

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 738 953**

21 Número de solicitud: 201830766

51 Int. Cl.:

G01N 3/32 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

26.07.2018

43 Fecha de publicación de la solicitud:

27.01.2020

Fecha de concesión:

25.05.2020

45 Fecha de publicación de la concesión:

01.06.2020

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS (100.0%)
Calle Tulipán s/n; CINTTEC; Edificio Rectorado
28933 Móstoles (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**LÓPEZ SÁNCHEZ, Raúl;
BAZA HERRERO, David;
SALAZAR LÓPEZ, Alicia y
RODRÍGUEZ PÉREZ, Jesús**

74 Agente/Representante:

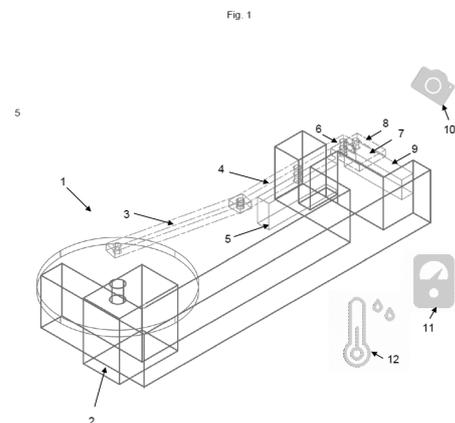
ILLESCAS TABOADA, Manuel

54 Título: **MÁQUINA DE CARGA CÍCLICA**

57 Resumen:

Máquina de carga cíclica.

Máquina (1) de carga cíclica que comprende: un motor (2) unido excéntricamente a una manivela (3); una biela (4) unida a dicha manivela (3) e inmovilizada en su segundo extremo en todas las direcciones salvo en una única dirección libre: dos portaprobetas (6 y 8) y destinados a alojar una probeta (7) de una muestra a estudiar: medios (9) de medida de la fuerza, medios (5) de medida del desplazamiento lineal y medios de unión que permiten rotar a la probeta (7), que permiten el movimiento de la biela (4) a lo largo de la dirección libre y que restringen el movimiento en las restantes direcciones.



ES 2 738 953 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

DESCRIPCIÓN

MÁQUINA DE CARGA CÍCLICA

CAMPO DE LA INVENCIÓN

5

El campo de aplicación de la presente invención es el de los ensayos de mecánica de la fatiga, o de la fractura, de propulsantes sólidos y otros elastómeros.

Dichos ensayos se utilizan habitualmente en diversos sectores técnicos, por ejemplo y sin carácter limitativo, el sector aeroespacial y de ingeniería de materiales con un uso dual (civil y militar) dentro del ámbito de la defensa y de la seguridad.

10

OBJETO DE LA INVENCIÓN

15

La invención, tal como se describe y reivindica en la presente memoria descriptiva, se refiere a una máquina de carga cíclica (en inglés, Fatigue Machine = FM) para realizar ensayos de fatiga (o carga cíclica) sobre distintos materiales o componentes sólidos, es decir, ensayos para determinar cuál es el comportamiento de dichos materiales o componentes sólidos bajo cargas dinámicas cíclicas, o desplazamientos dinámicos cíclicos.

20

La máquina de carga cíclica según se presenta, ofrece ventajas y características innovadoras que se describirán en detalle más adelante y que suponen una destacable novedad frente a los sistemas actualmente conocidos.

25

Más en particular, el objeto de la invención se centra en una máquina de carga cíclica, diseñada y construida para realizar ensayos de fatiga a fuerza, o desplazamiento, constantes (en inglés, Fixed Force –FF– or Fixed Grip –FG–),

30

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

Las máquinas de carga cíclica que se utilizan habitualmente para la caracterización del comportamiento a fatiga en materiales sólidos son habitualmente sistemas hidráulicos que permiten estudiar el efecto de las cargas, o desplazamientos, cíclicos en materiales o

35

componentes sólidos. Dimensionalmente, estas máquinas son voluminosas (del orden de los 2 metros de altura), pesadas (del orden de las 3 toneladas de peso), y con un elevado coste económico.

5 Dichas máquinas de carga cíclica, correspondientes con el estado actual de la técnica, constan habitualmente de una serie de sistemas de control y registro de variables de ensayo como son la fuerza y el desplazamiento (de la que se suele deducir la deformación), algunas de estas máquinas pueden incluir accesorios para registrar la temperatura y la humedad, así como incorporar un horno acoplado.

10

Las máquinas de carga cíclica del estado de la técnica actual son ampliamente utilizadas en los laboratorios de caracterización de materiales, conociéndose habitualmente como “máquinas universales de ensayo dinámicas”. A la hora de utilizar estas máquinas en el estudio de los propulsores sólidos y elastómeros se observan algunos problemas inherentes al tamaño y coste de las máquinas de ensayo, así como a una insuficiente flexibilidad de las mismas para configurar el ensayo unido a un elevado coste asociado a cualquier adaptación que se desee realizar sobre la configuración original de la máquina. Estos aspectos hacen impracticables algunas adaptaciones del equipamiento para la medida de una propiedad del material con valores inusuales, precisamente siendo esta la razón por la que se utilizan estos materiales estratégicos. Así pues, el uso de máquinas de carga cíclica del estado de la técnica no es aconsejable en ensayos destinados al estudio de muestras con baja resistencia mecánica, como por ejemplo los propulsores sólidos de material compuesto, puesto que la configuración de dichas máquinas de carga cíclica, del estado de la técnica, no suelen encontrarse preparadas para muestras con baja rigidez como la de los propulsores sólidos de material compuesto. De la misma forma, la elevada variabilidad en las diferentes configuraciones del ensayo, fruto de la heterogeneidad del material estudiado, puede poner en serio riesgo la integridad de algunos elementos de las máquinas, como son, por ejemplo, las células de carga habitualmente empleadas para el registro de la fuerza en este tipo de ensayos. Por todo lo anterior, existe ausencia en el mercado de equipos expresamente diseñados y contruidos para realizar ensayos de fatiga sobre materiales de baja resistencia mecánica, como, por ejemplo, los propulsores sólidos de material compuesto.

A los efectos de la presente invención, debe entenderse que un propulsante sólido es un material energético en estado sólido habitualmente empleado para generar gases o liberar

35

energía y cuyo uso se encuentra relacionado con la impulsión de proyectiles como cohetes y misiles. Un propulsante sólido de material compuesto suele estar constituido por una matriz elastomérica y unas cargas, habitualmente cerámicas, en el entorno del 80% en masa.

- 5 También existe la necesidad en el sector de desarrollar máquinas de carga cíclica para realizar ensayos de fatiga sobre muestras de materiales de baja resistencia mecánica con el fin de reducir el tiempo de ensayo necesario para el estudio del comportamiento del material, siendo la máquina de fácil calibración y que proporcione reducidas incertidumbres asociadas al resultado cuantitativo del ensayo, facilitándose de esta forma la realización de
10 controles de calidad sobre el material bajo estudio, es decir, sobre el propulsante sólido o elastómero.

No disponer de equipamiento adaptado tiene como consecuencia que los ensayos realizados provoquen un aumento de los costes asociados, aumento de las incertidumbres
15 asociadas a los resultados obtenidos, así como dificultades y retrasos operativos en los estudios sobre el estado mecánico de los propulsores sólidos y elastómeros.

Por otro lado, es conveniente desarrollar una máquina de carga cíclica que cumpla, además, con las normas y estándares internacionales para el estudio del comportamiento a fatiga de
20 los materiales, prestando especial atención a la medida de la fuerza, el desplazamiento y el crecimiento de la fisura durante el ensayo en probetas de pequeñas dimensiones obtenidas del material bajo estudio. Se destaca de entre las normas más habitualmente empleadas dentro del sector de la seguridad y de la defensa, la norma ASTM E647-15:2015 (Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates, ASTM International, West
25 Conshohocken, PA, www.astm.org).

Existen escasas publicaciones científicas que realicen ensayos de fatiga sobre muestras de propulsores sólidos, principalmente por su baja resistencia mecánica y difícil mecanización. Utilizando los equipamientos del estado de la técnica supondría un coste (económico y
30 temporal) muy elevado. Debe tenerse en cuenta que la caracterización del comportamiento a fatiga requiere de la repetición de ensayos, aspecto que se encuentra limitado por las dificultades experimentales de los equipamientos del estado de la técnica, principalmente por el necesario procesado de los datos obtenidos. Dada la duración de cada uno de los ensayos individuales, de hasta varias semanas, también es necesario que la máquina de
35 carga cíclica a desarrollar sea capaz de trabajar de forma completamente automatizada

durante las 24 horas del día, con una intervención reducida por parte del operario (por ejemplo, de 30 minutos/día), permitiendo obtener curvas de fatiga que caractericen completamente al material estudiado.

5

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención pretende, por tanto, abordar los problemas y desventajas de la técnica anterior arriba indicados, proporcionando una solución al problema de la realización de ensayos de fatiga sobre materiales de baja resistencia mecánica, en particular, materiales de baja rigidez, es decir, que cambian su forma original frente a esfuerzos no muy elevados. Son ejemplo de estos materiales los cauchos y los propulsores sólidos de material compuesto, donde es muy aconsejable utilizar equipamiento específicamente diseñado para este fin.

10 Para el propósito de la presente invención, un material con baja rigidez es un material que tiene una rigidez en el rango de los cauchos, preferiblemente cuyo módulo elástico (Módulo de Young) se encuentra comprendido entre 1 y 40 MPa, más preferiblemente entre 1 y 20 MPa, aún más preferiblemente entre 1 y 10 MPa, al ser medido en ensayos de tracción uniaxial con alargamientos comprendidos entre el 100 y el 400%, midiéndose mediante la norma OTAN STANAG-4506 (29 de Marzo del 2000).

15 Más en particular, un primer objeto de la presente invención se refiere a una máquina de carga cíclica como aquella ejemplificada en las Figuras 1 y 2, descritas abajo, que comprende:

- 25 - un motor (2) unido a una manivela (3) provista de dos extremos, de forma que transmite al primer extremo de dicha manivela un movimiento circular;
 - una biela (4) provista de dos extremos y unida por un primer extremo al segundo extremo de dicha manivela, describiendo una trayectoria excéntrica con el segundo extremo de la manivela en el primero de sus extremos al activar el motor. El segundo extremo de la biela se encuentra inmovilizado en todas las direcciones salvo en una única dirección libre. De esta forma, el movimiento circular del primer extremo de la manivela (3) (impulsado por el motor) produce un movimiento lineal de vaivén del segundo extremo de la biela, a lo largo de la dirección libre;
 - 30 - dos portaprobetas (6 y 8), uno de ellos unido al extremo libre de la biela (4) y el otro al medio de medida de carga (9), estando destinados los portaprobetas a alojar una probeta (7) de la muestra a estudiar;
- 35

- medios (9) de medida de la fuerza aplicada, como por ejemplo células de carga; y
- medios (5) de medida del desplazamiento lineal, como por ejemplo potenciómetros lineales;

5 caracterizada porque

- un primer portaprobetas (6) está unido al segundo extremo de la biela por medios de unión que no impiden la rotación de la probeta (7) durante el ensayo (es decir, permiten rotar a la probeta), esta rotación se produce respecto al eje central del portaprobetas (6) (donde un eje central del portaprobetas se refiere a un eje que se
10 extiende en una dirección vertical), por ejemplo de un sistema de amarre giratorio como un bulón pasante por el portaprobetas y la muestra, y el segundo extremo de la biela (4) sigue pudiendo desplazarse a lo largo de la dirección libre con su movimiento restringido en las restantes direcciones (es decir, que se permite el movimiento del segundo extremo de la biela a lo largo de la dirección libre); y
- un segundo portaprobetas (8) unido a los medios (9) de medida de la fuerza aplicada, preferiblemente por medios de unión que no impiden la rotación de la probeta (7) durante el ensayo, esta rotación se produce respecto al eje central del portaprobetas (8); y
- porque la probeta está alojada entre el primer portaprobetas (6) y el segundo
20 portaprobetas (8).

A lo largo de la presente memoria descriptiva debe entenderse que un “extremo” hace referencia al fulcro o pivote situada cerca de un borde de una pieza de la máquina, donde un primer extremo es aquel borne de dicha pieza que primero recibe (directa o indirectamente)
25 la fuerza transmitida por el motor, mientras que un segundo extremo es otro borne que también se impulsa por el movimiento aplicado al primer extremo. Por ejemplo, el primer extremo de la manivela es aquel borne que se acopla con el motor, el segundo extremo de la manivela es aquel borne que se acopla con el primer extremo (borne) de la biela, y el segundo extremo de la biela es aquel borne que se acopla con el primer portaprobetas (6),
30 dicho portaprobetas se acopla con el primer extremo de la probeta (7).

Dicha máquina de carga cíclica según la invención es una máquina que, como se ha apuntado anteriormente, comprende un motor que transmite un movimiento circular reproducible en ángulo y/o velocidad de giro a una manivela. La manivela se encuentra
35 acoplada a una biela que tiene restringido el movimiento en todas las direcciones salvo en

una (la dirección libre). Esta dirección libre es la que se controlará en distancia y velocidad de desplazamiento, permitiendo asegurar un movimiento uniforme y reproducible, requisito imprescindible para la realización de un ensayo de fatiga.

5 El sistema biela-manivela de las máquinas de carga cíclica según la presente invención, por comparación con las máquinas del estado de la técnica provistas de sistemas de husillo, tiene un movimiento mínimo y máximo restringido. Esto hace que los medios de medida de la fuerza aplicada no se puedan verse dañados por el posicionamiento de la probeta en los portaprobetas, puesto que el segundo portaprobetas (8, el unido a la célula de carga) no
10 puede ser alcanzado por el primer portaprobetas (6, unido al segundo extremo de la biela).

La presente invención contempla, en algunas posibles realizaciones, que el desplazamiento de la biela a lo largo de la dirección libre se corresponde con una función: triangular, sinusoidal, o de onda cuadrada frente al tiempo (o función de desplazamiento).
15 Realizaciones preferidas de la invención contemplan, asimismo funciones de desplazamiento triangulares o sinusoidales a frecuencias bajas (en el entorno de 1 Hz) para evitar el cambio de comportamiento del material del que se compone la probeta por, entre otras causas, el calentamiento debido a la histéresis térmica que afecta a los cauchos y elastómeros.

20 El motor provisto en una máquina de carga cíclica según la invención puede ser, por ejemplo y sin carácter limitativo, un motor continuo, un motor paso a paso o un servomotor. En una realización preferida de la invención, la dirección libre, a lo largo de la cual se desplaza la biela, es una dirección horizontal. Lo habitual en las máquinas comerciales ya
25 conocidas es que trabajen en vertical debido a su tamaño, peso y configuración.

A lo largo de la presente memoria descriptiva debe entenderse que una "dirección horizontal" es toda aquella dirección paralela al plano definido por el suelo, es decir, una dirección paralela al plano definido por el movimiento circular del primer extremo de la manivela (perpendicular al eje de rotación del motor). Asimismo, una "dirección vertical" es
30 aquella perpendicular al suelo (paralela al eje de rotación del motor).

Al poderse trabajar de forma horizontal, resulta más sencilla la combinación de 2 y 3 máquinas de carga cíclica, según la invención, para permitir el registro fotográfico del
35 ensayo y la posterior ampliación del ensayo a cargas bi y triaxiales.

En una realización más preferida de la invención el primer extremo de la biela está unido a la manivela con la interposición de al menos un rodamiento.

- 5 En otra realización todavía más preferida de la invención los medios de unión, interpuestos entre el primer portaprobetas y el segundo extremo de la biela, comprenden al menos un rodamiento.

10 En otra realización aún más preferida de la invención los medios de unión, interpuestos entre el primer portaprobetas y el segundo extremo de la biela, comprenden un rodamiento unido al segundo extremo de la biela. Los medios de unión preferiblemente comprenden, además un sistema de amarre giratorio, como un bulón, unido al rodamiento y que soporta el primer portaprobetas. En esta configuración particular de la invención, el sistema de amarre giratorio o bulón está montado sobre la biela a través de un rodamiento que le
15 permite girar, pero que restringe todos los demás movimientos excepto el de desplazamiento lineal en la dirección libre del primer portaprobetas.

En otra realización adicional de la invención, los medios de unión están provistos, además, de medios de cierre del bulón, que dejan atrapada la probeta dentro de los portaprobetas,
20 impidiendo que durante el ensayo de fatiga se produzca un desplazamiento en direcciones diferentes a la definida por la dirección libre de la biela, aspecto totalmente indeseable en este tipo de ensayos.

En aún otra realización mucho más preferida de la invención, los medios de unión,
25 interpuestos entre el primer portaprobetas y el segundo extremo de la biela, comprenden un bulón dispuesto en el interior de un rodamiento, estando provisto además el bulón de medios de cierre de bulón que inmovilizan la probeta entre ambos portaprobetas, de forma que se consigue imponer un movimiento de vaivén sobre la probeta de forma uniaxial al usar la máquina.

30

En una realización aún más preferida, existen dos sistemas de amarre giratorios, preferiblemente bulones, uno por portaprobeta, que atraviesa (cada uno de ellos) al portaprobeta y a la probeta, incorporando de esta forma a la probeta en el tren de carga del sistema, con una cadena ininterrumpida de elementos desde el motor hasta la célula de
35 carga. Cada sistema de amarre giratorio o bulón tiene un eje de rotación que coincide con el

eje central de cada portaprobetas, donde dicho eje se extiende en una dirección vertical. En el movimiento de vaivén impuesto al segundo extremo de la biela, es decir del primer portaprobetas (6), se transmite el movimiento al primer extremo de la probeta (7, situado dentro del primer portaprobetas y atravesado por el sistema de amarre giratorio o bulón). El

5 segundo portaprobetas (8) con su correspondiente sistema de amarre giratorio o bulón, mantiene igualmente retenido al segundo extremo de la probeta en el tren de carga y junto con el segundo portaprobeta conecta la probeta con la célula de carga, de esta forma se permite la medida de la fuerza durante el ensayo. El tipo de amarre descrito, mediante portaprobetas individuales y sus correspondientes sistemas de amarre giratorios o bulones,

10 permite la rotación de los extremos (bordes) de la probeta (que no de la probeta) en torno al eje vertical (perpendicular al del movimiento del motor) de cada portaprobetas, de esta forma el movimiento de vaivén del segundo extremo de la biela se convierte en un esfuerzo uniaxial en el frente de grieta de la probeta y se puede medir a través de la célula de carga situada en el segundo de los portaprobetas.

15

Las realizaciones anteriormente descritas utilizan sistemas de amarre giratorios que son medios de unión que no impiden la rotación de la probeta (7) durante el ensayo. Preferiblemente dichos sistemas de amarre giratorios forman parte de los portaprobetas y pueden comprender bulones, ejes, o pernos, más preferiblemente bulones. Otros tipos de

20 amarre habitualmente utilizados en materiales como son los que usan mordazas o mediante adhesivos en las caras de la probeta, impiden la rotación de los extremos de la probeta y transmiten esfuerzos al fondo de grieta que son inapropiados para la determinación precisa de la tenacidad del material, en particular la rigidez, acorde a la Mecánica de la Fractura.

25 Las realizaciones anteriormente descritas en las que las uniones manivela-biela y biela-portaprobeta se realizan con rodamientos, hacen que se reduzcan considerablemente las holguras con el tiempo de uso. Otros sistemas de transmisión de movimiento como los que proporcionan los sistemas piñón-cremallera y el Scotch-Yoke, introducen holguras muy superiores al sistema propuesto, sobre todo cuando se producen los cambios del sentido de

30 giro del motor. Estas holguras afectan a la precisión y reproducibilidad del ensayo.

En otra realización muy preferida de la invención, los medios de medida del desplazamiento lineal están unidos al segundo extremo de la biela.

35

Los medios de medida del desplazamiento lineal en la máquina, según la invención, pueden ser de tipo mecánico (p.ej. galgas de desplazamiento), eléctrico (p.ej. con recubrimientos piezoeléctricos), láser (p.ej. con sistemas ópticos de medida a distancia), o por ultrasonidos.

- 5 Dichos medios de medida del desplazamiento lineal permiten conocer en todo momento la posición de uno de los bulones unidos a la probeta, considerándose habitualmente este valor como el desplazamiento del ensayo.

10 En una realización de la invención, el medio de medida de la fuerza aplicada a la probeta es una célula de carga.

En cuanto a los materiales que pueden ser ensayados con este sistema, la máquina está especialmente diseñada para ensayar en ensayos uniaxiales las probetas de fractura y de fatiga de materiales basados en propulsantes sólidos, preferiblemente en propulsantes sólidos elastoméricos.

15

La máquina así configurada resulta óptima para la realización de ensayos de fractura y fatiga basados en la Mecánica de la Fractura siguiendo las directrices de las normas de polímeros y elastómeros recogidas en, por ejemplo, ISO 13586:2000 o ASTM D5045-99:1999 (Standard Test Methods for Plane-Strain Fracture Toughness and Strain Energy Release Rate of Plastic Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org).

20

La máquina según la invención puede utilizarse con probetas de las muestras a analizar, siendo dos, los tipos más utilizados habitualmente en el campo del conocimiento de la Mecánica de la Fractura, como son, preferiblemente, las probetas de flexión agudizadas en una cara (en inglés, SENB: Single Edge Notch Bending), con forma de paralelepípedo, utilizadas, por ejemplo, en ensayos con una configuración de flexión a tres puntos, o las probetas compactas (CT) de planta cuadrada, más preferiblemente las probetas definidas en ISO13586:2000 y ISO13586:2003. Cada uno de los tipos de probeta estaría acorde a su correspondiente tipo de mordaza (o medios de cierre) que se precisen para inmovilizar dichas probetas dentro de los dos portaprobetas.

25

30

La máquina de carga cíclica según la presente invención puede estar opcionalmente provista de medios de medida del tamaño de grieta, pudiendo dichos medios ser, por

35

ejemplo y sin carácter limitativo, de tipo óptico o de tipo eléctrico. En este último caso, por ejemplo, el tamaño de la grieta se determina en función de los cambios en la conductividad eléctrica del propio material o de recubrimientos eléctricamente activos (p.ej. con efecto piezoeléctrico).

5

Por último, cabe destacar que la máquina descrita permite obtener propiedades inherentes a los materiales ensayados, facilitando la realización de estudios de intercomparación entre grupos homogéneos de laboratorios, y el posterior desarrollo de normativas específicas para los propulsores sólidos de material compuesto tal y como recomienda la publicación OTAN AOP-46 de Julio de 2006, y que con el estado actual del estado de arte de las máquinas de ensayo disponibles no se ha podido realizar debido a las dificultades experimentales y económicas anteriormente indicadas. La máquina descrita como sistema de caracterización de propiedades mecánicas para los materiales indicados representa una contribución innovadora al estado de la técnica actualmente inexistente.

15

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña a la presente memoria descriptiva, como parte integrante de la misma, un juego de figuras, en los que con carácter ilustrativo y no limitativo se ha representado lo siguiente:

20

Figura 1. Muestra una vista isométrica de una posible realización de una máquina según la invención, apreciándose en ella las principales partes y elementos que la componen.

25

Figura 2. Muestra una vista en planta de la máquina de la Fig. 1, acoplada a la probeta en su soporte sobre la biela y sobre la célula de carga.

Figura 3. Muestra un ejemplo de un registro obtenido sobre una muestra real tras someterla a ensayos de carga cíclica con una máquina según la presente invención. La Fig. 3 se compone de 4 detalles del registro (Figuras 3A, 3B, 3C y 3D).

30

Figura 4. Muestra dos análisis del registro mostrado en la Fig. 3, que caracteriza a sendas probetas de propulsante sólido sometidas a ensayos de carga cíclica con una máquina según la presente invención.

35

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

A la vista de las mencionadas figuras y de acuerdo con la numeración adoptada, se puede observar en ellas un ejemplo preferido, pero no limitativo, de la máquina de carga cíclica según la invención, la cual comprende las partes y elementos que se indican y describen en detalle a continuación, siendo la configuración siguiente un ejemplo de realización preferente, no excluyente, de otras combinaciones con los límites ya definidos.

Tal y como se observa en las Figuras 1 y 2, la máquina (1) de carga cíclica según la invención está provista de un motor (2) que puede ser un motor continuo, un servomotor o un motor paso a paso unido a una manivela (3) a la que transmite un movimiento circular. El movimiento circular de la manivela se convierte en lineal de vaivén mediante una biela (4) unidas ambas piezas (biela y manivela) mediante rodamientos. El segundo extremo de la biela (4) está unida a unos medios de medida del desplazamiento lineal, que en esta realización de la invención es una galga de desplazamiento (5) y finaliza en uno de los portaprobetas (6), en este caso un bulón, que permite el giro de la probeta, pero limita los demás movimientos, salvo el de vaivén lineal del segundo extremo de la biela (4), así que movimiento de vaivén sobre la probeta permite la aplicación de tensiones uniaxiales en los ensayos de fractura y de fatiga. La probeta (7) es la única pieza que conecta físicamente el primer portaprobetas (6) con el segundo portaprobetas (8). Este segundo portaprobetas (8) va unido a un sistema capaz de medir la fuerza implicada durante el ensayo, que en la realización preferida de la invención es una célula de carga (9).

Al usar la máquina de carga de la presente invención en un ensayo de fractura y de fatiga, se restringen todos los movimientos excepto el de desplazamiento lineal en la dirección libre del primer portaprobetas (6), y tal como está configurado el sistema, otros movimientos y holguras desaparecen debido al uso de bulones y rodamientos. Así, no hay torsión en la probeta.

En la realización de la invención divulgada en las Figuras 1 y 2, la máquina (1) está provista de un medio (10) de medida del tamaño de grieta en forma de un sistema de registro óptico basado en sensores CCD (en inglés, Charge Coupled Devices). También puede estar provista en la realización de la invención divulgada en la Fig. 1 de unos segundos medios de medida de tamaño de grieta, tales como un sistema eléctrico (11) de medida de tamaño de grieta por conductividad eléctrica u otro basado en el efecto piezoeléctrico.

En la realización de la invención divulgada en la Fig. 1 también están provistos medios de registro de las condiciones ambientales de temperatura, presión y humedad (12) ambiental o de la atmósfera, y condiciones, en las que se desee estudiar el comportamiento mecánico del material.

5

Las probetas (7) empleadas en esta realización específica de la invención presentan las siguientes características:

- Tipo de probeta: La probeta se diseñará y fabricará a medida, aunque lo habitual es utilizar la probeta compacta (CT), siendo habituales los tamaños de probeta del entorno de los 20x20x5 mm, aunque el tamaño dependerá del material a estudiar y el comportamiento mecánico que presente en función de su estado de degradación.
- Tipo de material: Propulsantes sólidos de material compuesto y elastómeros.
- Condiciones de ensayos:
 - o Temperaturas (T^a) de -80 °C a $+80\text{ °C}$
 - Precisión en T^a : 0.1 °C
 - o Presiones (P^o): de ambiental a 100 Bar
 - Precisión en P^o : 0.1 Bar
 - o Desplazamientos (d_o): de $10\mu\text{m}$ a 10 cm
 - Precisión en d_o : $10\ \mu\text{m}$
 - o Fuerzas (F): desde 0.01 N
 - Precisión en F : 0.01 N
 - Fondo de escala: 0.05 N
 - o Longitudes de grieta (a_o): desde $5\ \mu\text{m}$
 - Precisión en a_o : $5\ \mu\text{m}$
 - o Frecuencia de adquisición de datos: habitualmente de 80 Hz a 250 Hz
 - o Frecuencias de ensayo: habitualmente de 0.5 Hz a 10 Hz

20

25

30

35

En esta realización de la invención, la máquina de carga cíclica (1) está provista de medios electrónicos de control que la hacen completamente autónoma (capaz de llevar el ensayo hasta el final sin intervención humana) una vez las condiciones de ensayo han sido introducidas en el sistema, y la probeta (7) reposa entre los dos portaprobetas (6) y (8) situados en los dos extremos de la probeta. Más en particular, los medios electrónicos de control se encargan de conectar, desconectar y controlar automáticamente la velocidad del motor (2), así como de registrar los valores de las variables de ensayo (p.ej. fuerza,

desplazamiento y tamaño de grieta), detectadas por los medios (5) de medida del desplazamiento lineal, los medios (9) de medida de la fuerza aplicada, los medios ópticos (10) de medida del tamaño de grieta o los medios eléctricos (11) de medida del tamaño de la grieta, así como los valores detectados por cualquier combinación de dichos medios (5), (9),
5 (10) y (11) de medida.

En la presente realización preferida de la invención, los medios electrónicos de control imponen al motor (2) una velocidad tal, que induce un desplazamiento lineal en el segundo extremo de la biela, que en función del tiempo pueden imponer a los dos portaprobetas
10 desplazamientos triangulares, sinusoidales o de onda cuadrada. Esto es posible porque – según lo mencionado anteriormente – dicho motor (2) está conectado a la manivela (3) y la manivela (3) está conectada, a su vez, a la biela (4).

En la Fig. 3 se muestra un ejemplo del registro obtenido sobre una muestra real, de propulsante sólido de material compuesto, tras someterla a ensayos de carga cíclica con la máquina según la presente invención de las Figs. 1 y 2. En el eje de ordenadas se representa la fuerza registrada en Newtons. En el eje de abscisas de la gráfica se representa el tiempo transcurrido en milisegundos. La Fig. 3 se compone de 1 registro y 4 detalles del registro, el primero (Fig. 3A) muestra un ensayo de 1 día de duración, el
15 segundo (Fig. 3B) el principio del ensayo con una serie de puntos de calibración en fuerza, el tercero (Fig. 3C) es un detalle del ensayo en un momento determinado, mostrando 5 ciclos, la frecuencia del ensayo, la frecuencia de toma de datos y la reproducibilidad del sistema, la cuarta (Fig. 3D) es un detalle de la precisión en el fondo de escala con las variaciones propias de una muestra heterogénea real.
20

En la Fig. 4 se muestran dos análisis del registro mostrado en la Fig. 3, caracterizando sendas probetas de propulsante sólido de material compuesto. En el eje de ordenadas se muestra la velocidad de crecimiento de la grieta (da/dN en mm/ciclo) y en el eje de abscisas la tasa de liberación de energía asociada al máximo del ciclo de carga, G_{max} en $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$.
25

30

LISTADO DE REFERENCIAS NUMÉRICAS EMPLEADAS EN LAS FIGURAS

(1): Máquina de carga cíclica;
(2): Motor;
35 (3): Manivela;

(4): Biela;

(5): Medios de medida del desplazamiento lineal;

(6): Primer portaprobetas;

(7): Probeta;

5 (8): Segundo portaprobetas;

(9): Medios de medida de la fuerza aplicada;

(10): Medios ópticos de medida del tamaño de grieta;

(11): Medios eléctricos de medida del tamaño de grieta;

(12): Medios de detección de las condiciones ambientales.

10

REIVINDICACIONES

1. Máquina (1) de carga cíclica que comprende:

- 5
- un motor (2) unido a una manivela (3) provista de dos extremos, de forma que transmite al primer extremo de dicha manivela (3) un movimiento circular;
 - una biela (4) provista de dos extremos y unida por su primer extremo al segundo extremo de dicha manivela (3), estando el segundo extremo de la biela (4) inmovilizado en todas las direcciones salvo en una única dirección libre, de forma
- 10
- que el movimiento circular del primer extremo de la manivela (3) produce un movimiento lineal de vaivén en el segundo extremo de la biela (4), a lo largo de dicha dirección libre;
 - dos portaprobetas (6 y 8), uno de ellos unido al segundo extremo de la biela (2) y el otro al medio de medida de carga (9), estando destinados los portaprobetas a alojar
- 15
- una probeta (7) de una muestra a estudiar;
 - medios (9) de medida de la fuerza aplicada; y
 - medios (5) de medida del desplazamiento lineal;

caracterizada porque

- 20
- un primer portaprobetas (6) está unido al segundo extremo de la biela (4) por medios de unión que permiten rotar a la probeta (7), con el segundo extremo de la biela (4) pudiendo desplazarse a lo largo de la dirección libre y con su movimiento restringido en las restantes direcciones; y
 - un segundo portaprobetas (8) unido a los medios (9) de medida de la fuerza
- 25
- aplicada; y
 - porque la probeta (7) está alojada entre el primer portaprobetas (6) y el segundo portaprobetas (8).

2. Máquina (1) de carga cíclica según la reivindicación 1, caracterizada porque el motor (2)

30

es un motor continuo, un motor paso a paso o un servomotor.

3. Máquina (1) de carga cíclica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la dirección libre de la biela (4), es una dirección horizontal.

35

4. Máquina (1) de carga cíclica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque el primer extremo de la biela (4) está unido a la manivela (3) con la interposición de al menos un rodamiento.
- 5 5. Máquina (1) de carga cíclica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque los medios de unión, interpuestos entre el primer portaprobetas (6) y el segundo extremo de la biela (4), comprenden al menos un rodamiento.
- 10 6. Máquina (1) de carga cíclica según la reivindicación 5, caracterizada porque los medios de unión comprenden un rodamiento unido al segundo extremo de la biela (4), comprendiendo los medios de unión, además, un bulón unido a dicho rodamiento y que soporta el primer portaprobetas (6).
- 15 7. Máquina (1) de carga cíclica según la reivindicación 6, caracterizada porque los medios de unión están provistos además de medios de cierre del bulón.
- 20 8. Máquina (1) de carga cíclica según la reivindicación 5, caracterizada porque los medios de unión comprenden un bulón dispuesto en el interior de un rodamiento, estando provisto además el bulón, de medios de cierre de bulón que inmovilizan la probeta (7).
9. Máquina (1) de carga cíclica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque los medios (5) de medida del desplazamiento lineal están unidos al segundo extremo de la biela (4).
- 25 10. Máquina (1) de carga cíclica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque los medios (5) de medida del desplazamiento lineal son una galga de desplazamiento.
- 30 11. Máquina (1) de carga cíclica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque los medios (9) de medida de la fuerza aplicada a la probeta son una célula de carga.
12. Máquina (1) de carga cíclica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque está provista de medios (10, 11) de medida del tamaño de grieta.

13. Máquina (1) de carga cíclica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque está provista de control por medios electrónicos de control para conectar, desconectar y controlar automáticamente la velocidad del motor (2), y para registrar los valores detectados por los medios (5) de medida del desplazamiento lineal, los 5 medios (9) de medida de la fuerza aplicada, los medios ópticos (10) de medida del tamaño de grieta y los medios eléctricos (11) de medida del tamaño de la grieta, así como cualquier combinación de los mismos.

14. Máquina (1) de carga cíclica según la reivindicación 13, caracterizada porque los 10 medios electrónicos de control inducen, a través del motor (2), una función, respecto al tiempo, de desplazamiento triangular, sinusoidal o de onda cuadrada al segundo extremo de la biela (4).

Fig. 1

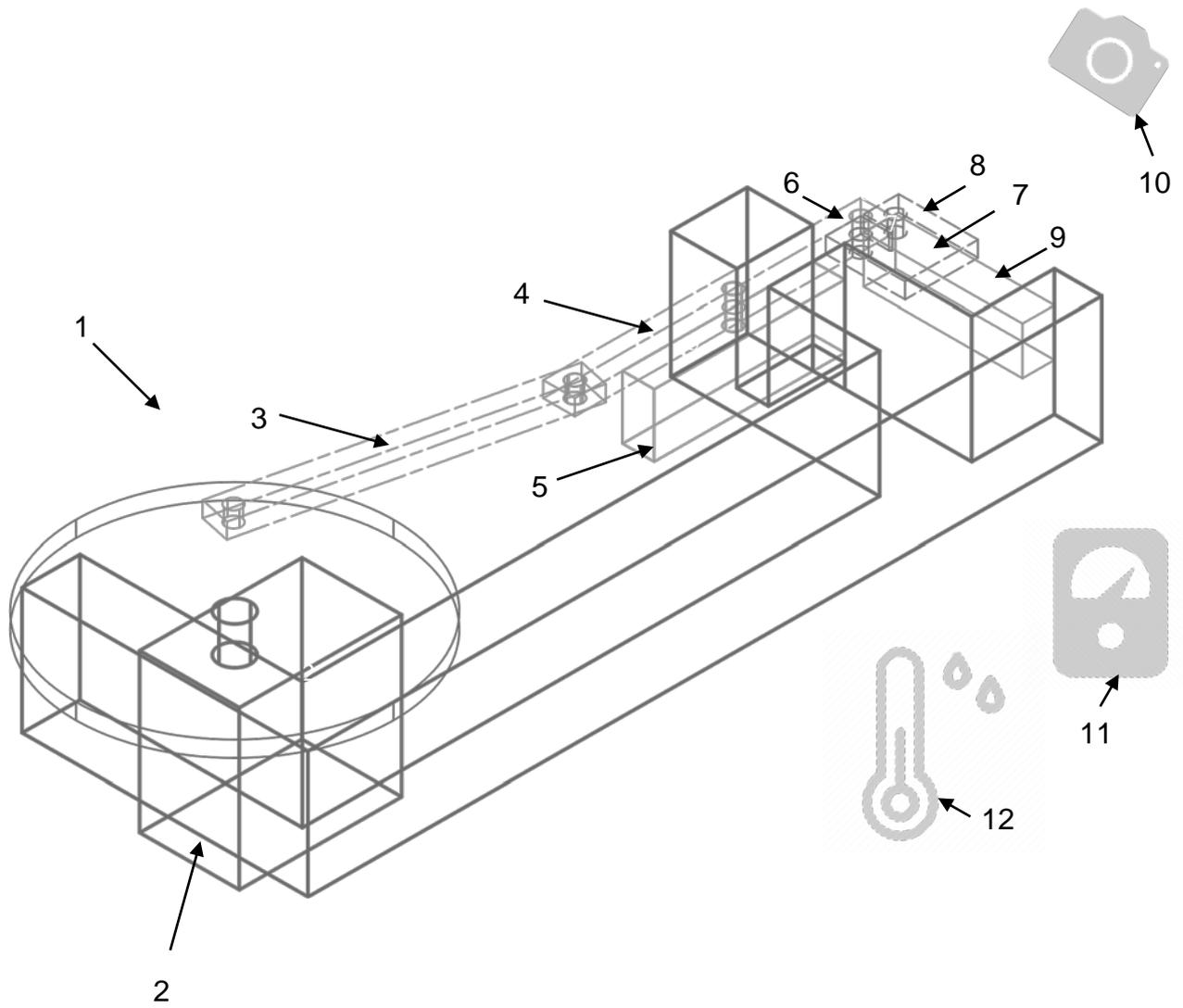


Fig. 2

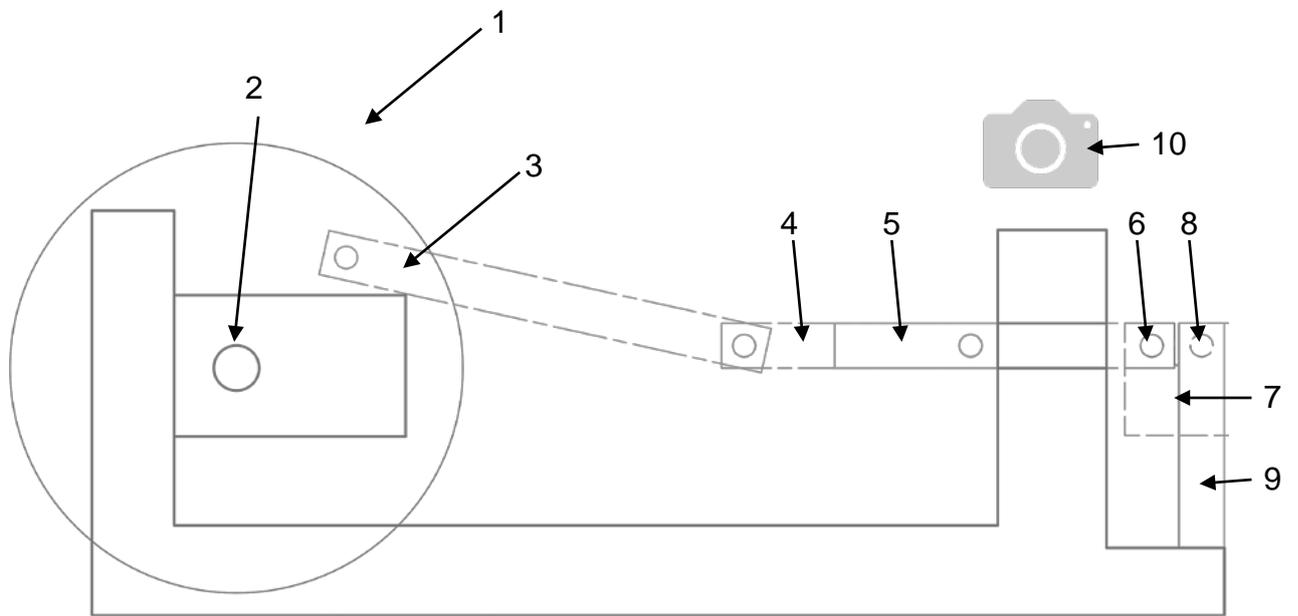
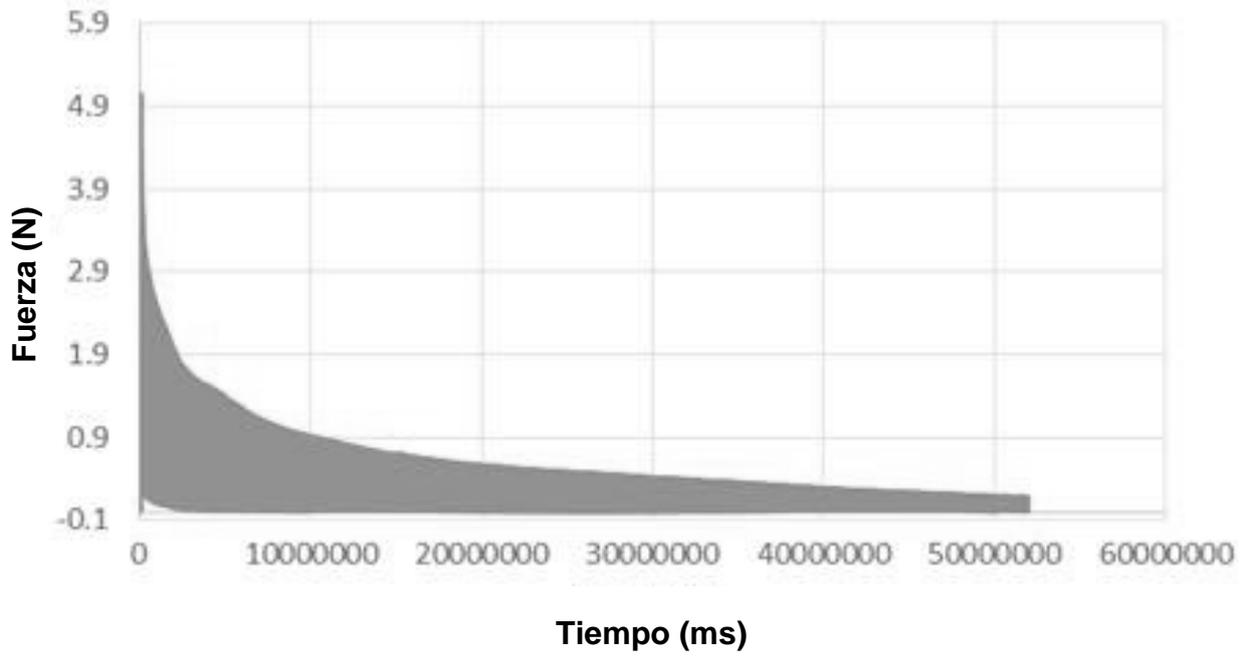
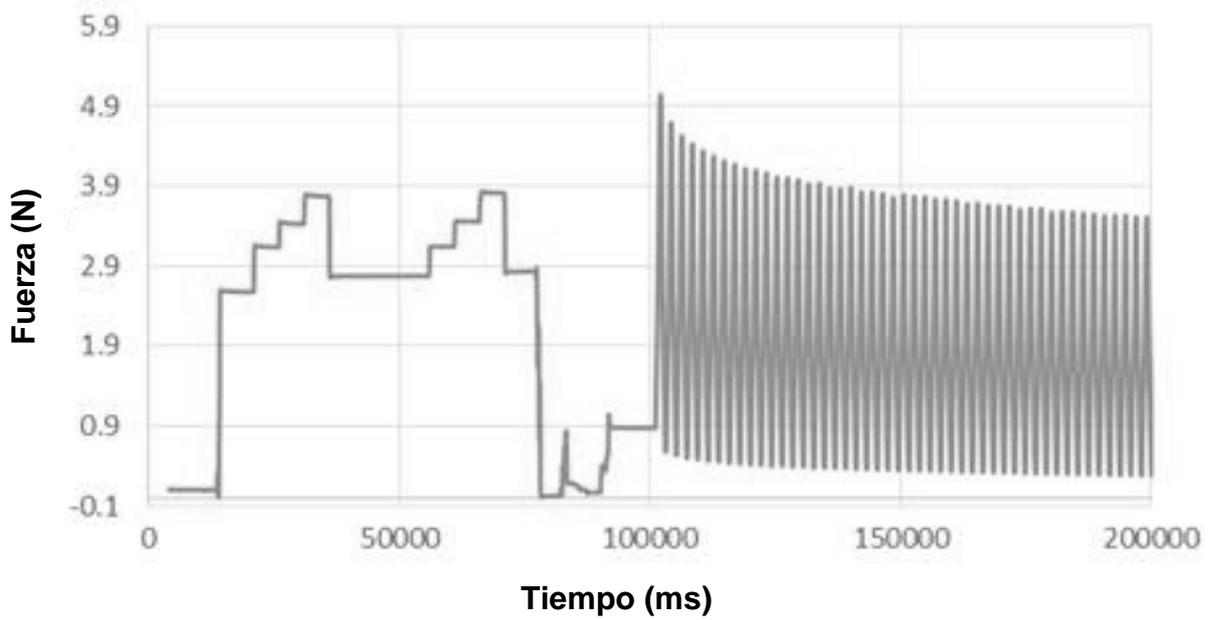


Fig. 3

A.

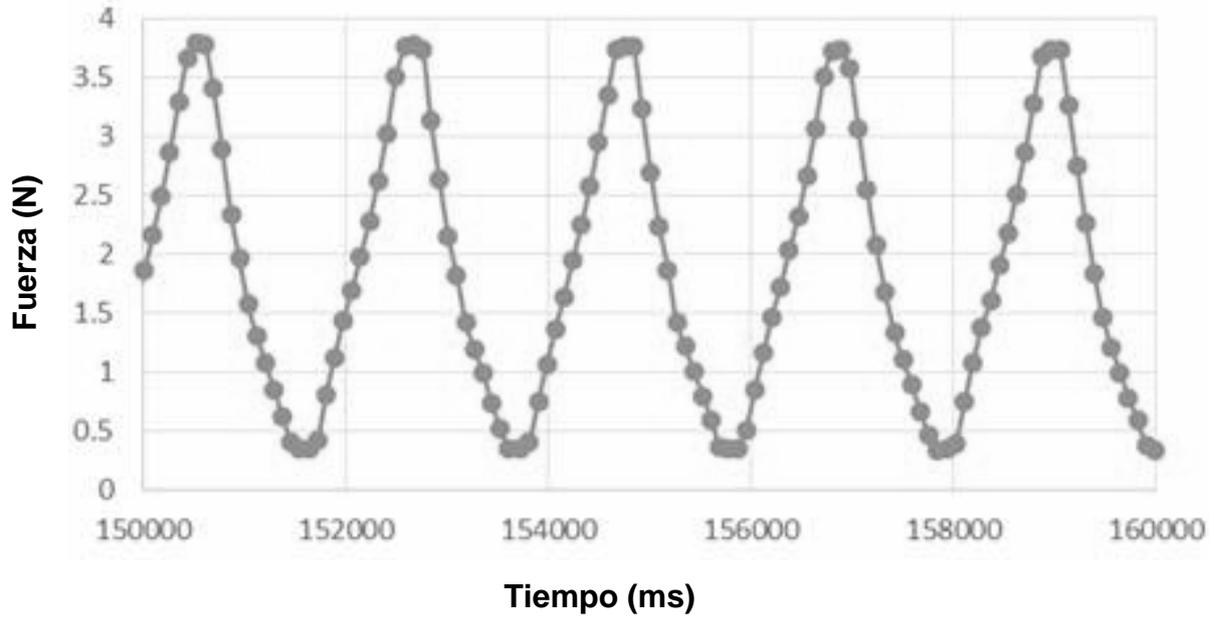


B.



Continuación de Fig. 3.

C.



D.

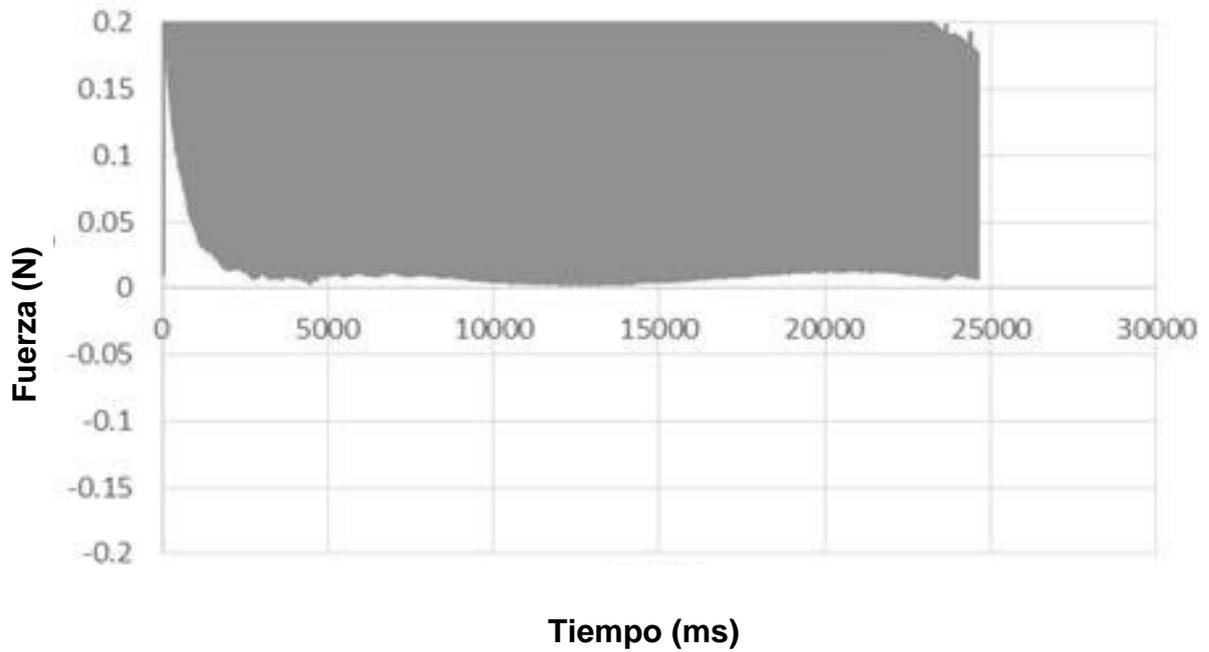


Fig. 4

