

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 389 664**

51 Int. Cl.:
B23D 21/14 (2006.01)
B23B 29/034 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06739719 .0**
96 Fecha de presentación: **24.03.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1866119**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **19.12.2007**

54 Título: **Herramienta para hacer superficies con mejor transferencia de calor**

30 Prioridad:
25.03.2005 US 665528 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
30.10.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
30.10.2012

73 Titular/es:
WOLVERINE TUBE, INC. (100.0%)
200 CLINTON AVENUE, SUITE 1000
HUNTSVILLE, ALABAMA 35801, US

72 Inventor/es:
THORS, PETUR y
ZOUBKOV, NIKOLAI

74 Agente/Representante:
DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 389 664 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

Herramienta para hacer superficies con mejor transferencia de calor

Campo de la invención

5 La invención está relacionada generalmente con una herramienta y un método para formar superficies con mejor transferencia de calor.

Antecedentes de la Invención

10 Esta invención está relacionada con superficies con mejor transferencia de calor, como las superficies (y particularmente las superficies interiores) de tubos de transferencia de calor, que facilitan la transferencia de calor de un lado de la superficie al otro. Los tubos de transferencia de calor se utilizan comúnmente en equipos tales como, por ejemplo, evaporadores inundados, evaporadores de película descendente, evaporadores por rociado, enfriadores de absorción, condensadores, refrigeradores de expansión directa y refrigeradores y calentadores de fase única, utilizados en las industrias de refrigeración, químicas, petroquímicas y de tratamiento de alimentos. En estas aplicaciones puede utilizarse una variedad de medios de transferencia de calor, incluyendo, pero no limitado a, agua pura, una mezcla de glicol y agua, cualquier tipo de refrigerante (como R-22, R-134a, R-123, etc.), amoniaco, fluidos petroquímicos y otras mezclas.

15 Un tubo ideal de transferencia del calor permitiría al calor fluir completamente desinhibido desde el interior del tubo al exterior del tubo y viceversa. Sin embargo, tal flujo libre de calor a través del tubo es frustrado generalmente por la resistencia a la transferencia de calor. La resistencia total del tubo a la transferencia de calor se calcula sumando las resistencias individuales desde el exterior al interior del tubo o viceversa. Para mejorar la eficiencia de transferencia de calor del tubo, los fabricantes de tubos se han esforzado en descubrir maneras de reducir la resistencia total del tubo. Una de tales maneras es mejorar la superficie exterior del tubo, tal como formando aletas en la superficie exterior.

20 Como resultado de avances recientes para mejorar la superficie exterior del tubo (véase, por ejemplo, las patentes de EE.UU. nº. 5.697.430 y 5.996.686), sólo una pequeña parte de la resistencia total del tubo es atribuible al exterior del tubo. Por ejemplo, un tubo típico de evaporador utilizado en un enfriador inundado con una superficie exterior mejorada pero superficie interior suave tiene normalmente una proporción de resistencia interior: resistencia exterior de 10:1. Idealmente, se quiere obtener una proporción de resistencia interior a exterior de 1:1. Se convierte en lo más importante, por lo tanto, el desarrollo de mejoras en la superficie interior del tubo que reduzcan significativamente la resistencia del lado de tubo y mejoren las prestaciones totales de transferencia de calor del tubo.

25 Se sabe cómo proporcionar tubos de transferencia de calor con surcos y lomas alternas en sus superficies interiores. Los surcos y las lomas cooperan para aumentar la turbulencia de los medios fluidos de transferencia de calor, tal como agua, suministrados dentro del tubo. Esta turbulencia aumenta la mezcla de fluidos cerca de la superficie interior del tubo para reducir o eliminar virtualmente el desarrollo de la capa límite del medio fluido cercano a la superficie interior del tubo. La resistencia térmica de la capa límite resta significativamente prestaciones de transferencia de calor al aumentar la resistencia del tubo a la transferencia de calor. Los surcos y las lomas también proporcionan un área superficial extra para el intercambio adicional de calor. Esta premisa básica se enseña en la patente de EE.UU. nº 3.847.212 de Withers, Jr. et al.

30 El patrón, las formas y los tamaños de los surcos y las lomas en la superficie interior del tubo pueden cambiarse para aumentar aún más las prestaciones de intercambio de calor. Con este fin, los fabricantes de tubos han invertido mucho para experimentar con diseños alternativos, incluyendo los descritos en la patente de EE.UU. nº 5.791.405 de Takima et al., las patentes de EE.UU. nº 5.332.034 y 5.458.191 de Chiang et al., y la patente de EE.UU. nº 5.975.196 de Gaffaney et al.

35 Además, algunos tipos de superficies de transferencia de calor trabajan utilizando el cambio de fase de un líquido para absorber calor. De este modo, las superficies de transferencia de calor a menudo incorporan una superficie para mejorar la ebullición o evaporación. generalmente se sabe que las prestaciones de transferencia de calor de una superficie pueden mejorarse aumentando los sitios de nucleación en las superficies de ebullición, induciendo la agitación cerca de una superficie de transferencia de calor de fase única o aumentando el área y los efectos de tensión superficial en superficies de condensación. Un método para aumentar la ebullición o evaporación es hacer áspera la superficie de transferencia de calor mediante métodos de sintetización, fundido por radiación o ataque químico para formar una capa porosa sobre la misma. Una superficie de transferencia de calor que tiene una capa tan porosa se sabe que exhibe mejores características de transferencia de calor que una superficie lisa. Sin embargo, los vacíos o celdas formados por los susodichos métodos son pequeños y las impurezas contenidas en el líquido en ebullición los pueden atascar de modo que se perjudican las prestaciones de transferencia de calor de la superficie. Adicionalmente, dado que los vacíos o celdas formados no son de tamaño o dimensiones uniformes, las prestaciones de transferencia de calor pueden variar a lo largo de la superficie. Además, los tubos conocidos de transferencia de calor que incorporan superficies de ebullición o evaporación a menudo necesitan múltiples etapas o pasadas con herramientas para crear la superficie final.

Los fabricantes de tubos han invertido mucho para experimentar con diseños alternativos, incluyendo los descritos en la patente de EE.UU. nº 4.561.497 de Nakajima et al., la patente de EE.UU. nº 4.602.681 de Daikoku et al., la patente de EE.UU. nº 4.606.405 de Nakayama et al., la patente de EE.UU. nº 4.653.163 de Kuwahara et al., la patente de EE.UU. nº 4.678.029 de Sasaki et al., la patente de EE.UU. nº 4.794.984 de Lin y la patente de EE.UU. nº 5.351.397 de Angeli. El preámbulo de la reivindicación 1 se basa en el documento DE 8606993U.

Si bien todos estos diseños de superficie tratan de mejorar las prestaciones de transferencia de calor de la superficie, permanece la necesidad en la industria de continuar mejorando los diseños de tubo modificando los diseños existentes y creando unos nuevos que aumenten las prestaciones de transferencia de calor. Adicionalmente, también existe la necesidad de crear diseños y patrones que puedan ser transferidos a las superficies de transferencia de calor más rápidamente y de manera más rentable. Según se describe más adelante, las geometrías de las superficies de transferencia de calor de la invención, así como las herramientas para formar esas geometrías, tienen prestaciones de transferencia de calor significativamente mejoradas.

Sumario de la invención

La invención está relacionada con un conjunto de herramienta que puede ser utilizado para mejorar superficies de transferencia de calor, tal como las que pueden formarse en un tubo, y con ello mejorar las prestaciones de transferencia de calor de los tubos utilizados en por lo menos todas las susodichas aplicaciones (es decir, evaporadores inundados, evaporadores de película descendente, evaporadores por rociado, enfriadores de absorción, condensadores, refrigeradores de expansión directa y refrigeradores y calentadores de fase única, utilizados en las industrias de refrigeración, químicas, petroquímicas y de tratamiento de alimentos).

El conjunto de herramienta incluye unas varillas que tienen unas puntas configuradas para formar las superficies deseadas y situadas en un portaherramientas. El conjunto de herramienta se configura de modo que, cuando está en uso, las puntas se extienden desde el portaherramientas para cortar la superficie de tubo pero se retraen dentro del portaherramientas cuando el corte está completo. De esta manera, se protegen las puntas para que no se desportillen o emboten cuando no están en uso. Las varillas se hacen preferiblemente de carburo. El carburo más fuerte sólo está disponible en forma de varilla. De este modo, con la configuración de varilla de la invención, las puntas pueden formarse del material disponible más fuerte para cortar. Pueden impartirse diferentes geometrías a las puntas de la varilla para crear superficies diferentes. Sin embargo, a pesar de la geometría de las puntas de varilla, las puntas de varilla pueden volverse a conformar muchas veces antes de que las varillas deban ser reemplazadas. Esto reduce significativamente los costes en herramientas y material. Además, las varillas son desmontables del conjunto de herramienta. De este modo, cuando una punta se desportilla o embota, la varilla puede ser quitada para volverla a conformar su punta o reemplazarla por completo.

El conjunto de herramienta puede utilizarse para formar una pluralidad de salientes en la superficie del tubo que reduce significativamente la resistencia del lado del tubo y mejora las prestaciones generales de transferencia de calor. Los salientes crean unos recorridos adicionales para el flujo de fluido dentro del tubo y con ello aumenta la turbulencia de los medios de transferencia de calor que fluyen dentro del tubo. Esto aumenta la mezcla de fluido para reducir el desarrollo de la capa límite del medio fluido cerca de la superficie interior del tubo, tal desarrollo aumenta la resistencia y con ello se impide la transferencia de calor. Los salientes también proporcionan un área superficial extra para un intercambio adicional de calor. La formación de los salientes según esta invención puede tener como resultado la formación de hasta cinco veces más área superficial por la superficie interior del tubo que con lomas sencillas.

El conjunto de herramienta también puede utilizarse para crear una pluralidad de cavidades que disminuyen apreciablemente el tiempo de transición para cambiar desde una fase a la siguiente, para cambiar por ejemplo de una sola fase a evaporación. Las cavidades tienen como resultado una película delgada que ebulle dentro de la cavidad, y, dado que el coeficiente de transferencia de calor es inversamente proporcional al grosor de la película, con ello se aumenta la transferencia de calor. Los salientes que crean las cavidades también proporcionan un área superficial extra para un intercambio adicional de calor.

El método de esta invención incluye utilizar el conjunto de herramienta, que puede añadirse fácilmente a los equipos de fabricación existentes, con una punta cortante para cortar las lomas sobre la superficie del tubo o directamente en la superficie del tubo para crear capas y levantar las capas para formar los salientes. De esta manera, los salientes se forman sin eliminación de metal de la superficie interior del tubo, eliminando con ello la suciedad que pueda dañar el equipo en el que se utilizan los tubos. Por último, el método también puede incluir el aplanar o doblar las puntas de los salientes. Los surcos, los salientes y las puntas aplanadas en la superficie del tubo pueden formarse en la misma operación o en una diferente.

El conjunto de herramienta puede utilizarse para mejorar la superficie interior o exterior de un tubo de transferencia de calor o puede utilizarse en superficies planas de transferencia de calor, tales como se utilizan para enfriar microdispositivos electrónicos. Tales superficies pueden ser adecuadas en cualquier número de aplicaciones, incluyendo, por ejemplo, las aplicaciones para el uso en las industrias de climatización, de refrigeración, químicas, petroquímicas y de tratamiento de alimentos. Las geometrías físicas de los salientes pueden cambiarse para hacer a medida el tubo para una aplicación particular y medio fluido.

Breve descripción de los dibujos

- La FIG. 1a es una vista fragmentaria en perspectiva de la superficie interior formada parcialmente de una realización de un tubo de esta invención.
- La FIG. 1b es una vista en alzado lateral del tubo mostrado en la FIG. 1a en la dirección de la flecha a.
- 5 La FIG. 1c es una vista en alzado lateral similar a la FIG. 1b excepto porque los salientes sobresalen de la superficie interior del tubo en una dirección que no es perpendicular al eje s del tubo.
- La FIG. 1d es una vista en alzado frontal del tubo mostrado en la FIG. 1a en la dirección de la flecha b.
- La FIG. 1e es una vista en planta superior del tubo mostrado en la FIG. 1a.
- La FIG. 2 es una fotomicrografía de una superficie interior de una realización de un tubo de esta invención.
- 10 La FIG. 3 es una fotomicrografía de una superficie interior de una realización alternativa de un tubo de esta invención.
- La FIG. 4 es una vista en alzado lateral de una realización del equipo de fabricación que puede utilizarse para producir tubos según esta invención.
- La FIG. 5 es una vista en perspectiva del equipo de la FIG. 4.
- 15 La FIG. 6a es una vista en perspectiva de una realización de la herramienta de esta invención.
- La FIG. 6b es una vista en alzado lateral de la herramienta mostrada en la FIG. 6a.
- La FIG. 6c es una vista en planta inferior de la herramienta de la FIG. 6b.
- La FIG. 6d es una vista en planta superior de la herramienta de la FIG. 6b.
- La FIG. 7a es una vista en perspectiva de una realización alternativa de la herramienta de esta invención
- 20 La FIG. 7b es una vista en alzado lateral de la herramienta mostrada en la FIG. 7a.
- La FIG. 7c es una vista en planta inferior de la herramienta de la FIG. 7b.
- La FIG. 7c es una vista en planta superior de la herramienta de la FIG. 7b.
- La FIG. 8a es una vista fragmentaria en perspectiva de la superficie interior parcialmente formada de una realización alternativa de un tubo de esta invención en el que la profundidad del corte por las lomas es menor que la altura de la loma.
- 25 La FIG. 8b es una vista fragmentaria en perspectiva de la superficie interior parcialmente formada de una realización alternativa de un tubo de esta invención en el que la profundidad del corte por las lomas es mayor que la altura de la loma.
- La FIG. 9a es una vista fragmentaria en planta superior de la superficie interior de otra realización de un tubo según esta invención.
- 30 La FIG. 9b es una vista en alzado del tubo mostrado en la FIG. 9a en la dirección de la flecha 22.
- La FIG. 10a es una vista fragmentaria de una superficie interior de un tubo de esta invención, mostrando la herramienta aproximándose a la loma en la dirección g para cortar un saliente de la loma en la dirección g.
- La FIG. 10b es una vista fragmentaria de una superficie interior alternativa de un tubo de esta invención, mostrando la herramienta aproximándose a la loma en la dirección g para cortar un saliente de la loma en la dirección g.
- 35 La FIG. 11a es un esquema de la superficie interior de un tubo según esta invención que muestra la orientación angular entre las lomas y los surcos, por lo que las lomas y los surcos son una hélice de sentido opuesto.
- La FIG. 11b es un esquema de la superficie interior de un tubo según esta invención que muestra la orientación angular entre las lomas y los surcos, por lo que las lomas y los surcos son una hélice con el mismo sentido.
- 40 La FIG. 12 es un gráfico de barras que compara los coeficientes de transferencia de calor por el lado del tubo de varios tubos de la técnica anterior y de tubos según esta invención.
- La FIG. 13 es un gráfico de barras que compara los coeficientes de transferencia de calor total de varios tubos de la técnica anterior y de tubos según esta invención.

- La FIG. 14 es una vista fragmentaria en perspectiva de una superficie de ebullición parcialmente formada en el diámetro interior de un tubo de transferencia de calor según una realización de la invención.
- La Fig. 15A es una vista fragmentaria en perspectiva de la superficie de ebullición parcialmente formada de la realización de la FIG. 14.
- 5 La FIG. 15B es una fotomicrografía de la superficie de ebullición parcialmente formada de la FIG. 15A.
- La FIG. 15C es una vista en sección transversal de la superficie de ebullición parcialmente formada de la FIG. 15A.
- La FIG. 16A es una vista fragmentaria en perspectiva de una superficie de ebullición en el diámetro interior de un tubo de transferencia de calor según una realización alternativa de la invención.
- La FIG. 16B es una vista en sección transversal del tubo mostrado en la FIG. 16A.
- 10 La FIG. 16C es una fotomicrografía de una vista en planta superior de la superficie de ebullición de la FIG. 16A.
- La FIG. 16D es una fotomicrografía de una sección transversal de la superficie de ebullición de la FIG. 16A.
- La FIG. 17A es una vista fragmentaria en perspectiva de una superficie de ebullición en el diámetro interior de un tubo de transferencia de calor según una realización alternativa de la invención.
- La FIG. 17B es una vista en sección transversal del tubo mostrado en la FIG. 17A.
- 15 La FIG. 18A es una vista fragmentaria en perspectiva de una superficie de ebullición en el diámetro interior de un tubo de transferencia de calor según una realización alternativa de la invención.
- La FIG. 18B es una fotomicrografía de una sección transversal de la superficie de ebullición de la FIG. 18A.
- La FIG. 18C es una vista en sección transversal de la superficie de ebullición de la FIG. 18A.
- La FIG. 19 es una vista en perspectiva de una herramienta de acanaladura.
- 20 La FIG. 20A es una vista en perspectiva de una herramienta según otra realización de la invención.
- La FIG. 20B es una vista en perspectiva de una superficie de ebullición formada por la herramienta de la FIG. 20A.
- La FIG. 20C es una fotomicrografía de la superficie de ebullición de la FIG. 20B.
- La FIG. 21 es una vista en perspectiva de una realización del equipo de fabricación que puede utilizarse para producir tubos de transferencia de calor según esta invención.
- 25 La FIG. 22 es una vista en perspectiva de una herramienta según otra realización de la invención.
- La FIG. 23A es una vista en sección transversal de una superficie de ebullición en el diámetro interior de un tubo de transferencia de calor según una realización alternativa de la invención.
- La FIG. 23B es una fotomicrografía de la superficie de ebullición de la FIG. 23A.
- 30 La FIG. 24A es una vista en sección transversal de una superficie de ebullición a medida que es formada con una herramienta según una realización de la invención.
- La FIG. 24B es una vista en sección transversal de una superficie de ebullición a medida que es formada con una herramienta según una realización alternativa de la invención.
- La FIG. 24C es una vista en perspectiva de una punta de herramienta según una realización de la invención que puede ser utilizada para formar las superficies de ebullición de las FIGS. 24A y 24B.
- 35 La FIG. 24D es una vista alternativa en perspectiva de la punta de herramienta mostrada en la FIG. 24C.
- La FIG. 25 es una vista en perspectiva de una realización alternativa de herramienta de esta invención con puntas rebajadas.
- La FIG. 26 es una vista en perspectiva del equipo de la FIG. 25 con las puntas expuestas.
- La FIG. 27 es una vista en perspectiva de una varilla de la realización de las FIGS. 25 y 26.
- 40 La FIG. 28 es una vista en perspectiva de una guía de varilla de la realización de las FIGS. 25 y 26.
- La FIG. 29 es una vista alternativa en perspectiva de la guía de varilla de la FIG. 28.

La FIG. 30 es una vista en perspectiva de la varilla de la FIG. 27 situada en la guía de varilla de las FIGS. 28 y 29.

La FIG. 31 es una vista en perspectiva de la varilla de la FIG. 27 situada y asegurada en la guía de varilla de las FIGS. 28 y 29.

La FIG. 32 es una vista en perspectiva del portaherramientas de la realización de las FIGS. 25 y

5 26.

La FIG. 33 es una vista alternativa en perspectiva del portaherramientas de la FIG. 32.

La FIG. 34 es una vista en perspectiva del conjunto de varilla/guía de varillas de las FIGS. 30 y 31 situada en el portaherramientas de las FIGS. 32 y 33.

Descripción detallada de los dibujos

10 Debe comprenderse que un tubo según esta invención es generalmente útil en, pero no limitado a, cualquier aplicación en la que sea necesario transferir calor de un lado del tubo al otro lado del tubo, tal como en evaporadores y condensadores de varias fases (ambas líquidas o gases puros o mezclas de líquido/gas). Si bien la siguiente explicación proporciona dimensiones deseables para un tubo de esta invención, los tubos de esta invención pretenden de ninguna manera estar limitados a esas dimensiones. En cambio, las geometrías deseables del tubo dependerán de muchos factores, el menos importante de ellos no son las propiedades del fluido que fluye por el tubo. Un experto en la técnica comprenderá cómo alterar la geometría de las superficies del tubo para maximizar la transferencia de calor utilizada en diversas aplicaciones y diversos fluidos. Además, aunque los dibujos muestren la superficie como si se encontrara en la superficie interior de un tubo, debe comprenderse que la superficie es adecuada para el uso en la superficie exterior de un tubo o en una superficie plana, tal como se utiliza en la microelectrónica.

15 Las FIGS. 1a-e muestran una superficie interior parcialmente formada 18 de una realización del tubo 21 de esta invención. La superficie interior 18 incluye una pluralidad de salientes 2. Los salientes 2 se forman a partir de lomas 1 formadas en la superficie interior 18. Las lomas 1 se forman primero en la superficie interior 18 tal como por, pero no limitado a, deformación, corte, escariado o extrusión. Las lomas 1 se cortan entonces para crear capas 4 de lomas, que son levantadas subsiguientemente para formar los salientes 2 (se ve mejor en las FIGS. 1a y 1b). Este corte y elevación pueden, pero no tienen por qué, consumarse utilizando la herramienta 13, mostrada en las FIGS. 6a-d y 7a-d, o el conjunto de herramienta 510, mostrado en las FIGS. 25-34, ambos se describen más adelante.

20 Las lomas 1 se forman en la superficie interior 18 con un ángulo de hélice α con el eje s del tubo (véase las FIGS. 1a y 1e). El ángulo de hélice α puede ser cualquier ángulo entre 0° y 90° , pero preferiblemente no supera los 70° . Un experto en la técnica entenderá fácilmente que el ángulo preferido de hélice α a menudo dependerá, por lo menos en parte, del medio fluido utilizado. La altura e_r de las lomas 1 debe ser generalmente más grande cuanto más viscoso es el líquido que fluye por el tubo 21. Por ejemplo, será generalmente deseable una altura e_r mayor que cero (preferiblemente, pero no necesariamente, por lo menos 0,0254 mm (0,001 pulgadas)) hasta el 25% del diámetro de dentro del tubo (D_i) en una muestra de tubo utilizada con líquidos sumamente viscosos a bajas temperaturas. Para los propósitos de esta aplicación, D_i es el diámetro de dentro de tubo 21 medido desde la superficie interior 18 del tubo 21. El paso axial $P_{a,r}$ de las lomas 1 depende de muchos factores, incluyendo el ángulo de hélice α , el número de lomas 1 formadas en la superficie interior 18 del tubo 21, y el diámetro interior D_i del tubo 21. Si bien puede utilizarse cualquier paso $P_{a,r}$, la proporción de $P_{a,r}/e_r$ es preferiblemente por lo menos 0,002, y la proporción de e_r/D_i es preferiblemente entre aproximadamente 0,001 y 0,25. Otra vez, sin embargo, un experto en la técnica entenderá fácilmente que estos valores preferidos de proporción a menudo dependerán, por lo menos en parte, del medio fluido utilizado y las condiciones de funcionamiento (por ejemplo, la temperatura del medio fluido).

25 Las capas 4 de loma se cortan con un ángulo θ con el eje s que es preferiblemente entre aproximadamente de 20° a 50° , inclusive, y más preferiblemente alrededor de 30° . El paso axial $P_{a,p}$ de los salientes 2 pueden ser cualquier valor mayor que cero y generalmente dependerá de, entre otros factores, las revoluciones por minuto relativas entre la herramienta (se explica más adelante) y el tubo durante la fabricación, la tasa de desplazamiento axial relativo entre la herramienta y el tubo durante la fabricación, y el número de puntas dispuestas en la herramienta utilizada para formar los salientes durante la fabricación. Si bien los salientes resultantes 2 pueden tener cualquier espesor S_p , el espesor S_p es preferiblemente alrededor del 20-100% del paso $P_{a,p}$. La altura e_p , de los salientes 2 depende de la profundidad de corte t (como se ve en las FIGS. 1b, 8a, y 8b) y el ángulo θ con el que se cortan las capas 4 de loma. La altura e_p de los salientes 2 es preferiblemente un valor por lo menos tan grande como la profundidad de corte t y hasta tres veces la profundidad de corte t. Es preferible, pero no necesario, formar las lomas 1 con una altura e_r y establecer el ángulo de corte θ en un valor que tendrá como resultado que la altura e_p de los salientes 2 sea por lo menos aproximadamente el doble que la altura e_r de las lomas 1. De este modo, la proporción de e_p/D_i está preferiblemente entre aproximadamente 0,002-0,5 (es decir, e_p/D_i es el doble del intervalo preferido de la proporción e_r/D_i de aproximadamente 0,001-0,25).

30 Las FIGS. 1a y 1b muestran que la profundidad de corte t es igual a la altura e_r de las lomas 1 de modo que la base del saliente 2 se encuentre en la superficie interior 18 del tubo 21. Sin embargo, la profundidad de corte t no

tiene por qué ser igual a la altura e_r de la loma. En cambio, las lomas 1 pueden cortarse sólo parcialmente por las lomas 1 (véase la FIG. 8a) o más allá de la altura de las lomas 1 y en la pared 3 del tubo (véase la FIG. 8b). En la FIG. 8a, las lomas 1 no se cortan por toda su altura e_r de modo que la base 40 de los salientes 2 se encuentre más alejada de la superficie interior 18 del tubo 21 que la base 42 de las lomas 1, que se encuentra en la superficie interior 18. Por contra, la FIG. 8b ilustra una profundidad de corte t más allá de la altura e_r de loma, de modo que por lo menos una pared de los salientes 2 se extiende a la pared 3 de tubo, más allá de la superficie interior 18 y la base 42 de loma.

Cuando se levantan las capas 4 de loma, se forman unos surcos 20 entre los salientes adyacentes 2. Las capas 4 de loma se cortan y levantan de modo que los surcos 20 se orientan sobre la superficie interior 18 con un ángulo τ con el eje s de tubo 21 (véase las FIGS. 1e, 11a, y 11b), que está preferiblemente, pero no tiene por qué, entre aproximadamente 80° y 100° .

La forma de los salientes 2 depende de la forma de las lomas 1 y la orientación de las lomas 1 con respecto a la dirección de movimiento de la herramienta 13. En la realización de las FIGS. 1a-e, los salientes 2 tienen cuatro superficies laterales 25, una superficie superior inclinada 26 (que ayuda a disminuir la resistencia a la transferencia de calor), y una punta substancialmente puntiaguda 28. Sin embargo, los salientes 2 de esta invención no pretenden de ninguna manera estar limitados a esta realización ilustrada, sino que pueden formarse con cualquier forma. Además, los salientes 2 en el tubo 21 no tienen por qué tener la misma forma ni tener la misma geometría.

Si la orientación de los salientes 2 es recta (véase la FIG. 10a) o doblada o retorcida (véase la FIG. 10b) depende del ángulo β formado entre las lomas 1 y la dirección de movimiento g de la herramienta 13. Si el ángulo β es de menos de 90° , los salientes 2 tendrán una orientación relativamente recta, tal como se muestra en la FIG. 10a. Si el ángulo β es de más de 90° , los salientes 2 tendrán una orientación más doblada y/o retorcida, como, por ejemplo, se muestra en la FIG. 10b.

La herramienta 13 puede utilizarse para cortar las lomas 1 y levantar las capas resultantes 4 de loma para formar los salientes 2. Sin embargo, pueden utilizarse otros dispositivos y métodos para formar salientes 2. La herramienta 13 pueden hacerse de cualquier material que tenga la integridad estructural para resistir el corte de metal (por ejemplo acero, carburo, cerámica, etc.), pero preferiblemente se hace de un carburo. Las realizaciones de la herramienta 13 mostradas en las FIGS. 6a-d y 7a-d tienen generalmente un eje q de herramienta, dos paredes de base 30, 32 y una o más paredes laterales 34. La abertura 16 se encuentra a través de la herramienta 13. Las puntas 12 se forman en las paredes laterales 34 de la herramienta 13. Cabe señalar, sin embargo, que las puntas pueden montarse o formarse en cualquier estructura que pueda soportar las puntas con la orientación deseada con respecto al tubo 21 y tal estructura no está limitada a la descrita en las FIGS. 6a-D y 7a-d. Además, las puntas pueden ser retráctiles dentro de su estructura de soporte de modo que el número de puntas utilizadas en el proceso de corte pueda variarse fácilmente.

Las FIGS. 6a-d ilustran una realización de la herramienta 13 que tiene a una sola punta 12. Las FIGS. 6a-d ilustran una realización alternativa de la herramienta 13 que tiene cuatro puntas 12. Los expertos en la técnica comprenderán que la herramienta 13 puede ser equipada con cualquier número de puntas 12 dependiendo del paso $P_{a,p}$ deseado de los salientes 2. Además, la geometría de cada punta no tiene por qué ser la misma para las puntas de una única herramienta 13. En cambio, en la herramienta 13 se pueden proporcionar puntas 12 con diferentes geometrías para formar salientes que tengan diferentes formas, orientaciones y otras geometrías.

Cada punta se forma por la intersección de los planos A, B y C. La intersección de los planos A y B forma un borde cortante 14 que corta a través de las lomas 1 para formar las capas 4 de lomas. El plano B está orientado con un ángulo ϕ con respecto a un plano perpendicular al eje q de la herramienta (véase la FIG. 6b). El ángulo ϕ se define como $90^\circ - \theta$. De este modo, el ángulo ϕ está preferiblemente entre aproximadamente 40° - 70° para permitir que el borde cortante 14 corte a través de las lomas 1 con el ángulo deseable θ entre aproximadamente 20° - 50° .

La intersección de los planos A y C forma un borde de elevación 15 que eleva las capas 4 de lomas hacia arriba para formar los salientes 2. El ángulo (ϕ_1 , definido por el plano C y un plano perpendicular al eje q de la herramienta, determina el ángulo de inclinación ω (el ángulo entre un plano perpendicular al eje longitudinal s del tubo 21 y el eje longitudinal de los salientes 2 (véase la FIG. 1c)) en el que los salientes 2 son levantados por el borde de elevación 15. El ángulo $\phi_1 = \text{ángulo } \omega$, y de este modo el ángulo ϕ_1 en la herramienta 13 puede ajustarse para impactar directamente en el ángulo de inclinación ω de los salientes 2. El ángulo de inclinación ω (y el ángulo ϕ_1) es preferiblemente el valor absoluto de cualquier ángulo entre aproximadamente -45° a 45° con respecto al plano perpendicular al eje longitudinal s del tubo 21. De esta manera, los salientes pueden ser alineados con el plano perpendicular al eje longitudinal s del tubo 21 (véase la FIG. 1b) o inclinarse a izquierda y derecha con respecto al plano perpendicular al eje longitudinal del tubo 21 (véase la FIG. 1c). Además, las puntas 12 pueden formarse para tener geometrías diferentes (es decir, el ángulo ϕ_1 puede ser diferente en puntas diferentes), y de este modo los salientes 2 dentro de tubo 21 pueden inclinarse con ángulos diferentes (o ninguno en absoluto) y en direcciones diferentes con respecto al plano perpendicular al eje longitudinal s del tubo 21.

Si bien se han identificado intervalos preferidos de valores para las dimensiones físicas de los salientes 2, los expertos en la técnica reconocerán que las dimensiones físicas de la herramienta 13 pueden ser modificadas para

impactar en las dimensiones físicas de los salientes resultantes 2. Por ejemplo, la profundidad t que el borde cortante 14 corta en las lomas 1 y el ángulo φ afectan a la altura e_p de los salientes 2. Por lo tanto, la altura e_p de los salientes 2 puede ser ajustada utilizando la expresión $e_p = t / \text{sen}(90 - \varphi)$

o, dado que $\varphi = 90 - \theta$,

5
$$e_p = t / \text{sen}(\theta)$$

Donde: t es la profundidad de corte;

φ es el ángulo entre el plano B y un plano perpendicular al eje q de la herramienta; y

θ es el ángulo en el que se cortan las capas 4 de lomas con respecto al eje longitudinal s del tubo 21.

10 El espesor S_p de los salientes 2 depende del paso $P_{a,p}$ de los salientes 2 y del ángulo φ . Por lo tanto, el espesor S_p puede ajustarse utilizando la expresión

$$S_p = P_{a,p} \cdot \text{sen}(90 - \varphi)$$

o, dado que $\varphi = 90 - \theta$,

$$S_p = P_{a,p} \cdot \text{sen}(\theta)$$

Donde:

15 $P_{a,p}$ es el paso axial de los salientes 2;

φ es el ángulo entre el plano B y un plano perpendicular al eje q de la herramienta; y

θ es el ángulo en el que se cortan las capas 4 de lomas con respecto al eje longitudinal s del tubo 21.

20 Las FIGS. 4 y 5 ilustran una posible configuración de fabricación para mejorar las superficies del tubo 21. Estas figuras no pretenden de ninguna manera limitar el proceso con el que se fabrican los tubos de acuerdo con esta invención, sino en cambio se puede utilizar cualquier proceso de fabricación de tubos que utilice cualquier equipo o configuración de equipos adecuados. Los tubos de esta invención pueden hacerse de una variedad de materiales que posean propiedades físicas adecuadas incluyendo integridad estructural, maleabilidad y plasticidad, tales como, por ejemplo, cobre y aleaciones de cobre, aluminio y aleaciones de aluminio, latón, titanio, acero y acero inoxidable. Las FIGS. 4 y 5 ilustran tres husillos 10 que funcionan en el tubo 21 para mejorar la superficie exterior del tubo 21. Cabe señalar que en la FIG. 4 se ha omitido uno de estos husillos 10. Cada husillo 10 incluye una configuración de herramienta que tiene unos discos de aleteadura 7 que extruden radialmente desde una a múltiples aletas exteriores iniciales 6 que tienen el paso axial $P_{a,p}$. La configuración de la herramienta puede incluir discos adicionales, tales como discos para hacer muescas o de aplanamiento, para mejorar aún más la superficie exterior del tubo 21. Además, si bien sólo se muestran tres husillos 10, se pueden utilizar menos o más husillos dependiendo de las mejoras deseadas de la superficie exterior. Cabe señalar, sin embargo, que dependiendo de la aplicación del tubo, las mejoras no tienen por qué proporcionarse en absoluto en la superficie exterior del tubo 2.

25 En un ejemplo de una manera de mejorar la superficie interior 18 del tubo 21, un árbol 11 de mandril, en el que se monta el mandril 9 de manera rotatoria, se extiende dentro del tubo 21. La herramienta 13 se monta sobre el árbol 11 a través de la abertura 16. El perno 24 asegura la herramienta 13 en su sitio. La herramienta 13 se traba preferiblemente en cuanto a rotación con el árbol 11 mediante cualquier medio adecuado. Las FIGS. 6d y 7d ilustran un surco 17 de chaveta que puede proporcionarse en la herramienta 13 para trabarse con un saliente en el árbol 11 (no se muestra) para fijar la herramienta 13 en su sitio con respecto al árbol 11.

30 En funcionamiento, el tubo 21 rota generalmente cuando se mueve por el proceso de fabricación. La pared 3 del tubo se mueve entre el mandril 9 y los discos de aleteado 7, que ejercen presión en la pared 3 del tubo. Bajo presión, el metal de la pared 3 del tubo fluye a los surcos entre los discos de aleteado 7 para formar unas aletas 6 en la superficie exterior del tubo 21.

35 La imagen reflejada de un patrón de superficie interior deseado se proporciona en el mandril 9 de modo que el mandril 9 formará la superficie interior 18 del tubo 21 con el patrón deseado cuando el tubo 21 se acople al mandril 9. Un patrón deseable de superficie interior incluye las lomas 1, como se muestra en las FIGS. 1a y 4. Después de la formación de las lomas 1 en la superficie interior 18 del tubo 21, el tubo 21 se encuentra a la herramienta 13 situada junto y aguas abajo del mandril 9. Según se ha explicado anteriormente, los bordes cortantes 14 de la herramienta 13 cortan las lomas 1 para formar las capas 4 de lomas. Los bordes de elevación 15 de la herramienta 13 levantan entonces las capas 4 de lomas para formar los salientes 2.

40 Cuando los salientes 2 se forman simultáneamente con aletas y la herramienta 13 está fija (es decir, no rota ni se mueve axialmente), el tubo 21 rota automáticamente y tienen un movimiento axial. En este caso, el paso axial de los salientes $P_{a,p}$ es gobernado por la siguiente fórmula:

$$P_{a,p} = \frac{P_{a,o} \cdot Z_o}{Z_i}$$

Donde:

$P_{a,o}$ es el paso axial de las aletas 6;

Z_o es el número de comienzos de aleta en el diámetro exterior del tubo 21; y

5 Z_i es el número de puntas 12 en la herramienta 13.

Para obtener un paso axial específico $P_{a,p}$ de saliente, la herramienta 13 también puede rotarse. El tubo 21 y la herramienta 13 pueden rotar en el mismo sentido, o como alternativa el tubo 21 y la herramienta 13 pueden rotar, pero en sentidos opuestos. Para obtener un paso de saliente axial predeterminado $P_{a,p}$, la rotación necesaria (en revoluciones por minuto (RPM)) de la herramienta 13 puede calcularse utilizando la fórmula siguiente:

$$RPM_{tool} = \frac{RPM_{tube} (P_{a,o} \cdot Z_o - P_{a,p} \cdot Z_i)}{Z_i \cdot P_{a,p}}$$

10

Donde:

RPM_{tube} es la frecuencia de rotación del tubo 21;

$P_{a,o}$ es el paso axial de las aletas exteriores 6;

Z_o es el número de comienzos de aleta en el diámetro exterior del tubo 21;

15 $P_{a,p}$ es el paso axial deseable de los salientes 2; y

Z_i es el número de puntas 12 en la herramienta 13.

Si el resultado de este cálculo es negativo, entonces la herramienta 13 debe rotar en el mismo sentido que el tubo 21 para obtener el paso deseado $P_{a,p}$. Como alternativa, si el resultado de este cálculo es positivo, entonces la herramienta 13 debe rotar en sentido opuesto al tubo 21 para obtener el paso deseado $P_{a,p}$.

20 Cabe señalar que si bien se muestra la formación de salientes 2 en la misma operación que la formación de lomas 1, los salientes 2 pueden producirse en una operación distinta del aleateado utilizando un tubo con lomas interiores 1 formadas previamente. Esto requeriría generalmente que un conjunto rotara la herramienta 13 o el tubo 21 y moviera la herramienta 13 o el tubo 21 a lo largo del eje del tubo. Además, preferiblemente se proporciona un soporte para centrar la herramienta 13 con respecto a la superficie 18 del tubo.

25 En este caso, el paso axial $P_{a,p}$ de los salientes es gobernado por la siguiente fórmula:

$$P_{a,p} = X_a / (RPM \cdot Z_i)$$

Donde:

X_a es la velocidad axial relativa entre el tubo 21 y la herramienta 13 (distancia/tiempo);

RPM es la frecuencia relativa de rotación entre la herramienta 13 y el tubo 21;

30 $P_{a,p}$ es el paso axial deseable de los salientes 2; y

Z_i es el número de puntas 12 en la herramienta 13.

35 Esta fórmula es adecuada cuando (1) el tubo se mueve sólo axialmente (es decir, no rota) y la herramienta sólo rota (es decir, no se mueve axialmente); (2) el tubo sólo rota y la herramienta se mueve sólo axialmente; (3) la herramienta rota y se mueve axialmente pero el tubo está fijo de manera rotatoria y axial; (4) el tubo rota y se mueve axialmente pero la herramienta está fija de manera rotatoria y axial; y (5) cualquier combinación de las anteriores.

Con la superficie interior del tubo de esta invención, se crean recorridos adicionales para el flujo de fluido (entre los salientes 2 a través de los surcos 20) para optimizar la transferencia de calor y la caída de presión. La FIG. 9a ilustra estos recorridos adicionales 22 para el desplazamiento del fluido a través del tubo 21. Estos recorridos 22 son adicionales a los recorridos 23 de flujo de fluido creados entre las lomas 1. Estos recorridos adicionales 22 tienen un

ángulo de hélice α_1 con respecto al eje s del tubo. El ángulo α_1 es el ángulo entre los salientes 2 formados desde lomas adyacentes 1. La FIG. 9b muestra claramente estos recorridos adicionales 22 formados entre salientes 2. El ángulo de hélice α_1 , y de este modo la orientación de los recorridos 22 a través del tubo 21, pueden ajustarse mediante el ajuste del paso $P_{a,p}$ de los salientes 2 utilizando la siguiente expresión

$$P_{a,p} = \frac{P_{a,r} \cdot \tan(\alpha) \cdot \pi D_i}{\pi D_i \cdot (\tan(\alpha) + \tan(\alpha_1)) \pm P_{a,r} \cdot \tan(\alpha) \cdot \tan(\alpha_1) \cdot Z_i}$$

Donde:

α_1 es el ángulo de hélice deseable entre salientes 2;

Z_i es el número de puntas 12 en la herramienta 13; y

D_i es el diámetro de dentro del tubo 21 medido desde la superficie interior 18 del tubo 21.

- 10 Si el ángulo de hélice de loma α y el ángulo τ de los surcos 20 son ambos de hélice a derechas o izquierdas (véase la FIG. 11b), entonces debe utilizarse "[-]" en la expresión antes mencionada. Como alternativa, si el ángulo de hélice α de loma y el ángulo τ de los surcos 20 son hélices de sentido opuesto (véase la FIG. 11a), entonces debe utilizarse "[+]" en la expresión antes mencionada.

- 15 Los tubos que tienen las superficies descritas antes superan a los tubos existentes. Las FIGS. 12 y 13 ilustran gráficamente las prestaciones mejoradas de dos ejemplos de tales tubos (Tubos de ebullición Tubo n.º. 25 y Tubo n.º. 14) al demostrar las diferencias en los factores de mejora entre estos tubos. El factor de mejora es el factor por el que los coeficientes de transferencia de calor (del lateral del tubo (véase la FIG. 12) y general (véase la FIG. 13)) de estos nuevos tubos (Tubo n.º. 25 y Tubo n.º. 14) aumenta sobre los tubos existentes (Turbo-B®, Turbo-BII® y Turbo B-III®). De nuevo, sin embargo, el Tubo n.º. 25 y el n.º. 14 son solamente ejemplos de tubos según esta invención.
20 Otros tipos de tubos hechos según esta invención superan a los tubos existentes en diversas aplicaciones.

- 25 Las características físicas de los tubos Turbo-B®, Turbo-BII® y Turbo B-III® se describen en las Tablas 1 y 2 de la patente de EE.UU. n.º 5.697.430 de Tores, et al. Turbo-B® se denomina como Tubo II; Turbo-BII® se denomina como Tubo III; y Turbo B-III® se denomina como Tubo IV_H. Las superficies del exterior del Tubo n.º. 25 y el Tubo n.º. 14 son idénticas a la de Turbo B-III® Las superficies de interior del Tubo n.º. 25 y el Tubo n.º. 14 son según esta invención e incluyen las siguientes características físicas:

Tabla 1. Dimensiones de tubo y de loma

	Tubo n.º. 25	Tubo n.º. 14
Diámetro exterior de Tubo/mm (pulgadas)	19,05 (0,750)	19,05 (0,750)
Diámetro de dentro del Tubo D_i /mm (pulgadas)	16,4 (0,645)	16,5 (0,650)
Número de lomas Interiores	85	34
Angulo de Hélice α de Lomas Interiores (grados)	20	49
Altura de Loma Interior e_r /mm (pulgadas)	0,22 (0,0085)	0,41 (0,016)
Paso Axial de loma Interior $P_{a,r}$ /mm (pulgadas)	1,7 (0,065)	1,3 (0,052)
$P_{a,r}/e_r$	7,65	3,25
e_r/D_i	0,0132	0,025

Tabla 2. Dimensiones de Saliente

	Tubo n.º. 25	Tubo n.º. 14
Altura de Saliente e_p /mm (pulgadas)	0,36 (0,014)	0,76 (0,030)
Paso Axial de Saliente $P_{a,p}$ /mm (pulgadas)	0,424 (0,0167)	0,366 (0,0144)
Espesor de Saliente S_p /mm (pulgadas)	0,21 (0,0083)	0,18 (0,007)

Profundidad de Corte en la Loma t / mm (pulgadas) 0,18 (0,007) 0,38 (0,015)

Además, la herramienta utilizada para formar los salientes en el Tubo nº. 25 y nº 14 tenían las características siguientes:

Tabla 3. Dimensiones de Herramienta

Número de Puntas Cortantes Z_i	3	1
Ángulo φ (grados)	60	60
Ángulo ω (grados)	2	2
Ángulo τ (grados)	89,5	89,6
Ángulo β (grados)	69,5	40,6
Número de Comienzos de Aleta de Diámetro Exterior	3	No disponible
Revoluciones de herramienta por Minuto	0	1014
Revoluciones de Tubo por Minuto	1924	0
X_a / ms^{-1} (pulgadas/minuto)	0,0407 (96,2)	0,00622 (14,7)

5 La FIG. 12 muestra que el coeficiente de transferencia de calor del lateral de tubo del Tubo nº. 14 es aproximadamente 1,8 veces y del Tubo nº. 25 es aproximadamente 1,3 veces el de Turbo B-III®, que es actualmente el tubo más popular utilizado en aplicaciones de evaporador y se muestra como una línea de referencia en las FIGS. 12 y 13. Similarmente, la FIG. 13 muestra que el coeficiente general de transferencia de calor del Tubo nº. 25 es aproximadamente 1,25 veces y del Tubo nº. 14 es aproximadamente 1,5 veces el de Turbo B-III®

10 Según se muestra en la FIG. 14, otras realizaciones de la invención incluyen superficies de transferencia de calor con surcos primarios 108 en la superficie interior 104 del tubo 100, que también tiene una superficie exterior 106 y una pared 102 de tubo. Como entenderán los expertos en la técnica, el número de surcos primarios 108 puede variar dependiendo de la aplicación en la que se va a usar la superficie de transferencia de calor y dependiendo del medio fluido utilizado. Los surcos primarios 108 pueden formarse por cualquier método incluyendo, pero no limitado a, corte, deformación, mandrinado o extrusión. Los surcos primarios 108 se forman en la superficie interior 104 con un ángulo de hélice α (no se muestra) con el eje s del tubo 100. El ángulo de hélice α puede ser cualquier ángulo entre 0° y 90° , pero preferiblemente no supera los 70° . Un experto en la técnica entenderá fácilmente que el ángulo preferido de hélice α a menudo dependerá, por lo menos en parte, del medio fluido utilizado.

20 El paso axial de los surcos primarios 108 depende de muchos factores, incluyendo el ángulo de hélice α , el número de surcos primarios 108 formados en la superficie interior 104 del tubo 100, y del diámetro interior del tubo 100. Para los propósitos de esta aplicación, el diámetro de dentro se mide desde la superficie interior 104 del tubo 100. Se prefiere un paso axial de 0,254 mm (0,01 pulgadas) a infinito (si los surcos primarios 108 se extienden paralelos al eje s del tubo).

25 Determinadas realizaciones de la invención también incluyen salientes o aletas 110. Los salientes 110 pueden cortarse y levantarse desde la superficie interior del tubo, como se muestra en las FIGS. 15A-C Los salientes 110 se cortan preferiblemente con un ángulo θ con el eje s del tubo 100 (véase la FIG. 15C). La altura e_p de los salientes 110 depende de la profundidad de corte t y del ángulo θ con el que se corta la superficie interior. La altura e_p de los salientes 110 es siempre un valor más grande que la profundidad de corte t . Preferiblemente, la profundidad de corte t es más grande que la profundidad de los surcos primarios 108. Sin embargo, la profundidad de corte t también puede ser menor o igual que a la profundidad de los surcos primarios 108.

30 El paso axial $P_{a,p}$ de los salientes 110 puede ser cualquier valor mayor que cero y dependerá generalmente de, entre otros factores, las revoluciones relativas por minuto entre la herramienta utilizada para formar los salientes 110 (tal como la herramienta 13 explicada anteriormente o herramientas modificadas 300, 325 y 350, o el conjunto de herramienta retráctil 510, descrito más adelante) y el tubo 100 durante la fabricación, la tasa axial relativa de introducción entre la herramienta utilizada para formar los salientes 110 y el tubo 100 durante la fabricación, y el número de puntas cortantes dispuestos en la herramienta utilizada para formar los salientes 110 durante la fabricación. Preferiblemente, los salientes 110 tienen un paso axial $P_{a,p}$ de entre 0,05 - 5,0 mm (0,00197 - 0,197

pulgadas). El paso axial $P_{a,p}$ y la altura dependerán generalmente del número de salientes, cuya altura e_p disminuye a medida que disminuye $P_{a,p}$.

5 La forma de los salientes 110 depende de la forma de superficie interior y de la orientación de la superficie interior después de que los surcos primarios 108 han sido cortados con respecto a la dirección de movimiento de la herramienta utilizada para formar los salientes 110. En la realización de las FIGS. 15A-C, los salientes 110 tienen cuatro superficies laterales 120, una superficie superior inclinada 322 y una punta substancialmente puntiaguda 124.

10 Las puntas 124 de los salientes 110 pueden ser aplanadas opcionalmente para crear unas cavidades de ebullición 114, como se muestra en las FIGS. 16A-D. Como alternativa, las puntas 124 de los salientes 110 pueden ser dobladas para crear unas cavidades de ebullición 114, como se muestra en las FIGS. 17A-B. En otras realizaciones, las puntas 124 de los salientes 110 pueden ser más gruesas para crear unas cavidades de ebullición 114, como se muestra en las FIGS. 23A-B. En todavía otras realizaciones, los salientes 110 pueden tener ángulos entre sí, como se muestra en las FIGS. 18A-C, para crear unas cavidades de ebullición 114. Los expertos en la técnica comprenderán que las puntas 124 de los salientes 110 pueden permanecer substancialmente rectas (no dobladas ni aplanadas) y substancialmente perpendiculares a la superficie interior 104 del tubo 100 si se desea una superficie de condensación. Sin embargo, si se desea una superficie de ebullición o de evaporación, la creación de cavidades de ebullición 114 puede aumentar substancialmente la eficacia de la superficie de ebullición. La creación de cavidades de ebullición 114 crea un recorrido para el flujo de fluido y aumenta la transición de líquido a vapor.

15 Los salientes 110 de esta invención no pretenden de ninguna manera estar limitados a la realización ilustrada, sin embargo, sino que pueden formarse con cualquier forma. Además, los salientes 110 en el tubo 100 no tienen por que tener la misma forma ni tener la misma geometría.

20 Según se muestra en la FIG. 15A, unos surcos secundarios 112 pueden encontrarse entre salientes adyacentes 110. Los surcos secundarios 112 se orientan con un ángulo τ (no se muestra) con el eje s del tubo 100. El ángulo τ puede ser cualquier ángulo entre aproximadamente 80° y 100° . Preferiblemente, el ángulo τ es aproximadamente de 90° .

25 Determinadas realizaciones de la invención también incluyen métodos y herramientas para hacer superficies de ebullición en un tubo. Una herramienta de acanaladura 200, tal como la mostrada en la FIG. 19, es especialmente útil para formar surcos primarios 108. La herramienta de acanaladura 200 tiene un diámetro exterior mayor que el diámetro interior del tubo 100 para que cuando se tira de ella o se empuja a través del tubo 100, se formen los surcos primarios 108. La herramienta de acanaladura 200 también incluye una abertura 202 para conectar a un árbol (se muestra en la FIG. 19).

30 La herramienta 13, mostrada en las FIGS. 6A-D y las FIGS. 7A-D, puede utilizarse como se ha descrito anteriormente para formar los salientes 110 y los surcos secundarios 112. Si bien se han identificado intervalos preferidos de valores para las dimensiones físicas de los salientes 110, los expertos en la técnica reconocerán que las dimensiones físicas de la herramienta 13 pueden ser modificadas para impactar en las dimensiones físicas de los salientes resultantes 110. Por ejemplo, la profundidad t que el borde cortante 14 corta en la superficie interior 104 y el ángulo ϕ afectan a la altura e_p de los salientes 110. Por lo tanto, la altura e_p de los salientes 110 puede ajustarse utilizando la expresión:

$$e_p = t/\text{sen}(90 - \phi)$$

o, dado que $\phi = 90 - \theta$,

35
$$e_p = t/\text{sen}(\theta)$$

Donde:

t es la profundidad de corte;

ϕ es el ángulo entre el plano B y un plano perpendicular al eje q de la herramienta; y

θ es el ángulo con el que se cortan las capas con respecto al eje longitudinal s del tubo 100.

45 El espesor S_p de los salientes 110 depende del paso $P_{a,p}$ de los salientes 110 y del ángulo ϕ . Por lo tanto, el espesor S_p puede ajustarse utilizando la expresión:

$$S_p = P_{a,p} \cdot \text{sen}(90 - \phi)$$

o, dado que $\phi = 90 - \theta$,

$$S_p = P_{a,p} \cdot \text{sen}(\theta)$$

50 Donde:

$P_{a,p}$ es el paso axial de los salientes 110;

φ es el ángulo entre el plano B y un plano perpendicular al eje q de la herramienta; y

θ es el ángulo con el que se corta la superficie interior 104 con respecto al eje longitudinal s del tubo 100.

5 Como alternativa, la herramienta 13 puede ser modificada para crear una variedad de superficies diferentes. Según se ha explicado anteriormente, la geometría de las puntas en una herramienta única 13 no tienen por qué ser iguales. Por ejemplo, la FIG. 22 ilustra una herramienta modificada 300 con dos pares de puntas 318, 320 que tienen geometrías diferentes para crear una superficie de ebullición con unos salientes inclinados 110, tal como se muestra en las FIGS. 18A-C. Para crear tal superficie, las puntas vecinas 318, 320 se forman con ángulos diferentes φ_1 (que determina el ángulo de inclinación ω con el que se elevan los salientes 110). Es posible cambiar el ángulo de inclinación ω de los salientes 110 para obtener un hueco particular g entre los salientes 120 en la abertura 116 de la cavidad de ebullición 114, lo que afecta al flujo de fluido curvado s por la superficie 104.

Así, el hueco g obtenido puede calcularse de la siguiente manera:

$$g = p \cdot (1 - \text{sen}(\varphi)) - \tan(90 - \varphi_1) \left[\frac{2t \cdot \text{sen}(\varphi_1)}{\text{sen}(\varphi)} - p \cdot \text{sen}(\varphi) \cdot (1 - \text{sen}(\varphi)) \right].$$

15 Donde:

p es el paso axial de los salientes 110;

φ es el ángulo entre el plano B y un plano perpendicular al eje q de la herramienta;

φ_1 es el ángulo de la herramienta 300 entre el plano C y un plano perpendicular al eje q de la herramienta; y t es la profundidad de corte.

20 En determinadas realizaciones de la invención, las puntas 124 de los salientes 110 pueden ser aplanadas o dobladas (como se muestra en las FIGS. 16A-D) utilizando la herramienta de aplanamiento 40, mostrada en la FIG. 21. La herramienta de aplanamiento 40 tiene preferiblemente un diámetro mayor que el diámetro de los salientes 110 en la superficie interior 104. De este modo, cuando la herramienta de aplanamiento 40 es empujada o se tira de ella a través del tubo 100, las puntas 124 de los salientes 110 son dobladas o son aplanadas. La herramienta de aplanamiento 40 incluye una abertura para conectarla al árbol 130.

25 En otras realizaciones, las puntas 124 de los salientes 110 pueden lograr una forma similar a las puntas aplanadas o dobladas 124 mostradas en las FIGS. 16A-D sin el uso de una herramienta de aplanamiento. Por ejemplo, la herramienta 13 puede ser modificada para incorporar, además de las puntas 12 que cortan y levantan los salientes, una punta o puntas para aplanar las puntas 124 de los salientes 110. Por ejemplo, la herramienta modificada 325, que se muestra en la FIG. 20A, y que por otra parte puede tener la misma geometría que la herramienta 13, incluye una punta de aplanamiento 316 que dobla o aplana los salientes después de la conformación. La herramienta modificada 325 puede utilizarse para crear una superficie de ebullición como la mostrada en las FIGS. 17A-B y 20B-C.

30 Las superficies de ebullición para el uso en superficies de transferencia de calor también pueden lograrse creando unos salientes 110 con puntas engrosadas 124. Como se muestra en las FIGS. 23A-B, las superficies de transferencia de calor con puntas engrosadas 124 pueden utilizarse para crear unas cavidades de ebullición 114. Las FIGS. 24C-D ilustran una realización modificada 350 de la herramienta 13 que puede ser utilizada para crear los salientes 110 con puntas engrosadas 124.

35 En estas realizaciones, las puntas 302 de la herramienta modificada 350 incluyen dos bordes cortantes 360, 370, un primer borde cortante 360 orientado con un ángulo β_2 con respecto a un plano perpendicular al eje q de la herramienta y un segundo borde cortante 370 orientado con un ángulo β_3 con respecto a un plano perpendicular al eje q de la herramienta (los ángulos β_2 y β_3 son análogos al ángulo φ mostrado en la FIG. 6b). Los ángulos de ajuste β_2 y β_3 ajustan el ángulo θ con el que se cortan las lomas 1 o la superficie 104 de tubo y de este modo la forma resultante del saliente. Al cortar una loma 1 o superficie 104 de tubo con dos ángulos, pueden formarse salientes con un árbol más delgado y punta más gruesa, como se muestra en las FIGS. 23A-B y 24A-B.

Los salientes 110 con puntas engrosadas 124 pueden obtenerse utilizando las siguientes fórmulas, con referencia a las FIGS. 24A-B:

$$\text{Si: } \frac{p}{t - t_1} \geq \frac{\text{sen}(\varphi_3 - \varphi_2) \cdot \text{sen} \varphi_3}{\text{cos} \varphi_2}$$

Donde:

φ_2 es el ángulo entre la proyección del primer sitio de un borde cortante y la dirección de avance de la herramienta

($\varphi_2 = 90^\circ - \beta_2$);

φ_3 es el ángulo entre la proyección del segundo sitio de un borde cortante y la dirección de avance de la herramienta ($\varphi_3 = 90^\circ - \beta_3$); t es la profundidad total de corte; y

5 t_1 es la profundidad de corte para el primer sitio de borde de corte,

$$g = p \cdot (1 - \text{sen}(\varphi_2)) - \frac{(t - t_1) \cdot \text{sen}(\varphi_3 - \varphi_2)}{\text{sen}(\varphi_3)}$$

Si lo siguiente es verdadero:

$$\frac{p}{t - t_1} \leq \frac{\text{sen}(\varphi_3 - \varphi_2) \cdot \text{sen} \varphi_3}{\text{cos} \varphi_2}$$

10 entonces las puntas 124 de saliente serán como se muestra en la FIG. 24B y el hueco g puede calcularse de la siguiente manera:

$$g = p - \text{cos}(\varphi_3 - \varphi_2) \cdot (1 - \text{sen}(\varphi_2) - \text{cos}(\varphi_2) \cdot \text{tan}(\varphi_3 - \varphi_2)).$$

15 La FIG. 21 ilustra una posible configuración de fabricación para mejorar las superficies del tubo 100. Estas figuras no pretenden de ninguna manera limitar el proceso con el que se fabrican los tubos 100 de acuerdo con esta invención, sino en cambio se puede utilizar cualquier proceso de fabricación de tubos que utilice cualquier equipo o configuración de equipos adecuados. Los tubos 100 de esta invención pueden hacerse de una variedad de materiales que posean propiedades físicas adecuadas incluyendo integridad estructural, maleabilidad y plasticidad, tales como, por ejemplo, cobre y aleaciones de cobre, aluminio y aleaciones de aluminio, latón, titanio, acero y acero inoxidable.

20 En un ejemplo (véase la FIG. 21) de una manera para mejorar la superficie interior de un tubo 10, un árbol 130, en que se monta una herramienta de aplanamiento 40 a través de una abertura (no se muestra), se extiende en el tubo 10. La herramienta 13 se monta sobre el árbol 130 a través de una abertura 16 (FIGS. 6a-d y 7a-d). Un experto en la técnica comprenderá que las herramientas modificadas 300, 325 o 350 pueden ser sustituidas por la herramienta 13 y/o la herramienta de aplanamiento 40 quitada, dependiendo de la superficie que se desea formar. La herramienta de acanaladura 20 (o 200, FIG. 19) se monta de manera rotatoria en el árbol 130 a través de la abertura. El perno 25 132 asegura las tres herramientas 200, 13, 400 en el árbol 130. Las herramientas 13 y 40 se traban preferiblemente en cuanto a rotación con el árbol 130 mediante cualquier medio adecuado. Las FIGS. 6B y 7B ilustran un surco 17 de chaveta que puede proporcionarse en la herramienta 13 para trabarse con un saliente en el árbol 11 (no se muestra) para fijar la herramienta 13 en su sitio con respecto al árbol 130.

30 Aunque no se muestra, cuando el método y/o la herramienta de la invención son utilizados para crear una superficie interior de un tubo, la configuración de fabricación puede incluir husillos que pueden ser utilizados para mejorar la superficie exterior del tubo, como se ha explicado anteriormente y se muestra en la FIG. 5. Cada husillo 10 incluye generalmente una configuración de herramienta que tiene unos discos de aleteadura 7 que extruden radialmente desde una a múltiples aletas exteriores iniciales que tienen el paso axial $P_{a,o}$. La configuración de la herramienta puede incluir discos adicionales, tales como discos para hacer muescas o de aplanamiento, para aumentar aún más 35 la superficie exterior del tubo. Cabe señalar, sin embargo, que dependiendo de la aplicación del tubo, las mejoras no tienen por qué proporcionarse en absoluto en la superficie exterior del tubo 2. En la operación, la pared de tubo se mueve entre el mandril y los husillos, que ejerce presión en la pared del tubo.

40 La imagen reflejada de un patrón deseado de superficie interior se proporciona en la herramienta de acanaladura 200 de modo que la herramienta de acanaladura 200 formará la superficie interior 104 del tubo 100 con el patrón deseado cuando el tubo 100 se acopla a la herramienta de acanaladura 200. Una superficie interior deseable incluye surcos primarios 108, como se muestra en las FIG. 14. Después de la formación de los surcos primarios 108 en la superficie interior 104 del tubo 100, el tubo 100 se encuentra a la herramienta 13 situada junto y aguas abajo de la herramienta 200 de acanaladura. Los bordes cortantes 14 de la herramienta 13 corta por la superficie interior 104. Los bordes de elevación 15 de la herramienta 13 levantan entonces la superficie interior 104 para formar los 45 salientes 110.

Cuando los salientes 110 se forman simultáneamente con aletas y la herramienta 13 está fija (es decir, no rota ni se mueve axialmente), el tubo 100 rota automáticamente y tienen un movimiento axial. En este caso, el paso axial de los salientes 110 $P_{a,p}$ es gobernado por la siguiente fórmula:

$$P_{a,p} = \frac{P_{a,o} \cdot Z_o}{Z_i}$$

$P_{a,o}$ es el paso axial de las aletas exteriores;

Z_o es el número de comienzos de aleta en el diámetro exterior del tubo; y

Z_i es el número de puntas 12 en la herramienta 13.

- 5 Para obtener un paso axial de saliente específico $P_{a,p}$, la herramienta 13 también puede rotarse. El tubo 100 y la herramienta 13 pueden rotar en el mismo sentido, o como alternativa el tubo 100 y la herramienta 13 pueden rotar, pero en sentidos opuestos. Para obtener un paso de saliente axial predeterminado $P_{a,p}$, la rotación necesaria (en revoluciones por minuto (RPM)) de la herramienta 13 puede calcularse utilizando la fórmula siguiente:

$$RPM_{total} = \frac{RPM_{tubo} (P_{a,o} \cdot Z_o - P_{a,p} \cdot Z_i)}{Z_i \cdot P_{a,p}}$$

- 10 Donde:

RPM_{tubo} es la frecuencia de rotación del tubo 100;

$P_{a,o}$ es el paso axial de las aletas exteriores;

Z_o es el número de comienzos de aleta en el diámetro exterior del tubo;

$P_{a,p}$ es el paso axial deseable de los salientes 110; y

- 15 Z_i es el número de puntas 12 en la herramienta 13.

Si el resultado de este cálculo es negativo, entonces la herramienta 13 debe rotar en el mismo sentido que el tubo 100 para obtener el paso deseado $P_{a,p}$. Como alternativa, si el resultado de este cálculo es positivo, entonces la herramienta 13 debe rotar en sentido opuesto al tubo 100 para obtener el paso deseado $P_{a,p}$.

- 20 Cabe señalar que si bien se muestra la formación de salientes 110 en la misma operación que la formación de surcos primarios 108, los salientes 110 pueden producirse en una operación distinta a la de los surcos primarios 108 utilizando un tubo con surcos primarios 108 formados previamente. Esto requeriría generalmente que un conjunto rotara la herramienta 13 o el tubo 100 y moviera la herramienta 13 o el tubo 21 a lo largo del eje del tubo. Además, preferiblemente se proporciona un soporte (no se muestra) para centrar la herramienta 13 con respecto a la superficie 104 del tubo.

- 25 En este caso, el paso axial P_p de los salientes 110 es gobernado por la siguiente fórmula:

$$P_{a,p} = X_a / (RPM \cdot Z_i)$$

Donde:

X_a es la velocidad axial relativa entre el tubo 100 y la herramienta 13 (distancia/tiempo);

RPM es la frecuencia relativa de rotación entre la herramienta 13 y el tubo 100;

- 30 $P_{a,p}$ es el paso axial deseable de los salientes 110; y

Z_i es el número de puntas 12 en la herramienta 13.

- Esta fórmula es adecuada cuando (1) el tubo 100 se mueve sólo axialmente (es decir, no rota) y la herramienta 13 sólo rota (es decir, no se mueve axialmente); (2) el tubo 100 sólo rota y la herramienta 13 se mueve sólo axialmente; (3) la herramienta 13 rota y se mueve axialmente pero el tubo 100 está fijo de manera rotatoria y axial; (4) el tubo 100 rota y se mueve axialmente pero la herramienta 13 está fija de manera rotatoria y axial; y (5) cualquier combinación de las anteriores.

- 35 Con la superficie interior 104 del tubo de esta invención, se crean recorridos adicionales para el flujo de fluido a través de los surcos secundarios 112 para optimizar la transferencia de calor y la caída de presión. La FIG. 15A ilustra estos recorridos adicionales para el desplazamiento del fluido a través del tubo 100. Estos recorridos son adicionales a los recorridos de flujo de fluido creados entre los surcos primarios 108. Estos recorridos adicionales 2

tienen un ángulo de hélice α_1 con respecto al eje s del tubo. El ángulo α_1 es el ángulo entre los salientes 110 formados desde surcos primarios adyacentes 108. El ángulo de hélice α_1 , y de este modo la orientación de estos recorridos adicionales a través del tubo 100, pueden ajustarse mediante el ajuste del paso $P_{a,p}$ de los salientes 110 utilizando la siguiente expresión

$$P_{a,p} = \frac{P_{a,r} \cdot \tan(\alpha) \cdot \pi D_i}{\pi D_i \cdot (\tan(\alpha) + \tan(\alpha_1)) \pm P_{a,r} \cdot \tan(\alpha) \cdot \tan(\alpha_1) \cdot Z_i}$$

5

Donde:

$P_{a,r}$ es el paso axial de los surcos primarios 108;

α es el ángulo de los surcos primarios 108 con el eje s del tubo;

α_1 es el ángulo de hélice deseable entre los salientes 110;

10 Z_i es el número de puntas 12 en la herramienta 13; y

D_i es el diámetro de dentro del tubo 100 medido desde la superficie interior 104 del tubo 100.

Las FIGS. 25-34 ilustran otro conjunto de herramienta 510 que puede utilizarse para formar las superficies de transferencia de calor descritas anteriormente. El conjunto de herramienta incluye una varilla 512 que tiene una punta 514 (véase la FIG. 27) para formar unos salientes en la superficie (y particularmente la superficie interior) de un tubo de transferencia de calor. La varilla 512 puede hacerse de cualquier material que tenga la integridad estructural para resistir el corte de metal (por ejemplo acero, carburo, cerámica, etc.), pero preferiblemente se hace de un carburo (tal como carburo de tungsteno). La punta 514 preferiblemente, pero no tiene por qué, se forma integralmente en un extremo de la varilla 512. La geometría de la punta 514 es preferiblemente, pero no tienen por qué, igual que las puntas 12 de la herramienta 13, como se muestra y se ha descrito con respecto a las FIGS. 6a-d.

20 La varilla 512 se desliza dentro de una guía 516 de varilla (mostrada en las FIGS. 28-29) que tiene un extremo de cabezal 518 y un extremo de cola 520 y está provista de una cavidad 522 dimensionada para recibir la varilla 512 (véase las FIGS. 30-31). La cavidad 522 se extiende preferiblemente a través de la guía 516 de varilla para tener una abertura en o próxima al extremo de cabezal 518 y el extremo de cola 520 de la guía 516 de varilla. La punta 514 se extiende desde la abertura de la cavidad 522 en el extremo de cabezal 518 de la guía 516 de varilla. Después de que la varilla 512 se deslice dentro de la guía 516 de varilla, un tornillo 524 (se ve mejor en las FIGS. 25-26) puede acoplarse en la abertura de la cavidad 522 en el extremo de cola 520 de la guía 516 de varilla. El ajuste del tornillo 524 ajusta la cantidad que se extiende la punta 514 desde la abertura de la cavidad 522 en el extremo de cabezal 518 de la guía 516 de varilla. La cantidad de extensión de la punta 514 establecerá, a su vez, la profundidad de corte (t) de la punta 514 en las lomas 1 o la superficie interior 104 del tubo. Un segundo tornillo 528 puede insertarse en un agujero 530 de tornillo (mostrado en las FIGS. 30-31 en el extremo de cabezal 518 de la guía 516 de varilla) proporcionado a lo largo de la longitud de la guía 516 de varilla. Este segundo tornillo 528 traba la varilla 512 (y de este modo la extensión de punta 514) en el lugar con respecto a la guía 516 de la varilla.

35 El extremo de cabezal 518 de la guía 516 de varilla está provisto preferiblemente de un plano central 532. En uso, el plano central 532 contacta con las cimas de las lomas 1 o la superficie interior 104 del tubo que van a ser cortados por la punta de corte 514. Con tal contacto, el plano central 532 mantiene el conjunto de herramienta 510 centrado dentro del tubo durante la mejora de la superficie interior.

40 La guía 516 de varilla entonces se inserta en un portaherramientas 534, se ve mejor en las FIGS. 32-33. El portaherramientas 534 incluye una parte de cabezal 536 y una parte de varilla 544 que define el eje longitudinal de la herramienta (no se muestra). La parte de cabezal 536 tienen una pared exterior 542 (mostrada como cilíndrica pero puede ser de cualquier forma adecuada) y está provista de unas cavidades 546 que se extienden substancialmente por la longitud de la parte de cabezal 536. Cada cavidad 546 tiene preferiblemente una abertura en o cerca de la pared superior 540 de la parte de cabezal 536 y en o cerca de la pared inferior 538 de la parte de cabezal 536. El eje de cada cavidad 546 está situado con un ángulo de preferiblemente 0° a 90°, inclusive, con el eje longitudinal del portaherramientas 534. Las cavidades 546 se dimensionan cada una para recibir una respectiva guía 516 de varilla (con la varilla 512), que se desliza dentro de una cavidad 546 en el portaherramientas 534, como se muestra en la FIG. 34.

45 El portaherramientas 534 puede estar provisto de cualquier número de cavidades 546 dependiendo del número de puntas 514 deseado para ser utilizado en una aplicación particular. Dependiendo del paso deseado ($P_{a,p}$) de los salientes de loma, no todas las cavidades 546 deben ser ocupadas con una guía 516 de varilla y la varilla 512. Además, la geometría de las puntas 514 en las varillas 512 proporcionadas en un portaherramientas 534 no tiene por qué ser la misma. En cambio, en el portaherramientas 534 se pueden proporcionar puntas 514 con diferentes geometrías para formar salientes que tienen diferentes formas, orientaciones y otras geometrías. Por ejemplo, como

50

se ha explicado anteriormente con respecto a las FIGS. 18A C y 22, proporcionar puntas 14 con diferentes ángulos ϕ_1 tendrá como resultado salientes con ángulos diferentes de inclinación ω . De esta manera, el conjunto de herramienta 510 puede utilizarse para crear una superficie de ebullición con salientes inclinados como se muestra en las FIGS. 18A-C.

- 5 Además, como se ha explicado anteriormente con respecto a las FIGS. 23A B y 24A-D, al proporcionar las puntas 302 que tienen varios bordes cortantes, pueden formarse salientes con puntas engrosadas 124 para crear cavidades de ebullición nucleadas.

Haciendo referencia ahora a las FIGS. 25-26, una arandela 548 y un mandril 550 son roscados sobre la parte de varilla 544 del portaherramientas 534. La arandela 548 incluye una base 552 desde la que se extiende una pluralidad de dientes 554. Los dientes 554 de la arandela 548 se colocan mirando a la pared inferior 538 (FIG. 33) de la parte de cabezal 536 del portaherramientas 534. La pared superior 540 (FIG. 32) de la parte de cabezal 536 del portaherramientas 534 está provista preferiblemente de un agujero roscado 556 en el que se enrosca una varilla 558. Un separador de dimensionamiento 560 (montado en la varilla 558) se coloca junto a la parte de cabezal 536 del portaherramientas 534, y un elemento de predisposición (en este caso un resorte 562, también montado en la varilla 558) se coloca junto al separador de dimensionamiento 560. El elemento de predisposición puede ser cualquier estructura (incluyendo, pero no limitado a, un resorte, incluyendo un resorte plano, resorte de disco, resorte helicoidal, resorte espiral, resorte en zigzag, etc.) y se hace de cualquier material capaz de comprimirse y expandirse (incluyendo, pero no limitado a, caucho, metal, plástico, etc.). Una tuerca 564 se enrosca en el extremo de la varilla 558 para retener el resorte 562 y el separador de dimensionamiento 560 en el conjunto de herramienta 510. Cabe señalar que un tornillo que tiene una cabeza y un tronco (no se muestra) puede ser sustituido fácilmente por la varilla 558 y la tuerca 564.

20 Cuando se ensamblan, el extremo 518 de cabezal de cada guía 516 de varilla contacta con el separador de dimensionamiento 560 y el extremo 522 de cola de cada guía 516 de varilla contacta con la base 552 de la arandela 548. El extremo distal de la parte de varilla 544 del portaherramientas 534 está provisto de unas roscas 566 de modo que el conjunto de herramienta 510 pueda ser enroscado en el extremo de una varilla de guía (que puede ser fija o rotar) que, con el conjunto mostrado en las FIGS. 25-26 conectado a él, se extiende por el interior de un tubo para aumentar la superficie del tubo.

25 En un estado de equilibrio (mostrado en la FIG. 25), las puntas 514 de varilla (fijadas en las guías 516 de varilla) no se extienden más allá de la pared exterior 542 de la parte de cabezal 536 del portaherramientas 534 y de este modo están protegidas. En uso, el mandril 550 forma unas lomas en la superficie interior de un tubo, que a su vez son cortadas y levantadas por las puntas 514 de varilla para formar los salientes deseados. Un experto en la técnica comprenderá que el mandril 550 puede ser reemplazado por una herramienta de acanaladura 200 (mostrada en la FIG. 19) para formar los surcos 108 (en vez de las lomas 1) en la superficie del tubo (asumiendo, por supuesto, que se aplica una fuerza al conjunto de herramienta 510 para efectuar la exposición de las puntas 514 desde el portaherramientas 534). Las puntas 514 entonces cortarían en la pared 104 de tubo (en vez de lomas verticales 1) para formar salientes, como se muestra en la FIG. 15A.

30 Durante este proceso, el mandril 550 (o herramienta de acanaladura 200) se apoya contra la arandela 548 que a su vez se apoya contra las guías 516 de varilla. Bajo tal presión, las guías 516 de varilla se deslizan por sus respectivas cavidades 546 del portaherramientas 534 hacia el separador de dimensionamiento 560. En particular, la base 552 de la arandela 548 ejerce una fuerza en los extremos de cola 520 de las guías 516 de varilla y los empuja a lo largo de las cavidades 546. De esta manera, las puntas 514 son empujadas más allá de la pared exterior 542 de la parte de cabezal 536 del portaherramientas 534 (como se muestra en la FIG. 26) y se exponen para el corte y levantamiento de las lomas o superficie interior 104 de tubo para formar los salientes, como se ha descrito anteriormente con respecto a las FIGS. 1a C y 15a-c. Las guías 516 de varilla se apoyan contra el separador de dimensionamiento 560 que a su vez comprime los resortes 562. El contacto entre los dientes 554 en la arandela 548 y la pared inferior 538 de la parte de cabezal 536 del portaherramientas 534 impide un movimiento adicional de las guías 516 de varilla. De este modo, la altura de los dientes 554 de arandela controla la cantidad que son empujadas las guías 516 de varilla (y de este modo las puntas 514) con respecto al portaherramientas 534 y de este modo impacta en la cantidad que las puntas 514 son expuestas y el resultado consecuente de profundidad de corte (t) de las puntas 514 en la superficie de tubo. Las arandelas 548 con dientes 554 de altura diferente pueden ser sustituidas fácilmente en el conjunto de herramienta 510 y utilizarse para controlar con precisión cuánto se extiendan las puntas 514 más allá de la pared exterior 542 de la parte de cabeza 536 del portaherramientas 534 y la profundidad de corte resultante (t) de las puntas 514.

35 Después de cortar y levantar con las puntas 514, los salientes nuevamente formados contactan con el separador de dimensionamiento 560, que regula la altura de los salientes cortados por las puntas 514. Los salientes que son demasiado altos son aplanados por el separador de dimensionamiento 560 hasta que alcanzan la altura especificada. La altura de los salientes puede ser ajustada fácilmente sustituyendo los separadores 560 con diámetros diferentes en el conjunto de herramienta 510. El separador 560 también pueden utilizarse para aplanar algunos o todos los salientes resultantes para formar cavidades de ebullición nucleadas, como se muestra en las FIGS. 16A-D, 17A-B y 20B-C. Como alternativa, una varilla 512 con una punta 514 que tiene la geometría de la

punta aplanada 316 (mostrada en la FIG. 20) también puede ser insertada en el portaherramientas. De esta manera, una punta (o puntas) de varilla situada en el portaherramientas también puede realizar la función que aplanamiento.

5 Cuando se completa la formación de salientes y ya no se ejerce una fuerza en la arandela 548, el resorte comprimido 562 hace que el conjunto 510 regrese a su estado del equilibrio (mostrado en la FIG. 25), significando que el resorte 562 fuerza al separador de dimensionamiento 560 para empujar las guías de varilla 516 atrás hasta que el separador de dimensionamiento 560 contacta con la pared superior 540 de la parte de cabezal 536 del portaherramientas 534. De esta manera, las guías 516 de varilla se deslizan por las cavidades 546 para retraer las puntas 514 atrás dentro de la pared exterior 542 del portaherramientas 534.

10 Dadas las fuerzas que se aplican a los diferentes componentes del conjunto de herramienta 510, la arandela 548, portaherramientas 534, guía 516 de varilla y separador de dimensionamiento 560 deben hacerse preferiblemente de materiales capaces de retener su estructura cuando son sometidos a tales fuerzas. Por ejemplo, estos componentes pueden hacerse de metal, incluyendo carburo, acero, etc.

15 Para quitar el conjunto de herramienta 510, sólo es necesario desenroscarlo de la varilla de guía (no se muestra) desenroscando el extremo distal de la parte de varilla 544 del portaherramientas 534. Sin embargo, frecuentemente el conjunto de herramienta 510 llegará a estar firmemente fijado en la varilla de guía y de este modo puede ser difícil desenroscarlo. La fuerza necesaria para desenroscar el conjunto de herramienta 510, si se hace a mano, puede provocar daños en el conjunto de herramienta 510. De este modo, es preferible (pero no necesario) proporcionar unos agujeros 568 en la pared exterior 542 del portaherramientas 534. Puede insertarse un dispositivo en los agujeros 568, y el conjunto de herramienta 510 ser desenroscado utilizando un momento de torsión.

20 El diseño de este conjunto de herramienta 510 tiene como resultado varios beneficios. Si una punta 514 en una varilla 512 se desgasta, la varilla 512 puede quitarse fácilmente para volver a conformarla o reemplazar la varilla entera 512. La varilla 512 que contiene la punta desgastada 514 puede quitarse de la guía 516 de varilla quitando el tornillo 524 o 528 de la guía 516 de varilla y deslizando la varilla 512 de la guía 516 de varilla. Como alternativa, la guía entera 516 de varilla puede quitarse del portaherramientas 534. De cualquier manera, la punta 514 en una
25 varilla existente 512 puede volverse a conformar y puede devolverse a la guía 516 de la varilla o se puede insertar una nueva varilla 512 con una nueva punta 514 en la guía 516 de varilla. Otro beneficio de este diseño de herramienta es que las puntas 514 de las varillas 512 pueden volverse a conformar muchas veces antes de que las varillas 512 deban ser reemplazadas. Esto reduce significativamente los costes en herramientas y material. Además, el conjunto de herramienta 510 puede utilizarse fácilmente en tubos con grosores diferentes de pared utilizando
30 arandelas 548 con diferentes alturas de diente 554 para ajustar cuánto sobresalen las puntas 514 del portaherramientas 534 durante el uso y/o ajustando cuánto se extienden las puntas 514 desde sus respectivas guías de varilla 516, como se ha descrito anteriormente.

35 Lo precedente se proporciona con el propósito de ilustrar, explicar y describir realizaciones de la presente invención. Modificaciones y adaptaciones adicionales a estas realizaciones serán evidentes para los expertos en la técnica y pueden hacerse sin apartarse del alcance de la invención según se define mediante las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un conjunto de herramienta (510) para cortar metal, que comprende:
 - a. un soporte (534) que comprende un eje longitudinal, una pared superior exterior (540), una pared inferior exterior (538), una pared externa exterior (542) y por lo menos una cavidad (546), en el que la por lo menos una cavidad se extiende a través del soporte y comprende una primera abertura y una segunda abertura;
 - b. por lo menos un conjunto de varilla que comprende:
 - i. una guía (516) de varilla que tiene un extremo (518) de cabezal y un extremo (520) de cola;
 - ii. una varilla (512), que tiene una punta (514) conformada con una geometría de punta y situada en la guía de varilla, en la que la punta se extiende desde el extremo de cabezal de la guía de varilla,

en el que el por lo menos un conjunto de varilla se encuentra en la por lo menos una cavidad del soporte, caracterizado porque

el extremo (518) de cabezal de la guía (516) de varilla es capaz de extenderse desde la primera abertura de la por lo menos una cavidad (546) y en el que el extremo (520) de cola de la guía (516) de varilla es capaz de extenderse desde la segunda abertura de la por lo menos una cavidad (546);
 - c. una arandela (548) se encuentra substancialmente junto a la pared inferior exterior (538) del soporte (534) y está adaptada para aplicar presión al extremo (520) de cola de la guía (516) de varilla para provocar que el por lo menos un conjunto de varilla se mueva una distancia por la por lo menos una cavidad (546) y la punta para se extienda más allá de la pared externa (542) del soporte cuando se ejerce una fuerza en la arandela (548);
 - d. un separador (560) se encuentra substancialmente junto a la pared superior exterior (540) del soporte (534) y está adaptado para aplicar presión al extremo (518) de cabezal de la guía (516) de varilla para provocar que el por lo menos un conjunto de varilla se mueva por lo menos una parte de la por lo menos una cavidad (546) para retraer la punta dentro de la pared externa (542) del soporte (534); y
 - e. un elemento de predisposición (562) se encuentra substancialmente junto al separador (560) de modo que, cuando se está usando, las puntas se extienden desde el portaherramientas para cortar la superficie de metal pero se retraen dentro del portaherramientas cuando el corte está completo.
2. El conjunto de herramienta de la reivindicación 1, en el que la por lo menos una cavidad (546) se extiende con un ángulo de entre 0° y 90°, inclusive, con respecto al eje longitudinal del soporte (534).
3. El conjunto de herramienta de la reivindicación 1 o 2, en el que la posición de la varilla (512) en la guía (516) de varilla es ajustable.
4. El conjunto de herramienta de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la varilla (512) es desmontable de la guía (516) de varilla.
5. El conjunto de herramienta de la reivindicación 4, en el que la punta (514) de la varilla (512) puede volverse a conformar y puede volverse a colocar en la guía (516) de varilla.
6. El conjunto de herramienta de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el por lo menos un conjunto de varilla comprende una pluralidad de conjuntos de varilla, y en el que varía la geometría de punta de las puntas (514) de las varillas de por lo menos dos de la pluralidad de conjuntos de varilla.
7. El conjunto de herramienta de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que por lo menos un conjunto de varilla es desmontable del soporte (534).
8. El conjunto de herramienta de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la arandela (548) comprende una base (552) y por lo menos un diente (554) que tiene una altura y se extiende desde la base, en el que la base está adaptada para aplicar presión al extremo (520) de cola de la guía (516) de varilla y en el que la altura de la por lo menos un diente controla por lo menos parcialmente la distancia que se mueve el conjunto de varilla por la por lo menos una cavidad (546).
9. El conjunto de herramienta de cualquier reivindicación anterior, en el que el elemento de predisposición (562) está adaptado para expandirse cuando la fuerza se relaja para ejercer una fuerza de expansión en el separador (560).

10. El conjunto de herramienta de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el elemento de predisposición (562) comprende un resorte.
11. El conjunto de herramienta de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la punta (514) está adaptada para formar salientes en una superficie interior de un tubo (10, 100) cortando y levantando metal.
- 5 12. El conjunto de herramienta de la reivindicación 11, en el que la geometría de punta comprende por lo menos un borde cortante (14, 360, 370).
13. El conjunto de la herramienta de la reivindicación 11, en el que la geometría de punta comprende por lo menos dos bordes cortantes (360, 370).
- 10 14. El conjunto de herramienta de las reivindicaciones 11 a 13, en el que la geometría de punta comprende por lo menos un borde de levantamiento (15).
15. Un método para formar salientes en la superficie interior de un tubo (10, 100) que comprende:
- a. proporcionar un conjunto de herramienta (510) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores;
 - b. colocar el conjunto de herramienta en el tubo;
 - c. provocar la rotación y el movimiento axial relativo entre el tubo y el conjunto de herramienta; y
 - 15 d. formar unos salientes (2, 110) en la superficie interior del tubo con la punta.
16. El método de la reivindicación 15, que comprende además ejercer una fuerza sobre la arandela (548), en el que la fuerza hace que la arandela aplique presión al extremo (520) de cola de la guía de varilla para provocar que el por lo menos un conjunto de varilla (512, 516) se mueva una distancia por la por lo menos una cavidad (546) y la punta (514) se extienda más allá de la pared externa (542) del soporte (534);
- 20 17. El método de la reivindicación 15 o 16, que comprende además aplanar los salientes (2, 110), doblar los salientes o inclinar los salientes adyacentes entre sí para formar unas cavidades de ebullición nucleadas.
18. El método de cualquiera de las reivindicaciones 15 a 17, que comprende además quitar la varilla (512) del portaherramientas (534), volver a conformar la punta de la varilla y volver a colocar la varilla en el portaherramientas.

FIG.1c

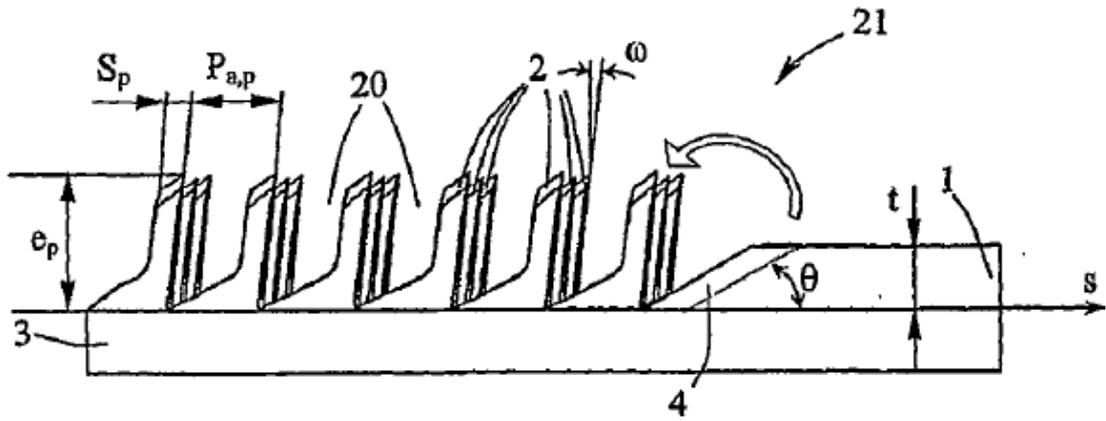
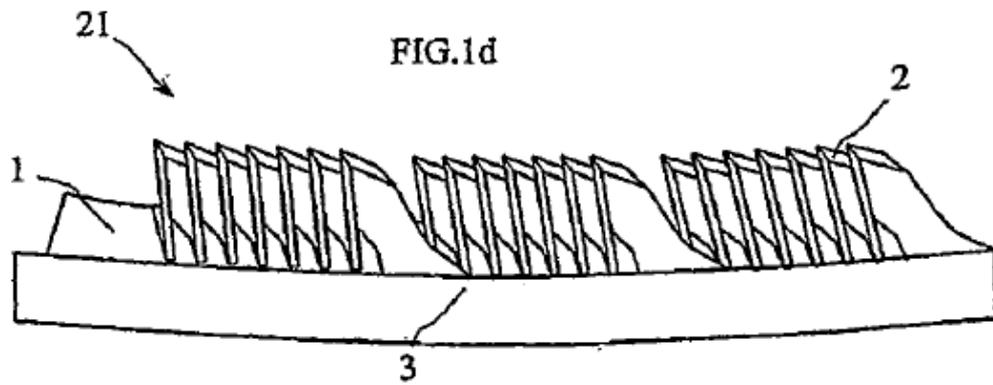
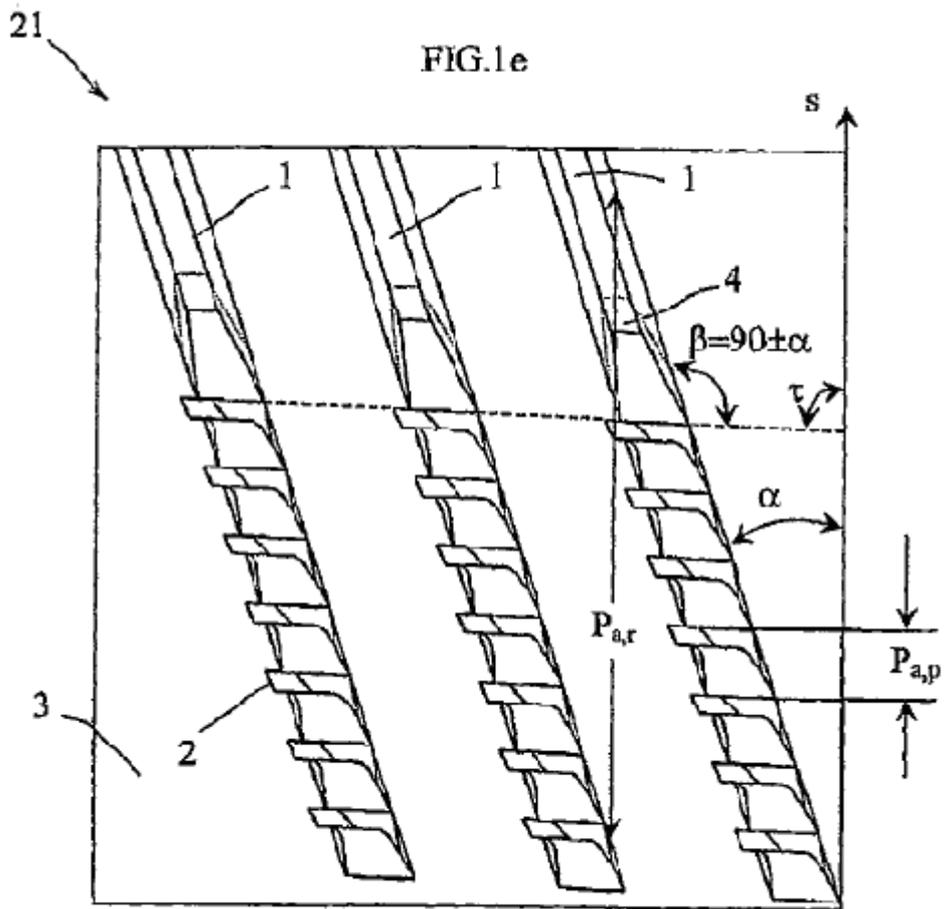


FIG.1d





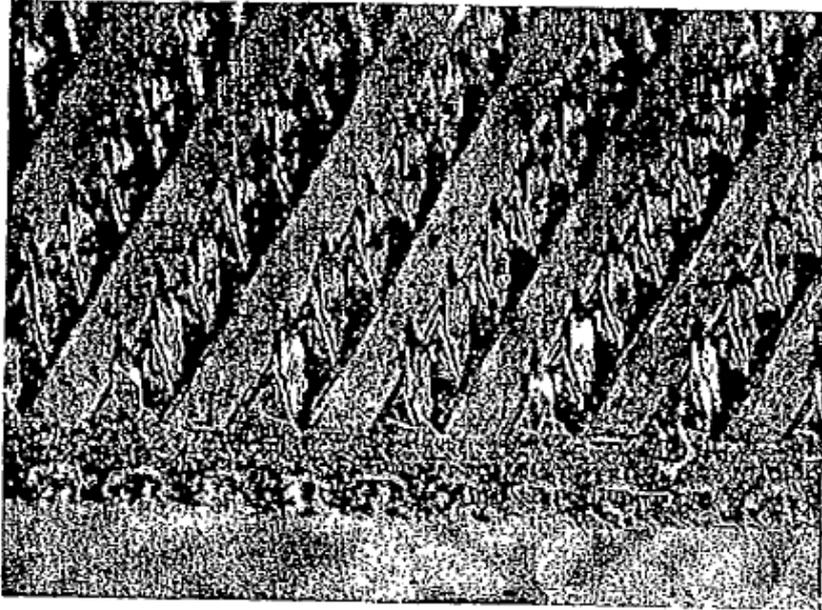


FIG.2

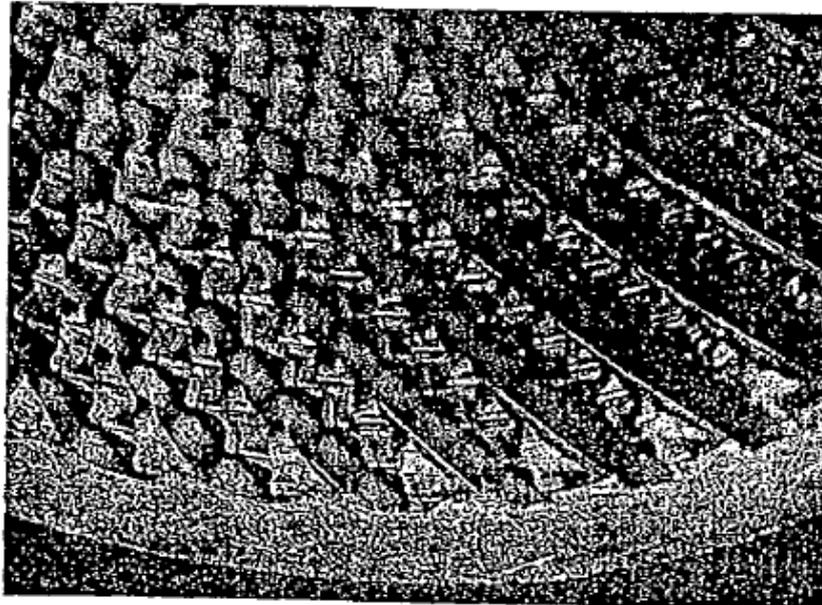


FIG.3

FIG.5

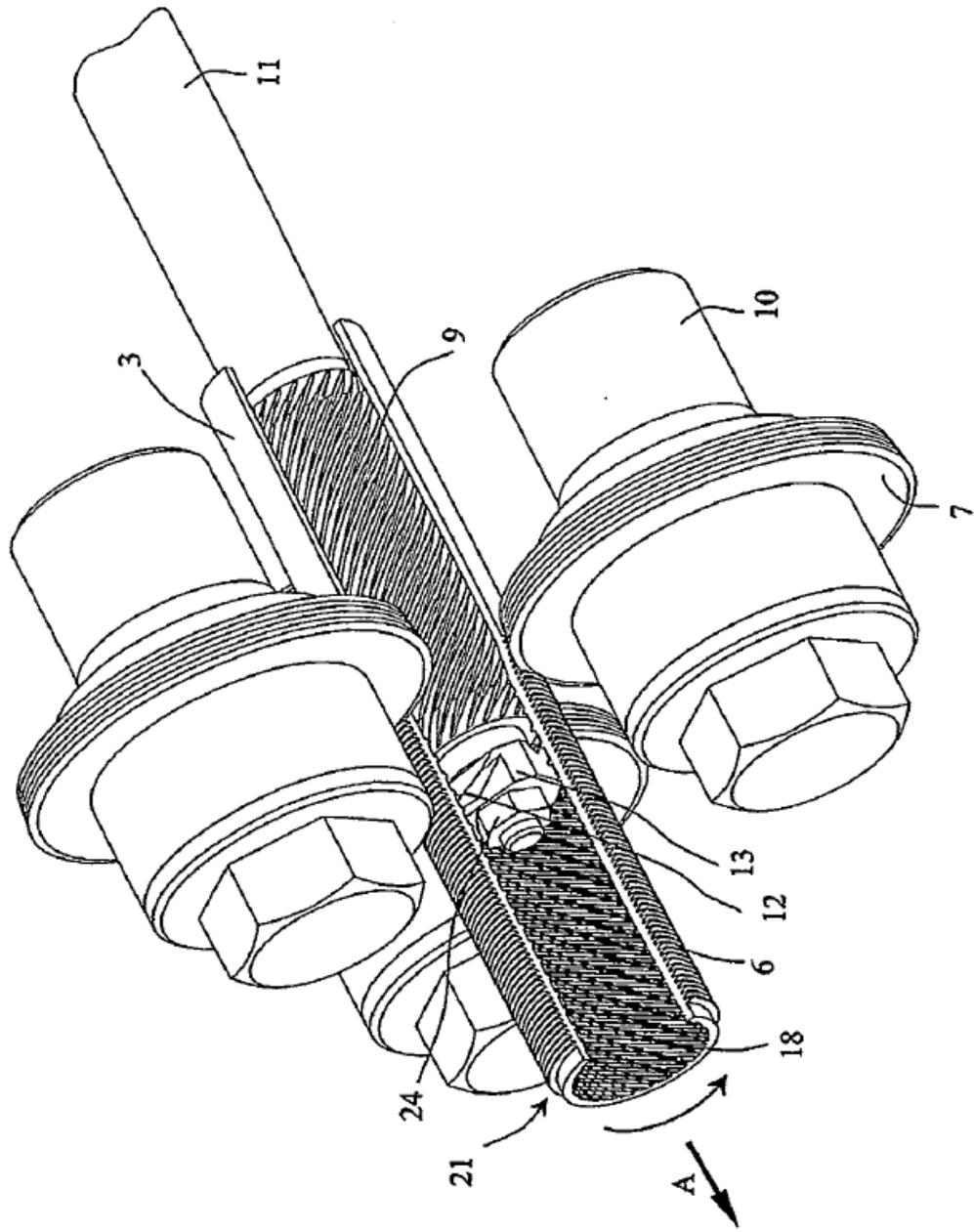


FIG.7a

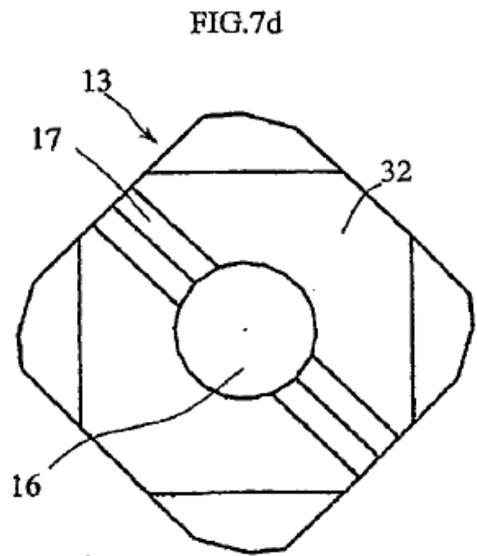
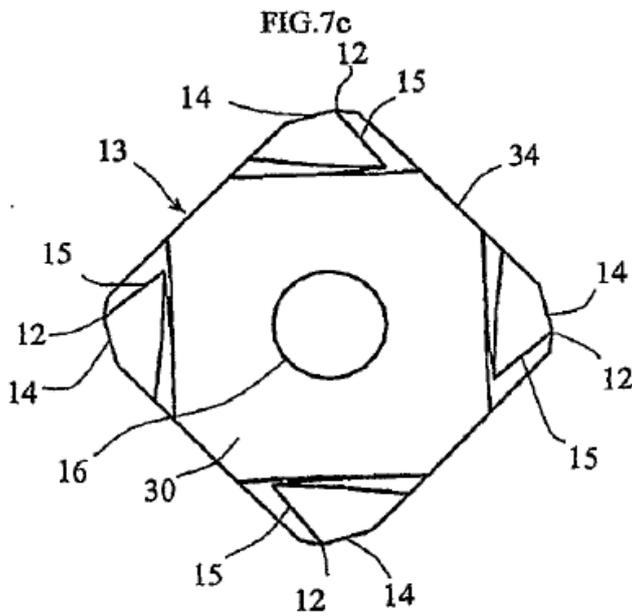
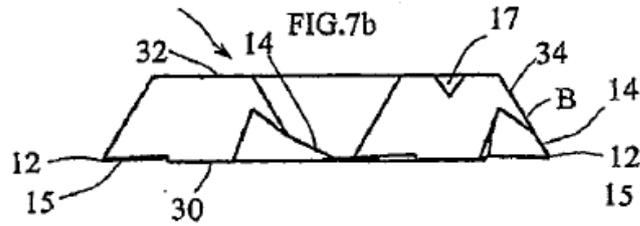
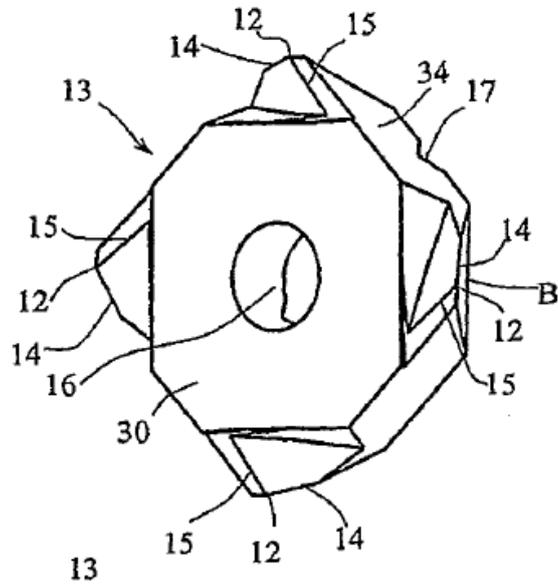


Fig.8a

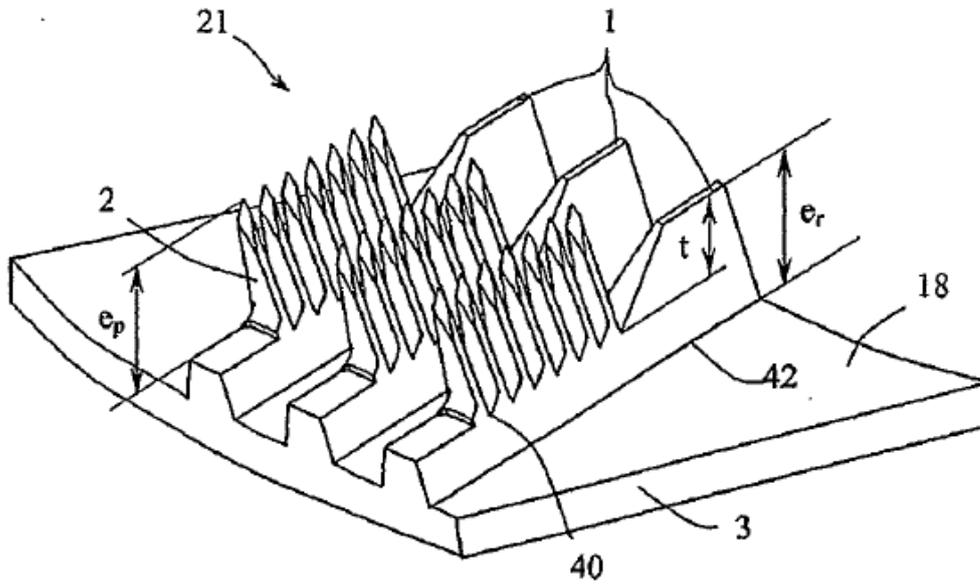


FIG. 8b

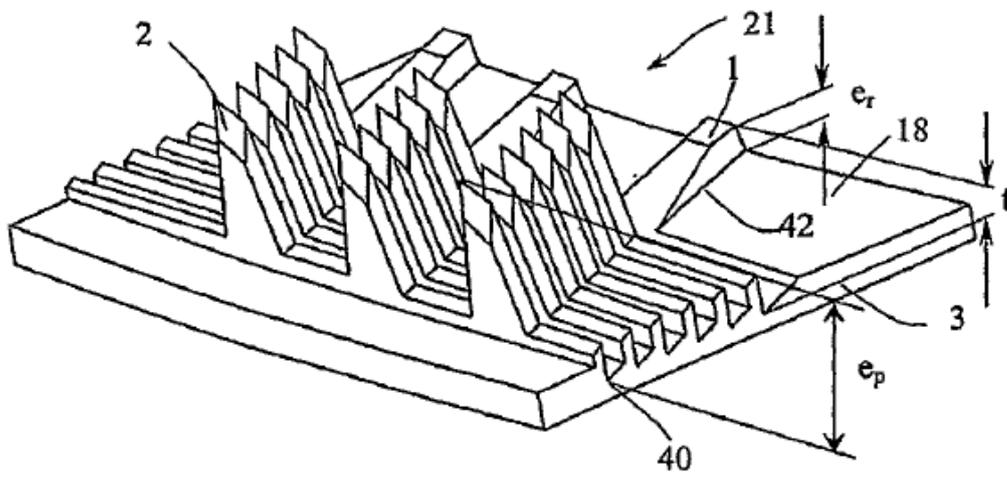


FIG.9a

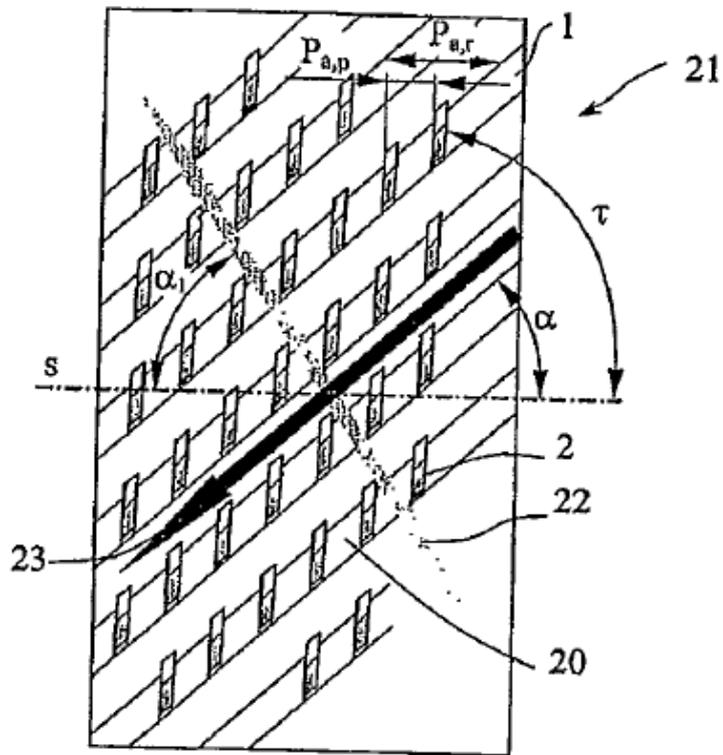


FIG.9b

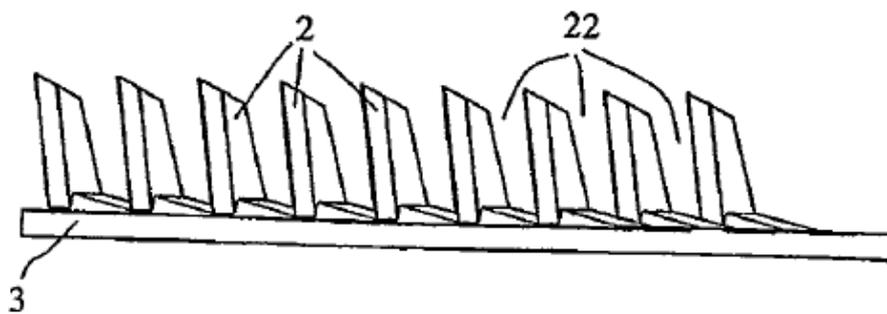


FIG.10a

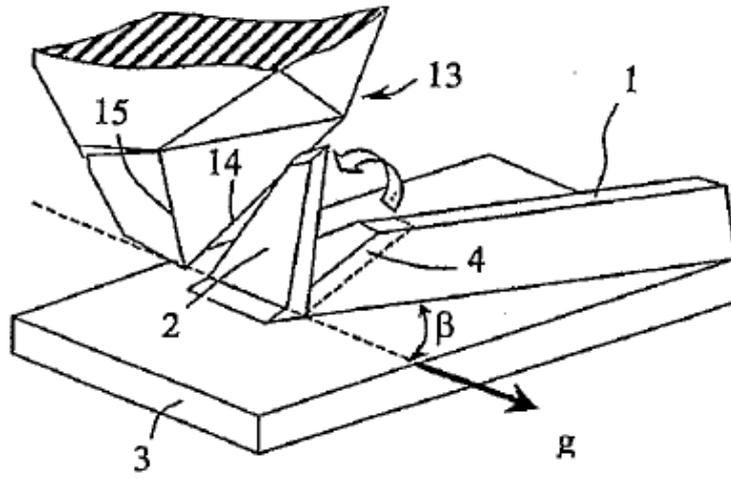
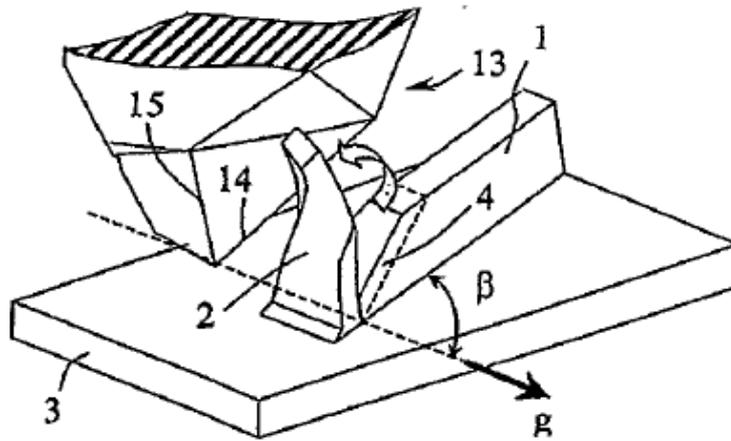
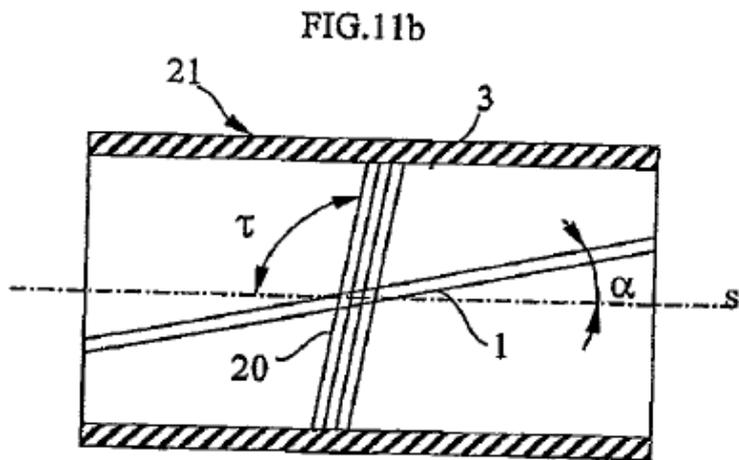
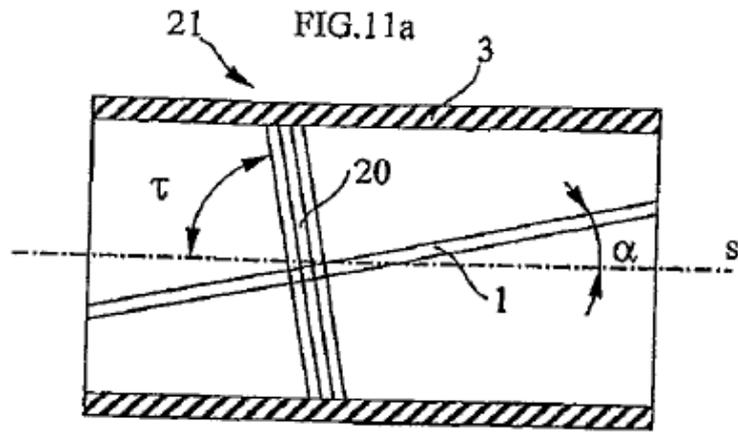
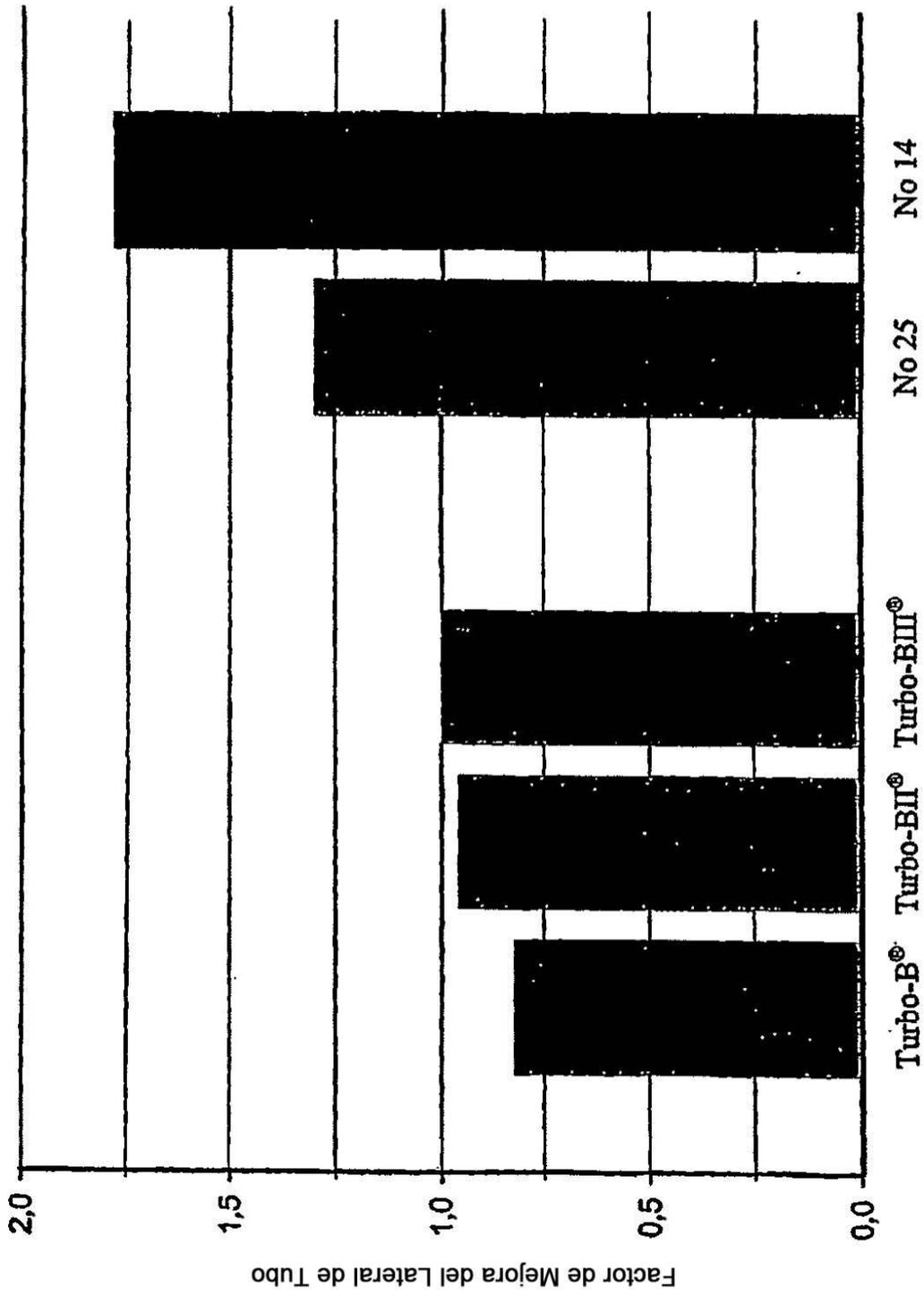


FIG.10 b

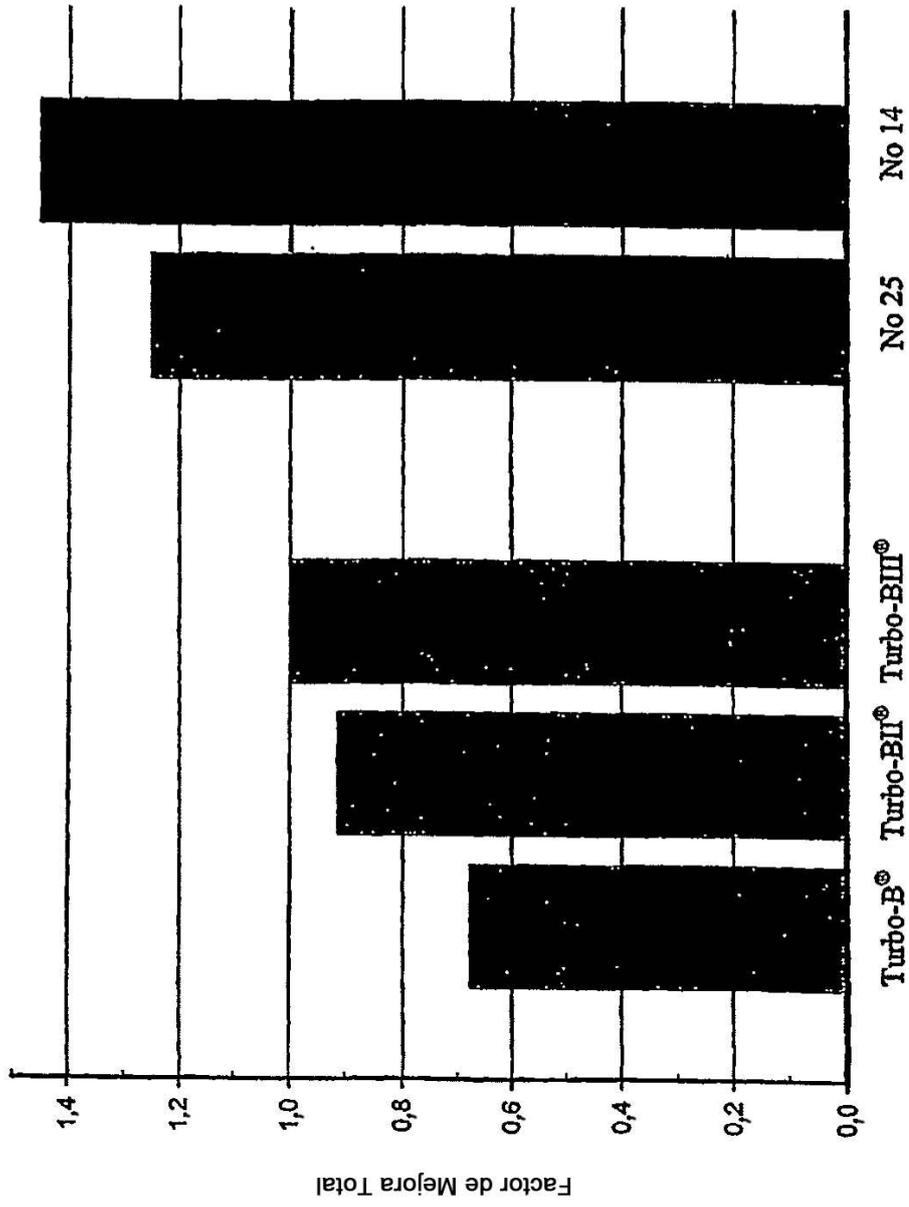






Producto

Figura 12



Producto

Figura 13

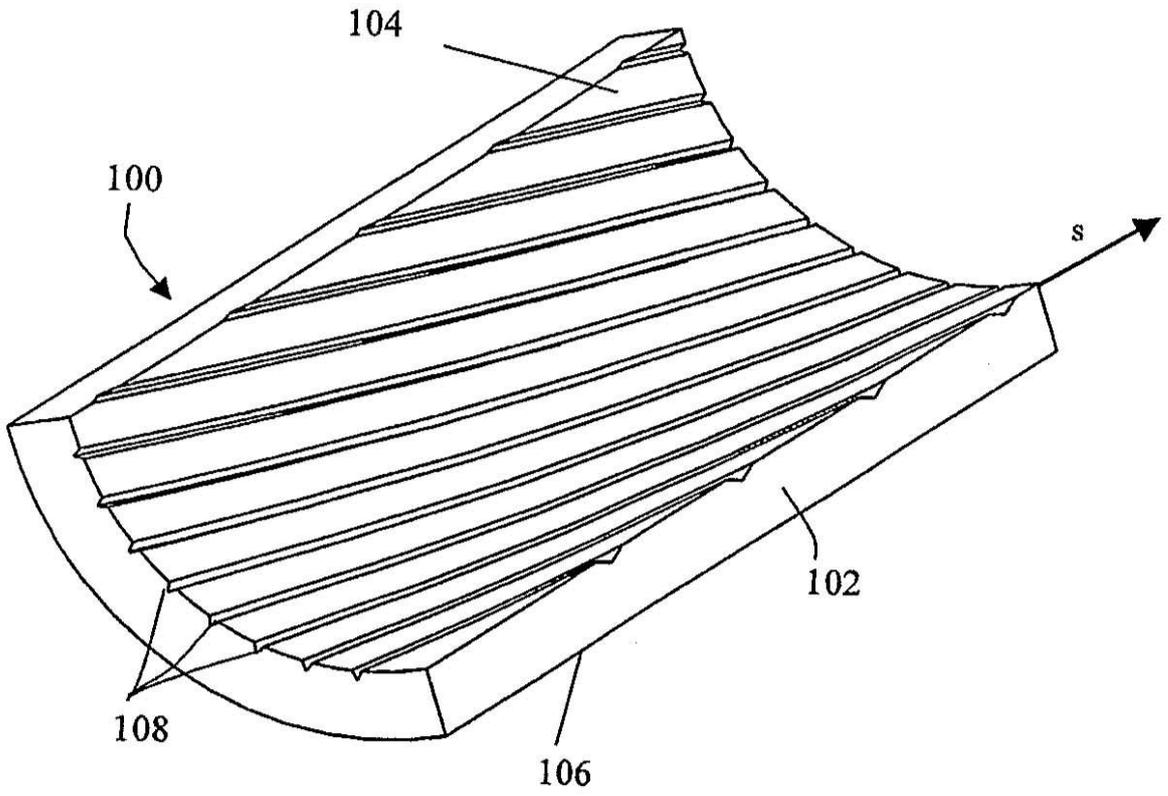


FIGURA 14

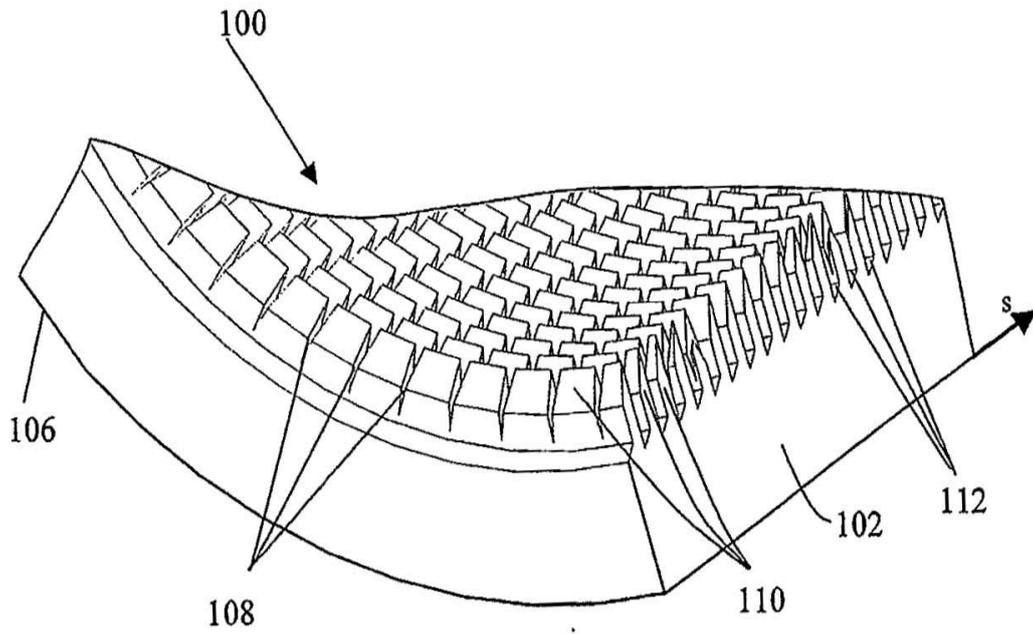


FIGURA 15A

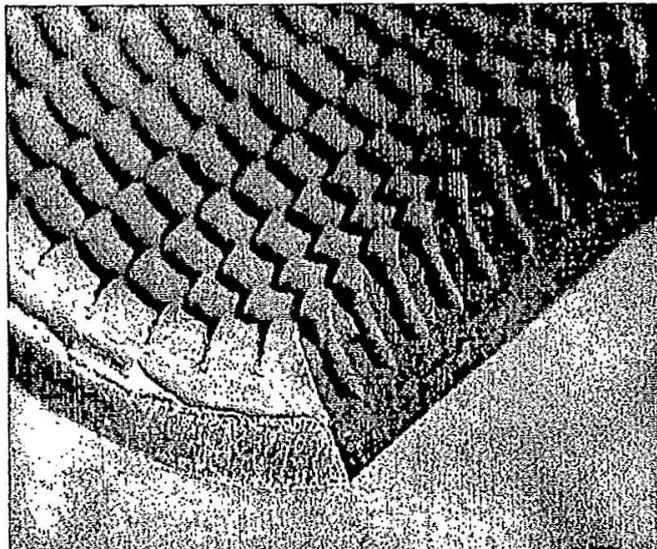


FIGURA 15B

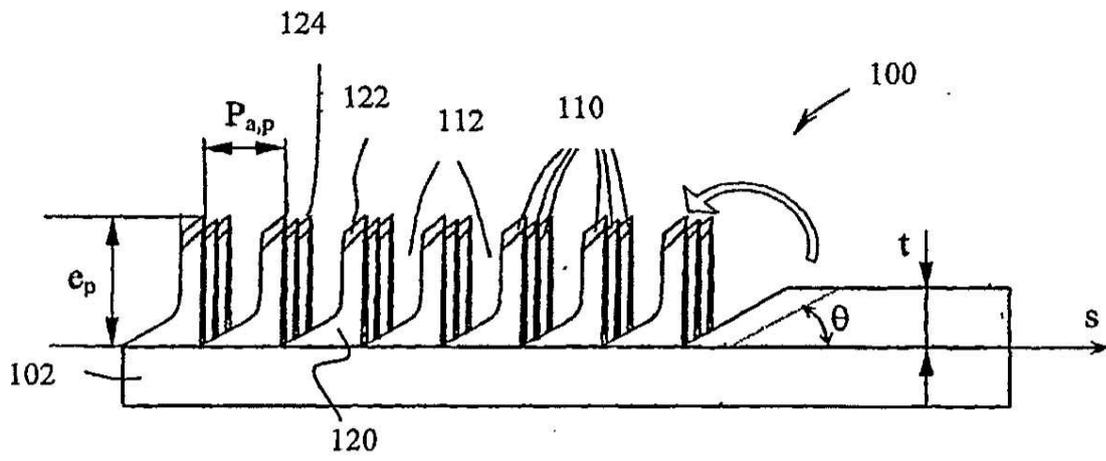
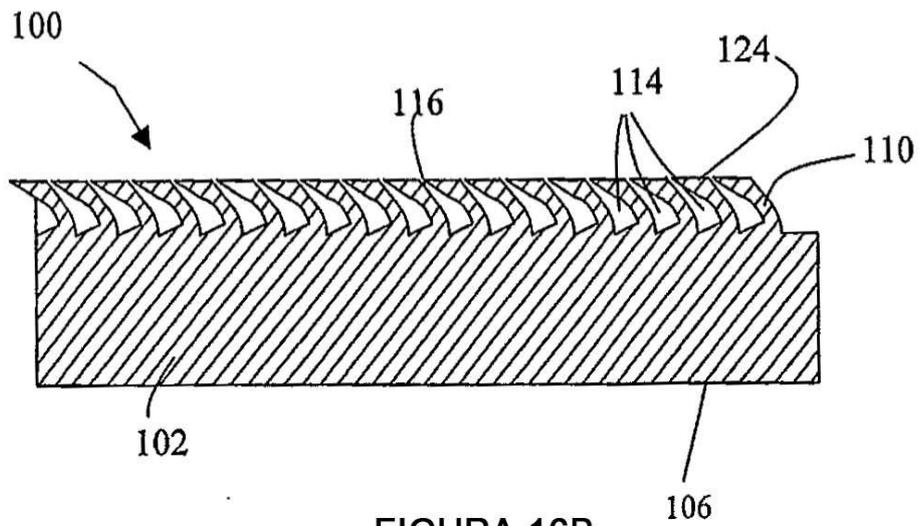
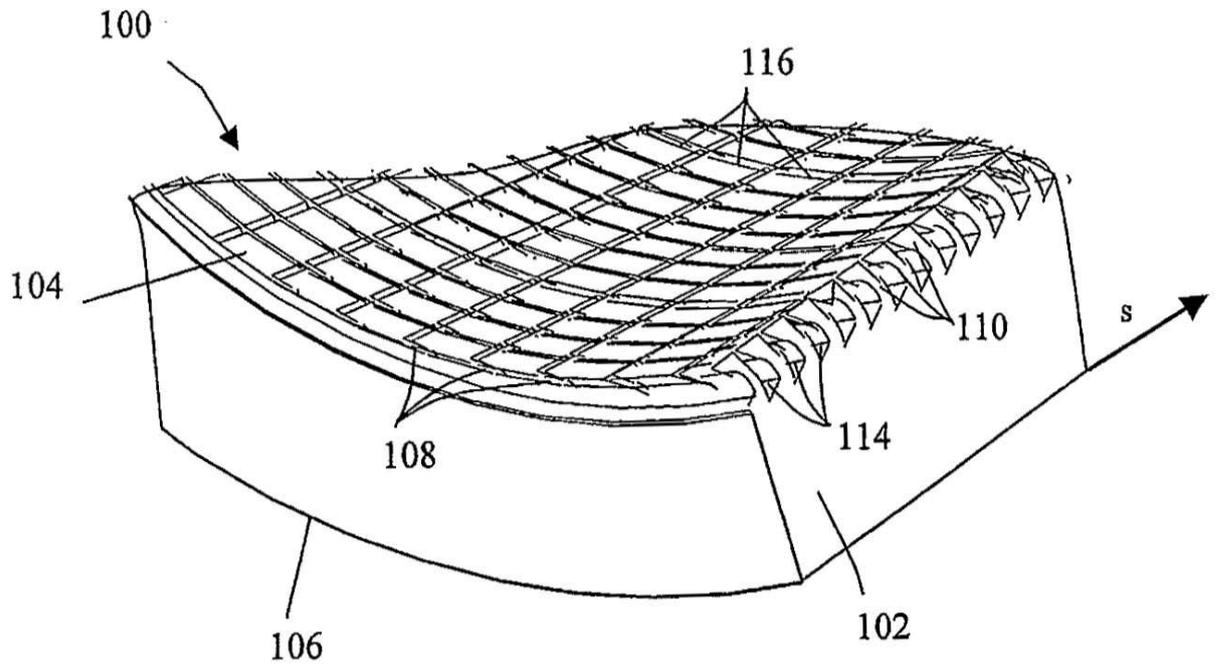


FIGURA 15C



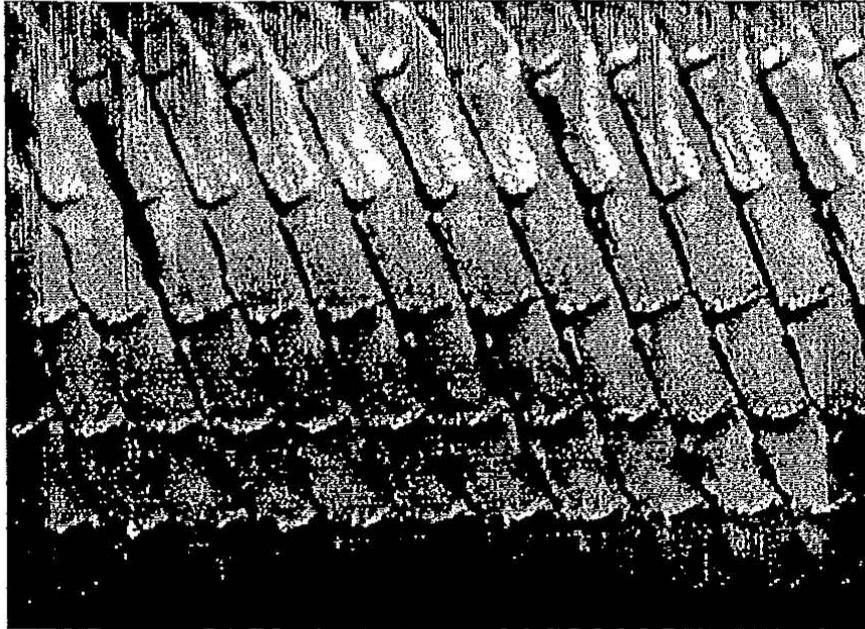


FIGURA 16C

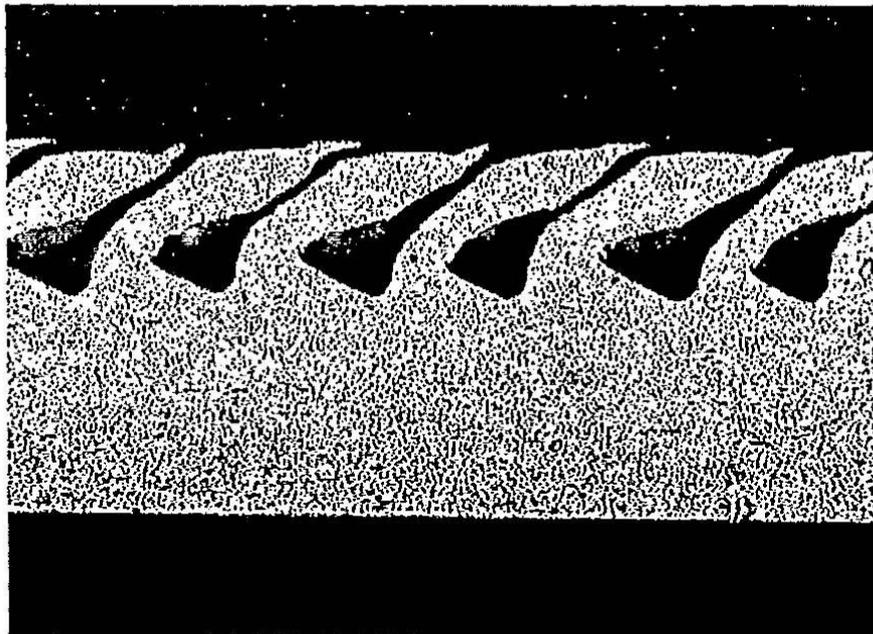
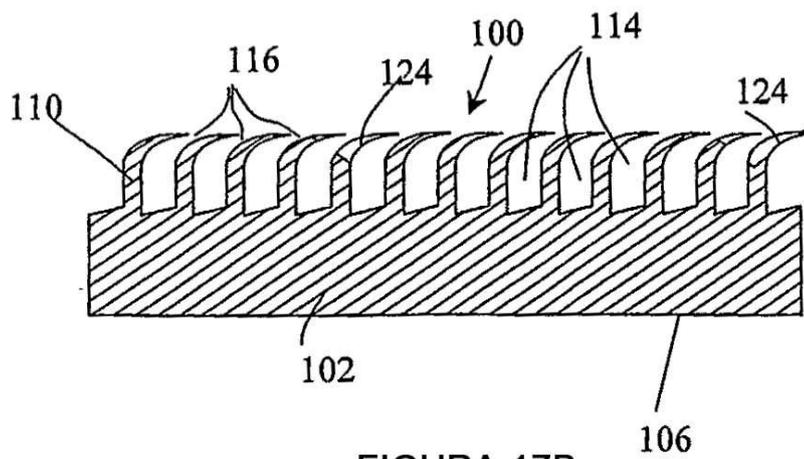
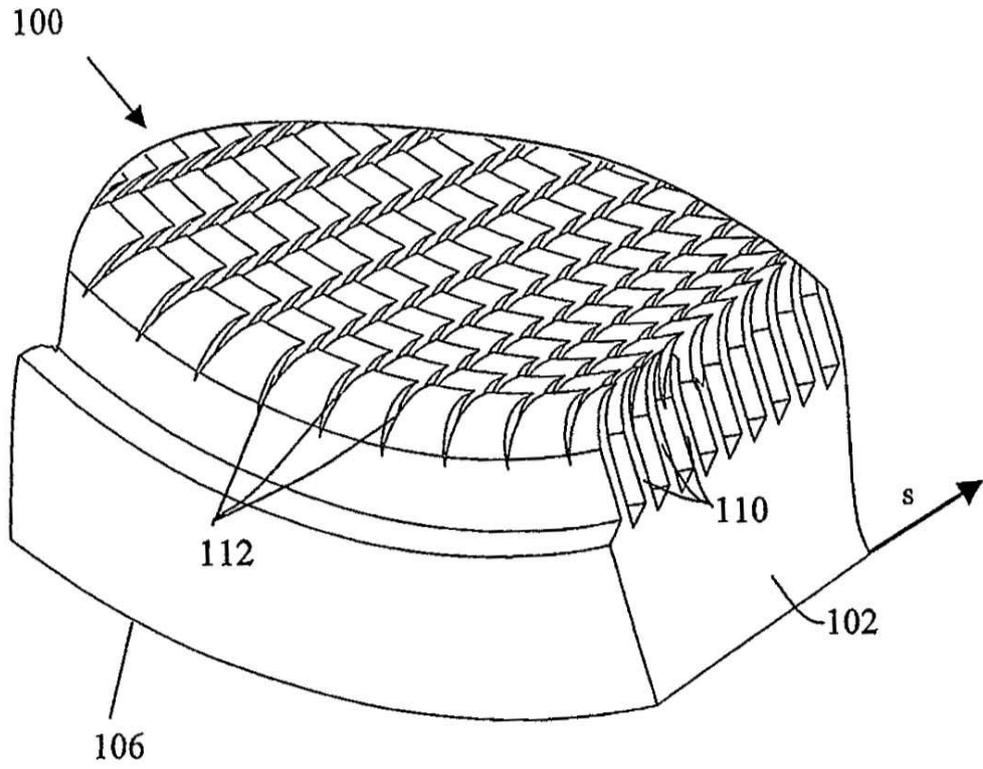


FIGURA 16D



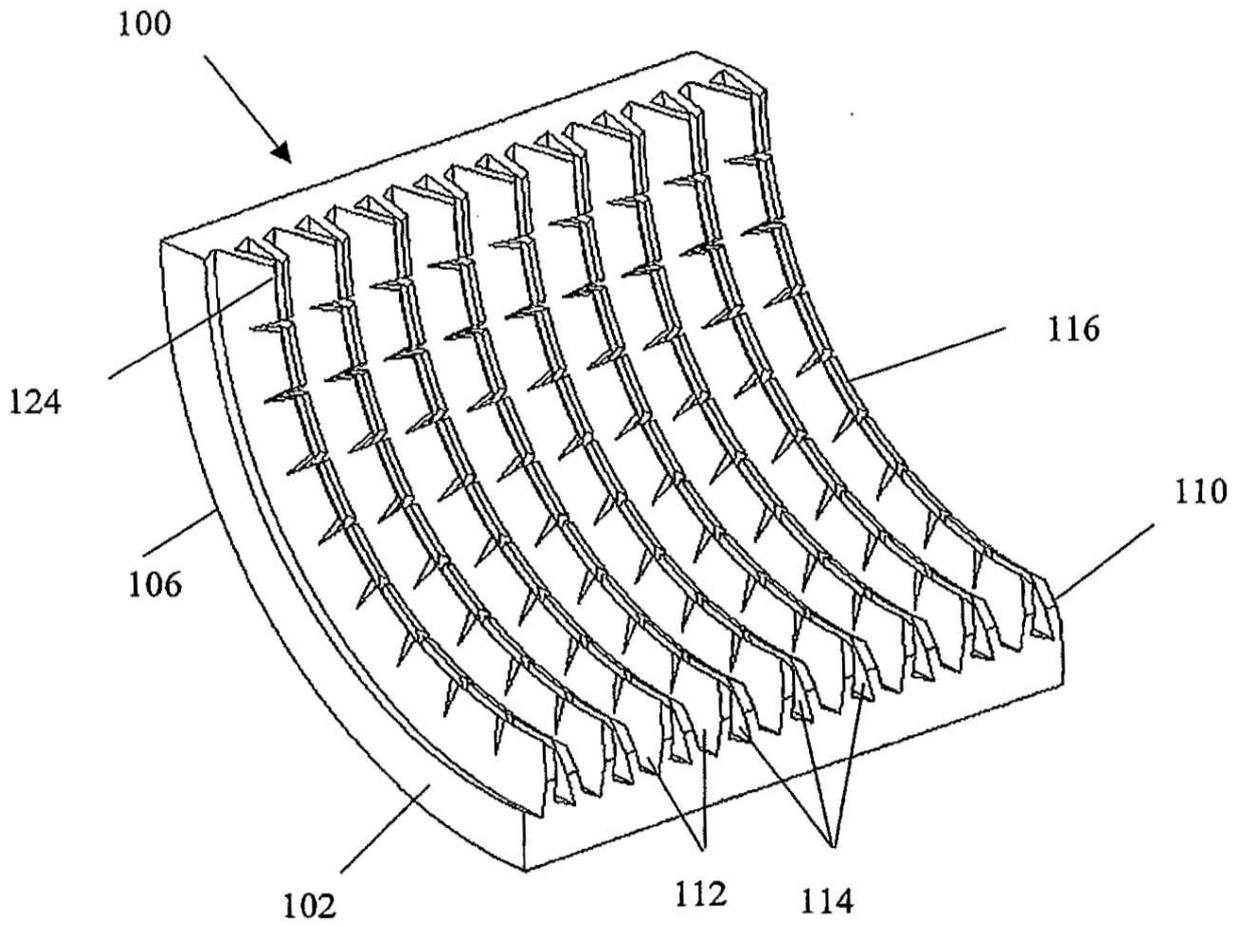


FIGURA 18A

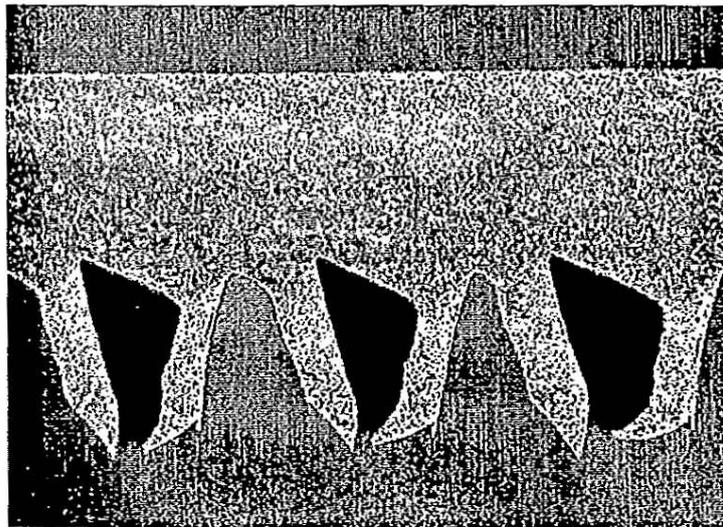


FIGURA 18B

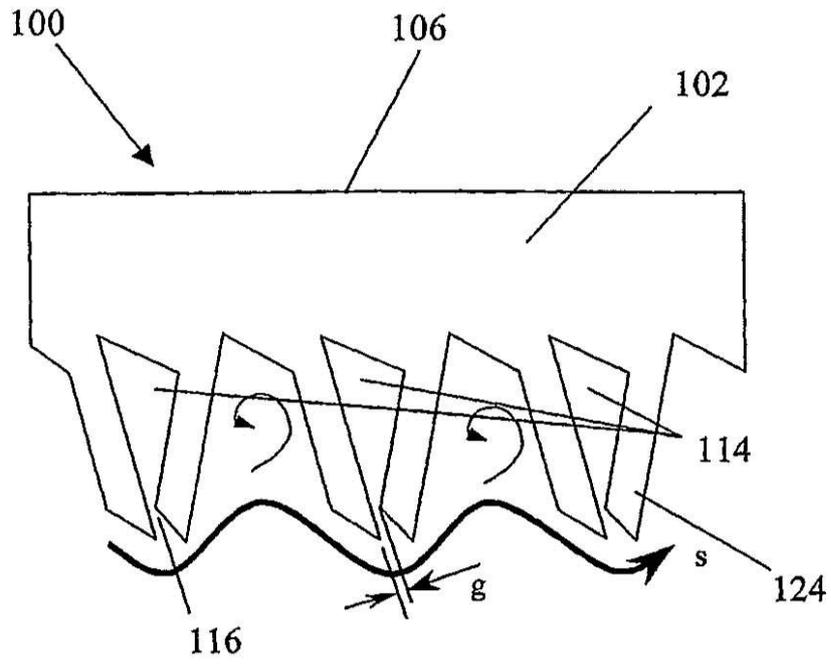


FIGURA 18C

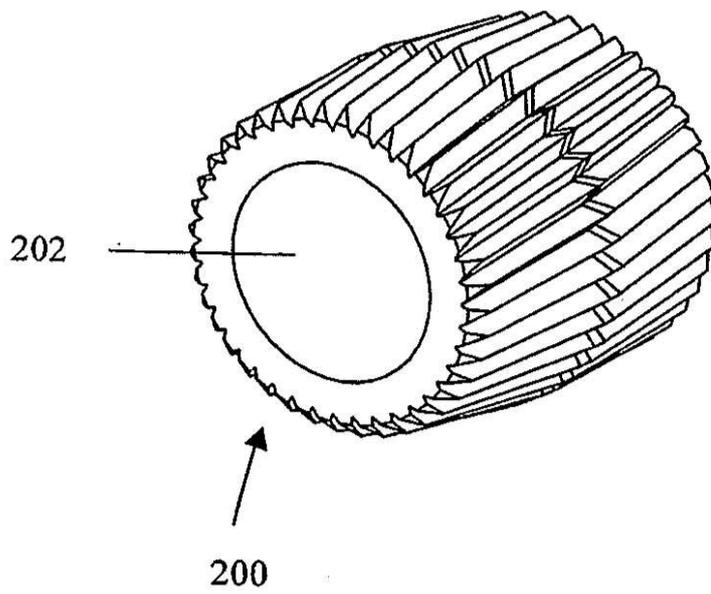


FIGURA 19

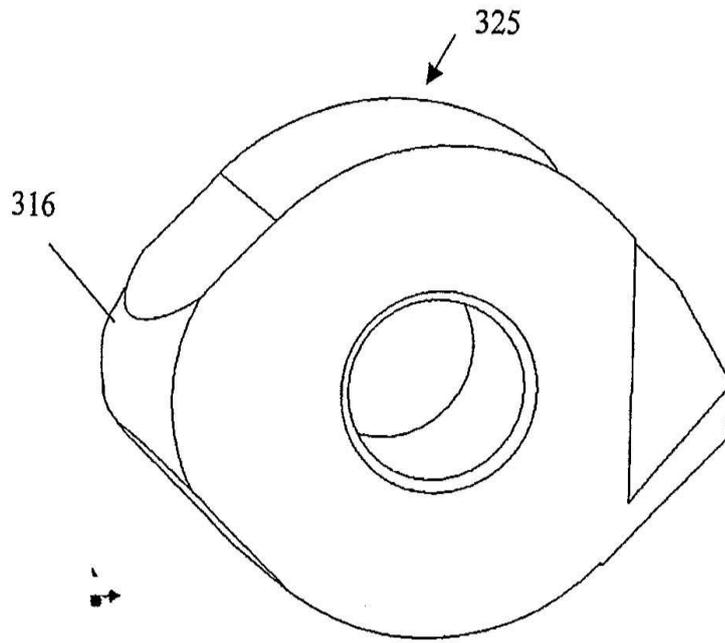


FIGURA 20A

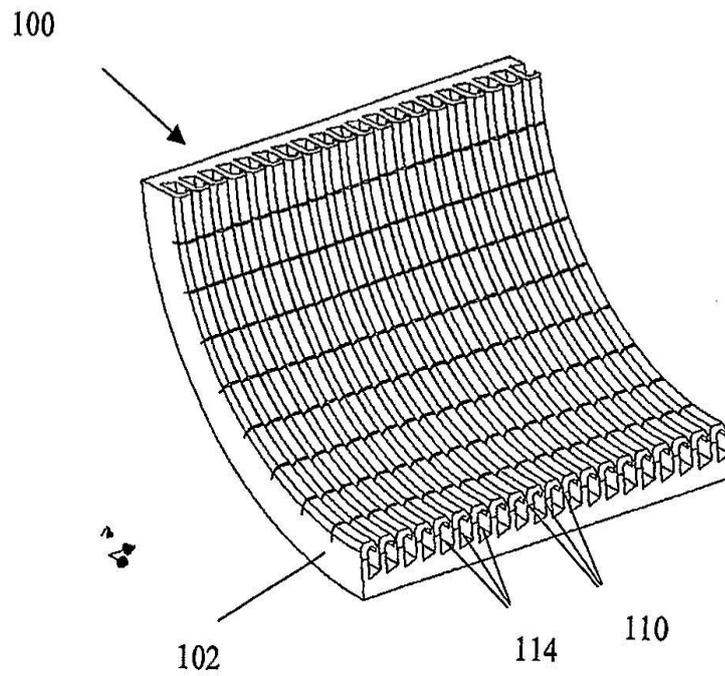


FIGURA 20B

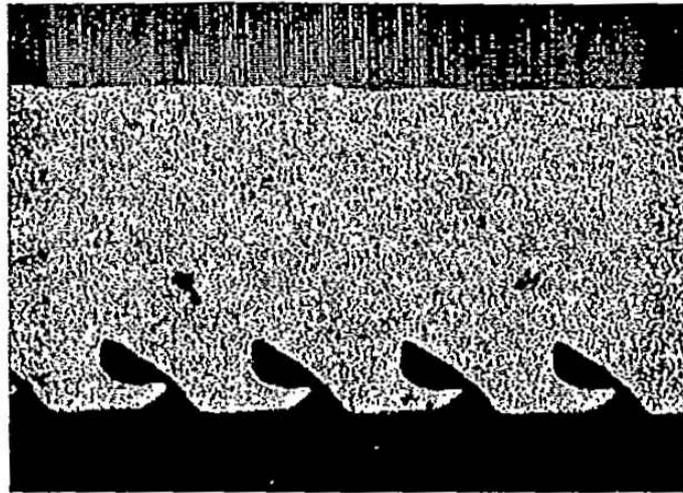


FIGURA 20C

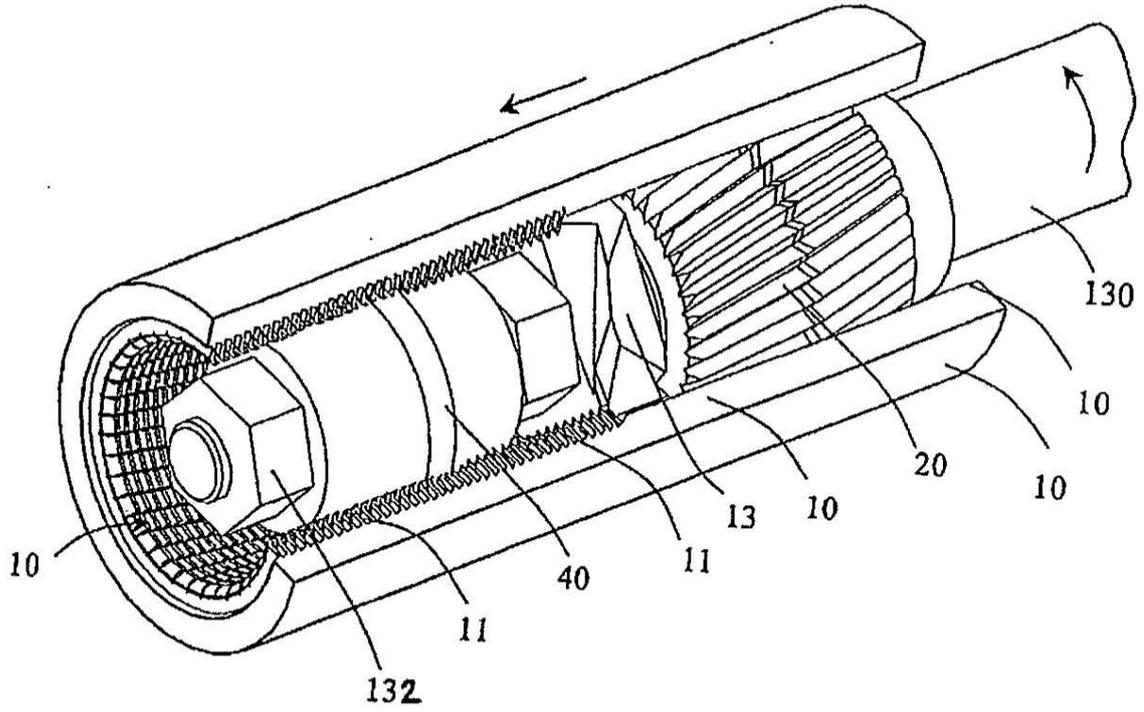


FIGURA 21

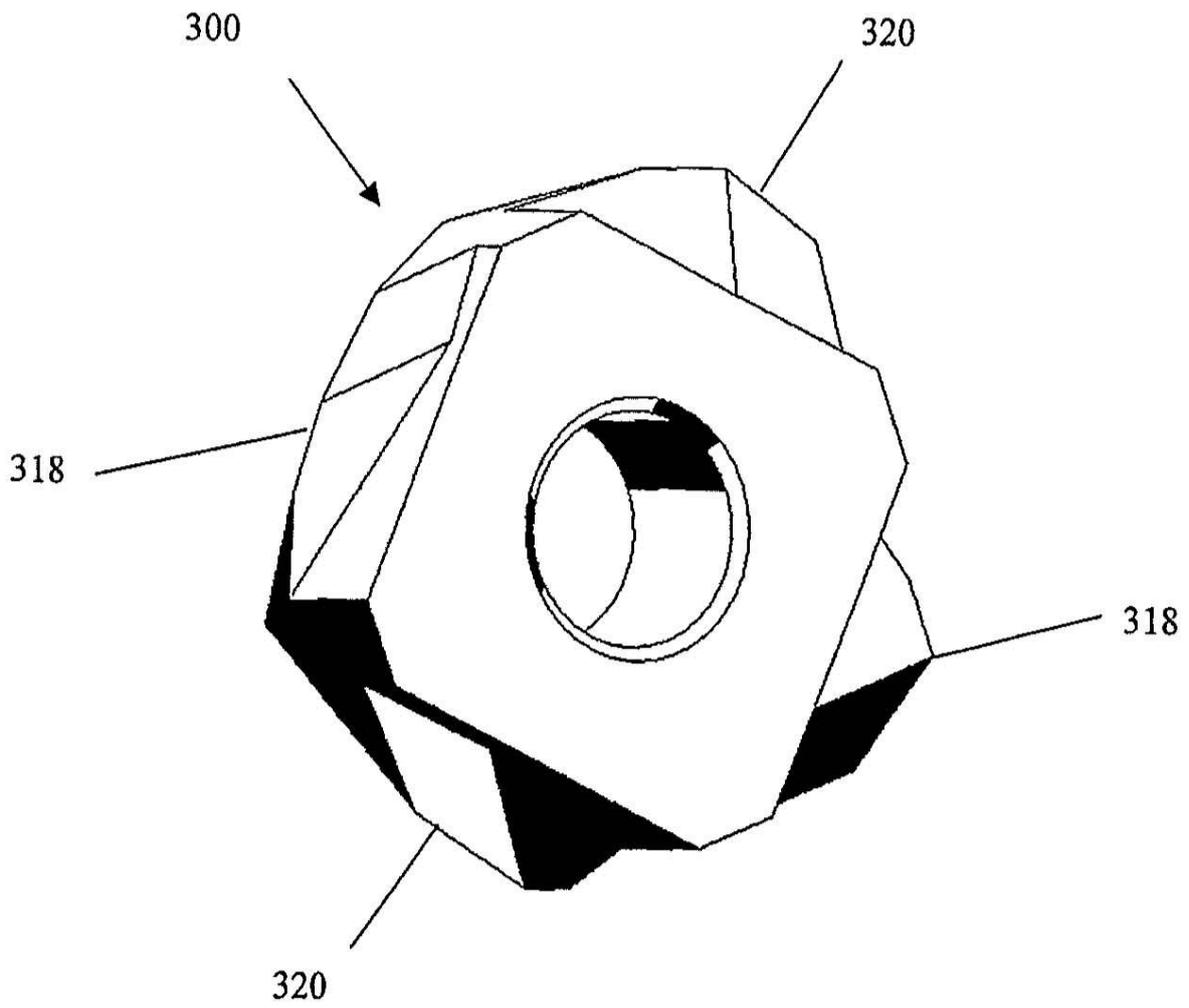


FIGURA 22

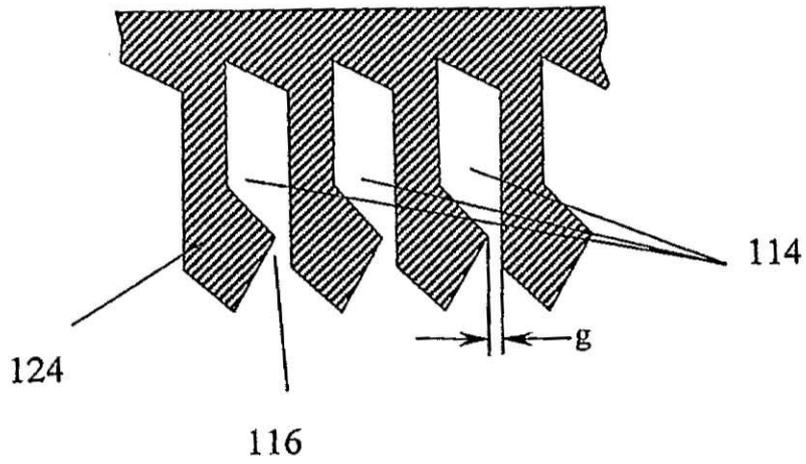


FIGURA 23A

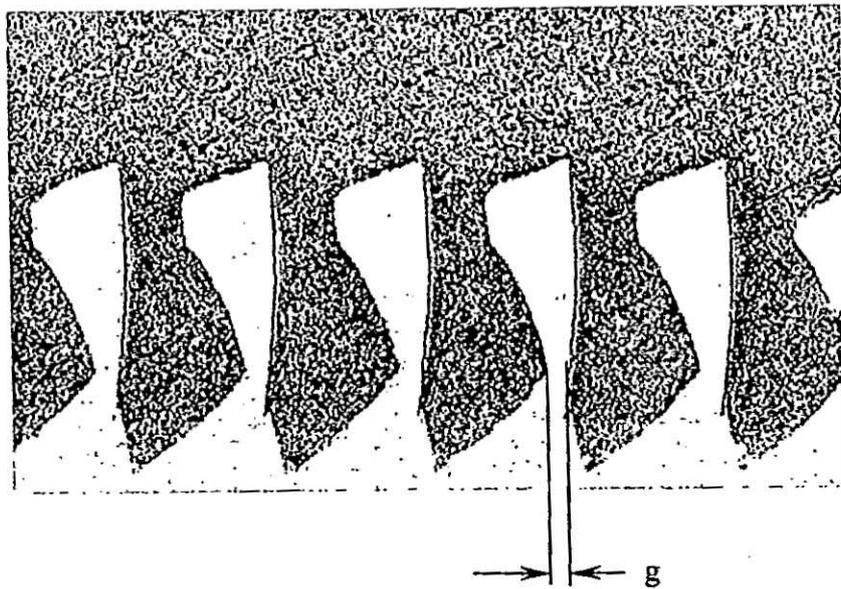


FIGURA 23B

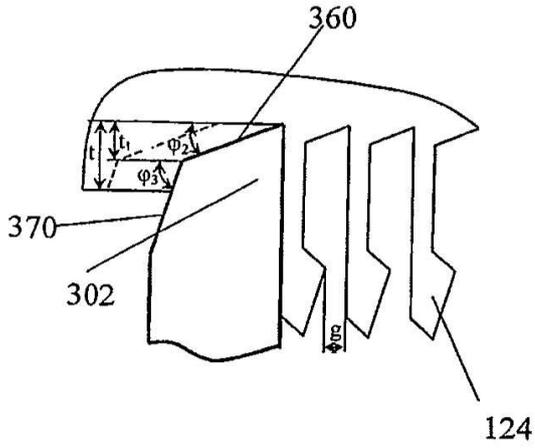


FIGURA 24A

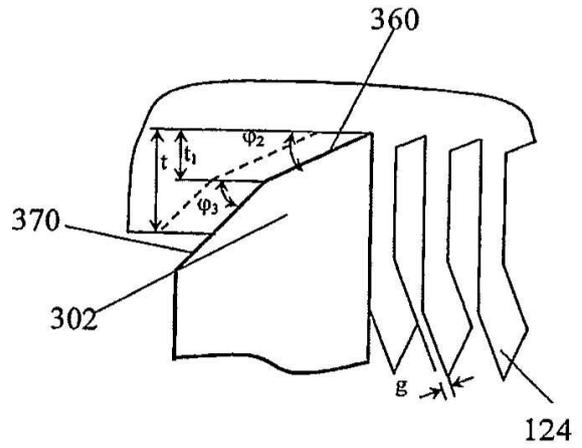


FIGURA 24B

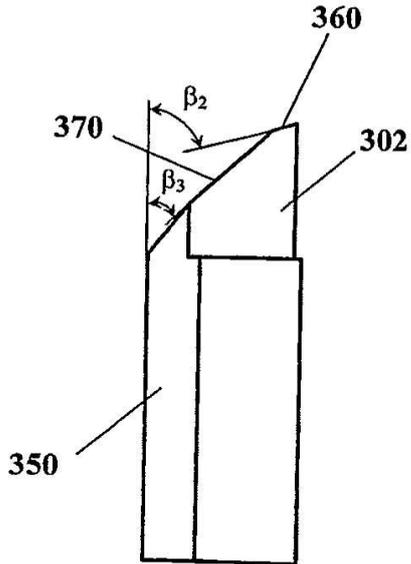


FIGURA 24C

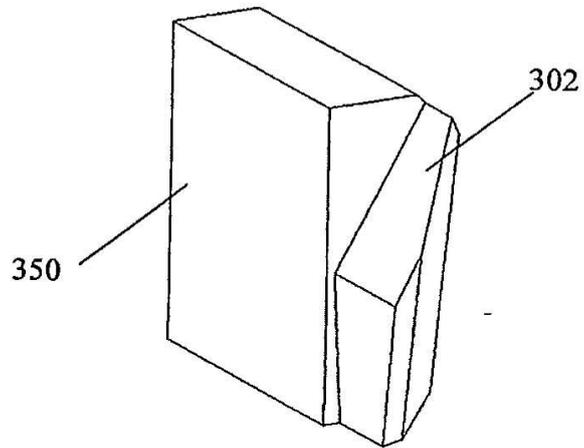


FIGURA 24D

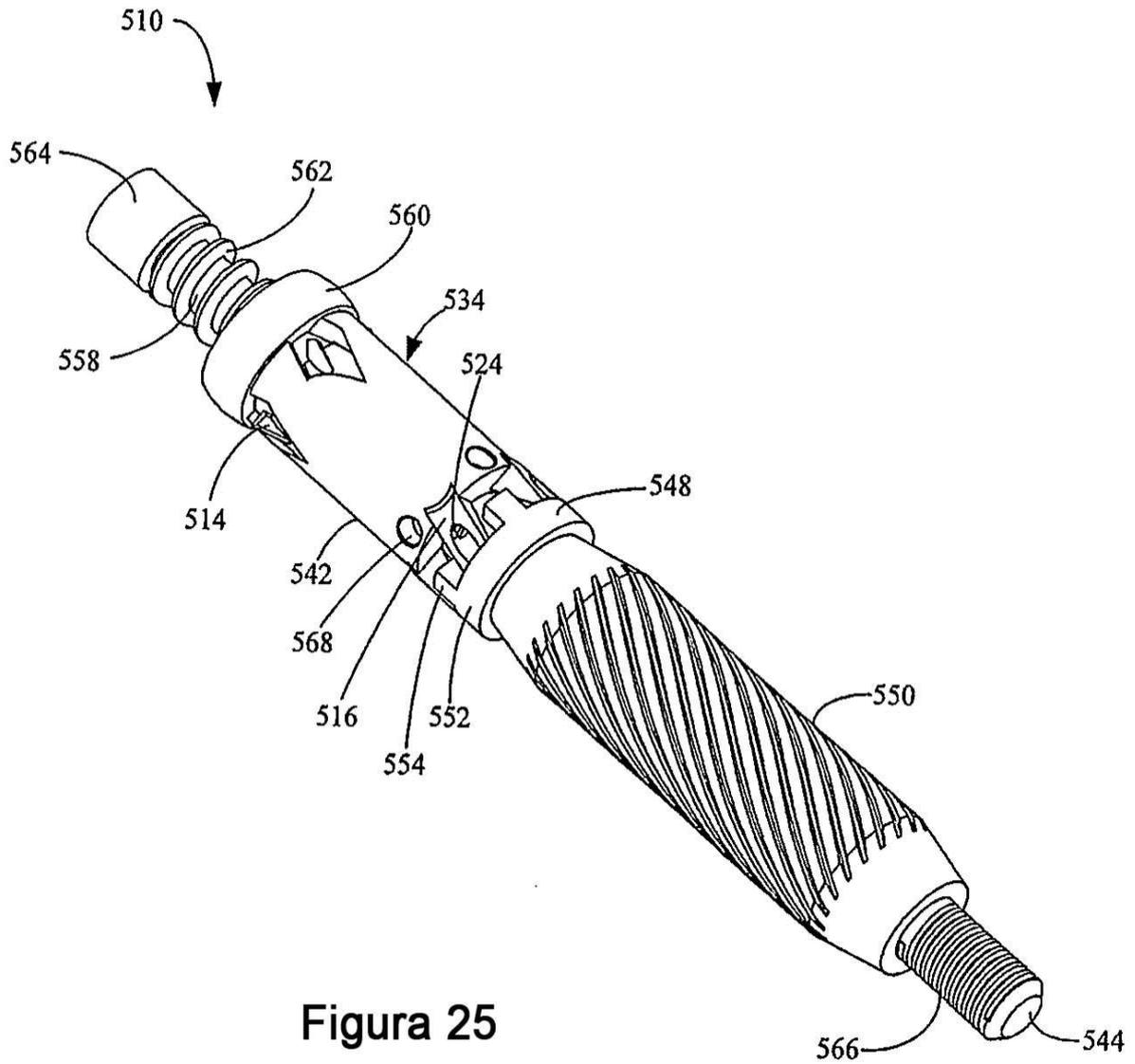


Figura 25

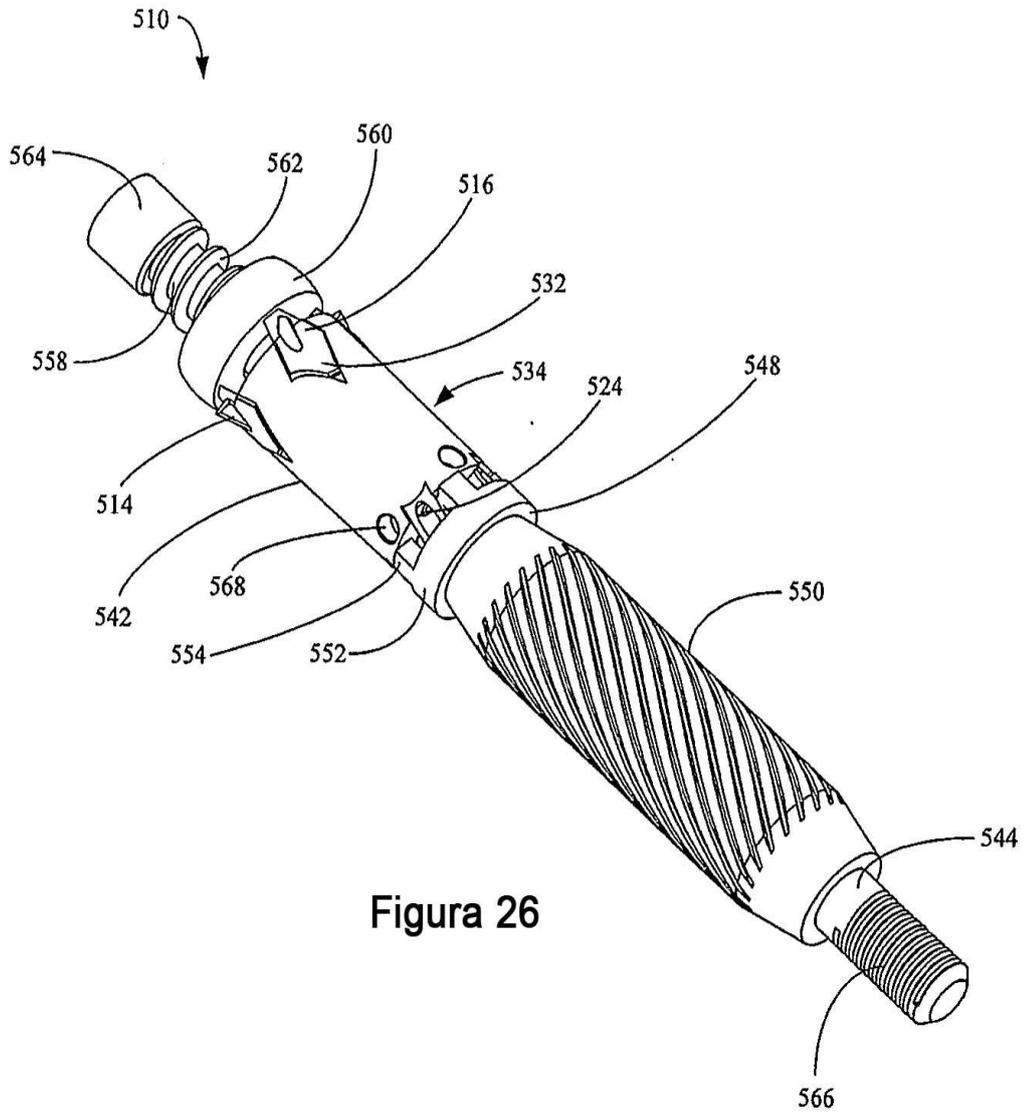


Figura 26

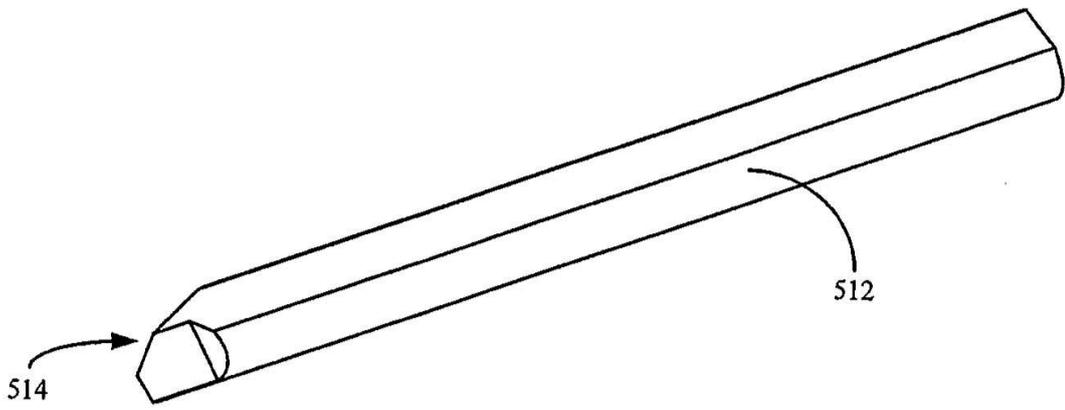


Figura 27

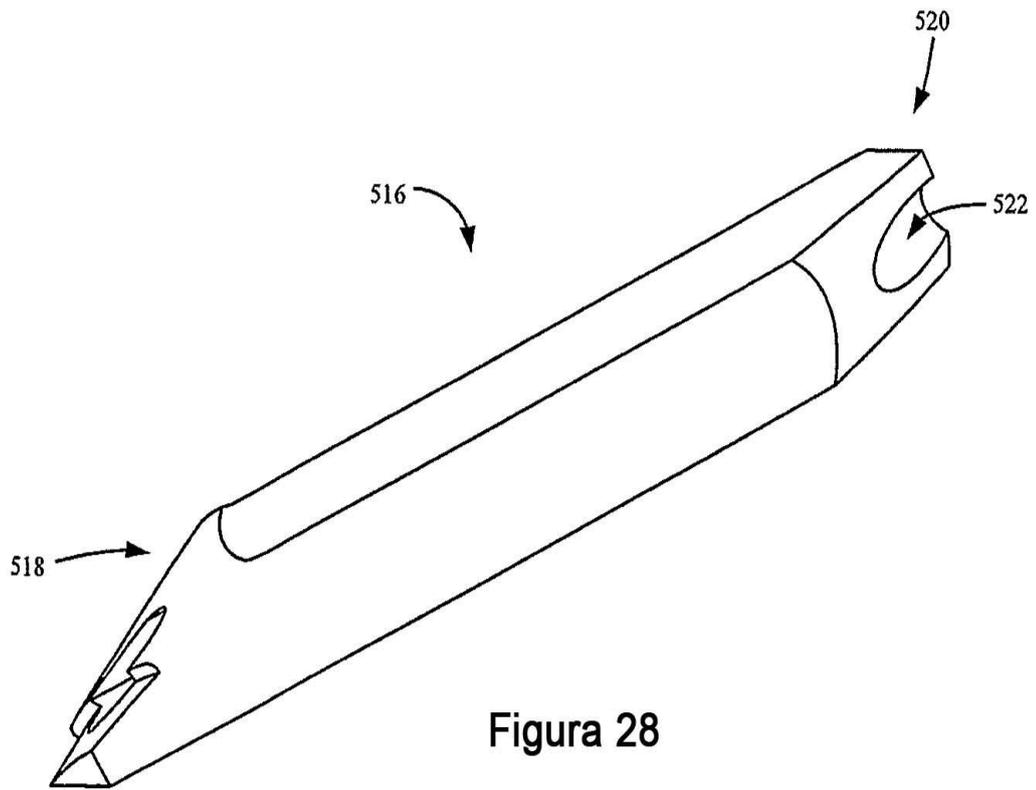


Figura 28

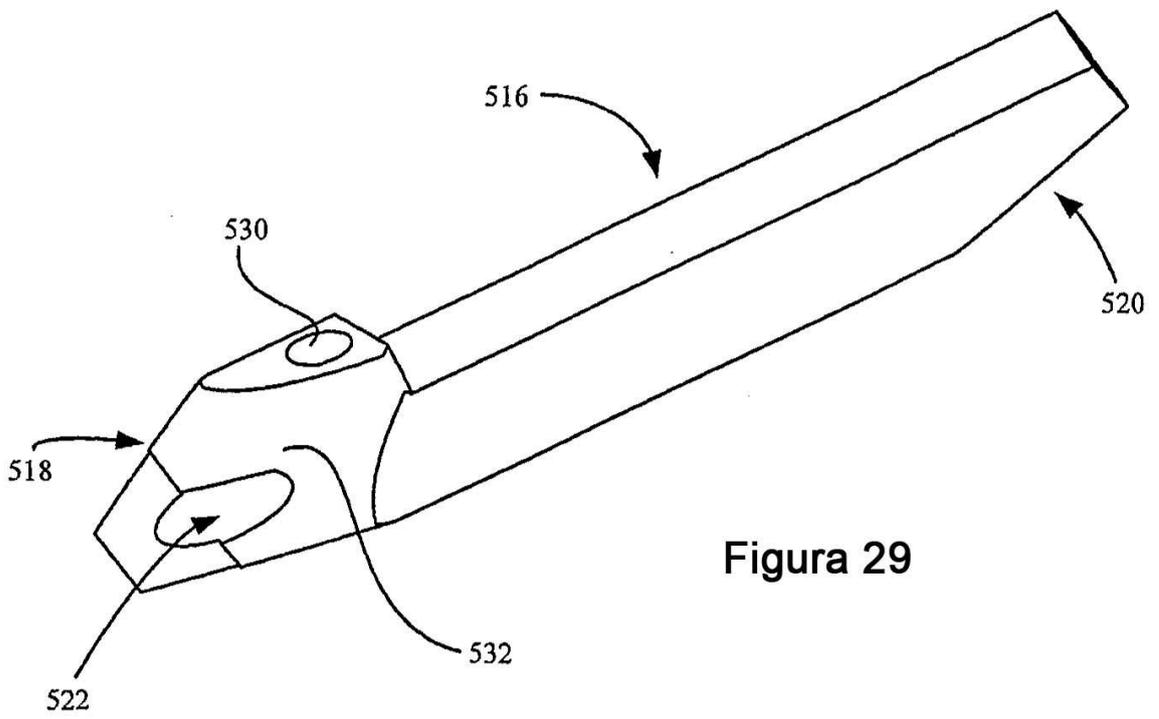


Figura 29

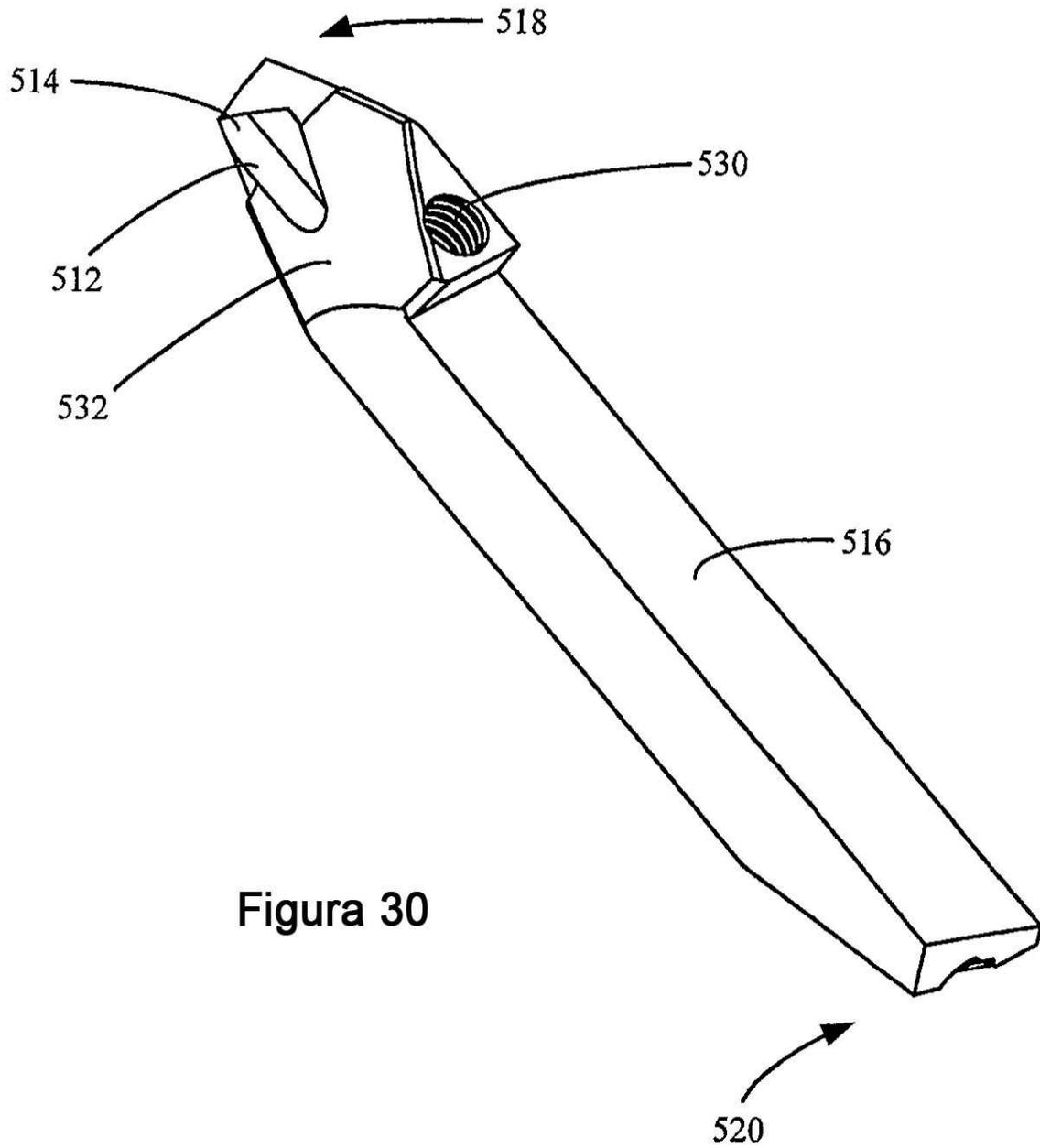


Figura 30

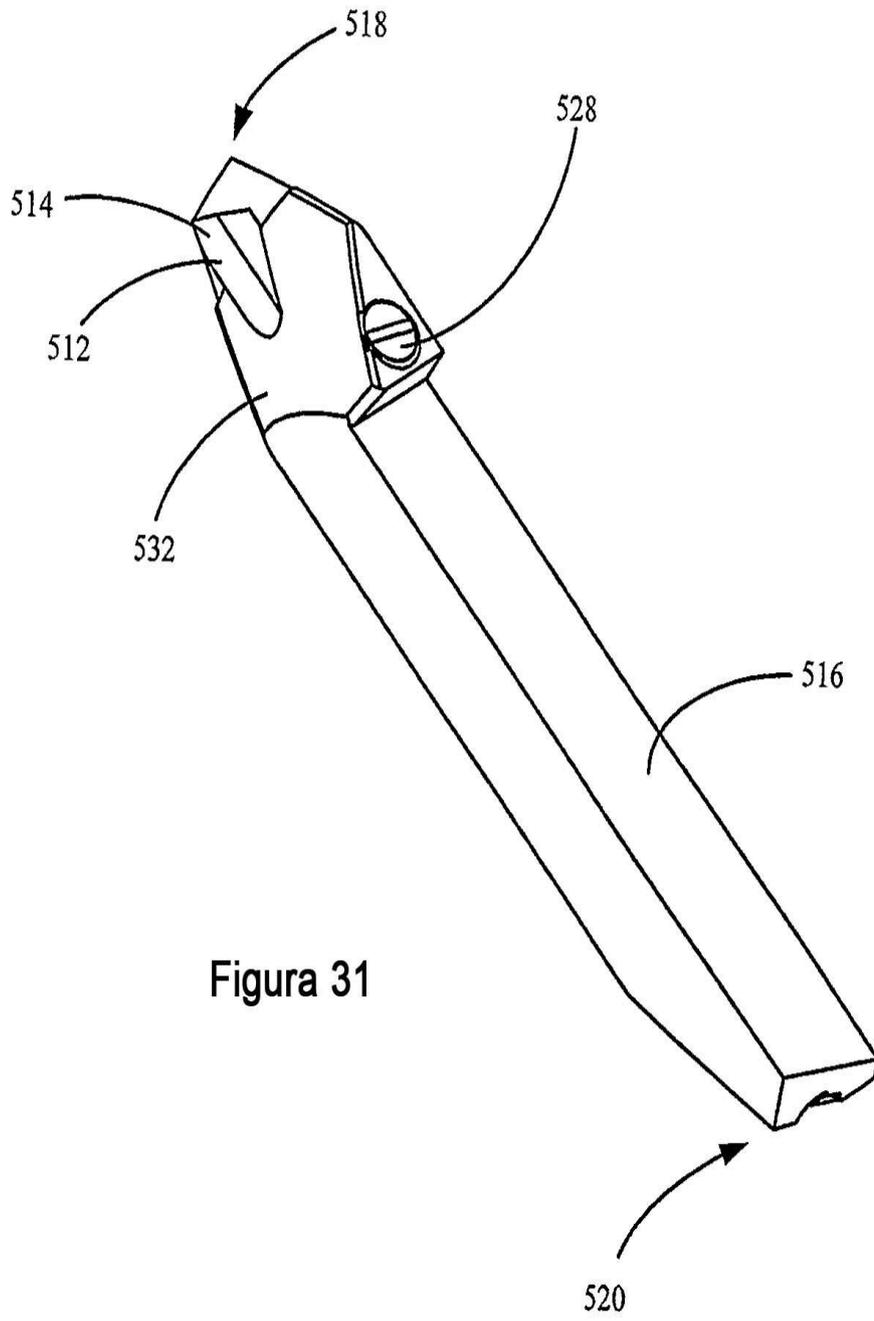


Figura 31

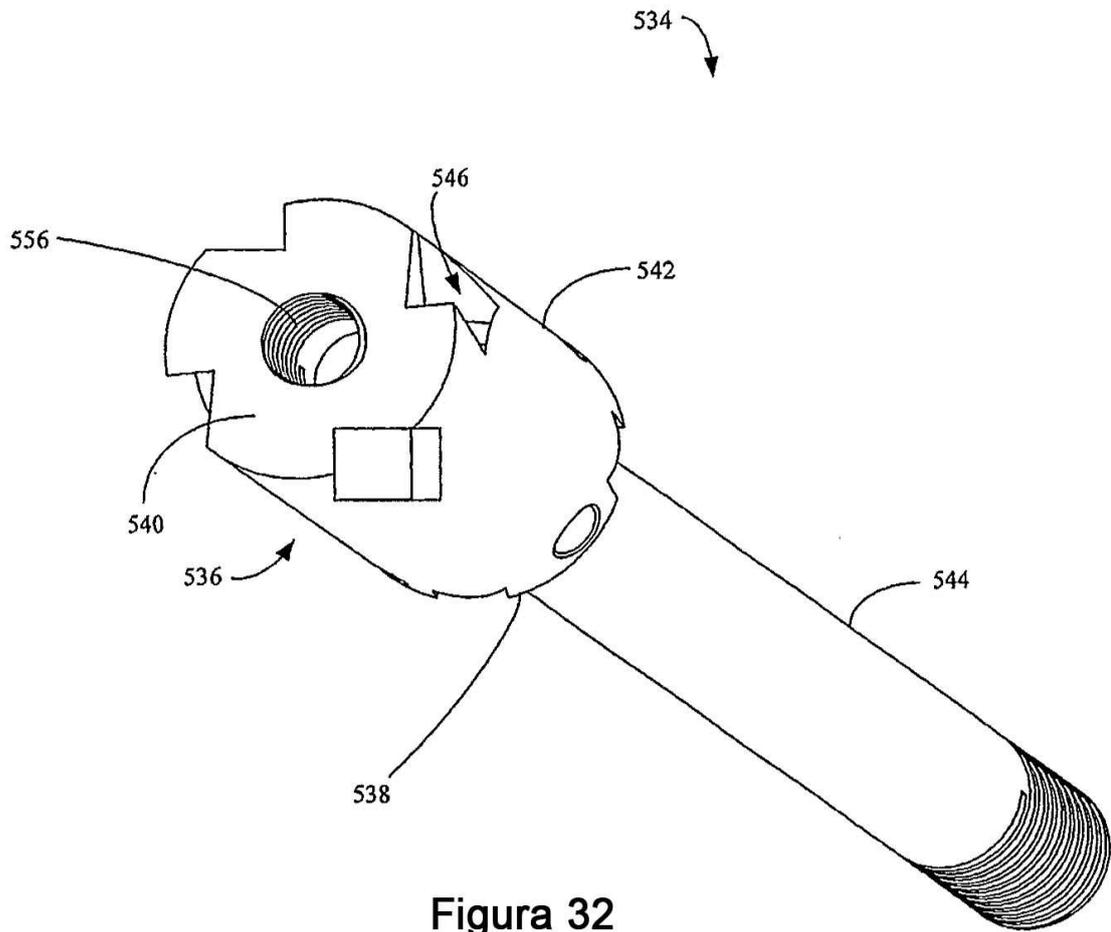


Figura 32

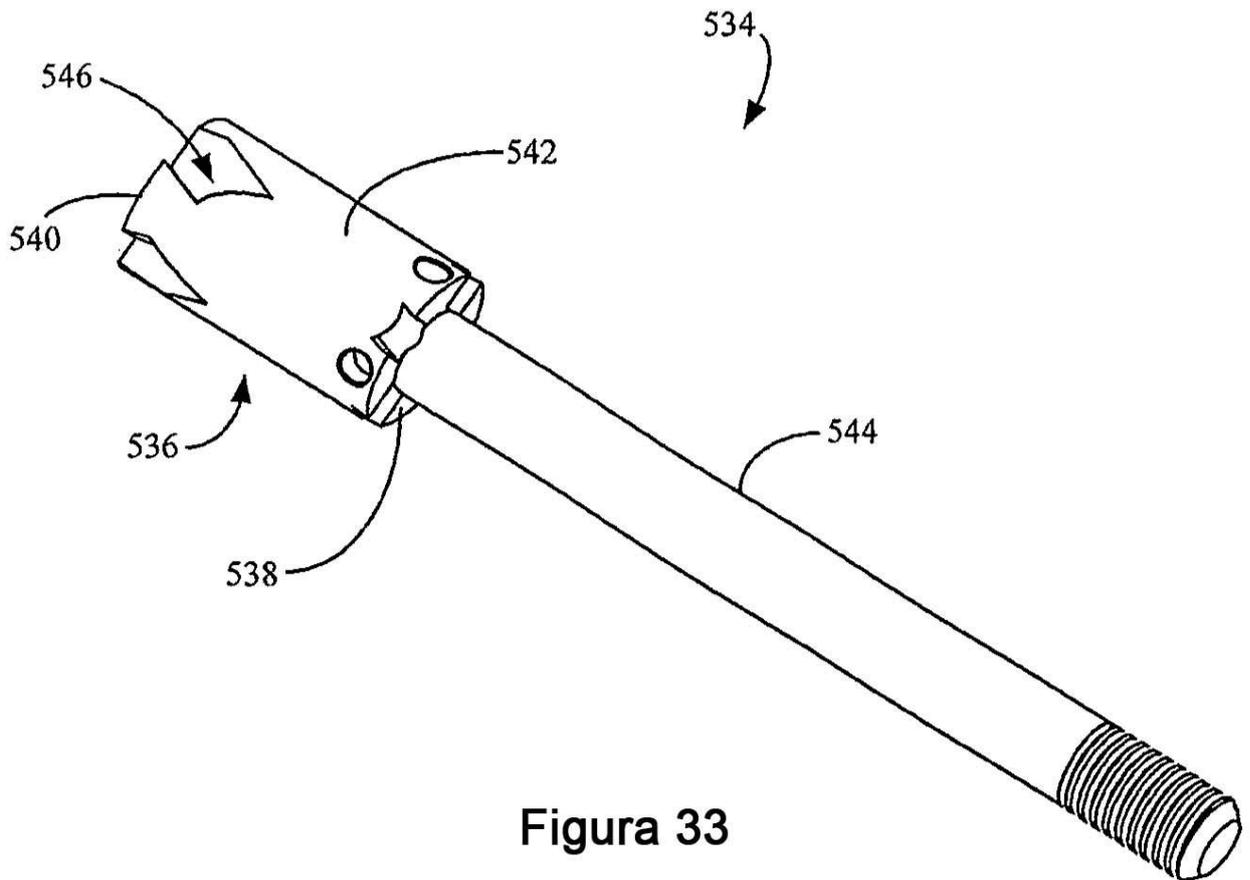


Figura 33

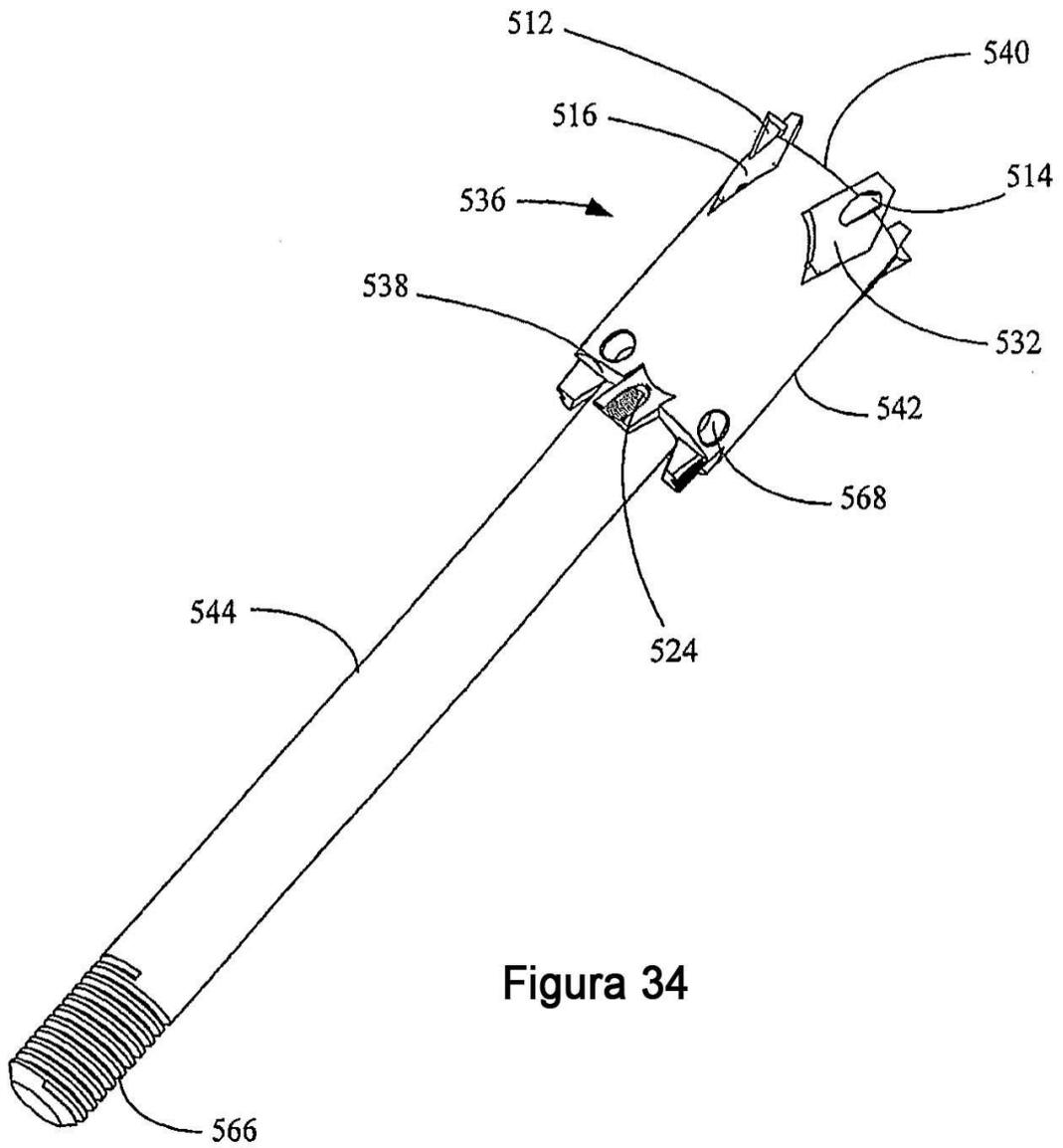


Figura 34