barrera, se ha obtenido una barrera que está sustancialmente exenta de desgaste o fallos mecánicos. En consecuencia, cuando se usa tal barrera en el agujero, seguirá siendo eficaz para hacer agujero durante un período mucho más largo de tiempo que una barrera que incluya elementos de corte mecánicos. Debido también al hecho de que el chorro disgrega la roca en fragmentos muy pequeños, los recortes son más fácilmente retirados por el fluido en circulación que lo son los recortes más grandes hechos por barrenas mecánicas usuales. Además, debido a la simplicidad mecánica de tal barrera totalmente de chorros, tales barrenas son muy robustas y son además relativamente baratas, traducándose por tanto en mayores economías en los gastos de perforación. Además, cuando se hacen funcionar tales barrenas de acuerdo con el procedimiento de este invento, se ha comprobado que hacen agujero a una velo



cidad mucho mayor que las barrenas mecánicas usuales.

Otro inconveniente de las barrenas mecánicas usuales que es superado por este invento, es que una barrena mecánica precisa que sea aplicado un peso sustancial a la barrena a fin de hacerla cortar la roca que está siendo perforada. Es bien sabido que un elevado peso de barrena da por resultado una perforación más rápida con una barrena mecánica, pero es asimismo sabido que un elevado peso de barrena produce mayor desgaste en los dientes de la barrena y en los cojinetes del cono, y da además por resultado una mayor desviación con respecto a un agujero recto. Mediante el uso del presente invento se disminuye el peso sobre la barrena, muy sustancialmente, con relación al usado en la perforación mecánica, mejorándose la rectitud del agujero.

Cuando se usan barrenas mecánicas usuales, se precisa que el vástago de barrena efectúe tres funciones, a saber (1) servir como conducto para el fluido de perforación, (2) servir para aplicar peso a la barrena, y (3) servir para aplicar par de torsión para hacer girar la barrena. Las dos últimas de las funciones citadas son requisitos rigurosos que imponen el uso de tubería pesada hecha de costoso acero de alta resistencia. Mediante el uso del presente invento se eliminan sustancialmente los requisitos de aplicar peso y par de torsión a la barrena, por lo que resulta posible usar tubería de perforación de menor peso y barata. En el presente invento, la única función importante de la tubería de barrena es servir como conducto para el fluido de perforación bajo alta presión, lo cual es fácil de cumplir en ausencia sustancial

327082



de otros esfuerzos mecánicos.

5 En consecuencia, este invento proporciona un procedimiento, un aparato, una barrena y fluido de perforación para perforación de agujeros de sondeo, que son su mamente eficaces para el corte de roca dura sin el uso de cortadores mecánicos.

10 Este invento proporciona además un procedimiento y una barrena de perforación capaces de hacer agujeros rápidamente y en los cuales se emplean chorros hidráulicos de alta velocidad para desintegrar la roca a ser perforada.

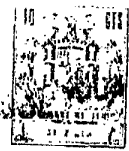
Además, este invento proporciona una barrena totalmente de chorros que es sumamente eficaz para hacer agujero.

15 Además, este invento proporciona un procedimiento de perforación de agujeros de sondeo que permite perforar sustancialmente sin peso ni par de torsión sobre el vástago de la barrena, permitiendo con ello el uso de tubería de barrena de poco peso.

20 Por otra parte, este invento proporciona una barrena totalmente de chorros con parámetros de diseño que dan por resultado un rendimiento óptimo para hacer agujeros.

25 Estos y otros logros útiles se alcanzan mediante el invento que se describe en esta Memoria Descriptiva, con referencia a los dibujos que se acompañan que forman parte de la misma, y en los cuales:

30 La Fig. 1 es una ilustración esquemática de un dispositivo de ensayo que se emplea para ensayar barrenas de chorro;



La Fig. 2 es un corte transversal de una cámara de presión empleada para ensayar toberas bajo contra-presión;

5 La Fig. 3 es un corte transversal de una tobera individual empleada en este invento;

La Fig. 4 es una vista desde un extremo de la tobera empleada en este invento;

10 La Fig. 5 es un gráfico en que se ilustra la relación entre la velocidad de retirada de roca y la velocidad del chorro;

La Fig. 6 es un gráfico en que se ilustra la relación entre la velocidad de penetración de una barrena de chorro de este invento y la velocidad de rotación de la barrena;

15 La Fig. 7 es un gráfico compuesto en que se muestra la relación entre la velocidad de retirada de roca y el alejamiento de la tobera, y además la relación entre el desgaste de la herramienta y el alejamiento de la tobera;

20 La Fig. 8 es un gráfico que ilustra la relación entre la velocidad de retirada de roca por caballo de potencia hidráulica y la concentración de arena en el fluido de perforación;

25 La Fig. 9 es un gráfico que ilustra la relación entre la velocidad de retirada de roca y el peso sobre la barrena, para dos tipos de barrenas mecánicas usuales y para las barrenas de este invento;

La Fig. 10 es una vista por abajo de una barrena hecha de acuerdo con este invento;

30 La Fig. 11 es un alzado lateral de la barrena

327082

8 JUN 1968



de la Fig. 10 vista desde el lado derecho de la Fig. 10;

La Fig. 12 es un alzado frontal de la barrena de la Fig. 10 según se ve desde el lado inferior de la Fig. 10;

5 La Fig. 13 es un corte dado por el plano XIII-XIII de la Fig. 10;

La Fig. 14 es un corte a través de una de las toberas de chorro según se ha indicado por XIV-XIV de la Fig. 10;

10 La Fig. 15 es una vista desde abajo de una segunda realización de una barrena hecha de acuerdo con este invento;

La Fig. 16 es un alzado frontal parcialmente en sección de la barrena de la Fig. 15 según se ve desde el lado inferior de la Fig. 15;

La Fig. 17 es un alzado lateral parcialmente en sección de la barrena de la Fig. 15 según se ve desde el lado derecho de la Fig. 15;

La Fig. 18 es un corte a través de la Fig. 16 por el plano XVIII-XVIII;

La Fig. 19 es un corte parcial a través de una tobera de la Fig. 15 por el plano XIX-XIX;

La Fig. 20 es un corte parcial a través de una tobera de la Fig. 15 por el plano XX-XX; y

25 La Fig. 21 es un corte parcial a través de una tobera de la Fig. 15 por el plano XXI-XXI.

Se ha comprobado ahora que cuando se hacen girar una pluralidad de chorros hidráulicos de velocidad extremadamente alta en un agujero de sondeo, se obtiene una acción de corte muy eficaz incluso en roca dura. De acuerdo

30

327082



do con este invento, la velocidad de dichos chorros excede de la velocidad siendo taladrado. Los chorros de alta velocidad están dispuestos de tal manera que producen una distribución sustancialmente uniforme de velocidad de penetración hacia abajo sobre el área en que inciden los chorros. Es de hacer notar que en contraste con los dispositivos de perforación de la técnica anterior, no hay sustancialmente contacto físico alguno de la herramienta empleada para producir dichos chorros hidráulicos con las superficies de la formación de tierra que se está perforando o taladrando. Así, la herramienta o "barrena" del presente invento está sustancialmente exenta del desgaste o los fallos ocasionados por el contacto físico de las superficies de barrena de la técnica anterior con la formación de roca que se está perforando.

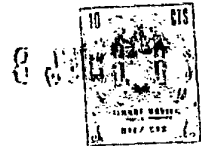
Aunque por comodidad se ha usado aquí el término "barrena" para describir la herramienta de perforación del presente invento, de lo que antecede y de la descripción detallada que sigue será evidente para los expertos en la técnica que el procedimiento y el aparato del presente invento son totalmente diferentes de las barrenas de la técnica anterior. Se hace una diferenciación entre las barrenas de la técnica anterior, que son del tipo mecánico en que la acción de corte de roca resulta del contacto físico de las superficies metálicas de la barrena con la formación de roca en el fondo del agujero, y las barrenas de chorro de este invento en que la acción de corte de roca resulta de la acción erosiva de un chorro de alta velocidad que sale desde una tobera que no hace contacto con la formación de roca, y, como será eviden

327082



te, funciona del modo más ventajoso cuando la tobera está distanciada a una distancia específica (llamada "alejamiento") desde la roca que está siendo perforada o taladrada.

5                    Otra diferencia entre la perforación con una barrena mecánica usual y el procedimiento de perforación con chorro de este invento, radica en la manera en que la energía de perforación es transmitida y aplicada a la formación que se está perforando. En la perforación mecánica  
10 la totalidad de la energía usada para romper la roca es transmitida por torsión a través del vástago de la barrena para ser aplicada contra la roca por contacto físico de los elementos de corte mecánico de la barrena. En la perforación con chorros, como se preconiza en este invento,  
15 la totalidad de la energía para desmenuzar la roca es transmitida hidráulicamente a través del fluido para perforación para ser aplicada directamente contra la roca por los chorros de alta velocidad. Debido al mayor rendimiento de la transmisión hidráulica, en comparación con  
20 la transmisión mecánica, el procedimiento de perforación con chorros de este invento aplica a la roca un porcentaje más elevado de la energía total de entrada. Por otra parte, como se explicará, el contacto físico de las barrenas de chorros de este invento con el fondo del agujero se  
25 usa solamente como medio para mantener un alejamiento óptimo de las toberas durante la rotación de la barrena, de manera que se emplea un peso de barrena muy bajo. La ausencia de cortadores mecánicos, junto con el bajo peso de la barrena, dan por resultado un par de torsión muy bajo  
30 del vástago de barrena cuando se usa el procedimiento de



perforación con chorros y las barrenas de chorro de este invento, y con esto se mejora aún más el rendimiento total en cuanto a potencia de la operación de perforación.

Se ha comprobado que hay ciertos principios que regulan el procedimiento de perforación con chorros, y para un funcionamiento más eficaz de una barrena de chorros deben tomarse en consideración esos principios en el diseño y en la construcción de una barrena de chorros y en su funcionamiento. Se ha comprobado que a menos que el chorro supere la velocidad de corte crítica mínima, no corta apreciablemente el material que hace de blanco. La velocidad de corte crítica mínima varía tanto con el material que hace de blanco como con la naturaleza del fluido que se lanza en chorro. La forma general de las curvas que se refieren a la velocidad de retirada del material que hace de blanco y la velocidad del chorro para diferentes chorros y blancos se han representado en la Fig. 5. La curva 61 corresponde a un chorro de agua sólo sobre un blanco de piedra caliza de Indiana. La curva 62 corresponde a un chorro cargado de arena sobre un blanco de granito. La curva 63 corresponde a un chorro cargado de arena sobre una piedra caliza densa. Estas curvas representan ensayos hechos con el aparato de las Figs. 1, 2, 3 y 4 que se describirá más adelante. Estas curvas se obtuvieron con el aparato de ensayo de toberas que se describirá más adelante y las curvas corresponden a una tobera que tiene una abertura de salida de 4,8 mm. de diámetro funcionando con un alejamiento de 25,4 mm. desde el blanco en un fluido ambiente bajo 22,8 kg/cm<sup>2</sup> manométricos, de contrapresión, siendo girada la tobera sobre un radio de 28,6 mm.

527082



a 38 r.p.m. durante el ensayo. Se ve de las curvas de la Fig. 5 que hay una velocidad de corte crítica mínima indicada por las intersecciones 64, 65 y 66 en la gama de 91 a 137 metros por segundo. Es sabido que la velocidad de corte crítica mínima es diferente para diferentes tipos de roca y para diferentes tipos de flúidos del chorro. Es evidente que a menos que el flúido que se lanza en chorro sea alimentado a la tobera bajo una presión suficientemente alta para comunicar al chorro que emerge una velocidad al menos tan alta como la velocidad de corte crítica mínima, el chorro producirá efectos sustancialmente escasos sobre el blanco.

En consecuencia, en la práctica de este invento la presión del flúido de corte debe ser suficientemente alta para hacer que los chorros hidráulicos excedan de la velocidad de corte crítica mínima. En esta Memoria Descriptiva, ha de entenderse que la velocidad de los chorros hidráulicos es superior a la velocidad de corte crítica mínima para la roca particular que se está perforando y para la composición del flúido particular del chorro que se está considerando. La diferencia de presiones a través de una tobera, que se precisa para lograr una velocidad de salida del chorro que corresponda a la velocidad de corte crítica mínima, se denomina aquí la presión de corte crítica mínima. Su valor para cualquier flúido y cualquier material de blanco en particular, puede ser fácilmente determinado experimentando, por ejemplo como aquí se ha descrito, ya que solamente para presiones de flúido que superen el valor crítico se produce una retirada de roca o penetración de perforación sustancial, como se ha ilustra



do en la Fig. 5. Algunos valores típicos de las velocidades de corte críticas mínimas y de las correspondientes presiones de corte críticas mínimas son los siguientes:

		Velocidad y Presión de Corte Críticas Mínimas a 2,5 centímetros de alejamiento ••	
		Velocidad- Metros por Segundo	Presión-Kilo- gramos por centímetros cuadrado
<u>Tipo de roca</u>	<u>Fluido del chorro</u>		
	Piedra caliza		
5	de Indiana	Agua	122 84
	Piedra caliza de Indiana	Barro acuoso con 6% de arena • y 6% de bentonita •	91 56
15	Granito gris	Barro acuoso con 6% de arena • y 6% de bentonita •	122 98
	Piedra caliza densa	Barro acuoso con 6% de arena • y 6% de bentonita •	137 119

- Arena medida por volumen aparente; bentonita en peso  
 •• Se define el alejamiento como la distancia entre el extremo de salida de la tobera y el blanco

A fin de reproducir con la máxima aproximación posible las condiciones en el campo, fue diseñado un dispositivo de ensayo de manera que los resultados del ensayo son directamente aplicables a la perforación en el campo. Se efectuaron ensayos sobre una diversidad de toberas individuales para las cuales se variaron diversos parámetros a fin de determinar el efecto del parámetro sobre la velocidad de corte o de perforación del chorro de alta ve

327082



locidad resultante, bajo condiciones similares de velocidad del chorro y de otras condiciones fijas. También se hicieron ensayos sobre barrenas de chorro completas a fin de determinar la eficacia para hacer agujero de las barrenas de chorro aquí descritas que emplean las toberas que se revelaron más eficaces para hacer agujero. En la descripción que sigue se exponen los valores óptimos del peso de barrena, de la velocidad de rotación, de la concentración de arena en el chorro, del alejamiento de la tobera con respecto al blanco, de la superposición de chorros, y de las estructuras de barrena de chorros específicas que realizan esos parámetros óptimos.

Se emplearon dos disposiciones experimentales similares pero ligeramente diferentes para ensayar barrenas de chorro completas y para ensayar toberas individuales. La disposición de ensayo experimental empleada para ensayar una barrena de chorro completa se ha ilustrado esquemáticamente en la Fig. 1. Un bloque 21 de roca (blanco) a ser perforado, fue montado sobre un carro 22 el cual, por medio de vías, puede ser llevado a una cámara 30. El bloque 21 era suficientemente grande para poder perforar en él una serie de agujeros a fin de que pudieran hacerse ensayos comparativos de barrenas sobre el mismo bloque de roca. La cámara 30 tiene un cierre frontal separable (no representado) a través del cual puede ser llevado el carro 22 adentro de la cámara. El vástago 19 de barrena se gira por medio de una mesa giratoria 23 accionada a través de un árbol 24 estriado vertical por un motor 26 situado en el balcón de un edificio de laboratorio en el cual está alojado el aparato. El vástago 19 de barrena es

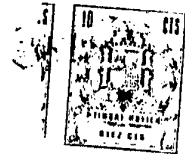
327082



tá sujeto a la mesa giratoria 23. La mesa giratoria es libre de moverse verticalmente en el engranaje 29 que acciona al árbol estriado 24, y está guiada mediante patas de guía 31, en número de cuatro, pero solamente una de las cuales se ha representado. El extremo superior del vástago 19 de barrena está provisto de una articulación giratoria usual 18 conectada por medios de una conexión flexible 17 a una fuente de flúido de perforación, bajo presión, que se describirá. La articulación giratoria 18 está soportada por el vástago 25 de pistón de un cilindro hidráulico 34. Por medio de flúido hidráulico procedente de la bomba 27 alimentado bajo el pistón 28 del cilindro 34, el conjunto completo que comprende la articulación giratoria 18, el vástago 19 de barrena y la mesa giratoria 23 puede ser elevado cuando se gira la válvula 39 de tres vías a la posición apropiada, es decir, hacia la derecha. Análogamente, girando la válvula 39 de giro hacia la izquierda puede bajarse el sistema purgando flúido hidráulico en el depósito 37 de alimentación. El cilindro 34 está soportado por medio de un cable de izado usual. El vástago 19 de barrena pasa a través de la parte superior de la cámara 30 y tiene roscado a su extremidad interior la barrena de perforación 20 de chorros sometida a ensayo.

Se ha previsto un depósito 10 en el cual se mezcla el flúido 12 de perforación. En los ensayos el flúido de perforación fue usualmente una suspensión acuosa de arena e incluía bentonita como agente de suspensión. A fin de evitar la sedimentación y para mantener el flúido 12 de perforación mezclado lo más uniformemente posible,

7032



se ha previsto una bomba 11 para la finalidad de hacer circular rápidamente el fluido de perforación en el depósito 10, manteniendo con ello bien mezclado el fluido 12 de perforación. El fluido de perforación procedente del

5 depósito 10 es bombeado por medio de la bomba 13 a la bomba 15 de alta presión. Se ha previsto un aforador o scandalímetro 14 entre las bombas 13 y 15. La bomba 15 de alta presión entrega el fluido de perforación bajo alta presión directamente a la conexión flexible 17 y desde allí,

10 por el vástago 19 de la barrena, a la barrena 20 de chorros. Después que el fluido de perforación recorre la barrena 20 de chorros, el fluido consumido retorna al depósito 10 fluyendo por gravedad a través de la tubería 32. Se ha previsto un manómetro 16 para vigilar la presión el

15 fluido de perforación entregado por la bomba 15. A fin de asegurar que la bomba 15 estará siempre alimentada con una cantidad adecuada de fluido de entrada, la bomba 13 es de capacidad volumétrica algo mayor que la de la bomba 15. Una válvula 36 de articulación de entrada de presión

20 constante, que mantiene presión constante en el lado de entrada de la bomba 15, está conectada como se ha indicado en la Fig. 1. El fluido procedente de la bomba 13 derivado por la válvula 36 es hecho retornar al depósito 10 por la tubería 38. Las lecturas del aforador 14 y del manómetro 16 son registradas sobre registradores gráficos

25 usuales (no representados) conectados a esos instrumentos. El peso sobre la barrena viene determinado por la indicación del manómetro 33, como se explicará.

Se efectuaron ensayos de perforación con barrenas totalmente de chorros con el aparato anteriormente

30



descrito con presión de aire atmosférica dentro de la cámara 30. Para la realización de tales ensayos se eleva primero el conjunto de perforación girando la válvula 39 a la derecha para aplicar fluido hidráulico al cilindro 34 y elevar el pistón 28. La presión indicada por el manómetro 33 bajo el pistón 28 del cilindro 34, con la válvula 39 cerrada y con el sistema de barrena completo colgando libremente, refleja el peso estático del sistema. Cuando todo está listo para perforar, se gira la válvula 39 a la izquierda y se sangra lentamente fluido hidráulico del cilindro 34, descendiendo así el conjunto de barrena completo. Al perforar, disminuye la presión indicada por el manómetro 33 y ello refleja la carga en el vástago 19 de barrena. A medida que se avanza en la perforación, se ajusta manualmente de un modo continuado la válvula 39 para mantener una lectura predeterminada en el manómetro 33. El peso sobre la barrena es menor que esa carga por la fuerza de reacción vertical del fluido que sale desde la barrena 20 de chorros. La fuerza de reacción vertical se calcula fácilmente por métodos bien conocidos, partiendo de la presión (leída en el manómetro 16), caudal del flujo (indicado por el aforador 14), y la densidad medida del fluido de perforación. Además, después que la barrena ha hecho agujero, disminuye todavía algo el peso de la barrena por la fricción del fluido de perforación que fluye hacia arriba en torno al exterior de la barrena 20, pero esta componente no es fácil de calcular y no se toma en consideración. En todos los ensayos se ajustó manualmente la válvula 39 durante la perforación, de manera que el sangrado de fluido hidráulico desde el cilindro 34 fue

627082



se tal que se mantuviese una lectura en el manómetro 33 que diera por resultado un peso neto de barrena de alrededor de 998 kilogramos, el cual, para las barrenas de 11,75 centímetros de diámetro empleadas, es equivalente a un peso de barrena de alrededor de 89,3 kilogramos por centímetro de diámetro de barrena (siendo esta la forma usual de expresar el peso de la barrena). A medida que la barrena hacia agujero y avanzaba en el blanco 21, el conjunto completo de la barrena se descendía gradualmente sangrando fluido hidráulico a través de la válvula 39, manteniéndose siempre la presión predeterminada, como lo indicaba el manómetro 33, a fin de mantener el peso de barrena antes mencionado.

Aunque los ensayos con barrenas totalmente de chorros se hicieron con presión de aire atmosférico en la cámara 30, se veía que inmediatamente que penetraba la barrena en el blanco en una corta distancia, todos los chorros de la barrena operaban en el ambiente del fluido de perforación descargado. Además, la resistencia del fluido de perforación a fluir hacia arriba en torno al cuerpo de la barrena desarrollaba una presión que se cree que simula las condiciones en el pozo con una aproximación razonable. Se midió la penetración de la barrena completa en el blanco durante un intervalo de tiempo de ensayo, marcando el árbol de una de las guías 31 unida a la mesa giratoria 23.

El aparato está además dispuesto de modo que la perforación puede efectuarse alternativamente bajo condiciones de fluido ambiente bajo contrapresión que puede medirse. Todos los ensayos aquí descritos y hechos sobre



toberas sencillas individuales se hicieron bajo contrapre  
siones, ya que en el fondo de un pozo de perforación exis  
te siempre un ambiente de flúido de perforación. Se em-  
pleó el aparato de la Fig. 1 excepto en que la cámara 30  
5 estaba modificada como se ha ilustrado en la Fig. 2. Para  
ensayos de contrapresión la cámara comprendía un cilindro  
50 de aproximadamente 50,8 centímetros de diámetro cerra-  
do por el fondo y por la parte superior por tapas 51 y 52  
respectivamente, siendo retenidas las tapas en posición  
10 por medio de pernos 53 de sujeción. La tapa superior 52  
estaba provista de un conjunto 54 de cierre hermético gi-  
ratorio a través del cual entra el vástago 19 de barrena  
en la cámara, sin fugas apreciables. La roca 21 que hacía  
de blanco a ser perforado estaba colocada dentro del ci-  
15 lindro 50 y retenida en posición mediante mordazas (no re-  
presentadas). El extremo del vástago 19 de barrena estaba  
provisto de un portatobera 55 en el cual estaba montada  
la tobera 40 a ser ensayada, por ejemplo por soldadura  
fuerte. El eje geométrico de la tobera 40 es excéntrico  
20 con respecto al eje geométrico del vástago 19 de la barre-  
na giratoria. La tobera 40 tiene su eje geométrico parale-  
lo al eje geométrico del vástago de la barrena, con un ra-  
dio de rotación de 28,6 milímetros.

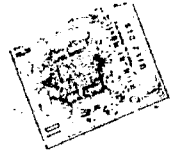
El flúido de perforación procedente del vástago  
25 go 19 de barrena, después de pasar a través de la tobera  
40 y de llenar el cilindro 50, era descargado desde el ci-  
lindro a través de una tubería de descarga 56. A fin de  
desarrollar contrapresión en el cilindro 50, el extremo  
de la tubería 56 estaba provisto de una tobera 57. El flúido  
30 do de perforación que salía desde la tobera 57 creaba pues

327082



una presión dentro del cilindro 50 la cual era medida por medio del manómetro 58. La descarga desde la tobera 57 se hace retornar al depósito 10. Se comprobó mediante experimentos, que la existencia de contrapresión afecta a la velocidad de retirada de blanco de un chorro en ciertas circunstancias, pero para contrapresiones superiores a unos 17,5 kg/cm<sup>2</sup> manométricos, el aumento de la contrapresión no producía sustancialmente efecto adicional alguno sobre la velocidad de perforación bajo la misma diferencia de presiones a través de la tobera 40 sometida a ensayo. En consecuencia, se diseñó la tobera 57 para proporcionar una contrapresión que en todos los casos excedía de 17,5 kg/cm<sup>2</sup> manométricos, leída en el manómetro 58. En la realización de ensayos sobre toberas individuales en la cámara de contrapresión de la Fig. 2, se tomó la diferencia de presiones a través de la tobera 40 como la indicación del manómetro 16 (Fig. 1) menos la indicación del manómetro 58 (Fig. 2). Para seguridad, el cilindro 50 estaba provisto de una tubería 59 de descarga auxiliar que contenía una válvula 60 de seguridad usual.

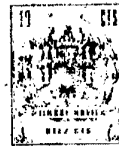
El tipo de tobera 40 empleado se ha representado en corte transversal en la Fig. 3 y en la vista desde un extremo de la Fig. 4. La tobera tiene una abertura circular 41 que tiene un eje geométrico central 43 y un diámetro 48. Con tales toberas se acostumbra a emplear un contorno 42 de entrada de forma elíptica, seguido por una parte 41 de lados paralelos rectos de longitud 47. La elipse general para la parte de entrada 42 se ha indicado mediante la línea de trazos 44 de la Fig. 3, y la elipse tiene una dimensión 45 de eje mayor y una dimensión 46 de



eje menor. La tobera está hecha de un material duro y resistente al desgaste, tal como por ejemplo los materiales de carburos cementados existentes en el comercio bajo la marca comercial registrada Kennametal. Las toberas de las Figs. 3 y 4 se hicieron de una diversidad de longitudes totales 49 y diámetros 48, pero por lo demás con una parte 42 de entrada elíptica con el mismo tipo de elipse generadora 44. Se hicieron ensayos con toberas del tipo representado en las Figs. 3 y 4 montadas en el aparato de la Figs. 1 y 2 y se cambiaron ciertos parámetros de ensayo a ensayo y se observó el efecto de perforación sobre la muestra 21 de roca. En los ensayos de toberas individuales solamente se ensayó una tobera cada vez.

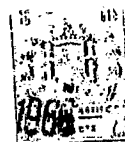
Los ensayos sobre toberas individuales se efectuaron del siguiente modo. La tobera 40 a ser ensayada era montada en el aparato de contrapresión de las Figs. 1 y 2 y la roca 21 que hacía de blanco colocada en el cilindro 50. El vástago 19 de la barrena se bajaba para llevar la tobera 40 a una distancia deseada de alejamiento desde la superficie superior de la roca 21 que hacía de blanco y se retenía en ese punto durante el ensayo sujetando las guías 31. Se ponía en marcha la bomba 11 con objeto de mezclar a fondo el fluido 12 de perforación. Se ponía en marcha la bomba 13 y se llevaba la mesa giratoria 23 hasta la velocidad prescrita. Luego se ponía en marcha la bomba 15 y se empezaba a medir el tiempo de perforación cuando el manómetro 16 indicaba la presión deseada. Ello significaba que después de poner en marcha la bomba 15, el chorro procedente de la tobera 40 actuaba sobre la superficie de la roca con unos segundos de antici-

521082



5           pación, hasta que se alcanzaba la presión deseada en cuyo momento se iniciaba la cuenta del tiempo, pero ello solamente ocasionaba un error despreciable. El tiempo de ensayo deseado, usualmente 30 segundos, se medía con un cronómetro, deteniéndose el ensayo por parada rápida de la bomba 15. El ensayo dió por resultado el corte de una garganta circular en la parte superior de la roca 21 que hacía de blanco. Se usó el mismo bloque para ensayar el efecto de una sola variable, o si se hacía necesario usar bloques diferentes se verificaba su similitud efectuando primero ensayos en idénticas condiciones de funcionamiento. Se hicieron dos ensayos para cada determinación y se promediaron los resultados para establecer un punto sobre una curva.

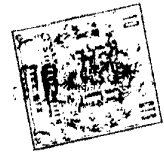
15                       Para hacer ensayos sobre barrenas completas se usó el aparato de la Fig. 1 con la cámara 30. Ajustando hidráulicamente la posición del pistón 28 se llevó el sistema de barrena a una altura tal que la parte inferior de la barrena estaba a unos 25,4 milímetros por encima de la parte superior de la roca 21 que hacía de blanco. Entonces se cerró la puerta de la cámara 30 y se pusieron en marcha las bombas y la mesa giratoria. La barrena fue retenida en esa altura durante 20 segundos, lo que dió por resultado la formación de algunas gargantas anulares cortadas en la parte superior de la roca 21. Entonces se giró la válvula 39 para sangrar fluido hidráulico desde el cilindro 34 con objeto de bajar el sistema de barrena bajo la lectura predeterminada del manómetro 33. El sistema de barrena fue así bajado 50,8 milímetros desde su posición inicial, lo que significaba que la barrena 20 había



penetrado entonces en la roca 21 una distancia de 25,4 mi  
límetros. En ese punto se inició la cuenta del tiempo y  
por medio de un cronómetro se midió el tiempo requerido  
para perforar 30,5 centímetros (ó 35,6 centímetros si el  
5 bloque de roca lo permitía). Durante el ensayo de perfora  
ción con tiempo medido, la válvula 39 fue controlada ma  
nualmente de un modo continuo para mantener la lectura  
predeterminada del manómetro 33 a fin de mantener el peso  
deseado sobre la barrena. La profundidad de penetración  
10 de la barrena se determinó a partir de una escala sobre  
una de las guías 31 de la mesa giratoria. Se detuvo el en  
sayo parando rápidamente las bombas 13 y 15, el motor 26  
de la mesa giratoria y cerrando la válvula 39.

Durante la marcha de un ensayo, se registra  
15 ron manualmente las lecturas de los manómetros 33 y 58 y  
se registraron automáticamente el caudal de flujo medido  
por el aforador 14 y la lectura del manómetro 16. La den  
sidad del fluido de perforación fue medida periódicamente  
con una balanza normalizada de barro de perforación, y se  
20 midió periódicamente la viscosidad con un embudo Marsh  
normalizado midiendo el número de segundos necesarios para  
hacer pasar 946 cc del fluido de perforación desde un re  
cipiente de 2.000 cc. La concentración de arena se deter  
minó recogiendo un volumen dado de fluido de perforación  
25 un recipiente normalizado para control de arena desde la  
tubería 38 de retorno de derivación (Fig. 1) y usando el  
procedimiento A.P.I (Instituto Americano del Petróleo) pa  
ra medir el contenido en arena. El tamaño de las partículas  
de arena se determinó según la técnica normalizada de ta  
30 mizado. En los ensayos de toberas individuales, la distan

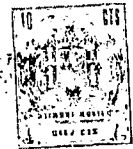
327082



5      cia desde la superficie de la roca a la salida de la tobera, denominada el "alejamiento", se estableció inicialmente sujetado el vástago de la barrena en una posición vertical fija, y se produjo un ligero aumento gradual en el alejamiento eficaz durante el ensayo a medida que se cortaba o taladraba el agujero. En los ensayos de barrena completa, la propia barrena estaba preparada para mantener el alejamiento óptimo deseado continuamente durante la perforación, haciéndose descender gradualmente el vástago de la barrena durante el ensayo. El diámetro de la tobera se determinó con un calibre para interiores como diámetro interior 48 (Fig. 3) de la abertura de salida de la tobera. Partiendo del caudal de flujo medido por el aforador 14 (y verificado observando las r.p.m. de la bomba 15) y del diámetro medido de la tobera, se calculó la velocidad del chorro que salía de la tobera. Partiendo también del caudal de flujo medido y de la diferencia de presiones a través de la tobera (lectura del manómetro 16 menos la lectura del manómetro 58) se calculó la potencia hidráulica consumida en la tobera. Los tiempos se midieron en los ensayos con un cronómetro.

25      Los resultados de los ensayos de toberas individuales se determinaron del siguiente modo. Se determinó el volumen de roca retirada vertiendo agua desde un recipiente graduado en la garganta circular cortada en la roca, ya saturada de agua por el chorro durante el ensayo. Se determinó la profundidad de penetración tomando el promedio de cuatro medidas con un calibre de profundidades en puntos distanciados a 90° en azimut en la garganta cortada por el chorro. También se midieron los diámetros interior

27082



y exterior de la garganta cortada por el chorro.

5 En todos los ensayos, la presión del fluido de perforación en el vástago de la barrena, medida por el manómetro 16, fue mantenida por encima de la necesaria para conseguir una velocidad de salida desde la tobera que superaba los 198 metros por segundo. La velocidad del chorro en todos los ensayos superaba pues la velocidad de corte crítica mínima. En interés de la uniformidad, se empleó en todos los ensayos una presión de 350 kg/cm<sup>2</sup> manométricos, o superior, a fin de obtener una velocidad resultante de salida de tobera de 232 metros por segundo.

10

Se ha comprobado que el alejamiento de una tobera de chorros es un parámetro importante para determinar la velocidad de retirada de roca. El alejamiento se define como la distancia desde el extremo de salida del orificio de la tobera al blanco. Para determinar el alejamiento óptimo intervienen eficazmente dos factores en mutua contraposición. En el caso de un chorro operando en un ambiente líquido tal como el que existe en el fondo de un agujero perforado lleno de fluido, el chorro tiende a abrirse y a perder velocidad después de salir de la tobera, y esto parece aconsejar el uso de un alejamiento tan pequeño como sea posible. Por otra parte, si se coloca la tobera muy próxima al blanco, se ha comprobado que el chorro tropieza con su propia salpicadura de rebote y ello es perjudicial por dos razones, a saber, la salpicadura de rebote de gran velocidad disminuirá la velocidad del chorro inmediatamente antes del momento en que el chorro cho- ca con el blanco, de modo que se tiene una menor velocidad real de impacto, y la salpicadura de rebote erosiona

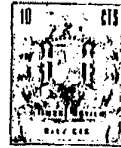
15

20

25

30

327082



además muy rápidamente la tobera o su montaje, por lo que se disminuye la vida de funcionamiento de la herramienta. La Fig. 7 ilustra la relación entre dos efectos. La curva 71 muestra como disminuye la velocidad de retirada de roca al aumentar el alejamiento (bajo contrapresión) y la curva 72 muestra como disminuye el desgaste sobre una herramienta de acero al aumentar el alejamiento. El desgaste de la herramienta, como se ha ilustrado en la curva 72, se determinó en una barrena completa midiendo para diversas distancias de alejamiento la disminución en longitud del cuerpo de la barrena con el tiempo de perforación (cambio en la dimensión 75 de la Fig. 11 que se describirá más adelante) en el aparato de la Fig. 1. Se usó un fluido de perforación acuoso conteniendo el 6% en volumen aparente de arena de, predominantemente, tamaños comprendidos entre los tamices de aberturas de malla de 0,84 y 0,42 milímetros, y el 6% en peso de bentonita. Se obtuvo la curva 71 usando el aparato de las Figs. 1 y 2 con una sola tobera de las Figs. 3 y 4 cuya abertura tenía 3,2 milímetros de diámetro funcionando a 350 kg/cm<sup>2</sup> manométricos a través de la tobera, con diversos alejamientos y usando fluido de perforación acuoso conteniendo el 6% en peso de bentonita y el 6% en volumen de arena de, predominantemente, tamaños comprendidos entre los tamices de abertura de malla de 0,84 y 0,42 milímetros. Estas relaciones muestran que el óptimo es un alejamiento en el margen de 12,7 milímetros a 31,7 milímetros, y se prefiere usar un alejamiento en el margen de 12,7 milímetros a 25,4 milímetros. En consecuencia, en las barrenas de chorros de las Figs. 10 a 21 que se describirán, se han tomado medidas



para mantener un alejamiento de 25,4 milímetros.

Otra mejora de las propiedades de perforación de agujeros de la barrena aquí descrita resulta del uso de un medio flúido que contiene partículas de abrasivo. Se comprobó que por encima de la velocidad de corte crítica mínima, la velocidad de retirada de blanco del chorro varía con la concentración en arena en el flúido de perforación, como se muestra mediante la curva 80 en la Fig. 8 cuando se emplean la misma tobera, la misma potencia hidráulica y la misma velocidad de chorro. La curva 80 se obtuvo usando el aparato de la Fig. 1 y 2 con una barrena de chorros similar a la representada en las Figs. 10 a 13 y con once toberas de 3,2 milímetros de diámetro operando a  $350 \text{ kg/cm}^2$  a través de la barrena con 25,4 milímetros de alejamiento. La roca perforada era granito gris. Se empleó flúido de perforación acuoso con diversos contenidos en porcentaje de arena. Como agente en suspensión se prefirió usar bentonita en concentración entre aproximadamente el 2% y aproximadamente el 10% en peso y se usó el 6% en peso en los ensayos. Al hacer los ensayos se ajustó la presión de flúido para compensar en cuanto a las diversas densidades de flúido de manera que la velocidad de salida del chorro era constante de 235 metros por segundo. La arena empleada tenía un tamaño de partículas predominantemente comprendido entre los tamices de aberturas de malla de 0,84 y 0,42 milímetros. La concentración de arena se determinó recogiendo una muestra de flúido de perforación desde la tubería 38 y separando la arena de la muestra, expresándose la concentración de arena en porcentaje en volumen aparente. Se comprobó que una concentración de

327082



arena comprendida entre el 3% y el 20% en volumen de flúido de perforación daba la velocidad óptima de penetración. Dado que los flúidos de perforación que contienen concentraciones muy altas de arena son difíciles de bombear, se  
5 prefiere emplear una concentración de arena comprendida en el margen entre aproximadamente el 5% y aproximadamente el 15% en volumen.

En las Figs. 10 a 21 se han ilustrado ejemplos de dos barrenas. Esas barrenas tienen incorporado en  
10 ellas el valor óptimo de alejamiento anteriormente expuesto. Se obtiene como resultado una barrena de chorros que está sustancialmente exenta de roturas mecánicas y de desgaste, y que cuando es alimentada con flúido bajo presión suficiente para desarrollar velocidades de chorro que exceden de la velocidad de corte crítica mínima, perforará  
15 roca más rápidamente que una barrena mecánica usual, especialmente en roca dura. A fin de desarrollar una velocidad de chorro de, por ejemplo, 235 metros por segundo, con un flúido de 1,1 kilogramos/litro, se precisa una presión de aproximadamente 350 kg/cm<sup>2</sup>, y es ventajoso emplear presiones de este orden por cuanto es sabido que la  
20 velocidad de corte aumenta con la velocidad del chorro. En el funcionamiento de las barrenas de las Figs. 10 a 21 de acuerdo con este invento, la presión del flúido de perforación alimentado a la barrena excede de la presión  
25 de corte crítica mínima requerida para que el chorro corte la roca, ya que a una presión menor no se produce acción alguna sustancial de corte.

La barrena de las Figs. 10 a 14 inclusive comprende una porción 110 de cuerpo que tiene un perfil sus-  
30



tancialmente como el indicado en la Fig. 10. El cuerpo com  
prende un sector 111 sustancialmente cilíndrico y una por  
ción 112 prismática contigua que tiene forma de prisma cu  
yas esquinas exteriores 113 y 114 quedan sobre una prolon  
gación de la superficie cilíndrica de la porción 111. Las  
5 superficies planas de la porción 112 prismática tienen co  
mo fin formar canales de retorno del fluido, y en lugar  
de ser superficies planas, como se ha ilustrado, pueden  
ser acanaladuras cóncavas sobre una continuación de la  
10 porción cilíndrica 111. La porción prismática 112 se ha  
representado con tres superficies planas pero, si se de-  
sea, dos, cuatro o más superficies planas pueden formar  
el prisma que comprende la porción 112. La superficie in-  
ferior 115 del sector cilíndrico 111, y la superficie in-  
15 ferior 116 de la porción prismática 112, están sustancial  
mente en un mismo plano, para formar un cuerpo de barrena  
de extremos planos.

Una lengüeta 118 se extiende desde la superfi-  
cie exterior 115 y tiene una forma sustancialmente como  
20 la que se ha representado en las figuras. La lengüeta 118  
constituye un elemento importante de la barrena de este  
invento. La lengüeta 118 se extiende por completo en sen-  
tido transversal a través del extremo de la porción 110  
de cuerpo y sus caras laterales 126 y 128 están curvadas  
25 para formar prolongaciones de la superficie exterior ci-  
lindrica de la porción 111 de cuerpo de la barrena. El  
perfil de la lengüeta 118, según se ve por un extremo en  
la Fig. 10, es tal que deja espacio para las toberas de  
chorro que se describirán. La longitud de la lengüeta  
30 118 en dirección axial determina el alejamiento de las

327082

8



toberas de chorro desde el fondo del agujero que está siendo perforado. Dado que se prefiere un alejamiento de 25,4 milímetros, como se ha explicado anteriormente, la longitud axial de la lengüeta 118 es de 25,4 milímetros.

5 La superficie inferior de la lengüeta 118 está provista de un revestimiento duro 119 que sirve para resistir el desgaste.

La porción interior del cuerpo 110 está taladrada a un diámetro 120 el cual se ha provisto de una superficie 121 inferior interior sustancialmente plana. El extremo superior del taladro interior puede ser de diámetro ligeramente agrandado como se ha ilustrado en 122 y después de la fabricación se sujeta la barrena a una tubería de barrena usual o collarín 124 de barrena, por ejemplo por emanguitado y soldadura como se ha indicado.

El fondo 115 de la porción 111 de cuerpo cilíndrica está perforado para formar una serie de agujeros 133 y 134 como se aprecia mejor en las Figs. 10 y 11. Los agujeros 133 están perforados perpendicularmente a la superficie 115, es decir paralelos al eje geométrico longitudinal del vástago de barrena y de la barrena. Agujeros 134 alternados están perforados formando un ángulo, por ejemplo de 25°, con el eje geométrico longitudinal del vástago de la barrena. Todos los agujeros 133 y 134 cortan a la superficie extrema 115 sobre sustancialmente el mismo radio, como se aprecia mejor en la Fig. 10. Aunque la Fig. 10 muestra cinco agujeros perpendiculares 133 y cuatro agujeros 134 formando ángulo, ello se ha hecho tan solo con fines ilustrativos y el número de esos agujeros puede variar dependiendo de consideraciones que se ex

327082



plicarán. Por otra parte, los agujeros 133 y 134 pueden estar situados sobre el mismo o sobre diferentes radios. El extremo interior de cada agujero 133 y 134 se encuentra con uno de una serie de agujeros 135 como se aprecia mejor en las Figs. 13 y 14. Los agujeros 135 están perforados desde el interior del cuerpo de la barrena con un ángulo apropiado para encontrarse con los respectivos agujeros 133 y 134. El fluido de perforación bombeado hacia abajo por el interior del vástago de la barrena a la cavidad central 120 de la barrena fluye pues a través de los agujeros 135 y sale por los agujeros 133 y 134, así como por otros agujeros que se describirán.

En cada uno de los agujeros 133 y 134 hay insertada y sujeta una tobera 136 y 137 cuyas secciones transversales se aprecian mejor en la Fig. 13, y previamente explicadas con mayor detalle en relación con las Figs. 3 y 4. Las toberas 136 y 137 están retenidas en posición por soldadura fuerte. Cada una de las toberas 136 está hecha de un material duro, por ejemplo material de carburo cementado resistente al desgaste existente bajo la marca registrada Kennametal. Cada una de las toberas 136 y 137 tiene una abertura axial 138 que está provista en su extremo interior de una sección 139 de acceso elíptica a fin de proporcionar flujo currentilíneo de entrada en la tobera, como anteriormente se ha explicado en relación con las Figs. 3 y 4.

El fondo 116 de la porción prismática 112 de la barrena está perforado con una serie de agujeros, como por ejemplo los agujeros 146, 147, 148 y 149 que comunican con el interior de la barrena por medio de rebajos

327082



fresados 150 como se aprecia mejor en la Fig. 13. Los agujeros 146, 147 y 149 están perforados sustancialmente paralelos al eje geométrico del vástago de la barrena, y cada agujero está provisto de una tobera 156, 157, 158 y 5 159 hecha de material duro resistente al desgaste, sujeta en posición por soldadura fuerte. Cada tobera tiene una abertura central con una abertura de entrada elíptica similar a la de las toberas 136. Fluido de perforación bombeado hacia abajo por el interior del vástago de la barra 10 na fluye pues a través de las toberas 156, 157, 158 y 159, así como a través de las toberas 136 y 137.

Cada una de las toberas 136, 137, 156, 157, 158 y 159 tiene un taladro central que es de lados sustan 15 cialmente paralelos en la mayor parte de su longitud en sentido axial, y que tiene un diámetro interior de 3,2 milímetros. La longitud en sentido axial de las respectivas toberas puede variar algo pero, de preferencia, es superior a 9,5 milímetros.

La disposición, el número y la orientación an 20 gular de las toberas 136, 137, 156, 157, 158 y 159 son tales que proporcionan una velocidad de penetración uniforme sobre la totalidad de la superficie del blanco. La barrena es hecha girar durante la perforación de manera que cada chorro o serie de chorros que tienen el mismo radio 25 de impacto sobre el fondo del agujero, barre una región anular cuya área es directamente proporcional a su radio. En consecuencia, para un solo chorro la velocidad de penetración es proporcional a  $R^{-n}$  donde R es el radio y el ex 30 ponente n se aproxima a la unidad. Se ha comprobado, sin embargo, que el exponente n es ligeramente diferente de



la unidad, siendo usualmente algo mayor. Se prefiere emplear barrenas cuyas toberas son de aproximadamente el mismo tamaño, a fin de desarrollar rendimientos sustancialmente iguales, y dispuestas de manera que los chorros chocan con el blanco en un radio cuyo exponente  $n$ , en la relación anterior, está comprendido en el margen de 0,8 a 1,2, prefiriéndose un valor de  $n$  igual a la unidad. Se prefiere evitar el solapamiento de las gargantas anulares cortadas por los chorros de radios adyacentes, debido a que los chorros cortarían una garganta más profunda en la región de solapamiento que en las gargantas donde no hay solapamiento, y esa falta de uniformidad en la velocidad resultante de penetración perjudicará el rendimiento de perforación de la barrena como un conjunto. La velocidad máxima de penetración de la barrena como un conjunto se obtiene con toberas dispuestas para cortar con una velocidad de penetración hacia abajo sustancialmente uniforme sobre el área que está siendo perforada.

En el ejemplo ilustrado en las Figs. 10 a 14, la tobera 156 está situada en el menor radio a partir del eje de rotación 140, y al estar dirigida paralela al eje geométrico 140 cortará el fondo del agujero en el radio mínimo. La velocidad de penetración de ese chorro en ese diámetro, en condiciones de funcionamiento, será conocida, así como la anchura aproximada de la garganta cortada por aquel. En sustancialmente una anchura de garganta más alejada desde el eje geométrico, se ha provisto un segundo con toberas 157, 158 y 159. Por cuanto ese radio es sustancialmente tres veces mayor que el radio operante de la tobera 156, es necesario emplear tres toberas (es de-

327082



5      cir las 157, 158 y 159) en el radio mayor a fin de conse-  
guir la misma velocidad de penetración que con la tobera  
156. Otro escalón de anchura de garganta hacia fuera des-  
de el eje geométrico de rotación es el radio 142 sobre el  
cual están situadas las toberas 136. Ese radio es sustan-  
cialmente cinco veces el radio de la tobera 156, y, por  
consiguiente, se emplean en ese radio cinco toberas 136.  
Obsérvese que los radios son aquellos sobre los cuales  
los chorros respectivos chocan con el fondo del agujero  
10      que está siendo perforado, por lo que las toberas 157 y  
136 que son paralelos al eje 40 están situadas sobre esos  
radios respectivos.

Es evidente que consideraciones de tipo es-  
tructural limitan el radio máximo en el cual puede ser  
15      montada una tobera en el cuerpo de la barrena 10. Por  
consiguiente, a fin de cortar la circunferencia exterior  
del agujero las toberas están montadas formando un ángu-  
lo dirigido hacia fuera, como lo están las toberas 137.  
Como se ha indicado en la Fig. 14, las toberas 137 están  
20      dirigidas a la periferia exterior del agujero como viene  
determinado por la intersección 143 de la superficie cilín-  
drica de la porción cilíndrica del cuerpo de la barrena y  
el extremo inferior de la lengüeta 118. Aunque en el ejem-  
plo aquí descrito se ha comprobado que el radio de la in-  
25      tersección 143 desde el eje 140 es el 20% mayor que el ra-  
dio en el cual chocan los chorros procedentes de las tobe-  
ras 136 con el fondo del agujero, existe un solapamiento  
entre la garganta cortada por los chorros procedentes de  
las toberas 136 y la cortada por los chorros procedentes  
30      de las toberas 137. En consecuencia, el número de toberas



137 empleadas en cualquier radio específico es disminuído algo por el solapamiento, y en este ejemplo se ha comprobado que se precisan cuatro chorros procedentes de toberas 137. Estos principios pueden ser aplicados al diseño de cualquier tamaño de barrena de chorros, similar a las aquí descritas, en la cual los chorros sean sustancialmente perpendiculares a la superficie del blanco. Cuando las toberas de sustancialmente igual rendimiento producen chorros que hacen impacto en el fondo del agujero casi perpendicularmente, el número de chorros empleados para chocar contra una garganta de cualquier radio dado del fondo del agujero es proporcional al radio elevado a la potencia n-sima de la relación anteriormente mencionada. La anchura de la garganta cortada es función del diámetro del orificio de la tobera y de la naturaleza de la roca que está siendo cortada, y se determina con facilidad experimentalmente. El revestimiento duro sobre la parte inferior de la lengüeta 118 sirve para recortar cualesquiera aristas secundarias que puedan quedar entre las gargantas, así como para controlar el alejamiento de las toberas.

Las Figs. 15 a 21 inclusive ilustran otra realización de los valores óptimos aquí descritos de los parámetros de la barrena de chorros. La barrena de las Figs. 15 a 21 comprende una porción de cuerpo que es sustancialmente cilíndrica con un corte transversal representado en la Fig. 18. Hay dos porciones reentrantes 205 y 206, que, aunque se han representado de perfil ligeramente diferente en la Fig. 18, pueden ser iguales o similares en forma. El extremo superior de la porción de cuerpo (siendo este el extremo inferior según se ve en las Figs. 15 y 16) está

327082



sujeto, por ejemplo por soldadura, a un adaptador 201 cuyo extremo superior está enmanguitado y soldado en 202 al vástago 203. El adaptador 201 tiene una abertura central generalmente ovalada 204 cuyo contorno se aprecia mejor en la fig. 18. La abertura 204 comunica con la abertura axial 207 en el vástago 203. El vástago 203 es de menor diámetro que el cuerpo 200 y está provisto de roscas de tubería de perforación usual (no representadas), de manera que el conjunto de barrena completo puede ser conectado de manera separable a una tubería de perforación usual, como por ejemplo la 19 de la Fig. 1. El extremo inferior de la porción de cuerpo 200 está cerrado por una placa extrema 210 la cual puede hacerse integral con la porción de cuerpo 200, ó estar sujeta de otro modo a ella. La placa extrema 210 es sustancialmente plana como se ha indicado.

El fondo de cada porción reentrante 205 y 206 está cubierto por un bloque 211 cuyo contorno se aprecia mejor en la Fig. 15. Cada bloque 211 tiene una superficie periférica 212 que se adapta sustancialmente a la forma de la superficie cilíndrica circular que forma la periferia exterior de la porción de cuerpo 200. Los otros dos lados de los bloques 211 subtienden un ángulo de magnitud suficiente para abercar las respectivas porciones reentrantes 205 y 206 de la porción de cuerpo 200. Los bloques 211 están sujetos a la porción de cuerpo 200 como por soldadura. La superficie inferior de cada bloque 211 está provista de un revestimiento duro 213 de material resistente al desgaste, como por ejemplo de Kennametal.

La placa extrema 210 está perforada con una

327082



5 pluralidad de agujeros 221, 222, 223, 224 y 225, los cuales comunican con la cámara interior de la porción 200 de cuerpo. Los agujeros están perforados a diversas distancias desde el eje 227 de la barrena y con diversos ángulos con respecto al eje geométrico de la barrena. Los ejes de los agujeros 221 y 222 cortan al eje geométrico de la barrena. Los agujeros que tienen los mismos números de referencia forman el mismo ángulo con el eje geométrico de la barrena y están a la misma distancia desde ese eje. Los agujeros 223, 224 y 225 están perforados paralelos al eje geométrico de la barrena. En cada uno de los agujeros 221, 222, 223, 224 y 225 hay montados toberas 231, 232, 233, 234 y 235, respectivamente, del tipo representado en las Figs. 3 y 4, estando hecha la tobera de material resistente al desgaste y siendo retenida en posición, por ejemplo, por soldadura fuerte.

15 Los bloques 211 anteriormente mencionados tienen como fin mantener el alejamiento óptimo de las toberas. Los bloques 211 sirven además para recortar cualesquiera aristas secundarias que puedan quedar en el fondo del agujero de sondeo. Por cuanto el agujero de sondeo de bajo del fondo de la placa extrema 210 está sustancialmente encerrado, el fluido de perforación consumido sale sustancialmente por completo en torno al exterior de la barrena, perforando así un agujero ligeramente mayor que la periferia exterior 212 de la barrena. A fin de cortar el fondo del agujero a ese diámetro, las toberas 231 están formando ángulo hacia fuera, como se aprecia mejor en la Fig. 19, de manera que sus chorros cortan a la periferia exterior del fondo del agujero sustancialmente a la distancia

327082



de alojamiento determinada por los bloques 211. Así, las toberas 231 montadas en los agujeros 221 están formando ángulo hacia fuera de modo que el eje geométrico de la tobera 231 forma un ángulo de  $27^\circ$  con el eje geométrico de la barrena, como se ha ilustrado en la Fig. 19. Se emplean cuatro toberas 231 para producir chorros que cortan la periferia exterior del agujero. Las toberas 232 en los agujeros 222 están también ligeramente en ángulo hacia fuera, formando éstas un ángulo de  $7^\circ$  con el eje geométrico de la barrena, como se ha ilustrado en la Fig. 20. Los chorros procedentes de las toberas 232, en número de cuatro, chocan con el fondo del agujero en un radio exactamente dentro de la garganta cortada por las toberas 231. Por cuanto hay escasa diferencia entre los radios del lugar de impacto de los chorros procedentes de las toberas 232 y 231, se emplean cuatro toberas 232 a fin de proporcionar en el radio de impacto de sus chorros sustancialmente la misma velocidad de penetración que la de los chorros procedentes de las toberas 231. Los chorros procedentes de las toberas verticales 233 chocan con el siguiente radio más pequeño y se ha comprobado que tres toberas 233 satisfarán los requisitos de penetración en ese radio menor. En el siguiente radio más pequeño se emplean dos toberas 234, siendo el radio de las toberas 234 sustancialmente dos tercios del radio de las toberas 233. En un radio todavía más pequeño es suficiente una sola tobera 235 para desarrollar la velocidad de penetración necesaria igual, siendo el radio de la tobera 235 sustancialmente la mitad del radio de las toberas 234. Se ve así que las toberas 231 a 235 están situadas de modo que sus chorros



respectivos chocan con el fondo del agujero, tanto en número como en radio, para proporcionar una velocidad de penetración hacia abajo sustancialmente uniforme sobre el área en que inciden los chorros.

5                   En la barrena de las Figs. 15 a 21, el alejamiento se controla mediante la altura axial de los bloques 211. De acuerdo con las indicaciones anteriormente explicadas de la Fig. 7, la altura (o longitud axial) de los bloques 211, incluido el revestimiento duro 213, se  
10                   hace que esté comprendida en el margen de 12,7 milímetros a 31,7 milímetros, y de preferencia es de aproximadamente 25,4 milímetros. La barrena de las Figs. 15 a 21 se hace funcionar con fluido de perforación que contiene arena de, predominantemente, tamaños comprendidos entre los tamices  
15                   de 0,84 mm. a 0,42 mm de abertura de malla, en concentración entre el 3% y el 20% en volumen, y se prefiere usar entre el 5% y el 15% de arena.

                  Una meta importante en el diseño de una barrena de chorros es evitar la erosión de la propia barrena,  
20                   tanto por dentro como por fuera. El efecto del alejamiento en la erosión del exterior de la barrena se ha estudiado ya en relación con la Fig. 7. También se ha comprobado que tiene lugar una erosión externa excesiva cuando chorros sustancialmente verticales, tales como los que se  
25                   emplean en las barrenas de chorros de las Figs. 10 a 21, se colocan más próximos entre sí que a unos 9,5 milímetros entre líneas de centros. Por ejemplo, si una pluralidad de toberas están apiñadas próximas entre sí, se producirá erosión excesiva del cuerpo circundante de la barrena. Se  
30                   prefiere que las toberas estén distanciadas a más de 9,5

327082



milímetros entre centros, y que estén espaciadas a más de 9,5 milímetros desde la barra de alejamiento. Con ello se evita sustancialmente la erosión externa de la tobera, de la barra de alejamiento y del cuerpo de la barrena. A fin de hacer mínima la erosión interna, los circuitos de flujo de fluido interiores están diseñados para evitar variaciones bruscas en la dirección del fluido junto a las superficies interiores del cuerpo de la barrena. Así, por ejemplo las toberas 231 y 232 de la barrena de las Figs. 15 a 21 están situadas para eliminar la erosión interna, permitiendo el acceso directo del fluido interior a la entrada elíptica a cada tobera sin previo cambio de la dirección del fluido. Se prefiere situar las toberas de modo que estén espaciadas a más de 9,5 milímetros entre sí pero a menos de un espaciamiento tal que introdujese cambios bruscos en la dirección del flujo de fluido en el interior del cuerpo de la barrena.

Una característica importante de este invento radica en el hecho de que sobre la barrena de chorros de este invento gravita muy poco peso durante el funcionamiento. Se comprobó que la velocidad de perforación para una barrena del tipo ilustrado en las Figs. 15 a 21 se mantiene elevada cuando el peso de la barrena es menor de 125 kilogramos por centímetro de diámetro de la barrena, mientras que las barrenas mecánicas usuales precisan un peso muy superior de barrena a fin de cortar roca dura a velocidades razonables. La ausencia de cortadores mecánicos, junto con el bajo peso de la barrena, admite el uso de pares de torsión paralelamente bajos cuando se usan las barrenas de chorro de este invento. A modo de ejemplo, la



Fig. 9 muestra curvas de velocidades de penetración de ba  
rrena para diversos pesos de barrena sobre barrenas usua-  
les, en comparación con las correspondientes de las Figs.  
15 a 21. La curva 91 se ha tomado de una publicación de  
5 N.H. Van Lingen titulada "Botton Scouring - A Major Factor  
Governing Penetration Rate at Depth" en el JOURNAL OF  
PETROLEUM TECHNOLOGY, volumen 14, número 2, páginas 187 -  
196, Febrero de 1962. Esa curva se ha representado con pe  
sos por centímetro de diámetro de barrena como abscisas y  
10 corresponde a una barrena de arrastre de 31,7 milímetros  
experimental (llamada microbarrena) perforando en piedra  
caliza de densidad media (curva f de la Fig. 4 (a) de la  
publicación de Lingen). La curva 92 se ha tomado de la pá-  
gina 2622 del COMPOSITE CATALOGUE, edición de 1960-61, y  
15 corresponde a una barrena usual de 22,2 centímetros  
"Tri-cone" ("Tri-cono") perforando en granito gris, sien-  
do las abscisas de la curva kilogramos de peso por centí-  
metro de diámetro de la barrena. Se emplean usualmente ba  
rrenas de arrastre con menor peso de barrena que las ba  
20 rrenas de conos, debido a la mayor tendencia a quedad aga  
rradas en roca blanda, pero las barrenas de arrastre son  
sustancialmente ineficaces en roca dura, para lo que se pre  
cisan barrenas de cono o de rodillos. Cuando se emplea el  
presente invento, el peso aplicado a la barrena es muy ba  
25 jo, como por ejemplo de 89 kilogramos por centímetro de  
diámetro de la barrena. A manera de ejemplo, cuando se  
perfora con la barrena de chorros de las Figs. 15 a 21  
aquí descritas, operando a una presión de 350 kilogramos  
por centímetro cuadrado manométricos, con fluido acuoso  
30 conteniendo el 6% en volumen de arena de, predominantemen

327032



te, tamaños comprendidos entre los tamices de 0,84 a 0,42 milímetros de abertura de malla, y el 6% en peso de bento nita, la velocidad de penetración observada en granito gris fue de 19 metros por hora cuando el peso de la barrena era de 998 kilogramos y el diámetro de la barrena era de 11,75 centímetros. Se ve que el peso de barrena aplicado a la barrena de chorros de este invento, es muy sustancialmente inferior al usualmente aplicado a las barrenas mecánicas. Dado que las barrenas de chorros ilustradas en las Figs. 10 a 21 no efectúan sustancialmente corte mecánico alguno, sólo es necesario aplicar suficiente peso a la barrena para retener la barra de alejamiento inferior contra el fondo del agujero, siendo la velocidad de penetración sustancialmente independiente de que se aumente en cualquier medida el peso de la barrena. En consecuencia, la curva 93 para una barrena de chorros de este invento es sustancialmente horizontal y se ve que para las barrenas de chorros de este invento se logran velocidades de penetración sustancialmente superiores, en condiciones de pesos de barrena muy bajos. Se comprobó que empleando este invento puede mantenerse el peso de la barrena inferior a 125 kilogramos por centímetro de diámetro de la barrena, sin perjudicar apreciablemente la velocidad de perforación.

Se ha comprobado además que para una barrena de chorros similar a las aquí descritas, existe una velocidad óptima de rotación que da por resultado una velocidad máxima de penetración de la barrena. La Fig. 6 ilustra los resultados de ensayos con una barrena de 11,75 centímetros de diámetro similar en estructura a la repre-



sentada en las Figs. 11 a 14 y que tiene once toberas de 3,2 milímetros de diámetro cuando se perfora en granito gris a diversas velocidades de rotación y usando barro de perforación acuoso de densidad 1,3 kilogramos por litro,

5 incluyendo el 6% en volumen de arena predominantemente de tamaños comprendidos entre los tamices de 0,84 y 0,42 milímetros de abertura de malla. La velocidad de salida del flúido desde la tobera era de 235 metros/segundo, que es bastante superior a la velocidad de corte crítica mínima.

10 Se ve de la curva 68 de la Fig. 6 que las velocidades de rotación entre aproximadamente 20 r.p.m. y 60 r.p.m. dan por resultado altas velocidades de penetración. En consecuencia, las barrenas de chorros de este invento emplean una velocidad de rotación comprendida en el margen entre

15 aproximadamente 20 r.p.m. y aproximadamente 60 r.p.m., y se prefiere usar aproximadamente 40 r.p.m. para obtener mejores resultados. Ello contrasta con las barrenas mecánicas usuales para las cuales la velocidad de penetración continúa aumentado al aumentar la velocidad de rotación.

20 Como aquí se ha explicado, este invento proporciona un método y un aparato para la perforación de agujeros de sondeo sustancialmente por completo por medio de chorros hidráulicos de alta velocidad que tienen una velocidad que supera a la velocidad de corte crítica mínima.

25 Puesto que la velocidad de retirada del material que hace de blanco de los chorros aumenta rápidamente con la velocidad por encima del valor crítico, es ventajoso operar a velocidades sustancialmente superiores al valor crítico. En consecuencia, se prefiere operar con velocidades

30 de chorro que excenden de aproximadamente 198 metros por

327082



segundo. La diferencia de presiones a través de la tobera, que se precisa para lograr una velocidad de 198 metros por segundo, dependerá de la densidad del fluido de perforación empleado, pero se prefiere emplear una diferencia  
5 de presiones que excede de aproximadamente  $280 \text{ kg/cm}^2$  y se comprobó ser ventajoso operar con una diferencia de presiones de aproximadamente  $350 \text{ kg/cm}^2$  o superior.

Ciertos aspectos de este invento aquí expuestos, figuran expuestos en las solicitudes números 327.080  
10 y 327.081 y presentadas con igual fecha que ésta.

N O T A

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los siguientes:

15 1.- Un método de taladrar con ayuda de chorros hidráulicos el agujero de sondeo de un pozo a través de formaciones duras del subsuelo, que comprende hacer girar una barrena alrededor de un eje vertical en el fondo del agujero de sondeo, bombear un líquido de perforación  
20 cargado de material abrasivo por el tubo de perforación abajo en el pozo hasta la barrena giratoria, descargar una pluralidad de chorros hidráulicos del líquido de perforación a una velocidad que exceda de 195 metros por segundo hacia abajo desde la barrena giratoria contra el  
24

27.2.67.



fondo del agujero de sondeo para cortar un agujero de sondeo del diámetro deseado, descargándose dichos chorros desde la barrena a una distancia de 12,7 mm. a 31,7 mm. por encima del extremo inferior de la barrena, mantener el extremo inferior de la barrena en contacto con el fondo del agujero de sondeo, situándose dichos chorros de manera que incidan contra la formación a intervalos por toda la anchura del fondo del agujero de sondeo, lográndose de este modo sustancialmente la total penetración hacia abajo del fondo del agujero de sondeo por los chorros hidráulicos, y hacer circular el líquido de perforación y los fragmentos cortados arrastrados hacia arriba en torno del tubo de perforación hasta la parte alta del agujero de sondeo.

2.- Un método de taladrar con ayuda de chorros hidráulicos el agujero de sondeo de un pozo a través de formaciones duras del subsuelo, que comprende hacer girar una barrena en torno de un eje vertical en el fondo del agujero de sondeo, entregar un líquido de perforación cargado de abrasivo al tubo de perforación bajo una presión de al menos  $350 \text{ kg/cm}^2$  y hacia abajo, a través del tubo de perforación, a la barrena, descargar hacia abajo desde la barrena a un nivel de 12,7 mm. a 31,7 mm. por encima del extremo inferior de la barrena y a una velocidad de al menos 195 metros por segundo una pluralidad de chorros hidráulicos del líquido de perforación de manera que incidan sobre el fondo del agujero de sondeo, situándose dichos chorros hidráulicos de manera que incidan contra la formación a intervalos por toda la anchura del fondo del agujero de sondeo, lográndose así sustancialmente la to-

27.2.67.

327082



tal penetración hacia abajo del fondo del agujero de sondeo por los chorros hidráulicos, soportar la barrena sobre el fondo del agujero de sondeo con los chorros abandonando la barrena de 12,7 mm. a 31,7 mm. por encima del fondo del agujero de sondeo, y hacer circular el líquido de perforación hacia arriba en torno del tubo de perforación hasta la parte alta del agujero de sondeo.

3.- Un método de taladrar con ayuda de chorros hidráulicos el agujero de sondeo de un pozo a través de formaciones duras del subsuelo, que comprende hacer girar una barrena en torno de un eje vertical en el fondo del agujero de sondeo, entregar un líquido de perforación cargado de abrasivo al tubo de perforación bajo una presión de al menos 350 kg/cm<sup>2</sup> y hacia abajo, a través del tubo de perforación, a la barrena, descargar a un nivel de 12,7 mm. a 31,7 mm. por encima del extremo inferior de la barrena y a una velocidad de al menos 195 metros por segundo una pluralidad de chorros hidráulicos de líquido de perforación hacia abajo de manera que incidan sobre el fondo del agujero de sondeo, situándose dichos chorros hidráulicos de modo que incidan contra la formación a intervalos por toda la anchura del fondo del agujero de sondeo, lográndose así sustancialmente la total penetración hacia abajo del fondo del agujero de sondeo por los chorros hidráulicos, soportar la barrena sobre el fondo del agujero de sondeo con los chorros abandonando la barrena de 12,7 mm. a 31,7 mm. por encima del fondo del agujero de sondeo, empujar la barrena contra el fondo del agujero de sondeo con una fuerza de menos de 125 kg. por cm de diámetro del agujero de sondeo para mantener el nivel de descarga de

30  
27.2.67.

327082



los chorros hidráulicos de 12,7 mm. a 31,7 mm. por encima del fondo del agujero de sondeo, y hacer circular el líquido de perforación hacia arriba en torno del tubo de perforación hasta la parte alta del agujero de sondeo.

5

4.- Un método según la reivindicación 3, en el que el líquido de perforación es una suspensión acuosa de bentonita y arena, que contiene de 2 a 10% de bentonita y de 5 a 15% de arena.

10

5.- Un método según la reivindicación 3, en el que la barrena es hecha girar a una velocidad de aproximadamente 20 a 30 revoluciones por minuto.

6.- Un método de taladrar con ayuda de chorros hidráulicos el agujero de sondeo de un pozo.

15

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y para los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de cuarenta y seis hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid,

1967 FEB 27

P. A.  
Alvaro de Eizabur  
Por Fidei

G.D.S.  
27.2.67.

327082

327082

U.S. Pat. No. 3,270,822

Fig. 1

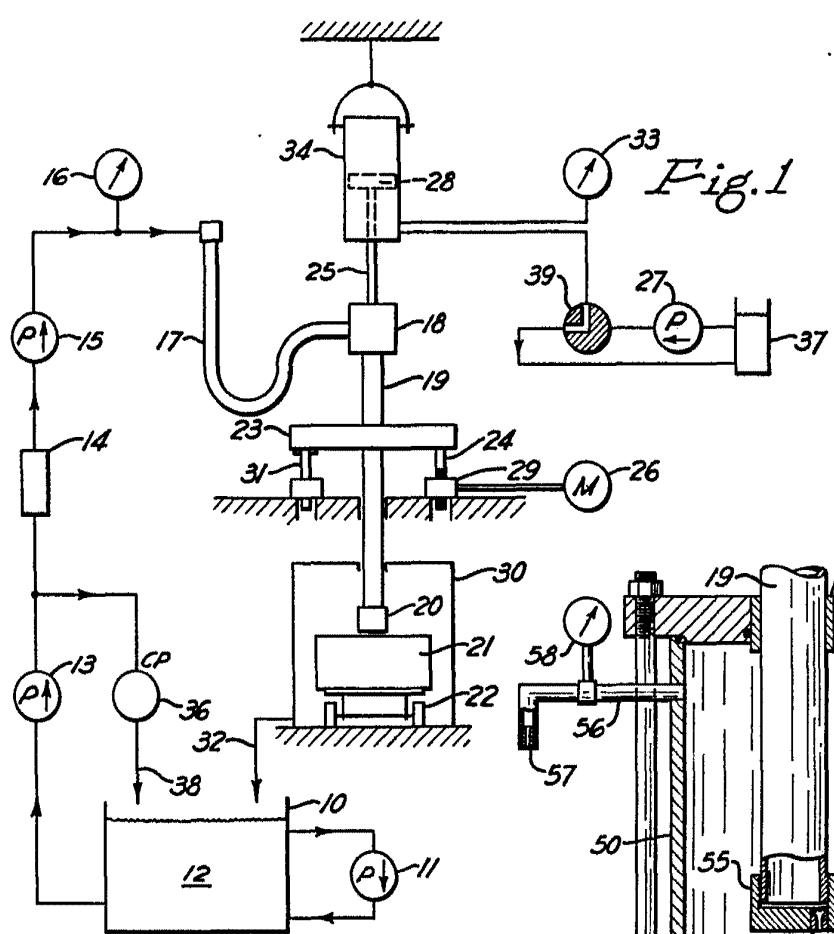


Fig. 1

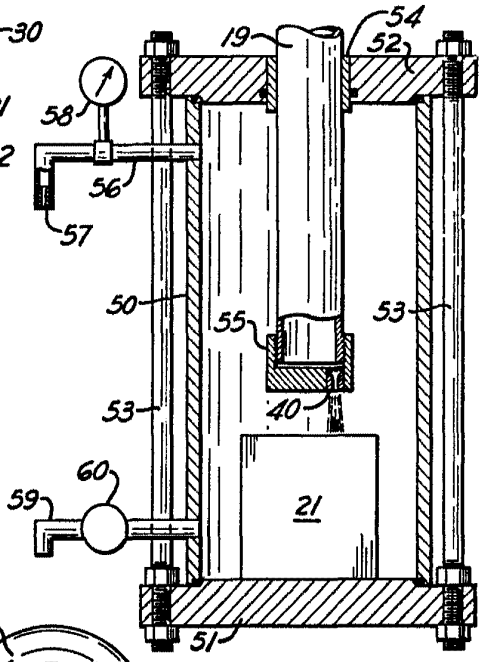


Fig. 2

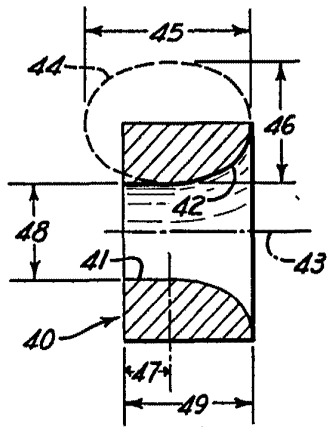


Fig. 3

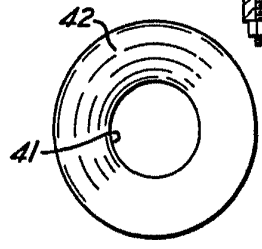
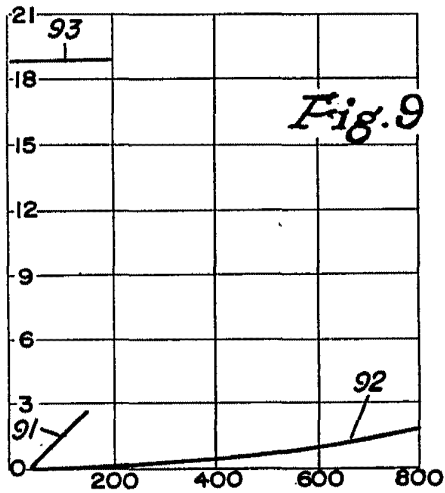
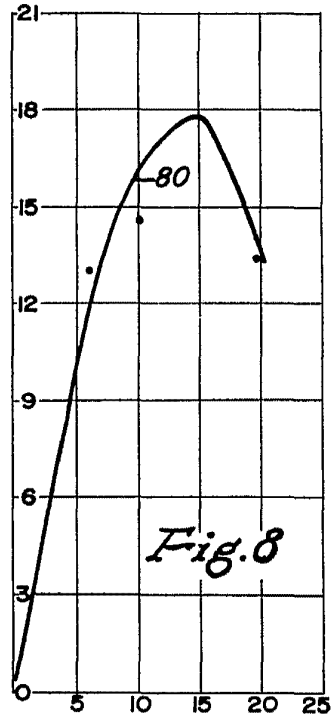
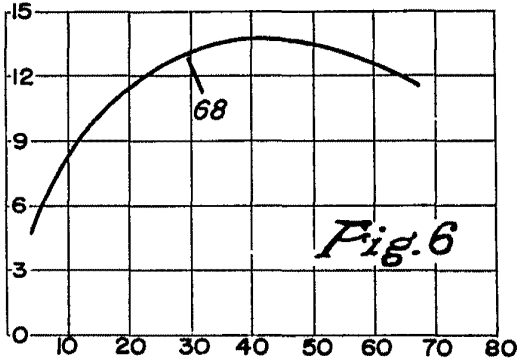
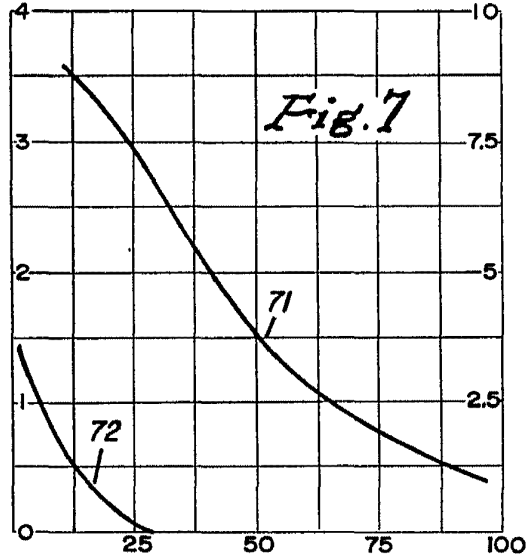
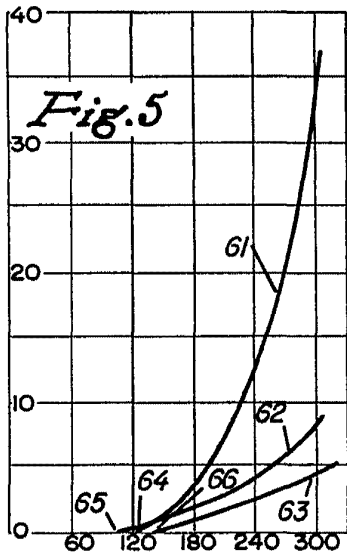


Fig. 4

Alberto de Elizaburu  
Por Poder

327082 327082 78



Alberto de Elaburu  
Por Prior.

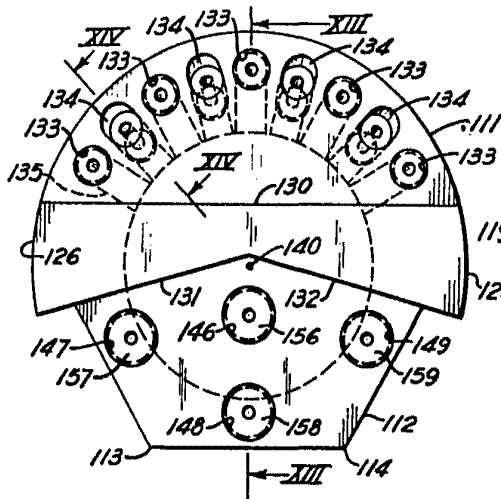


Fig. 10

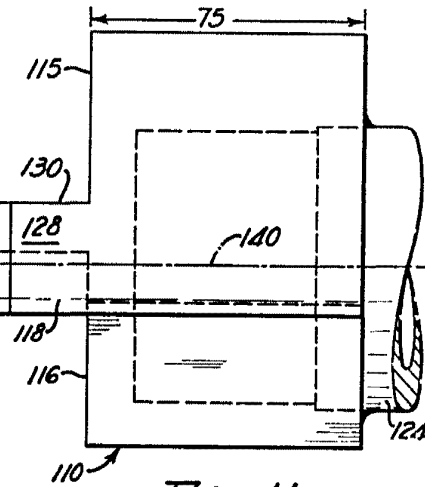


Fig. 11

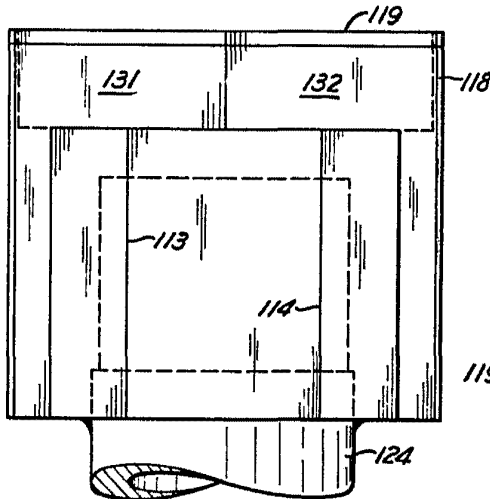


Fig. 12

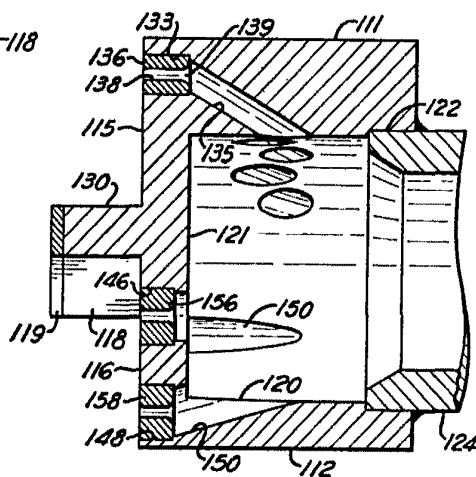


Fig. 13

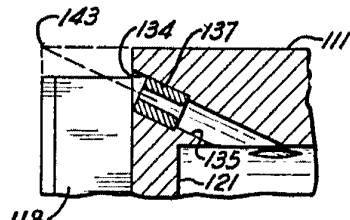
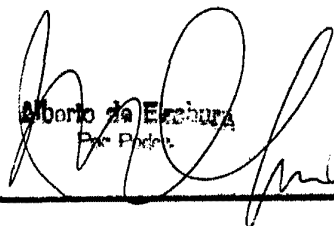


Fig. 14

Alberto de Ezechura  
 Pat. Pending



327082

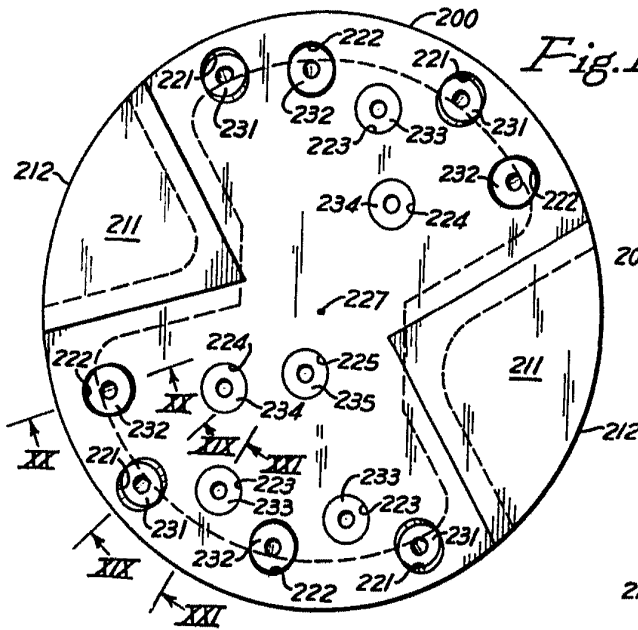


Fig. 15

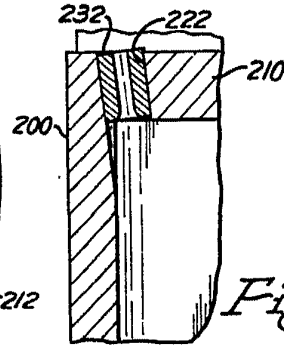


Fig. 20

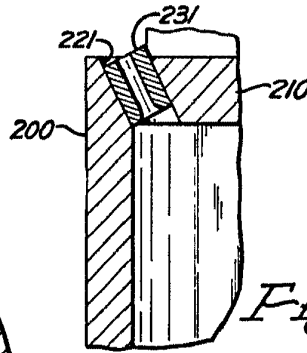


Fig. 19

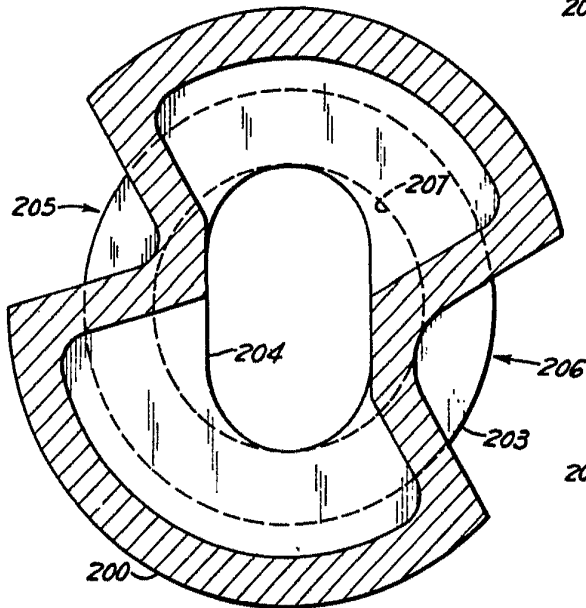


Fig. 18

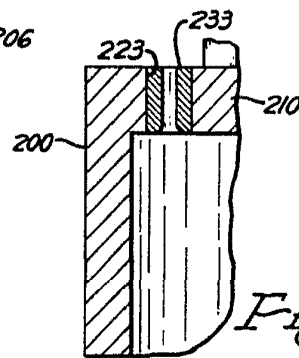
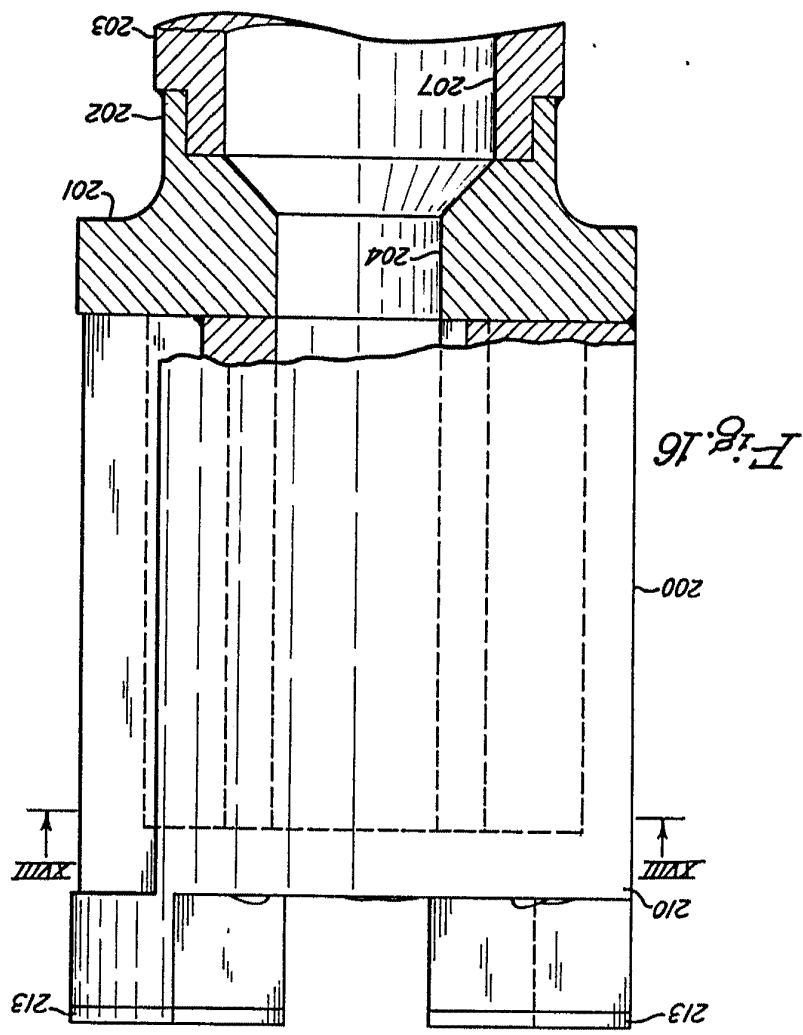


Fig. 21

327082

Alberto de Ercowitz  
Per Pratic.

*Handwritten signature*



327082



327082 18



327082 8

327082

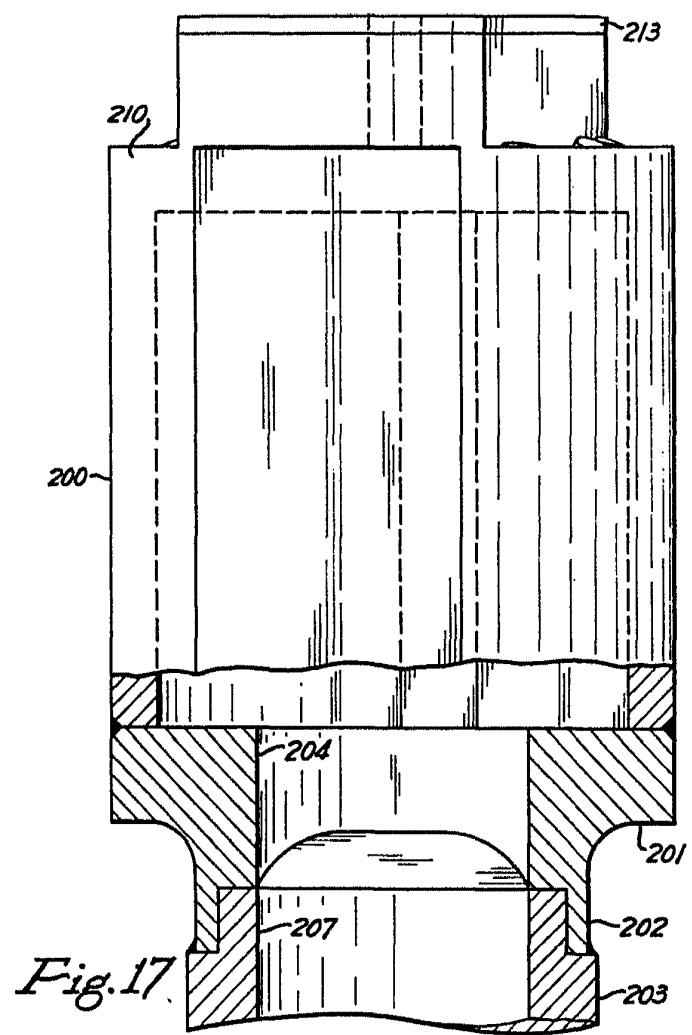


Fig. 17

Alberto J. ...  
*[Handwritten signature]*