

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 669 730**

51 Int. Cl.:

A61F 9/007

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.08.2011** **E 16154545 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.04.2018** **EP 3047822**

54 Título: **Punta de facoemulsión equilibrada**

30 Prioridad:

17.09.2010 US 884285

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

29.05.2018

73 Titular/es:

ALCON RESEARCH, LTD. (100.0%)
6201 South Freeway, Mail Code TB4-8
Fort Worth, TX 76134, US

72 Inventor/es:

OVCHINNIKOV, MIKHAIL A.

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 669 730 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

Punta de facoemulsión equilibrada

CAMPO DE LA INVENCION

5 La presente invención pertenece generalmente a la facoemulsión. Más particularmente, pero no a modo de limitación, la presente invención pertenece a puntas de facoemulsión.

DESCRIPCION DE LA TECNICA RELACIONADA

10 El ojo humano en sus términos más simples funciona para proporcionar visión transmitiendo luz a través de una porción exterior transparente denominada la córnea, y enfocando la imagen por medio del cristalino sobre la retina. La calidad de la imagen enfocada depende de muchos factores incluyendo el tamaño y forma del ojo, y la transparencia de la córnea y del cristalino.

Cuando la edad o la enfermedad hacen que el cristalino resulte menos transparente, la visión se deteriora a causa de la luz disminuida que puede ser transmitida a la retina. La deficiencia en el cristalino del ojo es conocida médicamente como catarata. Un tratamiento aceptado para este estado es la retirada quirúrgica del cristalino y el reemplazamiento de la función del cristalino por una lente intraocular (IOL).

15 Los cristalinicos con cataratas pueden ser retirados mediante una técnica quirúrgica denominada facoemulsión. Durante este procedimiento, una punta fina de facoemulsión puede ser insertada en el cristalino enfermo y hecha vibrar ultrasónicamente. La punta vibratoria puede licuar o emulsionar el cristalino de modo que el cristalino puede ser aspirado fuera del ojo. El cristalino enfermo, una vez retirado, puede ser reemplazado por una lente artificial.

20 Los documentos WO 2011/002576 A1, WO 86/02257 A1, US 2003/0125620 A1, y US 2010/0106173 A1 son representativos del estado relevante de la técnica.

RESUMEN DE LA INVENCION

La presente invención proporciona una punta de facoemulsión equilibrada, de acuerdo con las reivindicaciones siguientes.

25 En distintas realizaciones, una punta de facoemulsión puede incluir un vástago y una porción de borde cortante que tiene al menos una primera y una segunda curvas. La geometría del vástago y de al menos la primera y segunda curvas pueden estar configuradas para dar como resultado un desplazamiento lateral, perpendicular al vástago durante la vibración ultrasónica de torsión de la punta, del vástago a lo largo de su longitud que es menor de aproximadamente 5% a 25% ,por ejemplo, 15%) (pueden también utilizarse otros umbrales) del desplazamiento del punto de extremidad distal de la punta. En algunas realizaciones, el vástago puede extenderse desde la extremidad de una porción cónica (que puede ser, por ejemplo, aproximadamente a 12 mm desde el punto de extremidad distal de la punta) a través de la primera curva en la porción de borde cortante (que puede ser, por ejemplo, aproximadamente a 5 mm desde el punto de extremidad distal de la punta). Se han contemplado también otras ubicaciones de la primera curva (por ejemplo, a 3 mm, 8 mm, etc., desde el punto de extremidad distal de la punta). En algunas realizaciones, una extremidad proximal de la porción cónica (es decir, el conector) puede estar configurada para acoplarse a un cuerno ultrasónico.

35 En algunas realizaciones, un método para determinar una geometría de punta puede incluir proporcionar dos o más geometrías de punta (por ejemplo, en un formato electrónico tal como un archivo de entrada legible por ordenador con una o más variables almacenadas describiendo la geometría), modelar el comportamiento de las geometrías de punta durante las vibraciones ultrasónicas de torsión y comparar el desplazamiento lateral de las distintas geometrías de punta para seleccionar una punta con un desplazamiento lateral menor a lo largo de una porción del vástago de la punta configurada para estar a lo largo de una incisión en un ojo durante un procedimiento de facoemulsión (que puede ser, por ejemplo, desde una extremidad de la porción cónica a la primera curva).

45 En algunas realizaciones, un método para determinar una geometría de punta puede incluir proporcionar dos o más puntas físicas con geometrías diferentes (por ejemplo curvada a mano en dos o más ubicaciones a lo largo de la punta), hacer vibrar ultrasónicamente de torsión las diferentes puntas, determinar el desplazamiento lateral de las distintas puntas, y comparar los desplazamientos laterales determinados para seleccionar una punta con un menor desplazamiento lateral a lo largo de una porción del vástago de la punta configurada para estar a lo largo de una incisión en un ojo durante un procedimiento de facoemulsión.

BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

50 Para una comprensión más completa de la presente invención, se ha hecho referencia a la siguiente descripción tomada en combinación con los dibujos adjuntos en los que:

La fig. 1 ilustra una punta de facoemulsión equilibrada con una extremidad distal que tiene dos curvas, de acuerdo con una realización.

La fig. 2 ilustra una consola quirúrgica de facoemulsión conectada a una pieza manual a través de una tubería de irrigación y una tubería de aspiración, de acuerdo con una realización.

La fig. 3 ilustra un cuerno ultrasónico unido a la punta equilibrada, de acuerdo con una realización.

La fig. 4 ilustra el movimiento de la punta equilibrada, de acuerdo con una realización.

- 5 La fig. 5 ilustra una punta equilibrada insertada una incisión en el ojo, de acuerdo con una realización.

La fig. 6 ilustra vibraciones de torsión y vibraciones laterales con relación a la punta equilibrada, de acuerdo con una realización.

La fig. 7a ilustra ecuaciones modelo para desplazamiento de torsión a lo largo del eje z de la punta, de acuerdo con una realización.

- 10 La fig. 7b ilustra ecuaciones modelo para desplazamiento lateral a lo largo del eje z de la punta, de acuerdo con una realización.

La fig. 7c ilustra un componente ($I(z)$) de las ecuaciones modelo, de acuerdo con una realización.

Las figuras 8a-b ilustran realizaciones de formas de punta de entrada y el desplazamiento lateral de salida correspondiente y el ángulo de torsión a lo largo de la longitud de la punta de acuerdo con las ecuaciones modelo.

- 15 La fig. 9 ilustra un diagrama de flujo del método para determinar una geometría de punta, de acuerdo con una realización.

La fig. 10 ilustra un diagrama de flujo de otro método para determinar una geometría de punta, de acuerdo con una realización; y

La fig. 11 ilustra seis posibles realizaciones de punta equilibrada.

- 20 Ha de comprenderse que tanto la descripción general anterior como la siguiente descripción detallada son ejemplares y explicativas solamente y están destinadas a proporcionar una explicación adicional de la presente invención según ha sido reivindicada.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES

- 25 La fig. 1 ilustra una punta 100 de facoemulsión equilibrada con una extremidad proximal 114 y una porción 112 del borde cortante que está curvada con relación a un vástago 108 de la punta. La punta 100 equilibrada puede incluir un vástago 108 predominantemente recto y al menos dos curvas (primera curva 102 y segunda curva 104) en la parte 112 de borde cortante. Se han contemplado también otros números de curvas (por ejemplo, 3 curvas, 4 curvas, 7 curvas, etc.). La punta 100 equilibrada puede ser utilizada en combinación con una pieza manual 204 de facoemulsión (por ejemplo véase la fig. 2). Cuando es utilizada con la pieza manual 204, la punta 100 equilibrada puede ser hecha vibrar longitudinalmente y/o a torsión, por ejemplo, haciendo girar la punta 100 hacia atrás y hacia adelante alrededor de su eje.
- 30 Las curvas 102/104 puede estar posicionadas, por ejemplo, a lo largo de aproximadamente el 5 al 25% distal de la longitud de la punta 100 equilibrada (que puede ser una porción posicionada aproximadamente a 5 mm del punto 106 de extremidad distal de la punta (medido a lo largo del eje 116 de la punta) a través de aproximadamente 12 mm desde el punto 106 de extremidad distal de la punta 100). También se han contemplado otras porciones de la longitud.

- 35 En algunas realizaciones, equilibrar la punta 100 puede incluir configurar una geometría de la punta 100 (por ejemplo la geometría de una porción cónica 110 de la punta, el vástago 108, y/o al menos la primera curva 102 y la segunda curva 104) de tal modo que, durante la vibración ultrasónica de torsión de la punta 100, un desplazamiento lateral del vástago 108, perpendicular al vástago 108, a lo largo de su longitud puede ser menor de aproximadamente 5% a 25% (por ejemplo 15%) del desplazamiento lateral del punto 106 de extremidad distal de la punta 100 (por ejemplo cuando se mide durante frecuencias a las que la punta es hecha vibrar durante el procedimiento oftálmico). Otros umbrales pueden ser también utilizados (por ejemplo, 10 a 20%, 15 a 30%, 10 a 40%, etc.). En algunas realizaciones, el desplazamiento lateral de la punta (durante las frecuencias operativas esperadas) en el punto 106 de extremidad distal puede ser aproximadamente del orden del 30 a 200 micrones. Como ejemplo, si el punto 106 de extremidad distal tiene un desplazamiento lateral de aproximadamente $\pm 0,035$ mm durante la vibración ultrasónica de torsión de la punta 100, la geometría de la punta puede estar configurada de tal modo que el máximo desplazamiento lateral a lo largo del vástago sea menor de 5 micrones (son también posibles otros desplazamientos). Como otro ejemplo, si el punto 106 de extremidad distal tiene un desplazamiento lateral de aproximadamente $\pm 0,055$ mm durante la vibración ultrasónica de torsión de la punta 100, la geometría de la punta puede estar configurada de tal modo que el desplazamiento lateral máximo a lo largo del vástago sea menor de 8 micrones. En algunas realizaciones, el vástago puede extenderse desde la extremidad de una porción cónica 110 (que puede ser, por ejemplo, aproximadamente a 12 mm desde el punto 106 de extremidad distal) a través de la primera curva 102 en la porción 112 de borde cortante (que puede ser, por ejemplo, aproximadamente a 5 mm desde el punto 106 de extremidad distal). Otras ubicaciones de la primera curva 102 son también contempladas (por ejemplo, 3 mm, 8 mm, etc. desde el punto 106 de extremidad distal).
- 50

La fig. 2 ilustra una consola quirúrgica 214 de facoemulsión conectada a una pieza manual 204 a través de una tubería 206 de irrigación y una tubería 208 de aspiración. En algunas realizaciones, la alimentación puede ser suministrada a la pieza manual 204 a través del cable eléctrico 210 y el flujo a través de las tuberías de irrigación/aspiración 206 y 208 puede ser controlado por un usuario (por ejemplo, mediante un interruptor de pie 212) para realizar un procedimiento de facoemulsión. Un ejemplo de una pieza manual de un procedimiento de facoemulsión esta descrito en la Publicación de la Solicitud de Patente de los EE.UU titulada "Ultrasound Handpiece", Publicación N° 2006/0041220, N° de serie 11/183.591, por Mikhail Boukhny, James Y. Chon, y Ahmad Salehi presentada el 18 de Julio de 2005.

En algunas realizaciones, la pieza manual 204 puede ser acoplada a una punta 100 equilibrada de facoemulsión. En algunas realizaciones, la pieza manual 204 puede incluir al menos un conjunto de elementos piezoeléctricos 227 polarizados para producir un movimiento longitudinal cuando son excitados a una frecuencia resonante relevante. Como se ha visto en la fig. 3, los cristales piezoeléctricos 227 pueden ser conectados a un cuerno ultrasónico 216 al que está unida una punta 100 equilibrada. El cuerno 216 y/o la punta 100 equilibrada pueden incluir una pluralidad de hendiduras o ranuras diagonales 224. Las hendiduras o ranuras 224 pueden producir un movimiento de torsión en la punta 100 equilibrada cuando los cristales piezoeléctricos son excitados a una frecuencia resonante. El movimiento de la punta 100 equilibrada causado porque las ranuras 224 se aplican a elementos fijos en la pieza manual 204 puede incluir un componente de rotación a torsión con relación a una línea central del cuerno 216.

Como se ha visto en la fig. 4, en algunas realizaciones, la punta 100 equilibrada puede estar configurada para rotación ultrasónica de torsión hacia atrás y hacia adelante a través de aproximadamente un arco del orden de aproximadamente 2 a 6 grados (por ejemplo un arco de 4 grados). Se han contemplado también otros arcos (por ejemplo, arco de 10 grados (por ejemplo más o menos 5 grados descentrado (véase diagrama 2 central), más o menos 20 grados descentrado, más o menos 90 grados descentrado, etc.)). En algunas realizaciones, la punta 100 equilibrada puede ser hecha vibrar ultrasónicamente de torsión a una frecuencia de aproximadamente entre 10-60 kHz (por ejemplo, 31 kHz). También se han contemplado otros arcos y frecuencias. Por ejemplo, puede utilizarse un arco de más o menos 20 grados y/o una frecuencia de 42 kHz. El arco mostrado en la fig. 4 está exagerado para mostrar el movimiento (es decir el arco total mostrado es de 180 grados, mientras que la punta 100 equilibrada puede tener un arco de 4 grados). En algunas realizaciones, el movimiento de la punta en la fig. 4 puede también incluir un componente longitudinal (por ejemplo hacia arriba y hacia abajo a lo largo de un eje paralelo al vástago).

Como se ha visto en la fig. 5, cuando se utiliza para realizar facoemulsión, las extremidades de la punta 100 equilibrada y un manguito 226 de irrigación pueden ser insertados en una pequeña incisión 511 en la córnea 501, esclerótica 507, u otra ubicación en el tejido ocular para obtener acceso, por ejemplo, a la cámara anterior 503 del ojo 509. En distintas realizaciones, una parte o la totalidad de la punta 100 equilibrada puede estar dentro del manguito 226 de irrigación. Una porción 513 de la punta 100 a lo largo de la incisión 511 puede estar en contacto térmico con la incisión 511 (y/u otras partes del ojo) a través del manguito 226 de irrigación durante el procedimiento de facoemulsión. En algunas realizaciones, la porción 513 a lo largo de la incisión 511 puede estar en contacto directo con la incisión 511 (por ejemplo en ausencia del manguito 226). La punta 100 equilibrada puede ser hecha vibrar ultrasónicamente de torsión a lo largo de su eje longitudinal dentro del manguito 226 de irrigación por un cuerno ultrasónico 216 accionado por cristal, emulsionando por ello al hacer contacto con el tejido seleccionado in situ. El orificio hueco de la punta 100 equilibrada puede comunicar con el orificio del cuerno que a su vez puede comunicar con la tubería de aspiración desde la pieza manual 204 a la consola 214 (por ejemplo véase la fig. 2). Una fuente de presión reducida o de vacío en la consola 214 puede extraer o aspirar el tejido emulsionado desde el ojo 509 a través de una extremidad abierta de la punta 100 equilibrada, el orificio de la punta 100 equilibrada, el orificio del cuerno, y la tubería 208 de aspiración y a un dispositivo de recogida. La aspiración de tejido emulsionado puede ser ayudada por una solución de lavado salino o irrigadora que puede ser inyectada en la zona quirúrgica a través del pequeño espacio anular entre la superficie interior del manguito 226 de irrigación y una superficie exterior de la punta 100 equilibrada.

Como se ha visto en la fig. 6, las vibraciones ultrasónicas de torsión de la punta 100 equilibrada pueden dar como resultado al menos dos movimientos: 1) desplazamiento lateral, de la punta 100 equilibrada desde su posición de equilibrio, perpendicular a un eje 116 que es colineal con una porción de vástago recta (el eje 116 puede ser indicado como el "eje z") y perpendicular a un eje de una curva de la punta (indicado como eje y en la fig. 1) (formando el eje y, y el eje z un plano que incluye la curva); 2) ángulo de torsión a lo largo del eje z de la punta 100 equilibrada. Una punta desequilibrada puede tener un curvado significativo a lo largo de la longitud de la punta (especialmente en el vástago) bajo la acción de la vibración de torsión. Equilibrando la punta como se ha descrito en este documento, el desplazamiento lateral a lo largo del vástago de la punta 100 puede ser reducido mientras el desplazamiento lateral en el punto 106 de extremidad distal de la punta 100 puede ser incrementado. Las vibraciones de torsión pueden estar presentes en la punta 100 (por ejemplo haciendo girar hacia atrás y hacia adelante a lo largo de un ángulo de torsión con relación al eje z) lo que puede conducir a un desplazamiento lateral relativamente grande del punto 106 de extremidad distal además de o en ausencia del desplazamiento lateral del vástago 108.

En algunas realizaciones, equilibrar la punta 100 puede incluir ajustar la geometría de la punta y ensayar físicamente una punta con la geometría de punta ajustada o utilizar ecuaciones de modelado o Análisis de Elementos Finitos (FEA) para modelar vibraciones de punta para encontrar una geometría de punta que dé como resultado un desplazamiento lateral reducido a lo largo del vástago 108 con un desplazamiento lateral y torsión incrementados en el punto 106 de extremidad distal (por ejemplo, utilizando un software tal como ANSYS). Las características de la geometría de la punta pueden

incluir, por ejemplo, números de curvas (por ejemplo, curvas 102, 104), ubicación de las curvas, longitud del vástago, diámetro del vástago 108, longitud de la porción cónica 110, y diámetro de la porción cónica. También pueden modificarse otras geometrías de punta. En algunas realizaciones, pueden ensayarse diferentes geometrías de punta, por ejemplo, creando físicamente puntas con distintas geometrías de punta, haciendo vibrar las puntas (por ejemplo utilizando frecuencias y modos que son utilizados durante la facoemulsión) y vigilar el desplazamiento lateral y/o el calor generado por las distintas geometrías de punta. Una o más iteraciones de ensayar diferentes geometrías de punta (por ejemplo fijando la ubicación de una curva en la punta y ensayar diferentes puntas con diferentes ubicaciones y curvatura de segunda curva) pueden dar como resultado la identificación de una o más geometrías de punta optimizadas. Son también posibles otros números de curvas y modificaciones geométricas (por ejemplo, modificar la ubicación de ambas curvas mientras se mantiene constante la curvatura de ambas curvas, modificar la ubicación y curvatura de las curvas, modificar el número de curvas, modificar la longitud del vástago, modificar la longitud de la porción cónica, modificar el radio del vástago, modificar los radios de la porción cónica, etc.).

En algunas realizaciones, pueden utilizarse ecuaciones de modelado (en lugar de o además de un FEA y/o ensayo físico) para ensayar diferentes geometrías de punta. Por ejemplo, las ecuaciones que describen cómo varían el ángulo de torsión (ϕ) y el desplazamiento lateral (u_x) a lo largo del eje z mientras se hace vibrar ultrasónicamente de torsión una punta recta (predominantemente cilíndrica) (por ejemplo basándose en la teoría general de la elasticidad) pueden ser representadas como sigue (véanse también las figs. 7a-b):

$$\ddot{\phi} = \frac{1}{\rho I(z)} \frac{\partial}{\partial z} \left(C(z) \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) \text{ donde } \ddot{\phi} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2}; I(z) = \frac{\pi}{2} (R_2^4(z) - R_1^4(z)); C(z) = I(z) * \mu$$

$$\ddot{u}_x = \frac{1}{\rho S(z)} \frac{d^2}{dz^2} \left(E I_y(z) \frac{d^2 u_x}{dz^2} \right) \text{ donde } \ddot{u}_x = \frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2}; I_y(z) = \frac{\pi}{4} (R_2^4(z) - R_1^4(z)); y$$

$$S(z) = \pi (R_2^2(z) - R_1^2(z))$$

Donde ϕ es el ángulo de torsión de la punta, ρ es la densidad del material de la punta; $I(z)$ es el momento de inercia de la sección transversal de la punta cilíndrica alrededor del eje z, $R_1(z)$ es el radio interior de una sección interior hueca del cuerpo cilíndrico de la punta (si el cuerpo cilíndrico es macizo, $R_1(z)$ puede ser 0 a lo largo del eje z completo); $R_2(z)$ es el radio exterior de un cuerpo cilíndrico de punta; t es el tiempo, u_x es el desplazamiento lateral a lo largo del eje x; $S(z)$ es el área en sección transversal de la punta cilíndrica a lo largo del eje z, E es el módulo de Young del material de la punta, $I_y(z)$ es el momento de inercia de la sección transversal de una punta cilíndrica alrededor del eje y, y μ es el módulo de torsión del material de la punta. Características tales como ρ pueden ser la misma para toda la punta mientras que características tales como $R_1(z)$ y $R_2(z)$ pueden variar a lo largo del eje z (y así pueden ser representadas, por ejemplo, como una agrupación de valores). Las ecuaciones que describen cómo el ángulo de torsión (ϕ) y el desplazamiento lateral (u_x) varían a lo largo del eje z mientras se hace vibrar ultrasónicamente de torsión una punta curvada (predominantemente cilíndrica) (por ejemplo, una punta con curvas 102/104) pueden ser representadas como sigue (véanse también las figs. 7a-b).

$$\ddot{\phi} = \frac{1}{\rho I(z)} \frac{\partial}{\partial z} \left(C(z) \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) - \frac{d^2 I(z)}{dz^2} \left(E I_y(z) \left(\frac{d^2 u_x}{dz^2} - \phi \frac{d^2 I(z)}{dz^2} \right) \right) \text{ donde } \ddot{\phi} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2};$$

$$I(z) = \frac{\pi}{2} (R_2^4(z) - R_1^4(z)); C(z) = I(z) * \mu$$

$$\ddot{u}_x = \frac{1}{\rho S(z)} \frac{d^2}{dz^2} \left(E I_y(z) \left(\frac{d^2 u_x}{dz^2} - \phi \frac{d^2 I(z)}{dz^2} \right) \right) \text{ donde } \ddot{u}_x = \frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2};$$

$$I_y(z) = \frac{\pi}{4} (R_2^4(z) - R_1^4(z)); y S(z) = \pi (R_2^2(z) - R_1^2(z))$$

Donde ϕ es el ángulo de torsión de la punta, ρ es la densidad del material de la punta; $I(z)$ es el momento de inercia de la sección transversal de la punta cilíndrica alrededor del eje z, $R_1(z)$ es el radio interior de una sección interior hueca del cuerpo cilíndrico de la punta (si el cuerpo cilíndrico es macizo, $R_1(z)$ puede ser 0); $R_2(z)$ es el radio exterior de un cuerpo cilíndrico; t es el tiempo, u_x es el desplazamiento lateral a lo largo del eje x; $S(z)$ es el área en sección transversal de la punta cilíndrica a lo largo del eje z, E es el módulo de Young del material de la punta, $I_y(z)$ es el momento de inercia de la sección transversal de una punta cilíndrica alrededor del eje y, μ es el módulo de torsión del material de la punta, y $I(z)$ es

el desplazamiento lateral a lo largo del eje y según se ha visto en la fig. 7c. En algunas realizaciones, uno o más de las entradas y/o ecuaciones pueden ser modificadas para tener en cuenta la presencia de un medio en el que la punta está vibrando (por ejemplo, agua, humor vítreo, etc). Por ejemplo, la ecuación para el desplazamiento lateral de la punta puede ser modificada como sigue:

$$\ddot{u}_x - \gamma \dot{u}_x = \frac{1}{\rho S(z) + \rho_{\text{Medio}} S_{\text{Medio}}(z)} \frac{d^2}{dz^2} \left(EI_y(z) \left(\frac{d^2 u_x}{dz^2} - \phi \frac{d^2 l(z)}{dz^2} \right) \right)$$

Donde γ es un parámetro empírico que representa la disipación debida al medio (tal como agua). El valor de γ puede ser ajustado para alinear la ecuación con los desplazamientos medidos de puntas existentes en el medio. El término $\rho_{\text{Medio}} S_{\text{Medio}}(z)$ en el denominador representa el incremento de masa de la punta debido al medio que está siguiendo el movimiento de la punta. El término ρ_{Medio} es la densidad del medio y $S_{\text{Medio}}(z)$ es la sección transversal del medio que se mueve junto con la punta, que puede ser evaluada utilizando la teoría de fluido ideal como:

$S_{\text{Medio}}(z) = \pi (R_1^2(z) + R_2^2(z))$ (donde R_1 es el diámetro interior de la masa de medio y R_2 es el diámetro exterior de la masa de medio que sigue a la punta). También se han contemplado otras modificaciones.

En algunas realizaciones, junto con las distintas características de punta (por ejemplo, ρ , E , etc) características geométricas (por ejemplo, $S(z)$, $l(z)$, $C(z)$, $I_y(z)$, etc) pueden ser introducidas por un usuario o calculadas mediante un software de modelado 0 (por ejemplo, Matlab™) basándose en otras entradas proporcionadas por el usuario (por ejemplo, el usuario puede proporcionar un radio interior (si la punta está hueca en el centro), un radio exterior de la punta a lo largo del eje z , una ubicación (por ejemplo puntos de comienzo y final (a lo largo del eje z) y curvatura de una o más curvas, etc.). El usuario puede también dibujar la forma de la punta utilizando una interfaz de usuario gráfica (por ejemplo, véanse gráficos de entrada en las figuras 8a-b), el usuario puede cargar previamente una geometría de punta (por ejemplo una representación tridimensional), etc. En algunas realizaciones, el radio exterior puede ser grande a valores de z pequeños (por ejemplo en la porción cónica de la junta) y relativamente pequeño en el extremo de la punta. También se han considerado otras entradas.

En algunas realizaciones, las soluciones para ϕ y u_x a partir de las ecuaciones anteriores pueden ser utilizadas para examinar el desplazamiento lateral y los ángulos de torsión a lo largo del eje z para diferentes geometrías de punta y puede seleccionarse una geometría de punta equilibrada/sintonizada a partir de varias geometrías de punta que maximiza el desplazamiento lateral u_x y el ángulo de torsión ϕ del punto 106 de extremidad distal al tiempo que minimiza el desplazamiento lateral u_x a lo largo de la longitud de punta (por ejemplo, a lo largo del vástago 108). En algunas realizaciones, resolver para ϕ y u_x puede incluir utilizar análisis armónico. Una solución de las ecuaciones para ϕ y u_x puede proporcionar el ángulo de torsión y/o los desplazamientos laterales como funciones tanto de z como de t (por ejemplo, $u(z,t)$ y $\phi(z,t)$). Estas soluciones pueden a continuación ser utilizadas para modelar la punta de acuerdo con una fuerza armónica. Modelar de acuerdo con una fuerza armónica pueden incluir modelar la punta como si la punta oscila a alguna frecuencia ω como $\cos(\omega t)$. Los armónicos pueden así ser utilizados para simplificar las ecuaciones de modelado para $u(z,t)$ y $\phi(z,t)$ de acuerdo con las ecuaciones para $\ddot{\phi}$ y $\ddot{u}_x$ proporcionados anteriormente. En algunas realizaciones, la solución puede ser modelada de acuerdo con $u(z)\cos(\omega t)$ (por ejemplo la amplitud vibratoria puede ser modelada para depender sólo de z). La fórmula $u(z)\cos(\omega t)$ puede ser utilizada en las ecuaciones de movimiento ($\ddot{\phi}$ y $\ddot{u}_x$) para proporcionar una ecuación diferencial para la amplitud de vibraciones $u(z)$ que es independiente del tiempo. Las soluciones para la amplitud de desplazamiento y amplitud de torsión de la punta pueden a continuación ser trazadas (por ejemplo véanse las salidas en las figs. 8a-b). En algunas realizaciones, no puede utilizarse el análisis armónico (por ejemplo, distintas soluciones dependen del tiempo y z puede ser determinado y analizado).

Las figs. 8a-b ilustran formas de punta de entrada y el desplazamiento y ángulos de torsión correspondientes a lo largo de la longitud de la punta de acuerdo con las ecuaciones de modelado proporcionadas anteriormente. En algunas realizaciones, la posición y la curvatura de la primera curva 102 pueden ser seleccionadas basándose en distintos factores tales como consideraciones ergonómicas y de fabricación. La segunda curva 104 puede estar posicionada más cerca del punto 106 de extremidad distal de la punta 100 equilibrada. La curvatura de esta curva puede ser entonces elegida utilizando la predicción de las ecuaciones de modelado proporcionadas anteriormente. La forma resultante de la punta puede entonces ser verificada y/o ajustada realizando simulaciones de análisis de elementos finitos. La curvatura ideal puede ser tal que el modo vibratorio de torsión y el modo vibratorio por curvado de la punta 100 equilibrada estén desacoplados. El movimiento de la punta 100 equilibrada bajo la fuerza de torsión puede ser el mismo que su modo de vibratorio de torsión. En algunas realizaciones, las curvas de la punta (por ejemplo 102/104) pueden estar posicionadas de tal modo que la energía de la vibración ultrasónica de torsión en la punta 100 equilibrada puede estar en un modo vibratorio de torsión a lo largo de una porción sustancial del vástago 108 (con movimiento lateral reducido). En algunas realizaciones, la longitud del vástago 108 puede también ser ajustada para sintonizar el modo vibratorio de torsión de tal manera que la vibración de torsión esté en resonancia con el mecanismo de accionamiento ultrasónico (por ejemplo elementos piezoeléctricos 227 en la pieza de mano combinada con un cuerno) para aumentar el desplazamiento de torsión en el punto 106 de la extremidad distal.

En algunas realizaciones, la amplitud del desplazamiento lateral del punto de extremidad distal de la punta 100

equilibrada puede depender de la resonancia entre la fuerza de accionamiento a torsión y el modo vibratorio de torsión. Aunque la frecuencia de accionamiento puede ser establecida por el diseño del cuerno de torsión, la frecuencia del modo de torsión puede ser ajustada seleccionando, por ejemplo, una longitud de la parte cónica 110 de la punta 100 equilibrada. La longitud de la parte cónica 110 puede ser elegida para maximizar las vibraciones de torsión de la punta 100 equilibrada dando así como resultado el máximo desplazamiento a torsión del punto 106 de extremidad distal. Pueden también variarse otras características de la punta.

En algunas realizaciones, la punta 100 equilibrada puede tener un diámetro del orden de aproximadamente 0,5 mm a 2 mm (por ejemplo, 1,5 mm). En algunas realizaciones, la punta 100 equilibrada puede tener un diámetro en una parte superior de la punta de aproximadamente 1,5 mm y un diámetro cerca de una extremidad distal de la punta de 0,9 mm (también se ha contemplado otros diámetros y configuraciones). En una realización, la punta 100 equilibrada puede tener una longitud de aproximadamente 1 y 3/8 pulgadas (34,93 mm) y las curvas 102, 104 pueden estar situadas a lo largo de la extremidad distal aproximadamente a 1/8 y 2/8 pulgadas (3,175 mm y 6,35 mm). También se han considerado otras dimensiones. En algunas realizaciones la primera curva 102 puede ser aproximadamente del orden de -10 a -30 grados mientras la segunda curva 104 puede ser aproximadamente del orden de 20 a 50 grados. También se ha contemplado otros ángulos de curva. La porción 112 de borde cortante puede tener una extremidad ensanchada, estrechada y/o biselada (en algunas realizaciones, la porción 112 del borde cortante puede ser plana). La punta 100 equilibrada puede estar hecha de acero inoxidable o titanio (también pueden ser utilizados otros materiales). La punta 100 equilibrada puede tener una longitud total de entre 0.50 pulgadas (12,7 mm) y 1,50 pulgadas (38,1 mm) (por ejemplo 1,20 pulgadas (30,48 mm)). También se han considerado otras longitudes. La punta 100 equilibrada puede ser formada utilizando tecnología convencional de trabajo con metales y puede ser electropulida. El vástago 108 puede ser generalmente tubular, con un diámetro exterior de entre 0,005 pulgadas (0,127 mm) y 0,100 pulgadas (2,54 mm) y un diámetro interior de entre 0,001 pulgadas (0,0254 mm) y 0,090 pulgadas (2,286 mm) (también se han contemplado otros diámetros).

La fig. 9 ilustra un diagrama de flujo del método para determinar una geometría de punta, de acuerdo con una realización. Los elementos proporcionados en el diagrama de flujo son solamente ilustrativos. Pueden omitirse distintos elementos proporcionados, pueden añadirse elementos adicionales, y/o distintos elementos pueden ser realizados en un orden diferente que el proporcionado a continuación.

En 901, una geometría de punta puede ser introducida en el sistema. Por ejemplo, entradas de geometría pueden ser almacenadas en un archivo de entrada. En algunas realizaciones, la geometría de punta pueden incluir uno o más de los siguientes definidos como valores de la geometría en rebanadas de la punta (por ejemplo la punta puede estar dividida en 500 rebanadas y las características geométricas de la punta en cada rebanada pueden ser almacenadas en una agrupación separadas asignada a una variable geométrica respectiva). Por ejemplo, características geométricas para las rebanadas de punta pueden incluir curvatura (por ejemplo, en grados), rigidez a torsión (por ejemplo, $C(z)$), momento de inercia alrededor del eje x (por ejemplo, $I(z)$), área en sección transversal (por ejemplo $S(z)$), momento de inercia de la rebanada alrededor del eje y que controla la rigidez de curvatura de la punta (por ejemplo, $I_y(z)$), distancia de la punta desde el eje z (por ejemplo, $l(z)$). También se han contemplado otras entradas.

En algunas realizaciones, estas agrupaciones basadas en rebanadas pueden ser introducidas directamente por un usuario o pueden ser calculadas basándose en otras entradas geométricas. Por ejemplo, el usuario puede proporcionar una longitud de la punta, la longitud de la porción cónica, la ubicación a lo largo de la punta en donde comienza la primera curva, la ubicación a lo largo de la punta en donde termina la primera curva, la curvatura de la primera curva, la ubicación a lo largo de la punta donde comienza la segunda curva, la ubicación a lo largo de la punta donde termina la segunda curva, la curvatura de la segunda curva, el módulo de cizalladura del material de punta, el módulo de Young para el material de la punta, la densidad del material de la punta, etc., y las entradas específicas para las diferentes rebanadas pueden ser calculadas y almacenadas en un archivo de entrada o proporcionadas al software de modelado. En algunas realizaciones, el sistema informático puede generar las entradas automáticamente. Por ejemplo, el sistema informático puede formar ciclos a través de distintas iteraciones de posibles geometrías de punta. En algunas realizaciones, el usuario puede dibujar una punta (por ejemplo a través de una interfaz gráfica de usuario) y el sistema informático puede calcular la geometría basada en el dibujo. También se han contemplado otros tipos de entrada.

En 903, el sistema puede utilizar ecuaciones de modelado y análisis armónico para determinar un desplazamiento lateral y un ángulo de torsión a lo largo de la longitud de la punta para la geometría de punta y la frecuencia de vibración ultrasónica de torsión dadas (por ejemplo, aproximadamente 31 kHz). También se han contemplado otras frecuencias. Por ejemplo, las ecuaciones

$$\ddot{u}_x = \frac{1}{\rho S(z)} \frac{d^2}{dz^2} \left(E I_y(z) \left(\frac{d^2 u_x}{dz^2} - \phi \frac{d^2 l(z)}{dz^2} \right) \right) y$$

$$\ddot{\phi} = \frac{1}{\rho I(z)} \frac{\partial}{\partial z} \left(C(z) \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) - \frac{d^2 l(z)}{dz^2} \left(E I_y(z) \left(\frac{d^2 u_x}{dz^2} - \phi \frac{d^2 l(z)}{dz^2} \right) \right) \text{ pueden ser resueltas para } u_x \text{ y } \phi \text{ utilizando}$$

entradas (como se ha definido anteriormente) y análisis armónico (por ejemplo, utilizando armónicos con $u(z)\cos(\omega t)$, $\phi(z)\cos(\omega t)$) para simplificar los resultados eliminando el tiempo. De acuerdo con el análisis armónico, en algunas realizaciones, puede suponerse que:

$$u_x(z, t) = u(z)\cos(\omega t), \quad y \quad \phi(z, t) = \phi(z)\cos(\omega t)$$

- 5 Tomando una derivada en el tiempo:

$$\cos(\omega t)'' = -\omega^2 \cos(\omega t)$$

y sustituyéndola en las ecuaciones originales y cancelando el coseno de tiempo, se pueden obtener ecuaciones independientes del tiempo:

$$-\omega^2 u(z) = \frac{1}{\rho S(z)} \frac{d^2}{dz^2} \left(E I_y(z) \left(\frac{d^2 u(z)}{dz^2} - \phi(z) \frac{d^2 l(z)}{dz^2} \right) \right) \quad y$$

$$-\omega^2 \phi(z) = \frac{1}{\rho I(z)} \frac{\partial}{\partial z} \left(C(z) \frac{\partial \phi(z)}{\partial z} \right) - \frac{d^2 l(z)}{dz^2} \left(E I_y(z) \left(\frac{d^2 u(z)}{dz^2} - \phi(z) \frac{d^2 l(z)}{dz^2} \right) \right)$$

- 10 Las ecuaciones anteriores pueden entonces ser resueltas para las amplitudes de desplazamiento $u(z)$ y el ángulo de torsión $\phi(z)$. También pueden ser utilizadas otras ecuaciones para resolver u_x .

En 905, el sistema puede trazar uno o más del desplazamiento lateral y/o ángulo de torsión para la geometría de punta (por ejemplo, véanse las figs. 8a-8b).

- 15 En 907, el usuario (o sistema) puede proporcionar una segunda geometría de punta (o modificar la primera geometría de punta) y volver a calcular el desplazamiento lateral (u_x) y el ángulo de torsión (ϕ) a lo largo de la longitud de la punta. Otras técnicas de modelado pueden también ser utilizadas. Por ejemplo, el análisis de elementos finitos (FEA) puede ser utilizado para determinar el desplazamiento lateral (u_x) y/o el ángulo de torsión (ϕ) a lo largo de la longitud de puntas de distintas geometrías sometidas a distintas vibraciones. Además, pueden también ser utilizadas otras ecuaciones (por ejemplo, pueden ser utilizadas ecuaciones diferentes para el modelado de la punta cuadrada).

- 20 En 909, pueden ser calculadas características de varias puntas con geometrías diferentes de acuerdo con 901-907 y comparadas para la selección de una de las geometrías de punta (o generación de una nueva geometría de punta a analizar). Seleccionar una de las geometrías de punta puede incluir seleccionar una geometría de punta basada en qué geometría de punta tiene un menor desplazamiento lateral a lo largo de una porción del vástago de punta configurado para estar a lo largo de una incisión en un ojo durante un procedimiento de facoemulsión. En algunas realizaciones, si el
- 25 desplazamiento lateral (de las geometrías de punta analizadas) a lo largo de una porción del vástago de punta configurado para estar a lo largo de una incisión en un ojo durante un procedimiento de facoemulsión (por ejemplo a lo largo de toda una porción del vástago que se extiende desde la extremidad proximal del vástago (tal como la extremidad de la porción cónica) a la primera curva de la porción de borde cortante) es mayor que aproximadamente un 5% a 25% (por ejemplo, 15%) del desplazamiento lateral del punto 106 de extremidad distal, (otros umbrales (por ejemplo, 1 micrón, 2 micrones, 100 micrones, 2 mm, etc.) pueden también ser utilizados), puede generarse otra geometría de punta, el
- 30 desplazamiento lateral de la nueva geometría de punta puede ser modelado y comparado al menos con uno del desplazamiento lateral de la primera y segunda geometrías de punta para selección adicional entre la primera, segunda, y nueva geometría (en cuyo punto, una de las puntas puede ser seleccionada o puede generarse otra geometría de punta con propósitos de comparación).

- 35 En algunas realizaciones, generar nuevas geometrías puede incluir modificar las geometrías previamente ensayadas para un modelado adicional. En algunas realizaciones, el usuario puede además modificar una geometría de punta seleccionada para sintonizar la geometría de acuerdo con criterios adicionales. Por ejemplo, el usuario puede modificar la longitud de la parte cónica 110 (u otras características geométricas tales como la longitud del vástago) para aumentar las vibraciones de torsión de la punta 100 equilibrada para proporcionar un mayor desplazamiento lateral del punto 106 de
- 40 extremidad distal. En algunas realizaciones, el usuario puede intentar diferentes ubicaciones y curvaturas de una o más de las curvas para reducir el desplazamiento lateral hacia la extremidad proximal de la punta al tiempo que aumenta el desplazamiento lateral hacia la extremidad distal de la punta. Las modificaciones pueden ser utilizadas para una tercera, cuarta, etc., punta y los resultados comparados con los resultados de punta previos para optimizar la selección de las características geométricas de la punta.

- 45 La fig. 10 ilustra un diagrama de flujo de otro método para determinar una geometría de punta, de acuerdo con una realización. Los elementos proporcionados en el diagrama de flujo son solamente ilustrativos. Pueden omitirse distintos elementos proporcionados, pueden añadirse elementos adicionales, y/o distintos elementos pueden ser realizados en un orden diferente al proporcionado a continuación.

En 1001, una primera punta que tiene una primera geometría puede ser construida físicamente o modelada (por ejemplo, utilizando el Análisis de Elementos Finitos). En algunas realizaciones, la primera punta puede tener una sección transversal circular, una sección transversal cuadrada, o una sección transversal que varía a lo largo de un eje de la punta.

- 5 En 1003, la primera punta puede ser hecha vibrar en condiciones similares a las de un procedimiento de facoemulsión (por ejemplo estando asegurada en una pieza manual de facoemulsión como se ha mostrado en las figs. 2-3 y hecha vibrar a una frecuencia de aproximadamente 31 kHz y/o ser "hecha vibrar" utilizando un software de modelado tal como ANSYS). También se han contemplado otras frecuencias (por ejemplo aproximadamente entre 10 kHz y 60 kHz). En algunas realizaciones, la primera punta puede ser asegurada a una pieza manual de facoemulsión para ser hecha vibrar.
- 10 En algunas realizaciones, la punta puede ser asegurada a un aparato diferente (por ejemplo un accesorio de ensayos) para aplicar las vibraciones. En algunas realizaciones, la extremidad de la primera punta puede ser colocada en agua o un material con características similares tales como el humor vítreo (también se han contemplado otros líquidos). En algunas realizaciones, la primera punta puede incluir dos curvas (por ejemplo, 102, 104). También se han contemplado otros números de curvas.
- 15 En 1005, la primera punta puede ser analizada durante las vibraciones. Por ejemplo, pueden utilizarse formación de imágenes térmicas, estroboscopia, medición física de desplazamiento para determinar el desplazamiento lateral (u_x) y/o el ángulo de torsión (ϕ) (o características indicativas del desplazamiento lateral (u_x) y/o del ángulo de torsión (ϕ)) para la punta. Por ejemplo, en un escaneado térmico de la punta vibratoria, ubicaciones de mayor calor a lo largo de la longitud de la punta pueden ser indicativas de mayores desplazamientos laterales (u_x).
- 20 En 1007, puede ser construida una segunda punta (por ejemplo, la geometría de la primera punta puede ser modificada). Pueden hacerse modificaciones a diferentes características geométricas como se han proporcionado anteriormente. Por ejemplo, la ubicación y/o curvatura de la segunda curva 104 puede ser modificada.

En 1009, la segunda punta puede ser hecha vibrar en condiciones similares a las de la primera punta.

- 25 En 1011, la segunda punta puede ser analizada durante las vibraciones para determinar características similares (tales como desplazamiento lateral y ángulo de torsión) como han sido determinadas para la primera punta.

- En 1013, características de la primera punta y de la segunda punta pueden ser comparadas y puede seleccionarse una de la primera y segunda geometrías de punta o puede generarse una nueva geometría de punta y ensayarse con propósitos de comparación. Por ejemplo, la selección de la primera geometría de punta o la segunda geometría de punta puede estar basada en qué geometría de punta tiene un menor desplazamiento lateral a lo largo de una porción del vástago de punta configurado para estar a lo largo de una incisión en un ojo durante un procedimiento de facoemulsión.
- 30 En algunas realizaciones, si el desplazamiento lateral a lo largo de una porción del vástago de punta configurado para estar a lo largo de una incisión en un ojo durante un procedimiento de facoemulsión (a lo largo de toda una porción del vástago que se extiende desde la extremidad proximal del vástago (tal como la extremidad de la porción cónica) a la primera curva de la porción de borde cortante) es mayor de aproximadamente 5% a 25% (por ejemplo 15%) (como se ha indicado anteriormente, son también posibles otros umbrales) del desplazamiento del punto 106 de extremidad distal de la punta, puede generarse y ensayarse una tercera punta. El desplazamiento lateral y/o el ángulo de torsión de la tercera geometría de punta puede ser determinado y comparado con el desplazamiento lateral y/o ángulo de torsión de la primera o segunda geometría de punta para una selección adicional entre la primera, la segunda, y la tercera geometrías de punta (en cuyo punto, una de las puntas puede ser seleccionada o puede generarse otra geometría de punta con propósitos de comparación).
- 35 40

- La fig. 11 ilustra seis posibles realizaciones de punta equilibrada (son también posibles otras realizaciones). La punta 100 equilibrada puede tener una geometría de acuerdo con uno de los conjuntos de parámetros proporcionados en la tabla de la fig. 11. La punta 100 equilibrada puede tener un diámetro exterior de OD pulgadas; el diámetro del orificio interior de ID pulgadas; una longitud total de L pulgadas desde el conector (el punto proximal de la punta 100 que está configurada para unirse al cuerno ultrasónico) al punto 106 de la extremidad distal de la punta 100. La porción cónica 110 de la punta 100 puede extenderse L_c pulgadas desde el conector. La primera curva 102 de la punta 100 puede tener un ángulo de α_1 grados y extenderse entre puntos que se encuentran a una distancia de x_1 y x_2 pulgadas desde el punto 106 de extremidad distal. La segunda curva 104 puede tener el ángulo de α_2 grados y extenderse entre puntos que se encuentran a una distancia de y_1 e y_2 pulgadas desde el punto 106 desde la extremidad distal. La porción 112 de borde cortante puede tener un borde biselado (por ejemplo, en el borde más distal de la porción de borde cortante) que está mirando hacia arriba 30 o 45 grados o mirando hacia abajo 30 grados como se ha indicado en la tabla (como ejemplo, el bisel mostrado en la fig. 1 está mirando hacia abajo).
- 45 50

- En algunas realizaciones, un sistema de modelado puede incluir uno o más procesadores. El procesador puede incluir dispositivos de tratamientos individuales, o una pluralidad de dispositivos de tratamiento. Tal dispositivo de tratamiento puede ser un microprocesador, controlador (que puede ser un micro-controlador), un procesador digital de señal, un microordenador, una unidad de tratamiento central, una agrupación de puertas programables de campo, un dispositivo lógico programable, una máquina de estado, circuitos lógicos, circuitos de control, escritos analógicos, circuitos digitales, y/o cualquier dispositivo que manipule señales (analógicas y/o digitales) basado en instrucciones operativas. La memoria
- 55

5 acoplada y/o integrada en los procesadores puede ser un único dispositivo de memoria o una pluralidad de dispositivos de memoria. Tal dispositivo de memoria puede ser una memoria sólo de lectura, una memoria de acceso aleatorio, una memoria volátil, una memoria no volátil, una memoria estática, una memoria dinámica, una memoria flash, una memoria caché, y/o cualquier dispositivo que almacene información digital. Obsérvese que cuando los procesadores implementan una o más de sus funciones a través de una máquina de estado, circuitos analógicos, circuitos digitales, y/o circuitos lógicos, la memoria que almacena las instrucciones operativas correspondientes puede estar integrada dentro, o ser externa a, los circuitos que comprenden la máquina de estado, los circuitos analógicos, los circuitos digitales, y/o los circuitos lógicos. La memoria puede almacenar, y el procesador puede ejecutar, instrucciones operativas correspondientes al menos a algunos de los elementos ilustrados y descritos en asociación con las figuras (por ejemplo fig. 9 y 10).

10 Un experto en la técnica puede hacer distintas modificaciones en las realizaciones presentadas. Otras realizaciones de la presente invención serán también evidentes para los expertos en la técnica a partir de la consideración de la presente memoria descriptiva y práctica de la presente invención descrita en este documento.

REIVINDICACIONES

1 Una punta (100) de facoemulsión, que comprende:

- al menos un vástago (108) parcialmente recto que define un eje z (116);
- una porción (112) de borde cortante en una extremidad distal del vástago, en donde la porción de borde cortante comprende al menos una primera y una segunda curvas (102, 104) y un punto (106) de extremidad distal,
- estando configurada la punta para ser hecha vibrar ultrasónicamente de torsión cuando es utilizada con una pieza manual (204) de facoemulsión que comprende un mecanismo de accionamiento ultrasónico,

por lo que la vibración ultrasónica de torsión de la punta da como resultado al menos dos movimientos, que comprenden:

- desplazamiento lateral de la punta sobre un eje x perpendicular al eje z colineal con una porción de vástago recta y perpendicular a un eje y de una curva de al menos una primera y segunda curvas de la punta;
- ángulo de torsión a lo largo del eje z colineal con la porción de vástago recta de la punta;

en donde la geometría del vástago y de al menos la primera y segunda curvas está configurada para dar como resultado, durante la vibración ultrasónica de torsión de la punta (100), un desplazamiento lateral del vástago (108), perpendicular al vástago (108), de menos de aproximadamente 5 a 25% del desplazamiento lateral del punto (106) de extremidad distal de la punta (100) a lo largo de una longitud del vástago que se extiende desde una extremidad proximal del vástago a la primera curva de la porción de borde cortante,

en donde el desplazamiento lateral de la punta (u_x) es al menos parcialmente determinado utilizando la ecuación

$$\ddot{u}_x = \frac{1}{\rho S(z)} \frac{d^2}{dz^2} \left(E I_y(z) \left(\frac{d^2 u_x}{dz^2} - \phi \frac{d^2 l(z)}{dz^2} \right) \right), \text{ en donde:}$$

ϕ es el ángulo de torsión de la punta,

ρ es la densidad de un material de la punta,

$S(z)$ es el área en sección transversal de la punta a lo largo del eje z (116) colineal con el vástago (108),

E es el módulo de Young del material de la punta,

$I_y(z)$ es el momento de inercia de una sección transversal de la punta alrededor del eje y perpendicular al eje colineal con el vástago, y

$l(z)$ es el desplazamiento lateral a lo largo del eje x perpendicular al eje z colineal con el vástago,

en donde al menos la primera y la segunda curvas (102, 104) están posicionadas a lo largo aproximadamente de una distancia de 5 a 25% de una longitud de la punta (100), medida a lo largo del eje z (116) de tal forma que la energía de vibración ultrasónica de torsión en la punta (100) durante la vibración ultrasónica de torsión está en un modo vibratorio de torsión a lo largo de una porción del vástago (108) recto de la punta con movimiento lateral reducido a lo largo del vástago (108) con desplazamiento lateral incrementado y torsión en el punto (106) de extremidad distal.

2. La punta de facoemulsión según la reivindicación 1, en la que ϕ es proporcionado a través de la ecuación

$$\ddot{\phi} = \frac{1}{\rho I(z)} \frac{\partial}{\partial z} \left(C(z) \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) - \frac{d^2 l(z)}{dz^2} \left(E I_y(z) \left(\frac{d^2 u_x}{dz^2} - \phi \frac{d^2 l(z)}{dz^2} \right) \right) \text{ donde } I(z) \text{ es un momento de inercia de una}$$

sección transversal de punta cilíndrica alrededor de un eje colineal con el vástago, $C(z) = I(z) \cdot \mu$. y μ es un módulo a torsión del material de punta.

3. La punta de facoemulsión según la reivindicación 2, en donde las ecuaciones

$$\ddot{u}_x = \frac{1}{\rho S(z)} \frac{d^2}{dz^2} \left(E I_y(z) \left(\frac{d^2 u_x}{dz^2} - \phi \frac{d^2 l(z)}{dz^2} \right) \right)$$

y

$$\ddot{\phi} = \frac{1}{\rho I(z)} \frac{\partial}{\partial z} \left(C(z) \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) - \frac{d^2 l(z)}{dz^2} \left(E I_y(z) \left(\frac{d^2 u_x}{dz^2} - \phi \frac{d^2 l(z)}{dz^2} \right) \right)$$

son resueltas mediante análisis armónico.

4. La punta de facoemulsión según la reivindicación 3, en donde una extremidad proximal (114) de la punta incluye una porción cónica y en donde una longitud de la porción cónica es seleccionada para aumentar las vibraciones de torsión de la punta durante las vibraciones ultrasónicas de torsión para proporcionar un mayor desplazamiento lateral en el punto (106) de extremidad distal de la punta.
5. La punta de facoemulsión según la reivindicación 1, en donde el desplazamiento lateral de la punta en el punto (106) de extremidad distal de la punta es aproximadamente del orden de 40 a 200 micrones.
6. La punta de facoemulsión según la reivindicación 1, en donde la vibración ultrasónica de torsión comprende una frecuencia aproximadamente del orden de 10 kHz a 60 kHz.
7. La punta de facoemulsión según la reivindicación 1, que comprende además un orificio hueco a través de la punta en comunicación con una fuente de vacío.
8. La punta de facoemulsión según la reivindicación 1, en donde la vibración ultrasónica de torsión comprende vibración ultrasónica de torsión hacia atrás y hacia adelante sobre un arco de aproximadamente del orden de 2 a 6 grados.
9. La punta de facoemulsión según la reivindicación 1, en donde la porción de borde cortante está biselada.

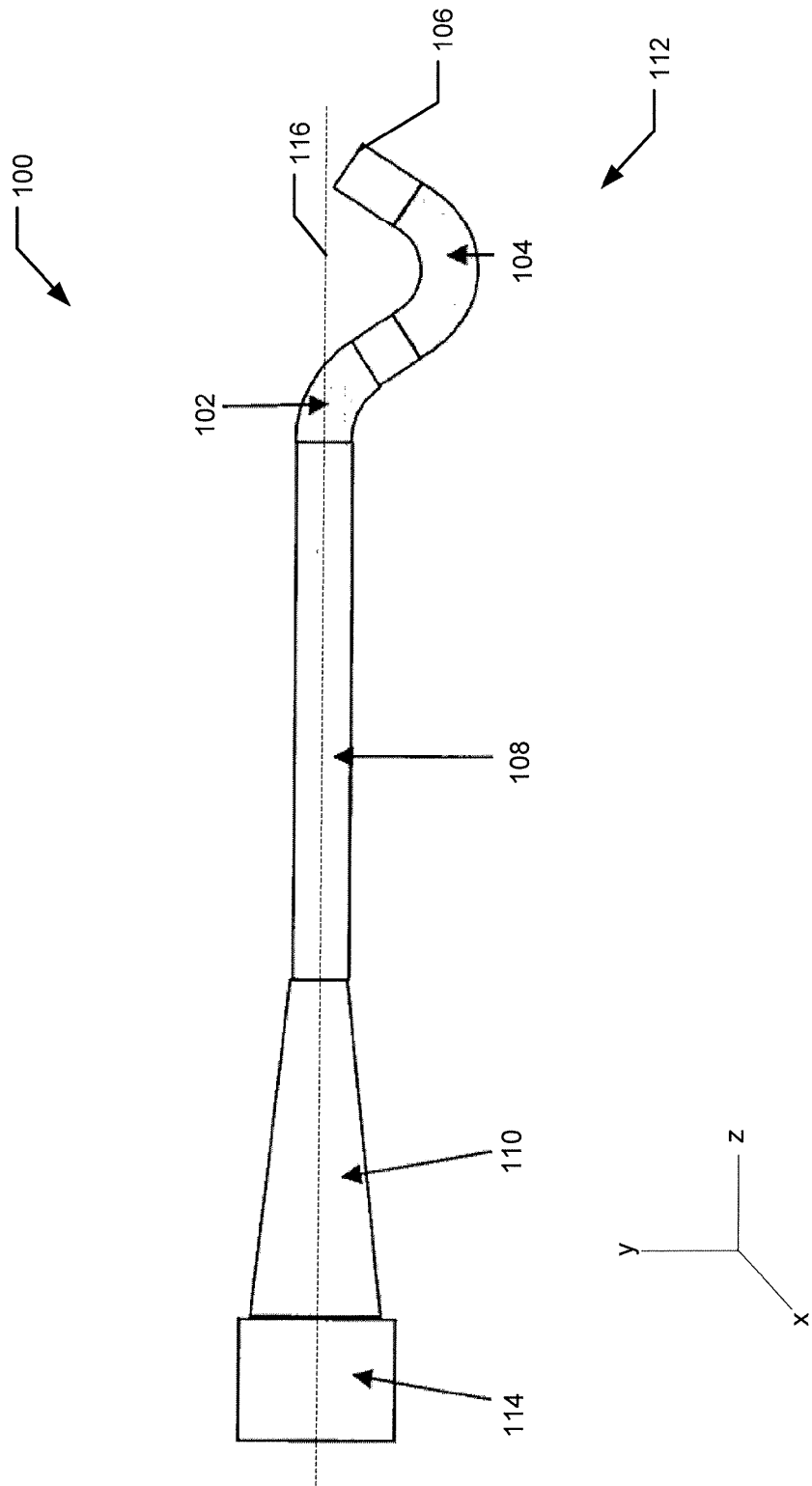
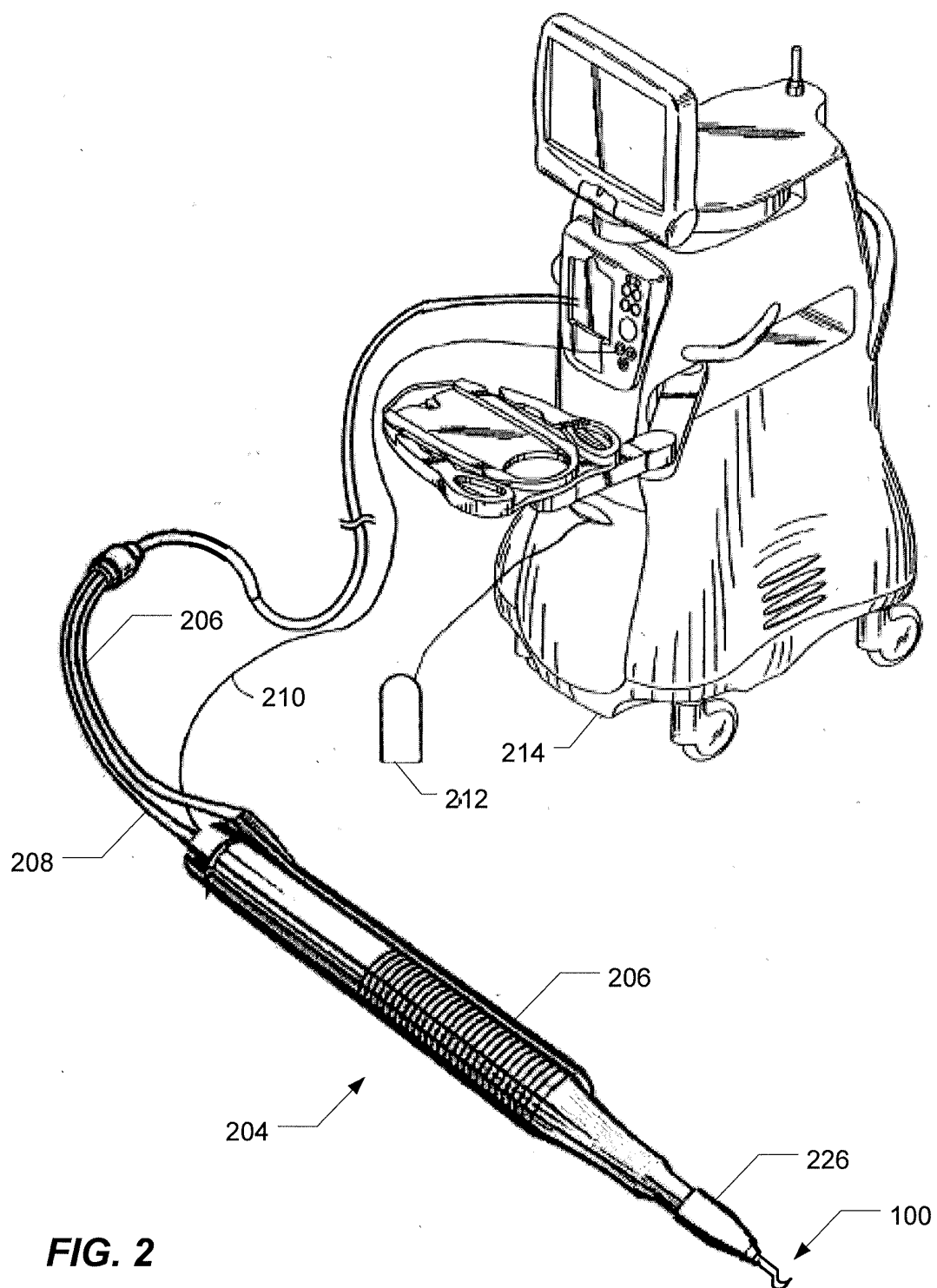


FIG. 1



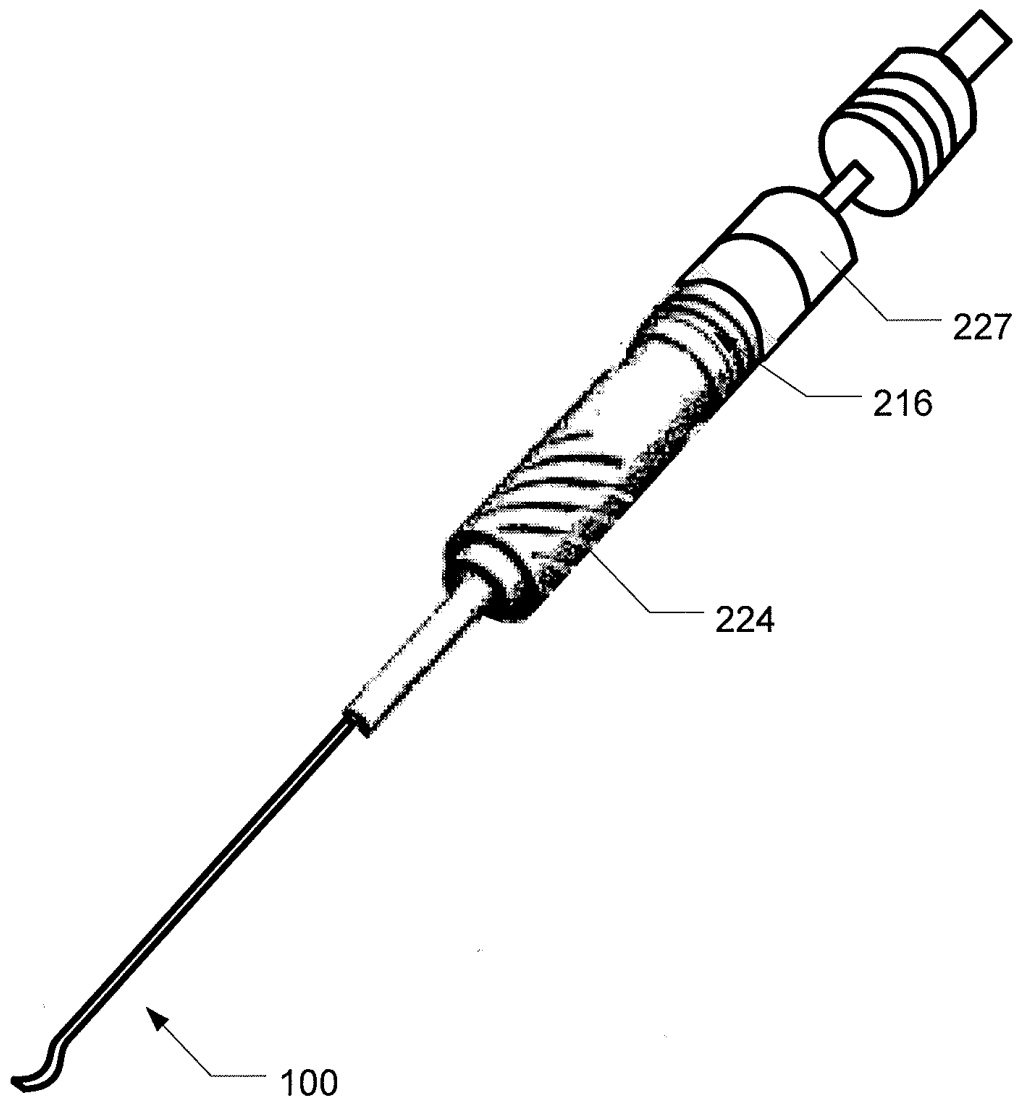


FIG. 3

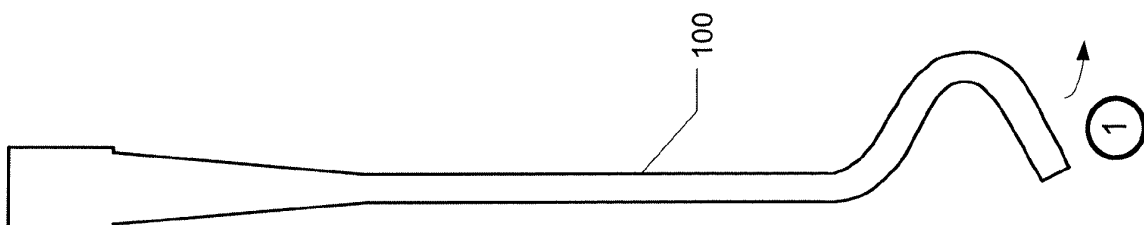
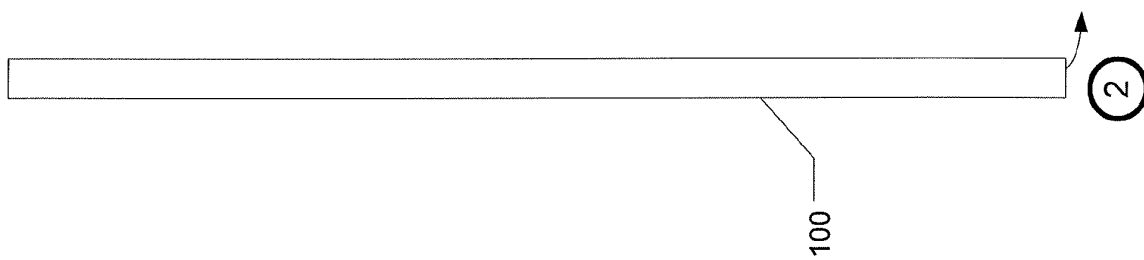
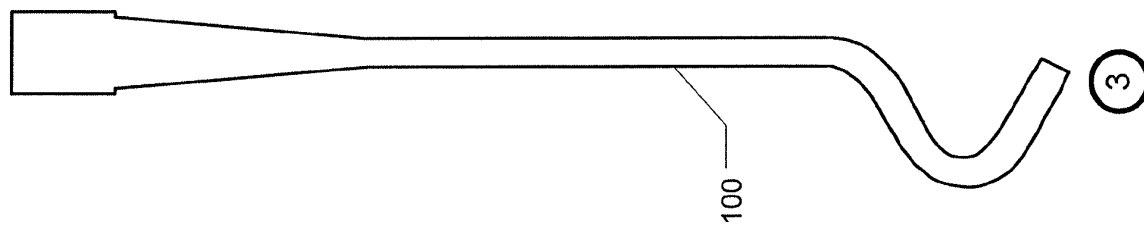


FIG. 4

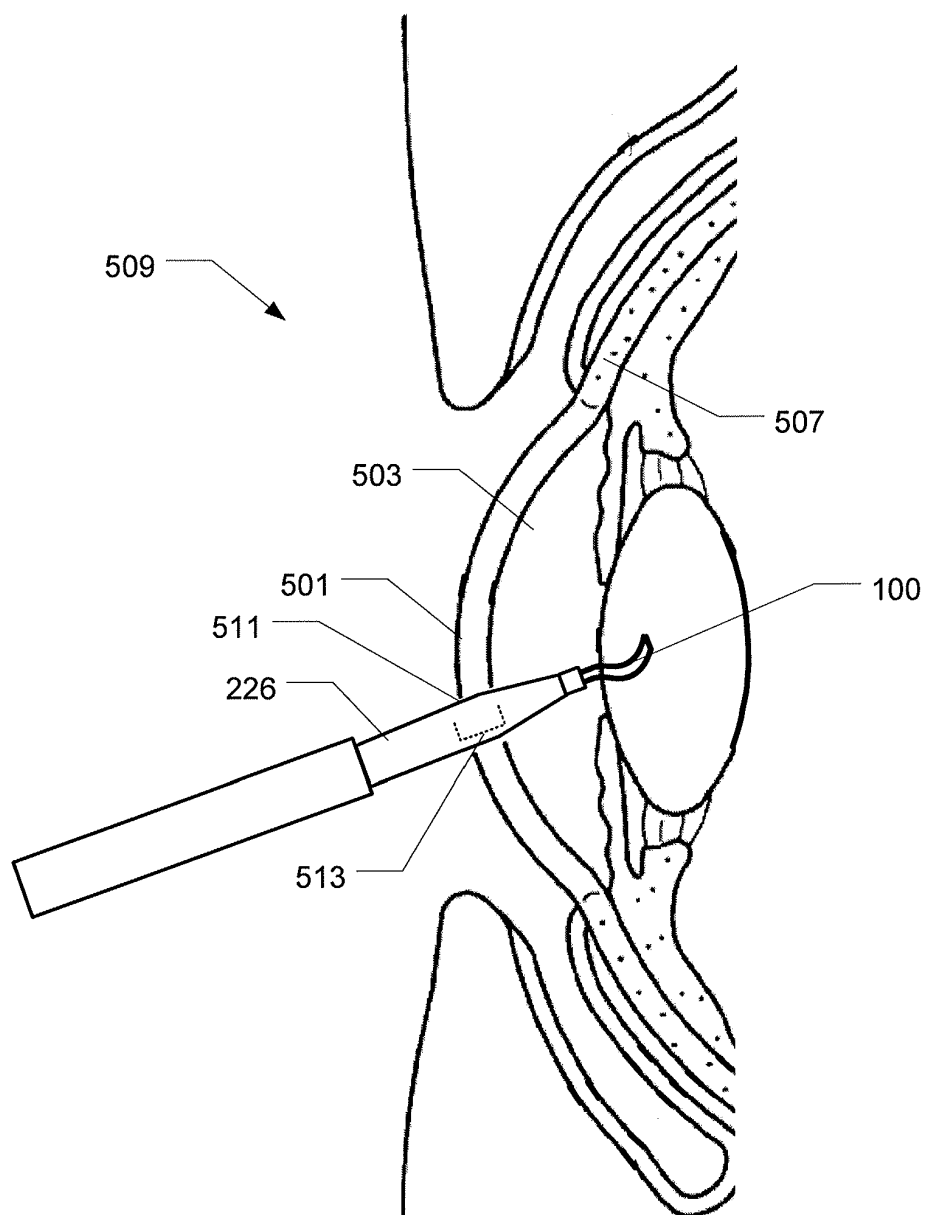


FIG. 5

Modo de Torsión de la Punta Equilibrada

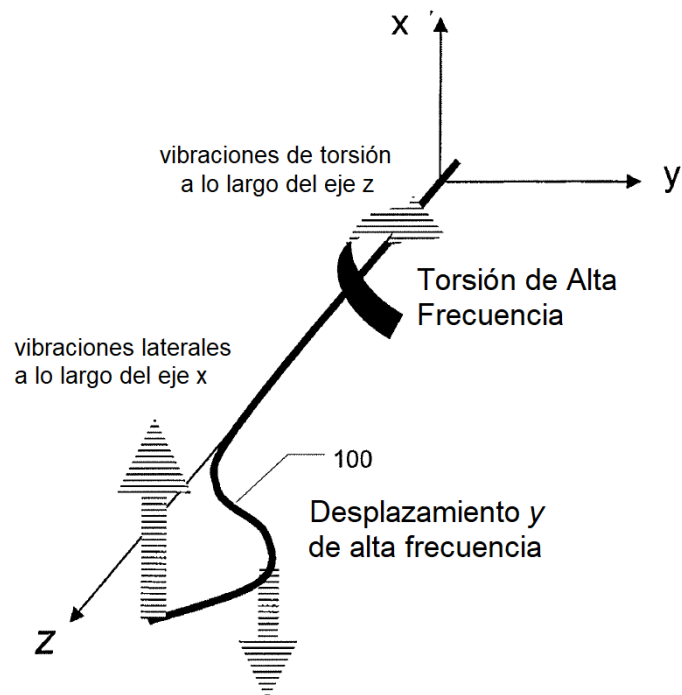
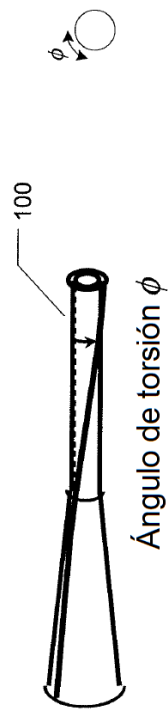


FIG. 6



Punta recta

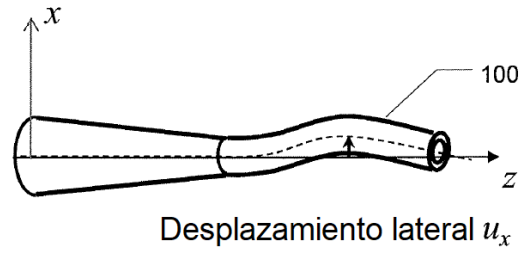
$$\ddot{\phi} = \frac{1}{\rho I(z)} \frac{\partial}{\partial z} \left(C(z) \frac{\partial \phi}{\partial z} \right)$$

Punta curvada

$$\ddot{\phi} = \frac{1}{\rho I(z)} \frac{\partial}{\partial z} \left(C(z) \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) - \frac{d^2 l(z)}{dz^2} \left(E I_y(z) \left(\frac{d^2 u_x}{dz^2} - \phi \frac{d^2 l(z)}{dz^2} \right) \right)$$

$$\ddot{\phi} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \quad I(z) = \frac{\pi}{2} (R_2^4(z) - R_1^4(z)) \quad C(z) = I(z) * \mu$$

FIG. 7a



Punta recta

$$\ddot{u}_x = \frac{1}{\rho S(z)} \frac{d^2}{dz^2} \left(E I_y(z) \frac{d^2 u_x}{dz^2} \right).$$

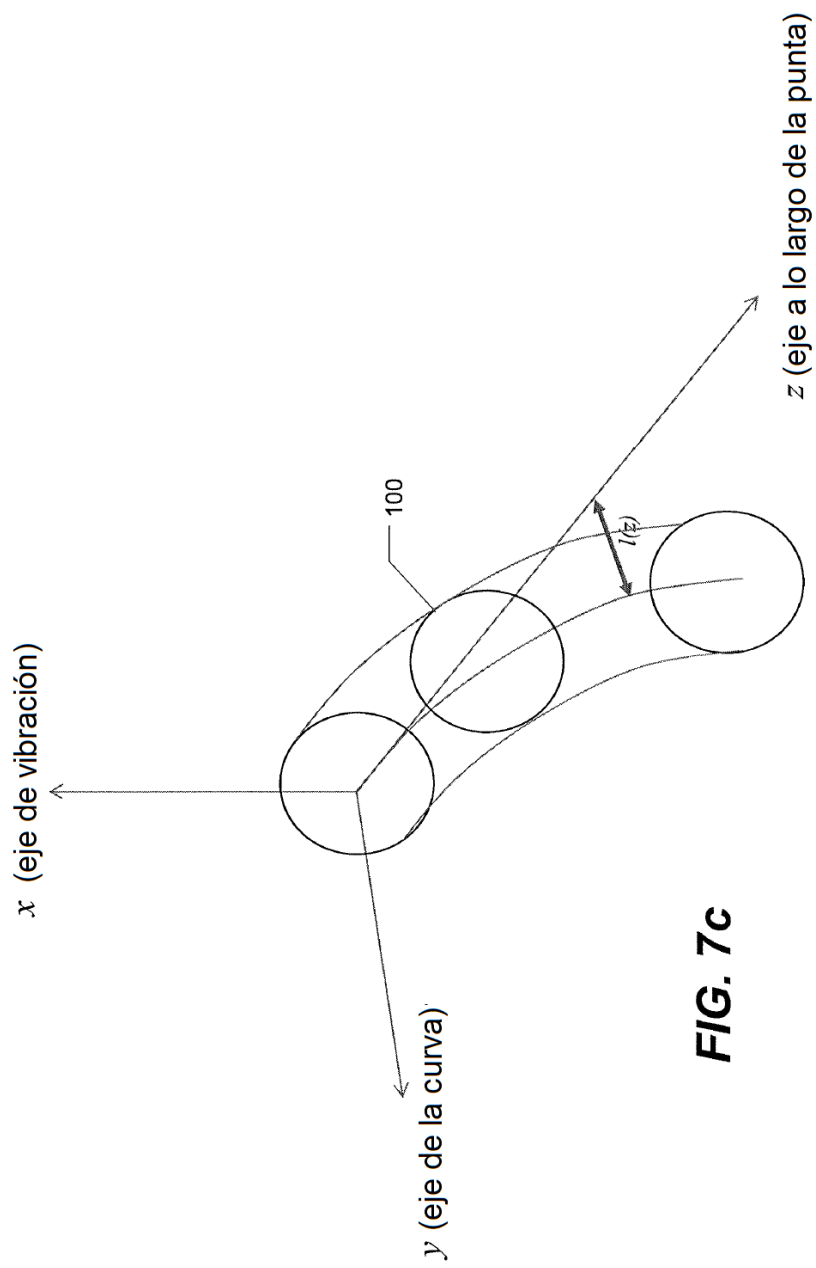
Punta curvada

$$\ddot{u}_x = \frac{1}{\rho S(z)} \frac{d^2}{dz^2} \left(E I_y(z) \left(\frac{d^2 u_x}{dz^2} - \phi \frac{d^2 l(z)}{dz^2} \right) \right)$$

$$\ddot{u}_x = \frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2} \quad I_y(z) = \frac{\pi}{4} (R_2^4(z) - R_1^4(z))$$

$$S(z) = \pi (R_2^2(z) - R_1^2(z))$$

FIG. 7b



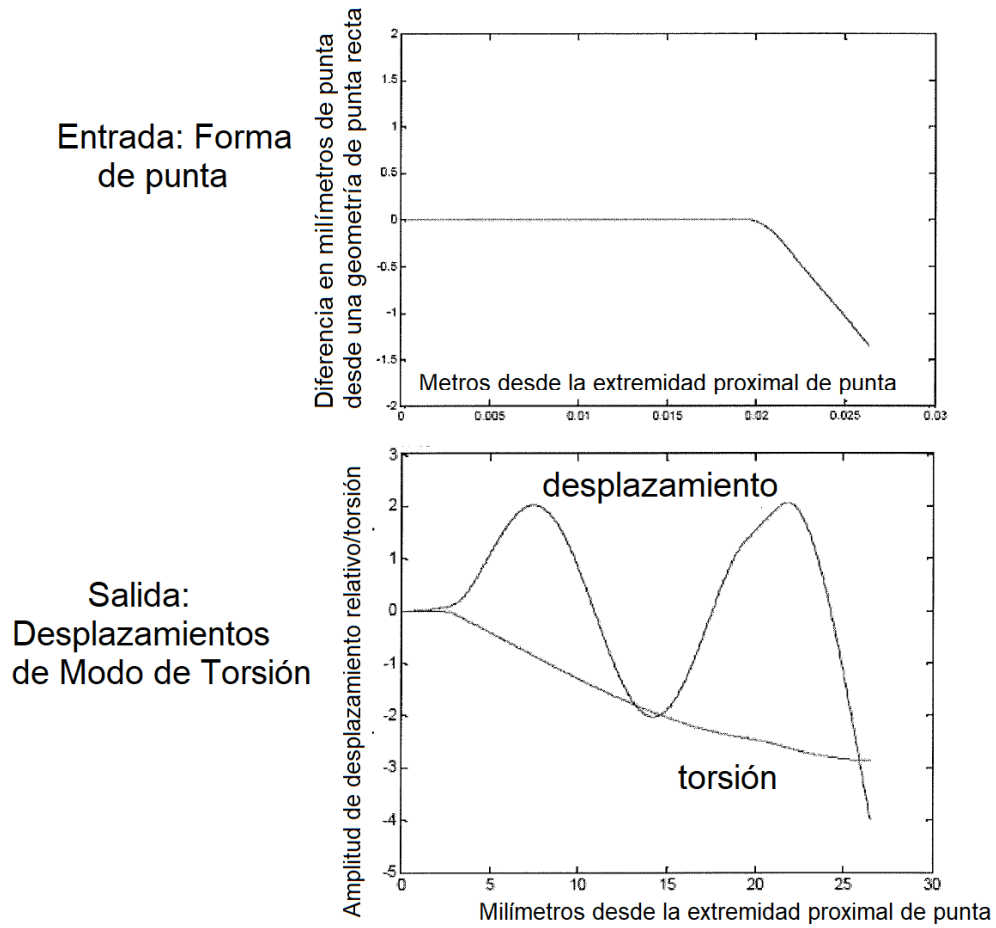
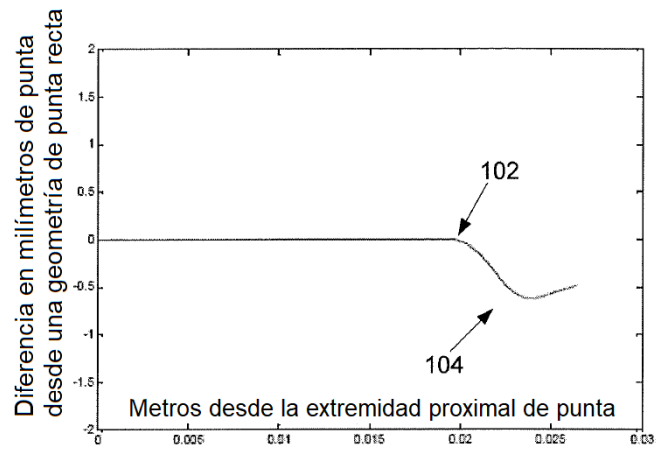


FIG. 8a

Entrada: Forma
de punta



Salida:
Desplazamientos
de Modo de Torsión

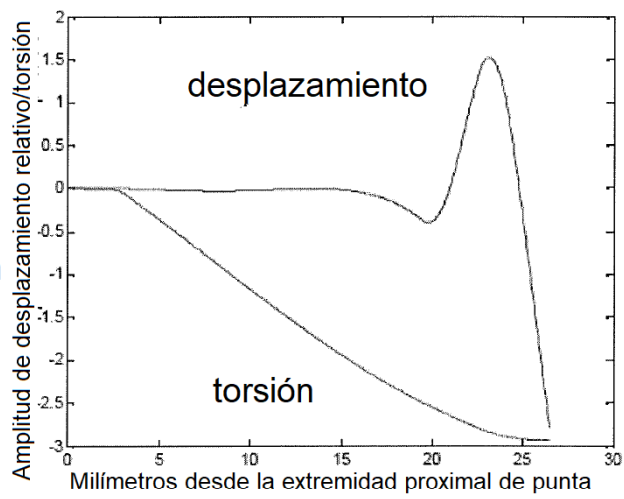


FIG. 8b

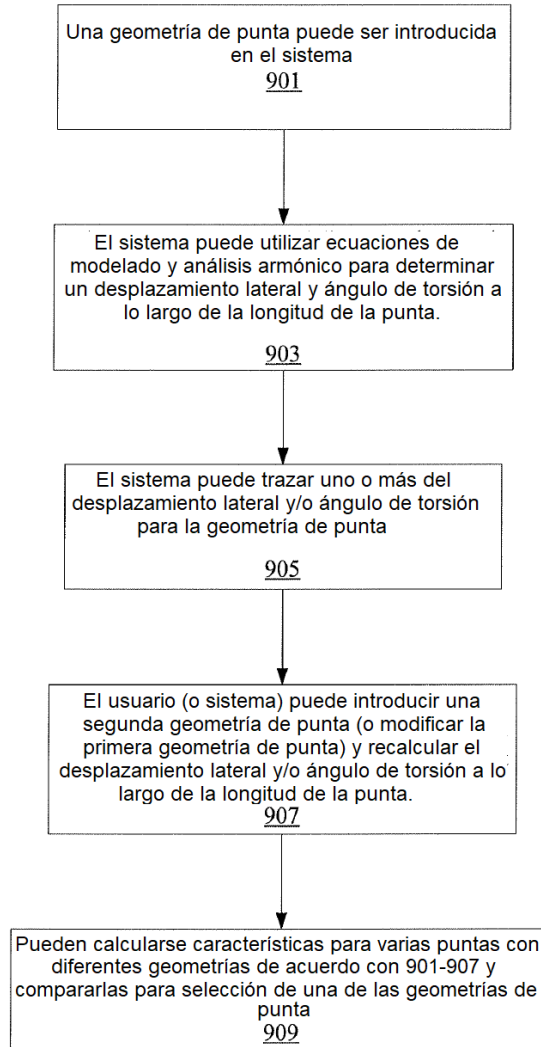


FIG. 9

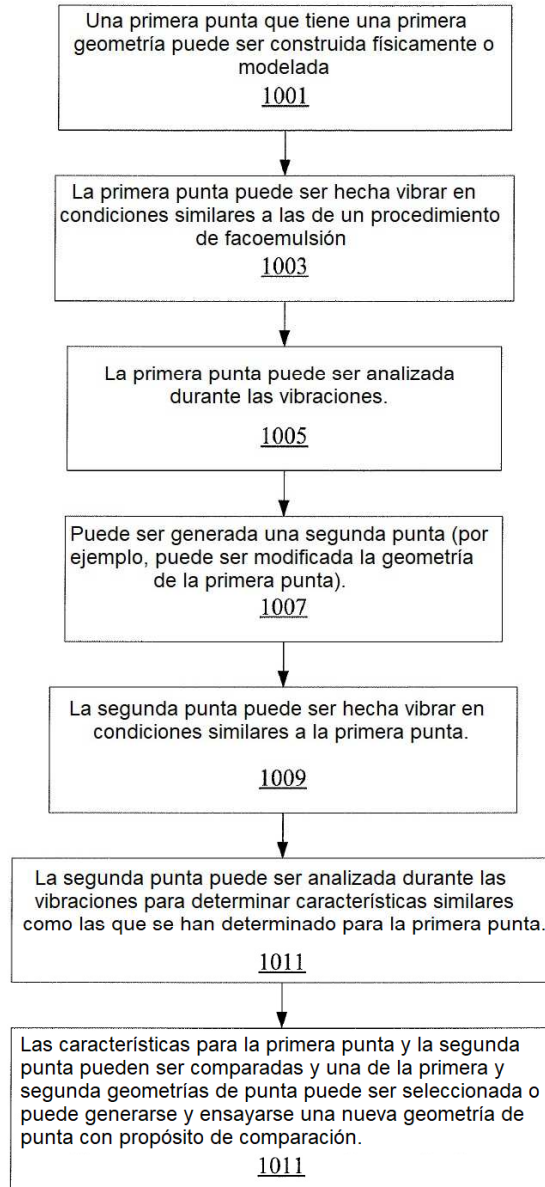


FIG. 10

Punta Equilibrada	OD	ID	L	L_c	x_1	x_2	α_1	y_1	y_1	α_2	Bisel
Punta 1	.033	.0225	1.174	.308	.252	.153	-19	.152	.055	37	Hasta 30 o 45 grados
Punta 2	.033	.0225	1.175	.308	.258	.155	-19	.154	.060	36	Por debajo de 30 grados
Punta 3	.0315	.0225	1.175	.308	.252	.153	-19	.152	.058	36	Hasta 30 o 45 grados
Punta 4	.0315	.0225	1.185	.308	.252	.153	-19	.152	.058	36	Por debajo de 30 grados
Punta 5	.028	.020	1.177	.312	.238	.121	-12	.121	.043	27	Hasta 30 o 45 grados
Punta 6	.028	.020	1.187	.312	.244	.127	-12	.127	.049	27	Por debajo de 30 grados

FIG. 11