



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 265 925**

51 Int. Cl.:  
**B05C 1/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **00916244 .7**

86 Fecha de presentación : **08.03.2000**

87 Número de publicación de la solicitud: **1165249**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **02.01.2002**

54 Título: **Método y aparato para la formación de chorros de fluido.**

30 Prioridad: **24.03.1999 US 275520**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**01.03.2007**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**01.03.2007**

73 Titular/es: **FLOW INTERNATIONAL CORPORATION**  
**23500 64th Avenue South**  
**Kent, Washington 98032, US**

72 Inventor/es: **Hashish, Mohamed, A.;**  
**Craigen, Steven, J.;**  
**Sciulli, Felice, M. y**  
**Baba, Yasuo**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 265 925 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Método y aparato para la formación de chorros de fluido.

### Campo técnico

Esta invención se refiere a los métodos y dispositivos para generar chorros de fluido a alta presión, y más particularmente, a los métodos y dispositivos para generar chorros de fluido que tienen un nivel controlado de coherencia.

### Antecedentes de la invención

Los chorros de fluido convencionales han sido utilizados para limpiar, cortar o tratar de otra manera sustratos por presurización y enfocar chorros de agua u otros fluidos hasta  $6.895 \times 10^8$  Pa (100.000 psi) y dirigir los chorros contra los sustratos. Los chorros de fluido pueden tener una variedad de formas y de tamaños de sección transversal, dependiendo de la aplicación concreta. Por ejemplo, los chorros pueden tener una forma de sección transversal relativamente pequeña, redonda, para cortar los sustratos y pueden tener una forma de sección transversal relativamente mayor, y/o no redonda, para limpiar o tratar de otra forma la superficie de los sustratos.

Una desventaja de los chorros de fluido convencionales es que pueden desgarrar o deformar ciertos materiales, tales como la fibra de vidrio, las telas y los plásticos frágiles. Una desventaja adicional es que la efectividad de los chorros de fluido convencionales puede ser particularmente sensible a la distancia entre el sustrato y la boquilla a través de la cual sale el fluido. Por consiguiente, puede resultar difícil tratar uniformemente los sustratos que tienen una topografía superficial variable. Puede ser también difícil usar el mismo aparato de chorro de fluido para tratar una variedad de sustratos diferentes. Todavía es una dificultad adicional que algunas boquillas convencionales de chorro de fluido, particularmente las de chorros de fluido no redondos, pueden ser difíciles o caras de fabricar.

Por consiguiente, hay necesidad en la técnica de un aparato mejorado de chorro de fluido que sea relativamente simple de fabricar y que sea capaz de cortar o de tratar de otra manera una variedad de sustratos sin que sea excesivamente sensible a la distancia que separa la boquilla y el sustrato. La presente invención satisface estas necesidades, y proporciona ventajas adicionales al respecto.

En la solicitud de patente europea EP 382 319 A2 se revela un método y un aparato para perforar materiales frágiles con chorros de agua de alta velocidad cargados de productos abrasivos. En ella se revela un sistema de chorros abrasivos para cortar materiales frágiles. Una característica del sistema descrito es un conjunto de boquilla productora de chorros que incluye medios para inducir la turbulencia en el líquido de formación de chorro durante el periodo en el cual el chorro inicialmente impacta en el material frágil de manera que se reducen las tensiones de impacto en el material. Un segundo elemento descrito en la misma es un dispositivo suplementario de aspiración, preferiblemente en forma de una segunda boquilla dimensionado para la máxima aspiración, el cual mantiene una velocidad de alimentación de abrasivo constante en el conjunto de boquilla de corte durante la fase de inducción de turbulencia de la operación.

En la solicitud de patente europea EP 391 500 A2 se revela un conjunto de boquilla de chorro abrasivo

para una perforación de pequeños orificios y corte de canales delgados. Tales conjuntos incluyen una región de mezcla en la cual se arrastran las partículas abrasivas en un chorro de agua a alta velocidad formado al empujar al agua a alta presión a través de un orificio de formación de chorro. Entre las características únicas del conjunto de boquilla están un camino de abrasivo con conicidad hacia el interior precisamente aguas arriba de la región de mezclado, conductos de flujo inmediatamente aguas arriba y aguas abajo de la región de mezclado, y pasos de purga aguas arriba de la región de mezclado, lo cual previene el flujo inverso de polvo abrasivo hacia el orificio de formación de chorro.

En la patente de EEUU 5.951.149 se describe una cabeza de corte de un conjunto de corte de chorro de agua que utiliza el agua u otro medio líquido a una presión ultra alta, incluyendo la cabeza de corte un conjunto dentro de un cuerpo alargado que tiene un hueco central a lo largo de su eje y que incluye una boquilla de descarga en el extremo distal del conjunto.

En la patente de EEUU 4.555.872 se revela un proceso de chorro de fluido de alta velocidad que contiene partículas. También se describe en ese documento el proceso para introducir las partículas sólidas en las corrientes de fluido bajo un control de actuación.

### Resumen de la invención

Brevemente, la presente invención proporciona un método y un aparato según las reivindicaciones 19 y 1 respectivamente. En una realización de la invención, el chorro de fluido puede incluir dos fluidos; un fluido primario y un fluido secundario. El fluido primario puede pasar a través de un orificio de boquilla y al interior de un conducto aguas abajo. Al menos uno de la boquilla y el conducto puede tener una abertura configurada para ser acoplada a una fuente del fluido secundario de tal modo que el fluido secundario sea arrastrado con el fluido primario y los dos fluidos salgan del conducto a través de una abertura de salida.

En un aspecto de esta realización, la presión del fluido primario y/o del secundario puede ser controlada para producir un efecto deseado. Por ejemplo, el fluido secundario puede tener una presión relativamente baja respecto a la presión del fluido primario para aumentar la coherencia del chorro de fluido, o el fluido secundario puede tener una presión más alta para disminuir la coherencia del chorro de fluido. En otro aspecto de esta realización, se puede invertir el flujo del fluido secundario, de tal manera que sea empujado a través de la abertura de salida del conducto y salga a través de la abertura.

En un método según una realización de la invención, el chorro de fluido que sale por el conducto puede ser dirigido hacia un material fibroso para cortar el material. En otra realización de la invención, el conducto puede ser giratorio y el método puede incluir hacer girar el conducto para dirigir el chorro de fluido hacia la pared de una abertura cilíndrica, tal como el hueco de un bloque de motor de automóvil.

Todavía en realizaciones adicionales, se pueden usar otros dispositivos para manipular la turbulencia del fluido que pasa a través de la boquilla y por tanto la coherencia del chorro de fluido resultante. Por ejemplo, se pueden colocar generadores de turbulencia tales como un orificio adicional de boquilla, un saliente, o un conducto de flujo cónico, aguas arriba

del orificio para aumentar la turbulencia del flujo que entra en el orificio de la boquilla.

#### Breve descripción de los dibujos

La Figura 1A es una vista en alzado lateral, parcialmente en corte transversal, parcialmente esquemática, de un aparato según una realización de la invención.

La Figura 1B es una vista ampliada en alzado lateral, en corte transversal, de una parte del aparato mostrado en la Figura 1A.

La Figura 2 es una vista en alzado lateral, parcialmente en corte transversal, de un aparato que tiene un alojamiento de conducto de descarga según otra realización de la invención.

La Figura 3 es una vista en alzado lateral, parcialmente en corte transversal, de un aparato que tiene un flujo secundario introducido en dos emplazamientos separados axialmente según otra realización más de la invención.

La Figura 4A es una vista en alzado frontal, parcialmente en corte transversal, de un aparato que tiene un conjunto desmontable de boquilla y conducto según todavía otra realización de la invención.

La Figura 4B es una vista en alzado lateral, parcialmente en corte transversal, del aparato mostrado en la Figura 4A.

La Figura 5 es una vista en alzado lateral, parcialmente en corte transversal, de un aparato que tiene una pluralidad de boquillas rotativas según otra realización adicional de la invención.

La Figura 6 es una vista en alzado lateral, parcialmente en corte transversal, de un aparato que tiene un conducto cónico divergente según todavía otra realización de la invención.

La Figura 7 es una vista en alzado lateral, parcialmente en corte transversal, de un aparato que tiene una boquilla aguas arriba y otra boquilla aguas abajo colocada axialmente aguas abajo de la boquilla de aguas arriba según todavía otra realización de la invención.

La Figura 8A es una vista en alzado lateral, en corte transversal, de un cartucho de boquilla según todavía otra realización de la invención.

La Figura 8B es una vista en alzado lateral, en corte transversal, de un cartucho de boquilla según una primera realización alternativa del cartucho de boquilla mostrado en la Figura 8A.

La Figura 8C es una vista en alzado lateral, en corte transversal, de un cartucho de boquilla según una segunda realización alternativa del cartucho de boquilla mostrado en la Figura 8A.

La Figura 8D es una vista en alzado lateral, en corte transversal, de un cartucho de boquilla según una tercera realización alternativa del cartucho de boquilla mostrado en la Figura 8A.

La Figura 9 es una vista en alzado lateral, en corte transversal, de un aparato que tiene un conducto cónico desviado contra un soporte de boquilla según otra realización más de la invención.

La Figura 10 es una vista en alzado lateral, en corte transversal, de un aparato que tiene boquillas de aguas arriba y de aguas abajo y aberturas de aguas arriba y de aguas abajo para provocar un flujo secundario según otra realización adicional todavía de la invención.

#### Descripción detallada de la invención

En general, los métodos y dispositivos convencionales de chorros de fluido a alta presión han sido di-

rigidos a lanzar un fluido a alta presión a través de un orificio de la boquilla para producir chorros de líquido altamente focalizados o coherentes que pueden cortar atravesando o tratar materiales seleccionados. Por contraste, un aspecto de la presente invención incluye controlar la coherencia del chorro de fluido manipulando el nivel de turbulencia del fluido aguas arriba y/o aguas abajo del orificio de la boquilla. Se puede manipular el nivel de turbulencia con un generador de turbulencia o unos medios de generación de turbulencia que pueden incluir, por ejemplo, un segundo orificio aguas arriba del orificio de la boquilla o un saliente que se extiende en el flujo aguas arriba del orificio de la boquilla. Alternativamente, los medios de generación de turbulencia pueden incluir una o varias aberturas aguas abajo del orificio de la boquilla a través de las cuales bien se bombea o bien se evacua un segundo fluido. Se puede seleccionar la presión del segundo fluido bien para aumentar o bien para disminuir la coherencia del chorro de fluido resultante. Por consiguiente, la descripción siguiente va dirigida a una variedad de dispositivos y métodos de control de la coherencia, incluyendo medios de generación de turbulencia que pueden reducir la coherencia del chorro de fluido, así como medios para aumentar la coherencia del chorro de fluido.

En las Figuras 1A y 1B se muestra un aparato 10 de chorro de fluido según una realización de la invención. El aparato 10 incluye un conducto 40 de suministro que proporciona un fluido primario a una boquilla 30. El aparato 10 puede incluir además un generador 75 de turbulencia, el cual, en un aspecto de esta realización, incluye una abertura 22 de flujo secundario que arrastra un fluido secundario con el fluido primario. Los fluidos primario y secundario pueden pasar juntos a un conducto 50 de descarga axialmente alargado y salir del conducto 50 de descarga en forma de un chorro 90 de fluido que impacta con un sustrato 80 situado debajo.

Más particularmente, el aparato 10 puede incluir un suministro 41 de fluido primario (mostrado esquemáticamente en la Figura 1A) acoplado al conducto 40 de suministro. El suministro 41 de fluido primario puede proporcionar un fluido en fase de gas, tal como aire, o un fluido en fase de líquido, tal como agua, disolución salina, u otros fluidos adecuados. El suministro 41 de fluido primario puede incluir también medios de presurización, tales como una bomba con un intensificador u otro dispositivo de alta presión, para presurizar el fluido primario hasta  $6.895 \times 10^8$  Pa (100.000 psi) y por encima. Por ejemplo, bombas de accionamiento directo capaces de generar presiones hasta  $3.447 \times 10^8$  Pa (50.000 psi) y bombas con intensificadores capaces de generar presiones hasta  $6.895 \times 10^8$  Pa (100.000 psi) y superiores se encuentran disponibles en Flow International Corporation de Kent, Washington, o Ingersoll-Rand de Baxter Springs, KS. La presión y la bomba concretas escogidas pueden depender de las características del sustrato 80 y del efecto pretendido con el chorro 90 de fluido sobre el sustrato 80, como se tratará con mayor detalle más adelante.

El conducto 40 de suministro está colocado aguas arriba de la boquilla 30. En una realización, la boquilla 30 puede ser soportada respecto al conducto 40 de suministro por un soporte 20 de boquilla. Un retén 21 puede encajar mediante rosca el conducto 40 de suministro y desviar el soporte 20 de boquilla (con la

boquilla 30 instalada) en encaje con el conducto 40 de suministro. El soporte 20 de boquilla puede incluir un conducto de paso 27 que adapta la boquilla 30 y dirige el fluido primario a través de la boquilla 30. Un cierre hermético 35 anular de la boquilla (Figura 1B) puede cerrar la interfaz entre la boquilla 30 y el soporte 20 de la boquilla.

La boquilla 30 puede tener un orificio 33 de boquilla (Figura 1B) que se extiende a través de la boquilla desde una abertura 31 entrada a una abertura 32 de salida. En una realización, el orificio 33 de la boquilla puede tener una forma generalmente asimétrica en su sección transversal que se extiende desde la abertura 31 de entrada a la abertura 32 de salida, y en otras realizaciones, una o varias partes del orificio 33 de la boquilla pueden tener formas de sección transversal generalmente elípticas u otras para generar chorros de fluido que tengan formas de sección transversal asimétricas correspondientes. La boquilla 30 se puede fabricar de zafiro, diamante, u otro material duro que pueda resistir las presiones altas y las tensiones creadas por el fluido primario a alta presión.

En una realización, una región de arrastre 59 (Figura 1A) se sitúa aguas abajo de la boquilla 30. En un aspecto preferido de esta realización, la región de arrastre 59 tiene un área de flujo que es mayor que la del orificio 33 de la boquilla para permitir el arrastre del fluido secundario a través de las aberturas 22 de flujo secundario. En la realización mostrada en la Figura 1A, cuatro aberturas 22 de flujo secundario (tres de las cuales son visibles en la Figura 1A) están espaciadas entre sí a aproximadamente el mismo emplazamiento axial respecto a la boquilla 30. En realizaciones alternativas, se puede colocar más o menos aberturas 22 de flujo secundario que tengan la misma u otras formas de sección transversal en cualquier lugar a lo largo del conducto de flujo que se extiende aguas abajo del orificio 32 de salida. Las aberturas 22 de flujo secundario pueden estar orientadas de forma generalmente perpendicular a la dirección del flujo a lo largo de la región de arrastre 59 (como se muestra en la Figura 1A), o con un ángulo agudo u obtuso respecto a la dirección del flujo, según se trata con mayor detalle a continuación haciendo referencia a la Figura 3.

En una realización la región radialmente hacia fuera de las aberturas 22 de flujo secundario se puede encerrar con un distribuidor 52 para distribuir de manera más uniforme el fluido secundario a las aberturas 22 de flujo secundario. El distribuidor 52 puede incluir una entrada 56 del distribuidor que está acoplada al suministro 51 de fluido secundario (mostrado esquemáticamente en la Figura 1A). En una realización, el suministro de fluido secundario 51 puede proporcionar al distribuidor 52 un gas, tal como aire, oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, u otro gas adecuado. En otras realizaciones, el suministro 51 de fluido secundario puede proporcionar un líquido al distribuidor 52. En cualquier realización, se puede seleccionar el fluido secundario para que tenga el efecto deseado en la coherencia del chorro 90 de fluido, como se trata con mayor detalle a continuación.

El conducto 50 de descarga, situado aguas abajo de la región 59 de arrastre, puede recibir los fluidos primario y secundario para formar el chorro 90 de fluido. Por consiguiente, el conducto 50 de descarga puede tener una boca 54 aguas arriba colocada aguas abajo de las aberturas 22 de flujo secundario. El con-

ducto 50 de descarga puede incluir además una boca 55 aguas abajo a través de la cual sale el chorro 90 de fluido, y un canal 53 que se extiende entre la boca 54 aguas arriba y la boca 55 aguas abajo. Se puede conectar el conducto 50 de descarga al retén 21 por cualquiera de los diversos medios convencionales, incluyendo adhesivos, y puede incluir materiales (tales como acero inoxidable) que sean resistentes a las fuerzas de desgaste del chorro 90 de fluido cuando el chorro 90 de fluido pasa a través del conducto 50 de descarga.

En una realización, el área de flujo a través del canal 53 del conducto 50 de descarga es mayor que el diámetro menor del orificio 33 de la boquilla a través de la boquilla 30, para permitir un área de flujo suficiente para que el fluido primario arrastre al fluido secundario. Por ejemplo, el orificio 33 de la boquilla puede tener un diámetro mínimo comprendido entre 0,0762 mm y 1,27 mm (0,003 pulgadas y 0,050 pulgadas) y el conducto 50 de descarga puede tener un diámetro mínimo comprendido entre 0,254 mm y 2,54 mm (0,01 pulgadas y 0,10 pulgadas). El conducto 50 de descarga puede tener una longitud total (entre la boca 54 de aguas arriba y la boca 55 de aguas abajo) comprendida entre 10 y 200 veces el diámetro medio de la boca de aguas abajo del conducto 50 de descarga, para permitir un mezclado suficiente del fluido secundario con el fluido primario. Como se usa aquí, el diámetro medio de la boca 55 de aguas abajo se refiere a la dimensión lineal que, elevada al cuadrado, multiplicada por pi (aproximadamente 3,1415) y dividida por cuatro, equivale al área de flujo de la boca 55 de aguas abajo.

La geometría del aparato 10 y las características de los fluidos primario y secundario se pueden seleccionar también para producir un efecto deseado en el sustrato. Por ejemplo, cuando se usa el aparato 10 para cortar materiales fibrosos, el fluido primario puede ser agua a una presión comprendida entre unos  $1.724 \times 10^8$  Pa (25.000 psi) y unos  $6.895 \times 10^8$  Pa (100.000 psi) (preferiblemente de unos  $3.792 \times 10^8$  Pa (55.000 psi)) y el fluido secundario puede ser aire a una presión comprendida entre la presión ambiente (preferida) y unos  $6.895 \times 10^4$  Pa (10 psi). Cuando el diámetro mínimo del orificio 33 de la boquilla está comprendido entre unos 0,127 mm (0,005 pulgadas) y unos 0,508 mm (0,020 pulgadas) (preferiblemente unos 0,1778 mm (0,007 pulgadas), el diámetro mínimo del conducto 50 de descarga puede ser aproximadamente entre 0,254 mm (0,01 pulgadas) y 2,54 mm (0,10 pulgadas), (preferiblemente unos 0,508 mm (0,020 pulgadas), y la longitud del conducto 50 de descarga puede estar comprendida entre unos 2,54 cm y 12,7 cm (aproximadamente 1,0 y 5,0 pulgadas) (preferiblemente unos 5,08 cm (2,0 pulgadas).

Alternativamente, cuando se usa el aparato 10 para martillar un sustrato de aluminio, el fluido primario puede ser agua a una presión comprendida entre unos  $6.895 \times 10^7$  Pa (10.000 psi) y unos  $6.895 \times 10^8$  Pa (100.000 psi) (preferiblemente unos  $3.103 \times 10^8$  Pa (45.000 psi)) y el fluido secundario puede ser agua a una presión comprendida entre la presión ambiente y unos  $6.895 \times 10^5$  Pa (100 psi), preferiblemente de unos  $4.1369 \times 10^5$  Pa (60 psi), descargado a un caudal comprendido entre unos 0,189271 litros por minuto (l/min) (0,05 galones por minuto (gpm)) y unos 0,89271 litros por minuto (l/min) (0,5 gpm), (preferiblemente unos 0,3785 l/min (0,1 gpm)). El diáme-

tro mínimo del orificio 33 de la boquilla puede estar comprendido entre unos 0,124 mm (0,005 pulgadas) y unos 0,508 mm (0,020 pulgadas) (preferiblemente unos 0,254 mm (0,010 pulgadas), el conducto 50 de descarga puede tener un diámetro comprendido entre unos 0,381 mm (0,015 pulgadas) y unos 1,778 mm (0,2 pulgadas) (preferiblemente unos 0,762 mm (0,03 pulgadas)) y una longitud comprendida entre unos 9,525 mm (0,375 pulgadas) y unos 76,2 cm (30 pulgadas) (preferiblemente unos 10,16 cm (4,0 pulgadas)). Una distancia 60 de separación entre el sustrato 80 y la boca 55 de aguas abajo del conducto 50 puede estar comprendida entre unos 2,54 cm (1,0 pulgadas) y unos 25,4 cm (10 pulgadas) (preferiblemente unos 76,2 mm (3,0 pulgadas)).

Se puede controlar el caudal de masa y la presión del fluido secundario respecto al fluido primario para afectar a la coherencia del chorro 90 de fluido. Por ejemplo, en los casos en los que el fluido primario es agua a una presión comprendida entre  $6.895 \times 10^7$  Pa y  $6.895 \times 10^8$  Pa (10.000 psi y 100.000 psi) y el fluido secundario es aire a una presión ambiente o a una presión comprendida entre aproximadamente 20684 Pa (3 psi) y aproximadamente  $1,39875 \times 10^5$  Pa (20 psi), el caudal del fluido secundario puede estar comprendido entre aproximadamente el 1% y aproximadamente el 20% del caudal del fluido primario. Con estos caudales, el fluido secundario puede disminuir la coherencia del chorro 90 de fluido, haciendo que cambie de un chorro 90 de fluido de altamente focalizado a un chorro de fluido más disperso (o menos coherente) que incluye gotitas de fluido discretas.

En cualquiera de los métodos antecedentes y subsiguientes, se puede mover el aparato 10 respecto al sustrato 80 (o viceversa) para hacer avanzar el chorro 90 de fluido a lo largo de un camino seleccionado sobre la superficie del sustrato 80. Se puede controlar la velocidad, tamaño, forma y espaciado de las gotitas que forman el chorro 90 de fluido para producir un efecto deseado (es decir, corte, fresado, martillado, o rugosificación) en el sustrato 80.

Una ventaja del chorro 90 disperso es que puede cortar de manera más efectiva a través de determinados materiales fibrosos, tales como la tela, el fieltro, y la fibra de vidrio, así como determinados materiales frágiles, tales como algunos plásticos. Por ejemplo, el chorro de fluido disperso puede cortar a través de materiales fibrosos sin dejar bordes bastos que son típicos de los cortes realizados con los chorros convencionales.

Otra ventaja es que se pueden mantener las características del chorro 90 de fluido disperso durante una mayor distancia aguas abajo de la boca 55 de aguas abajo del conducto 50 de descarga, aun cuando el propio chorro de fluido puede ser divergente. Por ejemplo, una vez que el chorro 90 de fluido ha arrastrado al fluido secundario en el ambiente controlado dentro del conducto 50, puede ser menos propenso a arrastrar cualquier cantidad de aire adicional del ambiente después de abandonar el conducto 50 y puede ser por tanto más estable. Por consiguiente, el chorro 90 de fluido puede ser efectivo a lo largo de un mayor intervalo de distancias 60 de separación. Este efecto es particularmente ventajoso cuando se usa el mismo aparato 10 para tratar los diversos sustratos 80 situados a diferentes distancias 60 de separación de la boca 55 de aguas abajo.

Otra ventaja adicional todavía del aparato 10 es que las boquillas 30 existentes que producen convencionalmente chorros coherentes se pueden instalar en el aparato para producir chorros 90 de fluido dispersos sin alterar la geometría de las boquillas 30 existentes. Por consiguiente, los usuarios pueden generar chorros coherentes y dispersos con las mismas boquillas.

El aparato 10 mostrado en la Figura 1 se puede usar según una variedad de métodos para lograr una variedad de resultados correspondiente. Por ejemplo, como se tarta anteriormente, se puede introducir el fluido secundario en el chorro 90 de fluido para dispersar el chorro 90 de fluido y aumentar la efectividad con la cual el chorro corta a través de los materiales fibrosos. En otro ambiente, se puede introducir el fluido secundario a presiones inferiores (en el intervalo comprendido entre aproximadamente 2 psi y 3 psi en una realización) para aumentar la coherencia del chorro 90 de fluido. En un aspecto de esta realización, el fluido secundario tiene generalmente una viscosidad inferior a la del fluido primario y puede formar un amortiguador anular entre el fluido primario y las paredes del conducto 50. El amortiguador puede reducir el rozamiento entre el fluido primario y las paredes del conducto y en consecuencia reducir la tendencia a que se disperse el fluido primario.

En otra realización todavía, el fluido secundario puede ser un fluido criogénico, tal como nitrógeno líquido, o se puede enfriar a temperaturas por debajo del punto de congelación del fluido primario, de manera que cuando se mezcla el fluido primario y el secundario, se pueden congelar partes del fluido primario y formar partículas congeladas. Las partículas congeladas pueden ser utilizadas para martillar, rugosificar o tratar de otra manera la superficie del sustrato 80.

En otra realización todavía, se puede hacer pulsatorio el flujo del fluido secundario y/o del fluido primario para formar un chorro que tiene ráfagas intermitentes de alta energía. Se puede dar impulsos al fluido regulando bien el caudal másico o bien la presión del fluido. En un aspecto adicional de esta realización, se puede seleccionar la frecuencia de los impulsos dados al fluido (en base a la longitud del conducto 50 de descarga) para producir armónicos, que hacen que el chorro 90 de fluido entre en resonancia y con ello aumente la energía de cada impulso.

Todavía en otra realización adicional, el suministro 51 de fluido secundario se puede hacer funcionar en inversión (es decir, como una fuente de vacío en vez de una bomba) para extraer un vacío hacia arriba a través de la boca 55 de aguas abajo del conducto 50 de descarga y a través de las aberturas 22. Se ha observado que el efecto de extraer un vacío de la boca 55 de aguas abajo a través del conducto 50 de descarga es similar al del flujo de arrastre a través de las aberturas 22 de flujo secundario y se puede bien reducir o bien aumentar la coherencia del chorro 90 de fluido. Por ejemplo, en una realización, se ha observado que las presiones de vacío comprendidas entre aproximadamente 20 y 26 pulgadas (508-662 mm) de mercurio (por debajo de la presión atmosférica) aumentan la coherencia del chorro 90 de fluido. A estas presiones, el vacío puede reducir la cantidad de aire en la región 59 de arrastre y puede reducir en consecuencia el rozamiento entre el fluido primario y el aire en la región 59 de arrastre. A otras presiones de vacío entre la presión atmosférica y 20 pulgadas (508 mm) de mercurio

por debajo de la presión atmosférica, se puede reducir la coherencia del chorro 90 de fluido.

Todavía en otra realización, se puede seleccionar el fluido secundario para que tenga un efecto predefinido en el sustrato 80. Por ejemplo, en una realización, el fluido secundario puede ser un líquido y el chorro 90 resultante de fluido se puede usar para martillar o deformar de otra manera el sustrato 80. Alternativamente, el fluido secundario puede ser un gas y el chorro 90 resultante de fluido se puede usar para martillar o para cortar, dar textura superficial, u otras operaciones que incluyen eliminar material del sustrato 80.

La Figura 2 es una vista en alzado lateral en sección transversal de un aparato 110 de chorro de fluido que tiene un soporte 120 de boquilla según otra realización de la invención. Como se muestra en la Figura 2, el soporte 120 de boquilla tiene unas superficies superiores 125 con pendiente hacia abajo para encajar con las correspondientes superficies inferiores 126 con pendiente hacia debajo de un conducto 140 de suministro. El soporte 120 de boquilla se mantiene en su sitio contra el conducto 140 de suministro con un retén 121. El retén 121 forma un distribuidor 152 entre una superficie interior del retén y la superficie exterior del soporte 120 de boquilla. Las aberturas 122 de flujo secundario dirigen el fluido secundario desde el distribuidor 152 a una región de arrastre 159 aguas abajo de la boquilla 30. El distribuidor 152 se puede acoplar en una entrada 156 de distribuidor al suministro 51 de fluido secundario (Figura 1A).

Como también se muestra en la Figura 2, el aparato 110 puede incluir un alojamiento 170 alrededor de la boca 55 de aguas abajo del conducto 50 de descarga. El alojamiento 170 puede extenderse entre el conducto 50 de descarga y el sustrato 80 para impedir que los restos creados por el impacto del chorro 90 de fluido en el sustrato 80 se dispersen. En un aspecto de esta realización, las paredes del alojamiento 170 pueden ser transparentes para permitir a un usuario visionar el chorro 90 de fluido y el sustrato 80 inmediatamente adyacente al chorro de fluido.

En otro aspecto de esta realización, el alojamiento 170 puede incluir una primera toma 171 que se fuente de vacío (no representada) para evacuar puerto 171 que se puede acoplar los restos creados por el impacto del chorro 90 de fluido en el sustrato 80. Alternativamente, (por ejemplo cuando se aplica un vacío a las aberturas 122), se puede suministrar aire u otro gas a través de la primera toma 171 para la evacuación a través del conducto 50 de descarga, en una manera generalmente similar a la tratada anteriormente haciendo referencia a las Figuras 1A-B. En otra realización alternativa, se puede suministrar un fluido a través de una primera toma 171 y retirarlo a través de una segunda toma 172. Por ejemplo, cuando se desea mantener un ambiente inerte en el punto de contacto entre el chorro 90 de fluido y el sustrato 80, se puede bombear un gas inerte, tal como nitrógeno, al alojamiento 170 a través de la primera toma 171 y retirarlo a través de la segunda toma 172.

La Figura 3 es una vista en alzado lateral, parcialmente en corte transversal, de un aparato 210 que tiene dos distribuidores 252 (mostrados como un distribuidor 252a de aguas arriba y un distribuidor 252b de aguas abajo) según otra realización de la invención. Como se muestra en la Figura 3, el distribuidor 252a de aguas arriba puede incluir unas aberturas 222a de

flujo aguas arriba que pueden introducir un fluido secundario en una región 259a de arrastre de aguas arriba y el distribuidor 252b de aguas abajo puede incluir unas aberturas 222b de flujo aguas abajo que pueden introducir un fluido secundario en una región 259b de arrastre de aguas abajo. En otra realización más, las aberturas 222a de aguas arriba pueden tener un diámetro diferente que las aberturas 222b de aguas abajo de modo que la cantidad del flujo arrastrado en la región de arrastre 259a de aguas arriba puede ser diferente de la cantidad del flujo arrastrado en la región de arrastre 259b de aguas abajo. En otra realización todavía, las aberturas 222a de aguas arriba y/o las aberturas 222b de aguas abajo se pueden orientar con un ángulo mayor o menor de 90° con respecto a la dirección del flujo del fluido primario. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 3, las aberturas 222a de aguas arriba se pueden orientar con un ángulo menor de 90° con respecto a la dirección del flujo del fluido primario.

La región de arrastre de aguas arriba 259a puede ser acoplada a la región de arrastre de aguas abajo 259b con un conducto de descarga 250a de aguas arriba. Un conducto de descarga 250b de aguas abajo se puede extender desde la región de arrastre 259b de aguas abajo hacia el sustrato 80. El diámetro interior del conducto de descarga 250b de aguas abajo puede ser mayor que el del conducto de descarga 250a de aguas arriba para adaptarse al flujo adicional arrastrado en la región de arrastre 259b de aguas abajo. Los distribuidores de aguas arriba y de aguas abajo 252a y 252b se pueden acoplar a la misma o a distintas fuentes de flujo secundario 51 (Figura 1A) a través de las entradas del distribuidor 256a y 256b, respectivamente, para suministrar flujo a las regiones de arrastre 259.

En la realización mostrada en la Figura 3, el aparato 210 incluye dos distribuidores 252. En otras realizaciones, el aparato 210 puede incluir más de dos distribuidores y/o un único distribuidor que suministra fluido secundario a las aberturas de fluido que están separadas axialmente entre la boquilla 30 y el sustrato 80. Además, aunque cada distribuidor incluye cuatro aberturas 222 en la realización mostrada en la Figura 3 (tres de las cuatro son visibles en la Figura 3), los distribuidores pueden tener más o menos aberturas 222 en otras realizaciones.

Una ventaja del aparato 210 mostrado en la Figura 3, es que puede ser más fácil controlar las características del chorro 90 de fluido suministrando el fluido secundario en dos (o más) emplazamientos axiales aguas debajo de la boquilla 30. Además, los distribuidores de aguas arriba y de aguas abajo 252a y 252b se pueden acoplar a diferentes suministros de fluido secundario para producir un chorro 90 de fluido que tiene una composición seleccionada y un nivel de coherencia seleccionado. Alternativamente, se puede suministrar el mismo fluido a diferentes presiones y/o valores de caudal másico a cada distribuidor 252. En cualquier caso, una ventaja adicional del aparato 210 mostrado en la Figura 3 es que puede ser más fácil controlar las características del chorro 90 de fluido suministrando fluidos con características diferentes a cada distribuidor 252.

La Figura 4A es una vista en alzado frontal, parcialmente en corte transversal, de un aparato 310 que tiene un soporte 320 de boquilla que es desmontable por deslizamiento de un conducto 340 de suministro.

Por consiguiente, el conducto 340 de suministro incluye una abertura 323 de acceso en la cual se puede insertar el soporte 320 de boquilla. El conducto 340 de suministro incluye también unos cierres herméticos 324 que cierran la interfaz entre la abertura 323 de acceso y el soporte 320 de la boquilla. En una realización, se puede fabricar por separado un conducto 350 de descarga y unirlo al soporte 320 de boquilla y en otra realización el soporte 320 de boquilla y el conducto 350 de descarga se pueden formar en una sola pieza. En cualquier caso, el soporte 320 de boquilla puede incluir unas aberturas 322 de flujo secundario que suministran el flujo secundario al conducto 350 de descarga.

La Figura 4B es una vista en alzado lateral, parcialmente en corte transversal, del aparato 310 mostrado en la Figura 4A. Como se muestra en la Figura 4B, el soporte de boquilla 320 se puede mover en la abertura 323 en la dirección indicada por la flecha A para cerrar el soporte de boquilla 320 y cerrar el soporte de boquilla con el conducto 340 de suministro. Como también se muestra en la Figura 4B, la abertura de acceso 323 está abierta para permitir que se extraiga el fluido secundario en las aberturas 322 de flujo secundario del entorno ambiental. En una realización, el entorno ambiental (y por tanto el fluido secundario) puede incluir un gas, tal como el aire, y en otra realización el entorno ambiental y el fluido secundario pueden incluir un líquido, tal como el agua. En cualquier caso, el soporte 320 de boquilla y el conducto 350 de descarga pueden ser desmontados como una unidad (trasladándolos lateralmente apartándolos del conducto 340 de suministro, como se indica por la flecha B. Por consiguiente, los usuarios pueden sustituir una combinación de soporte 320 de boquilla y conducto 350 de descarga que tiene un conjunto de características seleccionadas por otra combinación que tenga otro conjunto de características seleccionadas. Las características seleccionadas pueden incluir, por ejemplo, el tamaño de la boquilla 30 (Figura 4A), el número y el tamaño de las aberturas 322 de flujo secundario, y el tamaño del conducto 350 de descarga.

La Figura 5 es una vista en alzado lateral, parcialmente en corte transversal, de un aparato 410 que tiene conductos 450 de descarga rotativos según otra realización adicional de la invención. En un aspecto de esta realización, se puede usar el aparato 410 para tratar las paredes 481 de un cilindro 480, por ejemplo el cilindro de un bloque de motor de un automóvil. También se puede usar el aparato 410 para tratar otras superficies de cavidades simétricas axialmente (o no simétricas axialmente), tales como las superficies interiores de las cámaras de combustión de avión.

En una realización, el aparato 410 puede incluir un conducto 440 de suministro que está acoplado en forma rotativa a un suministro 41 de fluido primario (Figura 1A) con un cierre hermético rotativo convencional (no representado) de manera que el conducto 440 de suministro puede girar alrededor de su eje mayor, como se indica por la flecha C. El conducto 440 de suministro puede incluir dos soportes 420 de boquilla (uno de los cuales se muestra en la Figura 5), teniendo cada uno una boquilla 30 en comunicación de fluido con el conducto 440 de suministro. Cada soporte 420 de boquilla puede estar formado en una pieza con el correspondiente conducto 450 de descarga o unido al mismo de otra forma y se puede fijar en un lugar con respecto al conducto 440 de suministro con un retén

421. En un aspecto preferido de esta invención, cada conducto 450 de descarga puede ser escuadrado hacia fuera apartándose del eje de rotación del conducto 440 de suministro de forma que se dirijan los chorros 90 de fluido hacia la pared 481 del cilindro.

En la realización mostrada en la Figura 5, los conductos 450 de descarga están inclinados con un ángulo de aproximadamente 45° con respecto a las paredes 481 del cilindro. En otras realizaciones, el ángulo entre los conductos 450 de descarga y las paredes 481 del cilindro puede tener cualquier valor desde casi tangencial a 90°. Aunque en la Figura 5 se muestran dos conductos 450 de descarga con fines de ilustración, en otras realizaciones el aparato 410 puede incluir más o menos conductos de descarga, situados en el mismo emplazamiento axial (como se muestra en la Figura 5) o en diferentes emplazamientos axiales.

El aparato 410 puede incluir también un distribuidor 452 dispuesto alrededor del conducto 440 de suministro. El distribuidor incluye unos cierres herméticos 457 (mostrados como un cierre hermético superior 457a y un cierre hermético inferior 457b) que proporcionan un ajuste estanco para los fluidos entre el distribuidor 452 estacionario y el conducto de suministro 440 rotativo. El fluido secundario puede entrar en el distribuidor 452 a través de la entrada 456 del distribuidor y pasar a través de los pasos 458 del distribuidor a las aberturas 422 de flujo secundario para ser arrastrado con el flujo primario que pasa a través de la boquilla 30. Los flujos primario y secundario forman juntos los chorros 90 de fluido, como se trató anteriormente haciendo referencia a las Figuras 1A-B.

Una ventaja de una realización del aparato 410 mostrado en la Figura 5 es que puede ser particularmente adecuado para tratar las superficies de geometrías con simetría axial, tales como los huecos de los cilindros de motor. Además, se puede usar el mismo aparato 410 para tratar las paredes de cilindros que tienen una amplia variedad de diámetros debido a que (como se trató anteriormente haciendo referencia a las Figuras 1A-B) las características de los chorros 90 de fluido permanecen generalmente constantes durante una distancia sustancial más allá de los conductos 450 de descarga. Adicionalmente, los usuarios pueden interrumpir el flujo de fluido primario (que puede ser un líquido) después de que se ha completado el tratamiento superficial y dirigir el fluido secundario solo (que puede incluir aire u otro gas) hacia las paredes 481 del cilindro para secar las paredes del cilindro antes de la aplicación de otros materiales, tales como los revestimientos de alta resistencia. Todavía en otra realización adicional, se pueden proporcionar los propios revestimientos de alta resistencia a las paredes 481 del cilindro por medio del aparato 410. Por consiguiente, se puede usar el mismo aparato 410 para proporcionar una amplia variedad de funciones asociadas al tratamiento de los huecos de cilindro o de otras superficies de sustratos.

La Figura 6 es una vista en alzado lateral, parcialmente en corte transversal, de un aparato 510 que tiene un generador 575 de turbulencia colocado aguas arriba de una boquilla 530 según otra realización de la invención. La boquilla 530 está soportada por un soporte 520 de boquilla el cual a su vez está acoplado a un conducto 540 de suministro con un retén 521, de una manera generalmente similar a la anteriormente tratada haciendo referencia a las Figuras 1A-B. Como

se trata con mayor detalle a continuación, el generador 575 de turbulencia se puede usar en lugar del fluido secundario tratado anteriormente o adicionalmente al mismo para controlar la coherencia del chorro 90 de fluido que abandona la boquilla 530.

En la realización mostrada en la Fig. 6, el generador 575 de turbulencia incluye un conducto cónico 576 situado aguas arriba de la boquilla 530. El conducto cónico 576 está orientado de tal manera que aumenta el área de flujo en la dirección de aguas abajo. Por consiguiente, el flujo que pasa a través del conducto cónico 576, tenderá a separarse de las paredes internas del conducto cónico 576, formando estelas, remolinos y otras estructuras de flujo turbulento. Al abandonar la boquilla 530, el flujo turbulento, en forma del chorro 90 de fluido, puede tener una tendencia aumentada a formar gotitas discretas, en comparación con un flujo de chorro coherente (tal como el que se habría producido por un conducto cónico convergente en la dirección de aguas abajo). El chorro 90 de fluido de coherencia reducida, formado por el aparato 510, puede entonces usarse para el tratamiento de determinados materiales, tales como los materiales fibrosos y/o materiales frágiles, como se trató anteriormente haciendo referencia a las Figuras 1A-B.

En una realización, la abertura de aguas arriba del conducto puede tener un diámetro comprendido entre 0,127 mm (0,005 pulgadas) y 0,3302 mm (0,013 pulgadas) y el conducto cónico 576 puede tener una longitud de aproximadamente 19,05 mm (0,75 pulgadas). En otras realizaciones, el conducto cónico 576 puede tener longitudes relativas a la abertura de aguas arriba y/o puede ser reemplazado por un conducto que tenga cualquier forma, con tal de que el área de flujo aumente en la dirección de aguas abajo para producir un nivel de coherencia seleccionado. Todavía en realizaciones adicionales, tratadas a continuación haciendo referencia a las Figuras 7-9, se pueden usar otros medios para perturbar el flujo aguas arriba de la boquilla 530 y reducir la coherencia del chorro 90 de fluido resultante.

La Figura 7 es una vista en alzado lateral, parcialmente en corte transversal, de un aparato 610 que tiene un generador de turbulencia 675 que incluye una boquilla de aguas arriba 630a que tiene un orificio 633a de boquilla de aguas arriba. El aparato 610 incluye además una boquilla de aguas abajo 630b que tiene un orificio 633b de boquilla de aguas abajo conectada por un conducto 676 de conexión a la boquilla de aguas arriba 630a. Cada boquilla está cerrada herméticamente en su sitio por un cierre 635. Como se muestra en la Figura 7, el correspondiente conducto 676 puede incluir una parte de soporte 620a de la boquilla de aguas arriba para dar soporte a la boquilla de aguas arriba 630a. Una parte de soporte 620b de boquilla de aguas abajo separada puede dar soporte a la boquilla de aguas abajo 630b. En realizaciones alternativas, tratadas a continuación con mayor detalle haciendo referencia a la Figura 8A, el soporte 620b de boquilla de aguas abajo puede estar integrado con el conducto de conexión 676.

En una realización, los orificios 633 de paso de la boquilla 630a de aguas arriba y la boquilla 630b de aguas abajo tienen generalmente una sección transversal de forma circular. En otras realizaciones, uno o ambos orificios 633 de boquilla pueden tener formas distintas de la redonda. Por ejemplo, en una realización, la boquilla 630b de aguas abajo puede tener un

orificio 633b con un área de flujo definida por la intersección de un cono y una entalla en forma de cuña.

En una realización preferida, el orificio 633a de la boquilla de aguas arriba tiene un área mínima de flujo que es al menos tan grande como el área mínima de flujo del orificio 633b de la boquilla de aguas abajo. En un aspecto adicional preferido de esta realización, en el que ambos orificios de boquilla de aguas arriba y aguas abajo son redondos, el orificio 633a de la boquilla de aguas arriba tiene un diámetro mínimo que es al menos el doble de grande que el diámetro mínimo del orificio 633b de la boquilla de aguas abajo. Por consiguiente, la pérdida de presión del flujo que pasa a través de las boquillas 630 es menor del 6% aproximadamente. Puesto que el área mínima a través de la boquilla de aguas arriba 630a aumenta con respecto al área mínima a través de la boquilla de aguas abajo 630b, la pérdida de presión a través de la boquilla 630a de aguas arriba disminuye. Al mismo tiempo las perturbaciones de flujo creadas por la boquilla 630a de aguas arriba se reducen. Por consiguiente, en una realización preferida, la boquilla de aguas arriba 630a y la boquilla de aguas abajo 630b se seleccionan para producir un nivel de turbulencia que sea suficiente para reducir la coherencia del chorro 90 de fluido a un nivel adecuado para la aplicación seleccionada (tal como cortar materiales fibrosos, frágiles u otros) sin dar lugar a una pérdida de presión indeseablemente grande (y por tanto ineficiente).

En un aspecto preferido adicional de la realización mostrada en la Figura 7, la distancia entre la boquilla 630a de aguas arriba y la boquilla 630b de aguas abajo se selecciona de tal manera que las estructuras turbulentas resultantes del flujo de fluido a través de la boquilla 630a de aguas arriba no haya desaparecido enteramente en el momento en que el flujo alcanza la boquilla 630b de aguas abajo. Por consiguiente la distancia entre las dos boquillas 630 puede ser función de varias variables, incluyendo la presión del fluido que pasa a través de las boquillas, el tamaño de los orificios 633 de las boquillas, y el nivel deseado de coherencia en el chorro 90 de fluido resultante.

En la realización mostrada en la Figura 7, la parte 620a de soporte de boquilla de aguas arriba está integrada con el conducto de conexión 676, y el soporte 620b de boquilla de aguas abajo es un componente separado. Por consiguiente, la parte 620a de soporte de boquilla de aguas arriba y el conducto 676 de conexión pueden ser desmontados como una unidad del conducto 640 de suministro, y el soporte 620b de boquilla de aguas abajo se puede desmontar por separado del conducto 640 de suministro. En una realización alternativa, mostrada en la Figura 8A, el soporte 620b de boquilla de aguas abajo se puede integrar con el conducto 676 de conexión, el cual está a su vez integrado con la parte 620a de soporte de boquilla de aguas arriba para formar un cartucho 677 desmontable. En un aspecto adicional de esta realización, la boquilla 630a de aguas arriba y la boquilla 630b de aguas abajo pueden estar también integradas en el cartucho 677. Una ventaja de esta disposición es que los usuarios pueden fácilmente desmontar y/o sustituir el cartucho 677 como una unidad. Además, los usuarios pueden seleccionar un cartucho 677 que produce un chorro 90 de fluido (Figura 7) que tenga las características apropiadas para una aplicación seleccionada.

En otras realizaciones se pueden usar medios distintos de los mostrados en las Figuras 6-8A para

aumentar la turbulencia del flujo que entra en la boquilla 630b de aguas abajo y disminuir en consecuencia la coherencia del chorro 90 de fluido que abandona la boquilla de aguas abajo. Por ejemplo, en una realización alternativa, mostrada en la Figura 8B, el generador 675 de turbulencia puede incluir uno o varios salientes 678 que se proyectan desde una superficie interior del cartucho 677 para crear remolinos y otras estructuras turbulentas en el flujo de fluido adyacente. En otra realización mostrada en la Figura 8C, los salientes 678 pueden ser sustituidos por entrantes 678a que crean similarmente remolinos y otras estructuras turbulentas. En otra realización más mostrada en la Figura 8D, el generador de turbulencia 675 puede incluir un alambre 679 que se extiende a través del camino de flujo que pasa por el cartucho 677. En cualquiera de las realizaciones precedentes tratadas respecto a las Figuras 8B-8D, se puede dimensionar y configurar el generador 675 de turbulencia para producir el nivel de turbulencia deseado en el flujo adyacente, dando lugar a un chorro 90 de fluido que sale teniendo el nivel de coherencia deseado.

La Figura 9 es una vista en alzado lateral, en corte transversal, de un aparato 710 que tiene un resorte 774 que desvía un cartucho 777 hacia una tuerca 721 de retención según otra realización más de la invención. En consecuencia, se puede colocar un conducto de suministro 740 con un cartucho 777 instalado en cualquier orientación sin que el cartucho 777 deslice dentro de los confines del conducto 740 de suministro. Una ventaja adicional de esta realización es que los cartuchos 777 que tienen una variedad de longitudes axiales se pueden colocar dentro del conducto 740 de suministro sin requerir modificación en el conducto 740 de suministro.

La Figura 10 es una vista en alzado lateral, en corte transversal, de un aparato 810 que tiene tanto un generador de turbulencia 875 colocado aguas arriba

de una boquilla 830b de aguas abajo como unas aberturas 822 de flujo secundario situadas aguas abajo de la boquilla 830b de aguas abajo. El generador 875 de turbulencia puede incluir una boquilla 830a de aguas arriba, como se muestra en la Figura 10, y en realizaciones alternativas el generador 875 de turbulencia puede incluir cualquiera de los dispositivos mostrados en las Figuras 8B-8D, u otros dispositivos que generen un nivel deseado de turbulencia en el flujo que entra en la boquilla 830b de aguas abajo. Las aberturas 822 de flujo secundario arrastran el flujo secundario de una fuente de fluido secundario 41 (Figura 1A) de manera que los flujos primario y secundario combinados pasan a través de un conducto de descarga 850, generalmente tal como se describió anteriormente haciendo referencia a las Figuras 1A-B.

Una ventaja del aparato mostrado en la Figura 10 es que el generador 875 de turbulencia de aguas arriba, en combinación con las aberturas 822 de flujo secundario de aguas abajo, pueden proporcionar a los usuarios un mayor control sobre la turbulencia del flujo de fluido que pasa a través de las mismas, y por tanto de la coherencia del chorro 90 de fluido resultante. Por ejemplo, puede ser más fácil para los usuarios lograr el nivel de coherencia deseado del chorro 90 de fluido manipulando el flujo tanto aguas arriba como aguas debajo de la boquilla 830b.

A partir de lo anterior se apreciará que, aunque aquí se han descrito realizaciones específicas de la invención, para fines de ilustración, se pueden realizar diversas modificaciones sin desviarse del objeto de la invención. Por ejemplo, se puede usar cualquiera de los generadores de turbulencia mostrados en las Figuras 6-10 conjuntamente con un dispositivo rotativo 410, tal como se muestra en la Figura 5. Así, la presente invención no está limitada a las realizaciones aquí descritas, sino que más bien está definida por las reivindicaciones siguientes.

## REIVINDICACIONES

1. Un aparato (10) para generar un chorro (90) de fluido a alta presión para el tratamiento de una superficie seleccionada, que comprende:

una boquilla (30) configurada para ser acoplada a una fuente de un primer fluido, teniendo la boquilla (30) un orificio (33) de boquilla que se extiende a través de la misma en comunicación de fluido con una fuente de un primer líquido; y

un conducto (50) de descarga que tiene una primera boca (54) del conducto en comunicación de fluido con el orificio de la boquilla, teniendo el conducto (50) de descarga que una segunda boca (55) del conducto, espaciada de la primera boca (54) de conducto para dirigir el chorro de fluido, teniendo el conducto (50) de descarga un canal (53) de conducto que se extiende entre la primera y la segunda bocas de conducto, teniendo al menos uno de la boquilla y el conducto (50) de descarga al menos una abertura (22) aguas arriba de la segunda abertura del conducto, estando la abertura (22) configurada para ser acoplada a una fuente de un segundo fluido, **caracterizado** porque la abertura (22) es una primera abertura (22a), teniendo al menos uno de la boquilla y el conducto (50) de descarga adicionalmente una segunda abertura (22b) espaciada de la primera abertura (22a), estando situadas la primera y la segunda aberturas en emplazamientos diferentes a lo largo de un eje que se extiende entre la primera boca (54) del conducto y la segunda boca del conducto, y

donde la longitud del canal del conducto entre la primera y la segunda boca es al menos aproximadamente diez veces el diámetro medio de la segunda boca del conducto.

2. Un aparato (10) según la reivindicación 1, que comprende:

un conducto de flujo de alta presión que tiene una boca (54) de entrada para recibir un flujo de líquido, una boca (55) de salida aguas abajo de la boca (54) de entrada, y un canal (53) de flujo que se extiende entre la boca (54) de entrada y la boca (55) de salida, siendo el área de flujo del canal de flujo mayor hacia la boca (55) salida que hacia la boca (54) de entrada; y un cuerpo (30) de boquilla situado próximo a la boca (55) de salida y que tiene un orificio de boquilla (33) para dirigir la presión de líquido que abandona a salida en forma de un chorro de fluido de alta presión.

3. Un aparato (10) según la reivindicación 1 ó 2, que comprende:

una fuente de un primer fluido a una presión de al menos aproximadamente  $6.895 \times 10^8$  Pa (100.000 psi);

una fuente de un segundo fluido;

un conducto de suministro acoplado a la fuente del primer fluido;

un cuerpo de soporte de la boquilla acoplado al conducto de suministro y que tiene un paso de boquilla en comunicación de fluido con el conducto de suministro;

una boquilla (30) colocada en el paso de boquilla, teniendo la boquilla un orificio (33) de boquilla en comunicación de fluido con la fuente del primer fluido; y

un conducto (50) de descarga próximo al cuerpo de soporte de la boquilla y que tiene una primera boca (54) de conducto en comunicación de fluido con el orificio de la boquilla, teniendo además el conducto (50) de descarga una segunda boca (55) de conducto espaciada de la primera boca (54) de conducto para dirigir el chorro de fluido, teniendo el conducto (50) de descarga un canal (53) de conducto que se extiende entre la primera y la segunda bocas del conducto, siendo la longitud del canal (53) del conducto entre la primera y la segunda boca al menos aproximadamente diez veces el diámetro medio de la segunda boca del conducto, teniendo al menos uno de la boquilla y el conducto (50) de descarga al menos una abertura (22) acoplada a la fuente del segundo fluido, estando la abertura (22) entre el orificio de la boquilla y la segunda abertura del conducto.

4. Un aparato (10) según una de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende:

una boquilla (30) que tiene un orificio (33) de boquilla que se extiende a través de la misma, estando configurada la boquilla para resistir las presiones generadas por un primer fluido que pasa a través del orificio de la boquilla desde una fuente del primer fluido en la que el primer fluido tiene una presión estática de al menos aproximadamente  $6.895 \times 10^8$  Pa (100.000 psi); y

un conducto (50) de descarga que tiene una primera boca (54) de conducto en comunicación de fluido con el orificio de la boquilla, teniendo además el conducto (50) de descarga una segunda boca (55) de conducto espaciada de la primera boca (54) de conducto para dirigir el chorro de fluido, teniendo el conducto (50) de descarga un canal (53) de conducto que se extiende entre la primera y la segunda bocas del conducto, estando configurado el conducto (50) de descarga para resistir las presiones generadas por el primer fluido que pasa a través del canal del conducto, teniendo al menos uno de la boquilla y el conducto (50) de descarga al menos una abertura (22) aguas arriba de la segunda boca del conducto (50), estando configurada la abertura (22) acoplada a la fuente del segundo fluido, estando la abertura (22) para ser acoplada a una fuente de un segundo fluido.

5. El aparato (10) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el área de flujo del canal (53) del conducto próximo a la segunda boca (55) del conducto es mayor que el área de flujo del canal próximo a la primera boca del conducto.

6. El aparato (10) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la abertura (22) es una primera abertura (222a), teniendo al menos uno de la boquilla y el conducto (50) de descarga una segunda abertura (222b) aproximadamente en el mismo emplazamiento axial que la primera abertura (222a), y espaciada de la primera abertura (222a) en una dirección transversal.

7. El aparato (10) según una de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo además un conducto (40) de suministro acoplado a una fuente del primer fluido, teniendo el conducto de suministro una boca de acceso para recibir de forma desmontable la boquilla (30) y al menos una parte del conducto de descarga (50).

8. El aparato (10) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la relación de la del conducto al diámetro del conducto está comprendida en un intervalo de aproximadamente 10 a aproximadamente 200.

9. El aparato (10) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el conducto de suministro tiene una abertura (323) de acceso, siendo recibido el conducto (50) de descarga de forma desmontable en la abertura (323) de acceso del conducto de suministro.

10. El aparato (10) de la reivindicación 9, en el que el conducto (50) de descarga es uno de una pluralidad de conductos (50) de descarga intercambiables configurado para ser acoplado de forma desmontable al conducto de suministro, teniendo cada conducto (50) de descarga una primera boca de conducto, una segunda boca (55) de conducto aguas abajo de la primera boca (54) de conducto y un canal (53) de conducto que se extiende entre la primera y la segunda bocas de conducto.

11. El aparato (10) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer fluido incluye un líquido.

12. El aparato (10) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer fluido incluye el agua.

13. El aparato (10) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el segundo fluido incluye un gas.

14. El aparato (10) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el segundo fluido se selecciona entre aire, oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono.

15. El aparato (10) según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un alojamiento (170) dispuesto alrededor de la segunda boca (55) del conducto y que se extiende desde la segunda boca (55) del conducto hacia la superficie seleccionada para contener los restos generados por el chorro de fluido cuando el chorro de fluido impacta en la superficie seleccionada.

16. El aparato (10) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que una pared del conducto de flujo define al menos una parte de un cono.

17. El aparato (10) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el orificio de la boquilla tiene un diámetro comprendido en el intervalo entre 0,124

mm y 0,508 mm ( 0,005 pulgadas y 0,020 pulgadas).

18. El aparato (10) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el alojamiento (170) incluye una toma (171; 172) para acoplar el alojamiento (170) a una fuente de un fluido seleccionado.

19. Un método para tratar una superficie seleccionada con un chorro de fluido a alta presión, que comprende:

dirigir un primer fluido a través de un orificio (33; 633) de boquilla para formar un chorro de fluido a alta presión;

arrastrar de forma controlable un segundo fluido en el chorro de fluido a alta presión aguas abajo del orificio (33; 633) de la boquilla; y

dirigir el chorro de fluido a alta presión con el segundo fluido arrastrado hacia la superficie seleccionada a través de un conducto **caracterizado** porque el arrastre del segundo fluido incluye arrastrar el segundo fluido en una pluralidad de emplazamientos espaciados a la largo de un eje que se extiende entre el orificio de la boquilla y la superficie seleccionada, y donde el conducto tiene una longitud igual a al menos diez veces el diámetro medio de la boca de salida del conducto.

20. Un método según la reivindicación 19, que comprende:

dirigir un primer fluido a través de un orificio (33) de boquilla para formar un chorro de fluido a alta presión;

arrastrar de forma controlable un segundo fluido en el chorro de fluido a alta presión aguas abajo del orificio (33) de la boquilla para reducir la tendencia del primer fluido a divergir de un eje entre el orificio de la boquilla y la superficie seleccionada; y

dirigir el chorro de fluido a alta presión con el segundo fluido arrastrado hacia la superficie seleccionada.

21. Un método según una de las reivindicaciones 19 ó 20, que comprende:

dirigir un flujo de un fluido a alta presión a través de un primer orificio (633a) de boquilla que tiene una primera área de flujo; y

dirigir el flujo de fluido que sale por el primer orificio (633a) de boquilla a través de un segundo orificio (633b) de boquilla que tiene una segunda área de flujo menor que la primera área de flujo para separar al menos una parte del flujo que abandona el segundo orificio de boquilla en una pluralidad de gotitas discretas.

22. El método según una de las reivindicaciones 19 a 21, en el que dirigir el chorro (90) de fluido a alta presión incluye golpear la superficie seleccionada con el chorro de fluido para martillar la superficie seleccionada.

23. El método según una de las reivindicaciones 19 a 22, en el que dirigir el chorro (90) de fluido a

alta presión incluye cortar a través de fibras al menos próximas a la superficie seleccionada.

24. El método según una de las reivindicaciones 19 a 23, en el que dirigir el chorro (90) de fluido a alta presión incluye eliminar material de la superficie seleccionada para dar una textura a la superficie seleccionada.

25. El método según una de las reivindicaciones 19 a 24, en el que el segundo fluido tiene una temperatura inferior o el nitrógeno líquido tiene una temperatura inferior a la temperatura del primer fluido y arrastrar de forma controlable el segundo fluido incluye enfriar y congelar una parte del primer fluido para formar partículas sólidas.

26. El método según una de las reivindicaciones 19 a 25, que comprende además seleccionar el segundo fluido de forma que comprenda nitrógeno líquido.

27. El método según una de las reivindicaciones 19 a 26, en el que arrastrar de forma controlable el segundo fluido incluye interrumpir periódicamente un flujo del segundo fluido hacia el chorro (90) de fluido para hacer pulsatorio el chorro de fluido.

28. El método según una de las reivindicaciones 19 a 27, que comprende además seleccionar al menos una longitud de conducto, una presión del segundo fluido y un caudal del segundo fluido para hacer que el chorro (90) de fluido a alta presión entre en resonancia cuando el chorro de fluido a alta presión pase a través del conducto.

29. El método según una de las reivindicaciones 19 a 28, en el que el segundo fluido es un gas, comprendiendo además seleccionar el segundo fluido entre aire, oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono.

30. El método según una de las reivindicaciones 19 a 29, en el que el primer fluido es un líquido, comprendiendo además seleccionar el primer fluido de forma que incluya el agua.

31. El método según una de las reivindicaciones 19 a 30, en el que dirigir el chorro de fluido a alta presión incluye trasladar el orificio (33; 633) de la boquilla respecto a la superficie seleccionada.

32. El método según una de las reivindicaciones 19 a 31, en el que dirigir el chorro de fluido a alta presión incluye hacer girar el orificio (33; 633) de la boquilla respecto a la superficie seleccionada.

33. El método según una de las reivindicaciones 19 a 32, que comprende además escoger la superficie seleccionada de forma que incluya la pared de un agujero.

34. El método según una de las reivindicaciones 19 a 33, en el que el agujero es un primer agujero que tiene un primer diámetro, comprendiendo además dirigir el chorro de fluido a alta presión hacia la superficie de un segundo agujero que tiene un segundo diámetro diferente del primer diámetro sin cambiar la geometría del orificio de la boquilla (33; 633).

35. El método según una de las reivindicaciones 19 a 34, en el que arrastrar el segundo fluido incluye arrastrar el segundo fluido en una pluralidad de emplazamientos espaciados alrededor del chorro (90) de fluido a alta presión.

36. El método según una de las reivindicaciones

19 a 35, en el que el primer fluido incluye un líquido y el segundo fluido incluye un gas, comprendiendo además detener el flujo del primer fluido a través del orificio (33; 633) de la boquilla para dirigir sólo el flujo del segundo fluido hacia la superficie seleccionada.

37. El método según una de las reivindicaciones 19 a 36, comprendiendo además detener el flujo del primer fluido a través del orificio (33; 633) de la boquilla de manera que dirigir el flujo del segundo fluido hacia la superficie seleccionada incluye secar la superficie seleccionada.

38. El método según una de las reivindicaciones 19 a 37, en el que arrastrar el segundo fluido incluye seleccionar al menos uno de caudal y presión del segundo fluido para mezclar el segundo fluido con el chorro (90) de fluido a alta presión y aumentar la coherencia del chorro (90) de fluido a alta presión.

39. El método según una de las reivindicaciones 19 a 38, en el que arrastrar el segundo fluido incluye aplicar un vacío próximo al chorro (90) de fluido a alta en un emplazamiento axial entre el orificio (33; 633) de la boquilla y la superficie seleccionada para extraer el segundo fluido adyacente a un chorro de fluido a alta presión en un emplazamiento axial espaciado del primer emplazamiento axial.

40. El método según una de las reivindicaciones 19 a 39, que comprende seleccionar la presión del segundo fluido para que esté entre aproximadamente  $1.379 \times 10^4$  Pa (2 psi) y aproximadamente  $2.068 \times 10^4$  Pa (3 psi).

41. El método según una de las reivindicaciones 19 a 40, en el que arrastrar el segundo fluido incluye extraer un vacío por un conducto a través del cual pasa al chorro de fluido después de pasar a través del orificio (33; 633) de la boquilla.

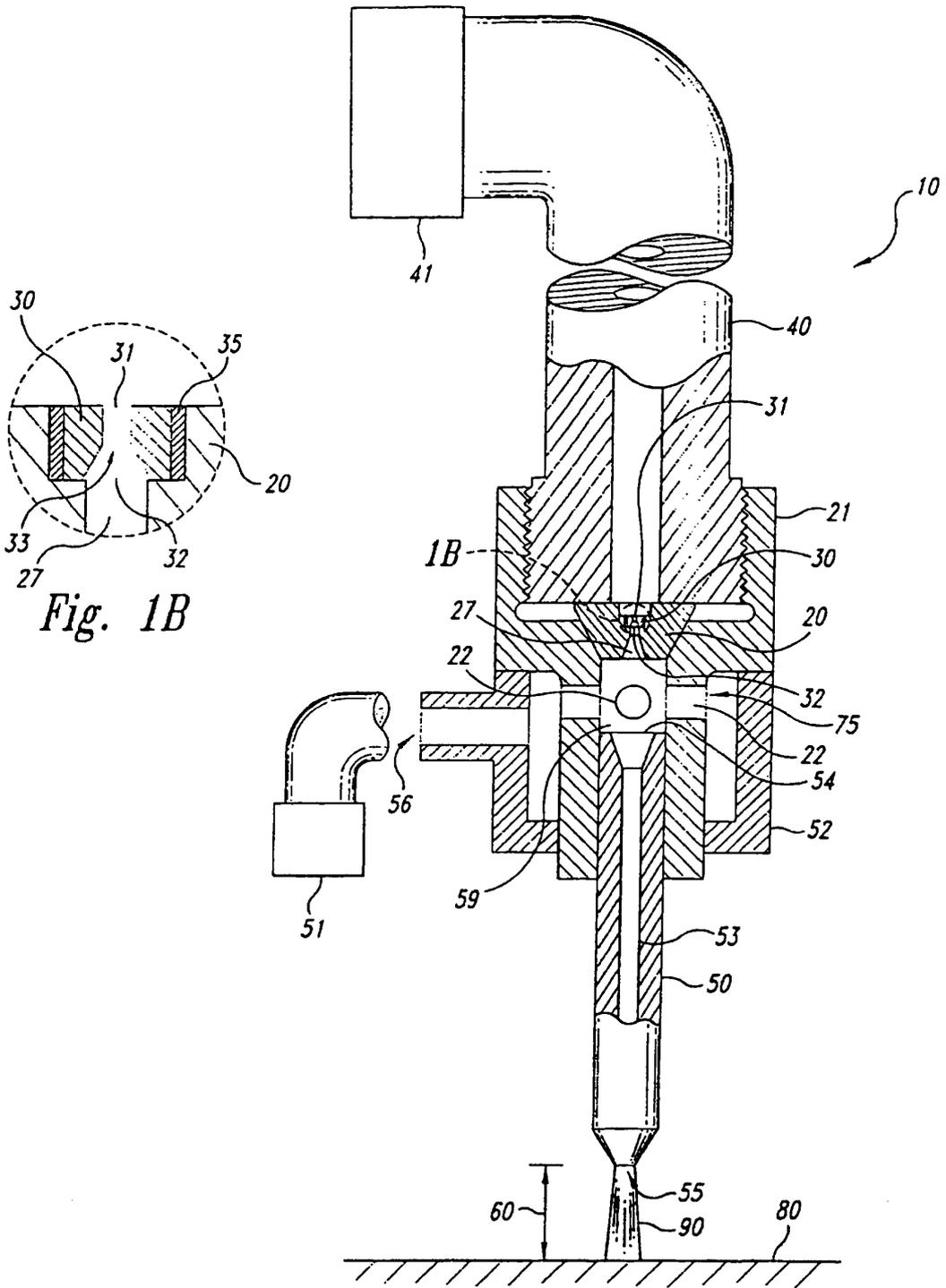
42. El método según una de las reivindicaciones 19 a 41, que comprende además seleccionar una relación de la primera área de flujo a la segunda área de flujo que esté en el intervalo de aproximadamente cinco a aproximadamente veinte.

43. El método según una de las reivindicaciones 19 a 42, que comprende además seleccionar una relación de la primera área de flujo a la segunda área de flujo que sea aproximadamente diez.

44. El método según una de las reivindicaciones 19 a 43, en el que dirigir el flujo que abandona la primera boquilla incluye hacer pasar el flujo a través de un conducto de una primera región de conducto que tiene una primera área de flujo de conducto hacia una segunda área de flujo de conducto mayor que la primera área de flujo de conducto.

45. El método según una de las reivindicaciones 19 a 44, que comprende además dirigir el flujo que abandona el segundo orificio (633b) a través de un conducto de una primera región de conducto (50) de descarga situado aguas abajo del segundo orificio (633b).

46. El método según una de las reivindicaciones 19 a 45, en el que el fluido es un primer fluido, comprendiendo además arrastrar un segundo fluido con el primer fluido en el conducto (50) de descarga.



*Fig. 1B*

*Fig. 1A*

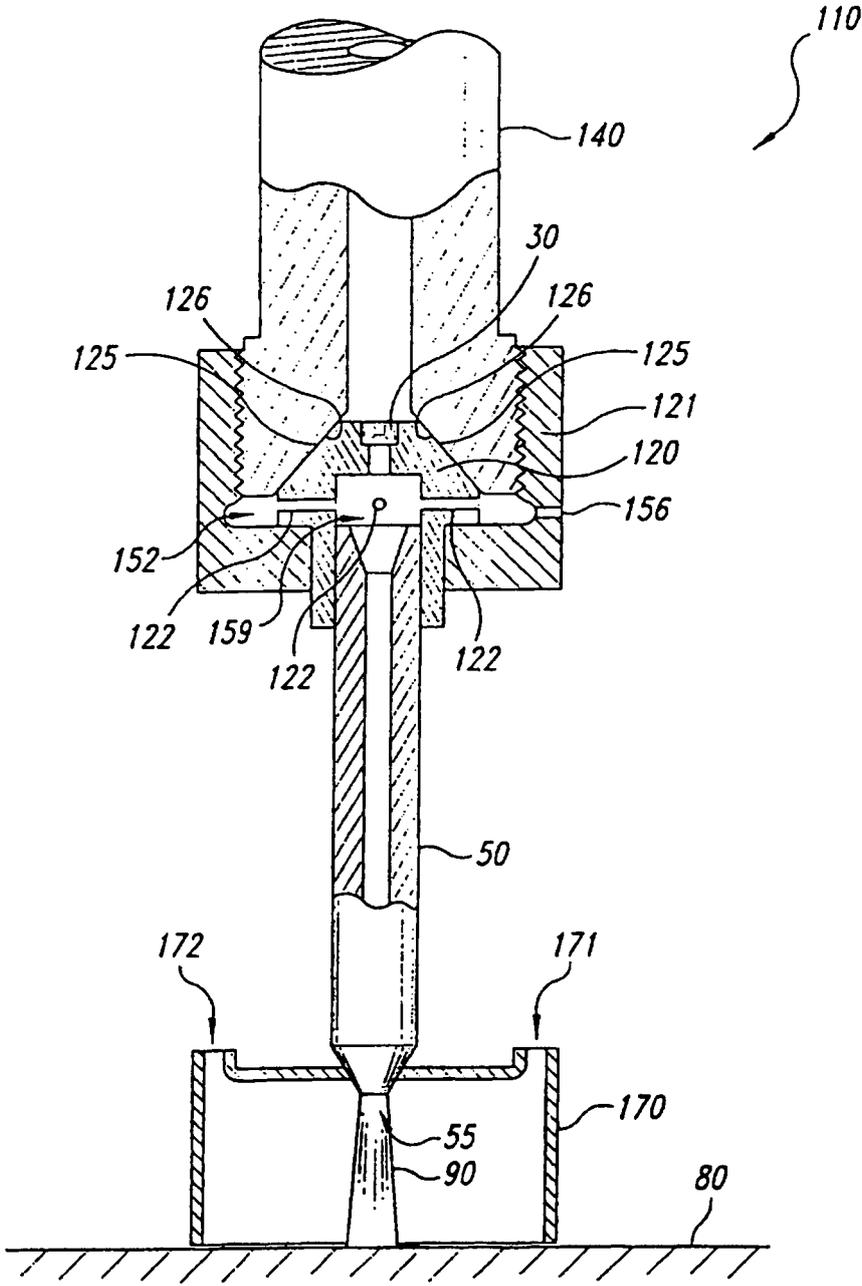


Fig. 2

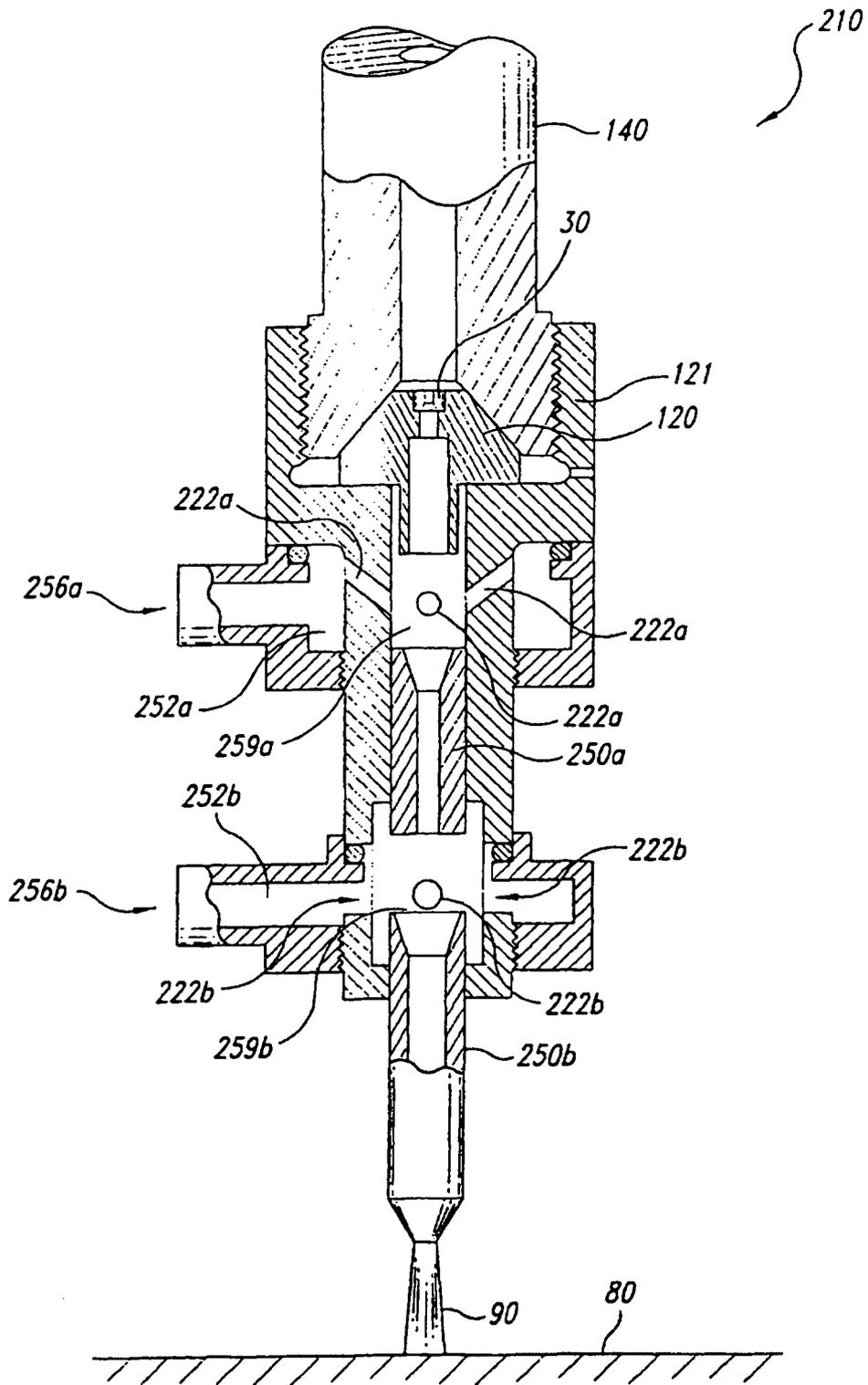
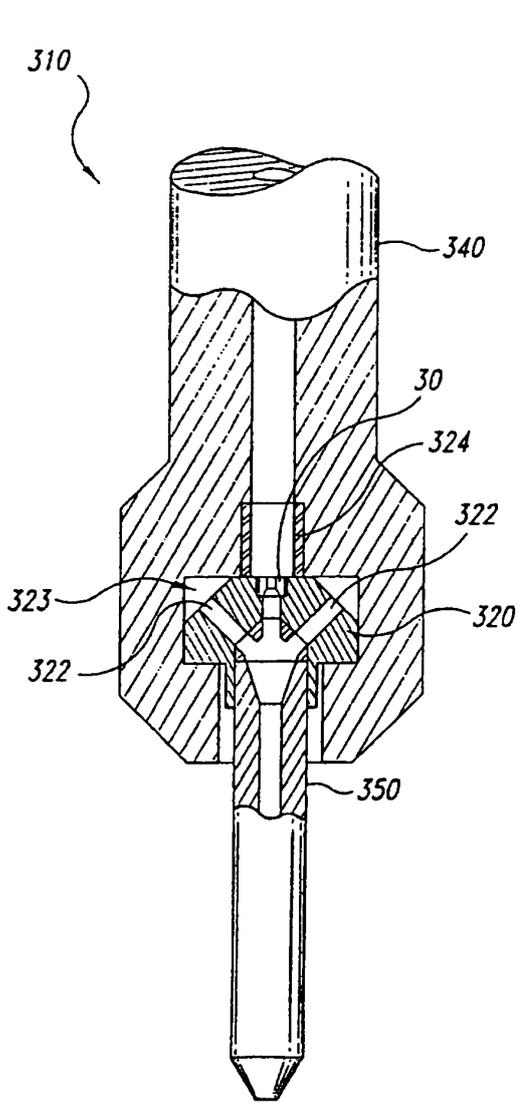
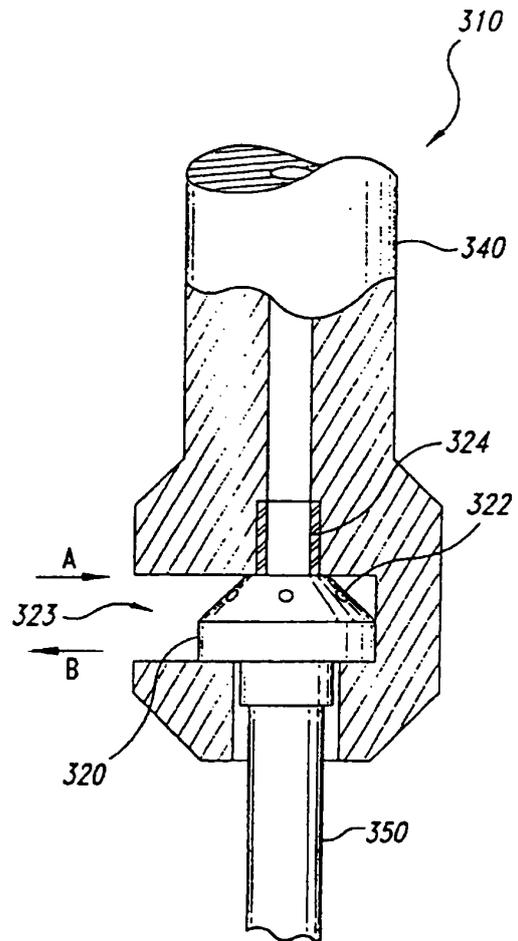


Fig. 3



*Fig. 4A*



*Fig. 4B*

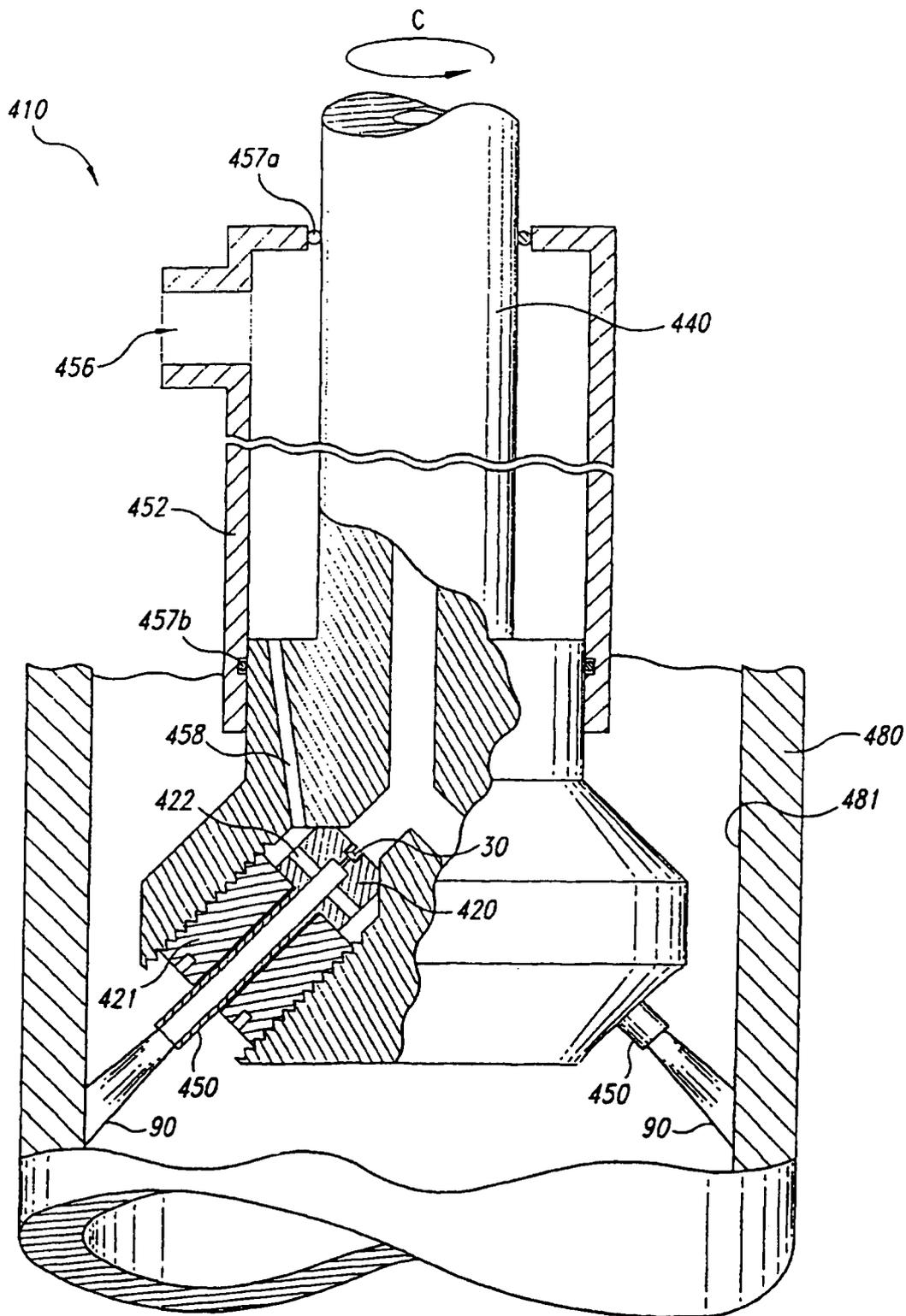
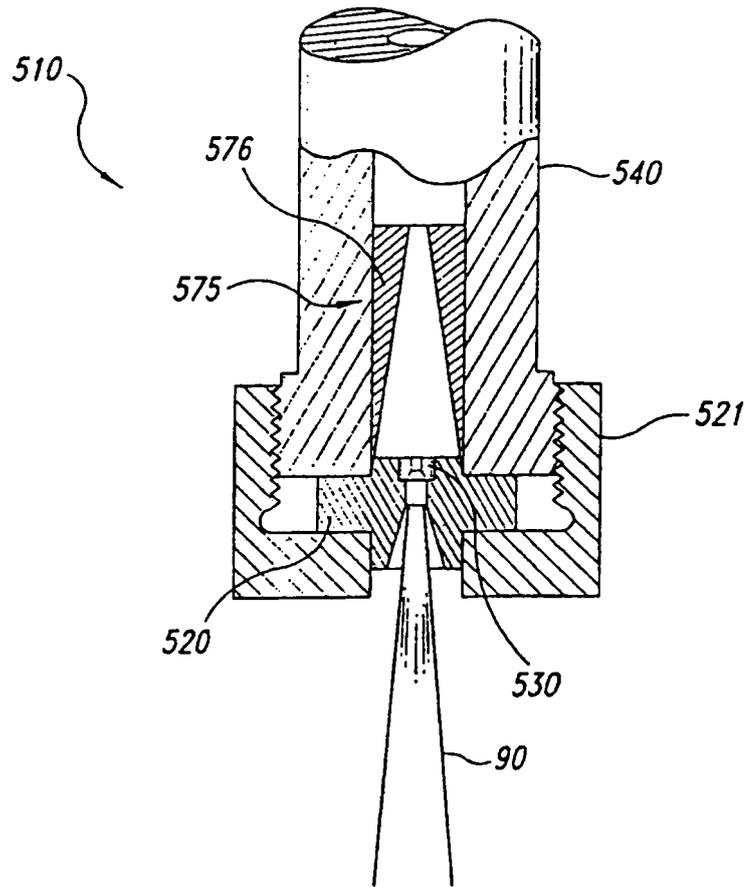
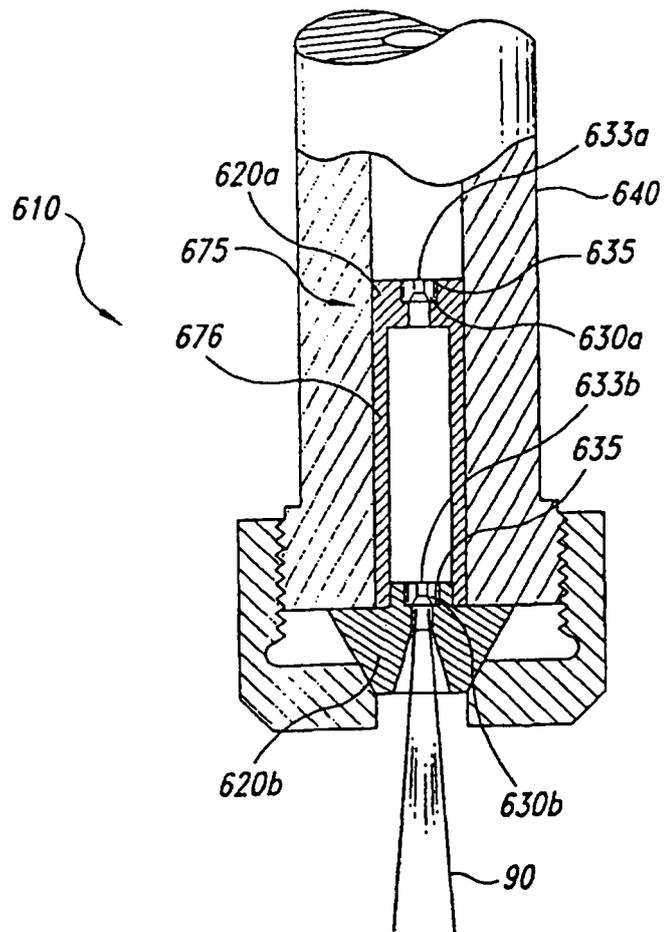


Fig. 5



*Fig. 6*



*Fig. 7*

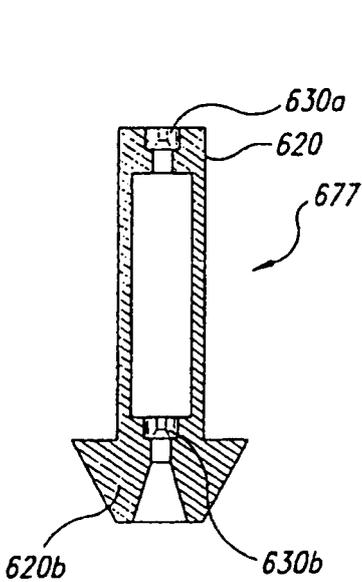


Fig. 8A

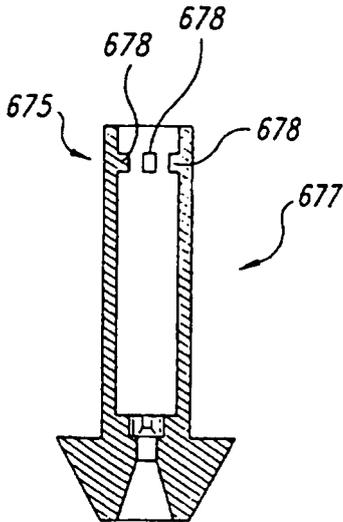


Fig. 8B

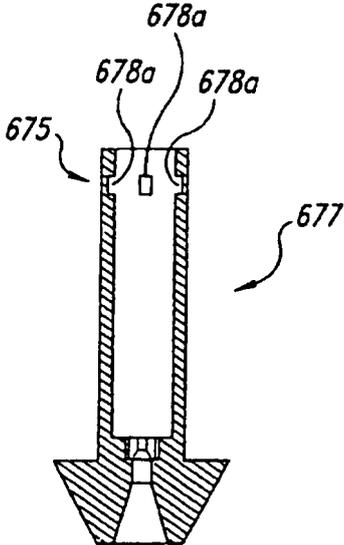


Fig. 8C

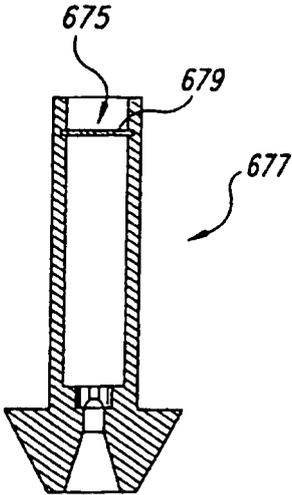
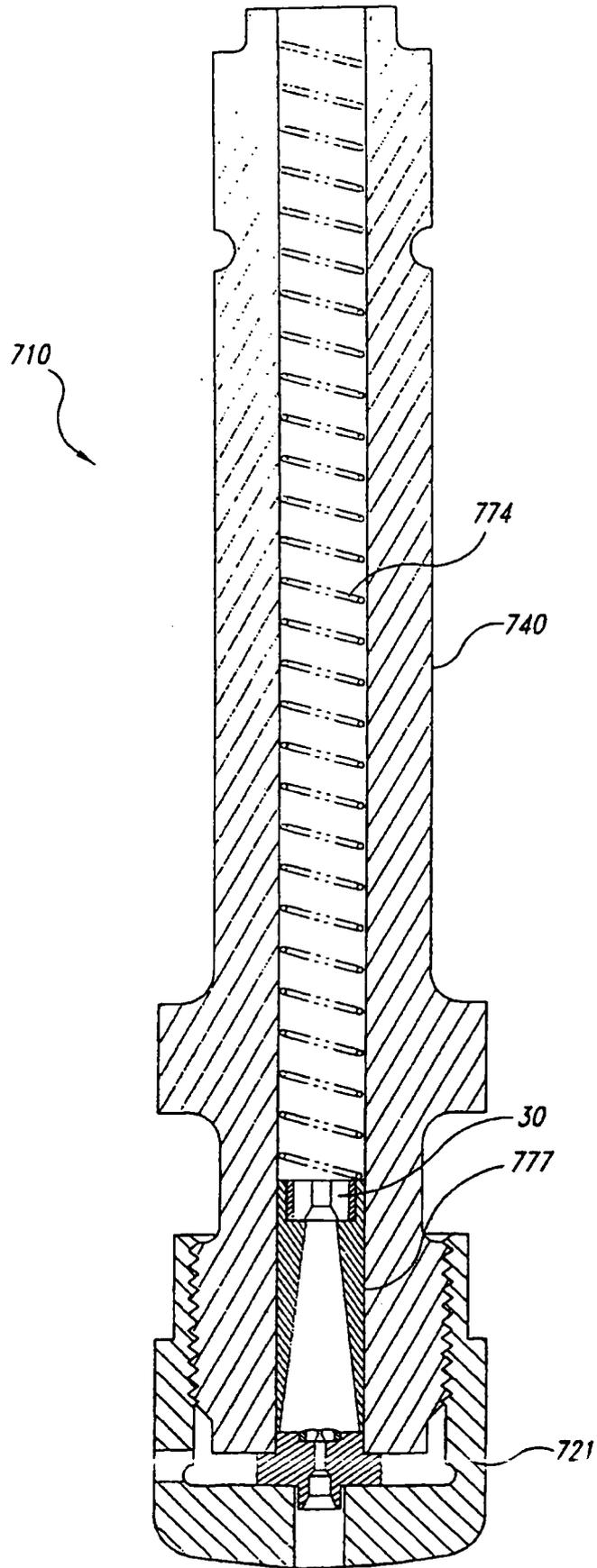


Fig. 8D



*Fig. 9*

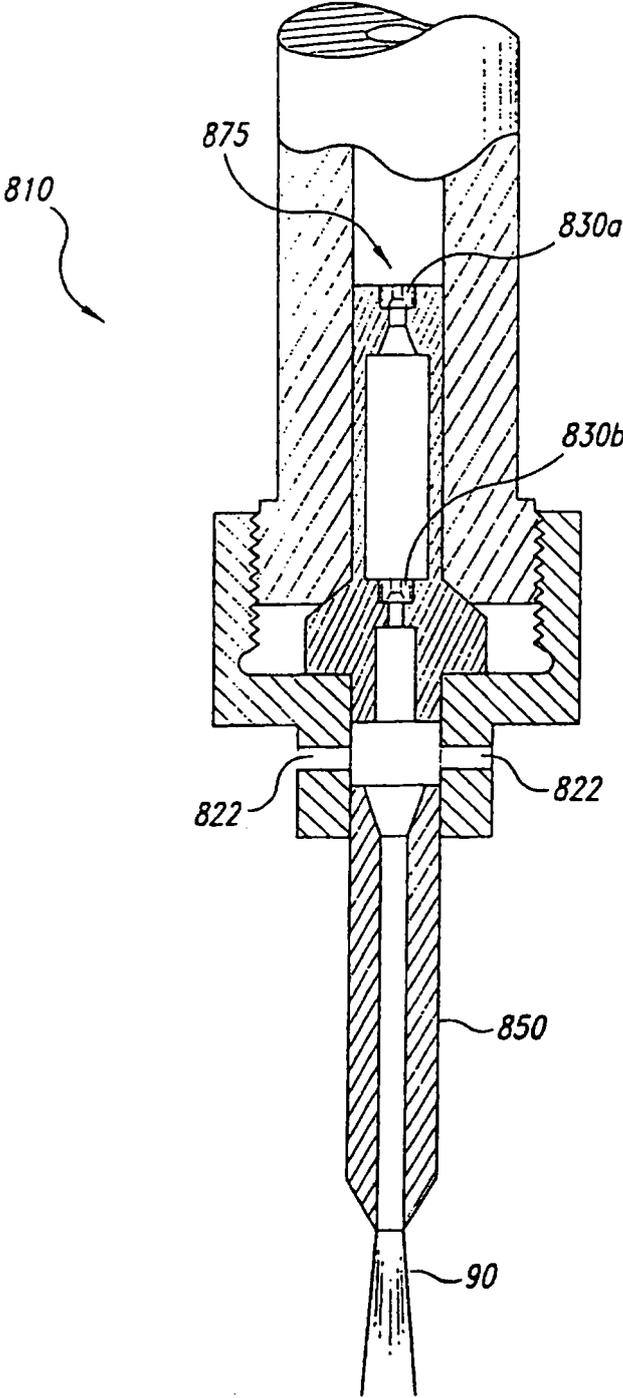


Fig. 10