

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 740 809**

51 Int. Cl.:

**A61B 9/00** (2006.01)

**G01N 3/30** (2006.01)

**G01M 7/08** (2006.01)

**A61B 5/103** (2006.01)

**A61C 19/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.06.2011 E 17168221 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2019 EP 3235440**

54 Título: **Sistema y procedimiento para determinar las características estructurales de un objeto**

30 Prioridad:

**19.06.2010 US 356599 P**

**14.02.2011 US 201161442293 P**

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

**06.02.2020**

73 Titular/es:

**PERIMETRICS, LLC (100.0%)  
360 San Miguel, Suite 204  
Newport Beach CA 92660, US**

72 Inventor/es:

**EARTHMAN, JAMES y  
SHEETS, CHERILYN**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 740 809 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Sistema y procedimiento para determinar las características estructurales de un objeto

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere en general a la evaluación de las propiedades estructurales de un objeto; y, más específicamente, se refiere a la evaluación de las características estructurales que reflejan la integridad de un objeto después de someter al mismo a una aplicación de energía.

**Antecedentes de la invención**

10 Cuando un objeto se somete a una fuerza de impacto, una onda de tensión se transmite a través del objeto. Esta onda de tensión causa deformaciones en la estructura interna del objeto. A medida que el objeto se deforma, actúa, en parte, como un amortiguador, disipando una porción de la energía mecánica asociada con el impacto. La capacidad del objeto para disipar la energía mecánica, comúnmente conocida como la "capacidad de amortiguamiento" del objeto, depende de varios factores, incluido el tipo y la integridad estructural de los materiales que componen el objeto.

15 Hay instrumentos que son capaces de medir la capacidad de amortiguamiento de un objeto. Un ejemplo de dicho instrumento se describe en la patente de EE.UU. N°. 6.120.466 ("la patente '466), expedida el 19 de septiembre de 2000 y titulada "System and Method for Quantitative Measurements of Energy Damping Capacity". El instrumento descrito en la patente '466 proporciona una medida objetiva y cuantitativa de la capacidad de amortiguamiento de un objeto, denominado coeficiente 17 de pérdida. La energía de una onda elástica se atenúa de manera relativamente rápida en materiales con un coeficiente de pérdida relativamente alto, mientras que la energía de una onda elástica se atenúa relativamente lentamente en materiales con un coeficiente de pérdida relativamente bajo.

20 La capacidad de amortiguamiento de un objeto es un parámetro importante en una amplia variedad de aplicaciones. Por ejemplo, en el campo de la odontología, cuando un diente sano se somete a una fuerza de impacto, la energía mecánica asociada con el impacto se disipa principalmente por el ligamento periodontal. Los cambios en la estructura del ligamento periodontal que reducen su capacidad para disipar la energía mecánica asociada con una fuerza de impacto y, por lo tanto, reducen la estabilidad general del diente, pueden detectarse midiendo el coeficiente de pérdida del diente.

**Sumario de la invención**

30 La presente invención se refiere a un sistema y a un procedimiento para medir las características estructurales de un objeto. El objeto puede estar sujeto a un procedimiento de aplicación de energía y el sistema está adaptado para proporcionar una medición objetiva y cuantitativa de las características estructurales del objeto después del procedimiento de aplicación de energía. El sistema y el procedimiento son capaces de generar mediciones más reproducibles y más capaces de detectar cualquier anomalía que pueda estar presente en un objeto.

35 El sistema puede incluir un dispositivo, por ejemplo, un instrumento de percusión, capaz de colocarse de manera reproducible directamente en el objeto que se somete a dicha medición para realizar mediciones reproducibles. Las características estructurales tal como se definen en este documento pueden incluir capacidades de amortiguamiento de vibraciones; capacidades de amortiguamiento acústico; defectos que incluyen defectos inherentes en, por ejemplo, el hueso o el material que conformó el objeto; fisuras, microfisuras, fracturas, microfracturas; pérdida del sello de cemento; fallo del cemento; fallo de la unión; microfiltración; lesiones; caries; integridad estructural en general o estabilidad estructural en general. Para un objeto anatómico, tal como una estructura dental, un diente natural, un diente natural que tiene una fractura debido al desgaste o a un traumatismo, un diente natural que ha sufrido al menos parcialmente abscesos, o un diente natural que ha experimentado un procedimiento de aumento óseo, una estructura de implante dental protésico, una estructura dental, una estructura ortopédica o un implante ortopédico, tales características pueden indicar la salud del objeto o la salud de la base subyacente a la cual se puede anclar o unir el objeto. La salud del objeto y/o la base subyacente también puede estar correlacionada con densidades o densidades óseas o un nivel de osteointegración; cualquier defecto, inherente o no; o fisuras, fracturas, microfracturas, microfisuras; pérdida del sello de cemento; fallo del cemento; fallo de la unión; microfiltración; lesiones; o caries. Para objetos en general, por ejemplo, estructuras compuestas poliméricas que incluyen estructuras de panal de abeja o de panal de abeja en capas o estructuras compuestas metálicas; aviones, automóviles, barcos, puentes, edificios, estructuras industriales que incluyen, pero no se limitan a, instalaciones de generación de energía, estructuras de arcos u otras estructuras físicas similares; dichas mediciones también pueden estar correlacionadas con cualquier integridad estructural, o estabilidad estructural, tal como defectos o fisuras, incluso fracturas finas o microfisuras, etc.

55 En una realización ejemplar, el dispositivo puede incluir una pieza de mano que tiene un alojamiento con un extremo abierto y una herramienta de aplicación de energía, por ejemplo, una varilla de golpeo o una varilla de impacto montada dentro del alojamiento para un movimiento axial. El alojamiento tiene un eje longitudinal y la herramienta de aplicación de energía tiene una longitud con una forma retraída y una forma extendida, estando la forma retraída o siendo substancialmente de la misma amplitud que el extremo abierto del alojamiento. El movimiento de la

herramienta de aplicación de energía, por ejemplo, una varilla de golpeo, puede efectuarse mediante un mecanismo de accionamiento montado dentro del alojamiento para accionar la varilla de golpeo axialmente dentro del alojamiento entre una posición retraída y una posición extendida durante la operación. En la posición extendida, el extremo libre de la varilla de golpeo es capaz de extenderse o sobresalir del extremo abierto del alojamiento.

- 5 El mecanismo de accionamiento puede ser un mecanismo electromagnético, y puede incluir una bobina electromagnética. En una realización, el mecanismo de accionamiento puede incluir un imán permanente asegurado al extremo posterior de la herramienta de aplicación de energía, por ejemplo, la varilla de golpeo, y la bobina magnética puede quedar axialmente detrás de este imán permanente. Junto con la parte posterior del alojamiento de la pieza de mano y cualquier línea de suministro eléctrico, la bobina magnética forma una unidad estructural que  
10 puede ser integralmente operativa y que puede, por ejemplo, conectarse al dispositivo restante mediante una conexión adecuada que se puede liberar, por ejemplo, una conexión tipo tornillo o una conexión tipo enchufe. Esta conexión que se puede liberar puede facilitar la limpieza, la reparación y demás.

15 La herramienta de aplicación de energía, tal como la varilla de golpeo, está situada en la parte frontal del alojamiento y el mecanismo de montaje para la varilla de golpeo puede incluir cojinetes sin fricción. Estos cojinetes pueden incluir una o más aberturas axiales, de modo que las cámaras vecinas formadas por el alojamiento y la varilla de golpeo estén en comunicación entre sí para el intercambio de aire.

20 En una realización, la varilla de golpeo puede tener una construcción de sección transversal substancialmente constante en toda su longitud, con un conjunto magnético permanente montado en el extremo alejado del extremo libre, como se señaló anteriormente. La bobina electromagnética del mecanismo de accionamiento puede situarse detrás del otro extremo de la varilla de golpeo, también como se señaló anteriormente, dando como resultado un diámetro exterior relativamente pequeño para la pieza de mano. En esta realización, el diámetro exterior del alojamiento de la pieza de mano puede definirse substancialmente solamente por la sección transversal de la varilla de golpeo, el mecanismo de montaje de la varilla de golpeo en el alojamiento y el grosor de las paredes del alojamiento.

25 La propia pieza de mano puede estar conectada a una fuente de alimentación externa o alimentada por una fuente eléctrica incluida dentro del alojamiento, tal como, por ejemplo, una batería, un condensador, un transductor, una célula solar, una fuente externa y/o cualquier otra fuente apropiada.

30 En una realización, la comunicación entre el mecanismo de accionamiento y la herramienta de aplicación de energía, como la varilla de golpeo, puede realizarse a través de un cable o línea de cable conductor aislado eléctricamente que puede enrollarse en espiral de forma concéntrica alrededor de la varilla de golpeo y tiene propiedades elásticas de resorte. Esto también puede permitir un requisito de espacio mínimo con respecto a la gestión de la línea. Además, un resorte helicoidal, que puede estar formado por el cable enrollado en espiral, puede ayudar a evitar o prevenir que la conexión del cable se enrosque o retuerza.

35 El resorte helicoidal puede estar compuesto de cables trenzados que tienen dos cables individuales trenzados o de una línea coaxial. En su condición de carga, el resorte puede comprimirse en tal grado que la fuerza de su pretensado corresponda a la fuerza de fricción y se oponga a esta fuerza de fricción durante el movimiento hacia adelante de la herramienta de aplicación de energía, por ejemplo, la varilla de golpeo, desde la posición retraída hasta la posición extendida. La trayectoria pretensada del resorte puede, por lo tanto, ser mucho mayor que la carrera de la varilla de golpeo, por lo que la potencia del resorte permanece substancialmente constante durante  
40 toda la carrera de la varilla de golpeo. Cualquier fuerza de fricción no deseada de los cojinetes del mecanismo de montaje para la varilla de golpeo durante el movimiento hacia adelante también puede compensarse substancialmente con este resorte.

45 En un aspecto, el mecanismo de accionamiento puede incluir un dispositivo de medición, por ejemplo, un sensor de fuerza piezoeléctrico, situado dentro del alojamiento de la pieza de mano para el acoplamiento con la herramienta de aplicación de energía, tal como la varilla de golpeo. El dispositivo de medición está adaptado para medir la desaceleración de la barra de golpeo al impactar con un objeto durante la operación, o cualquier vibración causada por la barra de golpeo sobre la muestra. El sensor de fuerza piezoeléctrico puede detectar cambios en las propiedades del objeto y puede cuantificar objetivamente sus características internas. Los datos transmitidos por el sensor de fuerza piezoeléctrico pueden procesarse mediante un programa del sistema, que se examinará más  
50 adelante.

55 En otro aspecto, el mecanismo de accionamiento puede incluir un transformador diferencial variable lineal adaptado para detectar y/o medir el desplazamiento de la herramienta de aplicación de energía tal como la varilla de golpeo, antes, durante y después de la aplicación de energía. El transformador diferencial variable lineal puede ser un sensor de desplazamiento lineal sin contacto. El sensor puede utilizar tecnología inductiva y, por lo tanto, ser capaz de detectar cualquier objetivo metálico. Además, la medición de desplazamiento sin contacto puede permitir que un ordenador determine la velocidad y la aceleración justo antes del impacto para que los efectos de la gravedad puedan eliminarse de los resultados.

En el extremo abierto del alojamiento se encuentra un manguito. El manguito puede sujetar y/o rodear al menos una longitud del extremo libre del alojamiento y sobresale del alojamiento a una distancia substancialmente de la misma amplitud que el extremo de la varilla de golpeo en su forma extendida. Por lo tanto, la longitud del manguito puede depender de la longitud de la protuberancia de la varilla de golpeo extendida deseada. El extremo libre del manguito se puede colocar contra un objeto que se esté midiendo. El contacto del manguito ayuda a estabilizar la pieza de mano sobre el objeto. En una realización, el alojamiento puede estrecharse hacia el extremo rodeado por el manguito, de modo que el dispositivo puede tener una dimensión substancialmente uniforme cuando se une el manguito. En otra realización, el alojamiento puede tener una dimensión substancialmente uniforme y el manguito puede expandir hasta cierto punto la dimensión del extremo que rodea. En una realización adicional, el propio manguito puede tener un ensanchamiento hacia su extremo libre para aumentar el área plana de contacto con el objeto.

El manguito incluye una lengüeta que sobresale de una porción de su extremo, de modo que cuando el extremo abierto del manguito está en contacto con al menos una porción de la superficie del objeto que se está midiendo, la lengüeta puede apoyarse sobre una porción de la parte superior del objeto. La lengüeta y el manguito juntos ayudan en el posicionamiento repetible de la pieza de mano con respecto al objeto, por lo que los resultados son más reproducibles que sin la lengüeta. Además, la lengüeta se puede adaptar para colocarla de forma repetitiva substancialmente en la misma posición en la parte superior del objeto cada vez. En una realización, la lengüeta puede ser substancialmente paralela al eje longitudinal del manguito.

En otra realización ejemplar, el manguito incluye una lengüeta y una característica, por ejemplo, un reborde, una protuberancia u otra característica substancialmente ortogonal a la superficie de la lengüeta en el lado adaptado para estar de frente a la superficie de un objeto. Por ejemplo, para los dientes, el reborde o protuberancia puede anidar entre dientes adyacentes u otra superficie ortogonal y, por lo tanto, puede ayudar a prevenir cualquier movimiento lateral o vertical substancial de la lengüeta a través de la superficie del objeto y/o ayudar además en la repetibilidad. La lengüeta puede tener una longitud o anchura suficiente, dependiendo de la longitud o la anchura de la parte superior del objeto, de modo que el reborde o la protuberancia puedan situarse correctamente durante la operación. De nuevo, la lengüeta y la característica también ayudan en los resultados reproducibles que sin la lengüeta.

En un aspecto, por ejemplo, si el objeto es un diente, la característica puede ser corta y de un grosor suficientemente pequeño para que pueda caber entre dientes adyacentes. En otro aspecto, por ejemplo, si el objeto es un diente, la característica puede ser corta y tener una forma que se ajuste entre la porción superior de los dientes adyacentes. En otro aspecto más, por ejemplo, si el objeto es un diente, y la característica ha de apoyarse contra las superficies posterior o frontal, puede ser de una dimensión que cubra una porción importante de las superficies posterior o frontal mientras la lengüeta se apoya en la superficie superior de un diente.

La lengüeta y/o la lengüeta y la característica no solamente sirven para ayudar al posicionamiento repetible del instrumento sobre un objeto, tal como un diente o una estructura mecánica o industrial, compuestos y similares, como se mencionó anteriormente, sino que la lengüeta y/o la lengüeta y la característica también sirven para ayudar a evitar que el objeto, tal como un diente o una estructura mecánica o industrial, materiales compuestos y similares, como se mencionó anteriormente, se muevan en otras direcciones que no sean la de la dirección paralela a la aplicación de energía o dirección de golpeo. Esto ayuda a minimizar cualquier perturbación innecesaria del objeto y/o la base a la que está anclado y/o las complicaciones que pueden surgir de estas otras perturbaciones durante la prueba, contribuyendo así a la sensibilidad y/o a la exactitud de la detección.

El extremo del manguito que no tiene la lengüeta que sobresale puede ser plano o substancialmente plano y la parte de la lengüeta en contacto con la parte superior del objeto también puede ser plana o substancialmente plana. La lengüeta se extiende desde el extremo del manguito en una dirección substancialmente paralela al eje longitudinal del manguito. En un aspecto, la lengüeta puede ser integral con el manguito durante una distancia antes de sobresalir del extremo del manguito, manteniendo substancialmente el contorno de la sección transversal del manguito después de sobresalir del manguito. En otro aspecto, la lengüeta puede sobresalir uniformemente de la porción superior o inferior del manguito, pero con un contorno en sección transversal substancialmente diferente de el del manguito después de sobresalir del manguito.

En una realización ejemplar de la presente invención, la lengüeta puede tener una superficie de contacto que refleja substancialmente el contorno de la superficie de un objeto con el que entra en contacto durante su uso para ayudar a posicionar el dispositivo de manera reproducible directamente sobre un objeto.

En una realización, la porción sobresaliente de la lengüeta puede tener una sección transversal rectangular. En otra realización, la porción sobresaliente de la lengüeta puede tener una porción superior ligeramente arqueada. En otra realización más, la porción sobresaliente de la lengüeta puede adaptarse al contorno de la superficie que entra en contacto con el objeto.

En cualquiera de las realizaciones, las esquinas de la lengüeta son lisas o redondeadas o substancialmente lisas o redondeadas para evitar cualquier enganchón con el objeto sobre el que puedan estar apoyadas.

En general, el presente dispositivo puede ser útil para realizar cualquier medida mediante la cual se genere vibración a través de la aplicación de energía, por ejemplo, golpeando, tal como una varilla de golpeo, en un objeto. Las ventajas son que el dispositivo puede mantenerse en contacto con el objeto durante la acción de golpeo, a diferencia de los dispositivos tradicionales que no están en contacto.

- 5 El manguito y la lengüeta, y/o el manguito, la lengüeta y la característica, pueden estar hechos de cualquier material que tenga amortiguamiento de vibraciones, amortiguamiento acústico o propiedades atenuantes de las vibraciones y el manguito puede tener una longitud tal que cualquier vibración que viaje a través del manguito al alojamiento de la pieza de mano pueda ser substancialmente atenuada. En una realización, el manguito y el extremo del alojamiento adyacente al manguito pueden estar hechos del mismo material. En otra realización, el manguito y el extremo del alojamiento al que está unido pueden estar hechos de materiales que tienen propiedades similares de atenuación de la vibración. En otra realización más, el manguito y el extremo del alojamiento al que está unido pueden estar hechos de diferentes materiales. En una realización adicional, el manguito y el extremo del alojamiento al que está unido pueden estar hechos de materiales que tienen diferentes propiedades atenuantes de la vibración. En otra realización adicional, el manguito puede estar hecho de cualquier material con un recubrimiento atenuador de vibraciones en su superficie o superficies. En aún otra realización más, el manguito, la lengüeta y/o la característica pueden estar hechos de diferentes materiales que tienen propiedades de expansión térmica similares.

Además, el manguito y la lengüeta y/o el manguito, la lengüeta y la característica pueden estar hechos de materiales reciclables, los materiales compostables o biodegradables son especialmente útiles en aquellas realizaciones que están destinadas a desecharse después de un uso.

- 20 La evaluación de tales características estructurales mencionadas anteriormente se puede realizar mediante varios procedimientos, utilizando varios instrumentos, por ejemplo, un instrumento adecuado es como se describe en la patente de EE.UU. N.º. 6.120.466 ("la patente '466"), expedida el 19 de septiembre de 2000 y titulada "System and Method for Quantitative Measurements of Energy Damping Capacity". Otros instrumentos y procedimientos pueden incluir tales como los divulgados en las patentes de EE.UU. N.º. 6.997.887 y 7.008.385. Estas mediciones pueden incluir el uso de un instrumento para medir, durante un intervalo de tiempo, la energía reflejada desde el objeto como resultado del golpeo o de la aplicación de energía, que puede incluir la creación de un perfil de tiempo-energía en base a la energía reflejada del objeto durante el intervalo de tiempo, y/o la evaluación del perfil de tiempo-energía para determinar la capacidad de amortiguamiento del objeto. También se puede usar un dispositivo adicional, tal como el divulgado en las patentes de EE. UU. N.º. 4.482.324 y 4.689.011. Todos estos instrumentos y dispositivos pueden modificarse con la configuración actual del manguito para una capacidad de reposicionamiento repetitivo.

El manguito en cualquiera de las realizaciones señaladas anteriormente puede ser removible. Según una realización de la invención, el manguito puede ser desechable. Según otra realización de la invención, el manguito puede ser reutilizable. En un aspecto, el manguito desechable puede ser esterilizable y desechable después de múltiples usos. En otro aspecto, el manguito puede ser de un único uso, ya sea hecho de material esterilizable o no esterilizable.

- 35 El manguito se puede unir al alojamiento mediante cualquier modo de unión adecuado, que incluye, pero no está limitado a, la unión roscada, el ajuste por fricción, las formaciones de bayoneta de acoplamiento, las formaciones de lengüeta y ranura, el ajuste a presión, las formaciones de agujeros y broches que se corresponden, los pasadores y otras estructuras de interconexión. En una realización ejemplar, el manguito y el alojamiento pueden ser un sistema roscado hecho a medida para un mejor ajuste.
- 40 Según otra realización de la invención, el manguito puede ajustarse a otras piezas de mano disponibles comercialmente que no están adaptadas para el contacto con un objeto bajo medición, de modo que las ventajas de la presente invención también puedan realizarse.

- 45 Como se señaló anteriormente, la pieza de mano puede ser parte de un sistema que incluye hardware informatizado y software de instrumentación que puede programarse para activar, introducir y rastrear la acción y la respuesta de la pieza de mano para determinar las características estructurales del objeto. El hardware puede incluir un ordenador para controlar la pieza de mano y para analizar cualquier dato recogido, por ejemplo, la desaceleración de la herramienta de aplicación de energía, por ejemplo, la varilla de golpeo, al impactar con un objeto. En una realización, la pieza de mano y el hardware pueden comunicarse a través de una conexión por cable. En otra realización, la pieza de mano y el hardware pueden comunicarse a través de una conexión inalámbrica.

- 50 En una realización, el procedimiento de aplicación de energía de la pieza de mano puede activarse a través de un mecanismo mecánico, tal como mediante un mecanismo de conmutación. En un aspecto, un conmutador de dedo puede situarse en una posición conveniente en la pieza de mano para una fácil activación por parte del operador. En otro aspecto, el mecanismo de conmutación puede ser activado por presión aplicada al objeto a través del manguito. En otra realización, el procedimiento de aplicación de energía de la pieza de mano puede activarse a través del control de voz o el control de pie.

Tras la activación, la varilla de golpeo se extiende a una velocidad hacia un objeto y la desaceleración de la varilla de golpeo al impactar con el objeto puede medirse con un dispositivo de medición, por ejemplo, un sensor de fuerza piezoeléctrico, instalado en la pieza de mano, y transmitirse al resto del sistema para su análisis. En un aspecto, la

varilla de golpeo puede programarse para golpear un objeto un cierto número de veces por minuto a substancialmente la misma velocidad y la información de desaceleración se registra o compila para su análisis por el sistema.

5 El manguito y/o una porción del alojamiento también pueden tener un recubrimiento antimicrobiano extendido sobre el mismo capaz de eliminar, evitar, retardar o minimizar el crecimiento de microbios, minimizando así el uso de procedimientos de autoclave a alta temperatura o de productos químicos agresivos y puede aumentar el tipo y la cantidad de materiales útiles como sustratos para hacer tales herramientas o instrumentos.

Además, el instrumento puede ser útil para ayudar en la selección de materiales, tales como el material mecánicamente biocompatible, o el material compatible biomeméticamente usado en la construcción y/o en la selección de un material para una estructura anatómica, por ejemplo, un implante. Para dientes normales sanos, la energía de percusión generada por la masticación es atenuada por el ligamento periodontal en la interfaz hueso-diente natural sano. Sin embargo, cuando un implante reemplaza un diente natural debido a un daño o a una enfermedad, el ligamento generalmente se pierde y el implante puede transmitir las fuerzas de percusión directamente al hueso. Varios materiales tales como los compuestos, el oro, la zirconia, etc., utilizados para fabricar el pilar del implante han demostrado ser eficaces en numerosos estudios. Si bien los estudios han demostrado la capacidad de supervivencia de las restauraciones de implantes que utilizan pilares de resina compuesta, oro o zirconia después de la construcción de los pilares, no se han realizado investigaciones de este tipo para medir la respuesta dinámica a la carga de dichos materiales de pilares. El instrumento de la presente invención se puede usar para tales fines y puede ser útil para predecir la idoneidad o la compatibilidad antes de la implantación, o para elegir materiales adecuados para proteger los dientes naturales adyacentes a los implantes. Por lo tanto, la elección de los materiales puede minimizar la disparidad entre la forma en que los implantes y los dientes naturales se comportan con el impacto.

Además, el instrumento puede ser útil para ayudar en la selección de materiales, tales como el material compatible o duradero mecánica o químicamente, usado en la construcción y/o en la selección de un material para, por ejemplo, un avión, un automóvil, un barco, un puente, un edificio, cualquier estructura industrial que incluye, pero no se limita a, instalaciones de generación de energía, estructuras de arco u otras estructuras físicas similares o para un material de amortiguamiento adecuado para ayudar en la construcción de dichas estructuras. El instrumento de la presente invención puede usarse para tales fines y puede ser útil para predecir la idoneidad de un material antes de la construcción, además de la detección de fisuras, fracturas, microfisuras, fallos del cemento, fallos de unión o localización de defectos, etc. después de la construcción.

Además, la presente invención también es útil para distinguir entre los defectos inherentes al material que constituye la estructura u objeto, y las fisuras o fracturas, etc., como se examinó anteriormente, debidas a un trauma o al desgaste o a la carga repetida. Los defectos inherentes al hueso o al material de construcción de un implante, o de una estructura física, por ejemplo, pueden incluir lesiones en el hueso, defectos similares en la construcción del implante o en la fabricación de polímeros, compuestos o aleaciones de polímeros, o compuestos o aleaciones de metales.

La estabilización del instrumento por la lengüeta o por la lengüeta y/o por la característica también pueden minimizar cualquier acción irregular que pueda confundir los resultados de la prueba, por ejemplo, cualquier defecto inherente a la estructura ósea o a la estructura física o a la industrial puede ser enmascarado por la acción brusca del probador. Este tipo de detección de defectos es importante porque la localización y la extensión del defecto pueden impactar dramáticamente en la estabilidad del implante o de las estructuras físicas o industriales. Generalmente cuando se detectan lesiones, por ejemplo, en un implante, como un defecto de la cresta o uno apical, la estabilidad del implante puede verse afectada si están presentes defectos tanto de la cresta como apicales. En el pasado, no hay otra forma de recopilar este tipo de información que no sean los costosos procedimientos intensivos de radiación. Con la presente invención, este tipo de información se puede recopilar, y se puede hacer de una manera discreta.

En general, la presente invención representa además una nueva forma de exactitud de evaluación de riesgos en la salud dental o de integridad estructural de estructuras físicas y una oportunidad para diagnosticar de una manera nueva. La presente invención proporciona la administración de energía cinética a la muestra, velocidades de carga y desplazamiento que pueden determinarse por la muestra, la desaceleración medida en el impacto y el análisis de la respuesta mecánica dinámica para una predicción más exacta de fisuras, fracturas, microfisuras y microfracturas; de pérdida del sello de cemento; de fallo del cemento; de fallo de la unión; de microfiltración; de lesiones; de caries; de integridad estructural en general; de estabilidad estructural en general o de localización de defectos.

Además, pueden ser posibles múltiples indicadores de integridad estructural, tales como el LC (coeficiente de pérdida) y el ERG (gráfico de retorno de energía), así como cargas de percusión en una dirección crítica. El presente sistema proporciona una manera conveniente y fácil de proporcionar carga bucal, y otras direcciones de carga son posibles, tales como la dirección lingual para probar las propiedades estructurales mencionadas anteriormente.

La carga bucal es importante porque normalmente es el tipo de carga más peligrosa a la que se enfrenta, por ejemplo, un diente. En general, la carga vertical induce tensiones relativamente bajas en los dientes. Sin embargo, el

movimiento de trabajo y/o no trabajo produce una carga lateral como resultado del movimiento lateral de la mandíbula y las geometrías inclinadas de las superficies oclusales de los dientes y de las restauraciones. Esta carga lateral puede inducir concentraciones de tensión mucho más altas en las superficies externas e internas y por debajo del margen. Por lo tanto, utilizando el sistema de la presente invención, tales pruebas pueden realizarse fácilmente.

5 En resumen, el sistema no solamente está adaptado para la detección de la estabilidad estructural, la integridad, las fisuras, etc., de una estructura de implante dental protésico, de una estructura dental, de una estructura ortopédica o de un implante ortopédico, sino que también puede adaptarse para su uso en el procedimiento real de construcción y reemplazo a través de pruebas bajo tensiones que pueden encontrarse más tarde después de la implantación.

10 La carga natural es normalmente pulsátil (a diferencia de, por ejemplo, sinusoidal). Muscular, cardiovascular, correr, saltar, apretar/rechinar, etc., todo puede producir carga, por ejemplo, carga pulsátil. La carga de percusión es pulsátil y, por tanto, fisiológica. La carga de percusión se puede utilizar para medir las propiedades viscoelásticas y detectar daños en una estructura.

15 Como se mencionó anteriormente, la presente invención proporciona la facilidad y la velocidad de aplicación y puede emplearse para detectar y evaluar microfiltraciones, caries severas recurrentes, post / acumulación suelta, caries en el espacio posterior, si el diente no se puede restaurar, caries severas, la exposición inminente de la pulpa, fisuras en el esmalte y en la dentina, fracturas internas de la aleación, o incluso cualquier desajuste de bioingeniería, cualquier defecto que genere movimiento dentro de la estructura, y así sucesivamente de una manera no destructiva. Esto también se aplica a las estructuras industriales o físicas señaladas anteriormente.

20 Además, como se señaló anteriormente, la presente invención también contribuye a la exactitud de la localización de la detección de defectos, fisuras, microfisuras, fracturas, microfracturas, fugas, lesiones, pérdidas del sellado del cemento; de microfiltraciones; de caries; de la integridad estructural en el fallo del cemento; de fallos de la unión; de la estabilidad general o estructural en general.

#### Breve descripción de los dibujos

La fig. 1 ilustra una vista en perspectiva de una realización de un sistema de la presente invención;

25 las figs. 1a y 1b muestran realizaciones ilustrativas de la lengüeta de la presente invención;

la fig. 2a ilustra una vista lateral en perspectiva de una realización de un manguito y de una lengüeta de la presente invención;

la fig. 2b ilustra una vista en perspectiva desde un extremo de una realización de un manguito y de una lengüeta de la presente invención;

30 la fig. 2c ilustra una vista en sección transversal en perspectiva de una realización de una realización del manguito y de la lengüeta de la presente invención.

la fig. 2d ilustra una vista en sección transversal de un extremo de una realización de un manguito y de una lengüeta de la presente invención;

35 la fig. 2e ilustra una vista lateral en sección transversal de una realización de un manguito y de una lengüeta de la fig. 2a de la presente invención;

la fig. 3 muestra una vista lateral en perspectiva de una realización de un manguito de la presente invención;

la fig. 3a muestra una vista lateral de la realización de un manguito de la fig. 3;

la fig. 3b muestra una vista lateral de otra realización de un manguito de la presente invención;

la fig. 3c muestra una vista en sección transversal del manguito de la fig. 3b visto desde el extremo del manguito;

40 la fig. 3d muestra una vista en sección transversal del manguito de la fig. 3a vista desde el extremo del manguito que se une a la pieza de mano;

las figs. 4a-b ilustran realizaciones del manguito de la pieza de mano de la presente invención;

la fig. 5 ilustra una vista longitudinal en sección transversal de una realización de una pieza de mano de la presente invención;

45 la fig. 6 ilustra una vista en sección transversal tomada a lo largo de las líneas III-III de la fig. 5 de la presente invención;

la fig. 7a ilustra una vista lateral de una realización del manguito y de la lengüeta de cualquiera de las figs. 2a-d cuando se coloca sobre un objeto;

- las figs. 7b y c ilustran realizaciones de una vista superior y de una vista frontal, respectivamente, de realizaciones de un manguito y de una lengüeta de la presente invención durante su operación;
- la fig. 8 ilustra otra realización del manguito y de la lengüeta de la presente invención;
- las figs. 8a y 8b ilustran la realización del manguito y de la lengüeta de la fig. 8 durante su operación;
- 5 la fig. 9 ilustra un diagrama de flujo de un programa de software en una realización de la invención;
- las figs. 10, 10a, 11 y 11a muestran gráficos de un estudio *in vitro* de densidades óseas de implantes de titanio de cuatro hilos utilizando el sistema y el procedimiento de la presente invención;
- la fig. 12 muestra la fuerza que se está aplicando durante el impacto mediante la varilla de golpeo de un instrumento de la presente invención;
- 10 la fig. 13 muestra la respuesta dinámica del objeto en el momento del impacto mediante la varilla de golpeo del instrumento de la presente invención;
- las figs. 14 y 15 muestran las fórmulas utilizadas para calcular los coeficientes de pérdida y los gráficos de retorno de energía de una situación ideal;
- la fig. 16 muestra un instrumento de la presente invención;
- 15 la fig. 16a muestra el coeficiente de pérdida y los gráficos de retorno de energía generados después del impacto mediante la varilla de golpeo de la presente invención y cómo se compara con el ajuste ideal;
- la fig. 16b muestra los gráficos de una estructura normal y de una anormal después de numerosas mediciones y cómo se comparan con el ajuste ideal;
- las figs. 17a-h representan un diente probado con el sistema y el procedimiento de la presente invención y con otros procedimientos existentes;
- 20 las figs. 18 y 18a-f muestran un procedimiento de repetición en un diente diferente al de las figs. 17, 17a-h;
- las figs. 19, 19a-c representan 3 dientes probados con el sistema y el procedimiento de la presente invención y con otros procedimientos existentes;
- las figs. 20, 20a-f muestran un diente y su perfil temporal de respuesta a la percusión antes y después del trabajo dental, utilizando el sistema de la presente invención;
- 25 las figs. 21 y 21a-b muestran los rayos X y los perfiles temporales de respuesta a la percusión utilizando el sistema de la presente invención del mismo diente;
- las figs. 22 y 22a muestran la visual y el perfil temporal de respuesta a la percusión utilizando el sistema de la presente invención del mismo diente;
- 30 las fig. 23 muestra datos del análisis con elementos finitos, utilizando una varilla de vidrio para simular un diente, y una curva creada por el impacto en un modelo de elementos finitos;
- las figs. 24 y 24b muestran una placa laminada compuesta sin defectos y una muestra laminada compuesta con un defecto colocado en el centro de la muestra entre las capas, respectivamente;
- 35 las figs. 24a y c muestran gráficos de respuesta a la percusión para los compuestos de 24 y 24b, respectivamente, utilizando el análisis de elementos finitos;
- las figs. 25 y 25a muestran una medición repetida de compuestos de las figs. 24 y 24b;
- la fig. 26 muestra una imagen de una realización del sistema de la presente invención;
- las figs. 26a-b muestran el dispositivo de medición del sistema de la presente invención;
- 40 las figs. 27 y 28 muestran los perfiles temporales de respuesta a la percusión generados por el sistema y el procedimiento de la presente invención; y
- la fig. 29 muestra un esquema de una realización del sistema y del instrumento de la presente invención.

#### **Descripción detallada de la invención**

La descripción detallada que se expone a continuación se entiende como una descripción de los sistemas, dispositivos y procedimientos provistos actualmente ejemplificados de acuerdo con los aspectos de la presente invención y no pretende representar las únicas formas en las que se puede preparar o utilizar la presente invención.



Debe entenderse, más bien, que se pueden lograr funciones y componentes iguales o equivalentes mediante diferentes realizaciones que también están destinadas a incluirse dentro del espíritu y el alcance de la invención.

A menos que se defina lo contrario, todos los términos técnicos y científicos usados en el presente documento tienen el mismo significado que entiende comúnmente un experto en la técnica a la que pertenece esta invención. Aunque cualquier procedimiento, dispositivo y material similar o equivalente a aquellos descritos en el presente documento se pueden usar en la práctica o en la prueba de la invención, ahora se describen procedimientos, dispositivos y materiales de ejemplo.

Las publicaciones enumeradas o examinadas anteriormente, a continuación, y en todo el texto, se proporcionan únicamente para su divulgación antes de la fecha de presentación de la presente solicitud. Nada en la presente memoria debe interpretarse como una admisión de que los inventores no tienen derecho a anticipar dicha divulgación en virtud de la invención anterior.

La presente invención se puede usar para probar objetos de prácticamente cualquier tamaño y forma, para obtener información sobre sus características estructurales. Dichas características estructurales no solamente incluyen las características físicas de un objeto o la base a la que se puede anclar, sino también información sobre sus localizaciones, la compatibilidad o la idoneidad de un material para su uso en trabajos dentales antes del trabajo real, si una estructura de un diente es restaurable antes del trabajo real, si un procedimiento de restauración es exitoso, cuándo se ha remodelado la estructura dental que ha sido sometida a cualquier procedimiento, la holgura de la estructura dental antes y después del trabajo dental, y combinaciones de las mismas.

Las características estructurales tal como se definen en el presente documento pueden incluir capacidades de amortiguamiento de vibraciones; capacidades de amortiguamiento acústico; defectos que incluyen defectos inherentes a, por ejemplo, el hueso o el material que conformó el objeto; fisuras, micro-fisuras, fracturas, microfracturas; pérdida de sello del cemento; fallo del cemento; fallo de la unión; microfiltraciones; lesiones; caries; integridad estructural en general o estabilidad estructural en general. Para un objeto anatómico, tal como un diente, un diente natural, una estructura de implante dental protésico, una estructura dental, una estructura ortopédica o un implante ortopédico, dichas características pueden indicar la salud del objeto o la salud de la base subyacente a que el objeto puede ser anclado o unido. La salud del objeto y/o la base subyacente también puede estar correlacionada con densidades o densidades óseas o un nivel de osteointegración; cualquier defecto, inherente o no; o fisuras, fracturas, microfracturas, microfisuras; pérdida de sello del cemento; fallo del cemento; fallo de la unión; microfiltraciones; lesión; caries o combinaciones de los mismos. Para objetos en general, por ejemplo, estructuras compuestas poliméricas que incluyen panal de abeja o de panal de abeja en capas o estructuras metálicas compuestas; una estructura de avión, un automóvil, un barco, un puente, un edificio, estructuras industriales que incluyen, pero no se limitan a, instalaciones de generación de energía, estructuras de arco u otras estructuras físicas similares; dichas mediciones también pueden estar correlacionadas con cualquier integridad estructural, o estabilidad estructural, como defectos o fisuras, incluso fracturas finas o microfisuras, etc.

Por ejemplo, al medir las características de amortiguamiento de los dientes, ya sean naturales o restaurados, de las estructuras de implantes dentales, de las estructuras de implantes ortopédicos y de una variedad de otras aplicaciones en las que se utiliza la medición de las características de amortiguamiento, que incluyen, pero no se limitan a, probar estructuras de aviones, estructuras compuestas, materiales de ingeniería o la seguridad de los implantes médicos, y es particularmente ventajoso en lugares de difícil acceso o en los que no se pueden utilizar los líquidos de contacto. La integridad estructural, tal como la holgura de un tornillo, las fisuras en los dientes, así como en los huesos y en los huecos óseos, las restauraciones desunidas y el daño en los materiales del circuito integrado. Sin embargo, la lista anterior no pretende ser exhaustiva.

La presente invención proporciona una medición efectiva y repetible de las características estructurales de un objeto, mencionado anteriormente. El objeto puede someterse a un procedimiento de aplicación de energía proporcionada a través de una pieza de mano que forma parte de un sistema informatizado capaz de recopilar y analizar cualquier dato animado del objeto. Como se indicó anteriormente, se pueden determinar muchas características estructurales diferentes utilizando el sistema y los procedimientos de la presente invención, incluidas las capacidades de amortiguamiento de vibraciones, capacidades de amortiguamiento acústico, de integridad estructural o de estabilidad estructural de objetos tanto mecánicos como anatómicos y de cualquier base a la que los mismos se puedan anclar, como se señaló anteriormente. Para un objeto anatómico, tal como un diente, una estructura de implante dental protésica, natural o restaurada, una estructura dental o un implante ortopédico, los ejemplos de las características estructurales definidas en la presente memoria pueden incluir capacidades de amortiguamiento de vibraciones, capacidades de amortiguamiento acústico o de estabilidades estructurales y pueden indicar la salud del objeto. La salud del objeto también puede estar correlacionada con densidades óseas o con un nivel de osteointegración; con la integridad estructural, tal como defectos o fisuras, señalada anteriormente. Para los objetos en general, tales mediciones también pueden estar correlacionadas con su integridad estructural, tal como defectos o fisuras, también como se señaló anteriormente. Para una estructura física, tal como un avión, un automóvil, un barco, un puente, un edificio u otras estructuras físicas similares o material de amortiguamiento adecuado para ayudar en la construcción de tales estructuras, los ejemplos de las características estructurales como se definen en la presente memoria pueden incluir capacidades de amortiguamiento de vibraciones, capacidades de

amortiguamiento acústico, o de estabilidad estructural y pueden indicar la salud de la integridad estructural del objeto.

El instrumento de la presente invención se puede usar para tales fines y puede ser útil para predecir la idoneidad de un material antes de la construcción, además de la detección de pérdida de sellado del cemento; de fallo del cemento; de fallo de la unión; de microfiltraciones; de caries y así sucesivamente después de la construcción, como se mencionó anteriormente. Además, la presente invención también es útil para distinguir entre los defectos inherentes al material que compone la estructura u objeto, y las fisuras o fracturas debidas a un trauma o al desgaste o a las cargas repetidas, como se examinó anteriormente. Los defectos inherentes al hueso o al material de construcción de un implante, o a una estructura física, por ejemplo, pueden incluir lesiones en el hueso, defectos similares en la construcción del implante o en el polímero, en los compuestos o aleaciones de polímeros, en cualquier tipo de cerámica, o en los compuestos o aleaciones de metales.

En una realización, la pieza de mano 104 puede tener, por ejemplo, como se ejemplifica en la fig. 1, la forma de un instrumento de percusión. La pieza de mano 104 puede tener un alojamiento 132 cilíndrico con un extremo 132a abierto y un extremo 132b cerrado. El extremo 132a abierto se estrecha como se ejemplifica aquí, aunque también se contemplan otras configuraciones. Una herramienta 120 de aplicación de energía, por ejemplo, una varilla 120 de golpeo, puede montarse dentro del alojamiento 132 para el movimiento axial, como se señaló anteriormente. La pieza de mano también incluye un mecanismo 160 de accionamiento, montado dentro del alojamiento 132 para accionar la varilla 120 de golpeo axialmente dentro del alojamiento 132 entre una posición 128 retraída y una posición 129 extendida durante la operación. En la posición 129 extendida, el extremo libre de la varilla 120 de golpeo se extiende o sobresale del extremo 132a abierto del alojamiento 132, según se muestra. El mecanismo 160 de accionamiento puede incluir una bobina 156 electromagnética, como se muestra en la fig. 5, que se examinará más adelante. En un aspecto, la varilla 120 de golpeo puede tener una construcción en sección transversal substancialmente constante en toda su longitud y tiene un conjunto 157 magnético permanente montado en el extremo alejado del extremo libre. La bobina 156 electromagnética del mecanismo 160 de accionamiento puede situarse detrás del otro extremo de la varilla 120 de golpeo, dando como resultado un diámetro exterior relativamente pequeño para la pieza de mano 104.

El mecanismo de montaje para la herramienta 120 de aplicación de energía, por ejemplo, la varilla 120 de golpeo puede estar formado por los cojinetes 1003 y 1004, como se muestra en la fig. 6, para recibir o sujetar la varilla 120 de golpeo de una manera en gran parte libre de fricción. En un ejemplo, el alojamiento 132 puede tener aproximadamente 150 mm de largo y aproximadamente 15 mm de espesor. La bobina 156 magnética o de propulsión puede situarse en el alojamiento 132 adyacente al imán 157 permanente y está axialmente detrás del imán 157 permanente. La bobina 156 magnética y el imán 157 permanente forman un accionamiento para el movimiento de avance y retroceso de la varilla 120 de golpeo. La bobina 156 de accionamiento puede ser un componente integral del alojamiento 130 y puede estar conectada a una manguera o línea 1000 de suministro.

Los dos cojinetes 1003 y 1004 pueden ser substancialmente sin fricción y pueden incluir, como se muestra en la fig. 6, una pluralidad de rebordes que se extienden radialmente hacia el interior separados por aberturas 1400 axiales. Las aberturas 1400 axiales del cojinete 1003 permiten el movimiento de aire entre una cámara 1500 que está separada por el cojinete 1003 de una cámara 1600, las cuales cámaras se forman entre una superficie interior de la pared del alojamiento 132 y la varilla 120 de golpeo. El movimiento de aire entre estas cámaras 1500 y 1600 puede compensar así el movimiento de la varilla 120 de golpeo.

Con referencia de nuevo a la fig. 1, un manguito 108 se coloca hacia el extremo 132a y se extiende más allá de él. El manguito 108 envuelve el extremo del alojamiento 132a y se aplana en su extremo 116 para facilitar su colocación contra una superficie de un objeto 112 durante la operación. El manguito 108 tiene una lengüeta 110, tal como se muestra en la fig. 2a, que sobresale de una porción de su extremo 116, de modo que cuando el extremo 116 abierto del manguito 108 está en contacto con una superficie del objeto 112 que está siendo sometido a la medición, la lengüeta 110 puede apoyarse sobre una porción de la parte superior del objeto 112, como se muestra aquí en las figuras 6, 26a y 26b. Ambos la lengüeta 110 y el manguito 108 pueden ayudar en el posicionamiento repetible de la pieza de mano 104 con respecto al objeto 112 y la lengüeta 110 puede colocarse substancialmente a la misma distancia de la parte superior del objeto 112 cada vez para una mejor reproducibilidad. Esto se puede ver mejor en las figs. 2b, 2c y 2d, en las figs. 7a-d, o en las figs. 26a y b, aunque el objeto 112 no se muestra específicamente en las figs. 2b-d. Como se señaló anteriormente, el objeto puede incluir una estructura anatómica o una estructura física o industrial, aunque se muestra una estructura anatómica en las figuras aquí mencionadas.

El extremo 116 del manguito 108 que no tiene la lengüeta 110 que sobresale de él es plano o substancialmente plano, como se muestra en las figs. 1, 2a, 2b, 2c y 26b, y la parte de la lengüeta 110 en contacto con la parte superior del objeto 112 también es plana o substancialmente plana, como se muestra en las figs. 2a, 2b, 2c y 26b. La lengüeta 110 puede extenderse en una dirección substancialmente paralela desde el extremo del manguito 108, como se muestra en las figs. 2a, 2b, 2c y 29b. En un aspecto, la lengüeta 110 puede ser integral con el manguito 108 durante una distancia antes de sobresalir del extremo del manguito 108, como se muestra en la fig. 2b, manteniendo substancialmente el contorno de la sección transversal del manguito 108, antes y después de sobresalir del extremo 116 del manguito 109. En esta realización, la porción sobresaliente de la lengüeta 110 puede tener una porción superior arqueada, como se muestra en la fig. 2b. En otro aspecto, la lengüeta 110 puede

- sobresalir de la parte superior del manguito 108, sin mantener el contorno de la sección transversal del manguito 108, antes y después de sobresalir del extremo 116 del manguito 108, como se muestra en las figs. 2a y 2c. En esta realización, la porción sobresaliente de la lengüeta 110 puede tener una sección transversal rectangular, como se muestra en las figs. 2c y 26b. En cualquiera de las realizaciones, las esquinas de las lengüetas 110 son suaves o redondeadas o substancialmente suaves o redondeadas para evitar cualquier enganchón con el objeto 112 sobre el que se pueden estar apoyando, como se muestra en la fig. 1a. En otras realizaciones, la lengüeta 110 puede ser suave, aunque las esquinas no necesariamente estén redondeadas, como se muestra en la fig. 1b. En una realización adicional, como se muestra en la fig. 2d en sección transversal, la sección transversal de la lengüeta 110 no se extiende fuera del periférico de la sección transversal del manguito 108.
- Las figs. 3 y 3a muestran una vista lateral en perspectiva y una vista lateral de una realización de un manguito 108 de la presente invención. En esta realización, el manguito 108 se estrecha hacia el extremo libre 116 con una porción 116a roscada para unirse al extremo abierto del alojamiento 132a. La fig. 3d muestra una vista en sección transversal del manguito de la fig. 3a visto desde el extremo del manguito que se une a la pieza de mano 104.
- En otra realización, el manguito 108 puede ser substancialmente no cónico, como se muestra en la fig. 3b. En esta realización, la sección transversal del extremo del manguito 108 es substancialmente redonda, como se muestra en la fig. 3c.
- En estas realizaciones, el manguito 108 se puede unir a la pieza de mano 104 por medio de roscas 116a. La porción 116a roscada puede tener una dimensión que permita una fijación segura.
- En las figs. 4a-b, se muestran otras realizaciones del manguito 108 de la pieza de mano 104. En las figs. 4a y 4b, un manguito 108 de polímero presenta puntas 116 aplanadas aproximadamente ortogonales a la superficie del objeto 112 para ayudar aún más con la alineación de la pieza de mano 104. En la fig. 4b, el diámetro exterior es al menos varias veces mayor que el diámetro interior del manguito 108. Pueden ser posibles otras formas y configuraciones del manguito 108, siempre que la forma o el aspecto utilizado ayude con la alineación aproximadamente ortogonal de la pieza de mano 104 y con las vibraciones atenuadas del objeto 112 causadas por el procedimiento de medición que podrían viajar a través del manguito 108 y al interior del alojamiento 132 de la pieza de mano 104 donde se están tomando las medidas sensibles.
- La fig. 7a ilustra una vista lateral del manguito 108 y la lengüeta 110 de cualquiera de las realizaciones de las figs. 1a-b y 2a-2d cuando se colocan en un objeto 112 durante la operación. El manguito 108 toca un objeto 112, tal como un diente, mientras que la lengüeta 110 se apoya en la parte superior del diente 112, como se muestra en las figs. 7b y c. La superficie de la lengüeta 110 en contacto con el objeto 112 puede ser contorneada para posicionarse mejor en la parte superior de un diente 112 o puede ser plana. Las figs. 7b y c ilustran realizaciones de una vista desde arriba y de una vista frontal, respectivamente de realizaciones de un manguito y de una lengüeta de las figs. 1a y 1b durante la operación, respectivamente.
- En otras realizaciones, el manguito 108 puede incluir una característica 111, por ejemplo, un reborde, una protuberancia u otras características similares substancialmente ortogonales a la superficie de la lengüeta 110 en el lado que mira hacia la superficie del objeto 112, como se muestra en la fig. 8. Por ejemplo, para los dientes, el reborde o protuberancia puede anidar entre dientes adyacentes y, por lo tanto, puede ayudar a prevenir cualquier movimiento lateral substancial de la lengüeta 110 a través de la superficie del objeto 112, como se muestra en la fig. 8a o apoyarse sobre una superficie ortogonal, tal como la superficie interna del diente a probar, según se muestra en la fig. 8b. El manguito 108 que tiene una lengüeta 110 y la característica 111 puede ayudar más en la repetibilidad del posicionamiento de la herramienta de aplicación de energía, tal como la varilla 120 de golpeo sobre el objeto 112. Para la realización de 8a, la lengüeta 110 puede extenderse desde el manguito a una longitud suficiente para permitir que el reborde o protuberancia 111 se apoye correctamente entre los dientes adyacentes. Para la realización de 8b, la lengüeta 110 puede ser de un ancho suficiente para permitir que el reborde o protuberancia 111 se apoye adecuadamente en la superficie interna del diente que se va a probar.
- En un aspecto, por ejemplo, si el objeto 112 son dientes, la característica 111 puede ser corta y de un grosor suficientemente pequeño para que pueda caber entre dientes 112 adyacentes. En otro aspecto, por ejemplo, si el objeto 112 es un diente, la característica 111 puede ser corta y tener una forma para ajustarse entre las porciones superiores de los dientes 112 adyacentes. En otro aspecto, por ejemplo, si el objeto 112 es un diente, y la característica 111 debe apoyarse sobre la superficie posterior, puede ser de una dimensión que cubra una porción importante de la superficie posterior.
- Para otros objetos 112, la característica 111 puede tener una forma acorde o de una dimensión adecuada para el objeto 112.
- Para facilitar la operación de la pieza de mano 104, el manguito 108 puede estar hecho de cualquier material que tenga propiedades atenuantes de la vibración y puede tener una longitud tal que cualquier vibración que viaje a través del manguito 108 hacia el alojamiento 132 de la pieza de mano 104 pueda ser atenuada. En una realización, el manguito 108 y/o la lengüeta 110, y el extremo del alojamiento 132b al que está unido el manguito 108, pueden estar hechos del mismo material. En otra realización, el manguito 108 y/o la lengüeta 110, y el extremo del

alojamiento 132b al que está unido el manguito 108, pueden estar hechos de materiales que tienen propiedades similares de atenuación de la vibración. En otra realización más, el manguito 108 y/o la lengüeta 110 y el extremo del alojamiento 132b al que está unido el manguito 108 pueden estar hechos de diferentes materiales, por ejemplo, el alojamiento 132 puede estar hecho de metal o compuesto, mientras que el manguito 108 y/o la lengüeta 110 pueden estar hechos de un polímero o compuesto. En una realización adicional, el manguito 108 y/o la lengüeta 110 y el extremo del alojamiento 132b al que está unido el manguito 108 pueden estar hechos de materiales que tienen diferentes propiedades de atenuación o amortiguamiento de la vibración. En cualquiera de las realizaciones mencionadas anteriormente, la característica 111, ya sea una protuberancia, un reborde u otras características similares o características que tengan funcionalidades similares, si están presentes, también pueden estar hechas de los mismos materiales que el manguito 108.

En general, puede ser deseable que el manguito 108 tenga una rigidez suficiente de tal manera que pueda encajar de manera consistente sobre o en el alojamiento 132 de la pieza de mano y no pueda colapsarse durante su uso. Si se contemplan múltiples usos, el manguito 108 se puede construir generalmente para soportar múltiples procedimientos de esterilización, tales como por autoclave, si se desea. En otras realizaciones, el manguito 108 puede ser desechable y, por lo tanto, puede construirse de cualquier material al que se le pueda dar la forma de un manguito 108. Los ejemplos de materiales apropiados pueden incluir, pero no se limitan a, por ejemplo, un polímero que puede moldearse, termoformarse o moldearse por colada. Los polímeros adecuados incluyen polietileno; polipropileno; polibutileno; poliestireno; poliéster; politetrafluoroetileno (PTFE); polímeros acrílicos; cloruro de polivinilo; polímeros de acetal tales como polioximetileno o Delrin (disponible en DuPont Company); caucho natural o sintético; poliamida, u otros polímeros de alta temperatura tales como la ULTEM®, una aleación polimérica tal como la resina Xenoy®, que es un compuesto de policarbonato y tereftalato de polibutileno, plástico Lexan®, que es un copolímero de policarbonato y resina de isoftalato tereftalato resorcinol (todo disponible en GE Plastics); polímeros de cristal líquido, tales como un poliéster aromático o una poliéster amida aromática que contiene, como un constituyente, al menos un compuesto seleccionado del grupo que consiste en un ácido hidroxicarboxílico aromático (tal como el hidroxibenzoato (monómero rígido), el hidroxinaftoato (monómero flexible), una hidroxiamina aromática y una diamina aromática (ejemplificados en las patentes de EE. UU. N.º. 6.242.063, 6.274.242, 6.643.552 y 6.797.198, anhídridos de poliesterimida con grupo de anhídrido terminal o anhídridos laterales (ejemplificados en la patente de EE. UU. N.º 6.730.377) o combinaciones de los mismos. Algunos de estos materiales son reciclables o se puede hacer que sean reciclables. También se pueden usar materiales compostables o biodegradables, que pueden incluir cualquier poliéster biodegradable o biocompostable, tales como una resina de ácido poliláctico (que comprende ácido L-láctico y ácido D-láctico) y ácido poliglicólico (PGA), resina de polihidroxivalerato/hidroxibutirato (PHBV) (copolímero de ácido 3-hidroxi butírico y ácido 3-hidroxi pentanoico (ácido 3-hidroxi valérico) y copolímeros de polihidroxialcanoato (PHA) y resina de poliéster/uretano. Algunos materiales no compostables o no biodegradables también se pueden hacer compostables o biodegradables mediante la adición de ciertos aditivos, por ejemplo, cualquier aditivo oxo-biodegradable tal como el D2W™ suministrado por (Symphony Environmental, Borehamwood, Reino Unido) y el TDPA® fabricado por EPI Environmental Products Inc. Vancouver, Columbia Británica, Canadá.

Además, también se puede usar cualquier material compuesto polimérico tal como materiales preimpregnados o compuestos de ingeniería, que son polímeros rellenos con pigmentos, con partículas de carbono, con sílice, con fibras de vidrio o con mezclas de los mismos. Por ejemplo, se puede usar una mezcla de policarbonato y ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) para el alojamiento 132 y el manguito 108. Para otros ejemplos, también se puede usar plástico reforzado con fibra de carbono y/o con fibra de vidrio.

Los cauchos sintéticos pueden ser, por ejemplo, materiales elastómeros y pueden incluir, pero no se limitan a, varios copolímeros o copolímeros de bloque (Kratons®) disponibles en Kraton; polímeros tales como el caucho de estireno-butadieno o el caucho de estireno isopreno, el caucho de EPDM (monómero de etileno propileno dieno), el caucho de nitrilo (acrilonitrilo butadieno), y similares.

En algunas realizaciones, el manguito 108 y/o el alojamiento 132 también pueden estar hechos de materiales metálicos y/o cerámicos que pueden revestirse y/o tratarse adicionalmente con un material adecuado, tal como un polímero o un compuesto como los anteriores. Por ejemplo, puede utilizarse un material metálico y/o cerámico que puede ser substancialmente amortiguador/absorbente/reflectante de las vibraciones. También se puede emplear un revestimiento viscoelástico y/o de otro tipo, de modo que las vibraciones y/u otra energía mecánica no se trasladen a los componentes metálicos y/o cerámicos del manguito 108 y/o del alojamiento 132.

En una realización, se puede usar titanio para el manguito 108 y/o el alojamiento 132, o para los componentes/las porciones de los mismos.

En otra realización, se pueden utilizar materiales piezoeléctricos, tales como cerámicas piezoeléctricas. Los materiales piezoeléctricos generalmente se pueden utilizar para convertir la energía mecánica en energía eléctrica.

En una realización específica de la invención, el manguito de polímero 108 de la pieza de mano 104 se extiende de manera que la distancia desde la punta 116 del manguito de polímero 108 en contacto con la muestra 112 a la cabeza 128 de la varilla de golpeo 120 en su posición estacionaria retraída varía generalmente de, por ejemplo, aproximadamente 3,5 milímetros a aproximadamente 5,5 milímetros, y más, por ejemplo, de aproximadamente 3,75

milímetros a aproximadamente 4,5 milímetros. En una realización ejemplar, la distancia desde la punta 116 del manguito 108 de polímero de la pieza de mano 104 en contacto con la muestra 112 hasta la cabeza 128 de la varilla 120 de golpeo en su posición estacionaria retraída puede ser de aproximadamente 4 milímetros. Estas medidas de la varilla 120 de golpeo son simplemente ejemplares y no son limitantes. La longitud del manguito de polímero 108 en una realización depende de la longitud de la varilla 120 de golpeo y de la distancia total que la varilla 120 de golpeo puede recorrer cuando se activa sin una degradación significativa en el avance hacia adelante debida a la fricción y la gravedad.

Como se señaló anteriormente, el manguito 108 puede ser removible y puede estar unido al alojamiento 132 en cualquier unión roscada, ajuste por fricción, formaciones de bayoneta de acoplamiento, formaciones de tipo de ranura y lengüeta, ajuste a presión, formaciones de agujeros y broches que se corresponden, pasadores y otras estructuras de interconexión. En una realización ejemplar, el manguito y el alojamiento pueden ser un sistema roscado hecho a medida para un mejor ajuste.

En una realización ejemplar, el otro extremo 136 del manguito 108 de polímero puede tener una rosca 116a de modo que se conecte al alojamiento 132 de la pieza de mano con una rosca similar, según se ilustra en la fig. 3. El plano que incluye el extremo 116 de la muestra del manguito 108 de polímero es aproximadamente ortogonal al eje del alojamiento de la pieza de mano. Además, el área superficial del extremo 116 de la muestra del manguito 108 de polímero puede ser lo suficientemente grande. Esto y la lengüeta 110 ayudan a la colocación aproximadamente ortogonal y a la estabilidad de la posición de la pieza de mano 104. En una realización, el diámetro exterior del extremo de la punta 116 de la muestra está generalmente dentro del intervalo de, por ejemplo, aproximadamente 6 milímetros a aproximadamente 14 milímetros, y más, por ejemplo, dentro del intervalo de aproximadamente 8 milímetros a aproximadamente 11 milímetros. En una realización ejemplar, el diámetro exterior es de aproximadamente 9,5 milímetros. El diámetro interior del extremo de la punta 116 de la muestra está generalmente dentro del intervalo de, por ejemplo, de aproximadamente 3 milímetros a aproximadamente 6 milímetros, y más, por ejemplo, dentro del intervalo de aproximadamente 4 milímetros a aproximadamente 5 milímetros. En una realización ejemplar, el diámetro interior es de aproximadamente 4,7 milímetros.

El manguito también puede tener diámetros interiores variables que disminuyen desde donde el manguito tiene la rosca 136 hasta el extremo 116 de la muestra del manguito 108. La fig. 1 muestra una realización en la que el manguito 108 de polímero tiene tres diámetros interiores discretos. Otras realizaciones tienen más o menos de tres diámetros interiores, con una realización que tiene un diámetro interno que disminuye continuamente desde donde se hizo la rosca 136 del manguito de polímero al extremo 116 de la muestra del manguito 108 de polímero. Disminuir los diámetros interiores puede ayudar a guiar la varilla 120 de golpeo para golpear la muestra 112 en una localización consistente y con un ángulo de inclinación consistente. El manguito 108 con la lengüeta 110 puede proporcionar una mayor exactitud y precisión de posicionamiento sobre un objeto 112. Por ejemplo, un manguito 108 polimérico que tiene una capacidad de amortiguamiento y de tal longitud como para atenuar cualquier onda de tensión que pueda interferir con el procedimiento de medición permite la punta 116 del manguito 108 de polímero se coloque directamente contra el objeto 112 durante la operación. Al colocar la punta 116 del manguito 108 de polímero de la pieza de mano 104 directamente contra el objeto 112, se tiene la ventaja de mantener la distancia entre el objeto 112 y la punta 116 del manguito 108 de la pieza de mano 104 y el posicionamiento de la punta 116 del manguito y una superficie del objeto 112 a la que se va a anclar aún más por la lengüeta 110, y por la característica 111, si está presente, será consistentemente substancialmente el mismo, dando como resultado una mejor reproducibilidad de los datos y una mayor exactitud. Esta capacidad elimina la adivinación de la distancia y el posicionamiento, y elimina los errores debidos, por ejemplo, a temblores de la cabeza del paciente o de la mano del operador, incluso si muy ligeros, durante las mediciones.

En una realización de la presente invención, la punta 116 del manguito 108 con la lengüeta 110 de la pieza de mano 104 se coloca directamente sobre la muestra 112 para proporcionar la capacidad de recrear mediciones consistentes y exactas esencialmente independientes de las evaluaciones del operador y de los ligeros movimientos en la muestra 112, si están presentes.

En otra realización, también, la punta 116 del manguito 108 con la lengüeta 110 y la característica 111 de la pieza de mano 104 se coloca directamente sobre la muestra 112 para proporcionar la capacidad de recrear mediciones consistentes y exactas esencialmente independientes de las evaluaciones del operador y de los ligeros movimientos en la muestra 112, si están presentes.

Además, el apoyo de la punta 116 y de la lengüeta 110, o de la lengüeta 110 y de la característica 111 del manguito 108 directamente sobre el objeto 112 también facilita al operador el mantener la pieza de mano 104 estable y el mantener una distancia constante entre la punta 116 del manguito 108 y el objeto 112 mientras se realizan las mediciones. El manguito 108 que tiene una punta 116 aplanada, según se muestra en la fig. 1, además ayuda a alinear la pieza de mano 104 aproximadamente ortogonal a la superficie del objeto 112 cuando la punta 116 se coloca en contacto con el objeto 112. La autoalineación a través del contacto entre la punta 116, la lengüeta 120 y el objeto 112, o la punta 116, la lengüeta 110 y la característica 111, da como resultado mediciones más exactas y precisas con el ángulo en el que la varilla 120 de golpeo golpea el objeto 112 manteniéndose constante tanto durante las mediciones como en las mediciones subsiguientes.

Además, el uso de un polímero u otro material que tenga propiedades atenuantes de la vibración para el manguito 108 de la pieza de mano 104 también puede resultar en una señal más limpia al evitar que las ondas de tensión se propaguen hacia arriba hacia el alojamiento 132 de la pieza de mano 104. En una realización ejemplar, el PTFE puede usarse como manguito 108. En otra realización, se puede usar polioximetileno para el manguito 108. El PTFE y el polioximetileno pueden ser esterilizables en autoclave y con una capacidad de amortiguamiento suficientemente alta para atenuar las ondas de tensión del objeto 112. El material del manguito 108 generalmente puede tener una capacidad de amortiguamiento representada por su coeficiente de pérdida, que varía de aproximadamente, por ejemplo, 0,03 a aproximadamente 0,2, y más, por ejemplo, dentro del intervalo de aproximadamente 0,06 a aproximadamente 0,1. En una realización ejemplar, el coeficiente de pérdida puede ser de aproximadamente 0,08. El PTFE también tiene la ventaja de ser un lubricante sólido que reduce la fricción entre el manguito 108 y la varilla 120 de golpeo cuando la varilla 120 de golpeo se desplaza hacia adelante y hacia atrás durante el procedimiento de medición.

Con la punta 116 aplanada y la lengüeta 120 del manguito 108 que se autoalinea con el objeto 112, se ayuda al operador a mantener la pieza de mano 104 aproximadamente horizontal con el suelo y aproximadamente ortogonal a la superficie del objeto 112 en procedimiento de medición. La pieza de mano 104 también puede tener un indicador 140 de nivel unido al alojamiento 132 de la pieza de mano 104 para ayudar al operador a sostener la pieza de mano 104 aproximadamente horizontal durante la prueba. En una realización de la presente invención, el indicador de nivel 140 puede incluir una burbuja 144 de aire atrapada en un líquido contenido en un alojamiento transparente. El usuario simplemente mantiene la burbuja de aire 144 centrada entre dos marcas 148 y 152 en el centro del alojamiento transparente para asegurar que la pieza de mano 104 se encuentre en una posición aproximadamente horizontal.

Volviendo de nuevo a la fig. 1, la pieza de mano puede ser parte de un sistema que incluye un mecanismo 160 de accionamiento que puede incluir un sensor 160a de fuerza piezoeléctrico, un hardware 164 del sistema, por ejemplo, un ordenador 164 que tiene capacidad de adquisición de datos a alta velocidad que puede efectuarse mediante una placa de adquisición de datos de alta velocidad. En una realización, se puede usar un canal analógico a digital de dieciséis bits en una tarjeta de adquisición de datos alojada en el ordenador 164. En otra realización, se puede usar un canal puramente digital. En la fig. 1a, el mecanismo de 160 accionamiento puede incluir un transformador 160b diferencial variable lineal para detectar y medir el desplazamiento de la herramienta de aplicación de energía tal como la varilla 120 de golpeo, como se muestra en las figs. 1 y 1a, antes, durante y después de la aplicación de energía. El transformador 160b diferencial variable lineal puede ser un sensor lineal sin contacto. El sensor puede utilizar tecnología inductiva y, por lo tanto, ser capaz de detectar cualquier objetivo metálico.

En una realización, el procedimiento de aplicación de energía de la pieza de mano 104 puede activarse a través de un mecanismo mecánico, tal como mediante un mecanismo 140 de conmutación, por ejemplo, como se muestra en la fig. 1, un conmutador de dedo situado en una localización conveniente en la pieza de mano para una fácil activación por parte del operador.

En otra realización, el procedimiento de aplicación de energía de la pieza de mano 104 puede activarse a través de un control de pie.

En una realización adicional, el procedimiento de aplicación de energía de la pieza de mano 104 puede activarse, por ejemplo, a través de control de voz. El control de voz puede estar acoplado a un dispositivo de control eléctrico. El dispositivo de control eléctrico puede incluir un microprocesador y un conmutador tal como un conmutador electromecánico o un conmutador de estado sólido. Se puede usar una tecnología de circuito electrónico de control de voz, similar a la tecnología utilizada en dispositivos electrónicos tales como juguetes, teléfonos móviles, automóviles y otros productos electrónicos de consumo, para activar el procedimiento de aplicación de energía. En una realización adicional más, el procedimiento de aplicación de energía de la pieza de mano 104 se puede activar a través del control inalámbrico remoto. El control inalámbrico remoto puede estar acoplado al mecanismo 140 de conmutación que puede incluir un microprocesador y un conmutador tal como un conmutador electromecánico o un conmutador de estado sólido. El conmutador puede activarse mediante radiación infrarroja o mediante señales de radio inalámbricas o mediante la luz de la porción visible del espectro electromagnético.

En una realización ejemplar, para comenzar la prueba de un objeto 112, la punta 116 del manguito 108 de la pieza de mano 104 se coloca contra la muestra 112 y la varilla 120 de golpeo dentro de la pieza de mano 104 se activa con el empuje de un conmutador 124 de dedo situado en la pieza de mano 104, como se muestra en la fig. 1.

Tras la activación del conmutador 124 de dedo o de otros conmutadores en la pieza de mano 104, de un control de pie, del control de voz o del control inalámbrico, una varilla 120 de golpeo es accionada por una bobina 156 de propulsión a través de un orificio en el manguito 108 para impactar con el objeto 112, por ejemplo, dieciséis veces en cuatro segundos. A medida que la varilla 120 de golpeo se mueve, un imán 157 situado en la varilla 120 de golpeo se desplaza con respecto a una bobina de 158 medición. La aceleración de la varilla 120 de golpeo puede medirse mediante un sensor 160a de fuerza piezoeléctrico, o el desplazamiento de la varilla 120 de golpeo puede ser detectado y medido por el transformador 160b diferencial variable lineal. Durante la operación, después de la aplicación de energía, tal como el golpeo con la varilla de golpeo, cuando el sensor 160a de fuerza piezoeléctrico está realizando la medición, las señales correspondientes a la onda de choque que resulta de tal impacto se recogen

y envían al ordenador 164, como se muestra en la fig. 1. En una realización, se puede usar un sensor 160a de fuerza piezoeléctrico para producir las señales correspondientes a la onda de choque resultante de cada impacto. En un aspecto, se puede usar un canal convertidor de analógico a digital de dieciséis bits en una tarjeta de adquisición de datos alojada en un ordenador 164. En tales realizaciones, el ordenador 164 opera a una velocidad de muestreo de al menos aproximadamente 800 kHz; aunque en otras realizaciones, el ordenador 116 puede operar a una velocidad de muestreo de al menos aproximadamente 600 kHz; más, por ejemplo, se puede usar una frecuencia de muestreo de al menos aproximadamente 500 kHz. Las señales generadas por el sensor 160a de fuerza piezoeléctrico pueden proveerse a una placa de adquisición de datos alojada en el ordenador 164 a través de cualquier interfaz de instrumentación. En un aspecto, las señales pueden transmitirse desde el sensor 160a de fuerza piezoeléctrico al ordenador 164 a través de un cable coaxial 168 a la tarjeta de adquisición de datos de alta velocidad. En otro aspecto, la interfaz de instrumentación puede incluir un acondicionador de señal y una fuente de alimentación independiente. En aún otro aspecto, una realización modificada de la interfaz de instrumentación puede incorporarse dentro del ordenador 164.

El software almacenado en el ordenador 164 adquiere y analiza, por ejemplo, diez de los dieciséis impactos para determinar cuantitativamente las características estructurales, por ejemplo, la capacidad de amortiguamiento u otras características mencionadas anteriormente del objeto 112 o de su entorno o de la base a la cual está unido. Por lo general, de seis a diez impactos son suficientemente adecuados para muestrear el coeficiente de pérdida para un objeto dado, por ejemplo. Por ejemplo, en una realización, la varilla 120 de golpeo impacta con el objeto 112 aproximadamente dieciséis veces en un período de cuatro segundos. En otras realizaciones, se usan velocidades de repetición de impacto más rápidas o más lentas. En una realización ejemplar, la varilla 120 de golpeo es accionada por una o más bobinas 156 de propulsión activadas electrónicamente por un conmutador de dedo (no mostrado), aunque las bobinas 156 de propulsión pueden activarse de forma remota en otras realizaciones, como se señaló anteriormente.

Cuando la varilla 120 de golpeo impacta con el objeto 112, parte de la energía cinética de la varilla 120 de golpeo se convierte en energía mecánica que se propaga a través del objeto 112 como una onda de tensión. La mayor parte de la energía cinética restante se convierte (se disipa) en calor, según lo dictado por el coeficiente de pérdida y la estructura del objeto 112. Una porción de la energía mecánica propagada se refleja de vuelta a la varilla 120 de golpeo, donde se puede detectar por un sensor 160a de fuerza piezoeléctrico montado dentro del alojamiento 106. El sensor 160a de fuerza piezoeléctrico produce señales que corresponden a la energía mecánica reflejada que resulta del impacto entre la varilla 120 de golpeo y el objeto 112.

En una realización ilustrada, el ordenador 164 puede incluir software de instrumentación virtual capaz de analizar las señales recibidas desde el sensor 160a de fuerza piezoeléctrico. Se puede utilizar una amplia variedad de diferentes tipos de software de adquisición de datos para adquirir datos del sensor 160a de fuerza piezoeléctrico. En una realización, se puede usar un software personalizado de adquisición de datos desarrollado utilizando el entorno de programación LabVIEW, disponible en National Instruments (Austin, Texas), aunque se pueden usar otros entornos de programación en otras realizaciones.

Después de recibir las señales del sensor 160a de fuerza piezoeléctrico, el software de procesamiento de datos puede medir cuantitativamente las características deseadas, por ejemplo, la capacidad de amortiguamiento del objeto 112, que a menudo puede expresarse en términos del coeficiente de pérdida. Para una serie de impactos, como se describió anteriormente, se pueden realizar varios cálculos de la capacidad de amortiguamiento. Por ejemplo, en una realización, la varilla de golpeo 120 impacta el objeto 112 dieciséis veces, y la capacidad de amortiguamiento del objeto 112 puede calcularse para diez de los dieciséis impactos. En tales realizaciones, se puede calcular la desviación estándar de las mediciones de la capacidad de amortiguamiento, proporcionando así al usuario una indicación de la exactitud de las mediciones. Específicamente, si la pieza de mano 104 no está alineada correctamente con el objeto 112, o si se introduce otra fuente de error en el procedimiento de medición, este error probablemente se manifestará en forma de una desviación estándar elevada de una serie de mediciones de capacidad de amortiguamiento. Las diversas formas de realización de cualquier parte del sistema, tales como el manguito con la lengüeta y/o la característica analizada anteriormente, se pueden utilizar para realizar cualquier prueba o medición de cualquier característica estructural de cualquiera de los objetos discutidos anteriormente.

Como se señaló anteriormente, la presente invención también tiene aplicaciones en la detección de daños internos, tales como las microfisuras, las fracturas, las microfractura y la deslaminación en estructuras compuestas y en otros materiales de ingeniería. Los materiales compuestos generalmente son más susceptibles al desarrollo de daños que los metales no reforzados, particularmente cuando están bajo tensiones que se acercan a la resistencia a la tracción del material. La presente invención es útil para detectar daños mediante de pruebas no destructivas en materiales y estructuras compuestas.

La fig. 9 muestra un diagrama de flujo 300 de una realización ejemplar de un procedimiento de software. Después de que el programa se carga y se ejecuta 304, el siguiente paso 308 determina si se necesita una calibración. Si se va a implementar una configuración de prueba conocida, entonces el programa carga valores de calibración previamente determinados almacenados en un archivo 312. Se puede elegir un archivo de calibración de entre los muchos archivos de calibración anteriores almacenados en la memoria. Si se está utilizando una nueva configuración de prueba, entonces se completó un procedimiento 316 de calibración y los nuevos valores de

calibración se almacenaron en un nuevo archivo antes de que se implementen los nuevos valores de calibración en el paso 320. En el siguiente paso 324, el programa acepta la señal del sensor 324 de fuerza piezoeléctrico, convirtió la señal en datos 328 de energía, mostrando los datos de energía en forma gráfica y de texto en el monitor 332 del ordenador, calculando n, por ejemplo, el coeficiente de pérdida, .eta. 336; y/o calcula la desviación estándar de las mediciones del coeficiente de pérdida y el error de ajuste ideal normalizado; y luego descartar o guardar en un archivo los datos de energía a discreción del operador 340.

Luego, el operador elige entre tres opciones: realizar más mediciones en esa serie de mediciones 357; comenzar una nueva serie de mediciones 358, o salir del programa 359. En una realización del programa, una interfaz gráfica de usuario muestra las tres opciones anteriores de entre las que el operador podría elegir. Esta interfaz se refleja en el cuadro 356 descrito en el diagrama de flujo 300, que tiene tres caminos que salen de la caja: 357, 358 y 359.

Si se solicitan más mediciones en la serie de mediciones 357, el programa regresa al paso donde el programa aceptó la señal del sensor 324 de fuerza piezoeléctrico. Si no se solicitan más mediciones en la serie de mediciones, pero en cambio se solicitan nuevas series de mediciones, entonces el programa o bien descarta o bien guarda en un archivo los datos de energía a discreción del operador 352 antes de regresar al paso donde el programa aceptó la señal del sensor 324 de fuerza piezoeléctrico. Si no se solicitan más mediciones en la serie de mediciones y no se solicitan 359 nuevas series de mediciones, entonces el programa o bien descarta o bien guarda en un archivo los datos del coeficiente de pérdida a discreción del operador 360 antes de finalizar el programa 366.

Además, la energía mecánica asociada con un impacto con un diente natural, por ejemplo, se disipa principalmente por el ligamento periodontal. Más específicamente, cuando un diente se somete a una fuerza de impacto, una onda de tensión se transmite a través del diente y al ligamento periodontal, que funciona para conectar el diente al hueso subyacente. Debido a la forma en que se deforma, el ligamento periodontal actúa como un amortiguador, disipando gran parte de la energía asociada con el impacto. Este procedimiento de amortiguamiento reduce ventajosamente la fuerza de impacto resultante transmitida al hueso circundante. En cambio, las prótesis de implantes dentales a menudo no tienen un mecanismo por el cual disipar cantidades significativas de energía mecánica debido a la naturaleza de los materiales utilizados. Por lo tanto, la energía mecánica tiende a pasar de una estructura de implante al hueso subyacente con relativamente poco amortiguamiento. Esta diferencia en el comportamiento mecánico puede ser particularmente crítica para las personas que habitualmente rechinan y/o aprietan sus dientes, ya que tal comportamiento imparte fuerzas de impacto relativamente grandes en los dientes. Para una estructura física, ya sea que se incorpore o no un material de amortiguamiento a la estructura, la energía mecánica asociada con un impacto a la estructura puede generar una respuesta diferente cuando hay una fisura, una microfisura, una fractura, una microfractura, una delaminación, un defecto o cualquier inestabilidad estructural que, para una estructura sin fisuras, microfisuras, fracturas, defectos o cualquier inestabilidad estructural.

El grado relativo al que un material disipa energía mecánica elástica puede caracterizarse utilizando el coeficiente de pérdida, como se examinó anteriormente. Los valores del coeficiente de pérdida se pueden determinar para cualquiera de los objetos mencionados anteriormente, incluidos los dientes naturales, así como para una amplia variedad de superestructuras con soporte de implantes, tales como las superestructuras hechas de compuestos de matriz de resina, aleaciones de oro, porcelana fusionada con laminados de oro, todas las restauraciones de cerámica o cualquier otro material adecuado para su uso en la cavidad oral. Las estructuras soportadas por implantes generalmente disipan menos energía mecánica que sus contrapartes de dientes naturales. Sin embargo, la capacidad de un implante para disipar la energía mecánica depende del nivel de osteointegración alrededor del implante: una mala integración ósea entre un implante y el hueso circundante puede causar niveles anormalmente altos de disipación de energía. Por lo tanto, la disipación de energía aumenta inicialmente después de colocar un implante, por ejemplo, debido a la remodelación ósea, pero luego generalmente disminuye a medida que avanza la osteointegración. Con el tiempo, la capacidad de disipación de energía (amortiguamiento) del implante se vuelve constante a medida que el procedimiento de osteointegración avanza hasta su finalización. Como se señaló anteriormente, para los dientes normales sanos, la energía de percusión generada por la masticación es atenuada por el ligamento periodontal en la interfaz hueso-diente natural sano. Cuando un diente natural se daña o se enferma, un implante lo reemplaza, pero probablemente y puede ser definitivamente, sin el ligamento, ya que generalmente se pierde. En la mayoría de los casos, en un implante integrado con éxito, no hay ligamento. Conforme a esto, el implante puede transmitir las fuerzas de percusión directamente al hueso. Para compensar esta pérdida, el uso de, por ejemplo, algunos compuestos, la zirconia, etc., para fabricar el pilar del implante ha demostrado ser eficaz en numerosos estudios. El instrumento de la presente invención puede servir para ayudar en la construcción o fabricación de y/o en la selección de un material para una estructura anatómica, por ejemplo, un implante. La medición de la respuesta dinámica a la carga de dichos materiales de pilar se puede utilizar para tales fines y puede ser útil para predecir la idoneidad del material de restauración para el implante antes de la implantación o antes de la restauración.

Dado que la carga bucal es el tipo de tensión más peligrosa a que se enfrenta, la capacidad de correlacionar los resultados de la prueba con la respuesta real cuando se implanta es otro aspecto de la presente invención. En general, la compresión oclusal induce tensiones relativamente bajas, el movimiento de trabajo y/o no trabajo pueden producir una carga lateral y pueden inducir tensiones mucho más altas que pueden generar la mayor concentración de tensión en la superficie interna y por debajo del margen del esmalte de cemento. Por lo tanto, los diagnósticos de



percusión cuantitativa, utilizando el sistema de la presente invención, pueden ayudar a seleccionar el mejor material o el diseño de construcción para un implante.

La determinación del coeficiente de pérdida se puede realizar de acuerdo con lo descrito en la patente de EE. UU. N° 6.120.466. Las figuras 14 y 15 muestran fórmulas utilizadas para calcular el coeficiente 16a de pérdida y muestran un ejemplo de una medición de coeficiente de pérdida.

Se pueden determinar otras determinaciones, tales como medir, durante un intervalo de tiempo, la energía reflejada desde el objeto como resultado del golpeo o aplicación de energía, que puede incluir la creación de un perfil de tiempo-energía en base a la energía reflejada del objeto durante el intervalo de tiempo, y/o la evaluación del perfil de tiempo-energía para determinar la capacidad de amortiguamiento del objeto, tal como se divulga en la patente de EE. UU. N° 6.997.887 y 7.008.385.

Por ejemplo, como se ilustra también en la fig. 1, el ordenador 164 puede incluir además registros de memoria, de modo que la respuesta de tiempo frente a percusión, por ejemplo, la cantidad de energía reflejada desde el objeto 112 en varios puntos durante un período de tiempo discreto se pueda registrar. En tales realizaciones, la energía devuelta desde el objeto 112 se puede trazar como una función del tiempo en una pantalla conectada al ordenador 164. Esta configuración le permite al usuario ver y analizar el perfil de tiempo-energía de la energía reflejada de la muestra 114.

Además de la generación de un perfil de tiempo-energía, también se pueden realizar otros análisis sobre las señales devueltas desde el sensor 160a de fuerza piezoeléctrico. Por ejemplo, la cantidad de trabajo asociada con el impacto puede evaluarse integrando la fuerza aplicada a la varilla 120 de golpeo con respecto al desplazamiento de la muestra. La fuerza aplicada a la varilla 120 de golpeo durante su impacto con el objeto 112 se puede medir utilizando el sensor 160a de fuerza piezoeléctrico. Después del impacto, la cantidad de trabajo depende parcialmente de la cantidad de defectos presentes en el objeto 112. En particular, los defectos en el objeto 112 disipan la energía cinética de la varilla 120 al impactar sobre el objeto 112, reduciendo así la cantidad de energía elástica disponible para ser devuelta a la varilla 120 golpeo.

En una realización, se pueden usar una comparación de la cantidad de energía elástica devuelta a la varilla 120 de golpeo y el trabajo total asociado con el impacto para determinar la cantidad y la naturaleza de los defectos estructurales presentes en el objeto 112. En otra realización se puede ajustar un pico de distribución gaussiana u otro pico derivado matemáticamente a la respuesta de percusión medida, tal como los datos de energía, de tensión o de fuerza. El residuo o error medio se puede usar para determinar cuán representativos de un objeto 112 sin defectos son los datos medidos.

La figura 16b muestra ejemplos de la forma del tiempo frente a la respuesta a la percusión, por ejemplo, los perfiles de tiempo-energía generados en el diente. Para un diente normal, se genera una curva suave en forma de campana, como se muestra. Para un diente anormal, se genera una curva que tiene varias formas, por ejemplo, de perfil asimétrico o de perfil de varios picos, como se muestra. A pesar de que los perfiles mostrados son con referencia al diente, los perfiles pueden generalizarse a cualquier otro objeto mencionado anteriormente, ya sea anatómico o industrial o físico.

El dispositivo y el sistema de la presente invención también pueden usarse en otras mediciones del factor de amortiguamiento, tales como aquellas divulgadas en las patentes de EE.UU. N° 5.476.009 y 5.614.674; determinar de forma no invasiva la pérdida de densidad de una pieza discreta de tejido biológico, tal como la que se divulga en las patentes de EE. UU. N° 5.836.891 y 5.402.781; un factor de amortiguamiento modal de una estructura, tal como el que se describe en la patente de EE.UU. N° 5.652.386; para detectar un defecto incipiente en un objeto mediante la medición de la capacidad de amortiguamiento específica del objeto, tal como se divulga en la patente de EE. UU. N° 4.231.259; pruebas no destructivas, tales como las divulgadas en la patente de EE.UU. N° 4.519.245; instrumentos utilizados para causar vibración y analizados por la transformada de Fourier, como se divulga en la patente de EE. UU. N° 5.951.292; para detectar la estabilidad de un diente en la encía o de un implante en el cuerpo, como se divulga en la patente de EE. UU. N° 6.918.763; para determinar la movilidad de un diente o de un implante dental, tal como se divulga en la patente de EE. UU. N° 5.518.008; o cualquier otra medida que use un instrumento de percusión para generar vibración en un objeto.

Los dientes sanos y los implantes bien integrados exhiben un bajo nivel de disipación de energía con un perfil de tiempo-energía elástica suave, simétrico y en forma de campana, como se muestra en la curva superior de la fig. 16b. Como se usa en este contexto, el término "energía elástica" se refiere a la energía elástica impartida a la varilla 120 del instrumento 100 de percusión. La energía elástica  $E_e$  viene dada por  $E_e = kF^2$ , donde la constante  $k$  varía inversamente con el módulo elástico efectivo de la varilla 120 de golpeo y donde la fuerza  $F$  es proporcional tanto a la masa de la varilla 120 de golpeo como a la desaceleración máxima de la varilla 120 de golpeo como resultado de la onda de tensión creada a partir del impacto.

En contraste con los implantes bien integrados, los implantes que sufren una mala osteointegración, pérdida ósea, defectos internos o una estructura dañada normalmente pueden exhibir un perfil de respuesta de tiempo frente a percusión no uniforme. Por ejemplo, la fig. 27 ilustra un perfil 200 de respuesta de tiempo frente a percusión "normal"

para un implante sano, así como un perfil 210 de respuesta de tiempo frente a percusión "anormal" para una estructura de implante que no está bien integrada, como también se muestra en la fig. 16b para implantes normales y anormales. Como se ilustra, el perfil 200 de respuesta de tiempo frente a percusión para el diente sano tiene una forma de campana suave y simétrica, mientras que el perfil 210 de respuesta de tiempo frente a percusión para la estructura anormal del implante no es suave ni simétrico, o puede tener máximos 212 secundarios. La forma del perfil de respuesta de tiempo frente a percusión para la estructura anormal del implante indica que hay defectos, tales como tornillos sueltos, una estructura interna dañada, pérdida ósea en la interfase hueso/implante o una mala osteointegración. Además de los máximos secundarios, otras anomalías en la forma del perfil de respuesta de tiempo frente a percusión que son indicativos de defectos estructurales incluyen datos dispersos, asimetrías y formas irregulares.

Un ejemplo adicional de este principio se proporciona en la fig. 28, que ilustra un perfil 300 de respuesta de tiempo frente a percusión "normal" de un implante bien integrado, así como un perfil 310 de respuesta de tiempo frente a percusión "anormal" para una estructura de implante que no está bien integrada. Estas dos estructuras de implantes están situadas, por ejemplo, en la boca de un paciente anciano muy parafuncional. Como se explicó anteriormente, la presencia de máximos 312 secundarios indica que defectos tales como tornillos sueltos, una estructura interna dañada, pérdida ósea en la interfaz hueso/implante, o una mala integración ósea, están presentes en el lugar del implante.

Los ejemplos anteriores ilustran que el análisis del perfil de respuesta de tiempo frente a percusión de una estructura dental puede proporcionar información sobre la integridad y la estabilidad de esa estructura. Estas técnicas de análisis proporcionan a los médicos una herramienta precisa, rápida y sencilla que proporciona información sobre la estabilidad de las estructuras dentales naturales y protésicas sin requerir un procedimiento invasivo. La lengüeta y/o la característica aumentan la repetibilidad de estas mediciones y, por lo tanto, producen desviaciones estándar más pequeñas.

Para las estructuras compuestas, el instrumento de la presente invención descrito anteriormente también se puede usar en campos distintos a la odontología. Por ejemplo, tal instrumentación se puede usar para evaluar la capacidad de amortiguamiento local de las estructuras compuestas, tales como los compuestos en capas de panal de abeja o de cualquier otra estructura. En particular, el uso de tal instrumentación en la prueba de estructuras compuestas permite ventajosamente evaluar la capacidad de amortiguamiento de estas estructuras sin dañar las estructuras. La instrumentación descrita en la presente memoria también es liviana, portátil, fácil de usar, rápida y económica en comparación con los aparatos convencionales para evaluar la capacidad de amortiguamiento.

Debido a que la capacidad de amortiguamiento mide la capacidad de un material para absorber y aislar vibraciones, la capacidad de amortiguamiento es de particular interés con respecto a los materiales utilizados para el aislamiento acústico, tales como en los campos aeroespacial, naval, de puentes, de estructuras de arco, de ingeniería civil y de ingeniería automotriz. Por lo tanto, a menudo se busca probar la capacidad de amortiguamiento de los nuevos materiales en desarrollo, así como de los materiales convencionales después de un uso sostenido.

Como ejemplo, las estructuras en capas de panal de abeja generalmente tienen una capacidad de amortiguamiento relativamente alta y, por lo tanto, a menudo se usan como aislantes acústicos en estos campos. Las estructuras en capas de panal de abeja típicas tienen dos revestimientos relativamente delgados que tienen una alta resistencia y rigidez. Los revestimientos encierran una estructura de núcleo de panal de abeja que es relativamente gruesa, pero liviana y con alta resistencia en la dirección perpendicular a los revestimientos. Por ejemplo, la estructura del núcleo en forma de panal de abeja puede incluir un núcleo en forma de panal de abeja Nomex®, disponible en E.1. du Pont de Nemours and Company (Wilmington, Del.). Las caras y el núcleo generalmente están unidos entre sí, ya sea mecánicamente o con adhesivos (tales como, por ejemplo, con una resina fenólica o con otro adhesivo estructural o reactivo), lo que le confiere a la estructura propiedades de compuesto. En la estructura compuesta, los revestimientos pueden soportar tensiones de flexión, mientras que el núcleo soporta tensiones de corte. Cuando se expone a vibraciones acústicas durante un período prolongado, la degradación en las uniones entre las capas, así como en el mismo núcleo de panal de abeja, puede causar que la estructura del núcleo en capas de panal de abeja tenga una capacidad de aislamiento acústico disminuida.

Con referencia ahora a la fig. 29, se ilustra una realización ejemplar de un aparato configurado para evaluar la capacidad de amortiguamiento de estructuras compuestas. El aparato incluye una realización del sistema 100 de la presente invención montado dentro de un soporte 150 seguro configurado para estabilizar el instrumento 100 de percusión. El sistema 100 puede equiparse opcionalmente con un nivel 152 para ayudar a alinear el instrumento 100 substancialmente perpendicular a un objeto o a la muestra 112 que se va a probar. En una realización ejemplar, la muestra 112 se monta en un tornillo de banco 154 en ángulo que tiene un accionamiento 156 de tornillo de banco ajustable manualmente, permitiendo así que la muestra 112 se mantenga en compresión durante la prueba. En una realización modificada, el tornillo de banco 154 en ángulo puede estar equipado con agarres de goma para reducir las fuentes externas de ruido vibratorio que podría ser detectado por el sistema 100.

Todavía en referencia a la fig. 29, el sistema 100 está conectado electrónicamente a un ordenador 164 a través de una interfaz 168 de instrumentación. En tales realizaciones, el ordenador 164 puede incluir una pantalla 180 capaz

de presentar gráficamente datos generados por el sistema 100, tales como un perfil de respuesta de tiempo frente a percusión.

5 El aparato de prueba ilustrado en la fig. 29 puede utilizarse para evaluar la capacidad de amortiguamiento de una amplia variedad de materiales. Por ejemplo, en una aplicación, este aparato puede usarse para evaluar la capacidad de amortiguamiento de muestras compuestas de panel de abeja en capas. En una aplicación de este tipo, la muestra 112 que se va a analizar se monta en el tornillo de banco 154 en ángulo, que se aprieta con el accionamiento 156 del tornillo de banco a un par de aproximadamente 2765 gcm, aunque en otras realizaciones, la muestra 112 se puede cargar con un par diferente.

10 En una realización ejemplar, el instrumento de la presente invención puede detectar la diferencia de amortiguamiento entre diferentes materiales de restauración para ayudar a elegir el material más biomimético para proteger la boca de impactos perjudiciales, tales como las actividades parafuncionales normales, la actividad de carga repetitiva y no se limita únicamente a eventos extraordinarios. Además, también se puede emplear para evaluar qué tipo de restauración con soporte de implante (por ejemplo, pilares de resina compuesta de CAD/CAM y de zirconia combinados con resina compuesta de CAD/CAM y fundas de cerámica y coronas) responderían más biomiméticamente a la carga dinámica fisiológicamente relevante, se pueden emplear medidas de coeficiente de pérdida. Después de que el conjunto de implante/pilar/restauración se pueda hacer con un material elegido, el instrumento de la presente invención se puede colocar perpendicularmente al tercio de la corona de la superficie bucal de cada restauración. El diente se puede mantener en ángulo para mantener la sonda horizontal, como se muestra en la fig. 26b. Las mediciones para un objeto o muestra 112 elegido se pueden usar para predecir el material más adecuado para el implante, la restauración, etc. Por ejemplo, las fundas de resina compuesta unidas a los pilares de implantes de zirconia pueden presentar la respuesta dinámica a la carga más biomimética cuando se comparan con los dientes en una estructura simulada de soporte óseo.

25 En otras realizaciones ejemplares, el instrumento de la presente invención también se puede emplear para probar la holgura de una estructura dental justo después del trabajo dental o de la implantación dental. Cuando una estructura dental está simplemente suelta, sin defectos o fisuras como se señaló anteriormente, puede tener un perfil de respuesta de tiempo frente a percusión relativamente plano, como se muestra en las figs. 19b, d y f, o en las figs. 20, 20ab cuando están simplemente sueltos antes del trabajo dental y después del movimiento ortodóntico de los dientes. Después de dejar que el trabajo dental se asiente y el hueso se cure alrededor de la nueva estructura y el posicionamiento ortodóntico de los dientes, se muestra un perfil normal con forma de campana en las figs. 20c-e. Con otra realización ejemplar, la presente invención puede ser utilizada por los ortodoncistas para medir la estabilidad de los dientes después del movimiento ortodóntico.

30 Además, los perfiles bajos o planos con picos anormales o múltiples, como se muestran en las figs. 21b y 22a, pueden corresponder a movilidad extrema y fallo de rotura estructural, lo que indica que el diente puede no ser recuperable.

35 En cualquiera de las mediciones mencionadas anteriormente, el manguito 108 de la presente invención puede ajustarse a otras piezas de mano disponibles comercialmente que no están adaptadas para el contacto con un objeto en medición, de modo que las ventajas de la presente invención también se puedan realizar. Cualquier forma adecuada de unión del manguito 108 a las piezas de mano disponibles se puede utilizar para modificar las piezas de mano.

40 Como se señaló, en algunas realizaciones, el manguito 108 y/o las porciones del alojamiento 132 pueden incluir recubrimientos capaces de eliminar, prevenir, retardar o minimizar el crecimiento de microbios, minimizando así el uso del procedimiento de autoclave a alta temperatura o de productos químicos agresivos y puede aumentar el tipo y la cantidad de materiales útiles como sustratos para hacer tales herramientas o instrumentos.

45 Los recubrimientos pueden incluir materiales o compuestos químicos antimicrobianos que pueden ser unidos de manera substancialmente permanente, al menos durante un período tal como la vida útil del manguito 108, o mantener sus efectos antimicrobianos cuando están recubiertos con la ayuda de agentes de recubrimiento, sobre las superficies expuestas del manguito 108. En un ejemplo, los productos químicos pueden depositarse sobre la superficie del manguito 108 mediante enlaces covalentes o enlaces.

50 En otras realizaciones, los recubrimientos pueden incluir materiales o compuestos químicos antimicrobianos que pueden depositarse de una manera no permanente de manera que puedan disolverse, lixivarse o suministrar de otro modo sustancias antimicrobianas a un campo útil, tal como la boca, durante su uso.

55 En otras realizaciones más, los recubrimientos pueden incluir fuentes de agentes antimicrobianos que pueden lixiviar y/o liberar agentes en un ambiente húmedo o al contacto con la humedad. Estas fuentes pueden incorporarse en los materiales de sustrato utilizados para la fabricación del manguito, o incluirse en los recubrimientos extendidos sobre las superficies expuestas del manguito 108. La incorporación de las fuentes es especialmente adecuada para sustratos poliméricos.

Los materiales o compuestos antimicrobianos químicos pueden incluir una variedad de sustancias que incluyen, pero no se limitan a, antibióticos, antimicóticos, agentes antimicrobianos generales, materiales generadores de iones

metálicos o cualquier otro material capaz de generar un efecto antimicrobiano. Los materiales o compuestos antimicrobianos químicos también pueden seleccionarse para, por ejemplo, minimizar cualquier efecto adverso o molestia para el paciente.

5 El compuesto antimicrobiano puede incluir, pero no se limita a, antibióticos, cationes de amonio cuaternario, una fuente de iones metálicos, triclosán, clorhexidina y/o cualquier otro compuesto apropiado o mezclas de los mismos.

10 En otras realizaciones adicionales, la actividad antimicrobiana se puede lograr utilizando las propiedades antimicrobianas de diversos metales, especialmente metales de transición que tienen poco o ningún efecto sobre los seres humanos. Los ejemplos pueden incluir fuentes de iones de plata libres, que se destacan por sus efectos antimicrobianos y pocos efectos biológicos en los seres humanos. La actividad antimicrobiana de los iones metálicos se puede crear mediante una variedad de procedimientos que pueden incluir, por ejemplo, mezclar una fuente de un ión metálico con el material de un instrumento dental durante la fabricación, recubriendo la superficie con procedimientos como la deposición por plasma, formando complejos de manera dispersa de la fuente de iones del metal al interrumpir la superficie del instrumento dental para formar sitios de afinidad o de unión por procedimientos tales como el grabado o la descarga en corona, y depositar un metal sobre la superficie por medios tales como el electrochapado, la fotorreducción y la precipitación. La superficie del manguito 108 puede liberar lentamente iones metálicos libres durante el uso que pueden producir un efecto antimicrobiano.

15 En algunas realizaciones, la fuente de iones metálicos puede ser una resina de intercambio iónico. Las resinas de intercambio iónico son sustancias que transportan iones en sitios de unión en las superficies del material. Las resinas de intercambio iónico pueden estar impregnadas con especies de iones particulares por las cuales tienen una afinidad dada. La resina de intercambio iónico puede colocarse en un entorno que contenga diferentes especies de iones para las cuales tiene una afinidad generalmente más alta, lo que hace que los iones impregnados se lixivien al ambiente, siendo reemplazados por las especies de iones originalmente presentes en el ambiente.

20 En una realización, un manguito puede incluir una resina de intercambio iónico que contiene una fuente de iones metálicos, tal como, por ejemplo, la plata. Las resinas de intercambio iónico que contienen fuentes de iones metálicos pueden incluir, por ejemplo, el Alphasan® (Milliken Chemical), que es una resina de intercambio de iones de cerámica basada en fosfato de zirconio que contiene plata. Una resina de intercambio iónico puede recubrir el manguito 108 o puede ser incorporada al material del manguito 108.

25 En otra realización más, el manguito 108 puede estar hecho de materiales de plantas naturales, recubrimientos de materiales naturales o mezclas de los mismos, que tienen efectos antimicrobianos inherentes. Tales materiales incluyen materiales como el bambú, que se cree que posee actividad antimicrobiana debido a algunos péptidos novedosos que se unen a la quitina.

## Ejemplos

### Ejemplo 1: estudios *in vitro* de densidad ósea

Los implantes utilizados para este estudio fueron cuatro geometrías de implantes de titanio con rosca de:

- 35 1 y 2. Nobel Biocare (recubierto de TiO<sub>2</sub>, 13 mm de largo): Branemark Mark IV (diámetro máximo de 4 mm); Reemplazar seleccionado cónico (diámetro máximo de 4,3 mm);
- 3 y 4. Dentsply (13 mm de largo, 5,5 mm de diámetro máximo); Frialit-2 (diseño escalonado; XIVE (diseñado para carga inmediata).

#### Procedimientos:

40 Se fabricaron bloques de espuma de 2,5 x 2,5 x 4 cm. Los implantes fueron colocados "quirúrgicamente" por los fabricantes. Los agujeros se perforaron manualmente en el bloque óseo simulado, luego los implantes se colocaron con una llave de par. Los pilares de prueba se unieron a los implantes y los bloques se colocaron en un tornillo de banco con un desplazamiento de montaje constante. Se realizaron tres mediciones (30 percusiones) para cada muestra.

45 Los resultados de las pruebas se muestran en las figs. 10 y 10a para 1 y 2; y 11 y 11a para 3 y 4. Estas muestras habrían producido gráficos similares, ajustando las pequeñas diferencias en los materiales mismos. Sin embargo, los gráficos mostraron diferencias, aunque los objetos se prepararon de manera idéntica, pero con diferentes operadores o con el mismo operador que utiliza una ligera variación en la técnica, por ejemplo, se podrían haber perforado orificios de diferentes tamaños para montar el objeto. Estas diferencias fueron recogidas por el instrumento, mostrando la diferencia en los gráficos, mostrando que las diferencias en el entorno circundante fueron reveladas por el instrumento de la presente invención.

### Ejemplo 2: Evaluación de la importancia de la carga de percusión bucal

La carga de percusión bucal, como se mencionó anteriormente, es normalmente la forma más peligrosa de carga. En general, la carga oclusal induce tensiones relativamente bajas. El movimiento de trabajo y/o de no trabajo

produce una carga lateral e induce tensiones mucho más altas que pueden generar una alta concentración de tensión en las superficies internas y externas y por debajo del margen. Por lo tanto, una realización de la presente invención se utilizó para realizar la prueba a continuación.

Procedimiento:

5 Utilizando el sistema de la presente invención, con cargas tales como la mostrada en la fig. 12, se hicieron mediciones. La carga del instrumento de una fuerza máxima de 1-15 Newtons se usó en general, con cargas máximas elegidas dependiendo del objeto o muestra. La varilla de golpeo flotaba libremente. La energía cinética estaba controlada. La velocidad de impacto fue de 60 mm por segundo.

10 El instrumento de la presente invención se colocó sobre el objeto, como se representa en la fig. 26b. Usando los cálculos representados en la fig. 13, la varilla de golpeo tenía una masa de 8 gramos. La energía de entrada, U, fue de 0,5 mv<sup>2</sup>, es decir, la energía cinética de la varilla de golpeo. La fuerza máxima (F) se utilizó para determinar la energía disipada (D). Se midió la desaceleración, a, y se calculó la energía de retorno, ER=U-D. La respuesta dinámica medida después del impacto del objeto con el instrumento de la presente invención se realizó y se representó en la fig. 16. Los coeficientes de pérdida y los gráficos respuesta de energía de retorno frente a percusión se produjeron utilizando las ecuaciones representadas en las figs. 14 y 15. Los gráficos resultantes, como se muestra en la fig. 16b, representan lo que es normal y anormal. Para la estructura normal, se obtuvo un gráfico suave, casi en forma de campana. Para una estructura anormal, que podría tener cualquiera de los defectos o fisuras, como se señaló anteriormente, se generó un gráfico irregular.

**Ejemplo 3: Análisis por elementos finitos**

20 Este procedimiento de análisis implicó el uso de modelos numéricos para simular pruebas reales utilizando el sistema y el procedimiento de la presente invención.

Se usaron estructuras en capas en el presente experimento, una estructura sin defecto en la capa compuesta laminada (fig. 24) y una con un defecto en el centro de la capa laminada compuesta (fig. 24b).

25 La fig. 23 midió el tiempo de residencia de la varilla de golpeo contra un objeto. Se utilizó una varilla o cilindro de vidrio para simular una estructura dental para la medición que se muestra en la fig. 23. La gráfica de la fig. 23 mostró las posiciones relativas de la varilla de golpeo y la varilla de vidrio en el tiempo. Cuando la varilla de golpeo golpeó la superficie de la varilla de vidrio, sus respectivas posiciones coincidieron en el inicio. A medida que avanzaba el tiempo, la varilla de golpeo se alejó gradualmente de la superficie de la varilla de vidrio y, a los 250 μs, se separaron, lo que indica que el tiempo de residencia de la varilla de golpeo sobre la superficie es de 250 μs.

30 Usando este tiempo de residencia, se hicieron análisis en las placas compuestas de las figs. 24 y 24b. Los resultados se muestran en las figs. 24a y 24c, respectivamente. La gráfica de la fig. 24c confirmó el defecto en las capas compuestas, una delaminación de las capas en la estructura compuesta. Se realizó una medición repetida y los resultados se muestran en las figs. 25 y 25a. Por lo tanto, el análisis puede utilizarse para simular el sistema y el procedimiento de la presente invención.

35 **Ejemplo 4: Para evaluar el coeficiente de pérdida para determinar el material más compatible biomiméticamente para usar en implantes, restauraciones, etc.**

40 Para evaluar el LC de los dientes humanos extraídos y evaluar qué tipo de restauración soportada por implantes (pilares de resina compuesta de CAD/CAM y zirconia combinados con resina compuesta de CAD/CAM y fundas de cerámica y coronas) responderían más biomiméticamente a la carga dinámica fisiológicamente relevante, se utilizó el instrumento de la presente invención, como se muestra en la fig. 27b, para medir el coeficiente de pérdida (LC) de algunos materiales. Los materiales más adecuados generaron gráficos en forma de campana similares al gráfico superior de la fig. 16b, mientras que los materiales menos adecuados generaron gráficos irregulares similares a los del gráfico inferior de la fig. 16b o demostraron un valor de LC que era mucho más bajo que el que se encuentra en un diente natural, lo que facilita la elección de los materiales antes de la restauración sin tener que depender del ensayo y error, lo que puede llevar mucho tiempo y ser costoso si se indica un nuevo tratamiento, a la vez que se expone a los pacientes a la incomodidad y al peligro potencial de recibir más daño.

**Ejemplo 5: Sensibilidad y exactitud del instrumento de la presente invención para medir fisuras, defectos, etc.**

50 En este estudio se usaron dientes humanos reales dentro de la boca de un paciente. La información de las figs. 17 y 17a-h se generaron sobre el mismo diente. Las figs. 17 y 17a mostraron radiografías del diente de un paciente que no mostraban patología. La figura 17b muestra una imagen de una restauración anterior de aleación que tampoco muestra patología. Por lo tanto, tanto las radiografías como la inspección visual mostraron que el diente era normal, es decir, sin defectos o fisuras. En base a estos procedimientos de prueba habituales, se esperaría un perfil o gráfico de respuesta simétrica o de forma de campana de tiempo frente a percusión (o uno similar a la curva de tono claro de la fig. 17c, calculado en base a las fórmulas de las figs. 13, 14 y 15).

- Sin embargo, en el mismo día, se realizó un gráfico de respuesta de tiempo frente a percusión utilizando el instrumento de la presente invención como se muestra en las figs. 1 y 16, utilizando el manguito con una lengüeta, como se muestra en la fig. 27d. La fig. 17c mostró el mismo diente que en las figs. 17 y 17a, mostrando un gráfico de respuesta a la percusión de tiempo frente energía de retorno anormal que indica alguna anomalía. El gráfico anormal indicó que el diente tenía fisuras en diferentes lugares dentro de la estructura del empaste anterior, como lo indican las flechas en la fig. 17c, con una curva asimétrica o no acampanada. Se realizaron numerosas mediciones y todas mostraron la misma forma irregular, así como la reproducibilidad de las mediciones. Por lo tanto, el instrumento de la presente invención fue capaz de detectar cualquier anomalía. Los picos secundarios anormales se indicaron con flechas en la fig. 17f también, mostrando fisuras.
- La fig. 17d mostró una imagen del mismo diente que la fig. 17 durante la remoción del empaste de aleación anterior, mostrando una fisura significativa en el empaste de aleación que había desarrollado microfiltración y caries severa debajo del empaste. El empaste de aleación fracturada tenía fugas y permitía que se desarrollara la caries debajo del empaste antiguo. Esto confirmó la anomalía detectada por el instrumento de la presente invención.
- Las figs. 17e y 17f mostraron el mismo gráfico de respuesta previo al tratamiento de tiempo frente a percusión antes de la eliminación de la aleación. Comprobado nuevamente mostró que las mediciones de fisuras eran reproducibles, como se muestra en las figs. 17e-f.
- La fig. 17g mostró el gráfico de respuesta de tiempo frente a percusión tomada el mismo día que la fig. 17e después de que se retiraran la aleación anterior y la caries y se colocara una nueva restauración compuesta bien sellada. El gráfico de respuesta de tiempo frente a percusión del diente fue normal nuevamente.
- La fig. 17h muestra la nueva restauración compuesta que resultó normal en la fig. 17g después de que la restauración de la aleación anterior se reemplazara más temprano en el día. El drama de este ejemplo fue que el perfil de retorno de energía de las figs. 17f y 17g fue para el mismo diente en el mismo día, con la diferencia de que el empaste y la caries anteriores se eliminaron y se colocó una nueva restauración compuesta unida, que era la foto 17h.
- Este experimento se repitió con otro diente. Los resultados se muestran en las figs. 18, 18a-f. La fig. 18 mostró un diente sin patología mostrado en una radiografía. La fig. 18a mostró un gráfico de respuesta de tiempo frente a percusión anormal para el diente que se muestra en la radiografía de la fig. 18. La fig. 18b es una fotografía del diente evaluado en las figs. 18 y 18a que no muestran patología significativa en la inspección visual. Sin embargo, al retirar el empaste, se hallaba presente una caries profunda y una microfiltración debajo del empaste anterior. Las figs. 18c y 18d y el mismo gráfico repetido mostrando el defecto antes de retirar la aleación anterior. La fig. 18e muestra un ERG normal para el mismo diente después de que se completó la restauración final. La fig. 18f mostró el mismo diente que se muestra en 18b con la nueva restauración que estaba dando resultado normalmente. Esto nuevamente indica la exactitud del instrumento de la presente invención.
- Además, como se mencionó anteriormente, el sistema de la presente invención también se puede usar para detectar la holgura de una estructura dental justo después del trabajo dental. Las figs. 19-19g muestran radiografías previas al tratamiento y gráficos de respuesta de tiempo frente a percusión para tres dientes anteriores superiores diferentes.
- Las figuras. 19, 19a, c, e y g mostraron un nuevo trabajo dental con nuevos empastes, es decir, las manchas blancas representaron empastes y una corona de oro. Los gráficos producidos con una realización del instrumento de la presente invención eran normales, es decir, simétricos, pero bajos, como se muestra en las figs. 19b, d y f, y en la fig. 20. El diente, aunque estructuralmente sólido, estaba flojo y no estaba estable debido a que el paciente había completado recientemente el movimiento ortodóntico de sus dientes.
- Las figs. 20, 20a y 20b también mostraron las curvas de respuesta a la percusión de tiempo frente a retorno de energía de los dientes que estaban sueltos antes del tratamiento. Las figs. 20c, 20d, 20e fueron los gráficos de respuesta de tiempo frente a percusión posteriores a la restauración para los mismos dientes. La fig. 20f mostró la foto final de los dientes restaurados y estructuralmente normales. Los gráficos fueron más altos aquí porque los dientes estaban más estables en el hueso después del tratamiento. El hueso había sido capaz de remodelarse después del tratamiento de ortodoncia. Por lo tanto, después de dejar que el trabajo dental se asentara y la estructura dental esté más firmemente unida, se obtiene un perfil de campana normal con perfiles más altos.
- Por otra parte, cuando se produjeron perfiles bajos o planos con picos anormales o múltiples, como se muestra en las figs. 21b y 22a, la movilidad extrema y el fallo por rotura estructural fueron indicativos del hecho de que el diente no era recuperable. Las figs. 21 y 21a eran radiografías del diente utilizado en la fig. 21b, mostrando varios empastes y la fig. 22 mostró la profunda caries severa debajo de esta anterior corona, tan profundamente en la estructura de la raíz que este diente necesitó una extracción debido a la extensa caries terminal. La fig. 22a mostró el perfil de tiempo-energía realizado usando el sistema de la presente invención en el mismo diente, mostrando una anomalía extrema en forma y en altura.

Habiendo descrito la invención mediante la descripción y las ilustraciones anteriores, debe entenderse que estos son ejemplos de la invención y no deben considerarse como limitantes. Por consiguiente, la invención se define por las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema (100) para determinar las características estructurales de un objeto (112), que comprende: una pieza de mano (104) y un ordenador (164) acoplado a dicha pieza de mano,

en el que la pieza de mano (104) comprende:

- 5 un alojamiento (132) con un extremo (132a) abierto y un eje longitudinal;
- una herramienta (120) de aplicación de energía montada dentro del alojamiento para un movimiento axial a lo largo del eje longitudinal del alojamiento;
- un manguito (108) que sobresale del extremo (132a) abierto del alojamiento, estando dicho manguito (108) adaptado para contactar con dicho objeto (112) con al menos una porción de su extremo (116) abierto;
- 10 una lengüeta (110) que se extiende desde una porción de dicho manguito (108), siendo dicha lengüeta (110) substancialmente paralela al eje longitudinal del alojamiento y teniendo una superficie de contacto con el objeto substancialmente perpendicular a la porción de contacto con el objeto del extremo abierto del manguito; y
- 15 un mecanismo (160) de accionamiento soportado dentro del alojamiento, estando dicho mecanismo (160) de accionamiento adaptado para mover la herramienta (120) de aplicación de energía entre una forma retraída y una extendida, comprendiendo además dicho mecanismo (160) de accionamiento un dispositivo (160a, 160b) de medición y/o de detección colocado dentro de dicha pieza de mano (104) y adaptado para medir y/o detectar el desplazamiento de la herramienta de aplicación de energía o la respuesta del objeto a la energía aplicada con la herramienta de aplicación de energía;
- 20 y en el que el ordenador (164) está adaptado para controlar la pieza de mano (104) y para analizar los datos recogidos para determinar las características estructurales del objeto (112).

2. El sistema de la reivindicación 1, en el que dicho ordenador (164) está adaptado para activar, introducir parámetros y seguir la acción y la respuesta de dicha pieza de mano (104).

3. El sistema de la reivindicación 1 o 2, en el que dicho dispositivo (160a, 160b) de medición y/o de detección está adaptado para medir y/o detectar el desplazamiento de la herramienta (120) de aplicación de energía antes, durante y después de la aplicación de energía.

4. El sistema de la reivindicación 1, 2 o 3, en el que dicho dispositivo (160a, 160b) de medición y/o de detección comprende un sensor de desplazamiento lineal sin contacto adaptado para medir sin contacto el desplazamiento para permitir que el ordenador determine la velocidad y la aceleración de la herramienta de aplicación de energía justo antes del impacto con dicho objeto para minimizar o eliminar de los resultados los efectos de la gravedad.

5. El sistema de la reivindicación 1, 2, 3 o 4, en el que dicho dispositivo (160a, 160b) de medición y/o de detección está adaptado para medir la desaceleración de la herramienta de aplicación de energía tras impactar con dicho objeto y/o cualquier vibración o respuesta de energía causada por dicha herramienta de aplicación de energía en dicho objeto.

6. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que dicho objeto (112) comprende un objeto anatómico, un objeto industrial o físico, o combinaciones de los mismos.

7. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicha lengüeta (110) está adaptada para minimizar el movimiento del objeto después de la aplicación de energía en cualquier dirección que no sea a una dirección de aplicación de energía.

8. El sistema de las reivindicaciones 1-6, en el que dicho ordenador (164) comprende un analizador de datos configurado para evaluar la forma del perfil de tiempo-energía, de tiempo-fuerza, de tiempo-tensión o de aceleración.

9. El sistema de la reivindicación 4 o 5, en el que dicho ordenador (164) comprende un software de instrumentación virtual capaz de analizar las señales recibidas desde el mecanismo de medición y/o de detección.

10. Un procedimiento de determinación de las características estructurales de un objeto (112) que emplea un sistema (100) de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende:

colocar el manguito (108) que tiene la lengüeta (110) extendida desde el mismo directamente contra el objeto (112) manteniendo dicha lengüeta y dicho manguito contra diferentes superficies del objeto que son substancialmente perpendiculares entre sí;

aplicar energía a dicho objeto con la herramienta (120) de aplicación de energía;

medir con dicho dispositivo (160a, 160b) de medición y/o de detección y registrar con el ordenador (164) durante un intervalo de tiempo, la energía reflejada del objeto o el desplazamiento de la herramienta de aplicación de



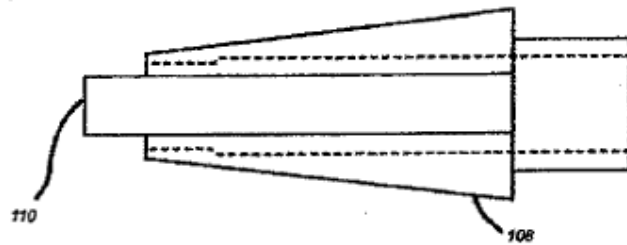
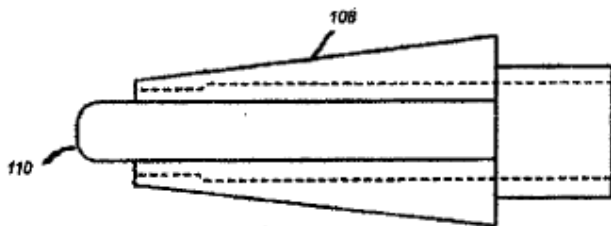
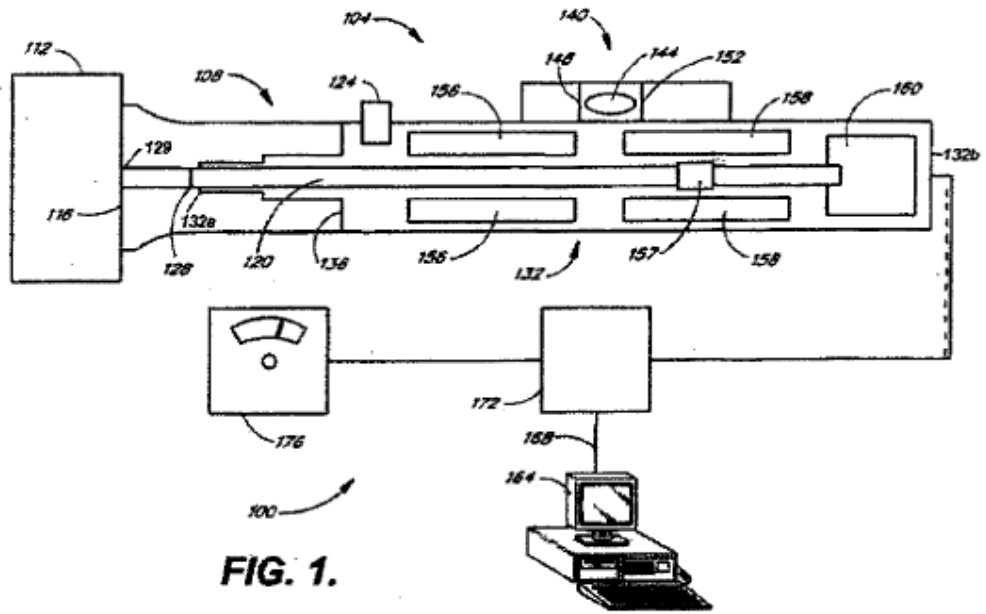
energía como resultado de la aplicación de energía; creando con el ordenador (164) un perfil de respuesta de tiempo frente a percusión de la respuesta reflejada desde el objeto o del desplazamiento de la herramienta de aplicación de energía en función del tiempo; y

5 evaluar con el ordenador (164) una forma del perfil de respuesta de tiempo frente a percusión para hacer una determinación con respecto a las características estructurales del objeto.

10 11. El procedimiento de la reivindicación 10, en el que dichas características estructurales de dicho objeto comprenden densidades; densidades óseas o un nivel de integración ósea; defectos, inherentes o de otro tipo; fisuras, fracturas, microfracturas, microfisuras; pérdida de sello del cemento; fallo del cemento; fallo de la unión; microfiltraciones; lesión; caries; fallo del cemento; fallo de la unión; amortiguamiento de vibraciones; amortiguamiento acústico; delaminación; o combinaciones de los mismos de dicho objeto o de una base a la que dicho objeto está unido.

15 12. El procedimiento de la reivindicación 10, en el que dichas características estructurales comprenden información sobre la localización de los defectos, inherentes o de otro tipo, fisuras, fracturas, microfracturas, microfisuras, microfiltraciones, lesión, caries, deslaminación; información sobre la compatibilidad o la idoneidad de un material para su uso en trabajos dentales antes del trabajo real; determinación de si una estructura dental es restaurable antes del trabajo real; información sobre si un procedimiento de restauración tiene éxito; información sobre cuándo se ha remodelado la estructura dental que se sometió a cualquier procedimiento; información sobre la holgura de la estructura dental antes y después del trabajo dental; información sobre la estabilidad de las estructuras dentales naturales y protésicas sin requerir un procedimiento invasivo; o combinaciones de las mismas.

20 13. El procedimiento de la reivindicación 10, en el que dicha lengüeta (110) está adaptada para minimizar el movimiento del objeto después de la aplicación de energía en cualquier dirección que no sea una dirección de aplicación de energía.



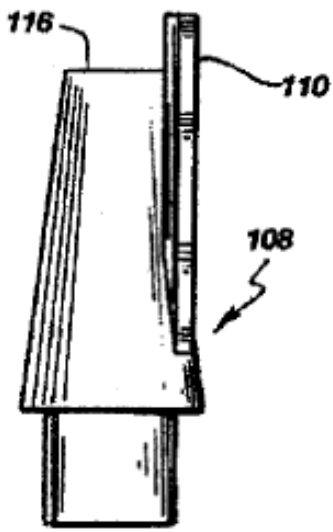


FIG. 2a.

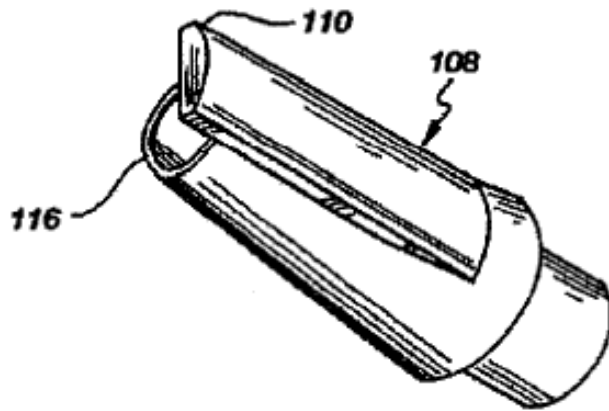


FIG. 2b.

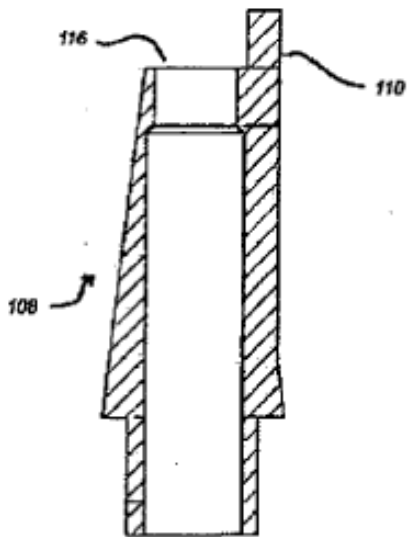


FIG. 2c.

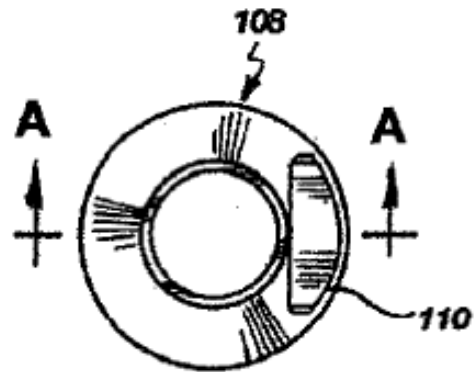


FIG. 2d.

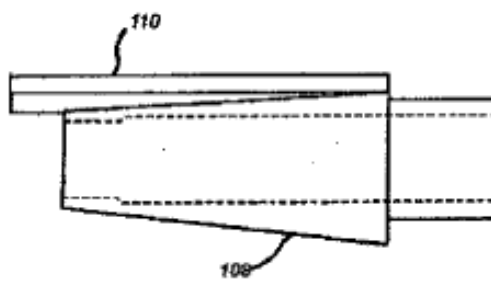
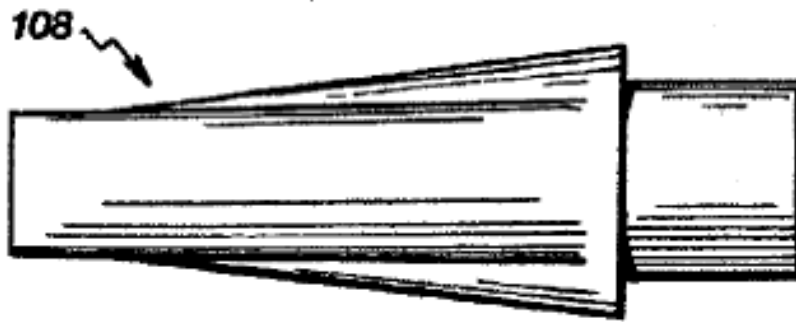
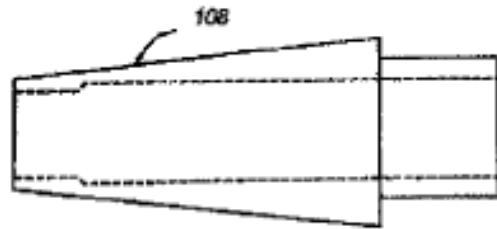


FIG. 2e.



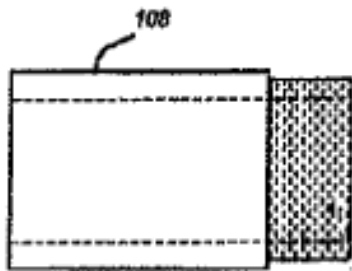
**FIG. 3.**



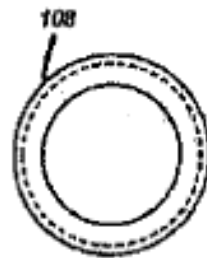
**FIG. 3a.**



**FIG. 3d.**



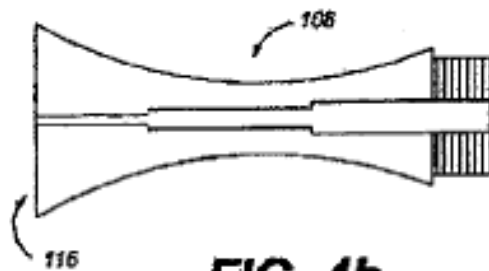
**FIG. 3b.**



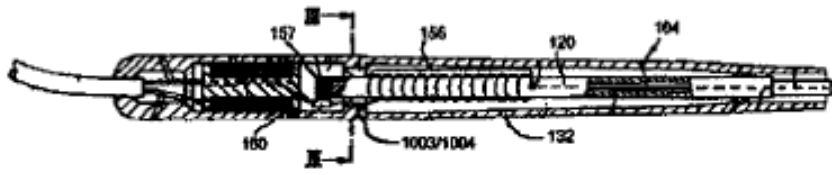
**FIG. 3c.**



**FIG. 4a.**



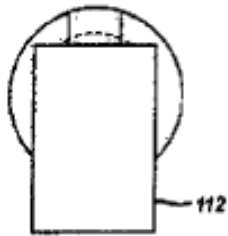
**FIG. 4b.**



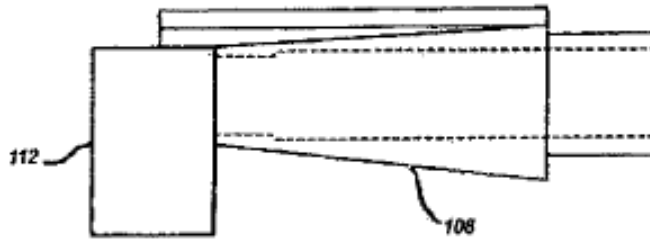
**FIG. 5.**



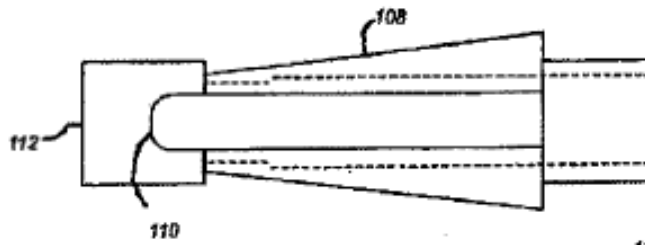
**FIG. 6.**



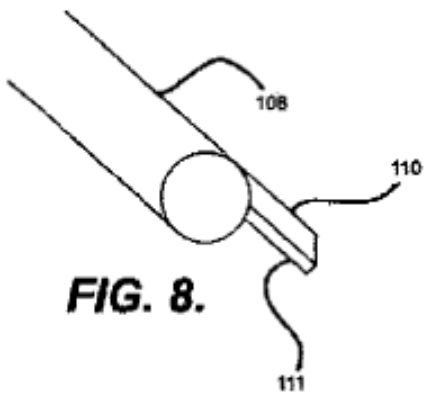
**FIG. 7c.**



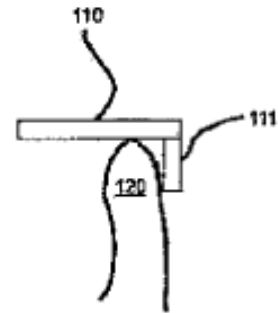
**FIG. 7a.**



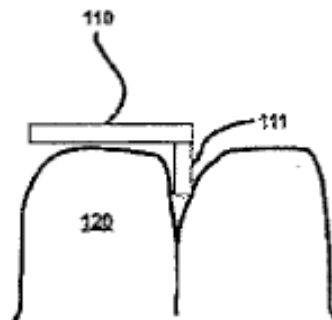
**FIG. 7b.**



**FIG. 8.**



**FIG. 8b.**



**FIG. 8a.**

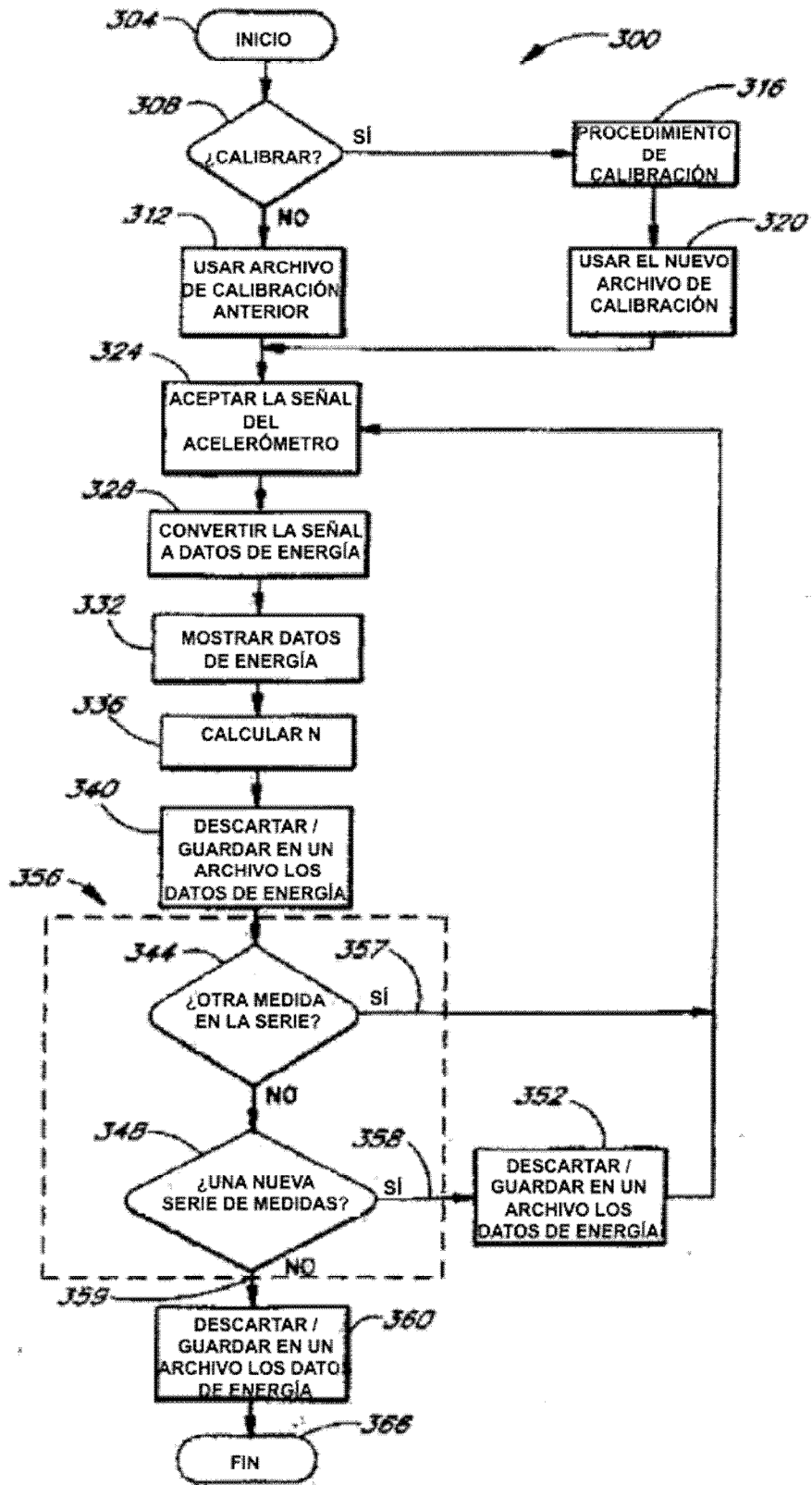
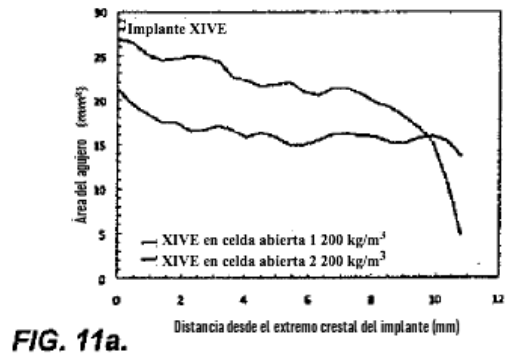
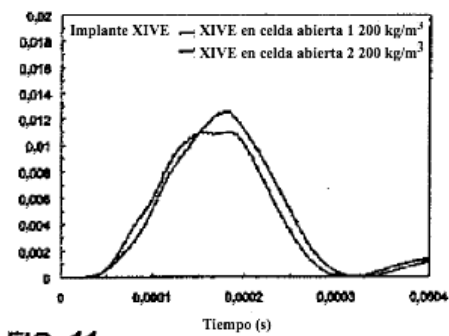
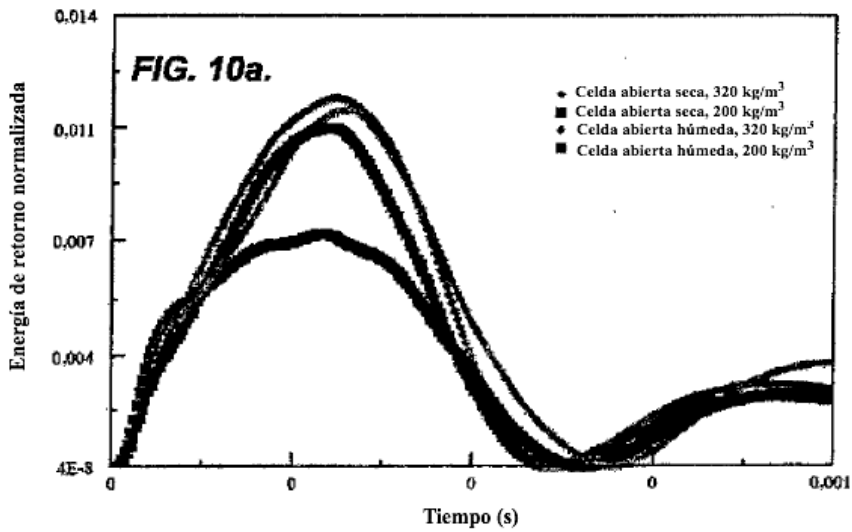
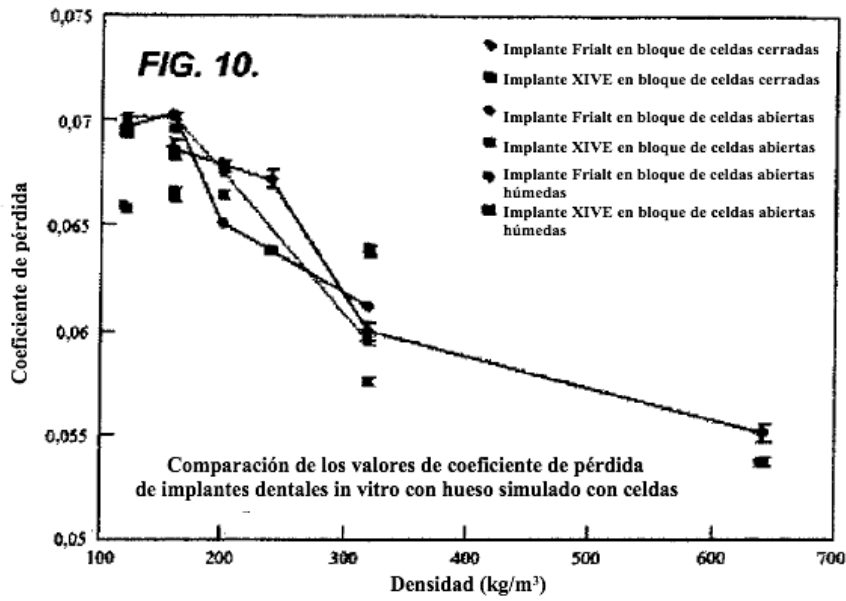


FIG. 9.



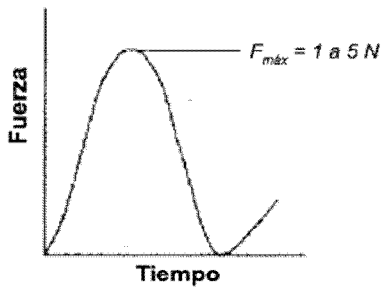


FIG. 12.

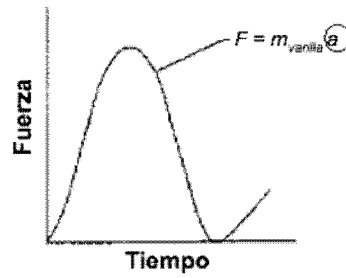
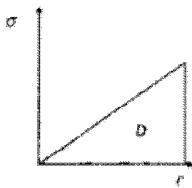


FIG. 13.



$$D = \frac{-\pi \sigma^2}{E_{\text{p\acute{e}rdida}}} = \frac{-\pi F^2}{E_{\text{p\acute{e}rdida}} A_{\text{varilla}}} = \frac{-\pi (m_{\text{varilla}} a)^2}{E_{\text{p\acute{e}rdida}} A_{\text{varilla}}} = -C_1 a^2$$

$E_{\text{p\acute{e}rdida}} \cdot A_{\text{varilla}} \cdot m_{\text{varilla}} \approx \text{constantes}$

$$D_{\text{int}} = D - D_{\text{ext}} \\ \Rightarrow D_{\text{int}} = C_1 a^2 - D_{\text{ext}} = -C_2 - C_1 a^2$$

FIG. 14.

Coefficiente de p\acute{e}rdida:  $\eta = \frac{E_{\text{p\acute{e}rdida}}}{E_{\text{el\acute{a}stica}}} = \frac{D_{\text{int}}}{2\pi U} = -C_2 - C_1 a^2$

FIG. 15.

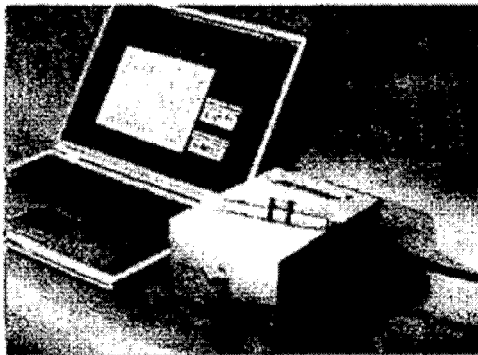


FIG. 16.

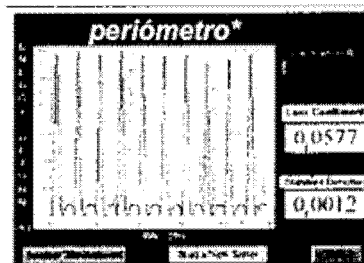


FIG. 16a.



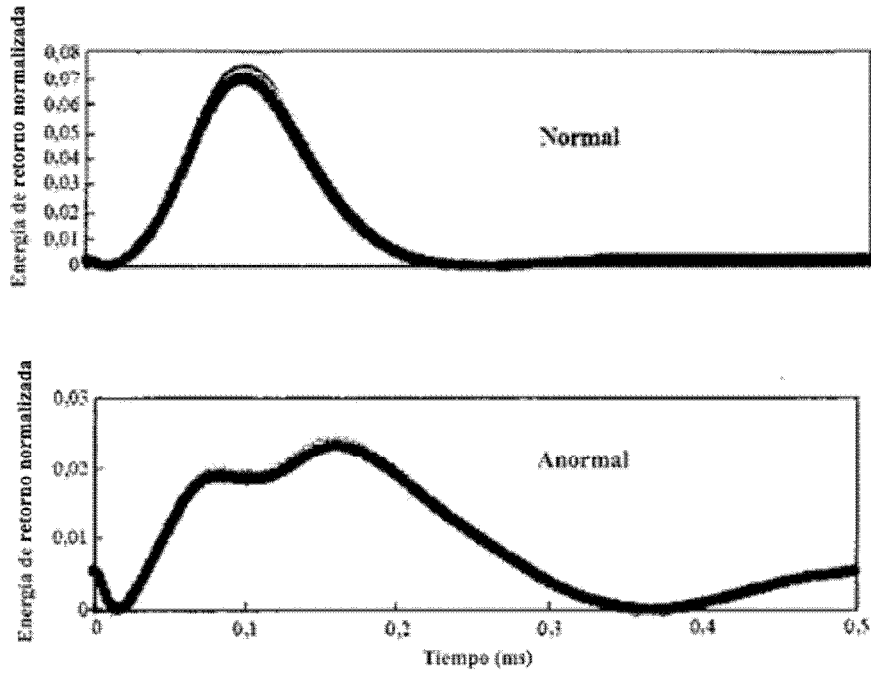


FIG. 16b.



FIG. 17.

FIG. 17a.

FIG. 17b.

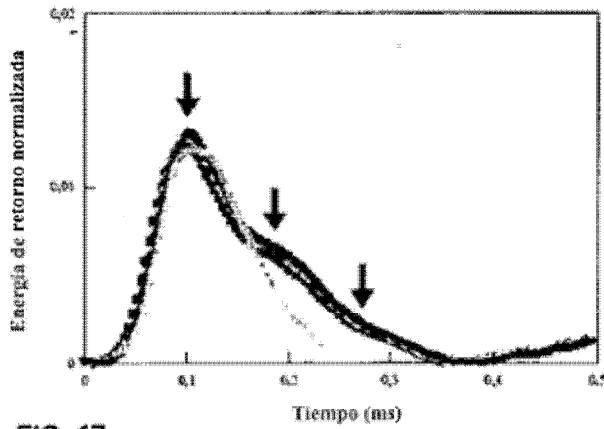


FIG. 17c.



FIG. 17d.

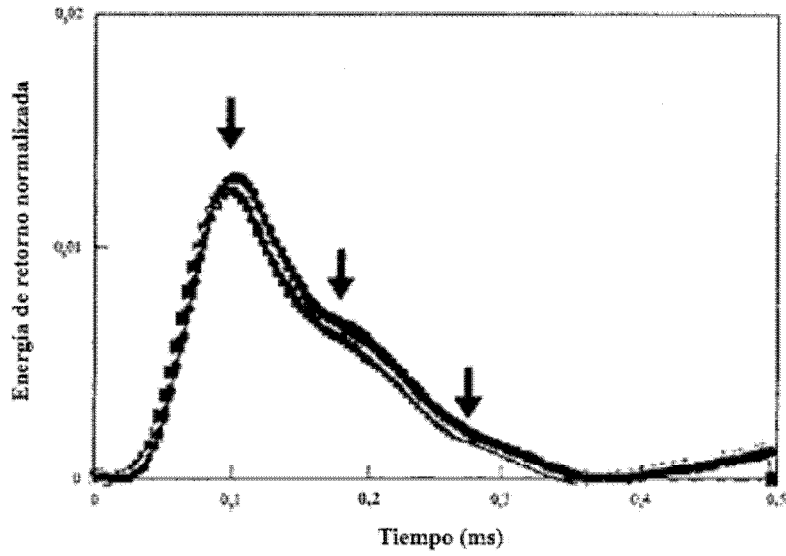


FIG. 17e.

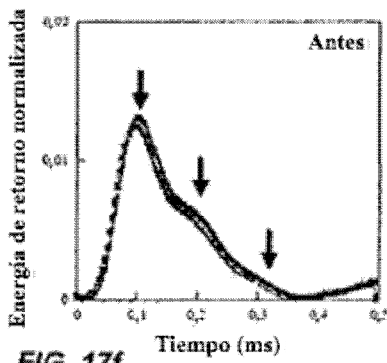


FIG. 17f.

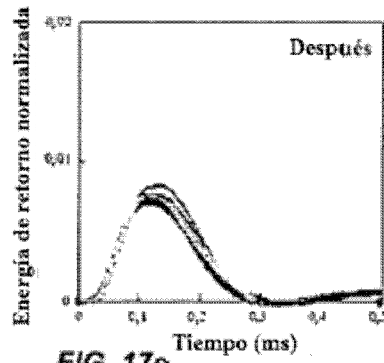


FIG. 17g.

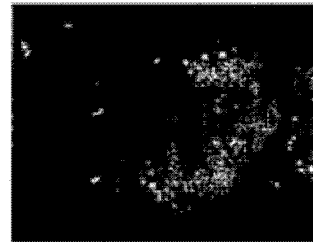


FIG. 17h.

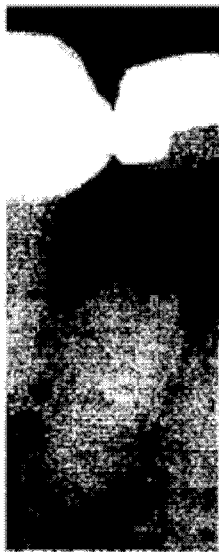


FIG. 18.

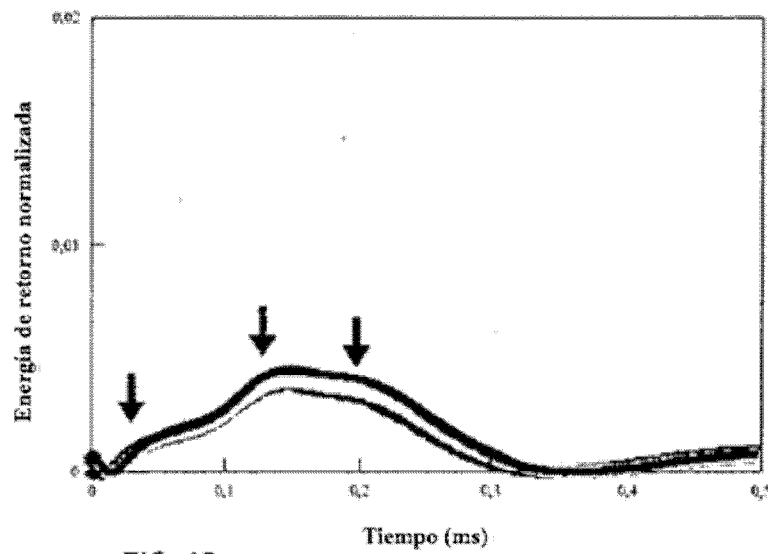


FIG. 18a.



FIG. 18b.

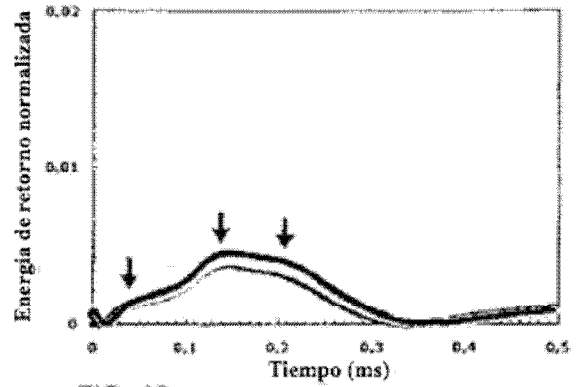


FIG. 18c.

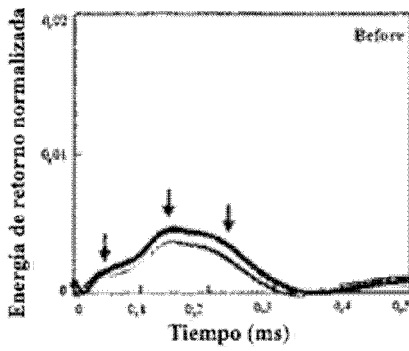


FIG. 18d.

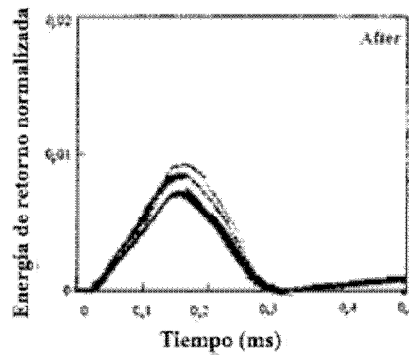


FIG. 18e.

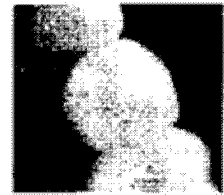


FIG. 18f.

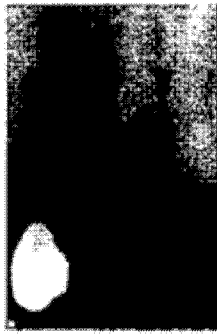


FIG. 19.



FIG. 19a.

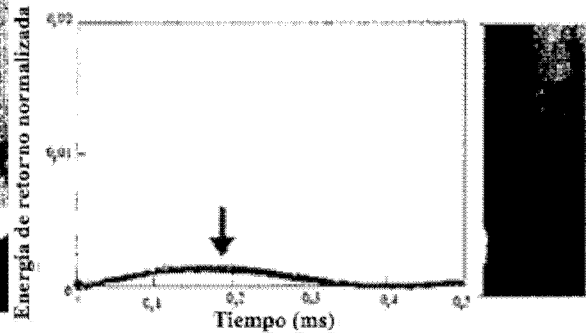


FIG. 19b.

FIG. 19c.

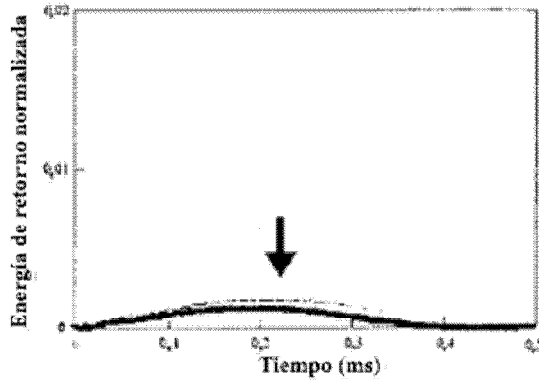


FIG. 19d.

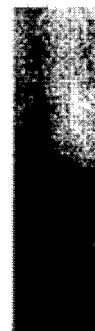


FIG. 19e.

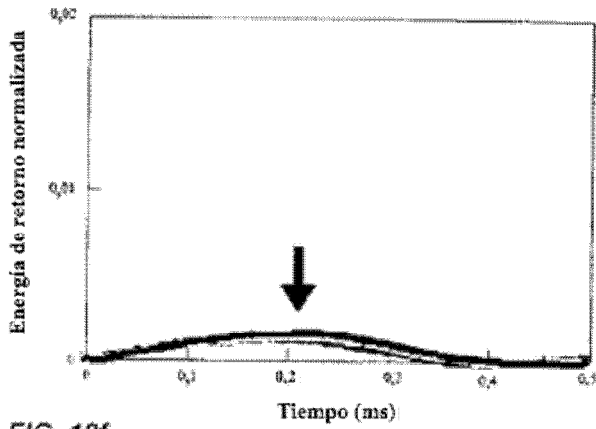


FIG. 19f.



FIG. 19g.

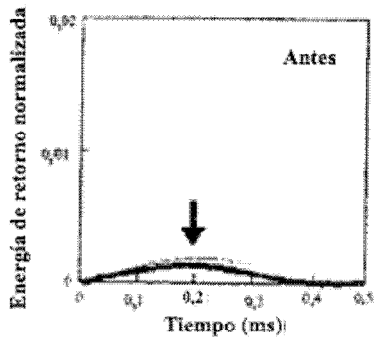


FIG. 20.

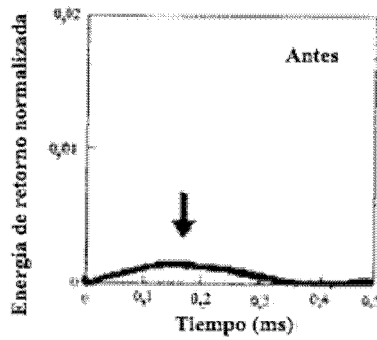


FIG. 20a.

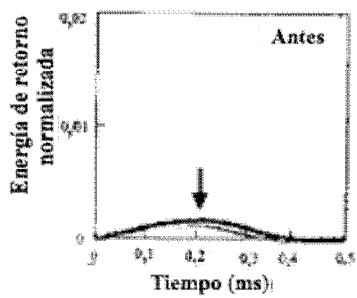


FIG. 20b.

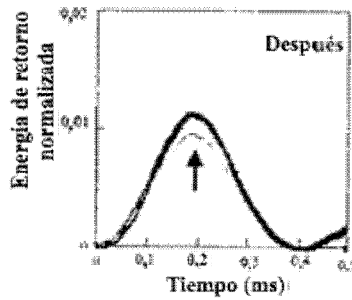


FIG. 20c.

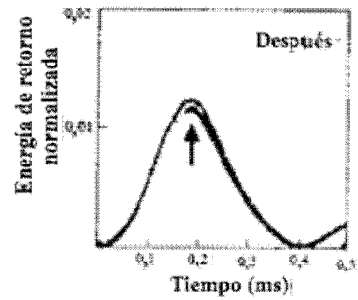


FIG. 20d.

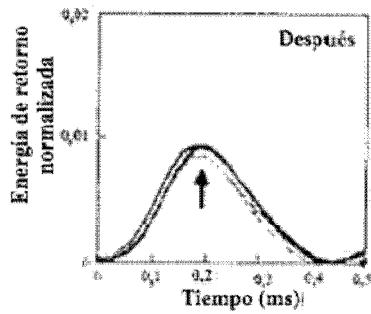


FIG. 20e.



FIG. 20f.

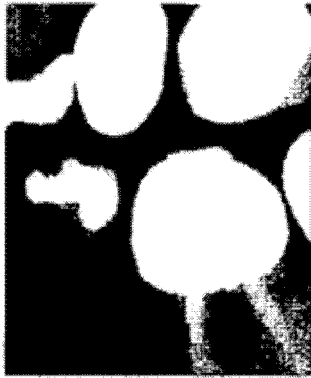


FIG. 21.



FIG. 21a.

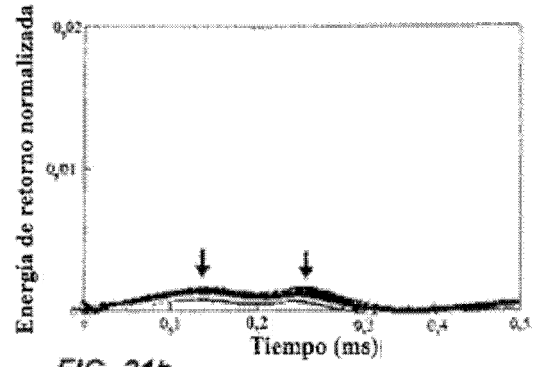


FIG. 21b.

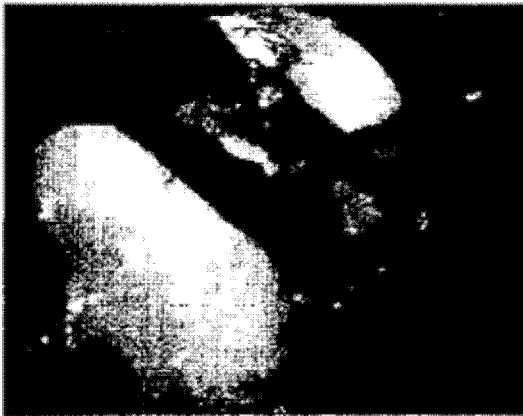


FIG. 22.

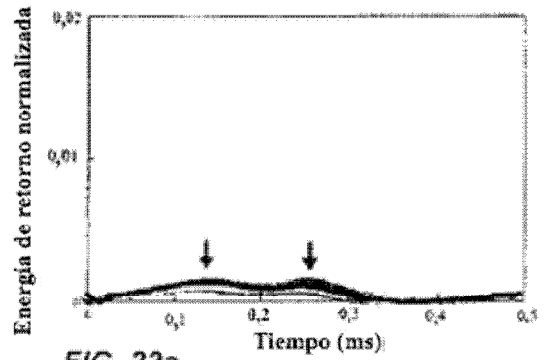


FIG. 22a.

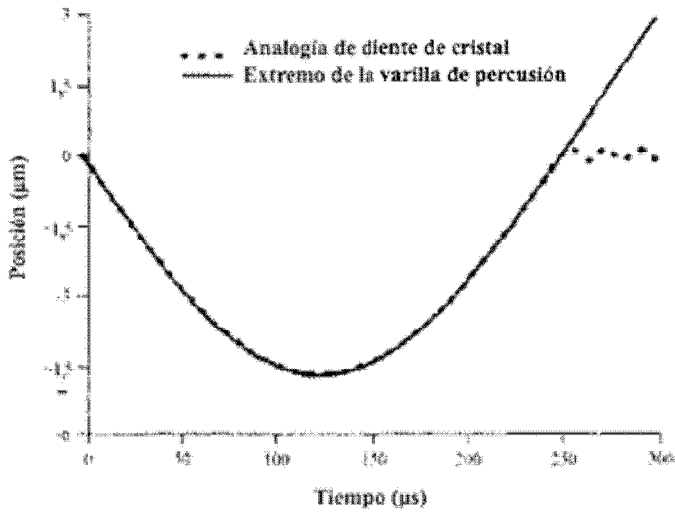


FIG. 23.

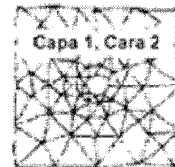


FIG. 24.

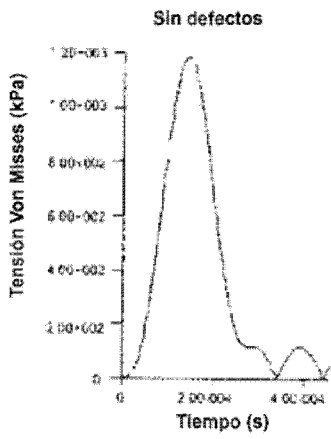


FIG. 24a.



FIG. 24b.

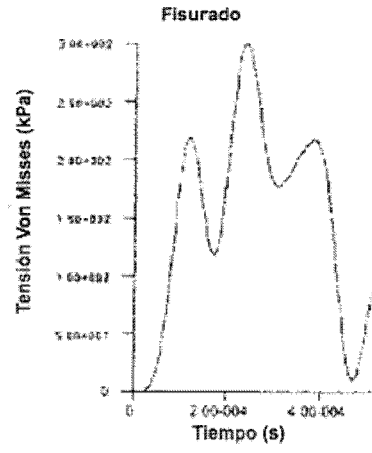


FIG. 24c.

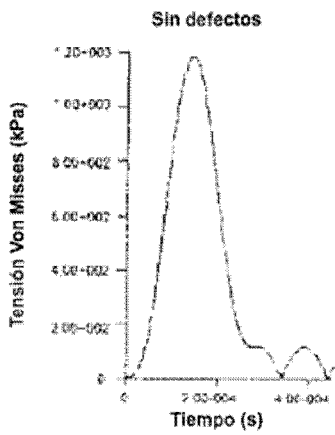


FIG. 25.

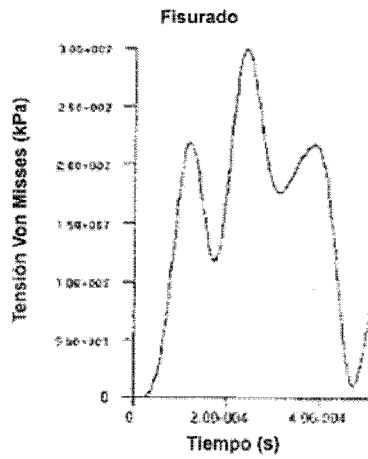


FIG. 25a.

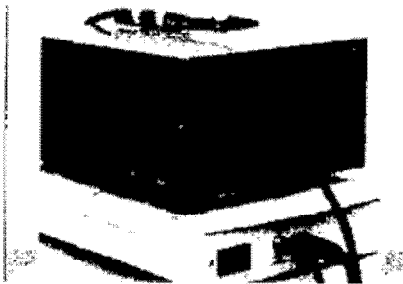


FIG. 26.

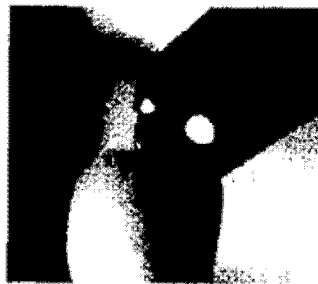


FIG. 26a.

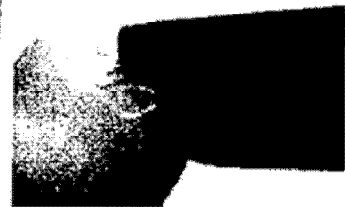


FIG. 26b.

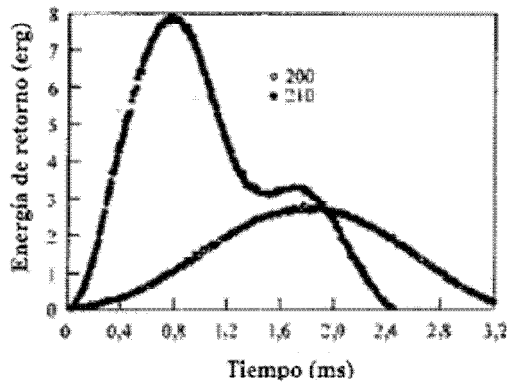


FIG. 27.

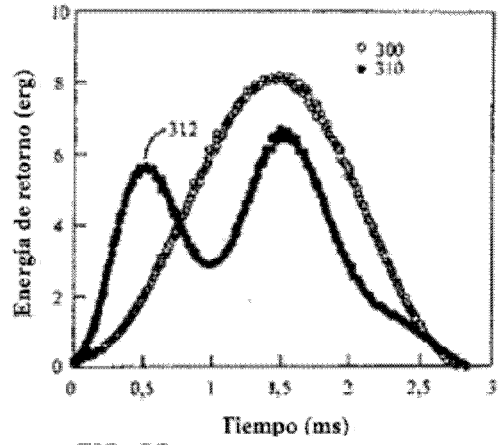


FIG. 28.

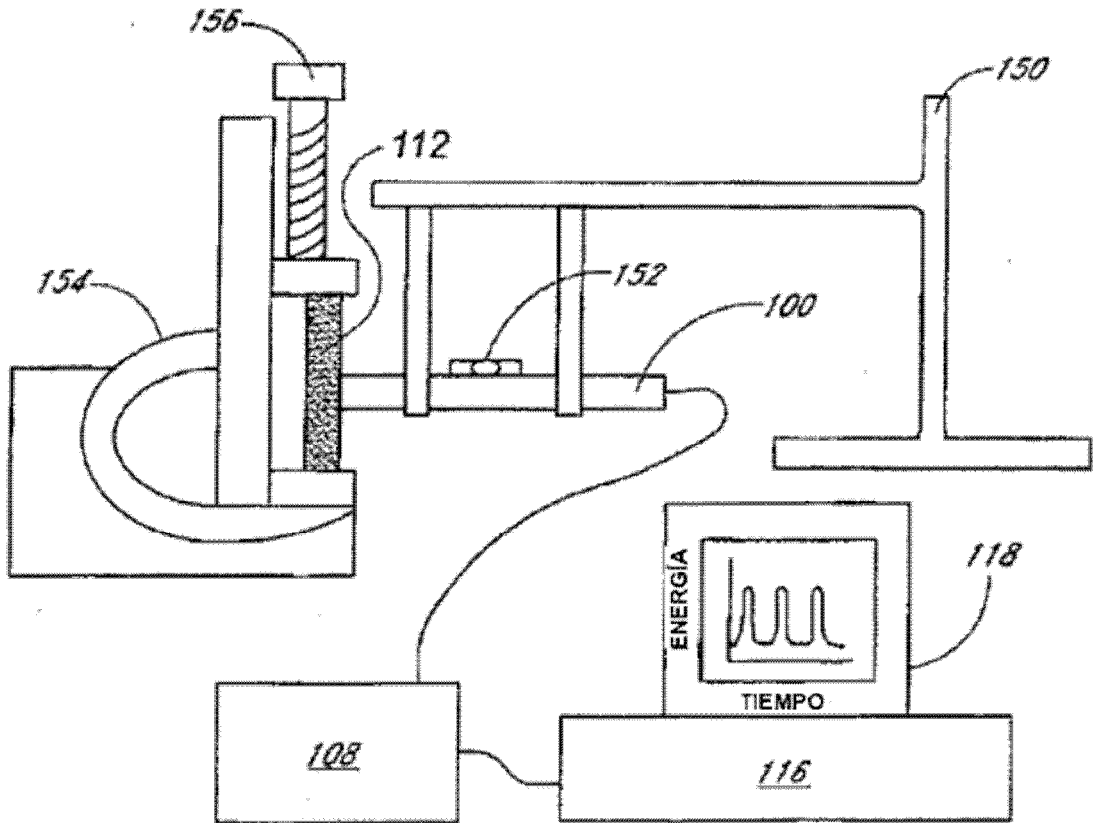


FIG. 29.