

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 531 962**

51 Int. Cl.:

**G01B 11/06** (2006.01)

**G01B 9/02** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.02.2012** **E 12737875 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.01.2015** **EP 2681508**

54 Título: **Dispositivo para medir los espesores de objetos transparentes obtenidos en línea de producción automática**

30 Prioridad:

**28.02.2011 IT PI20110020**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**23.03.2015**

73 Titular/es:

**GERRESHEIMER PISA S.P.A. (100.0%)**  
**Via Montelungo, 4**  
**56122 Pisa, IT**

72 Inventor/es:

**FIORENTINI, LORENZO PAOLO DANTE**

74 Agente/Representante:

**LAHIDALGA DE CAREAGA, José Luis**

ES 2 531 962 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

## CAMPO DE LA INVENCION

5 La presente invención se refiere a la producción de objetos transparentes cuyo espesor ha de determinarse.

En particular, pero no exclusivamente, la invención se refiere a un dispositivo para medir los espesores de objetos transparentes obtenidos en línea de producción automática.

10 Incluso más en particular, la invención es aplicable a las líneas de producción de tubos de vidrio.

## ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15 La producción de objetos transparentes, en varias formas, desempeña una importante función con miras a las numerosas aplicaciones de dichos objetos. En algunos campos, se obtienen numerosos productos transparentes convirtiendo un producto de vidrio semi-acabado.

20 Una alta calidad de los productos de vidrio semi-acabados se suele desear que puedan conseguir características dimensionales particulares. Entre ellas, un parámetro muy pertinente es el espesor de sus paredes.

Entre los productos cuyos espesores han de controlarse con precisión existen los tubos de vidrio, que se producen continuamente en líneas de producción automáticas especiales.

25 La determinación de los espesores de los tubos de vidrio se utiliza, además, para obtener una medida indirecta del diámetro interior del tubo que es difícil, de cualquier otro modo, medirse en las líneas de producción por la dificultad de colocar elementos sensores de instrumentos de medida dentro del tubo.

30 Entre los numerosos artículos obtenidos a partir de un tubo de vidrio, a modo de ejemplo, pueden citarse los siguientes: recipientes utilizados en la industria farmacéutica tales como frascos, pequeñas botellas, carpules, jeringuillas así como dispositivos para laboratorios tales como probetas graduadas, pipetas, buretas, tubos refrigerantes, etc., adoptados en laboratorios químicos y también manguitos para tubos utilizados en los colectores solares.

35 En el campo industrial, los tubos de vidrio han de cumplir ajustes de calidad particulares y características dimensionales predeterminadas para permitir su uso en las líneas de producción de conversión.

40 Uno de los defectos que pueden afectar a la calidad del tubo de vidrio es una disuniformidad de su espesor, esto es, una no coaxialidad entre la superficie exterior y la superficie interior, con consecuencias negativas sobre la manejabilidad del producto final.

45 El proceso más común, práctico, preciso y flexible para obtener tubos de vidrio, con diámetros y espesores que cubran la mayor parte de las necesidades del mercado proporciona una etapa de modelado en caliente que se realiza flujo debajo de un horno en un sistema de producción automática que se puede desarrollar en una disposición angular o vertical.

Más concretamente, el sistema de producción que se desarrolla en una disposición angular consiste en un mandril hueco giratorio en el que un pico de vertido "*casting beak*" realiza el vertido de un flujo continuo de vidrio. A través de la zona rebajada se insufla aire, de tal manera que el extremo libre del mandril genera un tubo.

50 Como alternativa, la máquina que se desarrolla verticalmente está constituida por un orificio, realizado directamente en la parte inferior del canal de entrada del vidrio fundido. En el orificio está suspendida una "campana", normalmente no giratoria, que bloquea parcialmente el orificio y deja una hendidura circular a través de la que pasa la masa de vidrio fundido. De esta manera, el vidrio fundido es objeto de vertido a través del orificio deslizándose en el lado exterior de la campana y es todavía plástico con el fin de formar el tubo.

55 En ambos casos, el tubo es objeto luego de "extracción" por una máquina especial dispuesta a una determinada distancia (en donde la temperatura del tubo es bastante baja), al principio de un transportador constituido por rodillos prácticamente horizontales. El tamaño del tubo se controla automáticamente y se actúa continuamente sobre el caudal y la presión de aire y sobre la velocidad de tracción (línea de producción oblicua) o actuando sobre la temperatura de la zona de orificio (línea de producción vertical), dependiente del diámetro y del espesor determinado del tubo.

60 Se ha encontrado que el defecto de no concentricidad tiene más importancia para la línea de producción vertical, en donde es posible corregirlo bajo pequeños movimientos de la campana. El problema consiste en que la medición de la concentricidad se realiza normalmente "fuera de línea", esto es, cuando el tubo ha alcanzado ya el extremo de la línea y ha sido cortado, obteniendo así una medición en valor absoluto, pero perdiendo la información en la dirección

de la no concentricidad. Para obtener esta información, es necesario proporcionar, en el tubo medido, un signo en la referencia angular del orificio. En condiciones normales, la superficie del tubo está “marcada” con una pluma de material adecuado en una posición fija, la más cercana al orificio, de modo que la falta de concentricidad se refiera al sistema de referencia del orificio y a continuación, se determina la corrección de la posición de la campana.

Este procedimiento causa varios inconvenientes, entre los que el principal es la necesidad de depositar materias extrañas sobre el tubo de vidrio, con el riesgo de dejar residuos sobre los rodillos y sobre los numerosos dispositivos de transporte, causando también un alto riesgo de contaminación del producto, que se suele destinar al mercado de los productos farmacéuticos. Para evitar este riesgo, después de la etapa de marcado, todo el producto de vidrio del tubo marcado se rechaza y se desecha y puesto que el ajuste mediante marcado puede durar varias decenas de minutos, tiene lugar una gran pérdida de material, eficiencia así como costes y desperdicio de energía.

Además, la etapa afecta necesariamente a los equilibrios termo-mecánicos sobre los que se basa el proceso, con el efecto de medir el proceso en una forma transitoria en la que se realizan los ajustes, en lugar de un estado estable.

Por último, debido a la alta temperatura, la medición es crítica, limitando todavía más la precisión y la frecuencia en la que pueden realizarse.

Por lo tanto, es deseable medir los defectos de forma del tubo de vidrio inmediatamente flujo abajo de la etapa de formación, posiblemente por medio de una medición “sin contacto”, con el fin de intervenir en la etapa de formación inmediatamente flujo arriba de la etapa de medición en tiempo real y corregir el defecto, limitando al mínimo el desperdicio de producto y en particular, los riesgos de mala calidad del producto. De hecho, realizando una medición precisa del espesor del tubo, es posible ajustar la etapa de modelado del tubo para evitar defectos de espesores.

El documento de patente US2007/0242279 da a conocer un método y aparato para medir el espesor de la pared de probetas de vidrio utilizando la información espectral de la radiación de banda ancha reflejada, mientras que el documento US4822171 analiza la radiación de banda estrecha reflejada para determinar el espesor de la pared de objetos transparentes.

Entre los sistemas de medición de espesores conocidos de objetos transparentes, el sistema interferométrico es conocido que proporciona el envío de un haz de luz sobre el objeto transparente y recogiendo la radiación reflejada. Más concretamente, la reflexión se utilizan teniendo en cuenta que tanto la superficie exterior como la superficie interior producen una componente de luz reflejada, aun cuando sea de intensidad mínima (para el vidrio, cada componente de luz reflejada es aproximadamente un 4 % de la radiación incidente sobre la interfase). De este modo, el haz de luz reflejado se proporciona por el solapamiento de dos radiaciones reflejadas que tienen una amplitud del mismo orden de magnitud y estando dichas corrientes desfasadas entre sí, en correspondencia con un más largo recorrido realizado por la radiación reflejada a través de la superficie interior con respecto a la reflejada por la superficie externa. Dicho solapamiento causa fenómenos de interferencia, que pueden examinarse para determinar la diferencia de recorrido y luego, el espesor.

Este tipo de medición es común para calcular el espesor de una película delgada cuyo espesor es de hasta algunos micrones, pero para tecnologías de mayores espesores se requieren las funciones de recogida y control de la señal, con una mucho más alta precisión, y se necesita un aparato más avanzado y de alto coste.

Por este motivo, es necesario recoger la radiación reflejada en la manera más efectiva posible, con el fin de obtener una señal para calcular los espesores de objetos de vidrio, aproximadamente dos o tres órdenes de magnitud más gruesos con respecto a la película delgada.

Otros problemas adicionales, con respecto a las líneas de producción automáticas de tubo de vidrio, se deben al hecho de que el tubo de vidrio no está perfectamente estable, porque se desplaza con rapidez y luego, es objeto de movimientos y vibraciones, de modo que la radiación reflejada tiene una dirección variable y cuanto menor es el diámetro del tubo tanto mayor es la flexibilidad, causando mayor dificultad en la operación de recogida, de forma fiable, para análisis espectroscópico.

Por lo tanto, es deseable que la radiación reflejada recogida resulte mínimamente influida por una posible vibración o pequeño movimiento del tubo de vidrio o más normalmente, del objeto de vidrio cuyo espesor ha de determinarse y para recoger una señal de salida suficiente para realizar un análisis espectroscópico.

Otra consideración es que, si se aplica a un tubo de vidrio u otro objeto con superficie curvada que se invierte con un haz de luz, con el fin de determinar el espesor mediante análisis espectroscópico los sistemas de medición existentes pueden proporcionar los datos de espesores buscados solamente desde el lado de la pared incidida por el haz, esto es, que recibe la radiación incidente y recupera una radiación reflejada después de recogerse en el mismo lado del que procede el haz incidente. Para determinar el espesor de un número suficiente de puntos, es entonces necesario realizar más mediciones y luego predisponer varios instrumentos más altos para aumentar los puntos de medición del espesor. Lo que antecede da lugar a un aumento consiguiente de los costes y de los recursos necesarios.

Por lo tanto, es deseable determinar el espesor y en particular, su variación en varios puntos adecuados, con el fin de determinar cualesquiera defectos de forma, esto es, falta de coaxialidad entre la superficie interior y la superficie externa, sin un aumento de los costes.

## SUMARIO DE LA INVENCION

Es una característica de la presente invención dar a conocer un método para medir el espesor de una pared de un objeto transparente que hace posible obtener una medición precisa del espesor y no influida por vibraciones o pequeños movimientos del objeto mismo.

Es también una característica de la presente invención proporcionar un método para medir el espesor de una pared de un objeto transparente para determinar los espesores de los objetos, en particular, de los tubos de vidrio que son transportados a una alta velocidad sobre una línea de producción continua.

Es otra característica de la presente invención dar a conocer un método para medir el espesor de una pared de un objeto transparente, en particular, un tubo de vidrio, que permite determinar el espesor de varios puntos, con el fin de determinar un defecto de forma posible.

Otra característica de la presente invención es dar a conocer un método para medir el espesor para determinar, al mismo tiempo, el espesor de una pared proximal y de una pared distal en un tubo de vidrio.

Es también una característica de la presente invención dar a conocer un aparato de medición para determinar el espesor de una pared de un objeto transparente que consigue los mismos objetos.

Es también una característica de la presente invención dar a conocer un aparato de medición para determinar el espesor de una pared de un objeto transparente para instalarse en una línea de producción continua.

Es también una característica de la presente invención dar a conocer un aparato de medición para determinar el espesor de una pared de un objeto transparente que es estructuralmente de bajo coste y fácil de obtener.

Estos y otros objetos se consiguen, en un primer aspecto de la idea inventiva, mediante un método para medir el espesor de una pared de un objeto transparente, en particular, un objeto curvado, comprendiendo dicha pared: un material transparente, una interfase proximal entre el entorno y dicho material transparente y una interfase distal dispuesta entre dicho material transparente y dicho entorno en oposición a dicha interfase proximal, proporcionando dicho método las etapas de:

- predisponer una radiación de luz inicial;
- enfocar dicha radiación de luz inicial obteniendo una radiación de luz entrante dirigida hacia dicha pared de modo que dicha radiación de luz entrante:
  - incida sobre dicha interfase proximal de dicha pared,
  - sea, en parte, reflejada por dicha interfase proximal, con el fin de generar una primera radiación reflejada,
  - cruce, en parte, dicho material transparente incidiendo sobre dicha interfase distal y siendo reflejada, en parte, por dicha interfase distal;
  - cruce, en parte, en una dirección opuesta, después de la reflexión sobre dicha interfase distal, dicho material transparente con una nueva incidencia y cruce, dicha interfase proximal, con el fin de generar una segunda radiación reflejada;
- recoger una luz de salida global obtenida mediante solapamiento de dichas primera y segunda radiaciones reflejadas;
- analizar dicha radiación de luz saliente con métodos espectroscópicos y determinar el espesor de dicha pared en conformidad con las características de interferencia entre dichas primera y segunda radiaciones reflejadas, cuya característica es que dicha etapa de enfoque proporcione la obtención de dicha radiación de luz entrante por intermedio de medios de lentes no asimétricas que tienen dos meridianos principales, de modo que se enfoque dicha radiación de luz entrante sobre un primer foco virtual en un plano definido por un primer plano de meridiano y dicha dirección origen y sobre un segundo foco virtual en un plano definido por el segundo meridiano y dicha dirección origen.

En particular, dicha etapa de enfoque proporciona una entre las condiciones siguientes:

- dicho primero/segundo foco virtual está situado en una posición finita más allá de dicha pared y dicho segundo/primer foco virtual está situado prácticamente en dicha pared;
- dicho primero/segundo foco virtual está situado prácticamente en el infinito y dicho segundo/primer foco virtual está situado prácticamente en dicha pared;
- dicho primero/segundo foco virtual está situado prácticamente en el infinito y dicho segundo/primer foco virtual está situado en una posición finita más allá de dicha pared.

De este modo, se obtiene que la radiación recogida es prácticamente independiente de posibles movimientos de dicho objeto transparente y esta circunstancia permite una fiabilidad notable y solidez de la medición con respecto a las fluctuaciones y vibraciones de dicho objeto.

En particular, dicha etapa de recogida proporciona una etapa de enfoque de dicha radiación de luz saliente global, de modo que la fracción de luz recogida desde dicha radiación de luz saliente global tenga suficiente energía para permitir la determinación, por dicha etapa de análisis, del espesor de dicha pared.

En una forma de realización preferida, a modo de ejemplo, dicha etapa de recogida se efectúa por dicho medio de lentes que son objeto de incidencia por dicha radiación de luz saliente en una dirección que es opuesta a dicha dirección de origen. De este modo, el mismo medio de lentes no asimétricas funciona al mismo tiempo como un medio para enfocar la radiación entrante, dirigida hacia la pared del objeto y como un medio para enfocar la radiación existente reflejada desde la pared del objeto.

En una forma de realización preferida, dicha etapa de enfoque proporciona una etapa de ajuste de la posición de dicho medio de lentes no asimétricas para ajustar la posición de dicho primero y segundo foco virtual para obtener una de dichas condiciones de enfoque óptimo. De este modo, ajustando la posición del medio de lentes no asimétricas, en una de las condiciones de enfoque anteriormente descritas, es posible optimizar la etapa de recogida, en particular, de la energía de la radiación de luz saliente global y la calidad de la interferencia entre las primera y segunda radiaciones reflejadas. Lo que antecede hace posible optimizar, además, la siguiente etapa de análisis y luego, la precisión de la medición del espesor.

En particular, dicho objeto transparente es un tubo que tiene una pared tubular, en particular, cilíndrica, que comprende una superficie lateral y una superficie interior que define una zona rebajada tubular con un eje respectivo, incidiendo dicha radiación de luz entrante, en primer lugar, sobre una parte proximal tubular, con el fin de determinar el espesor de dicha parte proximal tubular en función de las características de interferencia entre dichas primera y segunda radiaciones reflejadas que salen desde dicha parte proximal tubular.

Si el objeto transparente cuyo espesor ha de medirse es un tubo, entonces, los meridianos principales son uno paralelo y el otro perpendicular al eje del tubo.

En una forma de realización preferida, dichas etapas de predisponer una radiación de luz inicial, de enfocar dicha radiación de luz inicial entrante obteniendo una radiación de luz entrante dirigida hacia dicha pared tubular, de recoger una radiación de luz saliente y de analizar dicha radiación de luz saliente se realiza para una pluralidad de diferentes puntos con el fin de medir para cada uno de dichos puntos el espesor de la parte proximal tubular que está dispuesta frontalmente hacia la respectiva radiación de luz entrante.

En particular, dicha pluralidad de puntos están giratoriamente espaciados alrededor de dicho tubo. De este modo, es posible medir el espesor del tubo de vidrio en más puntos angularmente distantes entre sí y luego, obtener la variación del espesor del tubo en una dirección circunferencial, detectando de esta manera los defectos de forma, a modo de ejemplo, la falta de concetricidad entre las superficies interna y externa laterales.

Como alternativa, o en combinación, dicha pluralidad de puntos están longitudinalmente espaciados entre sí a lo largo de dicho tubo. De este modo, es posible medir el espesor del tubo, al mismo tiempo, en más puntos longitudinalmente espaciados entre sí, para aumentar el número de puntos de medida. En particular, en caso de que el tubo gire alrededor de su propio eje y al mismo tiempo, avance en sentido longitudinal, es posible obtener la variación del espesor del tubo en una dirección circunferencial, detectando de esta manera los defectos de forma y su evolución durante el avance. La última solución debe proporcionar una cierta velocidad de avance del tubo con respecto a la rotación, con el fin de definir un desarrollo helicoidal, que dependen de la velocidad de avance y de la rotación del tubo alrededor de su propio eje, lo que es bastante distinto de la velocidad de avance del tubo durante la etapa de formación del tubo y luego, del correspondiente desarrollo de formación helicoidal. De este modo, proporcionando etapas diferenciadas es posible medir las diferencias de espesor puesto que los puntos de medida no se basan en el desarrollo helicoidal de formación del tubo.

Un así denominado mapeado de correspondencia exacta con más puntos en una dirección circunferencial del tubo,

que permite la determinación de un defecto de forma posible, puede utilizarse, a modo de ejemplo, para la puesta en fase de los defectos de forma en caso de que los extremos de dos tubos o parte de tubo estén frontalmente acoplados entre sí. De este modo, conociendo la forma de ambos extremos para su acoplamiento es posible orientarlos girándolos alrededor de su propio eje, con el fin de obtener una adaptación óptima que puede hacerse, en condiciones normales, por una operación de soldadura o de encolado de los extremos.

En particular, se da a conocer una etapa de control de la producción de dicho objeto transparente asociada con dicha etapa de análisis, de modo que, sobre la base del valor del espesor detectado, dicha etapa de control de la producción funcione y controle una etapa de modelado de dicho objeto, en particular, de dicho tubo de vidrio. De este modo, es posible corregir la etapa de modelado del tubo de vidrio en función del desplazamiento con respecto a un espesor predeterminado o en caso de que estén presentes defectos de forma.

Más en particular, dicha etapa de control de la producción de dicho objeto transparente asociada con dicha etapa de análisis, realiza el análisis y la correlación mutua de los espesores determinados para dicha pluralidad de puntos, de forma giratoria y/o longitudinalmente espaciados alrededor de dicho tubo y en la presencia de errores de espesor o defectos de forma del tubo, ajusta consecuentemente el proceso de modelado del vidrio. A modo de ejemplo, en caso de producción continua de un tubo de vidrio que proporciona un orificio de vertido dentro del que está dispuesto un elemento de modelado tubular, dicha etapa de control proporciona un control retrospectivo de la posición de dicho elemento de modelado del tubo.

En otra forma de realización preferida, en caso de dicho tubo, dicha radiación de luz entrante encuentra, una primera vez, dicha pared tubular en una parte proximal tubular, cruza parcialmente dicha parte proximal tubular de dicha pared tubular y entra en dicha zona rebajada tubular creando una segunda radiación entrante, con dicha segunda radiación saliente cruzando la zona rebajada y encontrando una parte distal tubular de dicha pared y se concentra de tal manera que:

- incida sobre una interfase proximal de dicha parte distal tubular,
- se refleja, en parte, por dicha interfase proximal de dicha parte distal tubular, con el fin de generar una tercera radiación reflejada,
- cruza, en parte, dicho material transparente de dicha pared incidiendo sobre una interfase distal de dicha parte distal tubular y se refleja, en parte, por dicha interfase distal;
- cruza, de nuevo, dicho material transparente de dicha pared incidiendo sobre dicha interfase proximal y cruza dicha interfase proximal generando una cuarta radiación reflejada;
- dichas tercera y cuarta radiación reflejada cruzan dicha zona rebajada y dicha parte proximal tubular generando una quinta y sexta radiaciones reflejadas que se solapan con dichas primera y segunda radiaciones reflejadas, de modo que dicha radiación de luz saliente global se obtenga mediante un solapamiento de dichas primera y segunda radiaciones reflejadas, así como dichas quinta y sexta radiaciones reflejadas y dicha etapa de análisis de dicha radiación de luz saliente global, con métodos espectroscópicos, está configurada para determinar, a la vez, los espesores de dicha pared proximal tubular y de dicha parte distal tubular de la pared en conformidad con las características de interferencias entre dichas primera, segunda, quinta y sexta radiaciones reflejadas.

De este modo, es posible determinar los espesores de la parte proximal y de la parte distal del tubo mediante una medida única. El valor de ambos espesores se determina seleccionando e identificando en la radiación saliente, esto es, en el espectro de interferencia entre las primera, segunda, quinta y sexta radiaciones reflejadas, los datos de espesores que detectan las partes proximal y distal.

En este caso, dicha etapa de concentración proporciona una de entre las condiciones siguientes:

- dicho primero/segundo foco virtual está situado prácticamente en dicha parte proximal tubular y dicho segundo/primer foco virtual está situado más allá de dicha pared distal y, en particular, prácticamente en el denominado infinito;
- dicho primero/segundo foco virtual está situado dentro de dicho tubo, esto es, más allá de dicha parte proximal tubular y antes de dicho eje, y dicho segundo/primer foco virtual está situado más allá de dicha pared distal y, en particular, prácticamente en el infinito;
- dicho primero/segundo foco virtual está situado dentro de dicho tubo, esto es, más allá de dicha parte proximal tubular y en dicho eje, y dicho segundo/primer foco virtual está situado más allá de dicha pared distal y, en particular, prácticamente en el infinito;
- dicho primero/segundo foco virtual está situado dentro de dicho tubo más allá de dicho eje y dicho segundo/primer foco virtual está situado más allá de dicha pared distal y, en particular, prácticamente en el

infinito;

- dicho primero/segundo foco virtual está situado prácticamente en dicha parte distal tubular y dicho segundo/primer foco virtual está situado más allá de dicha pared distal y, en particular, prácticamente en el infinito;
- dicho primero/segundo foco virtual está situado más allá de dicha parte distal tubular y dicho segundo/primer foco virtual está situado más allá de dicha pared distal y en particular, prácticamente en el infinito;
- dicho primero/segundo foco virtual está situado prácticamente en dicha parte proximal tubular y dicho segundo/primer foco virtual está situado prácticamente en dicha parte distal tubular.

De este modo, la radiación recogida contiene suficiente energía para determinar, por intermedio de dicha etapa de análisis, los espesores de la parte proximal tubular y de la parte distal tubular del tubo con una buena tasa de fiabilidad y solidez de la medición con respecto a las fluctuaciones y vibraciones de dicho tubo. De este modo, con la doble medición contemporánea de los espesores de la parte proximal tubular y de la parte distal tubular resulta posible obtener mediciones correspondientes de partes opuestas entre sí con respecto al eje del tubo para cada punto de aplicación de la radiación incidente y luego, un número doble de puntos de medición con un mismo instrumento de medida. En este caso, la etapa de ajustar la posición del medio de lentes no asimétricas puede ajustar la posición de dichos primero y segundo focos virtuales, con el fin de optimizar las características de interferencias entre la primera, segunda, quinta y sexta radiaciones reflejadas y la energía recogida para ellas. Más en particular, la etapa de ajustar la posición permite seleccionar las señales de interferencia relativas a la parte proximal tubular y a la parte distal tubular y distinguirlas entre sí. Dicho de otro modo, se obtiene un ajuste que tiende a mostrar las señales de interferencias entre las primera y segunda radiaciones reflejadas y entre las quinta y sexta radiaciones reflejadas.

En otro aspecto de la idea inventiva, se da a conocer un aparato de medida para medir el espesor de una pared de un objeto transparente, en particular, un objeto curvado, comprendiendo dicha pared: un material transparente, una interfase proximal dispuesta entre el entorno y dicho material transparente y una interfase distal dispuesta entre dicho material transparente y dicho entorno en posición opuesta a dicha interfase proximal,

comprendiendo dicho aparato:

- un medio para emitir una radiación de luz inicial;
- un medio para enfocar dicha radiación de luz inicial que está configurado para obtener una radiación de luz entrante dirigida hacia dicha pared de modo que dicha radiación de luz entrante:
  - incida sobre dicha interfase proximal de dicha pared,
  - se refleje, en parte, por dicha interfase proximal, con el fin de generar una primera radiación reflejada,
  - cruza, en parte, dicho material transparente incidiendo sobre dicha interfase distal y se refleja, en parte, por dicha interfase distal;
  - cruza, en parte, en una dirección opuesta, después de la reflexión sobre dicha interfase distal, en dicho material transparente incidiendo de nuevo y cruzando dicha interfase proximal, con el fin de generar una segunda radiación reflejada;
- un medio para la recogida de una luz saliente global obtenida por solapamiento de dichas primera y segunda radiaciones reflejadas;
- un medio para analizar dicha radiación de luz saliente con métodos espectroscópicos, con el fin de determinar el espesor de dicha pared en función de las características de interferencia entre dichas primera y segunda radiaciones reflejadas, cuyas características son que dicho medio para enfocar comprende un medio de lentes no axisimétrico para obtener dicha radiación de luz entrante, teniendo dicho medio de lentes no axisimétrico dos meridianos principales, de modo que dicha radiación de luz entrante esté enfocada sobre un primer foco virtual definido por un primer plano de meridiano en dicha dirección origen y sobre un segundo foco virtual definido por el segundo meridiano y por la dirección origen.

En particular, dicho medio para enfocar está configurado para obtener una entre las condiciones siguientes:

- dicho primero/segundo foco virtual está situado en una posición finita más allá de dicha pared y dicho segundo/primer foco virtual está situado prácticamente en dicha pared;
- dicho primero/segundo foco virtual está situado prácticamente en el denominado infinito y dicho

segundo/primerο foco virtual est situado prácticamente en dicha pared;

- dicho primero/segundo foco virtual est situado prácticamente en el infinito y dicho segundo/primerο foco virtual est situado en una posición finita más allá de dicha pared.

5 En particular, dicho medio para la recogida proporciona un medio para enfocar dicha radiación de luz saliente global, de modo que la energía de dicha radiación de luz saliente global haga posible optimizar las características de interferencia y para determinar, por dicho medio para analizar, el espesor de dicha pared.

10 En una forma de realización preferida, a modo de ejemplo, dicho medio para la recogida comprende dicho medio de lentes no axisimétrico que es objeto de incidencia por dicha radiación de luz saliente en una dirección que es opuesta a dicha dirección origen. De este modo, dicho medio para enfocar dicha radiación saliente y dicho medio para la recogida de dicha radiación saliente coinciden entre sí.

15 En una forma de realización preferida, dicho medio para emitir y dicho medio de lentes no axisimétrico estn conectados entre sí mediante un acoplamiento de fibra óptica, en particular, del tipo de modo nico.

En particular, dicho medio para la recogida y dicho medio para el análisis estn conectados entre sí por intermedio de un acoplamiento de fibra óptica, en particular, del tipo de modo nico.

20 Con una ventaja similar, dicho medio para la emisión y dicho medio para el análisis, están acoplados cada uno mediante fibras ópticas, estn alojados dentro de una misma unidad óptica central, provista de al menos un conector de fibra ptica.

25 En otra forma de realización preferida, dicho medio para la emisión y dicho medio para el análisis acoplados mediante fibras ópticas, estn conectados por un dispositivo de división de haz a una fibra óptica única que actúa, al mismo tiempo, como elemento acoplador de la radiación saliente para la radiación emitida por dicho medio para emitir y como dispositivo de acoplador de radiación entrante para dicho medio para analizar.

30 En una forma de realización preferida, dicho medio para enfocar y dicho medio para recoger la radiación, en particular coincidentes entre sí, íntegramente a los dispositivos de acoplamiento de fibra óptica, estn integrados en una sonda de detección provista al menos de un conector de fibra óptica en el modo nico.

35 En una forma de realización preferida, un medio de ajuste de la posición está provisto de dicho medio de lentes no axisimétrico para ajustar la posición de dichos primero y segundo focos virtuales para obtener una condición de enfoque óptimo.

40 Preferentemente, dicha sonda comprende un medio para detectar la distancia entre dicho medio para enfocar y dicho objeto, en particular, entre dicha sonda de detección y dicho objeto, estando dicho medio para detectar la distancia asociado con dicho medio de ajuste de la posición. De este modo, es posible ajustar, con más alta precisión, la distancia entre el medio de lentes y el objeto, en particular el tubo de vidrio, de tal manera que est configurado para ajustar el enfoque y para obtener una radiación de luz saliente con características de energía y de interferencia óptimas.

45 En particular, dicho objeto transparente es un tubo que tiene una pared tubular, en particular cilíndrica, que comprende una superficie lateral y una superficie interior que define una zona rebajada tubular con un eje respectivo y tiene al menos una sonda de detección dispuesta enfrentada hacia una parte proximal de dicho tubo, de modo que dicha radiación de luz entrante encuentre a dicha parte proximal tubular, con el fin de determinar el espesor de dicha parte proximal tubular en conformidad con las características de interferencia entre dichas primera y segunda radiaciones reflejadas.

50 En una forma de realización preferida, se da a conocer una pluralidad de sondas que est configurada para medir una pluralidad de puntos diferentes para poder medir, para cada uno de dichos puntos, el espesor de la respectiva parte proximal tubular. En particular, dicha pluralidad de puntos está rotacionalmente espaciada alrededor de dicho tubo. Como alternativa, o en combinación, dichos puntos estn longitudinalmente espaciados entre sí a lo largo de dicho tubo. De este modo, utilizando varias sondas de detección es posible medir defectos de forma del tubo de vidrio y parámetros de resistencia mecánica de la pared del mismo tubo.

60 Como alternativa, o en combinación, se da a conocer un medio para ajustar la posición relativa, de forma rotacional y/o longitudinal, de dicho tubo con respecto a dicha sonda de detección o a dicha pluralidad de sondas de detección, para obtener la medición del espesor de una pluralidad de puntos de medida diferentes.

65 En particular, dicha pluralidad de sondas est conectado a una unidad óptica central mediante un multiplexor óptico de modo que, dependiendo de una operación de división de tiempo, cada sonda, a su vez, reciba la radiación para el enfoque sobre la muestra y proporciona la radiación reflejada para su análisis, durante un tiempo adecuado para obtener una medida suficientemente exacta. De este modo, es posible emitir y analizar las señales que proceden de



varias sondas generadas por una unidad óptica central única, con notable ventaja sobre los costes de los aparatos correspondientes. Además, esta solución es ventajosa también con respecto al uso y en particular, con respecto al ajuste del instrumento, puesto que el resultado de la medida depende normalmente de las características del origen y mediante el analizador espectral, que son comunes para todas las sondas.

En particular, un medio se proporciona para controlar la producción de dicho objeto transparente asociado con dicho medio para su análisis, de modo que, sobre la base de un valor de espesor detectado, dicho medio de control de la producción opere el medio de modelado del producto, en particular, de dicho tubo de vidrio. De este modo, es posible ajustar la etapa de modelado del tubo de vidrio en función del desplazamiento con respecto a un espesor predeterminado.

Más en particular, dichos medios de control de la producción analizan y comparan los espesores determinados por dichas sondas para dicha pluralidad de puntos que están rotacional y/o longitudinalmente espaciados alrededor de dicho tubo y en la presencia de espesores o defectos de forma del tubo controlan consecuentemente el proceso de modelado del vidrio. A modo de ejemplo, para obtener un tubo de vidrio continuo, que proporcione un orificio de vertido en el que está dispuesto un elemento de modelado del tubo, con dicho medio de control estando configurado para realizar un control retrospectivo de la posición de dicho elemento de modelado del tubo.

En una forma de realización preferida, a modo de ejemplo, cada una de dichas sondas está configurada para medir los espesores de dicha parte proximal tubular y de dicha parte distal tubular opuesta a dicha parte proximal tubular, en conformidad con las etapas del método anterior. De este modo, bajo un mismo número de sondas dispuestas alrededor del tubo y la posible multiplicidad de puntos de medida obtenidos desplazando las sondas con respecto al tubo, se puede obtener un doblaje adicional del número de mediciones. De este modo, se pueden conseguir ahorros adicionales en el aparato de medición.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La invención se describirá a continuación con respecto a una de sus formas de realización, a modo de ejemplo, pero sin carácter limitativo, haciendo referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- La Figura 1 ilustra una vista diagramática de un aparato, según la invención, que comprende una sonda de detección óptica que está configurada para medir el espesor de una pared de un objeto transparente genérico, en particular, un objeto con superficie curvada, que comprende una fuente de luz, en adelante de forma diagramáticamente ilustrada como una lámpara de luz;
- La Figura 2 ilustra una vista en despiece de la sonda de detección óptica representada en la Figura 1, ilustrando los componentes para obtener un haz que entre directamente en la pared y para recibir una radiación reflejada desde la misma pared, en la Figura. Una primera forma de realización, a modo de ejemplo, se ilustra de un medio no axisimétrico para enfocar;
- La Figura 2A ilustra una vista diagramática de la etapa de enfocar una radiación de luz inicial lo que hace posible obtener una radiación de luz entrante dirigida hacia la pared cuyo espesor ha de medirse;
- La Figura 2B ilustra un diagrama de bloques que describe las fases principales seguidas por el algoritmo para calcular el espesor de la pared del objeto a partir de la señal reflejada detectada por la sonda óptica;
- La Figura 2C ilustra un diagrama funcional de la frecuencia o de la longitud de onda que se produce por el espectrómetro y se recoge por un dispositivo de adquisición de imagen adecuado;
- La Figura 2D ilustra un diagrama en relación con el tiempo que muestra un valor de interferencia máximo obtenido mediante un análisis numérico del diagrama representado en la Figura 2C, a partir del espesor que se obtiene de la pared del objeto;
- Las Figuras 3 y 3' ilustran, de forma diagramática, las posibles configuraciones de un denominado enfoque confocal mediante reflexión, con referencia a un meridiano de curvatura R;
- Las Figuras 3A a 3C ilustran, de forma diagramática, las configuraciones de enfoque de la fuente del haz de luz que incide sobre el objeto; en la Figura presente se ilustra una segunda forma de realización, a modo de ejemplo, de un medio no axisimétrico para enfocar;
- La Figura 4 ilustra una vista diagramática del aparato de medición para determinar el espesor del objeto representado en la Figura 1, que se aplica a la medición de al menos un punto del espesor de un tubo de vidrio;
- La Figura 5 ilustra una vista diagramática de una forma de realización, a modo de ejemplo, del aparato de medición para determinar el espesor, representado en la Figura 4, que comprende varias sondas de detección ópticas, con el fin de determinar el espesor de más puntos dispuestos de forma circunferencial en un tubo con lo

que se simplifica la reflexión doble sobre cada pared;

- La Figura 5A ilustra una vista en perspectiva del aparato de medición para determinar el espesor del dispositivo representado en la Figura 5, con varias sondas de detección dispuestas en una línea de avance continuo del tubo de vidrio;
- La Figura 6 ilustra una vista en despiece de la sonda de detección óptica y de la radiación que incide y se refleja para medir los espesores de una parte proximal tubular y de una parte distal tubular opuestas entre sí de un mismo tubo;
- La Figura 7 ilustra un diagrama respecto al tiempo que muestra un primero y un segundo valor de interferencia máxima a partir del que se obtienen los espesores de las partes proximal y distal tubulares del mismo tubo
- Las Figuras 8 a 8I ilustran de forma diagramática las configuraciones de enfoque de la fuente de radiación que incide sobre un tubo de vidrio que está configurado para determinar el espesor de una pared proximal y al mismo tiempo, los espesores de la pared proximal y de la pared distal del tubo;
- La Figura 9 ilustra una vista diagramática de una forma de realización, a modo de ejemplo, del aparato de medición para determinar el espesor representado en la Figura 7, que comprende dos sondas de detección óptica que miden cada una los espesores proximal y distal, con el fin de determinar el espesor del tubo de vidrio en cuatro puntos diferentes, con lo que se simplifican las reflexiones en cada pared;
- La Figura 10 ilustra una vista diagramática de un medio de programa de control que está asociado con el aparato para medir el espesor, con el fin de tener un control retrospectivo de los defectos de burbujas de aire en el tubo de vidrio;
- Las Figuras 11 y 11A ilustran una vista en sección transversal de un medio para modelar el tubo de vidrio asociado con el medio de control representado en la Figura 10;
- Las Figuras 12 y 12A ilustran, respectivamente, una comparación entre un tubo de vidrio con sección transversal fija y un tubo de vidrio que tiene un defecto de forma, en particular, un defecto de no concentricidad entre la superficie interior y la superficie exterior.

#### DESCRIPCIÓN DE UNA FORMA DE REALIZACIÓN PREFERIDA A MODO DE EJEMPLO

Haciendo referencia a la Figura 1, se ilustra un aparato de medición para determinar el espesor 100 de una pared 35 de un objeto transparente genérico 30, en particular, un objeto curvado, que está configurado para proporcionar un método de medición relativo. En particular, la pared 35 comprende un material transparente 35a dispuesto entre una interfase proximal 31, establecida entre un entorno 33 y un material transparente 35a y una interfase distal 32, establecida entre el material transparente 35a y el entorno 33.

Más en particular, el aparato de medición para determinar el espesor 100 comprende una fuente origen 1 de una radiación de luz inicial 2 en una dirección origen predeterminada 3 y un medio para enfocar 10 (Figura 2) la radiación de luz inicial 2, con el fin de obtener una radiación de luz entrante 5 dirigida hacia la pared 35.

La fuente origen 1 es, a modo de ejemplo, un diodo superluminiscente.

Más en particular, la radiación de luz inicial 2 se transmite a través de una fibra óptica 25, en particular una fibra óptica de modo único e incide sobre el medio de enfoque 10 (Figura 2) para poder obtener la radiación de luz entrante 5. Según se ilustra mejor en la Figura 2, la radiación de luz entrante 5 incide sobre la interfase proximal 31 de la pared 35 del objeto y se refleja, en parte, por la interfase proximal 31, con el fin de generar una primera radiación reflejada 6. Una parte importante de la radiación de luz entrante 5 se transmite 7, a través del material transparente 35a de la pared 35, incidiendo sobre la interfase distal 32 y se refleja, a su vez, 8 por la interfase distal 32. La radiación 7 genera, además, una radiación transmitida 7' que se transmite más allá de la interfase distal 32. En cambio, la radiación reflejada 8 cruza de nuevo el material transparente 35a de la pared 35 en una dirección opuesta que incide de nuevo y cruza la interfase proximal 31. Con el fin de generar una segunda radiación reflejada 9. Incluso en este caso, la radiación 8 que incide sobre la interfase proximal 31 genera una componente reflejada adicional 8'. A modo de ejemplo, en caso de un material como el vidrio, se obtiene que, a partir de una radiación de luz entrante 5 con intensidad igual al 100 %, la primera radiación reflejada 6 es probable que tenga una intensidad del 4 %, mientras que la componente transmitida 7 tiene una intensidad del 96 %. A su vez, la componente transmitida 7 se transmitirá de nuevo como 7' y se reflejará como 8, perdiendo una misma relación proporcional al 96 % de la intensidad de la radiación incidente. La radiación reflejada 8, que cruza de nuevo la interfase proximal 31 genera una segunda radiación reflejada 9 que es probable que tenga una intensidad de aproximadamente un 3,8 %. Es entonces la diferencia de intensidad de la primera radiación reflejada 6 y la segunda radiación reflejada 9 la que proporciona una buena tasa de interferencia, que permite la determinación del espesor de la pared 35 según se describe a continuación.

Además, el aparato de medición para determinar el espesor 100 comprende un medio de recogida 40 para recoger una radiación de luz saliente global 15 con el solapamiento de la primera radiación reflejada 6 y de la segunda radiación reflejada 9 y un medio para analizar 50 (Figura 1) la radiación de luz saliente 15 con métodos espectroscópicos, con el fin de determinar el espesor de la pared 35 en conformidad con las características de interferencia entre la primera 6 y la segunda 9 radiación reflejada, según se describe a continuación en detalle.

Más concretamente, los medios de recogida 40 pueden comprender un medio para enfocar la radiación de luz saliente global 15, de modo que la fracción de luz recogida desde la radiación de luz saliente global 15 tenga suficiente potencia para determinar, por medio del análisis, el espesor de la pared 35. En la forma de realización preferida, a modo de ejemplo, representada en la Figura 2, el medio de recogida comprende un medio de lentes 10 que es objeto de incidencia por la radiación de luz saliente 15 en una dirección que es opuesta a la dirección de la fuente origen 3. De este modo, el mismo medio de lentes no axisimétrico 10 puede operar al mismo tiempo como un medio para enfocar la radiación saliente 5, dirigida hacia la pared 35 del objeto 30 y como un medio 10 para enfocar la radiación de luz saliente 15 que procede de la pared 35 del objeto. El mismo medio de lentes 10 puede utilizarse en cualquier de las dos direcciones, si la radiación de luz saliente 15 retorna hacia el medio de recogida 40 divergiendo con la misma curvatura que la radiación de luz entrante convergente 5. Dicha condición, denominada "confocalidad mediante reflexión" ha de considerarse por separado para cada componente reflejada 6 y 9 (véase más adelante, 17 y 18). En particular, las interfases respectivas 31 y 32 (similares en adelante 301a y 301b, 302a y 302b) son prácticamente paralelas (en parejas) y definen entonces una pared (para cada par de interfases), cuya distancia desde la sonda es mucho más alta que el espesor  $s$  de la pared 35 y puede considerarse entonces como "confocalidad por reflexión" con referencia a cada pared, según se describe a continuación con más detalle.

Por lo tanto, según se ilustra diagramáticamente en la Figura 2A, para enfocar la radiación de luz inicial 2, puede proporcionarse un medio de lentes no simétricas con el eje 10 para preparar la radiación de luz entrante 5. En particular, la radiación de luz inicial 2 a la salida de la fibra óptica 25 es divergente e incide sobre una primera lente 11, con el fin de obtener una radiación prácticamente colimada 2a que incide, a su vez, sobre el medio de lentes no axisimétrico 10.

Más en detalle, el medio de lentes no axisimétrico 10 tienen dos planos de meridiano principales 10a, 10b ortogonales entre sí, de modo que la radiación de luz entrante 2a esté enfocada sobre un primer foco virtual  $F_1$  en el primer plano de meridiano 10a y sobre un segundo foco virtual  $F_2$  en un segundo plano de meridiano 10b. Con frecuencia, también el objeto que ha de medirse tiene una curvatura no simétrica con el eje a nivel local, tal como en el caso de una superficie de revolución, en particular un tubo o un recipiente para uso farmacéutico. En este caso, también se definen planos de meridianos y el sistema de enfoque está preferentemente orientado, con el fin de hacer que los planos de meridiano de los medios de lentes 10 coincidan con los del objeto 30, con el fin de referirse en lo sucesivo como planos de meridianos 10a y 10b como el medio para enfocar o para la pared 35 del objeto, sin referirse a nivel de ellos sin confusión. De este modo, se obtiene que la radiación reflejada 15 es prácticamente independiente de los posibles movimientos del objeto transparente 30 y ello permite una fiabilidad notable y solidez de la medición con respecto a fluctuaciones y vibraciones del objeto 30, según se explica a continuación en detalle.

En particular, según se ilustra en las Figuras 3 y 3', se puede obtener la denominada "confocalidad por reflexión" con independencia de la referencia a cualquiera de los dos planos de meridianos 10a, 10b, obteniendo las configuraciones mono-optimal o bi-optimal dependiendo de si se obtiene, o no, la condición en uno o ambos planos de meridianos 10a, 10b, según se describe a continuación en detalle.

En cada plano de meridiano 10a, 10b puede obtenerse la reflexión confocal en dos maneras: enfocando la radiación de luz entrante 5 en la pared (Figura 3) o cerca del centro de curvatura C de la pared 35 (Figura 3').

Con un objeto genérico con radio de curvatura diferente de los dos planos de meridianos, solamente la configuración bi-optimal enfocada sobre la superficie puede obtenerse utilizando un medio de lente axisimétrica. Para todas las demás combinaciones, es normalmente necesario utilizar un sistema de enfoque con diferentes longitudes focales en los dos planos de meridianos, esto es, astigmáticos, normalmente obtenibles por una lente no axisimétrica 10.

Por medio de pruebas prácticas, puede demostrarse que no es necesario normalmente utilizar configuraciones de enfoque bi-optimal. Lo que antecede demuestra, de hecho, una alta eficiencia energética (alta intensidad de la señal de retorno) pero también una baja solidez para desalineaciones o vibraciones. Por el contrario, las configuraciones que incluso sólo aproximadamente son mono-optimal permiten obtener una eficiencia energética suficiente, aun cuando aumente la potencia de la fuente de origen, obteniendo una alta solidez operativa con respecto a desalineaciones del sistema. Más concretamente, la condición de confocalidad no se requiere para reflexiones relativas al meridiano a lo largo del que son posibles desalineaciones.

En las Figuras 3A a 3C, se muestran, de forma diagramática, diferentes soluciones de enfocar la fuente de radiación obtenida 5 dependiendo de las condiciones de operabilidad de la línea de producción en la que está dispuesto el aparato, de la clase de objeto 30 cuyo espesor ha de medirse y de la clase de material transparente o vidrio, etc.

En una primera condición de enfoque, según se ilustra en la Figura 3, la lente 10 causa que la radiación sea convergente en un primer foco virtual  $F_1$  prácticamente en la pared 35 y en un segundo foco virtual  $F_2$  en una posición finita más allá de la pared 35. Dicha configuración, puede obtenerse, a modo de ejemplo, combinando dos lentes cilíndricas 12, 13, giradas en un ángulo de  $90^\circ$  con respecto entre sí.

Es de utilidad especificar que la representación de los puntos de enfoque  $F_1$ ,  $F_2$  es meramente diagramática e ideal y no muestra la deflexión a la que está sujeta la radiación de luz entrante 5 en el movimiento de las diversas interfases del material transparente. De hecho, en cada plano de meridiano 10a, 10b, para obtener que la radiación de luz entrante 5 sea enfocada en un punto más allá de la pared 35, la radiación de luz entrante 5 ha de converger hacia un punto que esté situado a una distancia ligeramente menor (o mayor) con respecto al punto real de enfoque, puesto que la pared puede actuar como una lente divergente (o convergente) y para alejar (o acercar) el foco efectivo.

En una segunda condición, el primer foco virtual  $F_1$  está situado prácticamente en la pared 35 y el segundo foco virtual  $F_2$  está situado prácticamente en el infinito óptico (Figura 3A). En este caso, el foco  $F_1$  puede situarse cerca de la pared 35 o dentro de su espesor. Más en particular, el margen de profundidad del foco, en torno a esta posición del foco  $F_2$ , tiene una amplitud de aproximadamente  $\pm 4$  mm, esto es, el foco  $F_2$  puede situarse hasta 4 mm antes o después de la pared 35.

En una tercera condición, se obtiene una rotación de ambas lentes 22, 23 de un ángulo de  $90^\circ$  alrededor de su eje y preferentemente, en aproximación del objeto 30, el primer foco virtual  $F_1$  está situado prácticamente en el infinito y el segundo foco virtual  $F_2$  está situado en una posición finita más allá de la pared 35, más allá de dicho margen de profundidad, en particular, en el centro de curvatura de la pared definida por el segundo plano de meridiano 10b (Figura 3B). En la Figura 3B, los radios de curvatura  $R_1$ ,  $R_2$  de la pared 35 del objeto 30 son indicados.

La conformidad obtenida por la Figura 3B acortando la distancia focal desde el infinito a una posición finita (Figura 3C) muestra ventajas similares respecto a la solidez a las vibraciones, pero con más alta intensidad de la señal de retorno.

En particular, las configuraciones descritas en las Figuras 3B y 3C se obtienen simplemente ajustando la distancia del medio de lentes 10 con respecto al objeto 30, con el fin de sustituir el punto en donde está situado el foco virtual  $F_1$ . Dichas configuraciones se obtienen girando un ángulo de  $90^\circ$  las lentes 22, 23 alrededor del eje óptico.

Las lentes 22, 23 son, además, ajustables en posición una respecto a la otra.

En los casos que anteceden, según se describió con anterioridad, es posible utilizar una lente única o un conjunto de lentes 22, 23 en donde al menos una lente sea no axisimétrica, esto es, astigmática, siendo la obtención de la radiación recogida 15 prácticamente independiente de los posibles movimientos del objeto transparente 30 y esto permite obtener una fiabilidad notable y una precisión en la medición en una línea de producción continua. En particular, se obtiene que la radiación saliente reflejada 15, dada por las radiaciones reflejadas 6 y 9, solapadas con la pared 35 del objeto, es de intensidad suficiente para ser analizada por medio de espectroscopia, con el fin de determinar el espesor de la pared 35 misma.

Desde el punto de vista estructural, según se ilustra en la Figura 2, la fibra óptica 25, el objetivo 11 y la lente no asimétrica respecto al eje 10 junto con el medio de recogida 40 para la radiación saliente 15 están integrados en una sonda de detección 20 provista de al menos el conector de fibra óptica en el modo único 21 (Figura 2A). De este modo, la fibra óptica 25 conecta la fuente de origen 1 con la sonda de detección 20 (ruta óptica 26) y por el contrario, conecta la sonda de detección 20 con el medio para el análisis 50 (ruta óptica 27).

En una forma de realización preferida, el medio de lentes 10, 11 según se ilustra diagramáticamente en la Figura 3, está asociada con el medio de ajuste de la posición 90 que está configurado para ajustar la posición del primer foco virtual  $F_1$  y del segundo foco virtual  $F_2$  para obtener una de las condiciones anteriormente descritas de enfoque óptico. De este modo, ajustando la posición del medio de lentes 10, 11 es posible optimizar la fracción de radiación de luz saliente 15 que se recoge por el medio 40. Lo que antecede permite, además, optimizar las características de interferencia entre la primera 6 y la segunda 9 radiación reflejada y la siguiente etapa de análisis y luego, obtener una mejor precisión en la medición del espesor de la pared 35.

La sonda 20 comprende, además, un medio para detectar la distancia 180, a modo de ejemplo, un sensor pulsatorio ultrasónico (Figura 2), que determina la distancia entre el medio para enfocar 10 y el objeto 30, asociado con el medio de ajuste de la posición 90 (Figuras 3A y 8). De este modo, es posible ajustar, con más alta precisión, la distancia entre la sonda 20 y el objeto 30, en particular el tubo de vidrio, con el fin de ajustar el enfoque y para obtener una radiación de luz saliente 15 con características de interferencias óptimas.

Todavía más en particular, la fuente de origen 1 y el medio para el análisis 50 están conectados a una misma fibra óptica 25 por intermedio de un dispositivo de división de haz 49, que actúa, al mismo tiempo, como acoplador de radiación saliente para la radiación emitida por la fuente de origen 1, a lo largo de la ruta óptica 26 y como acoplador

de radiación entrante para el medio de análisis 50, a lo largo de la ruta óptica 27. Por lo tanto, la radiación saliente 15 reflejada por la pared 35 cruza el medio de lente 10 y la fibra óptica 25 conectada al medio para el análisis 50 opuestos entre sí. Como una ventaja adicional, la fuente de origen 1 y el medio para el análisis 50, acoplados cada uno mediante fibras ópticas, están alojados dentro de la misma unidad óptica central 200 (Figura 1).

De este modo, la radiación reflejada, dada por la primera 6 y la segunda 9 radiaciones reflejadas solapadas con la pared 35, se transmiten en la fibra óptica 25 en direcciones opuestas hasta alcanzar el dispositivo de división de haz 49 o el divisor de haz, que efectúa una desviación para generar una señal óptica que pasa a través de la ruta óptica 27, hacia el medio para análisis 50. La señal óptica en la ruta óptica 27 pasa a través de un analizador espectral 46, a modo de ejemplo, del tipo de rejilla y genera en un dispositivo de adquisición de imagen adecuado, a modo de ejemplo, CCD, un espectro del tipo denominado en peine 53 (Figura 2C) con bandas de interferencias espaciadas entre sí según una distancia  $\Delta\lambda$  inversamente proporcional al retardo espacial  $2sn$  de la radiación 9 con respecto a la radiación 6, que inciden respectivamente en la primera 31 y en la segunda 32 interfase de la pared 35. Más en particular, la tendencia de intensidad (Figura 2C') de este espectro representa la densidad espectral de la potencia óptica sensible a la longitud de onda o a la frecuencia de la radiación (Figura 2C') y presenta máximos alternados equidistantes con precisión con la velocidad de avance ( $\Delta\lambda$  o  $\Delta f$ ):

$$\Delta\lambda = -\frac{\lambda_0^2}{2sn} \quad \text{or} \quad \Delta f = \frac{c_0}{2sn}$$

en donde  $\lambda_0$  es la longitud de onda de la fuente de luz;

$n$  es el índice de refracción del material transparente;

$s$  es el espesor de la pared 35 del objeto 30;

$c_0$  es la velocidad de la luz.

La tendencia de la Figura 2C' se analiza, a su vez, de forma numérica, a modo de ejemplo por medio de la denominada Transformada de Fourier Discreta (DFT), obteniendo un diagrama respecto al tiempo (Figura 2D) que muestra, entre otras características un valor máximo 15a cuya abscisa se refiere directamente al opuesto a la velocidad de avance del espectro 53 de la Figura 2C, que es directamente proporcional al retardo espacial  $2ns$ .

En la fórmula

$$\Delta t = 1 / \Delta f = \frac{2s}{c_0 / n}$$

el tiempo de retardo  $\Delta t$  se define en correspondencia con dicho retardo espacial  $2ns$  y a partir de dicho valor, conociendo el índice de refracción  $n$  del material, se obtiene el espesor  $s$ .

Más en general, en conformidad con el diagrama de bloques de la Figura 2B, mediante el espectro tipo peine 53, se obtiene una señal de salida 55 que se calcula por un microprocesador 60 que realiza un algoritmo predeterminado. En particular, el algoritmo ejecuta la denominada Transformada de Fourier Discreta, antes descrita, en el espectro tipo peine 53 que le asocia con algunos parámetros de entrada 62. Dichos parámetros 62 son relativos principalmente al índice de refracción  $n$ , a la geometría del objeto 30 así como a la longitud de onda del haz incidente de luz, al ángulo de incidencia, normalmente ortogonal, etc.

El microprocesador 60 proporciona, a la salida, un valor 65 que puede mostrarse en una pantalla 80, que representa el espesor  $s$  de la pared 35 del objeto transparente 30.

Según se ilustra en la Figura 4, en una aplicación particular del aparato de medición del espesor 11, el objeto transparente es un tubo 300, a modo de ejemplo, un tubo de vidrio, con una pared tubular 350, en particular cilíndrica, que comprende una superficie lateral 301 y una superficie interior 302, que define una zona rebajada tubular 303 con un eje longitudinal respectivo O. De este modo, la radiación de luz entrante encuentra, en primer lugar, una parte proximal tubular 300a, para poder determinar el espesor de la misma en conformidad con las características de interferencia entre la primera 6 y la segunda 9 radiaciones reflejadas por la parte proximal tubular 300a. En este caso, en una forma no ilustrada, los meridianos principales son uno paralelo y el otro perpendicular al eje O del tubo 300.

En una forma de realización posible, a modo de ejemplo, en el aparato 100, según se ilustra en la Figura 5, se proporciona una pluralidad de sondas, en particular cuatro sondas de detección óptica 20a, 20b, 20c y 20d que están configuradas para medir una pluralidad de diferentes puntos, con el fin de medir para cada punto el espesor de la respectiva parte proximal tubular 300a. En particular, la pluralidad de puntos está rotacionalmente espaciados entre sí alrededor del tubo 300. De este modo, es posible medir el espesor del tubo de vidrio en más puntos angularmente distantes entre sí y luego, obtener el perfil de espesor del tubo en una dirección circunferencial, detectando de este modo cualesquiera defectos de forma, a modo de ejemplo, falta de concentricidad entre la superficie interior 302 y la superficie externa 301.

Como alternativa, o en combinación, en una forma no ilustrada, la pluralidad de puntos de medida están longitudinalmente espaciados entre sí a lo largo del tubo 300. De este modo, es posible medir el espesor del tubo al mismo tiempo en más puntos S longitudinalmente espaciados entre sí, para aumentar el número de puntos de medida.

Como alternativa, o en combinación, es posible obtener una multiplicidad de puntos de medida en instantes consecutivos, utilizando el movimiento de traslación o de rotación impuesto al objeto 30 o al tubo 300 por un sistema transportador o por las máquinas de la propia línea de producción, según se ilustra en las Figuras 5A a 5C. De este modo, es posible controlar, a modo de ejemplo, el espesor de una extremidad de un frasco en el campo farmacéutico, incluso después de haberse llenado. Más en particular, cada sonda de detección tiene respectivas fibras ópticas, en particular cuatro 25a, 25b, 25c y 25d que sirven, según se describió con anterioridad, para enviar la radiación saliente 5 y para recoger la radiación saliente 15, con el fin de obtener señales ópticas 27a, 27b, 27c y 27d. En particular, las sondas 20a, 20b, 20c y 20d están conectadas a la unidad óptica central 200 mediante un multiplexor óptico 70 de modo que, en conformidad con una operación de división de tiempo, cada sonda, a su vez, recibe la radiación 5 para su enfoque en el tubo 300 y proporciona la radiación reflejada para analizar 27a, 27b, 27c y 27d al medio para análisis 50, recorriendo una misma ruta óptica 29, durante un tiempo adecuado, para obtener una medición suficientemente exacta. De este modo, es posible emitir y analizar las señales procedentes de varias sondas generadas por una unidad óptica central única con ventaja notable sobre los costes del aparato. Además, esta solución es ventajosa también con respecto al uso y, en particular, el ajuste del instrumento, puesto que el resultado de la medida depende normalmente de las características de la fuente origen y por el analizador espectral, que son comunes a todas las sondas.

Dicha solución permite medir los espesores de las paredes de un tubo 300 en una multiplicidad de puntos, en particular cuatro, diferentes entre sí. Las respectivas señales de salida 55a, 55b, 55c y 55d pueden obtenerse por el medio para análisis 50 y calcularse aplicando el algoritmo 60, con el fin de obtener las correspondientes señales de espesores 65a, 65b, 65c y 65d.

Dicha configuración permite, además, comparar entre sí los valores de los espesores de las partes proximal 300a de cada sonda 20a, 20b, 20c y 20d para medir un defecto de forma posible del tubo de vidrio 300 debido, a modo de ejemplo, por la falta de concentricidad entre la pared interior 302 y la pared externa 301. Lo que antecede da lugar, de hecho, a que al medir el espesor de la pared del tubo en al menos tres puntos rotacionalmente espaciados entre sí alrededor del tubo 300, es posible determinar un posible defecto de forma, en particular de falta de concentricidad entre la superficie interior y la superficie externa del propio tubo. Aumentando el número de puntos de medida a lo largo de la circunferencia, es posible aumentar la precisión de la medición y en consecuencia, la fiabilidad de la siguiente etapa de control retrospectivo de la producción.

En otra forma de realización, a modo de ejemplo, ilustrada en la Figura 6, cada sonda 20 está configurada para medir el espesor del tubo 300 con el fin de medir el espesor de la parte proximal tubular 300a y de una parte distal tubular 300b en posición opuesta a la parte proximal tubular 300a. En este caso, la radiación de luz entrante 5 encuentra, por primera vez, una primera pared tubular 350 en una parte proximal tubular 300a, cruza, en parte, la parte proximal tubular 300a y entra en la zona rebajada tubular 303 dando lugar a una segunda radiación saliente 7'. La segunda radiación saliente 7' cruza la zona rebajada 303 y encuentra una parte distal tubular 300b de la pared 350, incide luego sobre una interfase proximal 302a de la parte distal tubular 300b, se refleja en parte por la interfase proximal 302a, con el fin de generar una radiación reflejada y para cruzar, en 13, en parte, el material transparente de la pared incidiendo sobre una interfase distal 302b de la parte distal tubular 300b. De modo similar, la radiación 13 se refleja, en parte, por la interfase distal 302b, generando la radiación 14 que cruza de nuevo el material transparente de la pared 350 incidiendo, de nuevo, sobre la interfase proximal 302a y la cruza generando una cuarta radiación reflejada 16.

Las tercera 12 y la cuarta 16 radiaciones reflejadas cruzan de nuevo la zona rebajada 303 y la parte proximal tubular 300a generando una quinta 17 y sexta 18 radiaciones reflejadas que se solapan a las primera 6 y segunda 9 radiaciones. En la descripción, reflexiones adicionales que tienen lugar en la interfase proximal 301a y la interfase distal 310b de la pared proximal se omiten en la descripción, produciéndose dichas reflexiones con el mismo principio de las reflexiones descritas para el objeto 30 en la Figura 2. En particular, las quinta 17 y sexta 18 radiaciones reflejadas se derivan de las radiaciones 12' y 16' que cruzan de nuevo el material transparente de la parte proximal tubular 300a. En este caso, la radiación de luz saliente 15' se obtiene mediante un solapamiento de las primera 6 y segunda 9 radiaciones reflejadas así como de la quinta 17 y sexta 18 radiaciones reflejadas.

El medio para análisis 50 está configurado en este caso, para analizar con métodos espectroscópicos la radiación de luz saliente 15' para determinar el espesor de la parte proximal tubular 300a y de la parte distal tubular 300b en conformidad con las características o modo de interferencia entre las primera 6, la segunda 9, la quinta 16 y la sexta 17 radiaciones reflejadas. De este modo, es posible obtener la medición del espesor de más puntos bajo las mismas sondas utilizadas.

En particular, por la presencia del segundo par de radiaciones reflejadas 17 y 18, que interfieren entre sí, la etapa de cálculo del espesor anteriormente descrita en las Figuras 2C y 2D se cambian según se ilustra en las Figuras 7A y 7B.

La señal de ruta óptica 27, procesada por un analizador de espectros 46, genera un espectro de tipo peine con señales de tipo latido 53' (Figura 7A). La respectiva tendencia de intensidad, dependiente de la frecuencia, muestra una alternancia de picos y valles espaciados con precisión entre sí, con un perfil de amplitud modulada (Figura 7A). Este es el resultado del solapamiento de dos espectros tipo peine con anchuras comparables y espaciamientos  $\Delta\lambda_0$  o  $\Delta f$  ligeramente distintos entre sí, debido respectivamente a la interferencia, a los pares entre las primera 6 y segunda 9 y las quinta 17 y la sexta 18 radiaciones reflejadas, respectivamente, en correspondencia con los espesores  $s_1$  y  $s_2$  de las partes proximal 300a y distal 300b tubulares, en conformidad con los mismos algoritmos anteriores.

Mediante un análisis numérico adecuado, a modo de ejemplo, por medio de la denominada Transformada de Fourier Discreta (DFT), es posible obtener una tendencia con el tiempo según se ilustra en la Figura 7B, que tiene dos picos 15a, 15a', cuyas abscisas representan, en conformidad con las mismas proporcionalidades anteriormente definidas, los espesores de las dos partes, proximal 300a y distal 300b.

Puesto que la altura, o más en general, el área, de los dos picos 15a y 15a' son dependientes de la intensidad de la luz recogida por reflexión desde las dos partes tubulares, proximal 300a y distal 300b y de la tasa de interferencia obtenida para cada par de radiaciones reflejadas (6 y 9 para proximal, 17 y 18 para distal), es posible utilizar esta información para discriminar las mediciones de espesores  $s_1$  y  $s_2$ , esto es, asociándolas correctamente a las dos partes tubulares proximal 300a y distal 300b.

De este modo, mediante la elección de la configuración de enfoque o del ajuste de la distancia entre la lente y el objeto, es posible ajustar la intensidad relativa y la calidad de la interferencia de las radiaciones reflejadas 6 y 9 con respecto a las radiaciones 17 y 18, con el fin de obtener no solamente la medición de espesores  $s_1$  y  $s_2$ , sino también su asociación correcta a las partes proximal 300a y distal 300b.

Más en general, el microprocesador 60 ejecuta el algoritmo de la Figura 2B, con el fin de comprobar no solamente un valor máximo único sino más de uno y para extraer las mediciones de ambos espesores  $s_1$  y  $s_2$ , asociándolos correctamente a las partes respectivas medidas, utilizando algunos parámetros de entrada 62; en este caso, comprendiendo también la información de qué parte ha de asociarse con el par de interferencia más intensa.

A la salida del microprocesador 60, se obtienen dos valores XX y YY, que pueden mostrarse en una pantalla 80, que indican los espesores  $s_1$  y  $s_2$  de la pared proximal 300a y de la pared distal 300b del tubo transparente 300. De este modo, es posible medir el espesor  $s$  del tubo de vidrio 300 en ambos puntos del tubo que están situados en el eje óptico de la sonda.

También en este caso, según se ilustra en las Figuras 8 a 8I, la etapa de enfoque proporciona diferentes soluciones, con el fin de obtener una intensidad adecuada y una calidad de interferencia también adecuada, no muy influida por las vibraciones y/o desalineaciones del tubo, consiguiendo una precisión de las dos mediciones de los espesores así como capaz de distinguir entre las dos mediciones, esto es, de asociarlas correctamente a la parte correcta de la pared (proximal y distal).

En condiciones normales, para obtener una buena eficiencia de recogida de la radiación reflejada desde ambas partes tubulares, parte proximal 300a y parte distal 300b, es de utilidad considerar las configuraciones de enfoque que son confocales para reflexión sobre ambas superficies de las partes tubulares. En particular, para preservar la solidez ante las desalineaciones y vibraciones, se consideran a continuación diferentes configuraciones mono-óptimal, que pueden obtenerse en diferentes formas (enfocando cerca de la pared o cerca del centro de curvatura) en los dos planos de meridianos 10a, 10b y para dos partes tubulares 300a, 300b.

A modo de ejemplo, para obtener que el foco en un plano de meridiano vertical 10a esté en la parte distal tubular 300b, la radiación incidente tiene que converger hacia un punto que esté dispuesto entre el eje del tubo O y la parte distal tubular 300b, pero antes de alcanzarla, puesto que la parte proximal tubular 300a actúa como una lente divergente y por lo tanto, se desplaza hacia el foco efectivo.

En una primera realización, a modo de ejemplo, el primer foco virtual  $F_1$ , que está situado en un plano horizontal de meridiano 10b, está ubicado prácticamente en la parte proximal tubular 300a mientras que el segundo foco virtual  $F_2$  está situado en un plano de meridiano vertical 10a y está ubicado prácticamente en el infinito, (Figura 8). Dicha configuración es mono-optimal para medir el espesor de la parte proximal tubular única 300a.

En la Figura 8A, se ilustra una configuración derivada de la representada en la Figura 8, en donde la reflexión confocal se obtiene en la parte distal tubular 300b y también con un enfoque sobre la pared y en el mismo plano horizontal de meridiano. Dicha configuración es mono-optimal solamente para medir el espesor de la parte distal tubular 300b y tiene una solidez adecuada con respecto a las desalineaciones en un plano vertical.

En una derivación respecto a las configuraciones de las Figuras 8 y 8A, el primer foco virtual  $F_1$  se lleve al eje O del tubo 300, obteniendo una configuración que es intermedia entre configuraciones de las Figuras 8 y 8A para la medición del espesor de la parte proximal tubular 300a y de la parte distal tubular 300b. Dicha configuración, aun cuando no sea optimal para ninguna de las partes 300a y 300b, es, sin embargo, una buena solución de compromiso, puesto que consigue una señal de salida de intensidad suficiente para ambas mediciones de los espesores proximal y distal  $s_1$  y  $s_2$  y permite una buena discriminación de las dos mediciones en función de la intensidad relativa, ajustando la posición del foco a lo largo del eje óptico en el tubo 300.

Otra forma de realización, a modo de ejemplo, ilustrada en la Figura 8C, da a conocer una disposición en la que el foco virtual  $F_1$  se lleva mucho más allá de la parte distal tubular 300b, en particular, de modo que la radiación saliente 5 sea colimada dentro del tubo 300. Dicha configuración se aproxima a la condición de reflexión confocal en un plano horizontal de meridiano 10b en el modo de enfoque en el centro de curvatura (que en el caso del tubo, en el plano horizontal está dispuesto en el infinito), que es mono-optimal para las partes tubulares, proximal 300a y distal 300b (véase Figura 8F y siguientes).

La configuración de la Figura 8D proporciona un primer foco virtual  $F_1$  en la parte proximal tubular 300a y un segundo foco virtual  $F_2$  en la parte distal tubular 300b. Se obtiene, de esta manera, una mono-optimalidad en ambas paredes, en dos planos de meridianos distintos. Esto permite una más alta solidez de la medición de la parte proximal y una buena intensidad de la señal en ambas partes.

Una configuración similar a la ilustrada en la Figura 8D (no mostrada), se obtiene girando un ángulo de  $90^\circ$  la lente alrededor de su eje óptico y tiene características en común con el caso anterior.

Otra configuración, que se deriva de la configuración de la Figura 8D, que está configurada para la medición de ambos espesores proximal y distal del tubo, se ilustra en la Figura 8E y muestra un primer foco virtual  $F_1$  en el eje o en el tubo y el segundo foco virtual  $F_2$  más allá de la parte distal tubular 300b. De este modo, ajustando la posición del primer foco virtual  $F_1$  se obtiene una buena indicación de los valores máximos de interferencia y la selección de la señal de interferencia con respecto una a la otra, según se ilustra en la Figura 7B, mientras que el ajuste del foco  $F_2$  determina la solidez para posibles vibraciones en el plano vertical, lo que permite una ganancia de intensidad si las variaciones son más reducidas o un tubo de mayor diámetro ha de medirse. En particular, se obtiene que el foco  $F_2$  está situado más alejado, con lo que el cono de retorno de la luz es verticalmente más amplio y entonces, la medida es menos dependiente de las vibraciones. Llevando el foco  $F_2$  al infinito, se obtiene de nuevo la configuración representada en la Figura 8A.

Las configuraciones de las Figuras 8F a 8I muestran las respectivas configuraciones con un primer foco virtual  $F_1$  prácticamente en el infinito, mientras que la posición del segundo foco virtual  $F_2$  está en las partes proximal y distal o en el eje óptico dentro del tubo o incluso más allá de la pared distal, obteniendo configuraciones, en cualquier caso, al menos mono-optimal en un plano horizontal de meridiano para ambas mediciones y en varios casos, de tipo bi-optimal, para una o la otra o ambas mediciones.

En una forma de realización preferida, las configuraciones anteriormente descritas se pueden obtener por un sistema óptico con un foco fijo, esto es, sin la necesidad de utilizar medios para desplazar las lentes con respecto entre sí o con respecto a las fibras ópticas, simplemente cambiando la distancia del objeto desde la lente 10, con el fin de optimizar la medición de los espesores de la parte proximal tubular 300a, de la parte distal tubular 300b o de ambas partes, teniendo en cuenta la amplitud de las vibraciones del objeto.

Más en particular, las configuraciones de las Figuras 8F y 8H son también confocales en un plano de meridiano vertical 10a puesto que se enfocan, respectivamente, sobre la parte proximal tubular 300a y sobre la parte distal tubular 300b.

En la configuración 8G, en donde el segundo foco virtual  $F_2$  está situado en el eje O del tubo, existe una confocalidad de reflexión simultánea para ambos planos de meridianos 10a, 10b en ambas superficies de la parte proximal tubular 300a y de la parte distal tubular 300b, de modo que esta configuración se puede considerar bi-optimal dos veces. Entonces, esta configuración presenta también una sensibilidad máxima a las vibraciones o desalineaciones y una discriminación menos fiable de los dos valores máximos.



Por último, en la configuración de la Figura 8I, con el segundo foco virtual más allá de la parte distal tubular 300b, una buena independencia respecto a las vibraciones y una solidez adecuada de la medición se obtiene manteniendo una confocalidad en un plano horizontal de meridiano 10b.

En los tipos de enfoque anteriormente descritos, una optimalidad se obtiene de la relación recogida, dada por un solapamiento de las primera 6 y segunda 8, de las quinta 16 y sexta 17 radiaciones reflejadas, prácticamente independientes de posibles desplazamientos del tubo 300, dentro de un límite determinado y una buena solidez de la señal para calcular ambos espesores de forma contemporánea, según se describe. De hecho, en caso de lente simétrica se produce una buena recogida de la radiación reflejada solamente si el objeto o el tubo permanece quieto, mientras que si el objeto se mueve, a modo de ejemplo, debido a vibraciones o fluctuaciones, como puede ocurrir en caso de objetos continuos que se desplazan a lo largo de una línea de producción o en el caso de un tubo de vidrio 300, la radiación reflejada recogida sería muy reducida y no suficiente para el análisis espectroscópico siguiente.

De este modo, se obtiene que la radiación recogida contiene suficiente energía para determinar, mediante el análisis del espectro (Figura 7) ambos espesores de la parte proximal tubular 300a y de la parte distal tubular 300b del tubo 300 con una buena tasa de fiabilidad y solidez la medición con respecto a las fluctuaciones y vibraciones del tubo. Dicho de otro modo, con la doble medición contemporánea de los espesores de la parte proximal tubular 300a y de la parte distal tubular 300b, es posible reducir el número de instrumentos de medida de los espesores o doblar el número de puntos de medida con el mismo número de instrumentos de medida. En este caso, la etapa de ajustar la posición del medio de lentes no axisimétrico 10 puede ajustar la posición del primero y del segundo focos virtuales, con el fin de optimizar las características de interferencia entre las primera, segunda, quinta y sexta radiaciones reflejadas y la fracción de energía recogida por ellas. Más en particular, el ajuste de la posición permite mostrar los valores máximos de interferencia 15a y 15a' y seleccionar las señales de interferencia relativas a la parte proximal tubular 300a y a la parte distal tubular 300b y distinguirlas entre sí. Dicho de otro modo, se obtiene un ajuste que tiende a mostrar las señales de interferencia de las primera y segunda radiaciones reflejadas, esto es, el valor máximo 15a y de las quinta y sexta radiaciones reflejadas, el valor máximo 15a'. En una forma de realización preferida, la lente 10 se desplaza utilizando la información retrospectiva de tal manera que esté configurada para controlar el espectro tipo peine 53 y para garantizar una intensidad predeterminada de ambos valores máximos (y en particular, del valor máximo inferior 15a', a modo de ejemplo, en relación con la parte distal tubular 300b) y una diferencia de la intensidad entre los valores 15a y 15a', que puede depender de la intensidad de los valores máximos más elevados 15a.

Una posible forma de realización, a modo de ejemplo, del aparato que permite medir los espesores de la pared proximal tubular 300a y del extremo de la pared proximal 300b contemporáneamente, se ilustra en la Figura 9. En este caso, cada sonda 20a', 20b' está configurada para medir el espesor del tubo 300 en ambas paredes que están situadas frente a una respectiva sonda que alcanza un número de sondas dispuestas alrededor del tubo 300 y debido a la posible multiplicidad de puntos de medición obtenidos desplazando las sondas con respecto al tubo, se obtiene un doblado adicional del número de mediciones. En consecuencia, se obtiene un ahorro adicional en la producción del aparato de medición. Más en particular, cada sonda de detección 20a', 20b' tiene una respectiva fibra óptica monomodo 25a', 25b' conectada al multiplexor 70 que está conectado a la unidad óptica central 200, en conformidad con una operación de división del tiempo, de modo que cada sonda, a su vez, reciba la radiación 5 para su enfoque sobre el tubo 300 y proporcione la radiación reflejada para análisis 27a', 27b', que contiene cada cuatro componentes reflejadas que pasan a través del medio para análisis 50 y generan las señales 55'a y 55'b que se suministran como entrada al algoritmo 60 que las analiza en combinación con los parámetros de entrada 62 para generar las señales 65'a y 65'b que contienen el espesor de la pared en más puntos y en consecuencia, los defectos de forma del tubo.

El aparato 100, según la invención, puede comprender, además, según se ilustra de forma diagramática en la Figura 10, medios de control de programa 150 para un control de la producción asociada con el medio para análisis 50, de modo que sobre la base de los valores de espesores detectados, el medio de control de la producción 150 actúa y hace funcionar el medio de modelado del objeto 170, en particular, el medio de modelado del tubo de vidrio. De este modo, es posible ajustar la etapa de modelado del tubo de vidrio en función de la desviación con respecto a un espesor ideal predeterminado.

Más en particular, sobre la base del valor s del espesor detectado por las sondas espaciadas alrededor del tubo 300 y sobre la base de un valor de referencia ideal de burbujas de aire igual a cero, el medio de programa de control 150 actúa y controla el medio de modelado 170 del tubo de vidrio 300 (Figura 11). En detalle, el medio de control 150 está configurado para analizar y establecer una correlación de los espesores determinados por las sondas 20a, 20b, 20c y 20d, en conformidad con la configuración con cuatro sondas ilustrada en la Figura 5 o con las dos sondas 20'a y 20'b, en la configuración de la Figura 9, para dicha pluralidad de puntos, rotacionalmente y/o longitudinalmente espaciados alrededor del tubo 300 y en la presencia de errores de espesores o defectos de forma del tubo, controla consecuentemente el proceso de modelado del vidrio.

En particular, según se ilustra en las Figuras 11 y 11A, en caso de hacer que los tubos de vidrio continuos pasen a través de un orificio de vertido 175 en el que está dispuesto un elemento de modelado del tubo, el medio de control utiliza la información del espesor como información retrospectiva para corregir la posición del elemento de formación

177 en conformidad con un sistema de referencia cartesiano. De este modo, es posible optimizar la producción de los tubos de vidrio para minimizar los desechos de producción.

5 En otra aplicación, un denominado mapeado de correspondencia exacto con más puntos en una dirección circunferencial del tubo que permite la determinación de un posible defecto de forma, puede utilizarse, a modo de ejemplo, para poner en fase, de forma rotaciones, los defectos de forma en caso de que las extremidades de los dos tubos o parte del tubo estén acoplados frontalmente entre sí. De este modo, conociendo la forma de cada extremidad de los tubos para su acoplamiento es posible orientar dichas extremidades, girando una de las dos partes del tubo alrededor de su propio eje, con el fin de obtener una adaptación óptima que puede realizarse, a modo de ejemplo, mediante inserción, soldadura o encolado de las extremidades.

10 En particular, en la misma aplicación, es posible utilizar la distancia de lectura suministrada por el sensor 180 para obtener, además del perfil del espesor también el perfil de la redondez, al mismo tiempo.

15

# REIVINDICACIONES

1. Un método para medir los espesores de una pared (35) de un objeto transparente (30), en particular, un objeto curvado, comprendiendo dicha pared (35): un material transparente (35a), una interfase proximal (31) dispuesta entre un entorno externo (33) y dicho material transparente (35a) y una interfase distal (32) dispuesta entre dicho material transparente (35a) y dicho entorno (33) en posición opuesta a dicha interfase proximal (31), proporcionando dicho método las etapas de:

- predisponer una radiación de luz inicial (2);
- enfocar (10, 11, 22, 23) dicha radiación de luz inicial (2) obteniendo una radiación de luz entrante (5) dirigida hacia dicha pared (35) de modo que dicha radiación de luz entrante (5):
  - incida sobre dicha interfase proximal (31) de dicha pared (35),
  - sea reflejada, en parte, por dicha interfase proximal (31) con el fin de generar una primera radiación reflejada (6),
  - cruza (7), en parte, dicho material transparente (35a) incidiendo sobre dicha interfase distal (32) y se refleja en parte (8) desde dicha interfase distal (32),
  - cruza en parte en una dirección opuesta, después de la reflexión sobre dicha interfase distal (32), dicho material transparente (35a) incidiendo de nuevo y efectuando un nuevo cruce, dicha interfase proximal (31), con el fin de generar una segunda radiación reflejada (9);
- efectúa la recogida (40) de una radiación de luz saliente global (15) obtenida mediante solapamiento de dichas primera (6) y segunda (9) radiaciones reflejadas,
- analiza (50) dicha radiación de luz saliente (15) con métodos espectroscópicos y determina los espesores de dicha pared (35) en conformidad con las características de interferencia entre dichas primera (6) y segunda (9) radiaciones reflejadas en dicha radiación de luz saliente (15),

caracterizado por cuanto que,

dicha etapa de enfoque (10) proporciona la obtención de dicha radiación de luz entrante (5) a través de un medio de lentes no axisimétrico (10, 11, 22, 23) que tiene dos planos de meridianos principales (10a, 10b) de modo que dicha radiación de luz entrante (5) esté enfocada sobre un primer foco virtual ( $F_1$ ) en un primer plano de meridiano principal (10a) y sobre un segundo foco virtual ( $F_2$ ) en un segundo plano de meridiano principal (10b).

2. Un método según la reivindicación 1, en donde dicha etapa de enfoque proporciona una entre las condiciones de enfoque siguientes:

- dicho primero ( $F_1$ )/segundo ( $F_2$ ) foco virtual está situado en una posición finita más allá de dicha pared (35) y dicho segundo ( $F_2$ )/primero ( $F_1$ ) foco virtual está situado prácticamente en dicha pared (35);
- dicho primero ( $F_1$ )/segundo ( $F_2$ ) foco virtual está situado prácticamente en el infinito y dicho segundo ( $F_2$ )/primero ( $F_1$ ) foco virtual está situado prácticamente en dicha pared (35);
- dicho primero ( $F_1$ )/segundo ( $F_2$ ) foco virtual está situado prácticamente en el infinito y dicho segundo ( $F_2$ )/primero ( $F_1$ ) foco virtual situado en una posición finita más allá de dicha pared (35).

3. Un método, según la reivindicación 1, en donde dicha etapa de recogida proporciona una etapa de enfoque de dicha radiación de luz saliente global (15), de modo que la radiación de luz saliente recogida (15) tenga suficiente energía para determinar, por dicha etapa de análisis, los espesores de dicha pared (35), en particular siendo dicha etapa de recogida efectuada por dicho medio de lentes no axisimétrico (10, 11, 22, 23) que son objeto de incidencia por dicha radiación de luz saliente (15) en una dirección que es opuesta a dicha radiación de luz inicial (2); en particular, dicha etapa de enfoque proporciona una etapa de ajuste de la posición de dicho medio de lentes no axisimétrico (10, 11, 22, 23) para ajustar la posición de dicho primero ( $F_1$ ) y segundo ( $F_2$ ) focos virtuales para obtener una condición de enfoque predeterminada.

4. Un método según la reivindicación 1, en donde dichos espesores se determinan por intermedio de una etapa de modelado de dicho objeto y una etapa de control está proporcionada por la etapa de modelado de dicho objeto transparente (30) asociada con dicha etapa de análisis, de modo que, sobre la base del valor determinado de los espesores, dicha etapa de control del modelado controla los parámetros de modelado de dicho objeto, en particular siendo dicho objeto un tubo de vidrio, en donde una etapa de corrección del proceso de modelado del vidrio del tubo de vidrio puede proporcionarse en función de una desviación de los espesores más alta que un valor

predeterminado o en caso de estar presentes defectos de forma, en particular dicha etapa de control del modelado de dicho objeto transparente (30) que está asociada con dicha etapa de análisis, controla y establece una correlación mutua de los espesores según se determina para una pluralidad de puntos, que están, de manera rotacional y/o longitudinal, espaciados alrededor de dicho tubo y en la presencia de errores de espesores o defectos de forma del tubo, ajusta consecuentemente el proceso de modelado del vidrio.

5. Un método según la reivindicación 1, en donde dicho objeto transparente es un tubo (300) que tiene una pared tubular (350), en particular cilíndrica, que comprende una superficie lateral exterior (301) y una superficie interior (302) que definen una zona rebajada tubular (303) con un eje longitudinal (O) y dicha radiación de luz entrante (5) encuentra, por primera vez, dicha pared tubular (350) en una parte proximal tubular (300a), cruza en parte dicha parte proximal tubular (300a) de dicha pared tubular (350) y entra en dicha zona rebajada tubular (303) creando una segunda radiación saliente (7'), con dicha segunda radiación saliente (7') cruzando la zona rebajada tubular (303) y encontrando una parte distal tubular (300b) de dicha pared (350) y se enfoca de tal manera que:

- incide sobre una interfase proximal (302a) de dicha parte distal tubular (300b);
- se refleja, en parte, por dicha interfase proximal (302a) de dicha parte distal tubular (300b) con el fin de generar una tercera radiación reflejada (12),
- cruza, en parte, dicho material transparente (35a) de dicha pared tubular (350) incidiendo sobre una interfase distal (32) de dicha parte distal tubular (300b) y se refleja, en parte, por dicha interfase distal (302b);
- cruza de nuevo dicho material transparente (35a) de dicha pared tubular (350) incidiendo sobre dicha interfase proximal (302a) y cruza dicha interfase proximal (302a) generando una cuarta radiación reflejada (16);

y en donde dichas tercera (12) y cuarta (16) radiaciones reflejadas adicionales cruzan dicha zona rebajada tubular (303) y dicha parte proximal tubular (300a) generando una quinta (17) y una sexta (18) radiación reflejada que se solapan a dichas primera (6) y segunda (9) radiaciones reflejadas, de modo que se obtenga dicha radiación de luz saliente global (15') mediante un solapamiento de dichas primera (6) y segunda (9) radiaciones reflejadas así como de dichas quinta (17) y sexta (18) radiaciones reflejadas y dicha etapa de análisis (50) de dicha radiación de luz saliente global (15'), con métodos espectroscópicos, está configurada para determinar los espesores ( $s_1$ ,  $s_2$ ) de dicha parte proximal tubular (300a) y de dicha parte distal tubular (300b) de dicha pared tubular (350) en conformidad con las características de interferencia entre dichas primera (6), segunda (9), quinta (17) y sexta (18) radiaciones reflejadas.

6. Un método según la reivindicación 5, en donde dicha etapa de enfoque proporciona una entre las condiciones siguientes:

- dicho primero ( $F_1$ )/segundo ( $F_2$ ) foco virtual está situado prácticamente en dicha parte proximal tubular (300a) y dicho segundo ( $F_2$ )/primero ( $F_1$ ) foco virtual está situado más allá de dicha parte distal tubular (300b) y, en particular, prácticamente en el infinito;
- dicho primero ( $F_1$ )/segundo ( $F_2$ ) foco virtual está situado dentro de dicho tubo, esto es, más allá de dicha parte proximal tubular (300a) y antes de dicho eje (O) y dicho segundo ( $F_2$ )/primero ( $F_1$ ) foco virtual está situado más allá de dicha parte distal tubular (300b) y, en particular, prácticamente en el infinito;
- dicho primero ( $F_1$ )/segundo ( $F_2$ ) foco virtual está situado dentro de dicho tubo, esto es, más allá de dicha parte proximal tubular (300a) y en dicho eje (O) y dicho segundo ( $F_2$ )/primero ( $F_1$ ) foco virtual está situado más allá de dicha parte distal tubular (300b) y, en particular, prácticamente en el infinito;
- estando dicho primero ( $F_1$ )/segundo ( $F_2$ ) foco virtual situado dentro de dicho tubo más allá de dicho eje y dicho segundo ( $F_2$ )/primero ( $F_1$ ) foco virtual está situado más allá de dicha parte distal tubular (300b) y, en particular, prácticamente en el infinito;
- estando dicho primero ( $F_1$ )/segundo ( $F_2$ ) foco virtual situado prácticamente en dicha parte distal tubular (300b) y dicho segundo ( $F_2$ )/primero ( $F_1$ ) foco virtual está situado más allá de dicha parte distal tubular (300b) y, en particular, prácticamente en el infinito;
- estando dicho primero ( $F_1$ )/segundo ( $F_2$ ) foco virtual situado más allá de dicha parte distal tubular (300b) y dicho segundo ( $F_2$ )/primero ( $F_1$ ) foco virtual está situado más allá de dicha parte distal tubular (300b) y, en particular, prácticamente en el infinito;
- estando dicho primero ( $F_1$ )/segundo ( $F_2$ ) foco virtual situado prácticamente en dicha parte proximal tubular (300a) y dicho segundo ( $F_2$ )/primero ( $F_1$ ) foco virtual está situado prácticamente en dicha parte distal tubular (300b).

7. Un aparato (100) para medir los espesores de una pared (35) de un objeto transparente (30), en particular un objeto curvado, comprendiendo dicha pared (35): un material transparente (35a), una interfase proximal (31) dispuesta entre el entorno (33) y dicho material transparente (35a) y una interfase distal (32) dispuesta entre dicho material transparente (35a) y dicho entorno (33) en posición opuesta a dicha interfase proximal (31), comprendiendo dicho aparato (100):

- un medio para emitir (1) una radiación de luz inicial (2);
- un medio para enfocar (10, 11, 22, 23) dicha radiación de luz inicial (2) que está configurado para obtener una radiación de luz entrante (5) dirigida hacia dicha pared (35) de modo que dicha radiación de luz entrante (5):
  - incida sobre dicha interfase proximal (31) de dicha pared (35),
  - sea reflejada, en parte, por dicha interfase proximal (31), con el fin de generar una primera radiación reflejada (6),
  - cruza, en parte, dicho material transparente (35a) incidiendo sobre dicha interfase distal (32) y se refleja, en parte, por dicha interfase distal (32);
  - cruza, en parte, en una dirección opuesta, después de la reflexión sobre dicha interfase distal (32) de dicho material transparente (24a) incidiendo de nuevo y cruzando dicha interfase proximal (31) con el fin de generar una segunda radiación reflejada (9),
- un medio de recogida (40), configurado para recoger una radiación de luz saliente global (15), obtenida mediante solapamiento de dichas primera (6) y segunda (9) radiaciones reflejadas;
- un medio configurado para analizar (50) dicha radiación de luz saliente (15) con métodos espectroscópicos y para calcular los espesores de dicha pared (35) en conformidad con las características de interferencia entre dichas primera (6) y segunda (9) radiaciones reflejadas,

caracterizado por cuanto que:

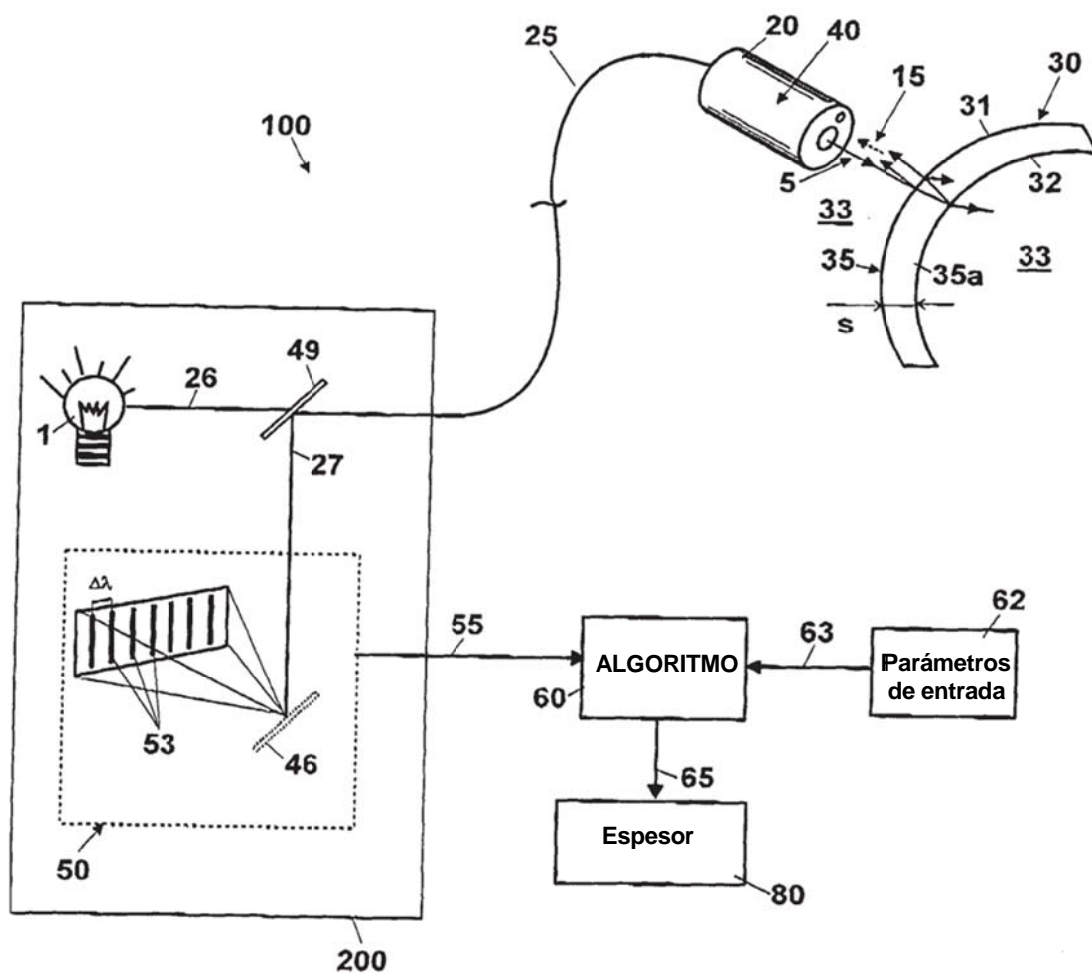
dicho medio para el enfoque comprende un medio de lentes no axisimétrico (10, 11, 22, 23) para obtener dicha radiación de luz entrante (5), teniendo dicho medio de lentes no axisimétrico (10, 11, 22, 23) dos meridianos principales (10a, 10b) de modo que dicha radiación de luz entrante (5) esté enfocada sobre un primer foco virtual ( $F_1$ ) definido por un primer plano de meridiano (10a) y por la radiación de luz inicial (2) y sobre un segundo foco virtual ( $F_2$ ) definido por el segundo plano de meridiano (10b) y por la radiación de luz inicial (2).

8. Un aparato (100) según la reivindicación 7, en donde dicho medio para el enfoque (10) y dicho medio de recogida (40) están integrados en una sonda de detección (20) provista de al menos un conector de fibra óptica monomodo (21), en particular comprendiendo dicha sonda de detección (20) un medio para detectar la distancia (180) entre dicho medio para el enfoque (10) y dicho objeto (30), en particular entre dicha sonda de detección (20) y dicho objeto (30), estando dicho medio para detectar a distancia (180) asociado con dicho medio de ajuste de la posición (90).

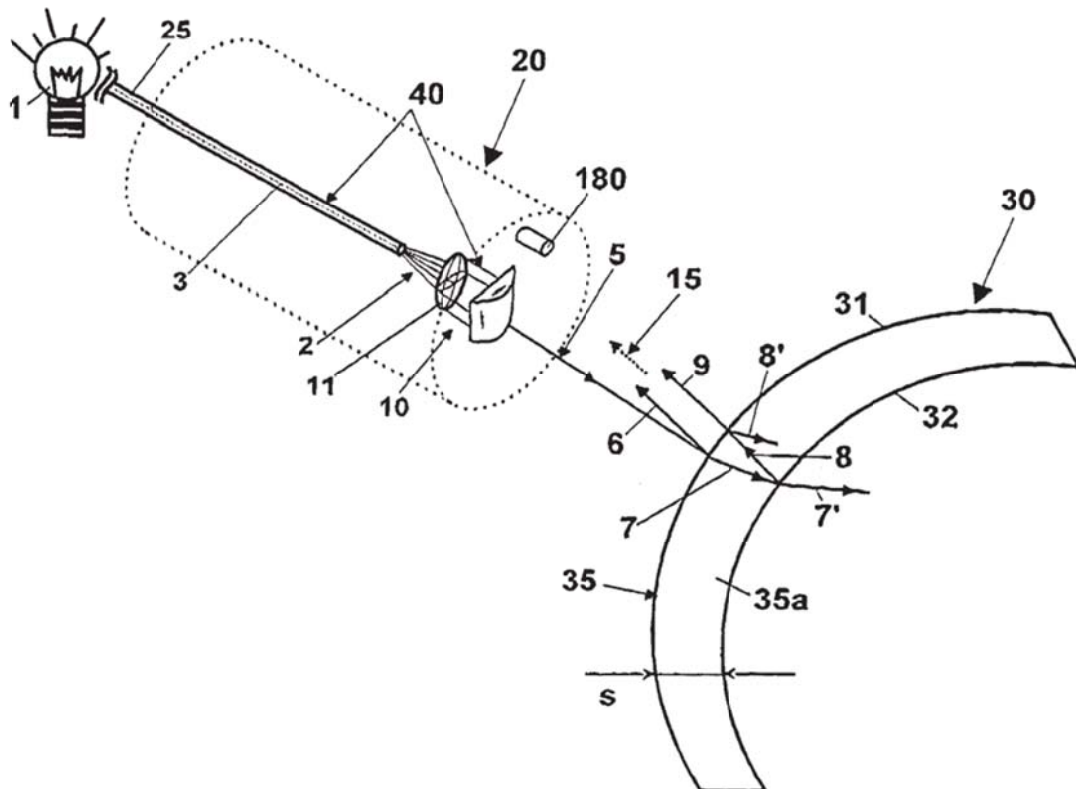
9. Un aparato (100) según la reivindicación 8, en donde dicho objeto transparente es un tubo (300) que tiene una parte proximal tubular (300a) y una parte distal tubular (300b), en donde el aparato comprende una pluralidad de sondas de detección (20a, 20b, 20c, 20d) que está configurada para medir una pluralidad de puntos diferentes, con el fin de medir para cada uno de dichos puntos los espesores de la parte proximal tubular respectiva (300a), en particular siendo dicha pluralidad de puntos seleccionada a partir del grupo constituido por puntos rotacionalmente espaciados entre sí alrededor de dicho tubo (300) o puntos longitudinalmente espaciados entre sí a lo largo de dicho tubo (300) o una de sus combinaciones, comprendiendo el aparato, además, un medio de ajuste para ajustar la posición relativa, de forma rotacional y/o longitudinal de dicho tubo (300) con respecto a dicha pluralidad de sondas de detección (20a, 20b, 20c, 20d) para obtener las mediciones de espesores en una pluralidad de diferentes puntos de medición.

10. Un aparato (100) según la reivindicación 9, en donde dicha pluralidad de sondas de detección (20a, 20b, 20c, 20d) está conectada a una unidad óptica central (200) mediante un multiplexor óptico (70) de modo que, en conformidad con una operación de división del tiempo, cada sonda de detección (20a, 20b, 20c, 20d), a su vez, reciba la radiación para su enfoque sobre la muestra y proporciona la radiación reflejada para su análisis, durante un tiempo predeterminado.

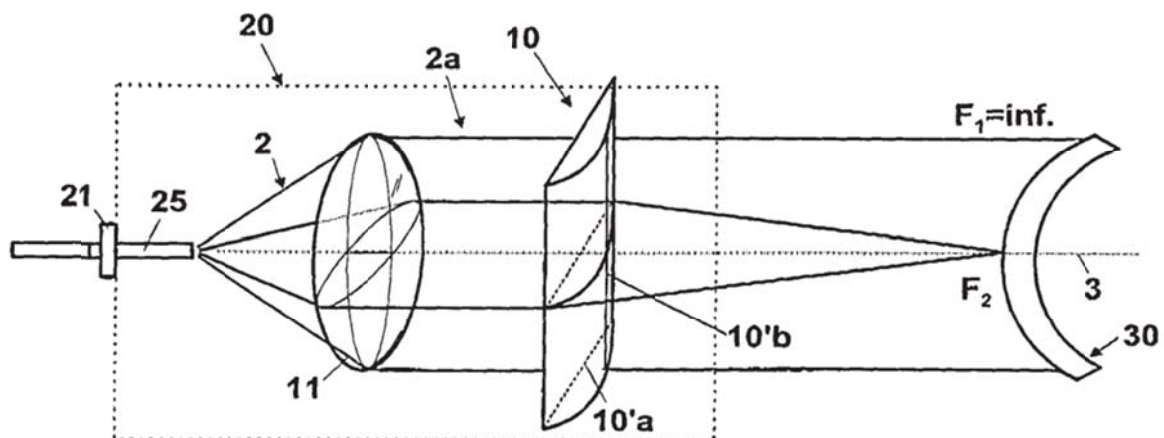
**Fig. 1**



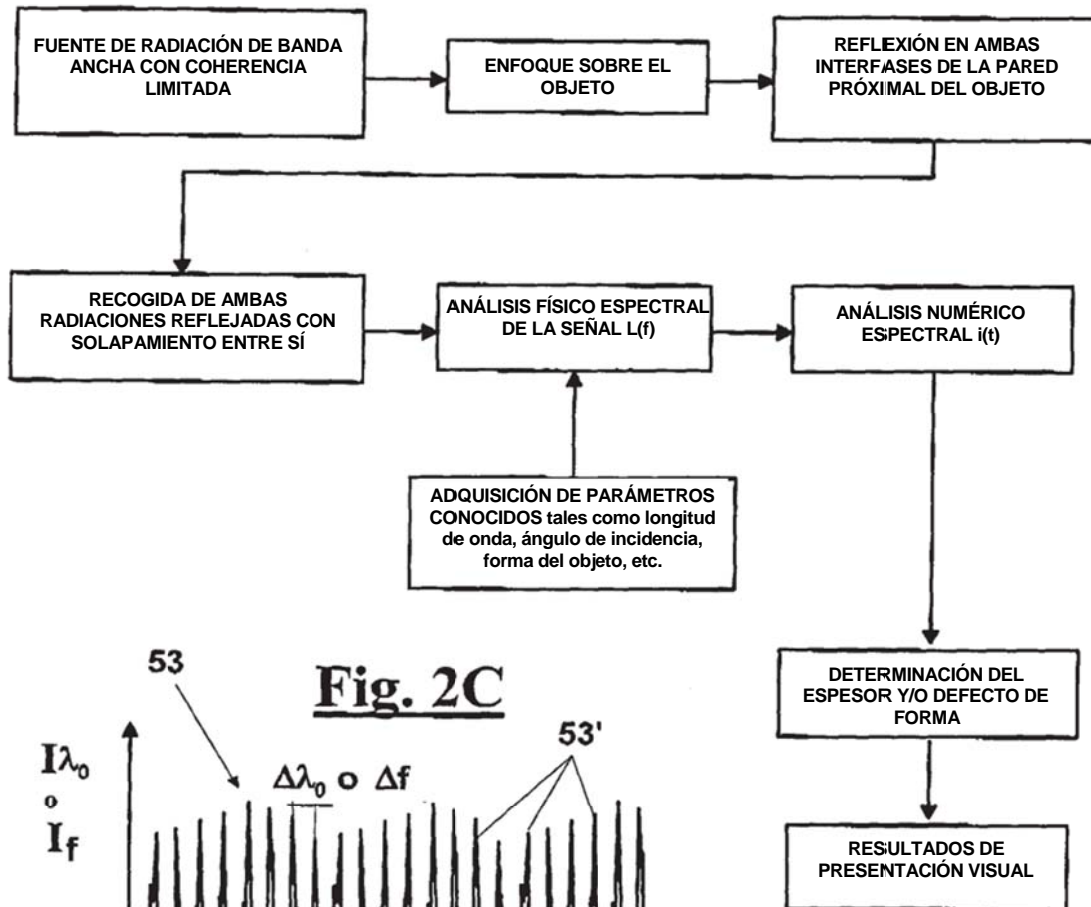
**Fig. 2**



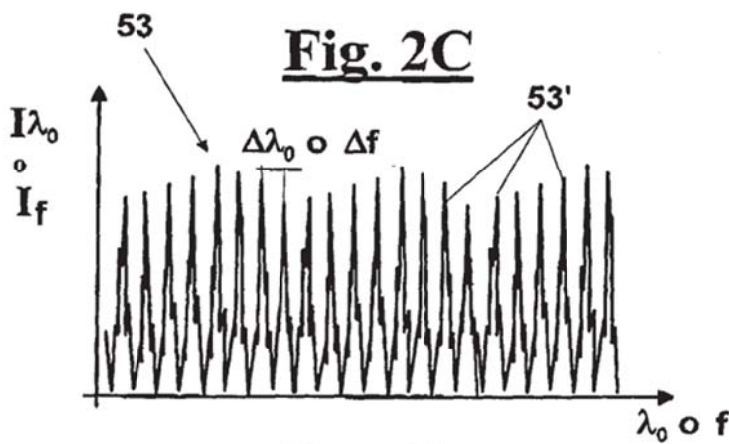
**Fig. 2A**



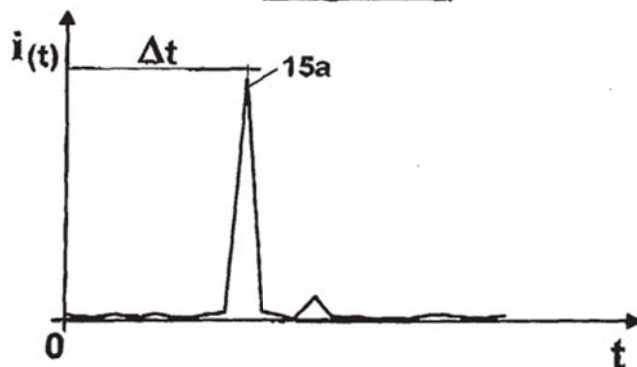
**Fig. 2B**



**Fig. 2C**

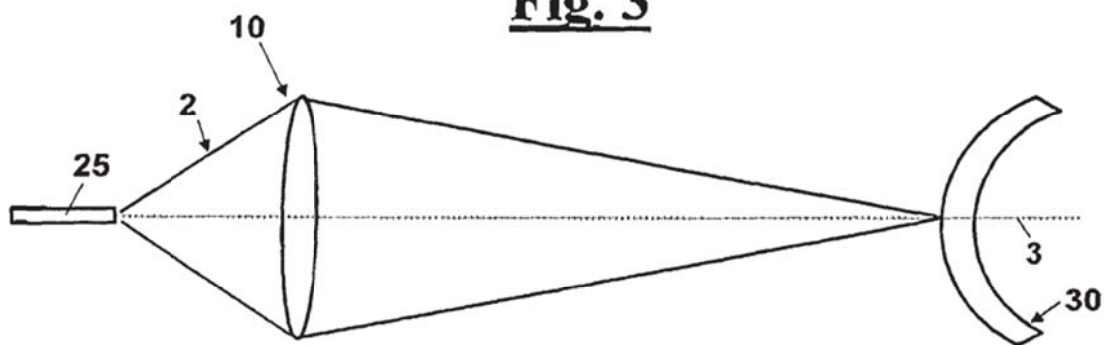


**Fig. 2D**

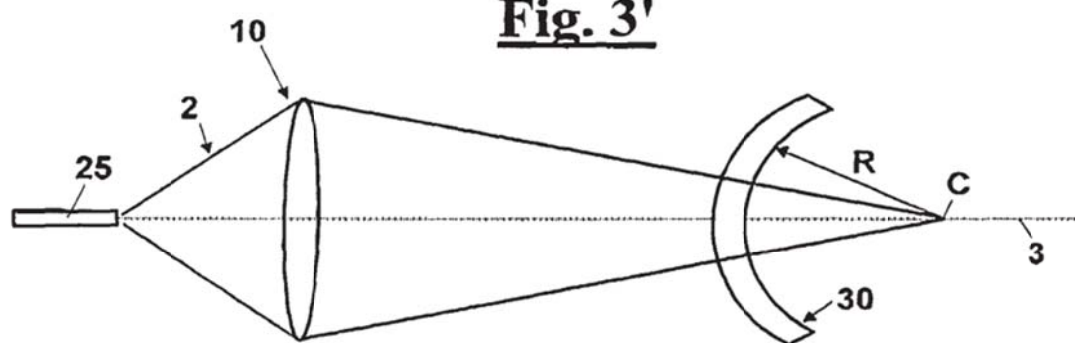




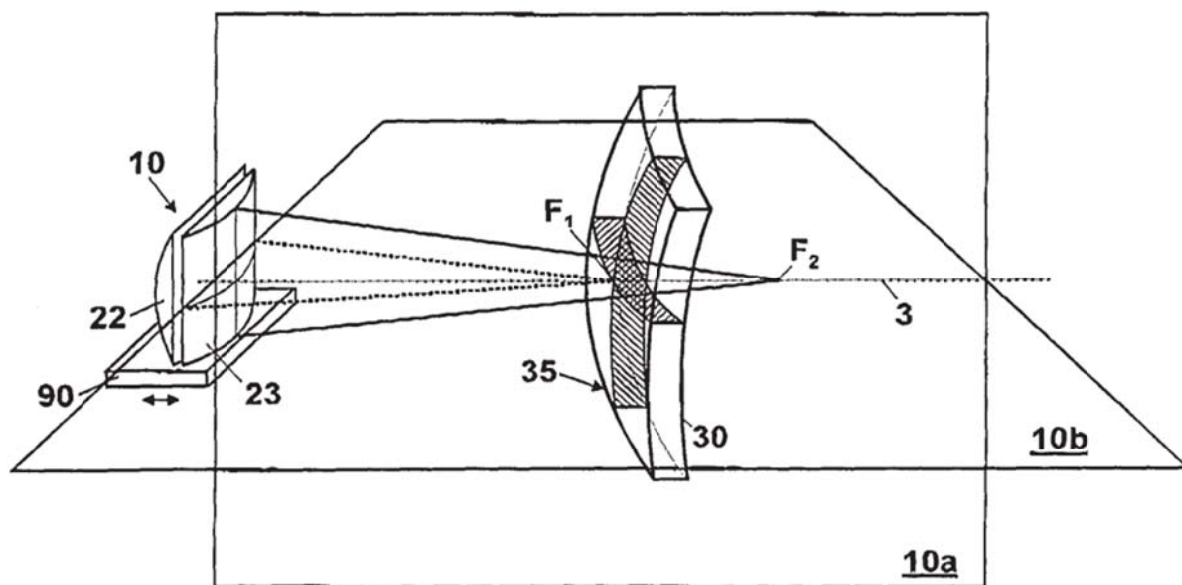
**Fig. 3**



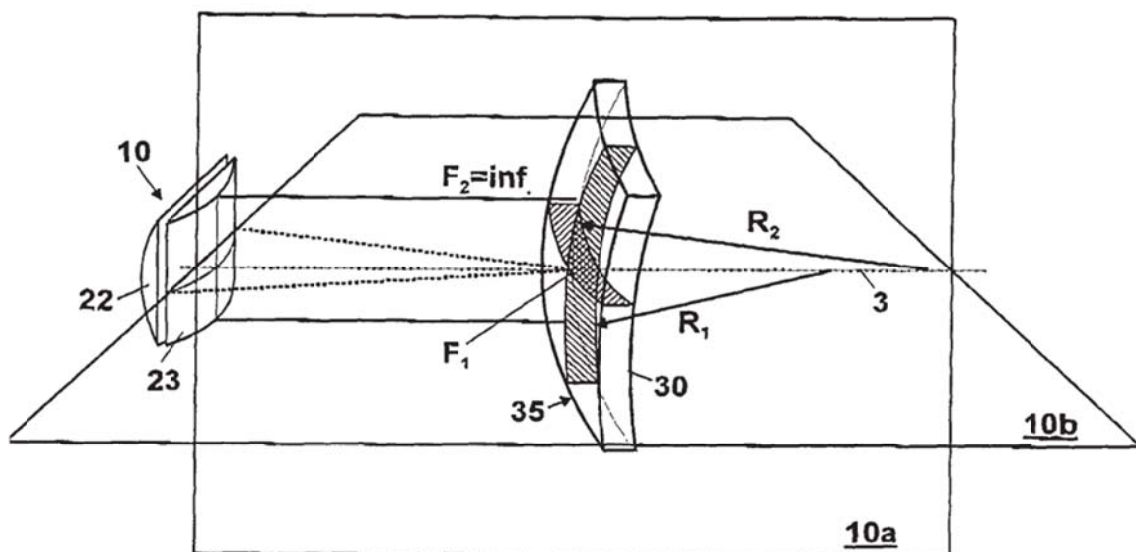
**Fig. 3'**



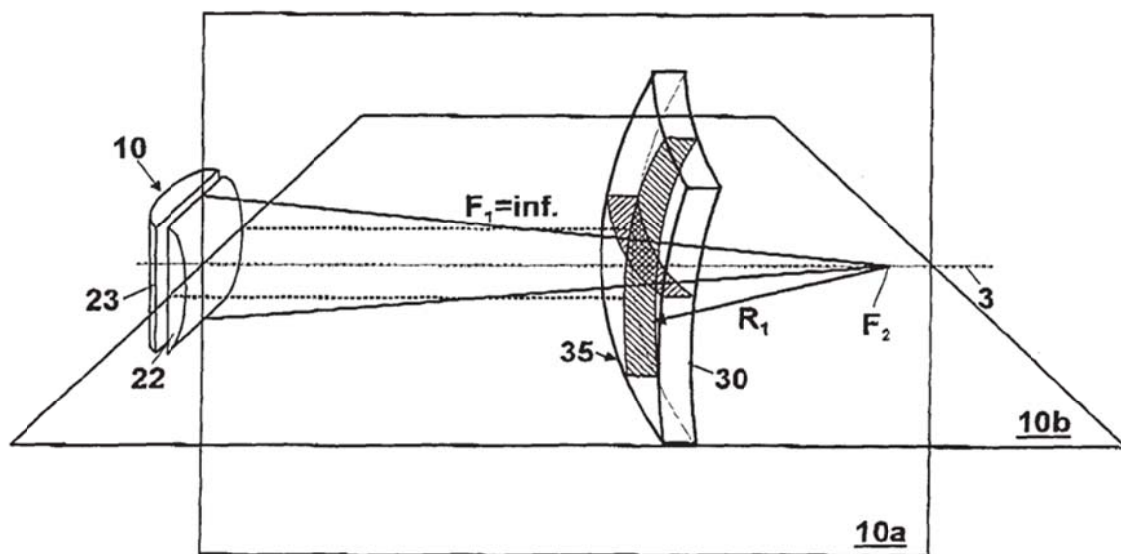
**Fig. 3A**



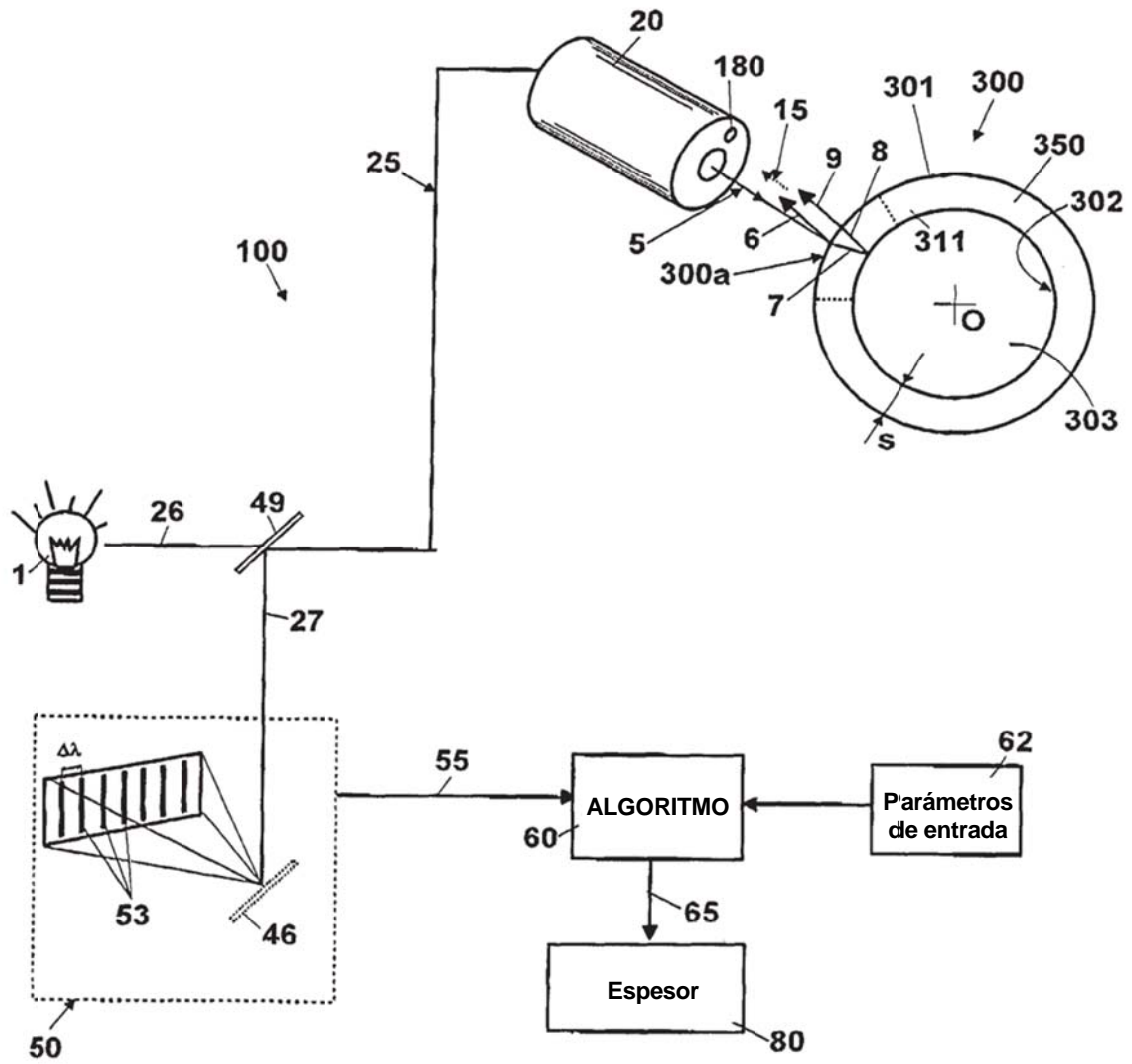
**Fig. 3B**

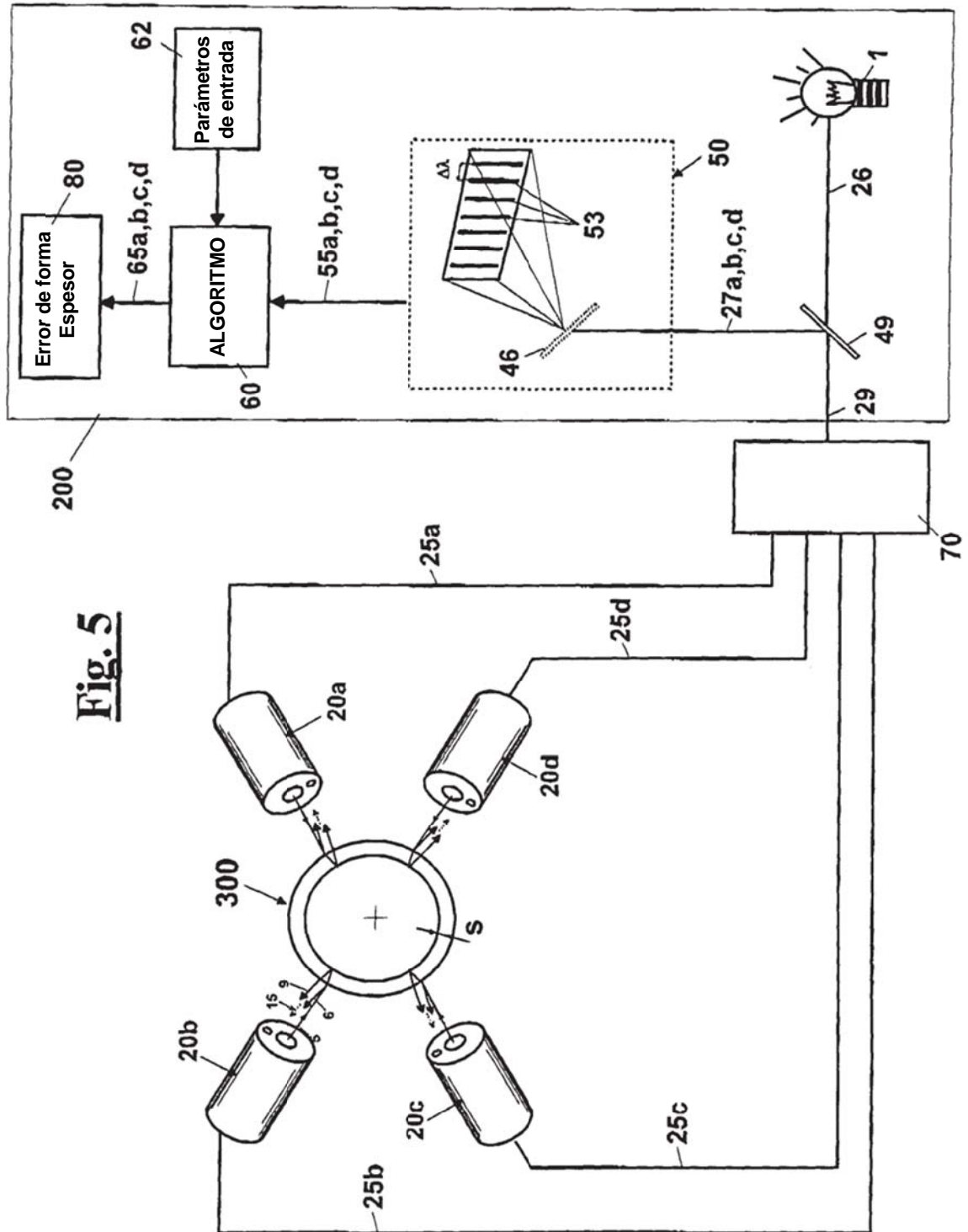


**Fig. 3C**

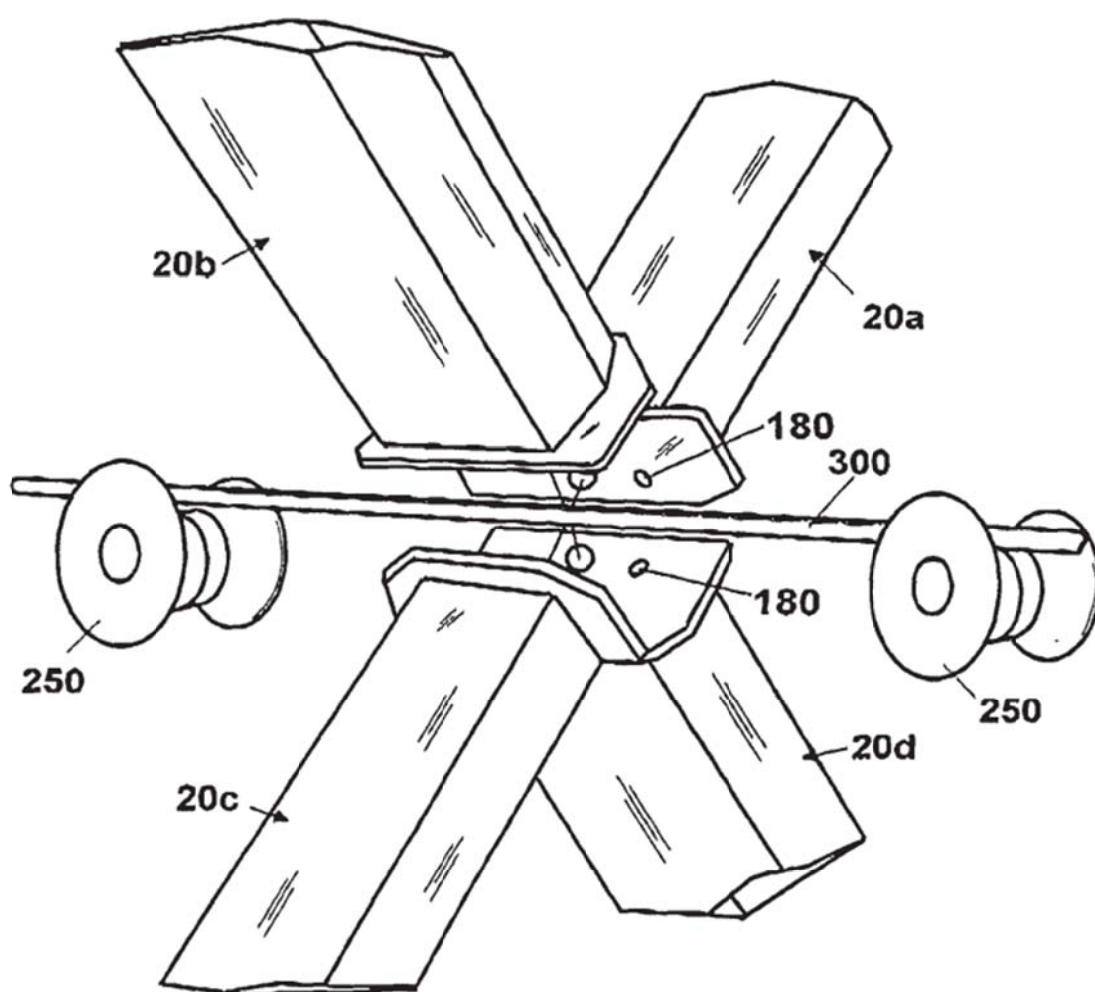


**Fig. 4**

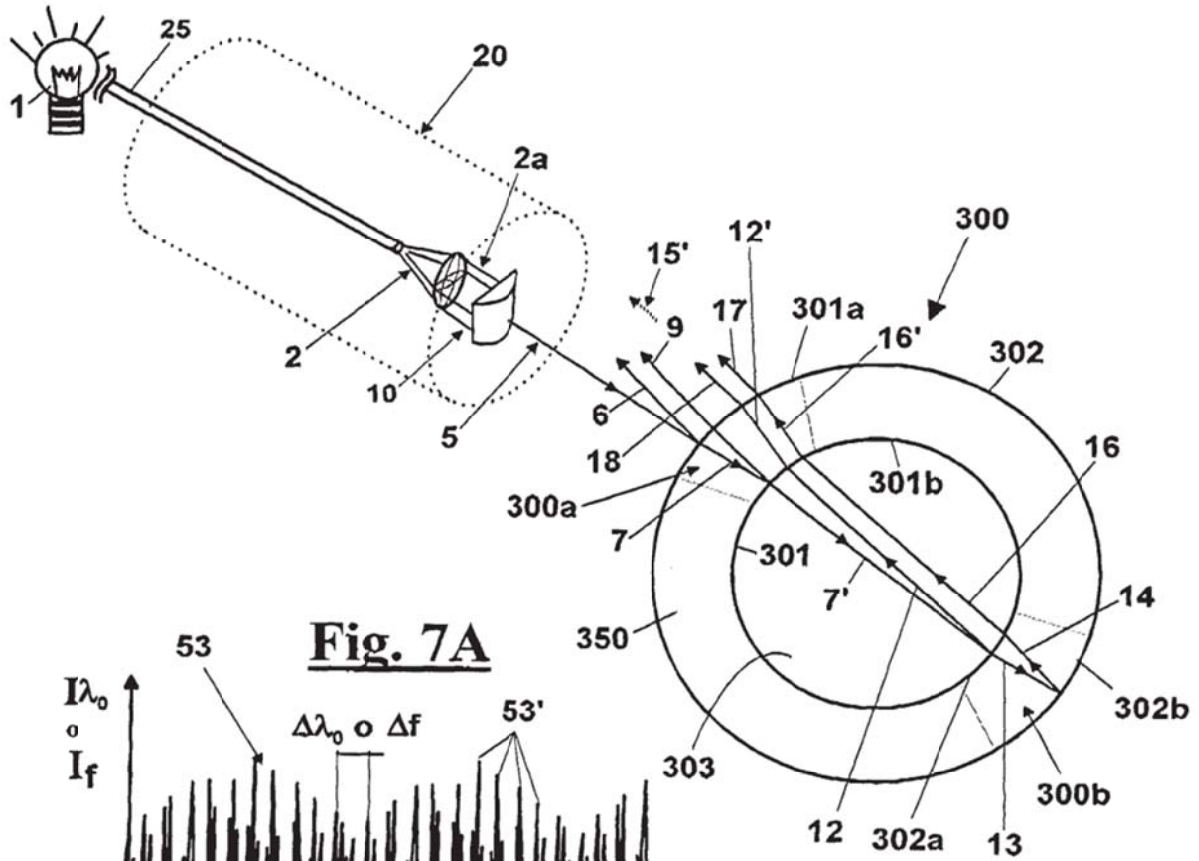




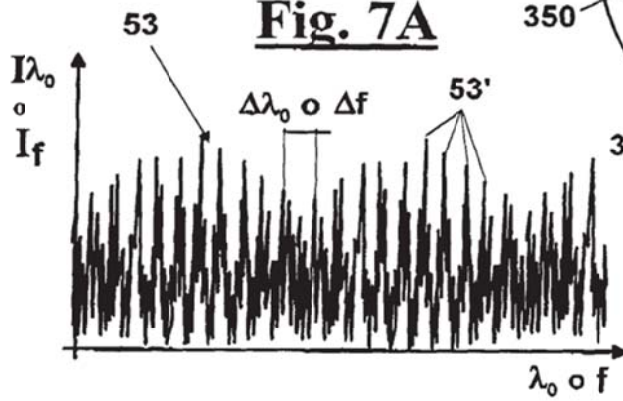
**Fig. 5A**



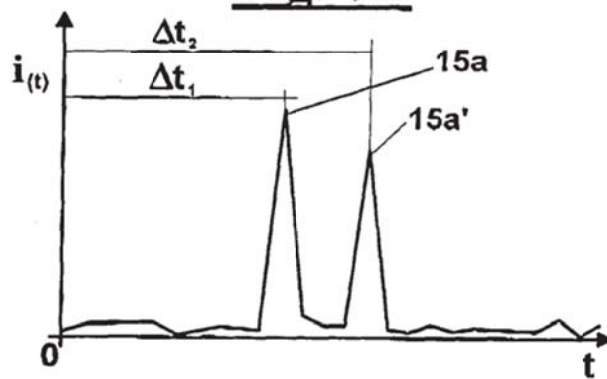
**Fig. 6**



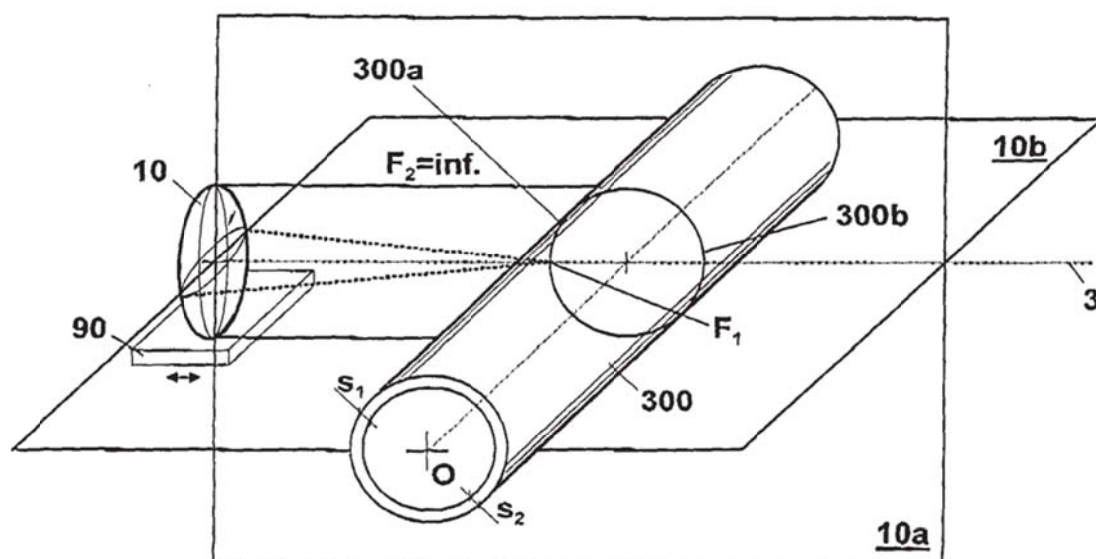
**Fig. 7A**



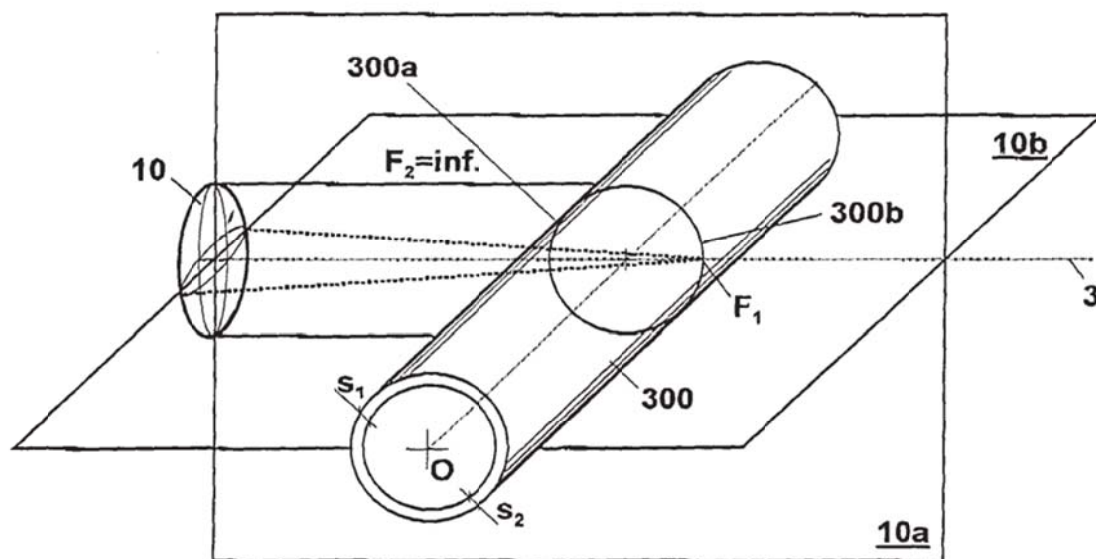
**Fig. 7B**



**Fig. 8**

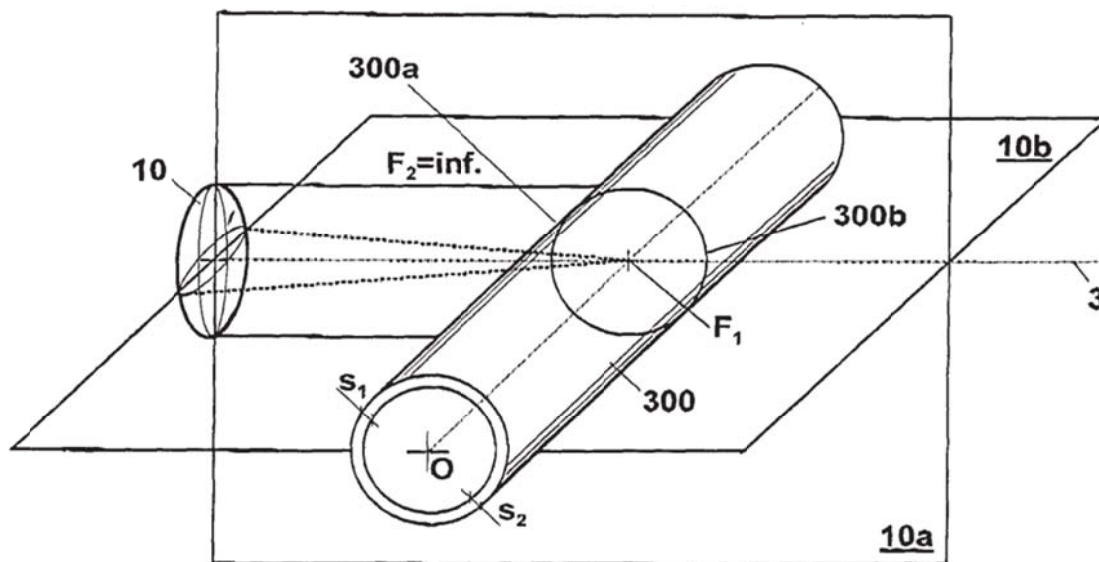


**Fig. 8A**

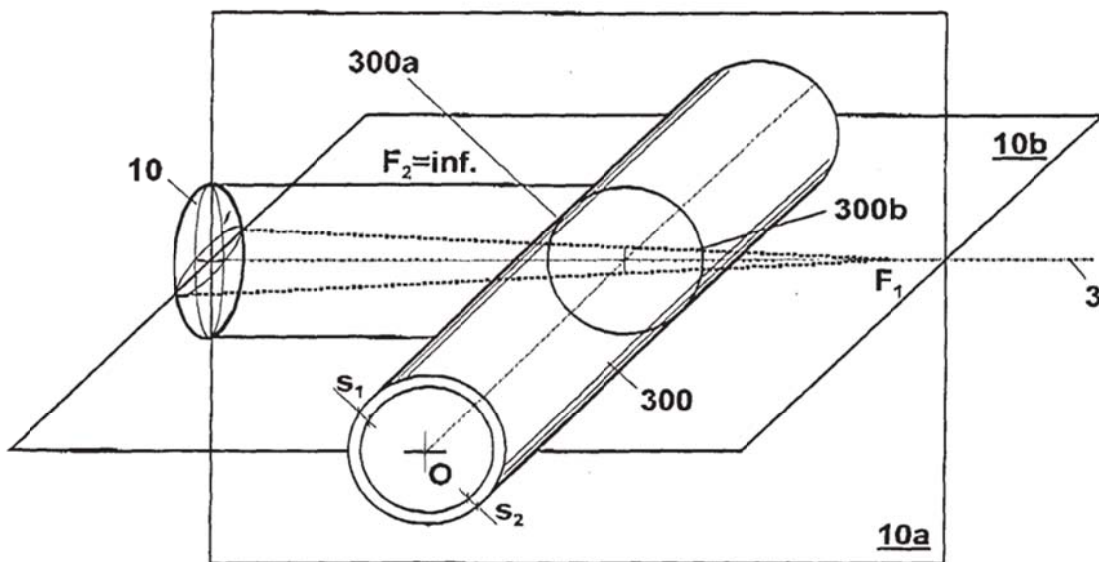




**Fig. 8B**

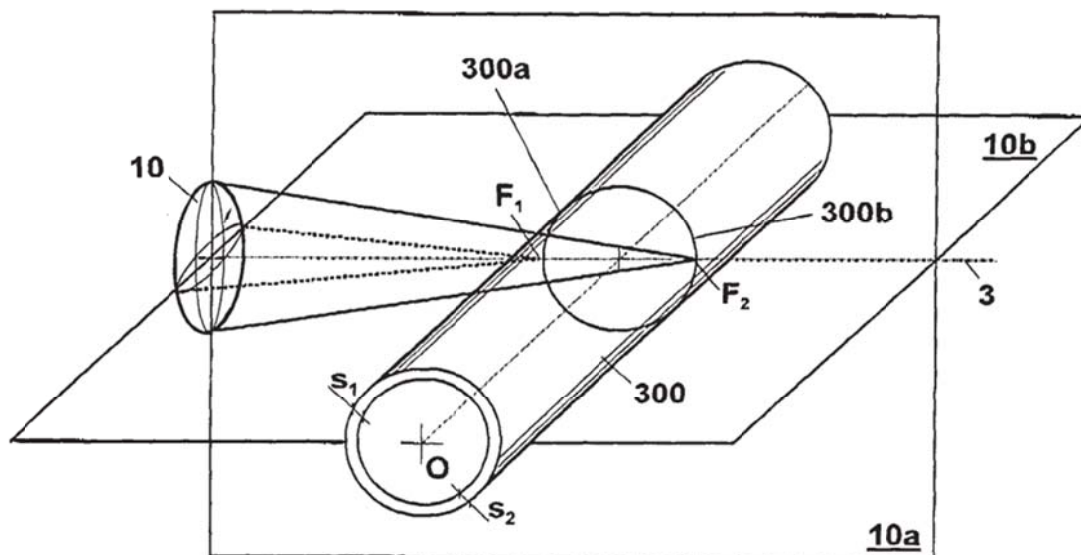


**Fig. 8C**

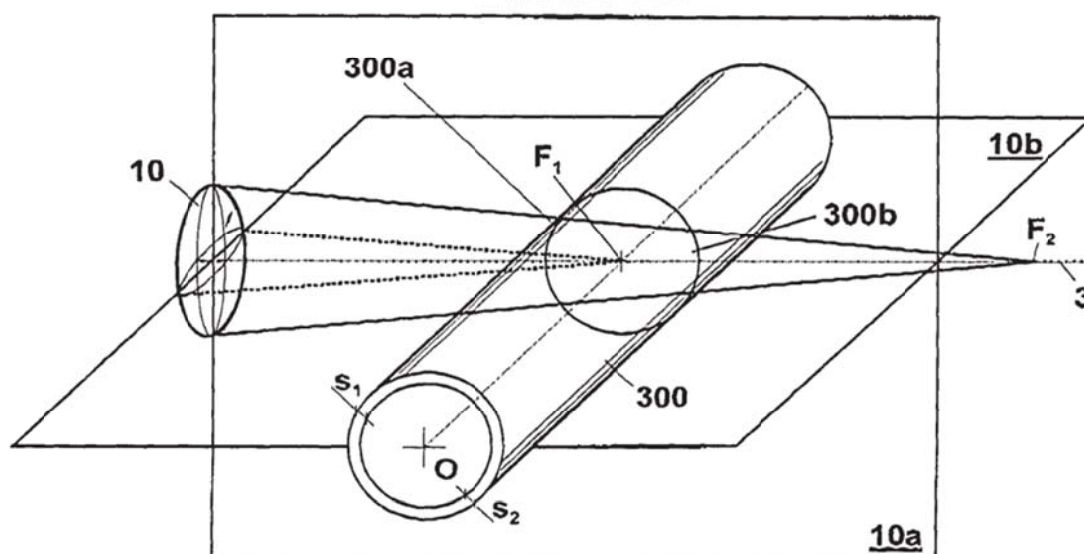




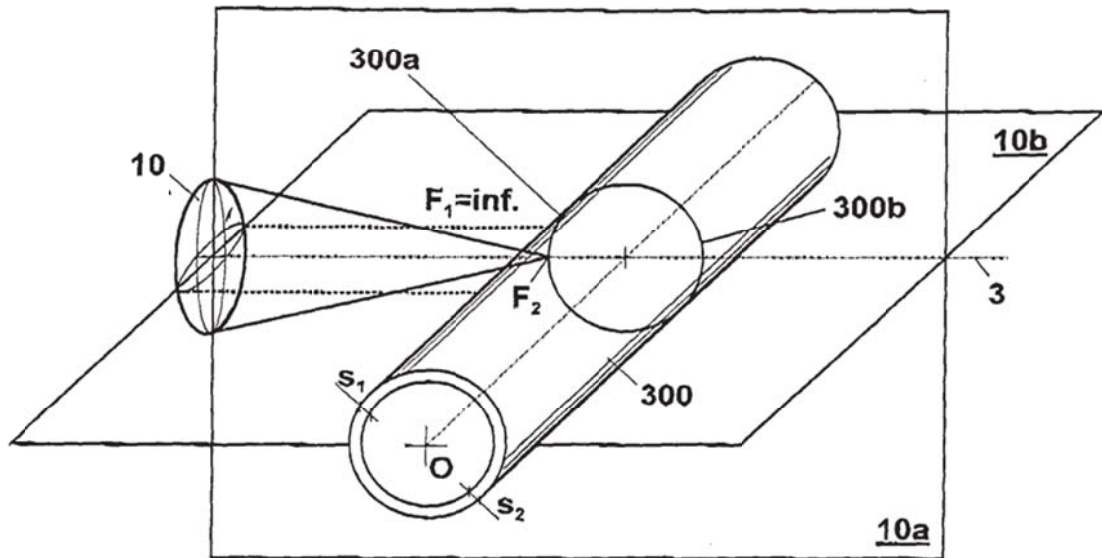
**Fig. 8D**



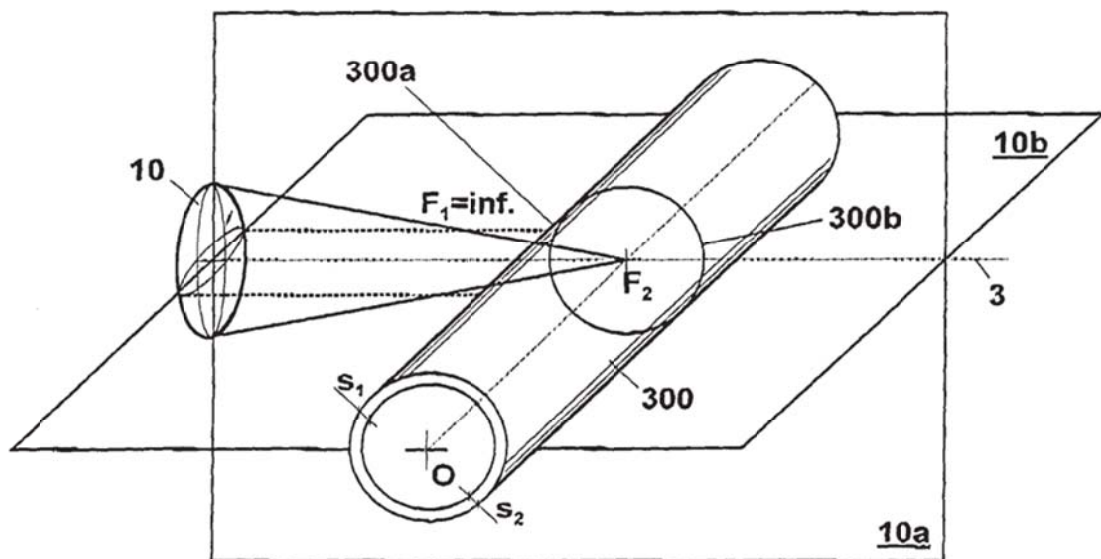
**Fig. 8E**



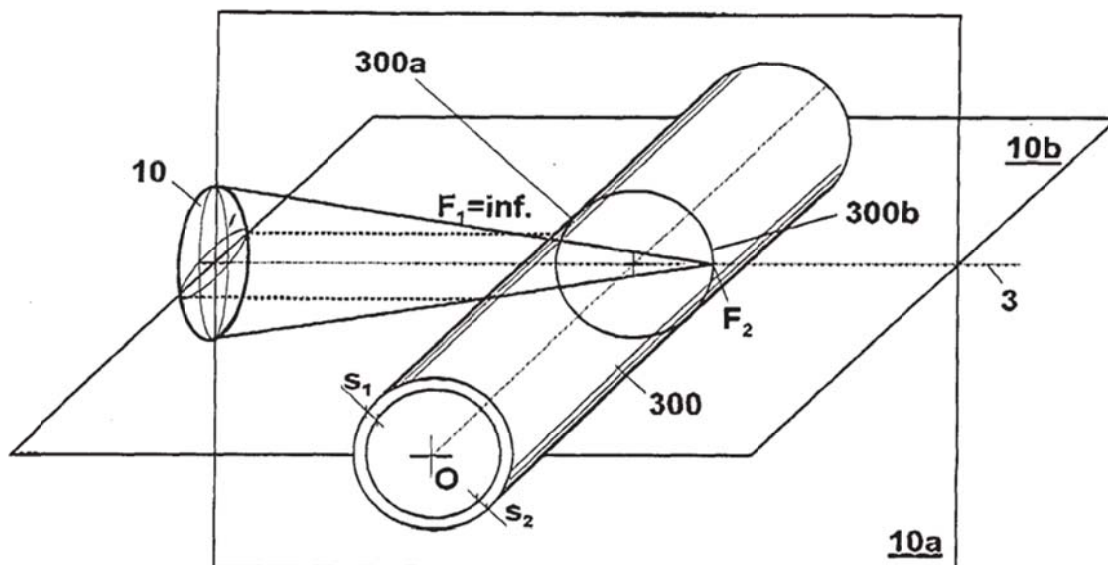
**Fig. 8F**



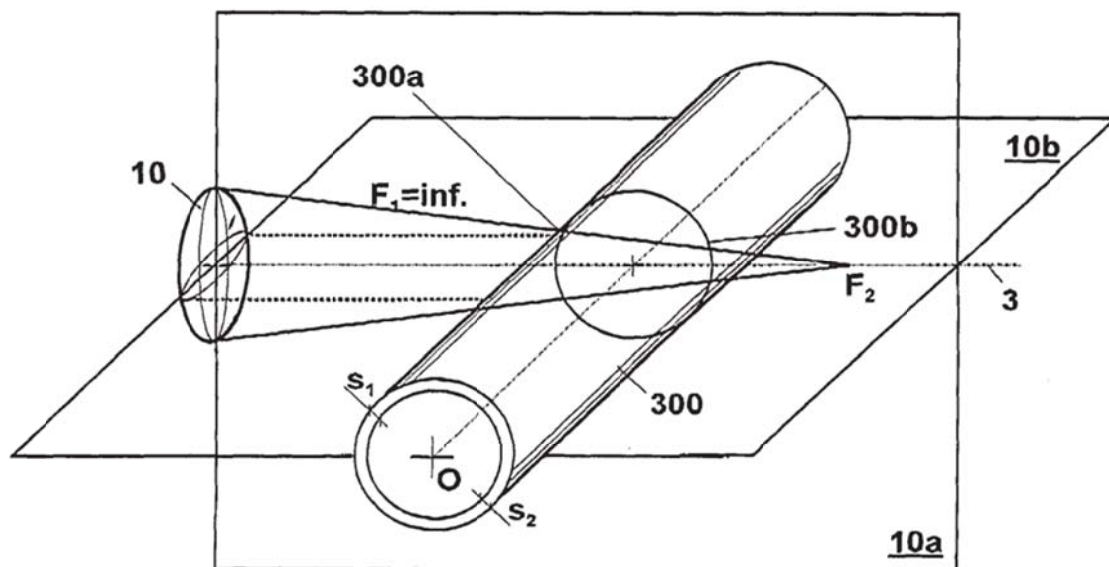
**Fig. 8G**

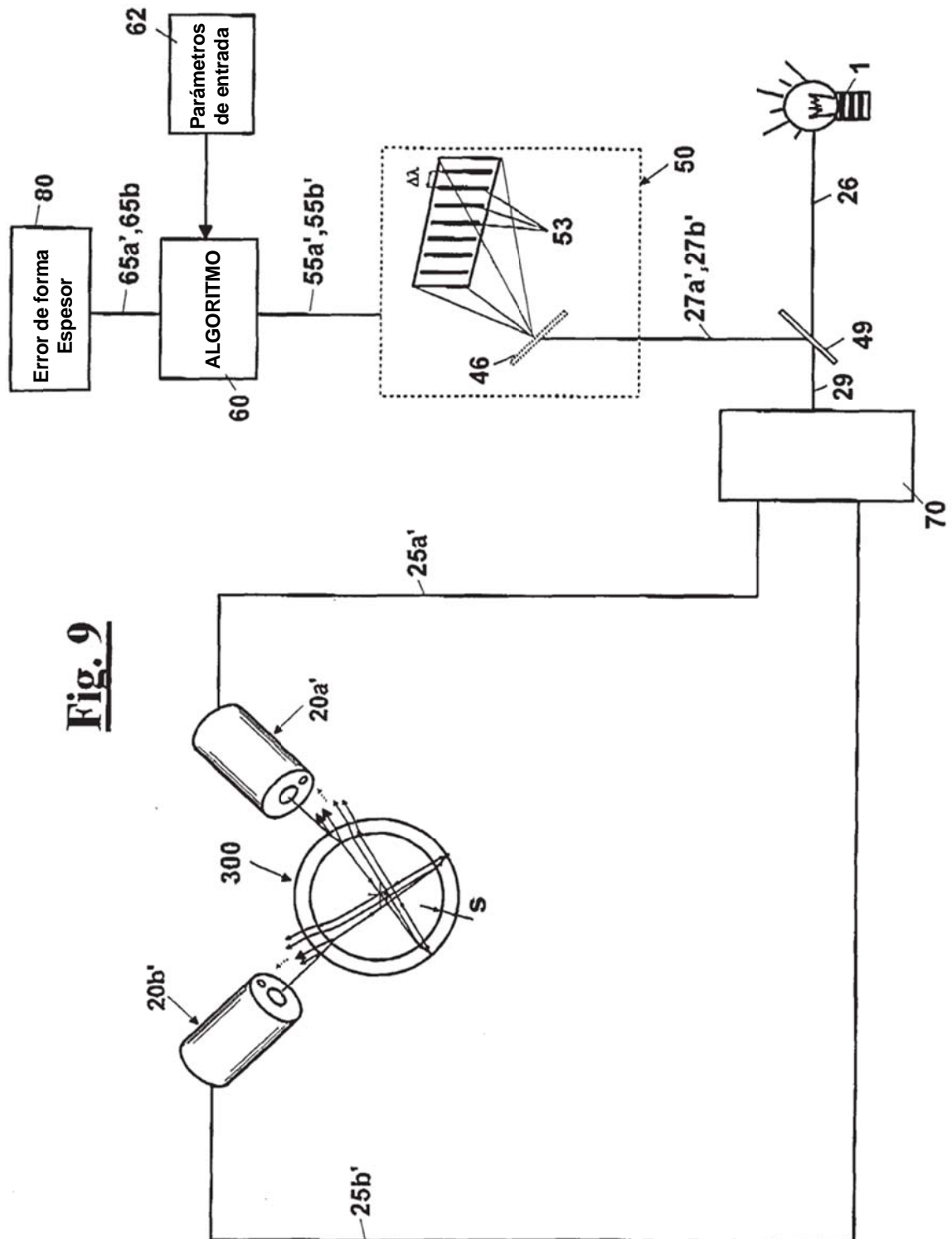


**Fig. 8H**

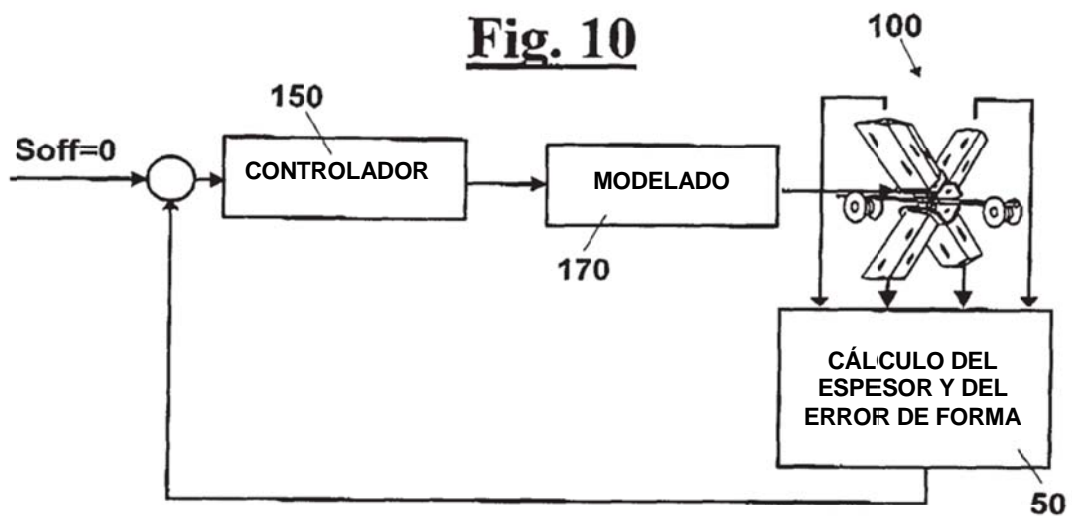


**Fig. 8I**

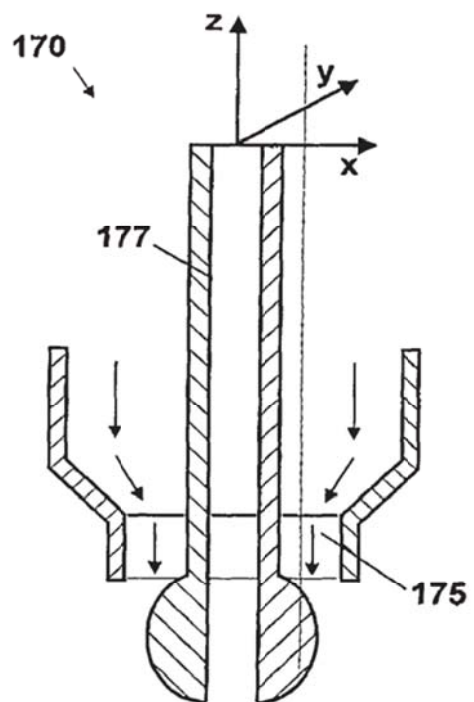




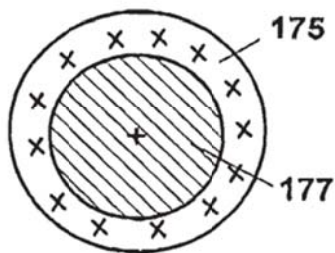
**Fig. 10**



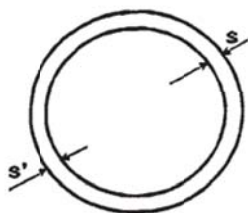
**Fig. 11**



**Fig. 11A**



**Fig. 12**



**Fig. 12A**

