

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 808 701**

(51) Int. Cl.:

**A61F 9/009**

(2006.01)

(12)

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.05.2016 PCT/IB2016/052493**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **09.11.2017 WO17191486**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.05.2016 E 16721948 (4)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.07.2020 EP 3451985**

---

(54) Título: **Procesamiento y presentación de imágenes de cono de acoplamiento de cirugía oftálmica con láser de femtosegundo**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**01.03.2021**

(73) Titular/es:

**ALCON INC. (100.0%)  
Rue Louis-d'Affry 6  
1701 Fribourg, CH**

(72) Inventor/es:

**WITTNEBEL, MICHAEL;  
ABRAHAM, MARIO;  
SCHMID, STEFAN y  
STARIGK, MARTIN**

(74) Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 808 701 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

Procesamiento y presentación de imágenes de cono de acoplamiento de cirugía oftálmica con láser de femtosegundo

### Campo técnico

La presente descripción se refiere a cirugía oftálmica y equipo quirúrgico, y más específicamente, a sistemas y métodos para procesar y presentar una imagen durante el acoplamiento en un ojo en cirugía oftálmica con láser de femtosegundo.

### Descripción de la técnica relacionada

En oftalmología, la cirugía oftálmica es realizada en las estructuras oculares y visuales accesorias para conservar y mejorar la visión de decenas de miles de pacientes cada año. Sin embargo, dada la sensibilidad de la visión incluso a pequeños cambios en el ojo y la naturaleza minuciosa y delicada de muchas estructuras oculares, la cirugía oftálmica es difícil de realizar y la reducción de incluso errores quirúrgicos menores o poco comunes o mejoras modestas en la precisión de las técnicas quirúrgicas puede marcar una gran diferencia en la visión del paciente después de la cirugía.

Un tipo de cirugía oftálmica, la cirugía ocular refractiva, es utilizada para corregir una variedad de problemas de visión. Una cirugía refractiva común es conocida como LASIK (queratomileusis in situ asistida por láser) y es utilizada para corregir miopía e hipermetropía, astigmatismo o errores refractivos más complejos. Otras cirugías oftálmicas pueden corregir defectos corneales u otros problemas. Por ejemplo, la queratectomía foto terapéutica (PTK) puede ser utilizada para extraer tejido corneal enfermo o irregularidades corneales, ya sea sola o en combinación con LASIK. Otra cirugía oftálmica común es la eliminación de cataratas.

Durante LASIK, PTK, cirugía de cataratas, y otras cirugías oftálmicas, los procedimientos correctivos son realizados comúnmente en las partes interiores del ojo, tal como el estroma corneal o el cristalino, en lugar de en la superficie del ojo. Esta práctica tiende a mejorar los resultados quirúrgicos permitiendo que el procedimiento correctivo se dirija a la parte más efectiva del ojo, manteniendo las partes protectoras exteriores de la córnea en gran parte intactas, y para otras razones.

Se puede acceder a la parte interior del ojo de varias maneras, pero con frecuencia el acceso implica cortar un colgajo en la córnea o cortar la córnea. El corte corneal a menudo es realizado mediante un láser de femtosegundo que crea impulsos ultracortos enfocados, que elimina el daño colateral de los tejidos circundantes asociados con láseres más lentos y complicaciones asociadas con instrumentos de corte mecánico, tales como cuchillas. Por lo tanto, los láseres de femtosegundo pueden ser utilizados para diseccionar tejido a nivel microscópico.

La cirugía oftálmica con láser de femtosegundo incluye típicamente el acoplamiento, la formación de imágenes, el análisis, y el tratamiento con láser.

Durante el acoplamiento, el ojo de un paciente es acoplado a un cono de succión con el fin de proporcionar presión para aplanar la córnea del paciente (conocida como aplanamiento) y mantenerla en posición para el tratamiento con láser. Un cono curvado, que no aplana la córnea, también puede ser utilizado para el proceso de acoplamiento. El acoplamiento es un proceso sensible, y la colocación apropiada del cono de succión es importante para una cirugía oftálmica con láser de femtosegundo exitosa. Sin embargo, la colocación correcta del cono de succión es guiada típicamente en la actualidad a través de una inspección visual por parte del usuario, basándose en la experiencia y la percepción.

A partir del documento EP 2 913 036 A1, se conoce una unidad de fijación del globo ocular con un anillo de succión. Se ha proporcionado un sensor para adquirir una posición del anillo de succión. En una imagen de presentación, se ha presentado una ilustración de una forma que traza el anillo de succión.

### Resumen

La presente descripción proporciona un sistema para cirugía oftálmica con láser de femtosegundo que comprende las características de la reivindicación 1. El sistema incluye un cono de succión, un dispositivo de control operable para mover el cono de succión hacia arriba y hacia abajo en una dirección z, un dispositivo de medición operable para medir la posición del cono de succión en la dirección z y generar datos relacionados con la posición medida, un procesador operable para procesar datos relacionados con la posición medida del cono de succión para crear una representación gráfica, un histograma u otro gráfico basado en la posición del cono de succión en la dirección z, y un dispositivo de visualización operable para recibir la representación gráfica, el histograma o otro gráfico cuando es transmitida desde el procesador y para presentar la representación gráfica, el histograma, u otro gráfico durante la cirugía oftálmica con láser de femtosegundo.

En realizaciones adicionales, que pueden ser combinadas entre sí a menos que sean claramente exclusivas: el dispositivo de medición incluye una barrera de luz, un interruptor, un dispositivo de medición de distancia, o una combinación de los mismos; el dispositivo de visualización incluye una pantalla, un dispositivo de visualización frontal, o una combinación de los mismos, el procesador es operable para crear y el dispositivo de visualización es operable para presentar la representación gráfica, el histograma, u otro gráfico en tiempo real; el procesador es operable para procesar datos de

información relacionados con la posición medida para crear al menos dos de una representación gráfica, un histograma, u otro gráfico basado en la posición del cono de succión en la dirección z y el dispositivo de visualización es operable para presentar al menos dos de la representación gráfica, el histograma, u otro gráfico simultáneamente; al menos una posición de umbral incluye una posición umbral de reposo, una posición de umbral de contacto bajo, una posición de umbral de contacto alto, una posición de umbral de área de trabajo ideal, y una posición de umbral de límite de parada z; el dispositivo de visualización presenta una representación gráfica que incluye marcadores de umbral correspondientes a todas las posiciones de umbral; el dispositivo de visualización presenta un indicador de advertencia cuando el cono de succión alcanza la posición de umbral de parada z; el procesador es operable además para determinar cuándo el cono de succión alcanza una posición de umbral de parada z y para detener el movimiento ascendente del cono de succión en la dirección z cuando el cono de succión alcanza la posición de umbral de parada z; el procesador es operable además para crear y el dispositivo de visualización es operable además para presentar una representación gráfica del aplanamiento del ojo; el sistema es operable además para registrar las posiciones medidas del cono de succión a lo largo del tiempo y el procesador es operable además para crear y el dispositivo de visualización es operable además para presentar un histograma de las posiciones medidas del cono de succión a lo largo del tiempo; y el procesador es operable además para crear una representación gráfica, un histograma, u otro gráfico que representa una carga que descansa sobre el ojo como una función de la posición medida del cono de succión.

La presente descripción proporciona además un método de acoplamiento de un cono de succión en cirugía oftálmica con láser de femtosegundo que comprende las características de la reivindicación 11. El método incluye medir la posición del cono de succión en la dirección z utilizando un dispositivo de medición, generar datos relacionados con la posición medida del cono de succión utilizando el dispositivo de medición, procesar los datos relacionados con la posición medida del cono de succión con un procesador para crear una representación gráfica, un histograma, u otro gráfico de la posición del cono de succión en la dirección z, y transmitir la representación gráfica, el histograma, u otro gráfico desde el procesador a un dispositivo de visualización que presente la representación gráfica, el histograma, u otro grafico.

La posición del cono de succión en la dirección z puede ser medida en al menos una posición de umbral del cono de succión en la dirección z; al menos una posición de umbral incluye una posición de umbral de reposo, una posición de umbral de contacto bajo, una posición de umbral de contacto alto, una posición umbral de área de trabajo ideal, y una posición de umbral de límite de parada z. En realizaciones adicionales, que pueden ser combinadas entre sí a menos que sean claramente exclusivas: el dispositivo de visualización presenta un indicador de advertencia cuando el cono de succión alcanza la posición de umbral de parada z; el movimiento ascendente del cono de succión en la dirección z es detenido cuando el cono de succión ha alcanzado la posición de umbral de parada z; el cono de succión cambia de posición a lo largo del tiempo, el procesador procesa además datos relacionados con la posición medida del cono de succión a lo largo del tiempo para producir un histograma de la posición medida del cono de succión a lo largo del tiempo, y el dispositivo de visualización presenta el histograma; y el procesador utiliza datos relacionados con la posición medida del cono de succión para determinar la carga del cono de succión que descansa sobre el ojo y para crear un gráfico que represente esta carga, que es transmitida y presentada por el dispositivo de visualización.

Los sistemas anteriores pueden ser utilizados con los métodos anteriores y viceversa. Además, cualquier sistema descrito en este documento puede ser utilizado con cualquier método descrito en este documento y viceversa.

#### Breve descripción de los dibujos

Para una comprensión más completa de la presente invención y sus características y ventajas, se hace referencia ahora a la siguiente descripción, tomada junto con los dibujos adjuntos, que no están a escala, en los que números similares se refieren a características similares, y en los que:

La figura 1 es una representación esquemática de un aparato de acoplamiento para cirugía oftálmica con láser de femtosegundo;

45 La figura 2 es una representación esquemática de elementos de un sistema para cirugía oftálmica con láser de femtosegundo que incluye un aparato de acoplamiento tal como el de la figura 1;

La figura 3A es una representación esquemática de un cono de succión durante el acoplamiento en un ojo en cirugía oftálmica con láser de femtosegundo;

La figura 3B es una representación esquemática del cono de succión de la figura 3A movido en la dirección z con respecto a la figura 3A durante el acoplamiento en un ojo en cirugía oftálmica con láser de femtosegundo;

50 La figura 3C es una representación esquemática del cono de succión de la figura 3B movido en la dirección z con respecto a la figura 3B durante el acoplamiento en un ojo en cirugía oftálmica con láser de femtosegundo;

La figura 4 es una representación gráfica que muestra marcadores de umbral correspondientes a la posición de un cono de succión durante el acoplamiento en un ojo en cirugía oftálmica con láser de femtosegundo;

55 La figura 5 es un histograma que muestra la posición de un cono de succión en la dirección z durante el acoplamiento en un ojo en cirugía oftálmica con láser de femtosegundo;

La figura 6 es una representación gráfica de aplanamiento que incluye la forma cambiante de una córnea durante el acoplamiento en un ojo en cirugía oftálmica con láser de femtosegundo;

La figura 7 es una representación gráfica de la carga de un cono de succión en un ojo en función de la posición en la dirección z del cono de succión durante el acoplamiento en el ojo en cirugía oftálmica con láser de femtosegundo;

5 La figura 8 es un gráfico de barras que muestra la carga de un cono de succión en un ojo en función de la posición en la dirección z del cono de succión durante el acoplamiento en el ojo en cirugía oftálmica con láser de femtosegundo; y

La figura 9 es un diagrama de flujo de un método de acoplamiento en un ojo en cirugía oftálmica con láser de femtosegundo.

#### Descripción detallada

10 En la siguiente descripción, se han expuesto detalles a modo de ejemplo para facilitar la exposición del tema descrito. Sin embargo, debería ser evidente para un experto en la técnica, que las realizaciones descritas son ejemplares y no exhaustivas de todas las realizaciones posibles.

15 La presente descripción proporciona sistemas y métodos para acoplar un cono de succión en un ojo en una cirugía oftálmica con láser de femtosegundo. El sistema mide la posición del cono de succión durante el acoplamiento, procesa datos relacionados con la posición medida, y presenta una representación gráfica o un histograma basado en la posición medida, los cuales pueden ir acompañados de otras representaciones, tales como otros gráficos o una representación gráfica de aplanamiento de la córnea durante el acoplamiento.

En la presente descripción, "inferior", "abajo" y "descendente" en la dirección z se refieren al movimiento o a una posición más cercana al ojo del paciente. "Superior", "arriba" y "ascendente" en la dirección z se refieren al movimiento o a una posición más alejada del ojo del paciente.

20 La figura 1 es una representación esquemática de un aparato 100 de acoplamiento para cirugía oftálmica con láser de femtosegundo. Como se ha mostrado, un aparato 100 de acoplamiento típico incluye un anillo 103 de succión que es succionado al ojo 101 de un paciente, donde una interfaz 104 de paciente encaja dentro del anillo 103 de succión. Una serie de dos aspiradores, el primer aspirador 105 y el segundo aspirador 106 están unidos al anillo de succión y son utilizados para proporcionar succión al ojo 101 del paciente en los momentos apropiados.

25 Durante el acoplamiento, el anillo 103 de succión es succionado al ojo 101 del paciente, de modo que el anillo de succión está en contacto con el ojo 101. Una vez que el anillo 103 de succión ha sido posicionado correctamente en el ojo 101, el primer aspirador 105 es encendido para proporcionar la succión inicial. El aparato 100 de acoplamiento incluye además un cono 107 de succión que encaja en el anillo 103 de succión. El cono de succión incluye una placa 102 de vidrio plana. El cono 107 de succión puede ser bajado en la dirección z por un dispositivo 108 de control en la interfaz 104 del paciente dentro del anillo 103 de succión, hasta que la placa 102 de vidrio plana haga contacto con el ojo 101. Alternativamente, el cono 107 de succión puede permanecer estacionario, mientras que el ojo 101 de un paciente es movido hacia arriba hacia el cono 107 de succión. Esto se puede hacer, por ejemplo, moviendo al paciente hacia arriba hacia el cono 107 de succión. Una vez que la placa 102 de vidrio del cono 107 de succión hace contacto con el ojo 101, el cono 107 de succión puede ser movido hacia arriba en la dirección z junto con el ojo 101 para proporcionar diferentes niveles de contacto con el ojo 101 del paciente hasta que el cono 107 de succión alcance un punto de umbral en la dirección z. Despues de alcanzar este punto umbral, se enciende el segundo aspirador 106 y el cono 107 de succión resulta firmemente unido al ojo 101 succionando al anillo 103 de succión. Esta unión firme al ojo 101 proporciona suficiente presión para aplanar la córnea del ojo 101 del paciente porque toda o parte de la córnea está dentro del anillo 103 de succión, un proceso que es conocido como aplanamiento de la córnea. Una vez que se produce el aplanamiento, se completa el acoplamiento.

40 La colocación apropiada del cono de succión durante el acoplamiento es importante para una cirugía oftálmica exitosa. Sin embargo, en sistemas anteriores, el usuario se vio obligado a confiar en la experiencia y la percepción para acoplar el cono de succión correctamente, lo que hace más difícil lograr una colocación apropiada y da como resultado más errores de ubicación. La presente descripción proporciona un sistema para cirugía oftálmica con láser de femtosegundo en el que el sistema contiene un aparato de acoplamiento, tal como el descrito anteriormente, y un dispositivo de medición para medir la posición del cono de succión en la dirección z durante el acoplamiento. El dispositivo de medición puede incluir o estar conectado a un procesador que utiliza la posición medida para crear una representación gráfica, un histograma, u otro gráfico de la posición del cono de succión en la dirección z o en relación con la córnea u otro punto de referencia en el ojo, o de datos relacionados con la posición medida, tal como la carga del cono de succión en el ojo o el aplanamiento de la córnea. Una o más de estas representaciones gráficas, histogramas, u otros gráficos pueden ser presentados en tiempo real durante la cirugía oftálmica con láser de femtosegundo. Además, una sola imagen o dispositivo de visualización puede incluir más de uno de estos artículos. Por ejemplo, una sola imagen puede incluir tanto una representación gráfica como un histograma.

45 Con referencia ahora a la figura 2, se ha proporcionado una representación esquemática de elementos de un sistema para cirugía oftálmica 200 con láser de femtosegundo que incluye un aparato 100 de acoplamiento, tal como el de la figura 1. Dicho sistema puede ser utilizado para medir la posición del cono 107 de succión en la dirección z y puede utilizar la posición medida para presentar una representación gráfica, un histograma, u otro gráfico basado en la posición medida.

Como se ha mostrado, el aparato de acoplamiento descrito incluye un cono 107 de succión; un dispositivo 108 de control que es utilizado para mover el cono 107 de succión arriba y abajo en la dirección z; un dispositivo 201 de medición que mide la posición del cono 107 de succión; un procesador 202 o dispositivo de procesamiento programado equivalente que está incluido en o conectado al dispositivo 201 de medición y que procesa datos relacionados con las posiciones medidas

- 5 para crear una representación gráfica, un histograma, u otro gráfico de o basado en la posición del cono 107 de succión en la dirección z, y que transmite una representación gráfica, un histograma, u otro gráfico a un dispositivo de visualización. El dispositivo de visualización puede tener la forma de una pantalla 203 o de un dispositivo de visualización 204 frontal. El sistema puede presentar a los usuarios la representación gráfica, el histograma, u otro gráfico de o basado en la posición del cono 107 de succión en la dirección z en tiempo real de modo que puedan ajustar la posición del cono 107 de succión en consecuencia utilizando el dispositivo 108 de control. El tiempo real puede significar en menos de medio segundo, en menos de un segundo, o de otra manera en menos del tiempo de reacción normal de un usuario del dispositivo 108 de control basado en información visual.

El dispositivo 201 de medición puede incluir barreras de luces, interruptores, y dispositivos de medición de distancia para medir la posición del cono 107 de succión en la dirección z. A modo de ejemplo no limitativo, el dispositivo de medición de distancia puede tener una alta resolución, ya que la distancia móvil total aceptable del cono 107 de succión en la dirección z es del orden de milímetros o centímetros. A modo de ejemplo no limitativo, las barreras de luz y los interruptores solo son capaces de medir o reaccionar de otro modo a la posición del cono de succión en posiciones discretas. El dispositivo 201 de medición también puede medir la posición del ojo, la córnea, otro punto de referencia en el ojo, o incluso un punto de referencia externo. El procesador 202 puede utilizar la posición o posiciones medidas para crear una representación gráfica de la posición del cono 107 de succión en la dirección z en comparación con el ojo 101, o para realizar cálculos u otras funciones de procesamiento que dan como resultado un histograma u otro gráfico.

Las figuras 3A, 3B y 3C proporcionan una representación esquemática 300 del movimiento del cono 107 de succión en la dirección z durante el acoplamiento en un ojo 101 desde una posición 301 a través de al menos alguna de una serie de posiciones 302, 303, 304 y 305. En la figura 3A, el cono 107 de succión está en la posición 302. En la figura 3B, el cono 107 de succión se ha movido hacia arriba en la dirección z hasta la posición 303. En la figura 3C, el cono 107 de succión se ha movido hacia arriba en la dirección z hasta la posición 305. La parte A del ojo 101 del paciente también se mueve hacia arriba en la dirección z.

Con referencia a las figuras 1, 2, y 3, cuando el cono 107 de succión es bajado en primer lugar hacia el anillo 103 de succión, es movido a la posición 301 de reposo, donde está en contacto con el ojo 101. Una vez que el cono 107 de succión está en la posición 301 de reposo, en contacto con el ojo 101, la posición del cono de succión en la dirección z puede ser medida por el dispositivo 201 de medición, que transmite la posición medida en la dirección z al procesador 202, que a continuación utiliza datos relacionados con la posición medida en la dirección z para crear una representación gráfica de la posición del cono 107 de succión en la dirección z que es presentada en el dispositivo de visualización 203/204 para un usuario, como se ha descrito adicionalmente con referencia a la figura 4.

35 A continuación, el cono 107 de succión es movido típicamente hacia arriba en la dirección z, junto con el ojo 101 del paciente. Hay varias posiciones de umbral que el cono 107 de succión puede alcanzar cuando se mueve hacia arriba en la dirección z. El sistema quirúrgico 200 puede medir cuándo se alcanza cada posición de umbral y presentar información relacionada, tal como un marcador de umbral en la representación gráfica 300. La presentación puede ser en tiempo real.

40 Específicamente, a medida que el cono 107 de succión se mueve hacia arriba, junto con el ojo, alcanza la posición 302, donde el contacto con el ojo 101 es considerado bajo. Cuando esta posición es medida a través del dispositivo 201 de medición, el dispositivo de visualización 203/204 mostrará que el cono 107 de succión está en una posición de contacto baja con el ojo 101, o "EC Bajo". Una representación esquemática del cono 107 de succión en esta posición de umbral se ha mostrado en la figura 3A.

45 El cono 107 de succión continúa entonces desplazándose hacia arriba en la dirección z hasta que el dispositivo 201 de medición mide que el cono 107 de succión ha alcanzado una posición 303 de contacto alta con el ojo, o "EC Alto" 303, esto también es presentado. Una representación esquemática del cono 107 de succión en esta posición de umbral se ha mostrado en la figura 3B. El segundo aspirador 106 se enciende, ya sea automáticamente o porque el usuario lo activa, y el cono 107 de succión resulta firmemente unido al ojo 101 succionando al anillo 103 de succión, que ya ha sido succionado al ojo 101 por la succión del primer aspirador 105. Una vez que el cono 107 de succión alcanza la posición 303, y el segundo aspirador 106 es iniciado, se produce el aplanamiento de la córnea. El cono 107 de succión puede entonces continuar moviéndose hacia arriba dentro de la posición 304, que es representada como un área sombreada en lugar de una línea porque cualquier posición en la dirección z dentro de ese intervalo es una posición aceptable. La posición 304 es conocida como el área de trabajo ideal donde hay suficiente presión sobre el ojo 101 para aplastamiento, pero no tanta presión como para apretar el ojo. A medida que el cono 107 de succión continúa moviéndose hacia arriba dentro de la posición 304 del área de trabajo ideal, la posición del cono 107 de succión en la dirección z puede ser presentada al usuario en tiempo real. Si el cono 107 de succión se mueve hacia arriba en la dirección z más allá de la posición 304 del área de trabajo ideal, existe el peligro de que demasiada presión pudiera apretar el ojo 101. Por lo tanto, una posición 305 de límite de umbral, conocida como límite de parada z se ha definido dentro de la dirección z. Una representación esquemática del cono 107 de succión en esta posición de umbral se ha mostrado en la figura 3C. Cuando el dispositivo 201 de medición mide que el cono 107 de succión ha alcanzado esta posición 305, esto también es presentado, a menudo en tiempo real.

El usuario o el sistema deberían detener todos los movimientos ascendentes en la dirección z. El sistema 200 puede impedir además el movimiento ascendente en la dirección z, particularmente si el procesador 202 está conectado al dispositivo 108 de control. En lugar de detener el movimiento ascendente adicional solo cuando el cono 107 de succión ha alcanzado la posición 305 de límite de parada z, el sistema también puede estar configurado para mantener automáticamente el cono 107 de succión todavía en una posición definida dentro del área 304 de trabajo ideal.

La figura 4 es un dispositivo de visualización 400 de pantalla ejemplar de una representación gráfica que muestra la posición del cono 107 de succión durante el acoplamiento en un ojo 101 en cirugía oftálmica con láser de femtosegundo como se ha representado en la figura 3. Como se ha mostrado, el dispositivo de visualización 400 de pantalla proporciona una representación gráfica 401 del cono 107 de succión, así como marcadores 403 a 406 de umbral gráficos que corresponden a las posiciones 302 a 305 de umbral.

A medida que el cono 107 de succión es movido arriba o abajo en la dirección z durante el acoplamiento, la representación gráfica del cono 401 de succión mostrará cuándo el cono 107 de succión real alcanza las posiciones de umbral a través de los marcadores de umbral gráficos correspondientes. Cuando el cono 107 de succión ha alcanzado una posición 302 de umbral de contacto bajo con el ojo 101, "EC Bajo", el dispositivo de visualización 400 mostrará la representación gráfica 401 con el cono de succión en el marcador 403 de umbral. Cuando

el cono 107 de succión ha alcanzado una posición 303 de umbral de contacto alto con el ojo 101, "EC Alto", el dispositivo de visualización 400 mostrará la representación gráfica 401 del cono de succión en el marcador 404 de umbral. En esta posición de umbral, el cono 107 de succión ha alcanzado el área 304 de trabajo ideal y el segundo aspirador 106 se iniciará para proporcionar succión para el aplanamiento de la córnea. Mientras el cono 107 de succión permanece dentro del área 304 de trabajo ideal, el dispositivo de visualización 400 mostrará la representación gráfica 401 del cono de succión dentro del marcador 406 de umbral.

Si el cono 107 de succión ha alcanzado la posición 305 de umbral de límite de parada z, el dispositivo de visualización 400 mostrará la representación gráfica 401 del cono de succión en el marcador 405 de umbral. Además, puede aparecer un indicador de advertencia, tal como una luz que destella, un cambio de color de toda o de un componente de la representación gráfica, o un mensaje de texto en el dispositivo de visualización 400.

La representación gráfica 401 puede presentar más de un marcador 403-406 de umbral simultáneamente. Por ejemplo, puede presentar todos los marcadores 403-406 de umbral simultáneamente como se ha representado en la figura 4. Sin embargo, la representación gráfica 401 también puede presentar solo un marcador de umbral, tal como el marcador de umbral más cercano a la posición medida del cono de succión. La representación gráfica 401 también puede presentar solo un subconjunto de marcadores 403-406 de umbral simultáneamente. Por ejemplo, puede presentar el marcador de umbral pasado más recientemente y el siguiente marcador de umbral que se aproxima, o puede presentar el marcador de umbral más cercano a la posición medida y otro marcador de umbral significativo, tal como el marcador 405 de umbral correspondiente a la posición de parada z. Si no se han presentado todos los marcadores de umbral simultáneamente, uno o más de los que se han presentado pueden cambiar a lo largo del tiempo durante la cirugía a medida que el cono de succión se mueve en la dirección z.

Las mediciones realizadas con el dispositivo 201 de medición también pueden ser utilizadas para construir un histograma 500 que muestre la posición de un cono de succión en la dirección z durante el acoplamiento en un ojo en cirugía oftálmica con láser de femtosegundo, tal como la que se ha mostrado en la figura 5. Con el fin de construir tal histograma, los datos relacionados con la posición medida son registrados de modo que el histograma indique el movimiento del cono 107 de succión en la dirección z a lo largo del tiempo. El histograma puede ser actualizado en tiempo real o mostrado como un histograma estático al final del tratamiento.

Además de ser utilizadas para presentar la posición del cono 107 de succión en la dirección z durante el acoplamiento en una córnea, las posiciones medidas por el dispositivo 201 de medición también pueden ser utilizadas para determinar la interfaz curvada de la córnea durante el acoplamiento y el inicio y el nivel de aplanamiento de la córnea. Esta información también puede ser presentada en tiempo real.

Con referencia ahora a la figura 6, se ha representado el aplanamiento 600 de una córnea durante el acoplamiento en cirugía oftálmica con láser de femtosegundo. Como se ha mostrado, después del contacto inicial con el ojo 101 del paciente, a medida que el cono 107 de succión se mueve hacia arriba en la dirección z, la forma de la córnea cambia a medida que el cono de succión se mueve hacia arriba en la dirección z y aplica más presión sobre el ojo. Cuando no hay contacto visual con el cono 107 de succión, no hay deformación corneal y cualquier representación gráfica presentará el ojo 101 sin deformación corneal 601.

A medida que el cono 107 de succión es movido hacia arriba con el ojo 101, se inicia el aplanamiento cuando hay una deformación corneal mínima 602, que también puede ser presentada. Cuando se ha producido un aplanamiento completo 603, y la córnea es lo suficientemente plana como para que comience el tratamiento con láser de femtosegundo, esto también puede ser presentado. Como una alternativa a presentar una representación gráfica del aplanamiento como se ha representado en la figura 6, un dispositivo de visualización puede presentar, en su lugar, otro indicador del grado de aplanamiento, tal como un indicador de cuándo se ha iniciado el aplanamiento y un indicador de cuándo se ha producido el aplanamiento completo.

Las posiciones del cono 107 de succión medidas por el dispositivo 201 de medición también pueden ser utilizadas por el procesador 202 para calcular otra información con respecto al ojo, que puede ser presentada en una representación gráfica o un gráfico. Por ejemplo, el dispositivo de visualización ejemplar de la figura 7 presenta una representación gráfica 700 de la carga que descansa sobre el ojo 101 en función de la posición de la dirección z del cono 107 de succión durante el acoplamiento. Además de presentar una representación gráfica de la posición del cono 107 de succión en la dirección z

- durante el acoplamiento, las posiciones medidas por el dispositivo 201 de medición también pueden ser utilizadas para determinar la cantidad 701 de carga en el ojo 101 desde el cono 107 de succión que descansa sobre ojo 101 en cualquier momento dado, incluso en tiempo real. Esta carga puede, por ejemplo, ser medida en gramos u otra unidad de carga, o simplemente puede ser representada en cantidades relativas, por ejemplo, mediante color, como aceptable, o aproximadamente inaceptable, o inaceptable, o como un gráfico de barras, tal como el de la figura 8. Como se ha mostrado en la figura 7, después del contacto inicial con el ojo 101, a medida que el cono 107 de succión se mueve hacia arriba en la dirección z, la medición de la posición de la dirección z del cono 107 de succión puede ser convertida en una cantidad 701 de carga.
- Con referencia ahora a la figura 9, se ha representado un método 900 para acoplamiento en cirugía oftálmica con láser de femtosegundo, como se ha descrito en este documento, como un diagrama de flujo. El método 900 puede ser utilizado junto con los sistemas y aparatos descritos anteriormente.
- El método 900 puede ser utilizado para garantizar que un cono de succión esté dentro del área de trabajo ideal para el tratamiento con láser de femtosegundo. Ciertas operaciones descritas en el método 900 pueden ser opcionales o pueden reorganizarse en cirugías oftálmicas con láser de femtosegundo alternativas utilizando los sistemas y aparatos de esta descripción.
- El método 900 puede comenzar, en la operación 901, posicionando el cono de succión por encima del ojo de un paciente. En la operación 902, el cono de succión es movido hacia abajo en la dirección z utilizando un dispositivo de control hasta que hace contacto con el ojo del paciente.
- En la operación 903, un dispositivo de medición mide la posición del cono de succión y presenta información relacionada con la posición en un dispositivo de visualización, de modo que el usuario puede detectar si el cono de succión ha hecho contacto con el ojo del paciente. Si se ha hecho contacto con el ojo, el método se mueve a la operación 904. Si todavía no se ha hecho contacto con el ojo, la operación 902 continúa hasta que se hace el contacto con el ojo.
- Una vez que se ha hecho contacto con el ojo, en la operación 904, el cono de succión, junto con el ojo del paciente son movidos hacia arriba en la dirección z utilizando el dispositivo de control. En la operación 905, el dispositivo de medición mide la posición del cono de succión en la dirección z. En la operación 906, el dispositivo de medición transmite datos relacionados con las posiciones medidas a un procesador, que utiliza los datos para crear una representación gráfica, un histograma u otro gráfico basado en los datos, que se han presentado en un dispositivo de visualización, opcionalmente en tiempo real. Una representación gráfica también puede presentar uno o más marcadores de umbral y mostrar la posición del cono de acoplamiento con respecto a estos marcadores de umbral. Los marcadores de umbral pueden incluir un marcador de umbral correspondiente al menos a una de una posición de umbral de contacto con el ojo bajo, una posición de umbral de contacto con el ojo alto, una posición de umbral de área de trabajo ideal y una posición de umbral de límite de parada z.
- En la operación 907, si el cono de succión ha alcanzado la posición de umbral de contacto con el ojo alto, la succión es aplicada mediante un segundo aspirador para iniciar el aplanamiento de la córnea del paciente, operación 908. Si aún no se ha alcanzado este nivel, las operaciones 904-906 son repetidas hasta que se alcanza el umbral de contacto con el ojo alto. Una vez que se ha iniciado el aplanamiento, en la operación 909, el cono de succión puede ser movido hacia arriba en la dirección z dentro del área de trabajo ideal hasta que alcanza la posición de umbral de límite de parada z. En la operación 910, si el cono de succión ha alcanzado la posición de umbral de límite de parada z, se detendrá todo movimiento adicional del cono de succión en la dirección z hacia arriba, operación 911.
- Además de las mediciones de la posición del cono de succión, el dispositivo de medición también puede medir la posición del ojo, o de otro punto de referencia. Los datos relacionados con estas posiciones también pueden ser utilizados para presentar una representación gráfica, un histograma, u otros gráficos basados en los datos.
- El tema descrito anteriormente ha de ser considerado ilustrativo, y no restrictivo, y las reivindicaciones adjuntas están destinadas a cubrir todas las modificaciones, mejoras, y otras realizaciones que caen dentro del verdadero espíritu y alcance de la presente descripción. Por lo tanto, en la medida máxima permitida por la ley, el alcance de la presente descripción ha de estar determinado por la interpretación más amplia permitida de las siguientes reivindicaciones y sus equivalentes, y no estará restringido ni limitado por la descripción detallada anterior.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema (200) para cirugía oftálmica con láser de femtosegundo que comprende:  
un cono (107) de succión;  
un dispositivo (108) de control operable para mover el cono (107) de succión hacia arriba y hacia abajo en una dirección z;  
5 un dispositivo (201) de medición operable para medir la posición del cono (107) de succión en la dirección z y generar datos relacionados con la posición medida;  
un procesador (202) operable para procesar datos relacionados con la posición medida del cono (107) de succión para crear una representación gráfica (401, 600, 700), un histograma (500), u otro gráfico (800) basado en la posición del cono (107) de succión en la dirección z;  
10 un dispositivo de visualización (203, 204, 400) operable para recibir la representación gráfica (401, 600, 700), el histograma (500), u otro gráfico (800) cuando es transmitida desde el procesador (202) y para presentar la representación gráfica (401, 600, 700), el histograma (500), u otro gráfico (800) durante la cirugía oftálmica con láser de femtosegundo; y  
15 en el que el dispositivo de visualización (203, 204, 400) presenta una representación gráfica (401) que comprende un marcador (403, 404, 405, 406) de umbral correspondiente al menos a una posición (302, 303, 304, 305) de umbral del cono (107) de succión en la dirección z.
2. El sistema (200) de la reivindicación 1, en el que el dispositivo (201) de medición comprende una barrera de luz, un interruptor, un dispositivo de medición de distancia, o una combinación de los mismos.
3. El sistema (200) de la reivindicación 1, en el que el dispositivo de visualización (203, 204, 400) comprende una pantalla (203), un dispositivo de visualización (204) frontal, o una combinación de los mismos.
- 20 4. El sistema (200) de la reivindicación 1, en el que el procesador (202) es operable para crear y el dispositivo de visualización (203, 204, 400) es operable para presentar la representación gráfica (401, 600, 700), el histograma (500), u otro gráfico (800) en tiempo real.
5. El sistema (200) de la reivindicación 1, en el que el procesador (202) es operable para procesar datos de información relacionados con la posición medida para crear al menos dos de una representación gráfica (401, 600, 700), un histograma (500), u otro gráfico (800) basado en la posición del cono (107) de succión en la dirección z y el dispositivo de visualización (203, 204) es operable para presentar al menos dos de la representación gráfica (401, 600, 700), el histograma (500), u otro gráfico (800) simultáneamente.
- 25 6. El sistema (200) de la reivindicación 1, en el que al menos una posición (302, 303, 304, 305) de umbral incluye una posición (301) de umbral de reposo, una posición (302) de umbral de contacto bajo, una posición (303) de umbral de contacto alto, una posición (304) de umbral de área de trabajo ideal, y una posición (305) de umbral de límite de parada z.
7. El sistema (200) de la reivindicación 1, en el que el dispositivo de visualización (203, 204, 400) presenta una representación gráfica (401) que comprende marcadores (403, 404, 405, 406) de umbral correspondientes a todas las posiciones (302, 303, 304, 305) de umbral, en las que, opcionalmente, el dispositivo de visualización (203, 204, 400)  
35 presenta un indicador de advertencia cuando el cono (107) de succión alcanza la posición (305) de umbral de parada z, o en el que el procesador (202) es operable además para determinar cuando el cono (107) de succión alcanza una posición (305) de umbral de parada z y para detener además el movimiento ascendente del cono de succión en la dirección z cuando el cono (107) de succión alcanza la posición (305) de umbral de parada z.
8. El sistema (200) de la reivindicación 1, en el que el procesador (202) es operable además para crear y el dispositivo de visualización (203, 204) es operable además para presentar una representación gráfica (600) de aplanamiento del ojo.
- 40 9. El sistema (200) de la reivindicación 1, en el que el sistema (200) es operable además para registrar las posiciones medidas del cono (107) de succión a lo largo del tiempo y el procesador (202) es operable además para crear y el dispositivo de visualización (203, 204) es operable además para presentar un histograma (500) de las posiciones medidas del cono (107) de succión a lo largo del tiempo.
- 45 10. El sistema (200) de la reivindicación 1, en el que el procesador (202) es operable además para crear una representación gráfica (700), un histograma, u otro gráfico (800) que representa una carga (701) que descansa sobre el ojo (101) en función de la posición medida del cono (107) de succión.
11. Un método (900) de acoplamiento de un cono de succión en cirugía oftálmica con láser de femtosegundo, comprendiendo el método (900):  
50 medir (905) la posición del cono de succión en la dirección z utilizando un dispositivo de medición;

- generar datos relacionados con la posición medida del cono de succión utilizando el dispositivo de medición; procesar los datos relacionados con la posición medida del cono de succión con un procesador para crear una representación gráfica, un histograma, u otro gráfico de la posición del cono de succión en la dirección z; y
- 5 transmitir la representación gráfica, el histograma, u otro gráfico desde el procesador a un dispositivo de visualización que presenta la representación gráfica, el histograma, u otro gráfico;
- en el que la posición del cono de succión en la dirección z puede ser medida en al menos una posición de umbral del cono de succión en la dirección z, y, la al menos una posición de umbral incluye una posición de umbral de reposo, una posición de umbral de contacto bajo, una posición de umbral de contacto alto, una posición de umbral de área de trabajo ideal, y una posición de umbral de límite de parada z.
- 10 12. El método de la reivindicación 11, en el que el dispositivo de visualización presenta un indicador de advertencia cuando el cono de succión alcanza la posición de umbral de parada z.
13. El método de la reivindicación 12, en el que el movimiento ascendente del cono de succión en la dirección z es detenido (911) cuando el cono de succión ha alcanzado la posición (910) de umbral de parada z.
- 15 14. El método de la reivindicación 11, en el que el cono de succión cambia de posición a lo largo del tiempo, el procesador procesa además datos relacionados con la posición medida del cono de succión a lo largo del tiempo para producir un histograma de la posición medida del cono de succión a lo largo del tiempo, y el dispositivo de visualización presenta el histograma.
- 20 15. El método de la reivindicación 11, en el que el procesador utiliza datos relacionados con la posición medida del cono de succión para determinar la carga del cono de succión que descansa sobre el ojo y para crear un gráfico que representa esta carga, que es transmitida a y presentada por el dispositivo de visualización.

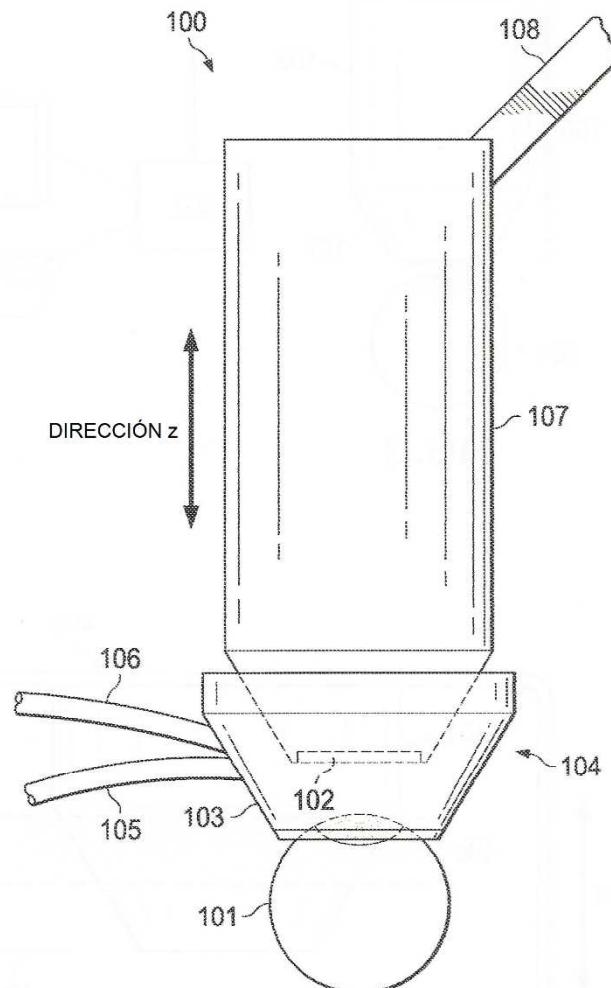
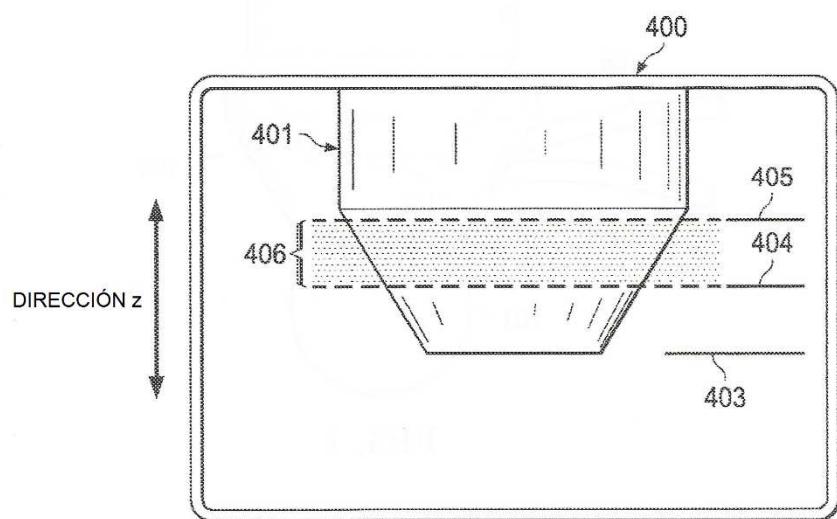
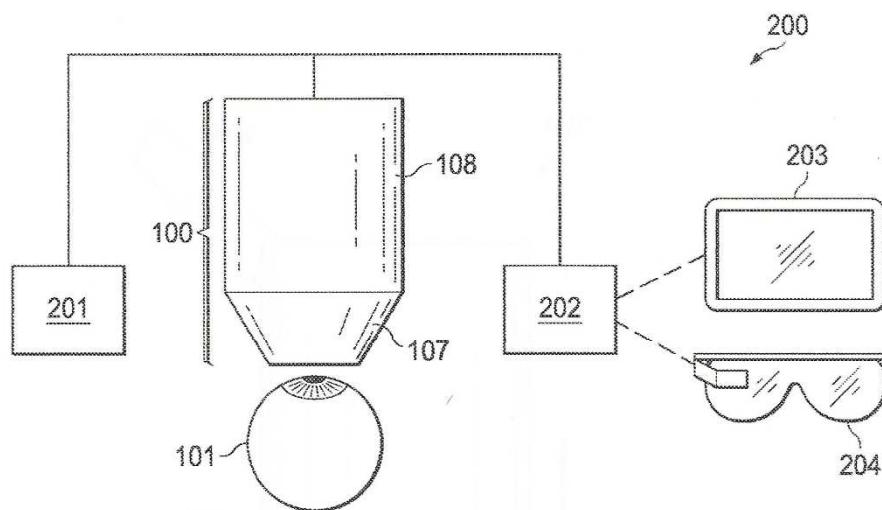


FIG. 1



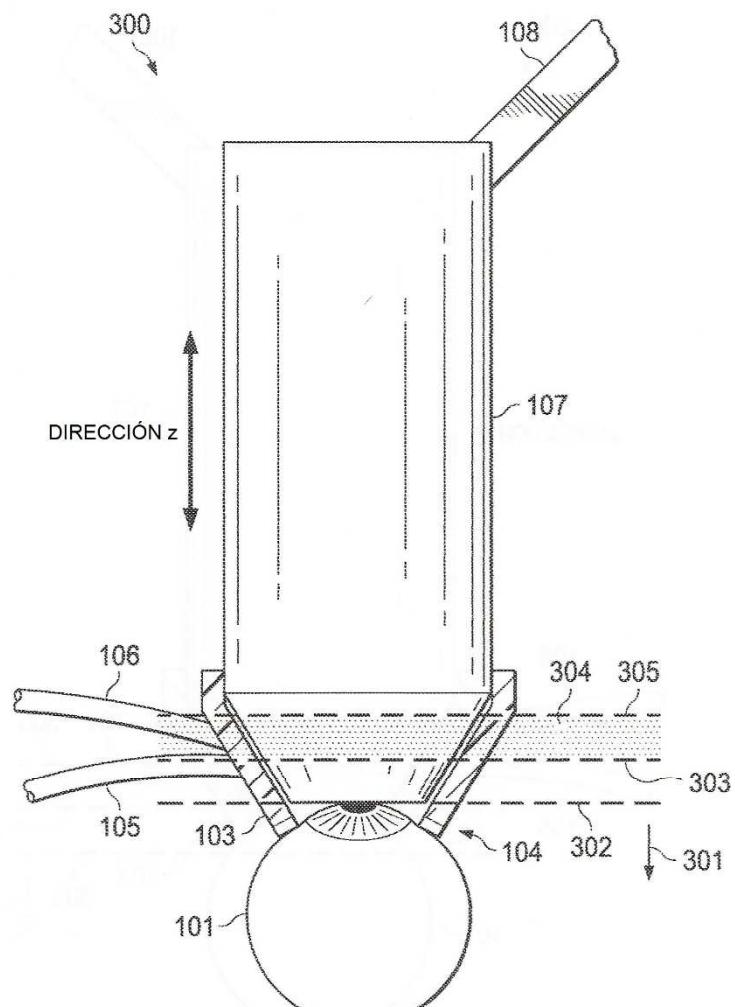


FIG. 3A

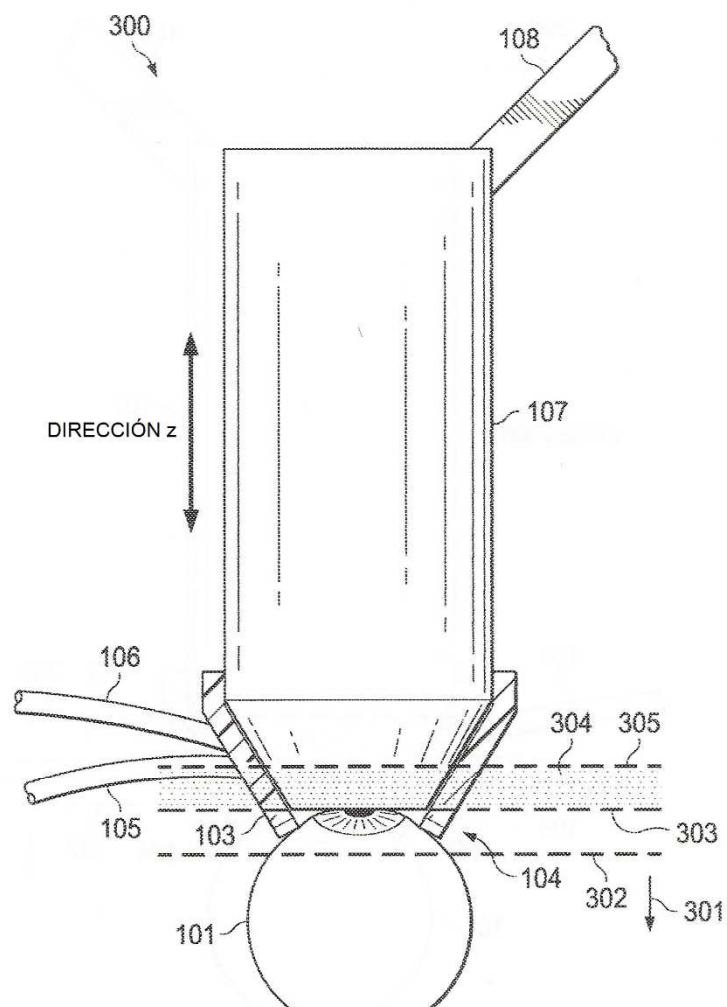


FIG. 3B

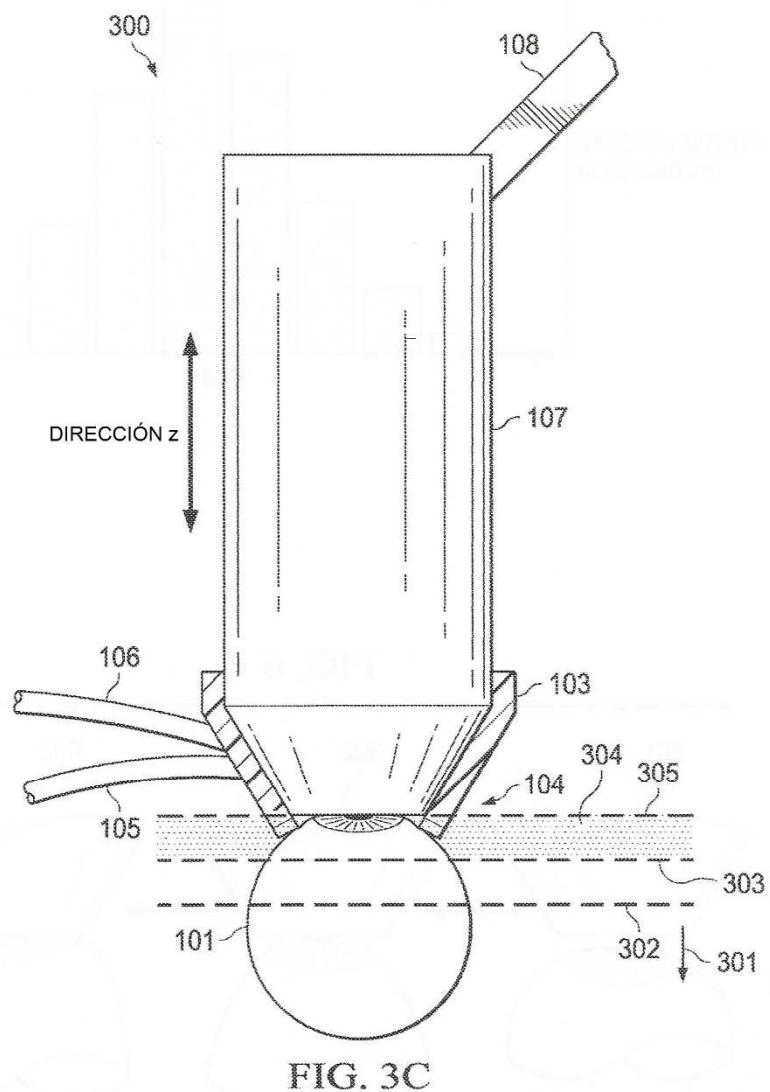


FIG. 5

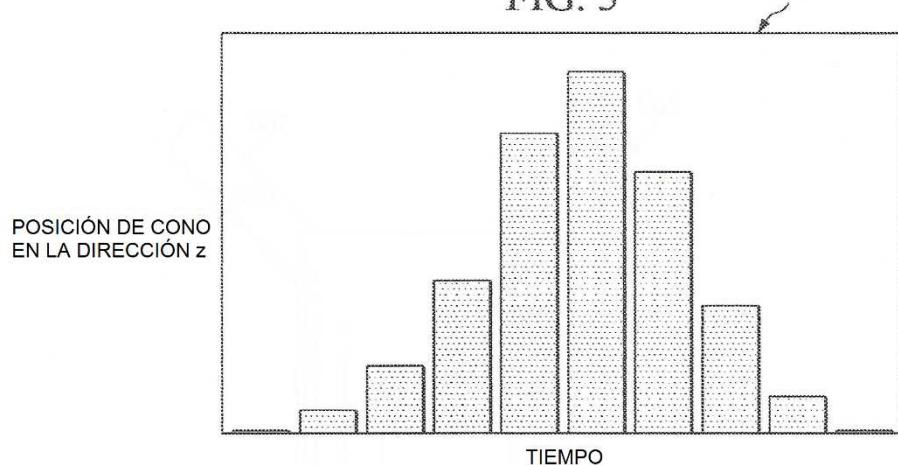
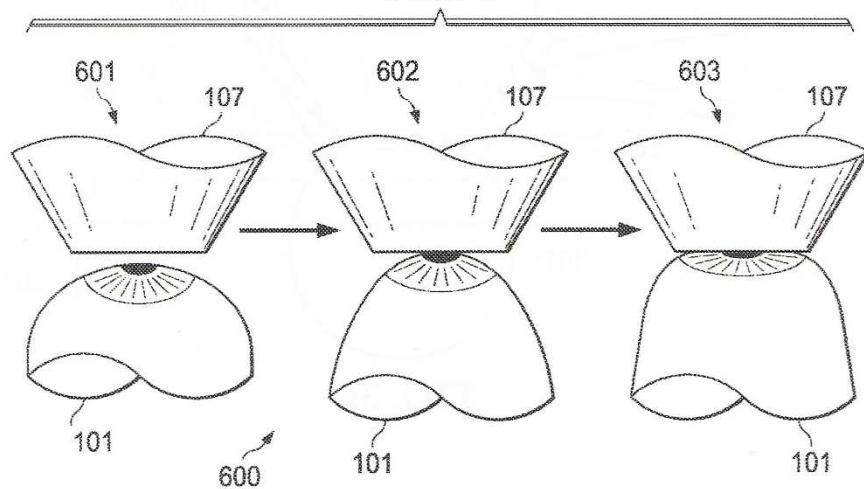


FIG. 6



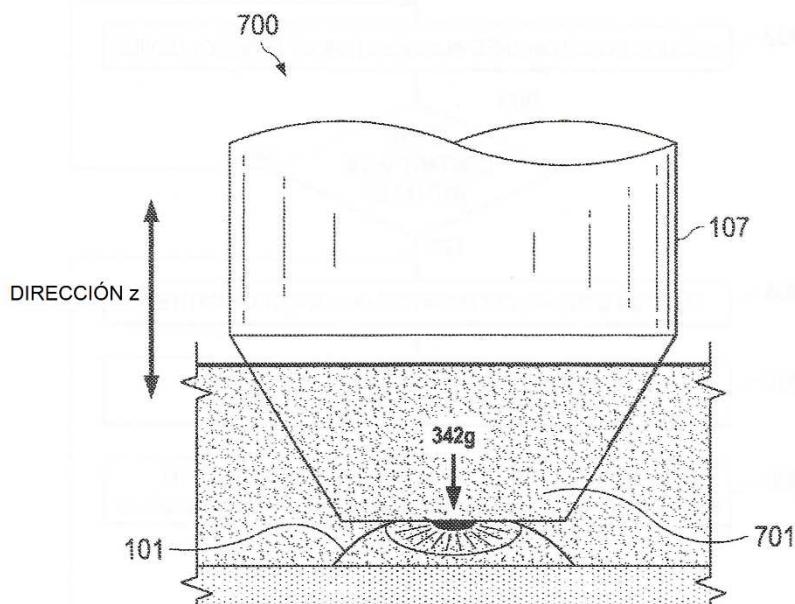


FIG. 7

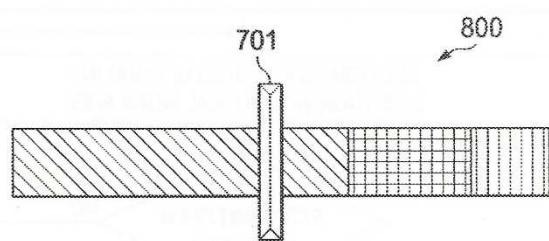


FIG. 8

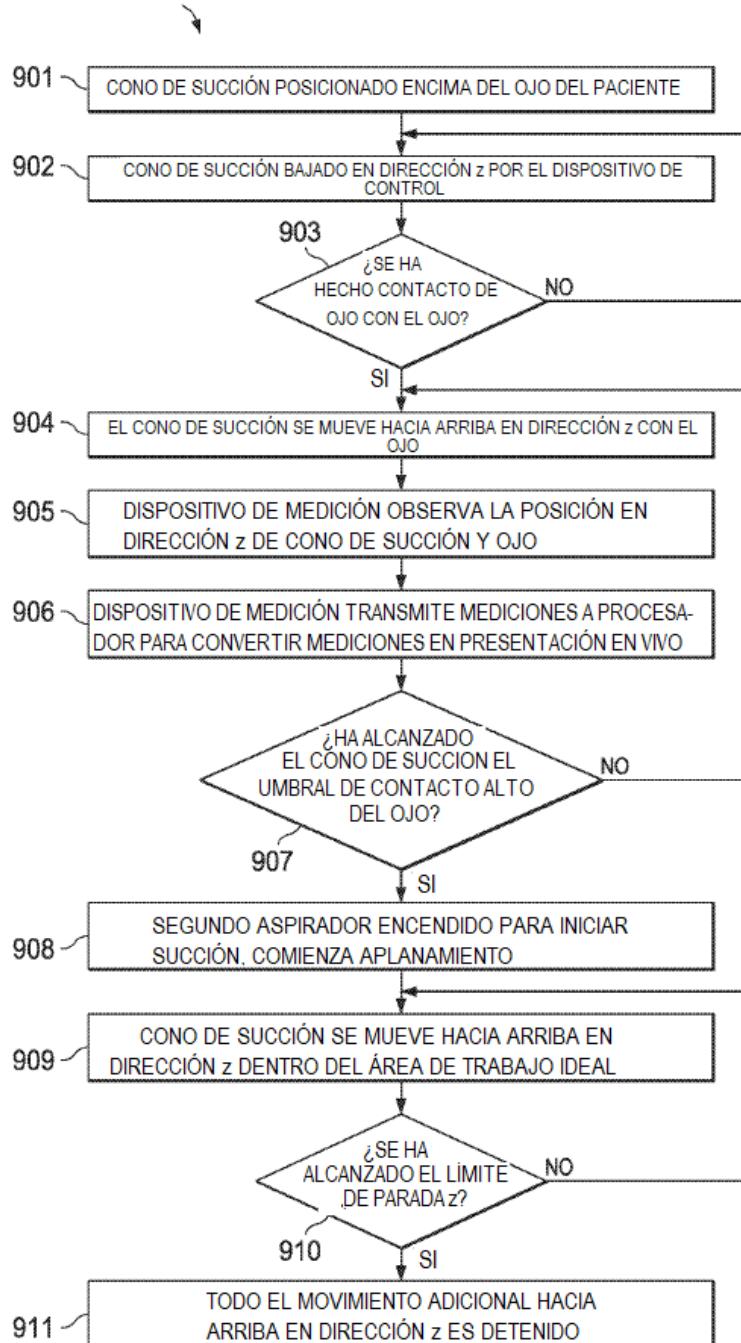


FIG. 9