



## DESCRIPCIÓN

Dispositivo para curvar espejos

### Objeto de la invención.

5 La presente invención se refiere a un dispositivo para curvar espejos, especialmente espejos utilizados en aceleradores de partículas.

### Antecedentes de la invención.

10 Algunos aceleradores de partículas suministran haces de fotones o de luz (normalmente, rayos X) a diversas estaciones experimentales (líneas de luz o 'beamlines', en inglés) que utilizan dichos haces de fotones para realizar investigaciones y ensayos en diversos campos, tales como biociencia, materia condensada o ciencia de materiales.

Cada línea de luz incluye una serie de elementos ópticos que convierten el haz de fotones emitido por la fuente de luz, que es divergente y de banda ancha, en un haz con las propiedades requeridas por la técnica experimental específica, que normalmente es monocromático y está enfocado.

15 Debido a que la reflexión mediante superficies curvadas es la manera más eficaz de enfocar estos haces de luz, se utilizan unos espejos curvados cóncavos especiales para llevar a cabo esta función.

20 Estos espejos se pulen en estado plano con un alto grado de precisión y, a continuación, el espejo se dispone en un dispositivo especial para curvar este tipo de espejos (conocido como 'bender', en inglés) que aplica un par en los extremos del espejo e introduce una deformación controlada en el espejo que permite conformarlo en la forma deseada (normalmente, elíptica) a partir de su forma plana original.

Una vez curvado, el espejo presenta una superficie cóncava en la que incide el haz de luz en un ángulo muy reducido y en la que el mismo es reflejado.

25 A pesar de ser fabricado con la mayor precisión posible, el espejo curvado presenta desviaciones con respecto a su curvatura matemática ideal una vez ha sido curvado. Estas desviaciones provocan distorsiones en el frente de onda del haz de luz que es reflejado por el espejo, que pueden provocar una falta de homogeneidad del haz cuando el mismo llega a una muestra o un aumento del tamaño del haz en la ubicación enfocada.

30 Por lo tanto, es deseable corregir en la medida de lo posible estas desviaciones dimensionales del espejo para mejorar la precisión del haz de luz reflejado.

35 Es conocido fabricar espejos con unos elementos piezoeléctricos integrados en el sustrato del espejo y dispuestos a lo largo del mismo. Los elementos piezoeléctricos son activados para variar su dimensión y, de este modo, modificar la forma del espejo en las ubicaciones deseadas a efectos de compensar las desviaciones dimensionales del espejo en cada ubicación correspondiente.

40 Esta solución presenta el inconveniente de que encarece y hace más compleja la fabricación del espejo, que debe incorporar los elementos piezoeléctricos. Asimismo, la resolución y precisión de este sistema son relativamente limitadas, lo que no permite realizar modificaciones dimensionales en el espejo muy precisas.

Otra solución conocida en la técnica consiste en el uso de mecanismos, tal como husillos, en contacto con una de las caras del espejo y que empujan la cara correspondiente a efectos de corregir las desviaciones dimensiones del espejo en dicha ubicación. Dichos mecanismos

incorporan un muelle que trabaja a compresión entre el mecanismo y el espejo para mejorar la resolución del sistema.

5 Aunque el muelle a compresión mejora la resolución del mecanismo de accionamiento para corregir las desviaciones dimensionales del espejo, los valores de resolución obtenidos no son los más óptimos. Además, el contacto entre el mecanismo y el espejo se realiza sin ningún elemento que elimine posibles componentes de fuerza parásitas que podrían introducir deformaciones no deseadas en el espejo.

10 Finalmente, también se conoce una solución que consiste en utilizar un soporte en forma de horquilla con una barra flexible dispuesta entre los dos brazos de la horquilla que contacta con el espejo para aplicar una fuerza en el mismo a efectos de corregir las desviaciones dimensionales provocadas por su propio peso. Al aplicar una fuerza sobre el espejo, el elemento flexible se deforma a flexión para obtener una mayor resolución en la aplicación de la fuerza. De manera similar a los casos anteriores, los valores de resolución y precisión obtenidos con este sistema no son los más óptimos y, además, este sistema está diseñado para corregir las desviaciones dimensionales del espejo provocadas por su propio peso, y no para corregir las desviaciones dimensionales intrínsecas del espejo.

### Descripción de la invención.

20 El objetivo de la presente invención es solventar los inconvenientes que presentan los dispositivos para curvar espejos conocidos en la técnica, proporcionando un dispositivo para curvar espejos que comprende:

- dos soportes laterales para apoyar los extremos correspondientes de un espejo en cada uno de los mismos y un empujador correspondiente dispuesto de forma opuesta con respecto a cada uno de dichos soportes laterales y desplazado hacia el otro soporte lateral para curvar dicho espejo mediante el movimiento relativo entre dicho soporte lateral y dicho empujador;
- 25 - al menos un dispositivo corrector desplazable entre los dos soportes laterales y que comprende medios de unión al espejo y medios de accionamiento para transmitir una fuerza a dichos medios de unión, comprendiendo dichos medios de accionamiento un mecanismo de accionamiento desplazable con respecto a dichos medios de unión y un muelle que conecta el mecanismo de accionamiento a dichos medios de unión, de modo que el muelle transmite una
- 30 fuerza ejercida por el mecanismo de accionamiento a los medios de unión,

caracterizado por el hecho de que

el muelle está en estado estirado en cualquier posición operativa del mecanismo de accionamiento con respecto a los medios de unión.

35 El dispositivo de la presente invención utiliza un muelle en estado estirado para deformar el espejo y corregir las desviaciones dimensionales de la superficie del mismo que reflejara los haces de la luz.

40 Un muelle en estado estirado es intrínsecamente más estable que un muelle en estado comprimido, ya que se elimina el efecto de pandeo presente en los muelles comprimidos, que constituye un factor de inestabilidad y que afecta de forma negativa a la repetibilidad y estabilidad de los valores de fuerza obtenidos al montar el muelle en distintas ubicaciones.

Esto permite aplicar fuerzas en el espejo con una resolución superior a la obtenida con los muelles de compresión y obtener una mayor repetibilidad de los valores de fuerza aplicados por el muelle al utilizarlo para realizar mediciones en distintos espejos o en distintas ubicaciones.

En la presente memoria, por muelle en estado estirado se entenderá un muelle deformado elásticamente con respecto a su estado de reposo y que presenta una mayor longitud en dicho estado estirado que en dicho estado de reposo, de modo que el muelle es capaz de ejercer en estado estirado una fuerza debido a dicha deformación elástica. Al muelle en estado estirado también puede hacerse referencia como un muelle que trabaja a tracción.

Preferiblemente, el muelle es un muelle de tipo helicoidal.

Preferiblemente, el muelle será lo más largo posible y presentará una constante elástica K lo más pequeña posible a efectos de aumentar al máximo la resolución obtenida.

Ventajosamente, los medios de unión comprenden medios de apoyo para contactar con una de las caras del espejo.

Según una realización de la presente invención, los medios de apoyo comprenden unos primeros medios de contacto para contactar con una cara del espejo orientada hacia el muelle.

Según otra realización de la presente invención, los medios de apoyo comprenden unos segundos medios de contacto para contactar con una cara del espejo orientada en alejamiento con respecto al muelle.

Estos medios de apoyo permiten aplicar una fuerza sobre una cara deseada del espejo a efectos de producir una deformación que contrarreste una desviación dimensional en una ubicación del espejo que se corresponde con la posición de dichos medios de apoyo o en otras ubicaciones del espejo de forma indirecta. Dependiendo del tipo de desviación dimensional del espejo que se desee corregir (cóncava o convexa), la fuerza de corrección se aplicará en una u otra cara del espejo.

Preferiblemente, los medios de unión comprenden un elemento oscilante unido de forma articulada por su parte central a un punto fijo del al menos un dispositivo corrector y unido de forma articulada por uno de sus extremos a los medios de apoyo, comprendiendo además dicho elemento oscilante al menos en uno de sus extremos unos primeros medios de conexión al muelle.

El elemento oscilante permite aplicar la fuerza de corrección en cualquiera de las dos caras principales opuestas del espejo utilizando un muelle estirado que trabaja a tracción en todo momento. Para cambiar la dirección de la fuerza de corrección sobre el espejo solamente es necesario unir el muelle a uno o a otro extremo del elemento oscilante.

Preferiblemente, el mecanismo de accionamiento comprende un soporte desplazable y un accionamiento que desplaza dicho soporte desplazable acercándolo y alejándolo con respecto a los medios de unión, comprendiendo dicho soporte desplazable unos segundos medios de conexión al muelle.

Ventajosamente, el soporte desplazable comprende una corredera desplazable perpendicularmente con respecto a la dirección de desplazamiento del soporte desplazable y que comprende los segundos medios de conexión al muelle.

También ventajosamente, el accionamiento es un husillo asociado a un motor eléctrico.

El soporte desplazable del mecanismo de accionamiento es desplazado por el motor eléctrico y el husillo asociado para estirar en mayor o menor medida el muelle, a efectos de aplicar más o menos fuerza de corrección en el espejo. La corredera, que está conectada a uno de los extremos del muelle, puede variar su posición para alinear el muelle sustancialmente en la dirección de desplazamiento del soporte.

Preferiblemente, los soportes laterales y los empujadores están montados en rodamientos para

oscilar en un plano perpendicular con respecto a la dirección de movimiento relativo entre dichos soportes laterales y dichos empujadores.

5 Estos rodamientos eliminan la introducción de cualquier fuerza en el espejo que no sea perpendicular con respecto al plano definido por las dos caras principales del espejo, es decir, eliminan la introducción de cualquier fuerza que no sea paralela con respecto a la dirección de movimiento entre los soportes laterales y los empujadores y que podría deformar de manera no deseada el espejo y afectar a la precisión del doblado del espejo.

También preferiblemente, los medios de apoyo comprenden al menos un rodamiento para contactar con el espejo.

10 Ventajosamente, los medios de unión comprenden una articulación entre el elemento oscilante y los medios de apoyo.

15 El rodamiento y la articulación mencionados también evitan la introducción de fuerzas perpendiculares o no alineadas con la dirección de la fuerza de corrección prevista aplicada por el dispositivo corrector sobre el espejo y que podrían deformar de manera no deseada el espejo y afectar a la precisión de la corrección.

También ventajosamente, los segundos medios de conexión al muelle están montados en un rodamiento.

20 Este rodamiento evita la introducción de fuerzas de torsión en el muelle, ya que permite que uno de los extremos del muelle pueda girar libremente alrededor de su eje longitudinal, mejorando por lo tanto la precisión de la fuerza aplicada por el muelle.

25 La combinación de los rodamientos y articulaciones descritos aplicados en todos los elementos del dispositivo que aplican una fuerza sobre el espejo permite eliminar la introducción de fuerzas no perpendiculares con respecto a las caras del espejo en las que se aplica la fuerza. De este modo, las fuerzas aplicadas sobre el espejo deforman el espejo de la manera prevista, evitándose deformaciones adicionales no deseadas provocadas por fuerzas parásitas derivadas de rozamientos y reacciones en direcciones distintas a la dirección de aplicación de la fuerza prevista.

### **Descripción de las figuras**

30 Con el fin de facilitar la descripción de cuanto se ha expuesto anteriormente se adjuntan unos dibujos en los que, esquemáticamente y tan sólo a título de ejemplo no limitativo, se representa un caso práctico de realización del dispositivo para curvar espejos de la invención, en los cuales:

-las figuras 1a y 1b son unos gráficos esquemáticos del proceso para eliminar las desviaciones dimensionales de un espejo;

35 -la figura 2 en una vista general en perspectiva del dispositivo para curvar espejos de la presente invención con un espejo montado en el mismo;

-la figura 3 es la vista en detalle III mostrada en la figura 2 de uno de los soportes laterales y de uno de los empujadores del dispositivo de la presente invención;

-la figura 4 es una vista parcial del mecanismo para curvar el espejo del dispositivo de la presente invención;

40 -las figuras 5a y 5b muestran una vista en perspectiva de un dispositivo corrector del dispositivo de la presente invención en dos posiciones diferentes del mecanismo de accionamiento de los medios de unión a un espejo;

-las figuras 6a y 6b muestran una vista parcial lateral esquemática en la que puede observarse el funcionamiento del dispositivo corrector para deformar un espejo en dos direcciones distintas correspondientes.

**Descripción de una realización preferida.**

- 5 En las figuras 1a y 1b se muestran unos gráficos esquemáticos que representan una sección a través del espesor de un espejo m utilizado en un acelerador de partículas antes (figura 1a) y después (figura 1b) de ser deformado para corregir los errores o desviaciones dimensionales presentes en la cara del espejo m que reflejará los haces de luz (en este caso, la cara superior del espejo m).
- 10 Las desviaciones dimensionales se han exagerado para mostrar más claramente cómo se lleva a cabo la corrección de las mismas. Tal como puede observarse, para corregir las desviaciones convexas de la cara superior se aplican fuerzas correspondientes dirigidas hacia abajo en las ubicaciones correspondientes a dichas desviaciones convexas. Para corregir las desviaciones cóncavas de la cara superior se aplican fuerzas correspondientes dirigidas hacia arriba en la cara inferior del espejo m y en las ubicaciones correspondientes a dichas desviaciones cóncavas.
- 15

El resultado de aplicar estas fuerzas puede observarse en la figura 1b, en la que el espejo m deformado elásticamente presenta una cara superior uniforme en la que se han corregido los errores superficiales.

- 20 Este proceso de corrección de desviaciones dimensionales descrito y la manera de llevarlo a cabo en el dispositivo de la presente invención se describirán de forma más detallada más adelante.

En la figura 2 se muestra un dispositivo D para curvar espejos de la presente invención.

- 25 El dispositivo D comprende una estructura 1 con una placa frontal 1a y una placa posterior 1b que soporta un espejo m de un acelerador de partículas. El espejo m presenta una forma estrecha y alargada y está apoyado por su cara inferior, en sus dos extremos libres, en unos soportes laterales 2 situados en los extremos de la estructura 1 del dispositivo D. La cara del espejo m que reflejará haces de luz será la cara superior mostrada en la figura.

- 30 Unos empujadores 3 están dispuestos junto a cada soporte lateral 2, soportados en un bastidor 4c, de modo que los mismos quedan situados orientados hacia abajo, de forma opuesta con respecto al soporte lateral 2 correspondiente. Cada empujador 3 dispuesto junto a un soporte lateral 2 correspondiente está desplazado hacia el soporte lateral 2 situado en el otro extremo del dispositivo D, de modo que cada soporte lateral 2 y el empujador 3 correspondiente están separados por una distancia d en la dirección longitudinal del espejo (ver figura 3).

- 35 Tal como se ha mencionado anteriormente, el dispositivo D de la presente invención sirve para curvar el espejo m para que su cara superior presente una configuración cóncava (preferiblemente elíptica) en la dirección longitudinal del espejo m. Para conseguir esta configuración cóncava, los empujadores 3 se desplazan en una dirección perpendicular con respecto a la cara superior del espejo m (hacia abajo en la figura) reduciendo su distancia vertical con respecto al soporte lateral 2 correspondiente y empujando la cara superior del espejo m mediante la aplicación de una fuerza.
- 40

De este modo, la distancia d (por ejemplo, 25 mm) entre los soportes laterales 2 y los empujadores 3 hace que ambos elementos empujen las caras correspondientes del espejo m en sentido contrario e introduzcan dos pares en los extremos del espejo m que hacen que el mismo se curve de forma cóncava (hacia abajo en la figura).

- 45 La curvatura del espejo m puede regularse dependiendo de la fuerza aplicada por los

empujadores 3.

Haciendo referencia a la figura 4, a continuación se describe el mecanismo que permite aplicar fuerza a través de los empujadores 3.

5 Los empujadores 3 están soportados en la parte superior del bastidor 4c, que está unido por su parte inferior a una primera articulación 4d de tipo cardán (articulación doble), conectada por su parte inferior a una galga extensiométrica 4e que está conectada por su parte inferior a una segunda articulación 4d de cardán. La segunda articulación 4d de cardán está conectada de manera articulada a una primera corredera 4b sobre la que están soportados un par de muelles 4a que están unidos por su parte superior a una segunda corredera 4f.

10 La primera y la segunda correderas 4b y 4f se desplazan a lo largo de unas guías 4g fijas que se extienden verticalmente. La segunda corredera 4f está asociada a un mecanismo de motor y husillo, no visible en la figura y situado detrás de las correderas 4b, 4f, que desplaza la segunda corredera 4f a lo largo de las guías 4g.

15 De este modo, el desplazamiento de la segunda corredera 4f hacia abajo en la figura 4 comprime los muelles 4a entre la segunda corredera 4f y la primera corredera 4b. Los muelles 4a empujan la primera corredera 4b hacia abajo, que tira a su vez de la segunda articulación 4d de cardán hacia abajo, tirando por lo tanto de la galga extensiométrica 4e, de la primera articulación 4d de cardán, del bastidor 4c y de los empujadores 3 hacia abajo, de manera que los empujadores 3 ejercen la fuerza aplicada por el mecanismo de motor y husillo sobre el espejo m.

20 Los muelles 4a permiten aplicar una fuerza en el espejo m mediante los empujadores 3 con una mayor resolución, ya que la resolución mínima del mecanismo de motor y husillo que desplaza la segunda corredera 4f está definida por el ángulo de giro mínimo del motor desmultiplicado por un reductor correspondiente. Los muelles 4a permiten obtener una transición más paulatina de la fuerza aplicada en el espejo m entre dos posiciones distintas de la segunda corredera 4f  
25 definidas por la resolución del mecanismo de motor-husillo que la desplaza.

La presencia de las articulaciones 4d de cardán permite que la galga extensiométrica 4e situada entre las mismas registre la fuerza aplicada sobre los empujadores 3 de la manera más precisa posible, eliminando componentes de fuerza residuales no paralelos con respecto a la dirección de la fuerza principal aplicada sobre los empujadores 3 a través de la primera corredera 4b (en la  
30 realización descrita, en dirección vertical). Esto permite controlar de forma todavía más precisa la fuerza aplicada sobre el espejo m.

Tal como puede observarse, los soportes laterales 2 están soportados de forma articulada en un eje de articulación paralelo con respecto a la dirección longitudinal del espejo m y definido por dos rodamientos 2a (solamente uno de ellos es visible en la figura 3) y en un eje de articulación  
35 perpendicular con respecto a la dirección longitudinal del espejo m y definido por dos rodamientos 2b (solamente uno de ellos es visible en las figuras 3 y 4), definiendo ambos ejes de articulación un plano paralelo con respecto a la cara superior del espejo m o perpendicular con respecto a la dirección de desplazamiento entre los soportes 2 y los empujadores 3.

De manera similar, los empujadores 3 están soportados de forma articulada en un eje de articulación paralelo con respecto a la dirección longitudinal del espejo m y definido por unos rodamientos 3a y en un eje de articulación perpendicular con respecto a la dirección longitudinal del espejo m y definido por unos rodamientos 3b (solamente uno de ellos es visible en la figura  
40 4), definiendo ambos ejes de articulación un plano paralelo con respecto a la cara superior del espejo m o perpendicular con respecto a la dirección de desplazamiento entre los soportes 2 y los empujadores 3.  
45

Este soporte articulado de los soportes laterales 2 y de los empujadores 3 permite alinear bien los

soportes laterales 2 sin introducir ninguna torsión en el espejo m al apoyarlo en los mismos y evita introducir ninguna fuerza residual que no sea puramente perpendicular con respecto al plano definido por la cara superior del espejo m.

5 Preferiblemente, los rodamientos 2a, 2b, 3a, 3b usados son rodamientos rígidos de bolas. Estos rodamientos presentan preferiblemente un juego en una dirección paralela con respecto a su eje de giro que permite una pequeña rotación perpendicular con respecto a su eje de giro, lo que facilita la no introducción de las fuerzas residuales no deseadas mencionadas anteriormente en el espejo m.

10 Asimismo, la superficie de los soportes laterales 2 y de los empujadores 3 para contactar con el espejo m tiene un perfil convexo optimizado para evitar tensiones excesivas en los puntos de contacto con dicho espejo m.

El dispositivo D está diseñado para acomodar espejos con longitudes diferentes, por ejemplo, de 300 mm a 1500 mm, y con secciones transversales diferentes, por ejemplo, 50 mm de ancho por 20 mm de espesor.

15 Es posible fabricar estructuras 1 con diferentes longitudes para adaptar el dispositivo D a espejos de distintas longitudes.

20 El dispositivo D mostrado en la figura 2 comprende dos dispositivos correctores 5. La función de estos dispositivos correctores 5 consiste en corregir las posibles desviaciones dimensionales del espejo m con respecto a su forma matemática ideal una vez ha sido curvado, haciéndose referencia nuevamente a las figuras 1a y 1b.

25 Haciendo referencia también a las figuras 5a y 5b, cada dispositivo corrector 5 comprende un bastidor 5a vertical en forma de U desplazable entre los dos soportes laterales 2 del dispositivo D. El bastidor 5a se mueve a lo largo de unas guías 6 dispuestas en las caras internas de las placas frontal y posterior 1a, 1b de la estructura 1 del dispositivo D, por las que se desplazan unas correderas 5b dispuestas en los lados del bastidor 5a. De este modo, cada dispositivo corrector 5 puede colocarse en una ubicación deseada a lo largo del espejo m soportado en el dispositivo D. La posición de cada dispositivo corrector 5 se fija mediante unas fijaciones 5s que ejercen una presión sobre los bordes de las placas 1a, 1b (ver figura 2).

30 En la figura 2 pueden observarse dos dispositivos correctores 5 configurados de manera diferente para ejercer una fuerza dirigida hacia abajo sobre la cara superior del espejo (el dispositivo corrector 5 situado a la derecha) y para ejercer una fuerza dirigida hacia arriba sobre la cara inferior del espejo (el dispositivo corrector situado a la izquierda). El dispositivo corrector 5 mostrado en las figuras 5a y 5b se corresponde con el dispositivo corrector de la derecha en la figura 2.

35 Asimismo, haciendo referencia anticipadamente a las figuras 6a y 6b, el dispositivo corrector 5 de la figura 6a se corresponde con el dispositivo corrector situado a la izquierda en la figura 2 y el dispositivo corrector 5 de la figura 6b se corresponde con el dispositivo corrector situado a la derecha en la figura 2.

40 Tal como puede observarse más claramente en las figuras 5a y 5b, el bastidor 5a comprende un cuerpo en forma de U con dos barras 5c verticales paralelas conectados por su parte superior por un travesaño 5d de refuerzo para rigidizar el bastidor 5a.

45 El extremo superior de la barra 5c situada a la izquierda en las figuras 5a y 5b comprende una horquilla 5e que se extiende hacia la barra 5c opuesta del bastidor 5a. En esta horquilla 5e está articulada por su parte intermedia una barra 5f a través de un eje 5g de articulación, de modo que la barra 5f oscila alrededor de dicho eje 5g de articulación.

La barra 5f está articulada por su extremo libre más alejado de la horquilla 5e a otra horquilla vertical 5h a través de una articulación 5j. La horquilla 5h constituye unos medios de contacto con el espejo m y soporta unos rodamientos 5i que, en las figuras 5a y 5b contactan con la cara superior del espejo m y están dispuestos junto a los extremos libres de los brazos de la horquilla 5h (ver también figura 2 y figura 6b). Los rodamientos 5i también pueden estar dispuestos en la base de los brazos de la horquilla 5h (ver figura 2 y figura 6a) para contactar con la cara inferior del espejo m.

Los rodamientos 5i son preferiblemente de tipo rígido de bolas. Preferiblemente, estos rodamientos 5i son del tipo mencionado anteriormente haciendo referencia a los rodamientos 2a, 2b, 3a, 3b.

La disposición de los rodamientos 5i del dispositivo corrector 5 situado a la derecha en la figura 2 y mostrado en las figuras 5a, 5b y 6b permite ejercer una fuerza sobre la cara superior del espejo m dirigida hacia abajo que es transmitida al espejo a través de los rodamientos 5i. La disposición de los rodamientos 5i del dispositivo corrector 5 situado a la izquierda en la figura 2 y mostrado en la figura 6a permite ejercer una fuerza sobre la cara inferior del espejo m dirigida hacia arriba que es transmitida al espejo a través de los rodamientos 5i.

El espejo m queda dispuesto entre los brazos de la horquilla 5h, de modo que los rodamientos 5i pueden quedar dispuestos en contacto con su cara inferior o en contacto con su cara superior (ver figuras 6a y 6b).

La barra 5f también comprende una conexión 5k y una conexión 5l en su parte inferior, situadas en el extremo libre de la barra 5f que comprende la articulación 5j y en el extremo opuesto, respectivamente, y cuya función se explicará a continuación. Estas conexiones 5k y 5l pueden estar presentes en la barra 5f simultáneamente o de manera individual.

Un mecanismo de accionamiento está montado en la barra 5c del bastidor 5a opuesta a la barra 5c en la que está situada la horquilla 5e. Este mecanismo de accionamiento comprende un motor 5r eléctrico paso a paso y un husillo 5m dispuesto en paralelo con respecto a la barra 5c y asociado al motor 5r a través de un reductor 5t. El husillo 5m gira de forma controlada mediante el motor 5r.

Aunque en la realización descrita el mecanismo de accionamiento comprende un motor eléctrico 5r, el mecanismo también podría comprender en su lugar un dispositivo manual más sencillo, por ejemplo, un tornillo accionado mediante un desatornillador.

El mecanismo de accionamiento también comprende un soporte alargado 5n que se extiende horizontalmente entre las dos barras 5c del bastidor 5a y que está asociado al husillo 5m a través de un elemento de tuerca, de modo que el giro del husillo 5m en un sentido o en sentido opuesto hace subir o bajar de forma correspondiente dicho soporte 5n (ver las figuras 5a y 5b, en las que el soporte 5n está dispuesto en dos posiciones diferentes). El soporte 5n también está asociado a una guía 5o dispuesta en el lado interior de la barra 5c en la que está montado el husillo 5m y que hace posible un desplazamiento preciso del soporte 5n en dirección vertical.

En el soporte 5n está montada una corredera 5p deslizable a lo largo de la longitud del soporte 5n, es decir horizontalmente entre las barras 5c del bastidor 5a y perpendicularmente con respecto a la dirección de desplazamiento vertical del soporte 5n.

La corredera 5p comprende una conexión 5q montada en una articulación y cuya función se explicará a continuación. De este modo, la corredera 5p y la conexión 5q correspondiente pueden desplazarse vertical y horizontalmente en un plano definido por las dos barras 5c del bastidor 5a del dispositivo corrector 5.

El dispositivo corrector 5 comprende además un muelle S, en la realización mostrada, un muelle

helicoidal, que puede conectarse por su extremo libre superior a la conexión 5l o a la conexión 5k y por su extremo libre inferior a la conexión 5q. El muelle S conecta la barra 5f al soporte 5n y, por lo tanto, conecta la horquilla 5h al mecanismo de accionamiento formado por el motor 5r, el husillo 5m y el soporte 5n. El muelle S está en estado estirado en cualquier posición relativa entre las conexiones 5k, 5l y la conexión 5q, o en cualquier posición relativa entre la barra 5f y el soporte 5n, es decir, el muelle S trabaja a tracción en todo momento.

La función del muelle S consiste en transmitir una fuerza realizada por el soporte 5n al desplazarse verticalmente a los rodamientos 5i montados en la horquilla 5h y, por lo tanto, a la cara superior o a la cara inferior del espejo m, dependiendo de la conexión 5k o 5l de la barra 5f a la que está unido el extremo superior del muelle S, tal como se describirá a continuación.

El muelle S permite aplicar una fuerza en el espejo m mediante el mecanismo de accionamiento del dispositivo D de la presente invención con una mayor resolución. La resolución mínima del mecanismo sin el muelle S está definida por el ángulo de giro mínimo del motor 5r desmultiplicado por el reductor 5t y que hace girar el husillo 5m y que desplaza el soporte 5n. La disposición del muelle S entre el mecanismo de accionamiento y el espejo m permite obtener una transición más paulatina de la fuerza aplicada en el espejo m entre dos posiciones distintas del mecanismo definidas por su resolución. El hecho de que el muelle S trabaje a tracción mejora adicionalmente la resolución, repetibilidad y estabilidad de la fuerza que es posible aplicar en el espejo, ya que un muelle estirado o que trabaja a tracción es intrínsecamente más estable que un muelle comprimido o que trabaja a compresión.

Haciendo referencia nuevamente a las figuras 6a y 6b, el muelle S puede fijarse por su extremo libre inferior a la conexión 5q de la corredera 5p y puede fijarse por su extremo libre superior a la conexión 5k o a la conexión 5l de la barra oscilante 5f.

Para ejercer sobre la cara inferior del espejo m una fuerza dirigida hacia arriba (ver figura 6a), la horquilla 5h se dispone con los rodamientos 5i apoyados en la cara inferior del espejo m. El extremo libre superior del muelle S se une a la conexión 5k de la barra oscilante 5f, situada en el extremo opuesto de la barra oscilante 5f con respecto al extremo en el que está dispuesta la articulación 5j, y el extremo libre inferior del muelle S se une a la conexión 5q de la corredera 5p, de modo que el muelle S queda estirado entre estas dos conexiones. La corredera 5p puede desplazarse a lo largo del soporte 5n para quedar dispuesta alineada verticalmente con la conexión 5k, tal como se muestra en la figura 6a.

El muelle S estirado tira de la conexión 5k de la barra 5f hacia abajo, haciendo bascular la barra 5f alrededor de la articulación 5g, en sentido anti horario en la figura 6a. De este modo, el extremo que contiene la articulación 5j de la barra oscilante 5f empuja la horquilla 5h y los rodamientos 5i hacia arriba, de manera que se aplica una fuerza dirigida hacia arriba sobre la cara inferior del espejo m a través de los rodamientos 5i. Por lo tanto, esta fuerza servirá para compensar deformaciones cóncavas en la superficie superior del espejo m.

Mediante el desplazamiento vertical del soporte 5n se ajustará la fuerza que el muelle S transmite a los rodamientos 5i. Cuanto más baje el soporte 5n, más fuerza será aplicada sobre la superficie inferior del espejo m, y cuanto menos baje, menos fuerza será aplicada sobre la misma. La fuerza aplicada dependerá del grado de deformación del espejo m que se desea obtener, que depende de la desviación dimensional del espejo m en la ubicación sobre la que se aplica la fuerza.

Para ejercer sobre la cara superior del espejo m una fuerza dirigida hacia abajo (ver figura 6b), la horquilla 5h se dispone con los rodamientos 5i apoyados en la cara superior del espejo m. El extremo libre superior del muelle S se une a la conexión 5l de la barra oscilante 5f, situada debajo de la horquilla 5h, y el extremo libre inferior del muelle S se une a la conexión 5q de la corredera 5p, de modo que el muelle S queda estirado entre estas dos conexiones. La corredera 5p puede

desplazarse a lo largo del soporte 5n para quedar dispuesta alineada verticalmente con la conexión 5l, tal como se muestra en la figura 6b.

5 El muelle S estirado tira de la conexión 5l de la barra 5f hacia abajo, haciéndola bascular alrededor de la articulación 5g, en sentido horario en la figura 6b. De este modo, el muelle S también tira de la horquilla 5h y de los rodamientos 5i hacia abajo a través de la articulación 5j, de manera que se aplica una fuerza dirigida hacia abajo sobre la cara superior del espejo m a través de los rodamientos 5i. Por lo tanto, esta fuerza servirá para compensar deformaciones convexas en la superficie superior del espejo m.

10 Del mismo modo que se ha descrito anteriormente, mediante el desplazamiento vertical del soporte 5n se ajustará la fuerza que el muelle S transmite a los rodamientos 5i. Cuanto más baje el soporte 5n, más fuerza será aplicada sobre la superficie superior del espejo m, y cuanto menos baje, menos fuerza será aplicada sobre la misma (ver, por ejemplo, las dos posiciones del soporte 5n mostradas en las figuras 5a y 5b).

15 Aunque en las realizaciones mostradas las horquillas 5h tienen los rodamientos 5i montados en la parte superior de sus brazos o en la parte inferior de los mismos, también sería posible utilizar horquillas 5h con rodamientos 5i montados en la parte superior y en la parte inferior de sus brazos, de modo que sea posible utilizar la misma horquilla 5h para ejercer una fuerza en ambas caras superior e inferior de un espejo.

20 La articulación 5j, que puede ser una articulación basada en rodamientos rígidos de bolas (del tipo mencionado anteriormente haciendo referencia a los rodamientos 2a, 2b, 3a, 3b), y que permite obtener un efecto de rótula, disminuye al máximo las posibles componentes de la fuerza aplicada en el espejo m que no son puramente perpendiculares con respecto a las caras del espejo m. Además, los rodamientos 5i también eliminan cualquier componente de fuerza no perpendicular con respecto a las caras del espejo m. Asimismo, la conexión 5q de la corredera está montada en un rodamiento que permite su giro alrededor de un eje sustancialmente paralelo al eje longitudinal del muelle S para evitar la aparición de fuerzas de torsión en el muelle S que podrían introducir imprecisiones.

30 Aunque la realización descrita del dispositivo corrector 5 comprende una corredera 5p a la que se conecta el extremo inferior del muelle S, también se contemplan realizaciones alternativas en las que dicha corredera 5p no está presente y en las que unas conexiones fijas para el muelle están dispuestas en el soporte 5n, alineadas verticalmente con la conexión 5k o 5l correspondiente de la barra 5f.

Preferiblemente, el muelle S es un muelle helicoidal largo con una constante elástica conocida y muy pequeña que permite una resolución en la aplicación de fuerza por debajo de 0,01 N.

35 Preferiblemente, la constante elástica del muelle S estará comprendida entre 0,0065 y 0,031599 daN/mm.

Este tipo de muelle permite obtener una alta resistencia a cambios dimensionales térmicos y permite llevar a cabo una aplicación de fuerza repetible después de montar y desmontar repetidamente espejos diferentes en el dispositivo D.

40 El muelle S puede ser un muelle convencional de catálogo cuyas características son conocidas de forma precisa, lo que facilita el control preciso de la fuerza aplicada sobre el espejo m y la obtención de un muelle S de forma fácil y económica.

45 Tal como se ha explicado anteriormente, los dispositivos correctores 5 pueden desplazarse entre los soportes laterales 2 del dispositivo para poder disponerlos en la ubicación longitudinal del espejo m cuya desviación dimensional se desea corregir. El número de dispositivos correctores 5 en el dispositivo puede ser el más adecuado para cada espejo.

Tal como puede observarse a partir de lo anteriormente expuesto, el muelle S que trabaja a tracción del dispositivo D de la invención permite mejorar la resolución de la fuerza aplicada en el espejo m con respecto a los dispositivos anteriores que utilizaban otras configuraciones basadas en muelles a compresión, elementos piezoeléctricos o elementos que trabajan a flexión.

- 5 Además, la incorporación de articulaciones y rodamientos en todos los elementos que ejercen una fuerza sobre el espejo permite eliminar cualquier componente de fuerza que no sea perpendicular con respecto a las caras del espejo en las que se aplica dicha fuerza, evitando por lo tanto introducir ninguna fuerza de compresión o de otro tipo no deseada en el espejo m.

- 10 Gracias a las características descritas, el dispositivo D de la invención permite doblar y deformar un espejo m controlando de manera precisa los valores de fuerza aplicados sobre dicho espejo. Gracias a la teoría de la elasticidad, que predice la deformación de un cuerpo a partir de una fuerza aplicada sobre el mismo, la precisión de la deformación llevada a cabo sobre el espejo puede ser muy elevada, ya que la resolución de la fuerza aplicada obtenida mediante el dispositivo D de la presente invención está por debajo de las centésimas de Newton.

- 15 De este modo, el dispositivo D de la presente invención permite mejorar la precisión superficial resultante de un espejo en un factor aproximado de 10 con respecto a los errores iniciales de dicho espejo.

- 20 Finalmente, aunque el dispositivo de la presente invención resulta útil principalmente para doblar y corregir espejos usados en aceleradores de partículas, el mismo también puede ser utilizado con espejos usados en otros ámbitos.

## REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (D) para curvar espejos (m) que comprende:
  - dos soportes laterales (2) para apoyar los extremos correspondientes de un espejo (m) en cada uno de los mismos y un empujador (3) correspondiente dispuesto de forma opuesta con respecto a cada uno de dichos soportes laterales (2) y desplazado hacia el otro soporte lateral (2) para curvar dicho espejo (m) mediante el movimiento relativo entre dicho soporte lateral (2) y dicho empujador (3);
  - al menos un dispositivo corrector (5) desplazable entre los dos soportes laterales (2) y que comprende medios (5f, 5h, 5i) de unión al espejo (m) y medios (S, 5r, 5t, 5m, 5n, 5p) de accionamiento para transmitir una fuerza a dichos medios de unión, comprendiendo dichos medios de accionamiento un mecanismo (5r, 5t, 5m, 5n, 5p) de accionamiento desplazable con respecto a dichos medios de unión y un muelle (S) que conecta el mecanismo de accionamiento a dichos medios de unión, de modo que el muelle (S) transmite una fuerza ejercida por el mecanismo de accionamiento a los medios de unión, **caracterizado por el hecho de que** el muelle (S) está en estado estirado en cualquier posición operativa del mecanismo de accionamiento con respecto a los medios de unión.
2. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** el muelle (S) es un muelle de tipo helicoidal.
3. Dispositivo según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por el hecho de que** los medios de unión comprenden medios (5h, 5i) de apoyo para contactar con una de las caras del espejo (m).
4. Dispositivo según la reivindicación 3, **caracterizado por el hecho de que** los medios de apoyo comprenden unos primeros medios (5h, 5i) de contacto para contactar con una cara del espejo (m) orientada hacia el muelle (S).
5. Dispositivo según la reivindicación 3 o 4, **caracterizado por el hecho de que** los medios de apoyo comprenden unos segundos medios (5h, 5i) de contacto para contactar con una cara del espejo (m) orientada en alejamiento con respecto al muelle (S).
6. Dispositivo según la reivindicación 3, **caracterizado por el hecho de que** los medios de unión comprenden un elemento oscilante (5f) unido de forma articulada (5g) por su parte central a un punto fijo del al menos un dispositivo corrector (5) y unido de forma articulada (5j) por uno de sus extremos a los medios (5h, 5i) de apoyo, comprendiendo además dicho elemento oscilante (5f) al menos en uno de sus extremos unos primeros medios (5k, 5l) de conexión al muelle (S).
7. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** el mecanismo de accionamiento comprende un soporte desplazable (5n) y un accionamiento (5r, 5t, 5m) que desplaza dicho soporte desplazable (5n) acercándolo y alejándolo con respecto a los medios (5f, 5h, 5i) de unión, comprendiendo dicho soporte desplazable (5n) unos segundos medios (5q) de conexión al muelle (S).
8. Dispositivo según la reivindicación 7, **caracterizado por el hecho de que** el soporte desplazable (5n) comprende una corredera (5p) desplazable perpendicularmente con respecto a la dirección de desplazamiento del soporte desplazable (5n) y que comprende los segundos medios (5q) de conexión al muelle (S).
9. Dispositivo según la reivindicación 7, **caracterizado por el hecho de que** el accionamiento es un husillo (5m) asociado a un motor eléctrico (5r).

10. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** los soportes laterales (2) y los empujadores (3) están montados en rodamientos (2a, 2b, 3a, 3b) para oscilar en un plano perpendicular con respecto a la dirección de movimiento relativo entre dichos soportes laterales (2) y dichos empujadores (3).
- 5 11. Dispositivo según la reivindicación 3, **caracterizado por el hecho de que** los medios de apoyo comprenden al menos un rodamiento (5i) para contactar con el espejo (m).
12. Dispositivo según la reivindicación 6, **caracterizado por el hecho de que** los medios de unión comprenden una articulación (5j) entre el elemento oscilante (5f) y los medios (5h, 5i) de apoyo.
- 10 13. Dispositivo según la reivindicación 8, **caracterizado por el hecho de que** los segundos medios (5q) de conexión al muelle (S) están montados en un rodamiento.

Fig.1a



Fig.1b

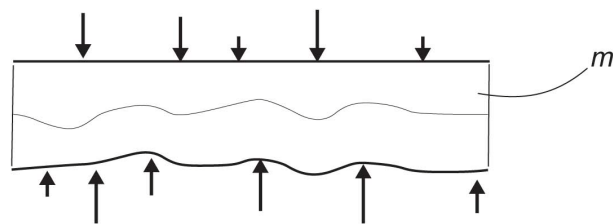


Fig.2

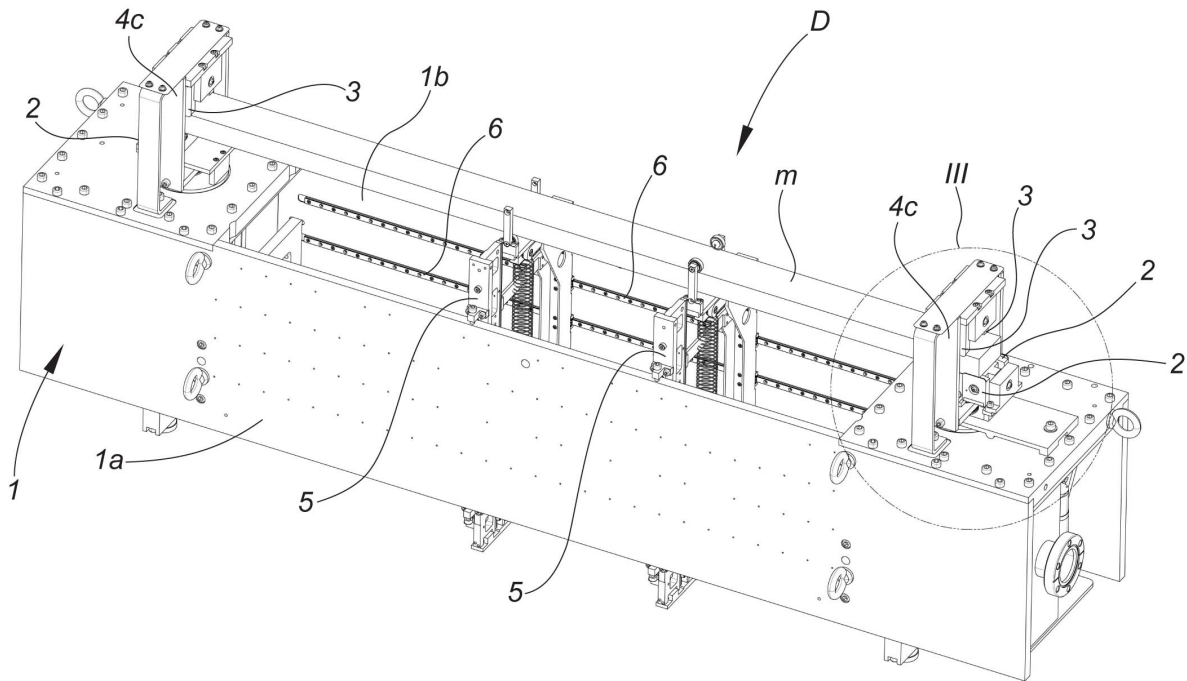


Fig.3

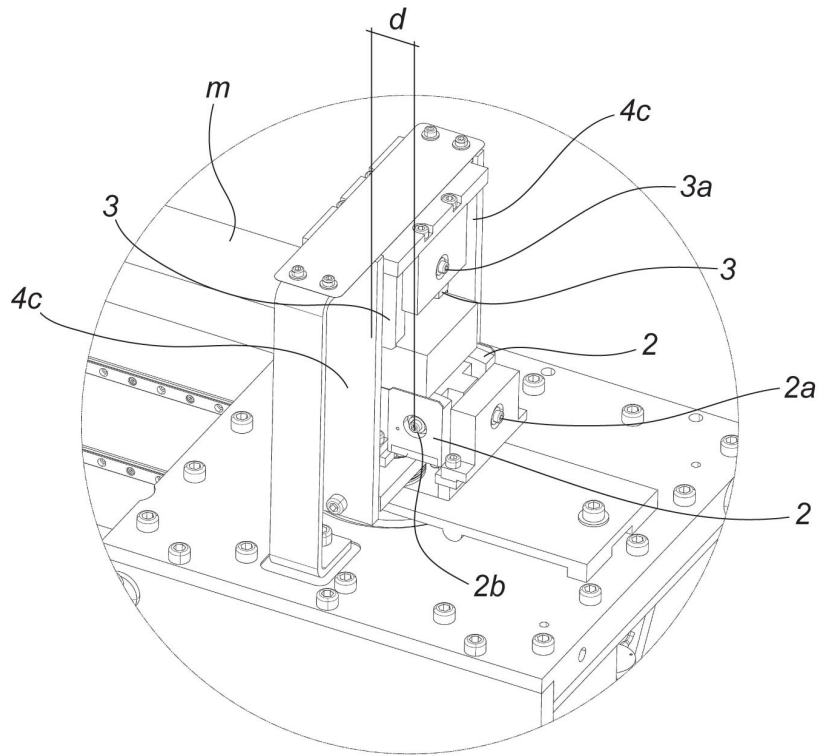


Fig.4

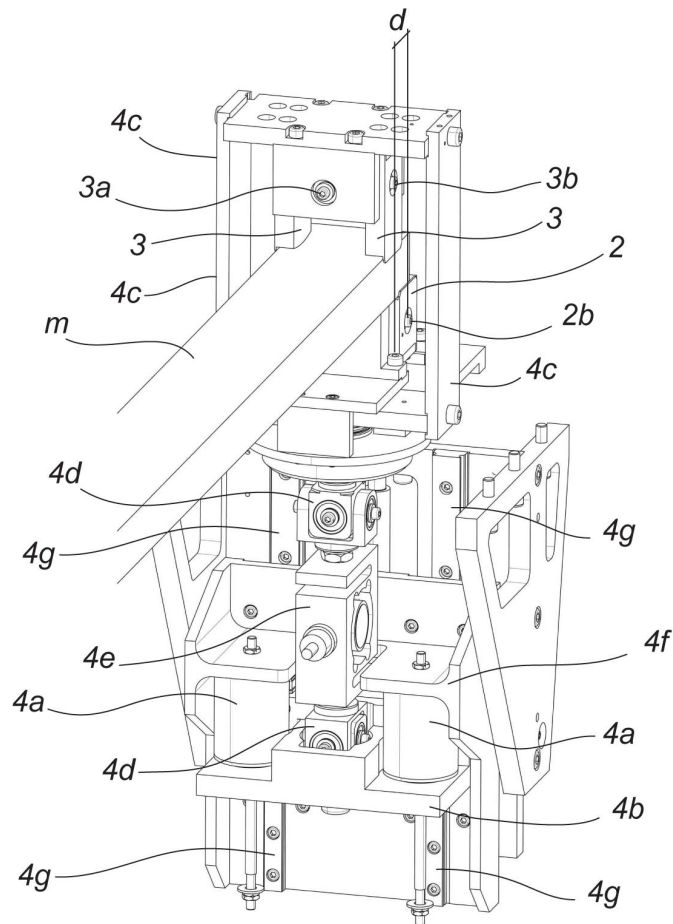
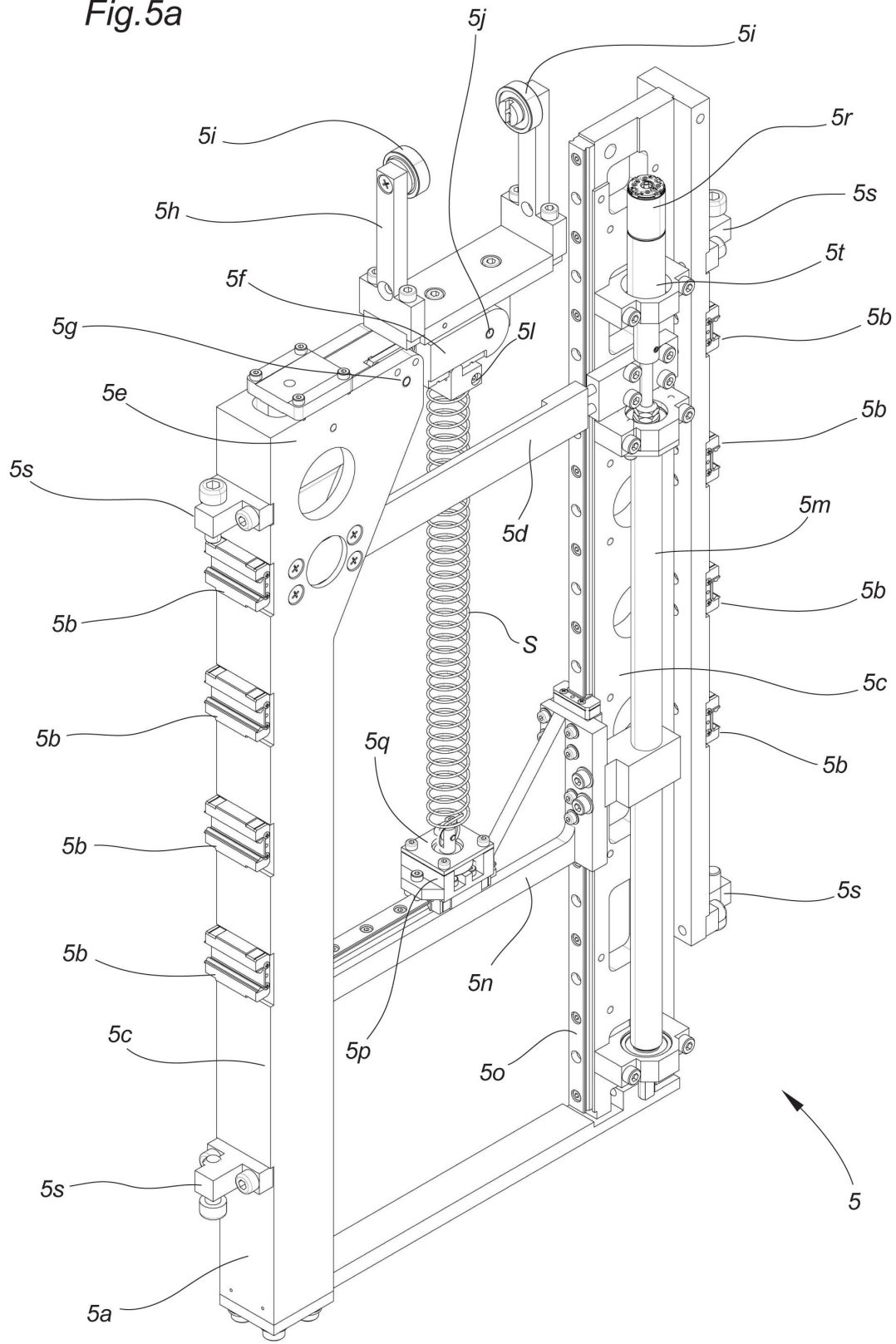


Fig. 5a



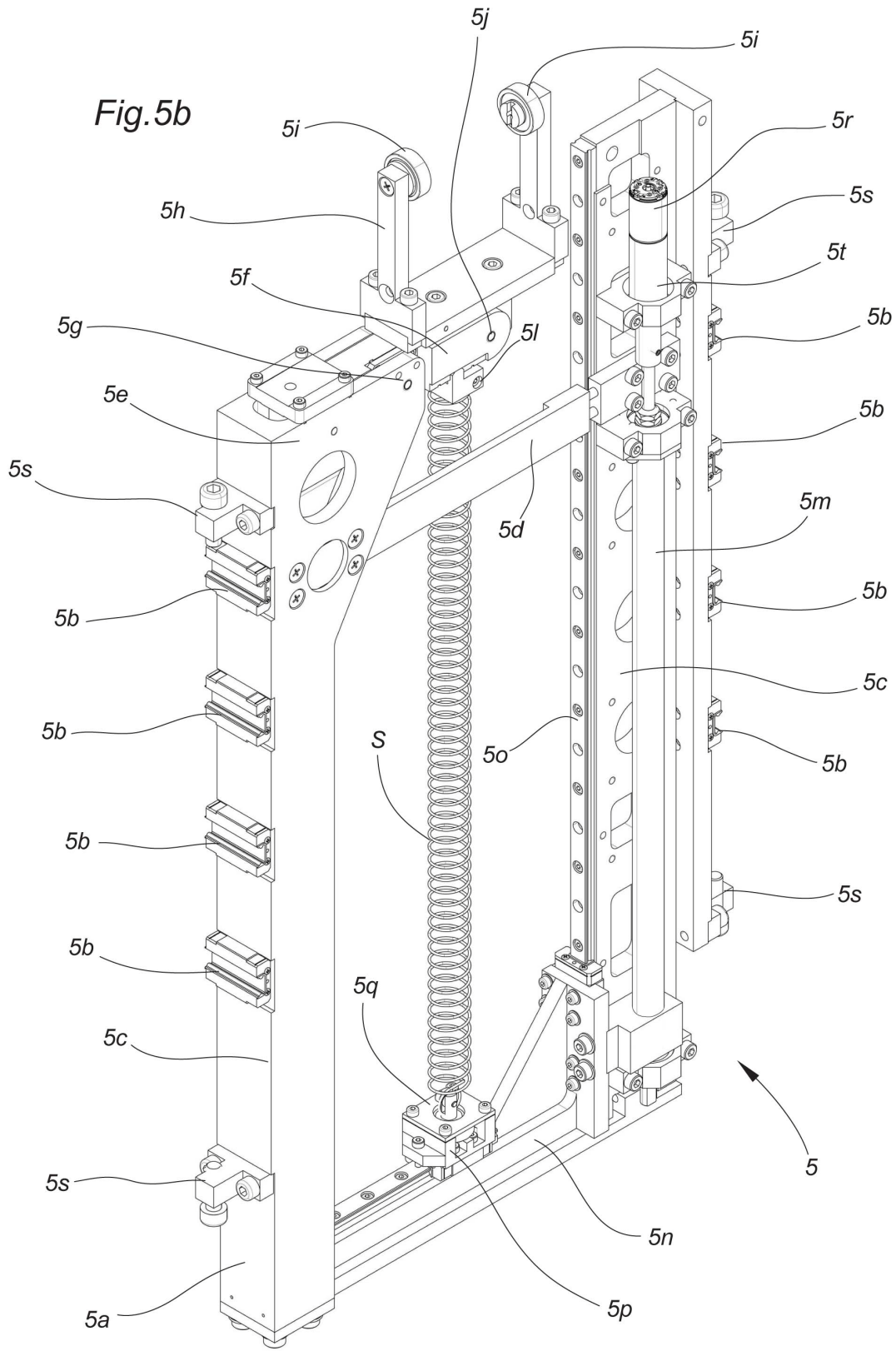


Fig.6a

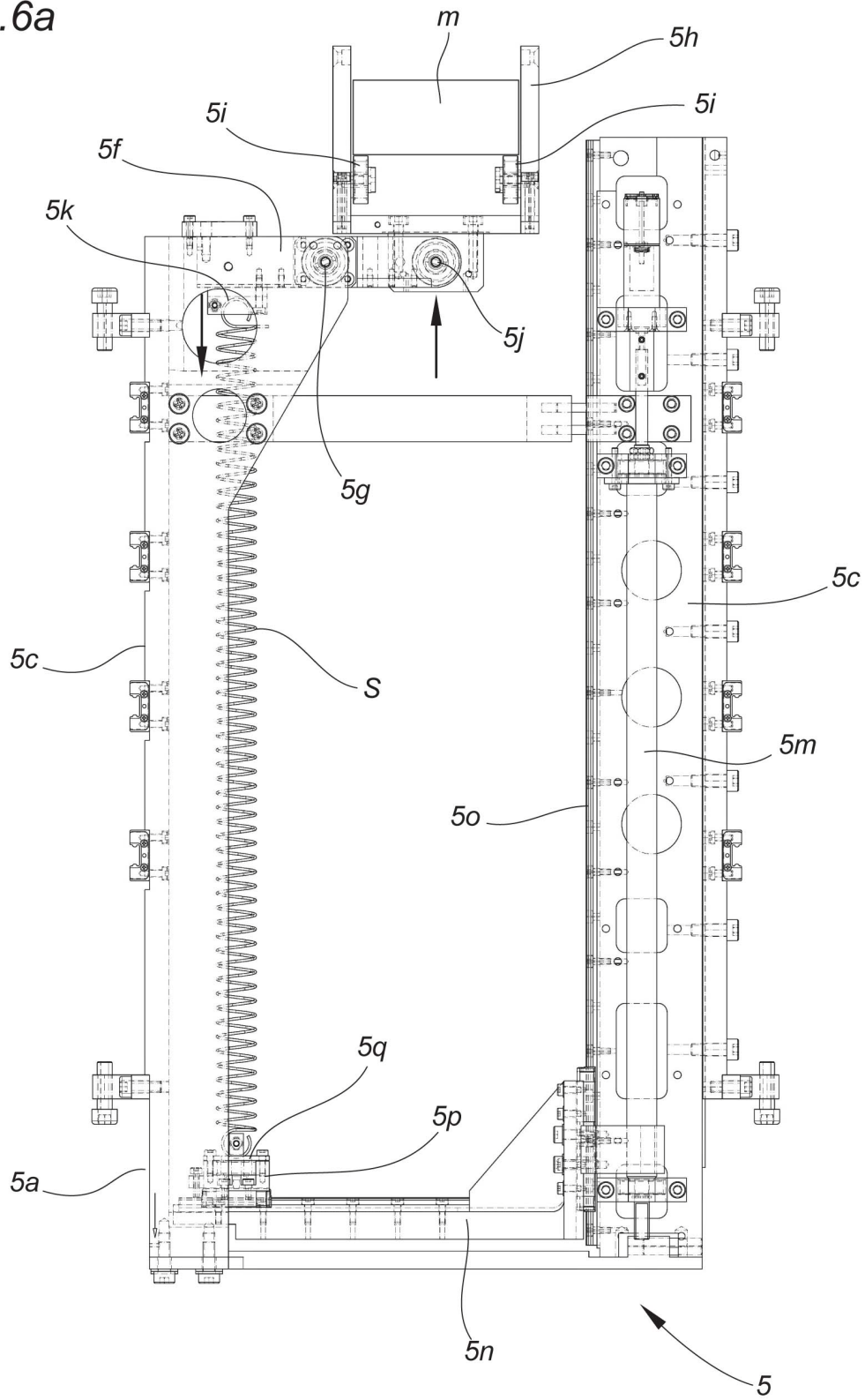
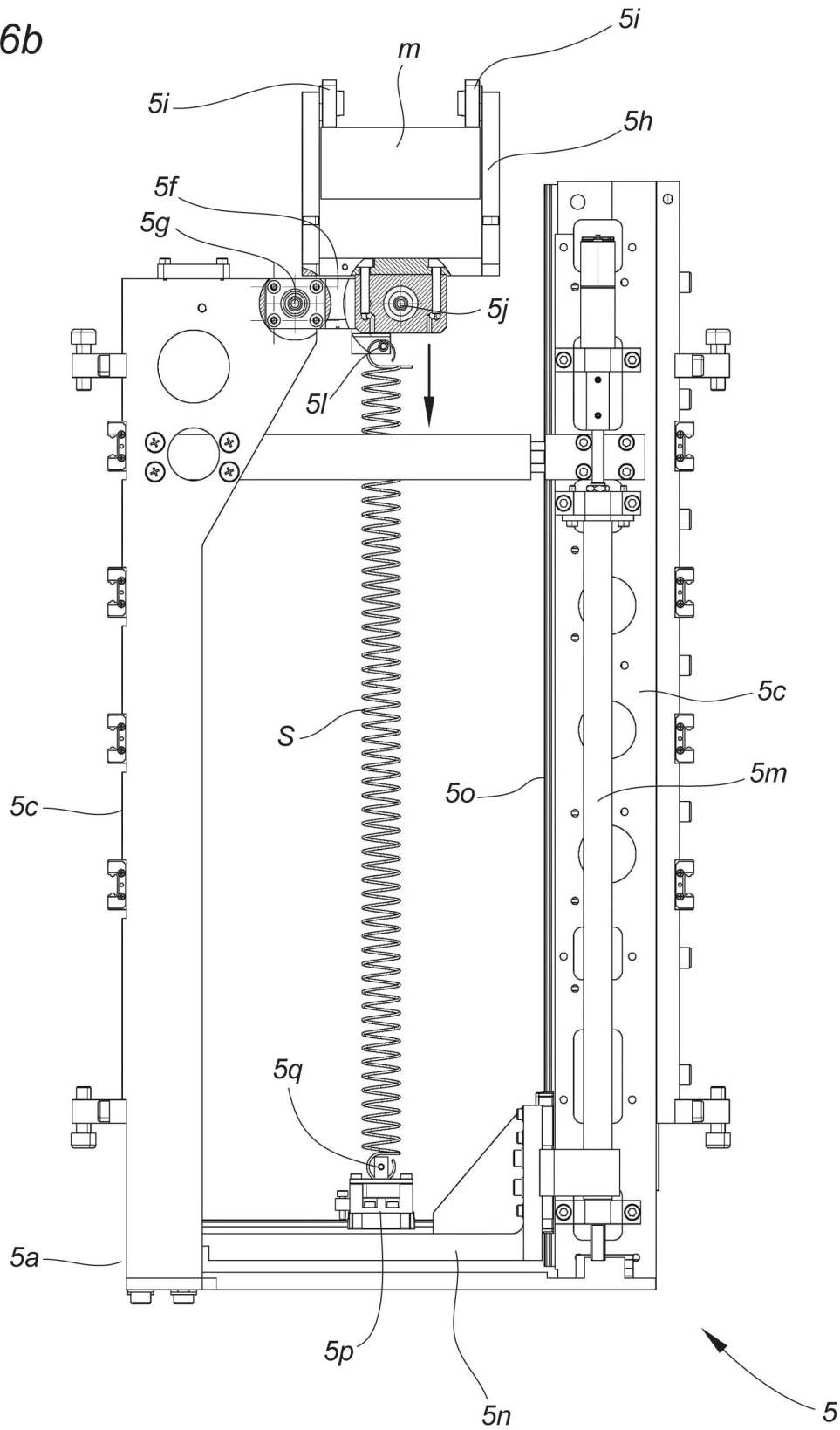


Fig.6b





- ②<sup>1</sup> N.º solicitud: 201530735  
②<sup>2</sup> Fecha de presentación de la solicitud: 27.05.2015  
③<sup>2</sup> Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤<sup>1</sup> Int. Cl.: **G02B5/10** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤ <sup>6</sup> Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 4022523 A (LINDONEN LAURIE R et al.) 10.05.1977, todo el documento.	1
A	US 6915677 B1 (TOLOMEO JASON ANDREW) 12.07.2005, resumen; figuras.	1
A	JP H11352296 A (ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND) 24.12.1999, resumen Epodoc; figuras.	1

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones n.º:

Fecha de realización del informe  
18.11.2015

Examinador  
A. Gómez Sánchez

Página  
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G02B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 18.11.2015

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-13	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-13	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 4022523 A (LINDONEN LAURIE R et al.)	10.05.1977
D02	US 6915677 B1 (TOLOMEIO JASON ANDREW)	12.07.2005
D03	JP H11352296 A (ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND)	24.12.1999

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

El objeto de la invención definido por la reivindicación número 1, independiente, trata de un dispositivo (D) para curvar espejos (m) que comprende:

- dos soportes laterales (2) para apoyar los extremos correspondientes de un espejo (m) en cada uno de los mismos y un empujador (3) correspondiente dispuesto de forma opuesta con respecto a cada uno de dichos soportes laterales (2) y desplazado hacia el otro soporte lateral (2) para curvar dicho espejo (m) mediante el movimiento relativo entre dicho soporte lateral (2) y dicho empujador (3);

- al menos un dispositivo corrector (5) desplazable entre los dos soportes laterales (2) y que comprende medios (5f, 5h, 5i) de unión al espejo (m) y medios (S, 5r, 5t, 5m, 5n, 5p) de accionamiento para transmitir una fuerza a dichos medios de unión, comprendiendo dichos medios de accionamiento un mecanismo (5r, 5t, 5m, 5n, 5p) de accionamiento desplazable con respecto a dichos medios de unión y un muelle (S) que conecta el mecanismo de accionamiento a dichos medios de unión, de modo que el muelle (S) transmite una fuerza ejercida por el mecanismo de accionamiento a los medios de unión, caracterizado por el hecho de que el muelle (S) está en estado estirado en cualquier posición operativa del mecanismo de accionamiento con respecto a los medios de unión.

Los documentos D01-D03 presentan diferentes mecanismos y sistemas para doblar un espejo o dispositivo óptico. Pertenecen al Estado de la Técnica y son relativamente próximos al objeto de búsqueda, pero no permiten de ninguna manera poner en duda la novedad o la actividad inventiva del objeto reivindicado.

Se considera por tanto como nuevo, (Art. 6 LP.), y que supone actividad inventiva, (Art. 8 LP.), al objeto definido por la reivindicación número 1.