

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 776 048**

21 Número de solicitud: 201900018

51 Int. Cl.:

G08C 23/04

(2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

28.01.2019

43 Fecha de publicación de la solicitud:

28.07.2020

71 Solicitantes:

UNIVERSIDAD DE MURCIA (49.0%)
Oficina de Transferencia de Resultados de
Investigación (OTRI). Vicerrectorado de
Investigación e Internacionalización. Campus
Universitario Espinardo. Edificio Pleiades, 4ª
Planta
30100 Murcia ES y
SÁEZ MUÑOZ, Roberto Carlos (51.0%)

72 Inventor/es:

SÁEZ MUÑOZ, Roberto Carlos;
ARENAS DALLA VECCHIA, Aurelio y
MEDINA MIRAPEIX, Francisco

54 Título: **Dinamómetro Óptico**

57 Resumen:

Dinamómetro óptico. Sistema diseñado para medir, sin contacto, la fuerza aplicada y el momento de fuerza generado durante procesos de deformación, estiramiento o compresión de resortes, muelles, gomas, cintas elásticas, u otro tipo de utensilios elásticos. La medida se realiza mediante la fijación de unos marcadores en los extremos del material elástico. De la variación de la distancia entre marcadores producida por la fuerza aplicada, se deduce el valor de dicha fuerza, previa caracterización del modelo físico que relaciona ambas variables.

Puede usarse en distintos ámbitos como en procesos industriales, durante el entrenamiento o práctica de actividades deportivas, o en la aplicación de técnicas médicas y de fisioterapia.

Es especialmente útil para controlar o monitorizar la fuerza y el momento de fuerza realizados durante la realización de ejercicios con bandas elásticas y prescritos por profesionales de la fisioterapia y la rehabilitación física para la recuperación de lesiones o disfunciones.

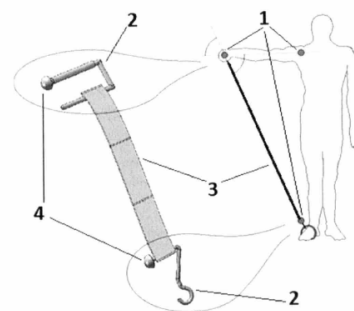


Figura 1

ES 2 776 048 A1

DESCRIPCIÓN

DINAMÓMETRO ÓPTICO

Objeto de la invención

5 La presente invención consiste en un sistema opto-electrónico diseñado para medir, sin contacto, la fuerza ejercida y el momento de fuerza producido durante procesos de estiramiento o de compresión de resortes, muelles, gomas, cintas elásticas, u otro tipo de elementos fabricados con materiales elásticos. La medida se realiza a través de la fijación de unos marcadores en dos puntos extremos del material elástico. Cuando el material se deforma por
10 efecto de la aplicación de una fuerza, los marcadores cambian su posición relativa, acercándose o alejándose, de manera que, midiendo la longitud de la separación entre los marcadores y conociendo los parámetros característicos elásticos del material (concretamente conociendo la dependencia entre fuerza aplicada y elongación producida), se obtiene el valor de la fuerza que ha causado tal deformación y el momento de fuerza generado por la fuerza y
15 el brazo del par.

Este sistema puede usarse en distintos ámbitos donde la aplicación, la medida y el control de la fuerza y el momento de fuerza deban ser tenidos en cuenta, como en procesos industriales, durante el entrenamiento o práctica de actividades deportivas, o en la aplicación de técnicas
20 médicas y de fisioterapia.

Particularmente, el sistema que se expone en la presente invención es especialmente útil para controlar o monitorizar la fuerza aplicada y el momento de fuerza generado durante la realización de ejercicios realizados con gomas, tubos o bandas elásticas y prescritos por
25 profesionales de la fisioterapia y la rehabilitación física para la recuperación de lesiones o disfunciones, aunque no se limita a estas aplicaciones.

Sector de la técnica

30 Este sistema opto-electrónico se encuadra en el sector de la instrumentación electrónica aplicada a la metrología de la fuerza y del momento de fuerza en distintos ámbitos, de laboratorio, industrial, educación, así como el de la recuperación y rehabilitación física funcional y en el ámbito deportivo.

35 **Antecedentes de la invención y estado de la técnica**

La aparición del primer dinamómetro de resorte o muelle elástico se atribuye a Isaac Newton y su funcionamiento se basa en la ley de Hooke para materiales elásticos. Esta ley establece que el alargamiento relativo que experimenta un material elástico es directamente proporcional a la fuerza de compresión o extensión aplicada para deformarlo. La constante de proporcionalidad es la constante elástica del muelle, que depende de sus dimensiones geométricas (longitud y sección) y de las propiedades del material con que está construido (módulo de Young). La ley se aplica a materiales elásticos hasta un límite de deformación denominado límite elástico, a partir del cual la deformación es irreversible. La forma matemática de representar la Ley de Hooke para el muelle helicoidal es:

$F = - k \cdot \delta$, donde "F" es la fuerza aplicada, "k", es la constante elástica y "δ", la elongación (estiramiento o compresión) provocado en el resorte.

Los muelles pueden funcionar por extensión, por compresión o por torsión. Además de los helicoidales existen otros tipos de resortes como los laminados, también llamados ballestas, o los conocidos como grapas.

En el caso de sólidos elásticos como los polímeros elásticos de silicona, debido a su composición química, no existe un módulo de Young y la relación fuerza-deformación no es lineal. Como contrapartida, tienen un límite de deformación elástica muy elevado, hasta el 400% de su longitud en relajación, incluso por encima de ese valor. La curva esfuerzo-deformación, en zonas de elasticidad alejadas del llamado punto de ruptura, se ajusta con mucha precisión a una curva polinómica de 2º o 3º grado.

Los dinamómetros tradicionales basan su funcionamiento en el estiramiento de un muelle contenido en un cilindro y fijado a él por su extremo inferior, con una escala graduada en su superficie lateral y que está introducido en otro cilindro concéntrico. Al aplicar una fuerza en un gancho conectado al cilindro interior, éste desplaza haciendo aparecer las marcas de la escala que indican numéricamente el valor de la fuerza medida. Existen otros modelos de dinamómetros con distintos tipos de resortes metálicos y distintos formatos de escalas y cursores con la misma finalidad de indicar el valor de la fuerza que se aplica al punto móvil del dinamómetro.

El momento de fuerza es una magnitud vectorial que resulta del producto vectorial del vector de posición del punto de aplicación de la fuerza (con respecto al punto al cual se toma el momento) por el vector fuerza, en ese orden. El módulo del momento de fuerza se obtiene a

partir del producto escalar del módulo de la fuerza, F , por la longitud del brazo del par de fuerzas, d , y por el seno del ángulo, α , que forman la dirección del vector fuerza y el vector de posición del punto de aplicación de la fuerza respecto del punto al cual se toma el momento, donde está situado el eje de giro. $M = F \cdot d \cdot \text{sen} \alpha$

5

Por otra parte, en lo referente a los dispositivos utilizados para el seguimiento de trayectorias de puntos móviles, se ha utilizado un tipo de cámara de visión infrarroja con procesador gráfico incorporado que localiza el centro geométrico de uno o varios marcadores y asigna un par de coordenadas cartesianas a cada punto, realizando esta operación con una frecuencia de muestreo de 100 Hz. Esta cámara es la que incorpora el mando a distancia de la popular consola Wii de Nintendo [Documento D1, CHUNG LEE, J. "Hacking the nintendo wii remote", Pervasive Computing, 2008, July-September, www.computer.org/pervasive]. Una aplicación que utiliza ese mando a distancia puede encontrarse en: [Documento D2, ABELLÁN, F.J., ARENAS, A., NÚÑEZ, M.J. y VICTORIA, L., "The use of a Nintendo Wii remote control in physics experiments", Eur J Phys, 2013, Vol. 34, páginas 1.277-1.286], artículo en el que se estudia la adquisición y registro de datos de movimiento en prácticas de laboratorio de física. Este mando a distancia se comunica con la consola de Nintendo de forma inalámbrica mediante el protocolo de comunicación y dispositivo de Bluetooth.

10

15

20

También, en el documento de solicitud de patente de la OEPM P201600222 [Documento D3] se describe un sistema evolucionado para el seguimiento de trayectorias utilizando marcadores de material retro-reflectante, que son localizados por una cámara de infrarrojos inscrita en un círculo de LEDs que iluminan el campo de observación de la cámara.

25

Otro dispositivo disponible en el mercado, que permite obtener análisis de movimientos en tiempo real, es Kinescan/IBV (Documento D4, citado en el informe sobre el estado de la técnica realizado en la solicitud de patente P201600222, TÉCNICAS DE REGISTRO IBV: SISTEMA DE ANÁLISIS DE MOVIMIENTOS 3D EN TIEMPO REAL). Este sistema permite medir y analizar la cinemática de movimientos del cuerpo humano. Además, en combinación con la plataforma dinamométrica Dinascan/IBV, este sistema permite analizar las fuerzas de reacción y momentos realizados por el sujeto sobre el suelo durante cualquier tipo de actividad humana (deambulación, saltos, giros, bipedestación, carrera, etc.)

30

35

En la actualidad, en lo referente a la carga o tensión ejercida por las bandas elásticas durante la realización de ejercicios físicos de fuerza, los profesionales implicados en la recuperación y el entrenamiento funcional para cuantificar la tensión realizada durante la elongación de las

bandas elásticas utilizan un sensor existente en el mercado, que se adhiere a las bandas a través de clips y que registra variaciones en longitud durante el ejercicio, permitiendo una retroalimentación sobre la calidad del mismo, (Documento D5, RATHLEFF MS, BANDHOLM T, AHRENDT P, et al. Novel stretch-sensor technology allows quantification of adherence and quality of home-exercises: a validation study. Br J Sports Med 2014; 48:724–728). La opción más habitual entre los profesionales para diseñar y monitorizar ejercicios es usar valores de referencia existentes sobre la fuerza máxima alcanzada por diferentes bandas ante incrementos de elongación determinados (por ejemplo, 100%, 125% etc.). Estos valores son aportados por el fabricante de la banda o por estudios realizados para analizar sus propiedades físicas (Documento D6, PATTERSON RM, STEGINK JANSEN CW, HOGAN HA, NASSIF MD, Material properties of thera-band tubing. Phys Ther. 2001; 81(8):1437-45).

Finalmente, la medida de la tensión o fuerza aplicada a cualquier resorte se puede realizar fijando, con un cable a uno de sus extremos, un sensor de fuerza como una célula de carga o un sensor piezoeléctrico, ambos con lectura electrónica, por ejemplo, el sistema desarrollado por la marca Suiff (Documento D7 <https://suiff.com>).

Descripción de la invención

La forma en que se realiza la medida de la fuerza con el sistema que aquí se describe evita tener que conectar el instrumento al sujeto o al elemento que realiza la fuerza que se pretende medir. Este sistema mide la fuerza sin estar en contacto, sino que está alejado del sujeto o elemento que realiza dicha fuerza y del elemento que se deforma, lo que en sí representa una ventaja pues no perturba el resultado de la medida de la variable a medir. Además, como este sistema también mide las longitudes y los ángulos involucrados en los pares de fuerzas que intervienen en movimientos articulares, proporciona una medida del momento que se produce en dichos movimientos.

Este dinamómetro óptico basa su funcionamiento en la medida de la deformación reversible que se produce en un muelle, o resorte de cualquier tipo, en una cinta o en un tubo de elastómero (polímero elástico), o de otros materiales elásticos como silicona, caucho, látex. Para cada uno de estos materiales elásticos, una vez conocido el modelo matemático que relaciona la fuerza aplicada y la deformación producida, si sustituimos un valor de elongación en la ecuación del modelo, obtendremos el valor de la fuerza que se está aplicando. El modelo matemático para los muelles helicoidales es el modelo lineal que establece la Ley de Hooke,

mientras que otros materiales se pueden comportar de acuerdo con una ecuación polinómica que puede ser de segundo o de tercer grado.

5 La caracterización de cada uno de los elementos elásticos se realiza mediante un calibrado previo, de forma que el elemento elástico es sometido a la deformación que producen diferentes fuerzas de valores conocidos, al tiempo que se van registrando las deformaciones lineales (elongaciones) que se producen en la longitud de dicho elemento. El resultado de esas medidas se traduce en una tabla de calibrado o en una gráfica (curva de calibrado) que, ajustada por un método matemático, nos proporciona la ecuación Fuerza/Elongación del
10 modelo. Esta tabla o curva se utilizará posteriormente para estimar el valor de cualquier fuerza aplicada sin más que medir el valor de la elongación que ha sufrido el elemento elástico.

Una vez que se tiene la curva o la tabla de calibrado del elemento elástico que se va a deformar, se fijan en sus extremos dos marcadores de material retro-reflectante y se coloca la
15 cámara de infrarrojos frontalmente al segmento definido por esos marcadores para que realice la medida de la distancia entre ellos en cada instante. Conforme se va deformando el elemento elástico, se van registrando los valores de la distancia entre dichos marcadores y se van deduciendo las elongaciones producidas en cada instante. La sustitución de dichos valores de elongaciones en la ecuación del modelo matemático de dicho material proporcionará los
20 valores de fuerza que se han aplicado al elemento elástico. Lógicamente, el propio instrumento, que mide distancia con precisión, puede utilizarse para obtener la tabla o la gráfica del calibrado del elemento elástico.

La cámara de infrarrojos del sistema, colocada frente a los marcadores fijados en los extremos
25 del elemento elástico, localiza la posición de los marcadores con una resolución del 0.1% del fondo de escala, dentro de un rango de dimensiones variables y con una frecuencia de muestreo configurable entre 100 Hz y 1000 Hz. Por ejemplo, a una distancia de 1500 mm entre el objetivo de la cámara y el elemento elástico, el campo de visión de la cámara es de 1.000 mm x 750 mm, aproximadamente. Es decir, un foco de luz infrarroja que se mueva en un plano
30 perpendicular al eje de visión del objetivo de la cámara, situada a 1.500 mm, podrá realizar un movimiento registrado por la cámara dentro de un rectángulo de 1.000 mm x 750 mm, representando 1 mm cada pixel, aproximadamente. Lógicamente, para determinar exactamente la relación mm/pixel deberá realizarse un calibrado previo que nos proporcione la conversión de unidades en pixeles a unidades en milímetros.

Un circuito electrónico envía al ordenador los datos recogidos por la cámara y un programa informático calcula la distancia entre los centros de los marcadores a partir de las coordenadas cartesianas de dichos puntos.

5 Puesto que este sistema puede detectar la posición de hasta cuatro marcadores, al tiempo que se mide la distancia entre los marcadores fijados en los extremos del elemento elástico y se estima la fuerza aplicada, el sistema puede calcular el ángulo formado por los dos segmentos definidos por tres de esos marcadores. De esta forma pueden caracterizarse dinámicas complejas de ejercicios en los que interesa medir fuerza realizada, aperturas angulares y los
10 momentos de fuerza generados. Esta caracterización puede tener múltiples aplicaciones terapéuticas en el campo de la recuperación y entrenamiento funcional. Por ejemplo, conocida la tensión ejercida por una banda elástica en cada momento del rango de movilidad articular que implica el ejercicio y dos ángulos (el de la movilidad articular y el definido entre el segmento óseo y la banda en cada momento), puede conocerse la fuerza y el momento que tiene que
15 ejercer el paciente en los diferentes sectores de movilidad para lograr vencer la tensión ejercida por la banda.

En los documentos D1, D2, D3 y D4 se describe diferentes opciones para obtener el análisis de la cinemática en tiempo real, lo que incluye la determinación de distancias y ángulos que
20 intervienen en movimientos lineales y circulares incluso en estructuras articuladas.

Por otra parte, en el documento D4 se describe la forma de medir la fuerza de reacción y momentos de determinados aspectos de la actividad humana, mediante la combinación de los productos Kinscan y Dinascan (cuyo precio de mercado está por encima de 50.000 €). Sin
25 embargo, estos movimientos se limitan a los que se realizan en el suelo, es decir, solamente cuando la fuerza se realiza sobre la plataforma que se encuentra en el suelo. Por tanto, la combinación de estos dos elementos no resuelve el problema técnico de medir la fuerza y el momento de ejercicios realizados en cualquier dirección del espacio, con apoyos diferentes del plano de tierra.

30 Los documentos D5 y D6 también describen otra forma de medir la fuerza a partir de la deformación de las bandas elásticas, pero lo hacen de una forma bastante inexacta y en ningún caso dan una medida del momento de fuerza implicado en los ejercicios a los que se aplica.

35

Por último, en el documento D7 se describe un producto basado en un sensor que mide y presenta la fuerza realizada en los ejercicios con bandas elásticas, pero no da información de la amplitud de los ángulos de las articulaciones implicadas en cada ejercicio, ni tampoco del momento de fuerza producido.

5

A partir de los documentos D1 a D7 no es evidente obtener una solución a la determinación de la fuerza y el momento de fuerza de cualquier ejercicio de movimiento de flexión articular con bandas elásticas, realizado en cualquier dirección del espacio y para cualquier punto de aplicación de la fuerza, pues para determinar el momento se necesitaría medir simultáneamente y de forma sincrónica, valores de las tres variables: fuerza, distancia y ángulo.

10

La invención que aquí se presenta aporta la solución a este problema técnico. Un único instrumento mide, simultáneamente y de forma sincrónica, distancias de segmentos, ángulos y fuerzas que determinan en tiempo real el momento de fuerza producido en la articulación que interviene en el ejercicio. El sistema presenta en un monitor en tiempo real dichos valores de amplitud angular, fuerza y momento en cada repetición, lo que representa una realimentación de información para el sujeto que realiza el ejercicio y para el profesional que dirige la realización de los ejercicios, que permite conocer la adecuación con la que se realiza el ejercicio y corregir defectos de ejecución.

20

Descripción de las figuras

FIG 1.- Dibujo representando la realización de un ejercicio de abducción de hombro con banda elástica y detalle de banda elástica con accesorios.

25

FIG 2.- Dibujo del montaje para la caracterización del comportamiento dinámico de las bandas elásticas.

FIG 3.- Gráfica de las curvas Fuerza/elongación para distintos porcentajes de estiramiento de una banda elástica.

FIG 4.- Gráfica de las curvas Fuerza/elongación para tres longitudes distintas de una misma banda elástica.

30

FIG 5.- Gráfica de las curvas Fuerza/elongación para dos velocidades distintas de estiramiento de una misma banda elástica.

FIG 6.- Gráfica de las curvas Fuerza/elongación para las fases de estiramiento y relajación de una banda elástica.

35

FIG 7.- Gráfica de las curvas Fuerza/elongación para 30 repeticiones consecutivas de una banda elástica.

FIG 8.- Gráfica de las curvas Fuerza/elongación para 10 unidades del mismo tipo y tamaño de banda elástica y de la curva ajustada al valor medio.

Lista de referencias

5

1. Marcadores retro-reflectantes
2. Accesorios para fijación de las bandas elásticas.
3. Banda elástica.
4. Marcadores retro-reflectantes fijados sobre superficie esférica.

10

5. Barra rígida.
6. Mosquetón.
7. Célula de carga.
8. Fuerza aplicada a la banda elástica para deformarla.
9. Extremos de las curvas Fuerza/elongación para distintos porcentajes de estiramiento.

15

Descripción de un modo de realización de la invención

20

Cuando se realizan ejercicios con bandas elásticas en el campo de la fisioterapia, ya sea para pruebas de valoración como para planificar programas de rehabilitación, es importante conocer la fuerza que ofrecen aquellas en cada ejercicio. Pero tan importante como lo anterior es conocer el momento de fuerza y la amplitud del ángulo que se producen en el conjunto de la extremidad y la articulación del sujeto que realiza el ejercicio.

25

Una forma de realización del dinamómetro óptico y su forma de funcionamiento se ilustra en la FIG 1, donde se representa a un sujeto realizando un ejercicio de abducción de hombro.

30

Para realizar la medida de la fuerza y del momento de fuerza en este ejercicio, se fijan tres marcadores retro-reflectantes **1**, en el hombro, en el puño y en el pie. Los marcadores del puño y del pie están fijados a sendos accesorios **2**, cada uno de los cuales está enganchado a un extremo de la banda elástica **3**. Frente al individuo que realiza el ejercicio se coloca la cámara de infrarrojos cuyo objetivo enfoca perpendicularmente al plano imaginario del dibujo que inscribe la banda elástica, los tres marcadores y la trayectoria descrita por el marcador del puño del sujeto durante la ejecución del ejercicio. Las coordenadas cartesianas de los marcadores del pie y del puño capturadas por la cámara servirán para determinar la elongación de la banda en cada instante y estas coordenadas, junto con las coordenadas del marcador del hombro, servirán para hallar la longitud del brazo del par de fuerzas y el ángulo formado por el brazo del

35

par de fuerzas y la dirección de la fuerza aplicada. Los marcadores pueden fijarse sobre una superficie plana o sobre una superficie esférica **4** para facilitar ser detectados por la cámara de infrarrojos, en el caso de que al realizar el ejercicio se giren y no permanezcan perpendiculares al objetivo de la cámara.

5

Sabemos que para determinar el módulo del momento de fuerza es necesario medir tres magnitudes, la fuerza realizada para vencer la resistencia de la banda elástica, el brazo del par de fuerzas y el ángulo que forma la dirección del vector fuerza con el brazo del par de fuerzas, de forma que el momento en cada instante es el producto vectorial del vector fuerza con el

10

$M = F \times d$, y el módulo del momento de fuerza es: $|M| = |F| \cdot |d| \cdot \sin \alpha$

15

Donde **M**, **F** y **d** son los vectores Momento, Fuerza y brazo del par de fuerzas; las variables entre barras son los módulos de dichos vectores y α es el ángulo formado por la dirección de la fuerza y la dirección del brazo del par de fuerzas.

20

La invención que se presenta, "Dinamómetro óptico", representa una solución muy económica a los problemas técnicos planteados, pues un único dispositivo realiza simultáneamente la medida de la fuerza (sea cual sea su dirección y su punto de aplicación), la medida del brazo del par de fuerzas y la medida del ángulo y determina el momento de fuerza en cada instante. Estos resultados se muestran en un monitor para que el sujeto que realiza los ejercicios reciba una realimentación que le permita continuar la ejecución correcta de los ejercicios dentro de los márgenes que se le han prescrito y corregir cualquier desviación que se produzca.

25

Veamos cómo es el proceso de medida de la fuerza y cómo se puede medir simultáneamente con el brazo del par y el ángulo para determinar el momento de fuerza.

30

La medida de la fuerza por el dinamómetro óptico se realiza midiendo la deformación que se produce en un elemento elástico y aplicando las ecuaciones del modelo físico fuerza/elongación del elemento elástico previamente calculadas.

35

La medida de la longitud de la deformación o elongación del elemento elástico la determina el programa informático calculando en cada instante la distancia entre los marcadores fijados a cada extremo de la banda elástica, a partir de las coordenadas de dichos marcadores facilitadas por la cámara. El valor de la elongación actual es la diferencia de la distancia entre marcadores en los instantes actual e inicial.

Para poder aplicar ecuaciones de la curva fuerza/elongación es necesario conocer previamente el modelo de relación entre la elongación de la banda elástica y la resistencia que ésta ofrece a dicha deformación. Conocida la elongación de la banda elástica y la relación entre ésta y la fuerza aplicada para deformarla se determina el valor de dicha fuerza en cada instante.

5

La precisión con que se obtenga dicho modelo matemático, $F = f(e)$, donde **F** es la Fuerza y **e** la elongación, determinará el margen de error de los valores de fuerza obtenidos.

10

Las bandas elásticas elegidas para realizar su caracterización fueron de la marca comercial más extendida (Thera-Band), consistentes en una serie de 7 tipos de bandas de distinta resistencia a la tracción, identificadas por colores de mayor a menor resistencia: dorada, gris, negra, azul, verde, roja y amarilla. Estas bandas están construidas por dos tiras planas iguales, de 5 cm ancho, de material elastómero de silicona que se fijan entre sí por termofusión cada tramo de unos 20 cm. Cada uno de esos tramos se conoce como "Loop" y las bandas elásticas habitualmente se cortan para su uso en tramos de 2, 3, o 4 Loops.

15

La caracterización del comportamiento de las bandas se realiza utilizando el montaje que muestra la FIG 2, consistente en una barra rígida **5**, horizontalmente fijada de forma estable por sus extremos, a la que se fija con un mosquetón **6** una célula de carga **7**, de la que cuelga la banda elástica **3** bajo estudio. En los extremos de la banda elástica se fija sendos accesorios **2**, a los que se fijan unos marcadores **4** de material retro-reflexivo para que sean localizados por la cámara de infrarrojos del dinamómetro óptico y mida la distancia entre ellos en cada instante.

20

Partiendo de una posición de reposo en la que la banda elástica no está estirada, se aplica al accesorio fijado al extremo inferior de la misma una fuerza vertical hacia abajo **8**, que produce su estiramiento longitudinal. Para cada repetición, consistente en un estiramiento y una relajación de la banda elástica, se realiza simultáneamente el registro de la señal proporcionada por la célula de carga y el registro de la distancia entre los marcadores, proporcionada por el dinamómetro óptico. Previo a la realización de las pruebas se debe realizar un calibrado, tanto de la célula de carga como del dinamómetro óptico. Todas las medidas del dinamómetro óptico y de la célula de carga se realizan a la misma frecuencia de muestreo, por ejemplo, de 500 muestras/s, para tener datos sincronizados de las variables Fuerza y Elongación.

25

30

Como los ejercicios pueden realizarse bajo distintas condiciones de uso, previamente, con el fin de comprobar la reproducibilidad de los resultados y con el objeto de caracterizar el

35

comportamiento de las bandas elásticas en cada situación se realizan las pruebas que se describe a continuación:

- Distintos porcentajes de elongación respecto a la longitud inicial en reposo.
- Distintas longitudes iniciales de la banda elástica.
- 5 • Distintas velocidades de realización del ejercicio de estiramiento.
- Diferencias entre la fase de estiramiento y la fase de relajación. Histéresis.
- Fatiga de la banda elástica.

A partir del análisis de todas esas condiciones se determinó:

- Modelos de curva fuerza/elongación establecidos para cada tipo de banda y de distintas
- 10 dimensiones.

a) Distintos porcentajes de elongación respecto a la longitud inicial en reposo.

Se realiza esta prueba sometiendo a una misma banda elástica negra de 4 Loops, como

15 ejemplo, a elongaciones de 50%, 75%, 100% y 125%, aproximadamente, respecto de su longitud inicial. Los resultados se muestran en la FIG 3 donde se aprecian los extremos 9 de las curvas para estiramientos del 50%, 75%, 100% y 125%, que indican que la curva del mayor estiramiento incluye a las curvas de estiramientos de menor amplitud.

Dado que se puede programar planes de entrenamiento con distintas longitudes de

20 estiramiento, un único modelo matemático (el correspondiente a la mayor elongación) puede utilizarse para ejercicios con estiramientos menores y ello para cada tipo (color) de banda elástica.

b) Distintas longitudes iniciales de la banda elástica.

Se realizó el ejercicio de estiramiento-relajación con las bandas elásticas: dorada, gris, negra,

25 azul, verde, roja y amarilla para longitudes de 2, 3 y 4 Loops.

Como ejemplo, se muestra en la gráfica de la FIG 4 el resultado de la respuesta

30 Fuerza/Elongación para una banda elástica de un mismo tipo y tres longitudes distintas.

Se aprecia el distinto comportamiento de una banda elástica; a menor longitud (curva superior) la banda elástica presenta mayor resistencia a la deformación. Resultados similares se obtienen para todos los tipos de banda elástica. De estos resultados se concluye que será necesario determinar una ecuación $F = f(e)$ diferente para cada longitud de banda elástica y

35 ello para cada tipo (color) de banda elástica.

c) Distintas velocidades de realización del ejercicio de estiramiento.

Los ejercicios con bandas elásticas se pueden planificar a distintas velocidades de ejecución, así pues, para comprobar si las bandas elásticas presentan la misma respuesta para diferentes velocidades en la ejecución de los estiramientos, se realizó pruebas para velocidades de estiramiento de 0.5 y 0.7 m/s. Como ejemplo, se muestra los resultados para una banda elástica en la gráfica de la FIG 5, donde la curva con línea continua corresponde a una velocidad de 0.5 m/s y la curva a trazos corresponde a 0.7 m/s. Un comportamiento similar se observa para todos los tipos de bandas, para las distintas longitudes. Se observa que la velocidad de ejecución del ejercicio de estiramiento no afecta significativamente a la curva Fuerza/Elongación.

d) Diferencias entre las curvas correspondientes a la fase de estiramiento y la fase de relajación. Histéresis.

Durante la planificación de ejercicios con bandas elásticas no sólo hay que considerar la fuerza y el momento de los movimientos en la fase concéntrica (estiramiento de la banda elástica), sino también en la fase excéntrica (relajación de la banda elástica). Por ello, es necesario conocer si hay diferencias destacables en el comportamiento de las gomas durante ambas fases, de estiramiento y de relajación.

Se comparan las curvas Fuerza/Elongación durante ambas fases en una misma repetición de un ejercicio obteniéndose dos curvas con un ciclo de histéresis despreciable, como puede apreciarse en la gráfica de la FIG 6.

En la gráfica se aprecia una coincidencia casi completa entre las curvas de estiramiento y relajación. Dada que la diferencia entre ambas curvas no es significativa, se puede considerar como modelo válido el que se ajusta a una sola de las trayectorias.

e) Fatiga de la banda elástica.

Antes de obtener el modelo para cada situación es importante conocer si el comportamiento de la banda elástica se modifica cuando se la somete a un número elevado de repeticiones consecutivas, como puede ocurrir en la planificación de algún ejercicio.

Así pues, se sometió a una banda elástica a 30 repeticiones consecutivas, sin realizar ningún periodo de descanso entre ellas, obteniéndose el resultado mostrado en las siguientes gráficas:

La FIG 7 representa la gráfica de las curvas correspondientes a las repeticiones de la 1ª a la 30ª. Las dos curvas ligeramente separadas de las demás en la parte superior de la gráfica corresponden a las repeticiones 1ª y 2ª. El resto de curvas representadas son desde la 5ª hasta la 30ª y se aprecia que sufren un ligero desplazamiento a la derecha y están prácticamente superpuestas. De ello se desprende que durante las primeras repeticiones la goma sufre una ligera deformación permanente, pero a partir de ese punto la banda mantiene sus propiedades elásticas para los siguientes ciclos de estiramiento-relajación. Por ello, el modelo matemático debe obtenerse del ajuste de una curva obtenida de la quinta repetición en adelante.

f) Modelos de curva fuerza/elongación establecidos para cada banda (en cada una de las condiciones consideradas relevantes).

Teniendo en cuenta los anteriores resultados se realizó una serie de pruebas consistentes en series de 7 repeticiones con 10 unidades de banda elástica de cada tipo y longitud con el fin de obtener la curva promedio de las diez unidades y obtener la ecuación ajustada a dicha curva promedio en cada caso.

El número de casos a considerar fueron siete tipos de banda elástica usados comúnmente, a saber, dorada, gris, negra, azul, verde, roja y amarilla y tres longitudes para cada una de ellas, 4, 3 y 2 Loops; lo que hacen un total de 21 casos. Como ejemplo, en la FIG 8 se muestra una gráfica para el caso de las 10 bandas de color dorado y 4 Loops de longitud. La línea de puntos es la línea de tendencia de la curva promediada de las curvas de las 10 bandas elásticas. El ajuste de la línea de tendencia nos proporciona la ecuación del modelo de comportamiento Fuerza/elongación para ese tipo de banda elástica:

$$F = 7 \cdot 10^{-5} \cdot e^3 - 1.8 \cdot 10^{-2} \cdot e^2 + 1.89 \cdot e - 7.59 \quad \text{con un coeficiente de correlación.}$$

$$R = 0.9996.$$

Donde la Fuerza, **F**, viene en newtons y la elongación, **e**, viene en % de estiramiento con respecto a la longitud de la banda en reposo.

Modo de operación del sistema.

Un programa informático registra las coordenadas de los tres marcadores recibidos de la cámara de infrarrojos, calcula la longitud del brazo del par de fuerzas, el ángulo formado en cada instante por la dirección de la fuerza y del brazo del par de fuerzas; también calcula las elongaciones de la banda elástica y utilizando la ecuación de ajuste correspondiente a esa
5 banda, calcula la fuerza y el momento de fuerza presentando tablas y gráficos con los valores de interés de dichas variables físicas.

El ordenador recoge los datos y el programa informático registra y procesa los datos de las coordenadas de los marcadores en el plano y los tiempos y presenta mediante tablas y gráficos
10 las variables físicas de interés: distancia entre los marcadores, velocidad instantánea, velocidad máxima, velocidad media, ángulo entre segmentos definidos por pares de marcadores, velocidad angular, aceleración lineal y angular, etc. Esto también permite caracterizar cualitativa y cuantitativamente el movimiento y la distancia de los marcadores fijados en los extremos de elementos elásticos para estimar la fuerza media aplicada, fuerza
15 máxima y momento de fuerza, potencia media y potencia máxima y trabajo realizado.

Particularmente, este sistema puede aplicarse en distintas situaciones donde se quiera caracterizar la dinámica y la planificación de ciertos ejercicios de entrenamiento. Durante la aplicación de programas de rehabilitación de personas que han sufrido lesiones físicas o que
20 se recuperan de intervenciones quirúrgicas y en programas de mantenimiento de personas mayores, interesa hacer un seguimiento de la evolución de los sujetos, mediante pruebas de evaluación del grado de flexibilidad, rango de movimientos y esfuerzos realizados en ciertas articulaciones.

Comparado con otros sistemas descritos en el apartado de antecedentes y estado de la técnica, este sistema es ventajoso en la programación y evaluación de ejercicios de fuerza, pues, sin necesidad de tener conectado ningún cable al sujeto, ni al elemento que se deforma, proporciona el valor de la fuerza que se está realizando en cada instante, además de los ángulos de flexión de una articulación, que combinados generan información de otras variables
30 físicas que se producen en la dinámica de los ejercicios, como son el momento de fuerza, la potencia aplicada, el trabajo realizado, etc.

En el caso del ejercicio de abducción de hombro representado en la FIG 1, los resultados obtenidos para el ángulo, la fuerza y el momento de fuerza en un ejercicio de estiramiento
35 pueden verse en FIG 9, FIG 10 y FIG 11.

REIVINDICACIONES

1.- Dinamómetro óptico para medir la fuerza y el momento de fuerza aplicados a un elemento elástico, que comprende:

- una cámara de visión infrarroja localizadora de 1, 2, 3, o 4 marcadores retro-reflectantes que asigna las coordenadas cartesianas en dos dimensiones de sus centros geométricos dentro de un marco rectangular de referencia;

- un accesorio (2) para asir con la mano, en el que se fija un extremo del elemento elástico (3) y lleva adosado un marcador retro-reflectante (4);

- un accesorio (2) para fijar en otra parte del cuerpo o de otro objeto, en el que se fija otro extremo del elemento elástico (3) y lleva adosado un marcador retro-reflectante (4);

- un circuito electrónico para la comunicación de dicha cámara con un ordenador;

- un programa informático instalado en el ordenador que recibe la información del circuito electrónico, registra, procesa los datos de dichas coordenadas y presenta en un monitor en tiempo real, mediante tablas y gráficos, las variables físicas: deformación longitudinal del elemento elástico, fuerza instantánea aplicada, fuerza media, fuerza máxima, velocidad instantánea de la deformación, velocidad máxima, velocidad media, ángulo entre los segmentos definidos por las coordenadas de dichos marcadores, velocidad angular, momento de fuerza generado por la fuerza aplicada y el brazo que la produce, potencia instantánea, potencia media, potencia máxima y trabajo realizado; así como, número de repeticiones realizados en una serie.

2.- Uso del dinamómetro óptico según la reivindicación anterior, para la medida sin contacto de fuerza aplicada a resortes helicoidales cilíndricos o cónicos, de extensión, de compresión, o de torsión; de láminas o ballestas y resortes de grapa.

3.- Uso del dinamómetro óptico según la reivindicación 1, para la medida sin contacto de la fuerza en tubos elásticos y bandas elásticas.

4.- Uso del dinamómetro óptico según las reivindicaciones 1 a 3, para la medida de la fuerza en ejercicios con tubos y bandas elásticas en combinación con la medida de ángulos de flexión en articulaciones de la anatomía humana, para determinar el momento de fuerza producido en una articulación.

- 5.- Uso del dinamómetro óptico según las reivindicaciones 1 a 4, para la presentación simultánea y en tiempo real de la información en una pantalla o monitor, de los valores de la fuerza, el ángulo y el momento de fuerza, durante las fases de estiramiento y relajación, en el mismo instante en que se realiza cada repetición de un ejercicio de flexión con gomas elásticas y que constituye una realimentación para el sujeto que realiza el ejercicio y para el fisioterapeuta.

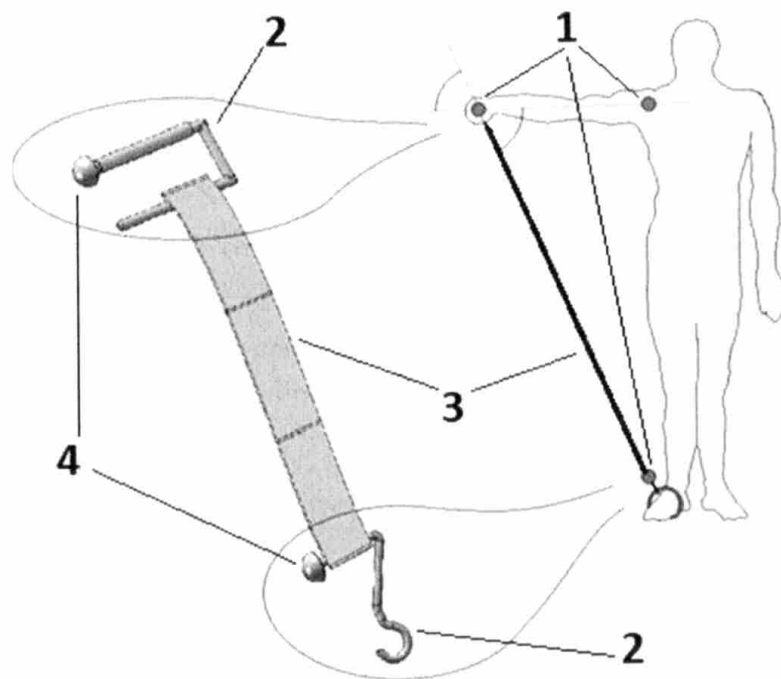


Figura 1

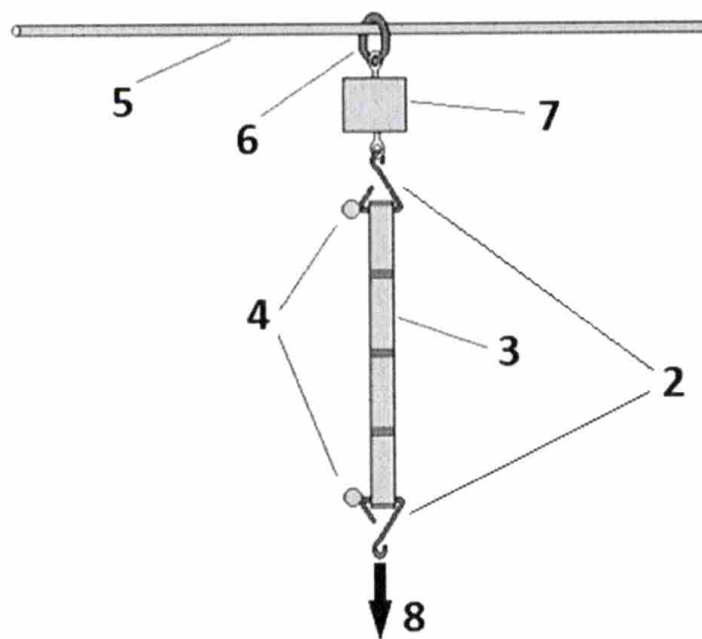


Figura 2

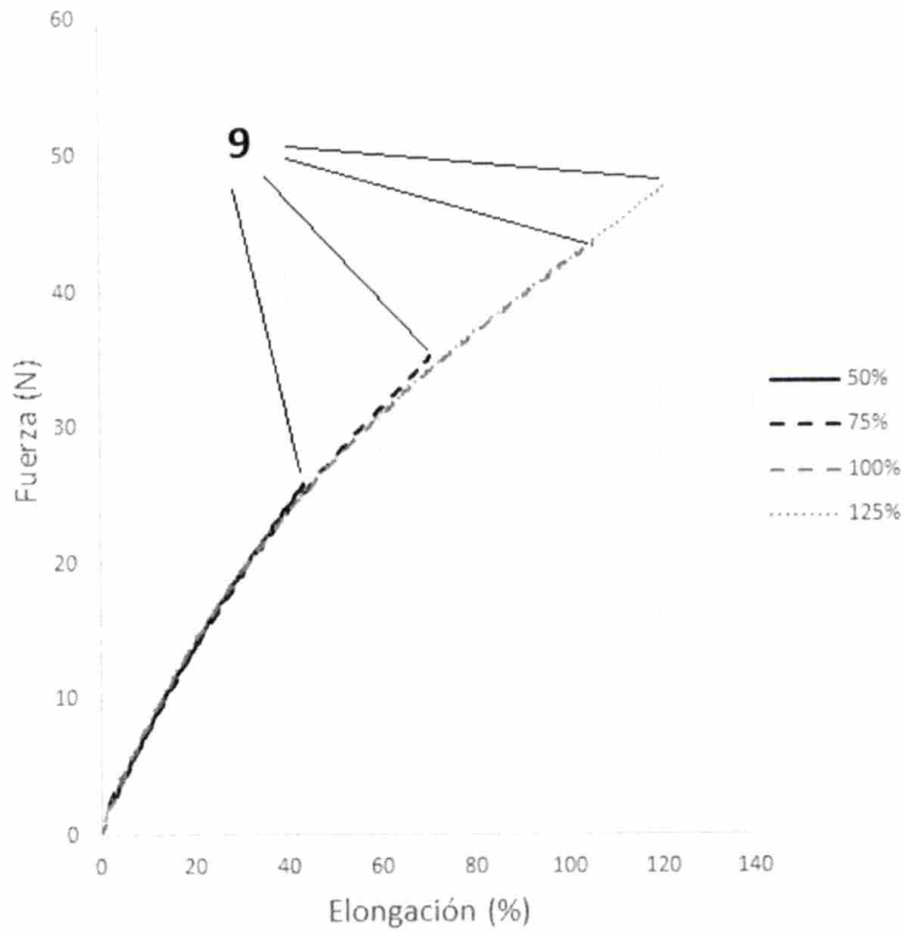


Figura 3

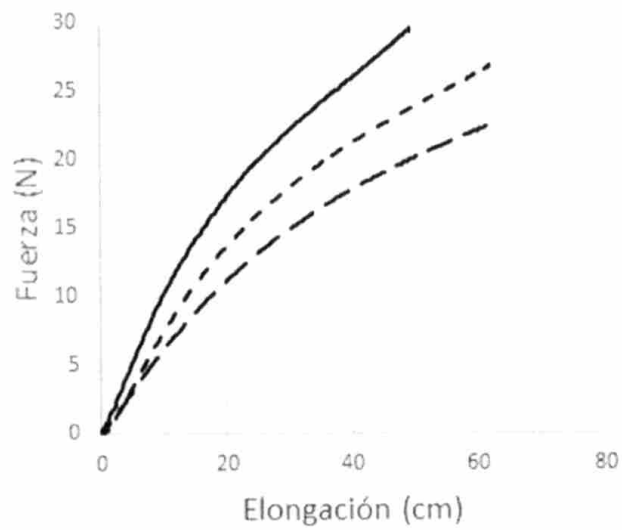


Figura 4

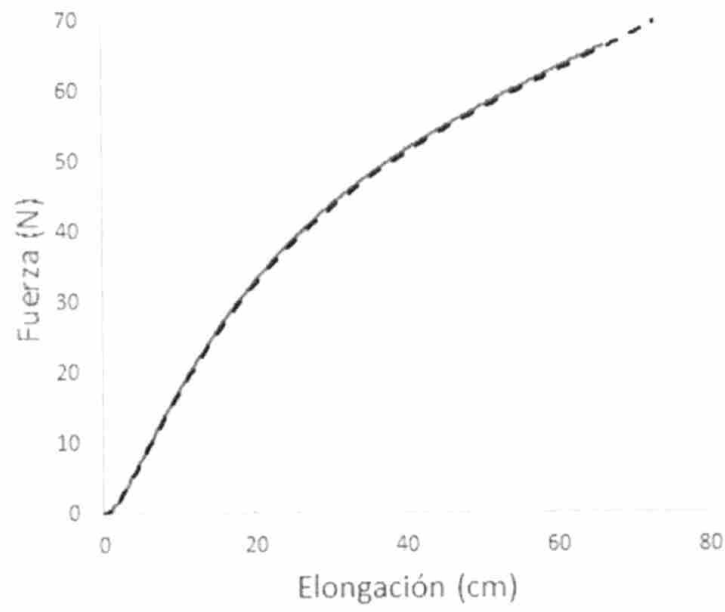


Figura 5

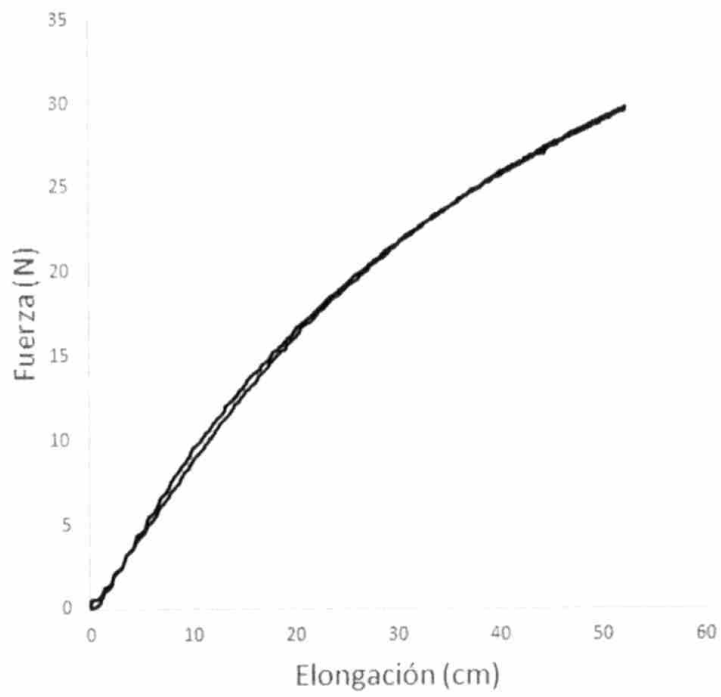


Figura 6

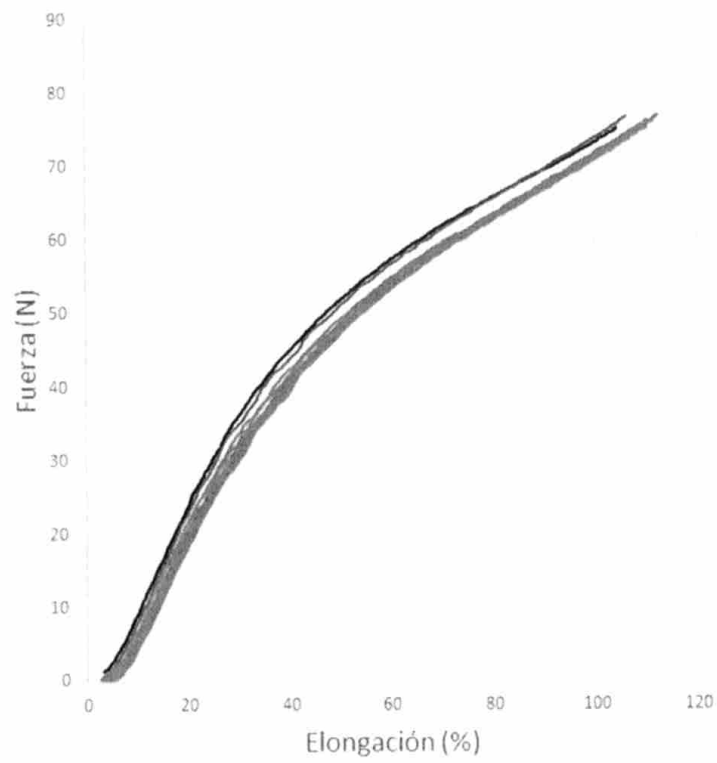


Figura 7

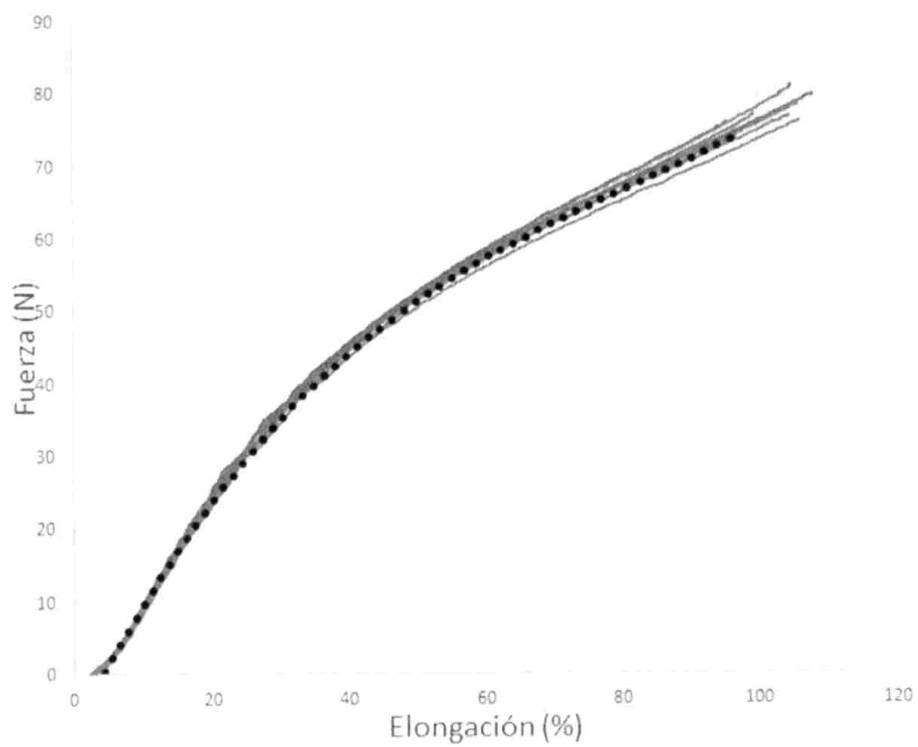


Figura 8

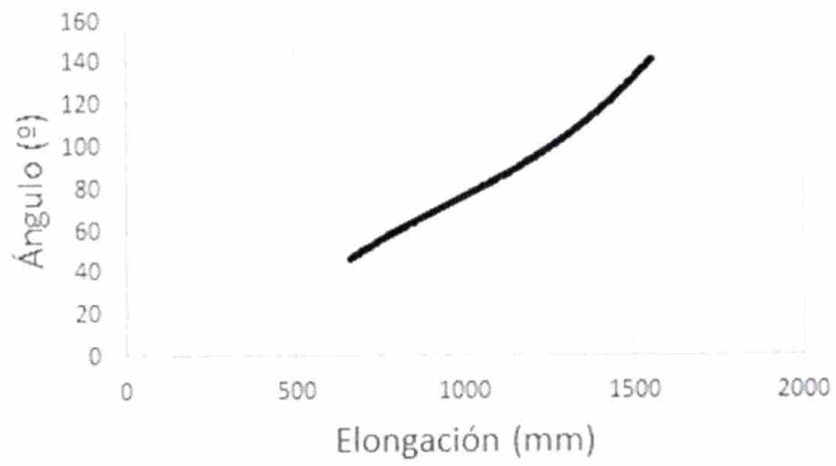


Figura 9

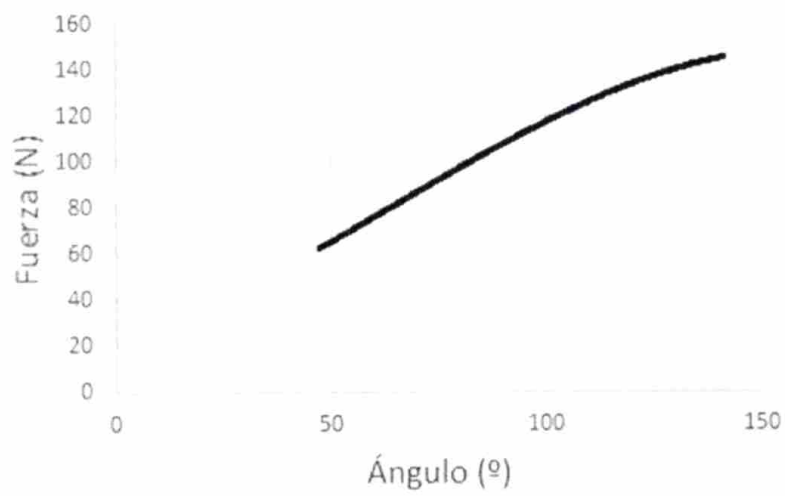


Figura 10

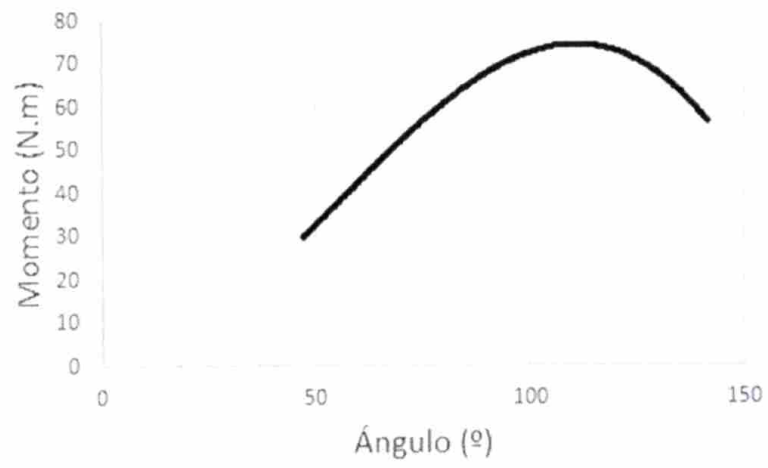


Figura 11



- ②① N.º solicitud: 201900018
②② Fecha de presentación de la solicitud: 28.01.2019
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **G08C23/04** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	WO 2018167330 A1 (UNIV MURCIA et al.) 20/09/2018, párrafos 6,7,13,14,38,39,42,43,47; figuras 1,4,5,8	1-5
A	Apta vital sport. Las Bandas Elásticas, un Método útil para Fortalecer el Músculo, 29/11/2016 [en línea]. Recuperado de internet [06/02/2020]. https://aptavs.com/articulos/bandas-elasticas-fortalecer-musculo Todo el documento	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 nº:

Fecha de realización del informe
06.02.2020

Examinador
F. Bejarano Durán

Página
1/2

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

G08C

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

INVENES, EPODOC, internet