

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 913 150**

51 Int. Cl.:

F16B 31/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.07.2017** **PCT/SE2017/050788**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.02.2018** **WO18030942**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.07.2017** **E 17751494 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.03.2022** **EP 3497342**

54 Título: **Pernos inteligentes y métodos de su uso**

30 Prioridad:

08.08.2016 SE 1630186

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

31.05.2022

73 Titular/es:

STRAIN LABS AB (100.0%)
Blasieholmstorg 8
111 48 Stockholm, SE

72 Inventor/es:

MADRU, CSABA y
LILJA, MATTS

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 913 150 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

Pernos inteligentes y métodos de su uso

5 Campo técnico

La presente descripción se refiere a pernos inteligentes que tienen una funcionalidad de detección integrada para medir deformaciones aplicadas en funcionamiento a los pernos inteligentes; los pernos inteligentes son operables para funcionar como elementos de sujeción inteligentes. Además, la presente descripción se refiere a métodos de medición de deformaciones aplicadas a los pernos inteligentes mencionados anteriormente cuando están en funcionamiento. Además, la presente descripción se refiere a métodos de fabricación de los pernos inteligentes mencionados anteriormente.

Antecedentes

Se han empleado remaches y uniones con pernos para unir piezas entre sí durante más de un siglo. Sin embargo, las uniones empernadas proporcionan una ventaja en comparación con los remaches en que pueden aplicarse más rápidamente que los remaches, requieren menos tensión aplicada a las piezas cuando se unen entre sí que los remaches, y pueden ser retiradas posteriormente. Sin embargo, las uniones con pernos requieren que se aplique una precarga a las mismas, especialmente una tensión estática que da lugar a una deformación estática correspondiente, para evitar que las uniones con pernos se suelten en funcionamiento, por ejemplo, como resultado de que las uniones con pernos se expongan a vibración. Cuando las uniones con pernos fallan por un funcionamiento suelto, pueden producirse situaciones potencialmente peligrosas si las partes que las uniones empernadas deben mantener juntas se separan entre sí.

Como se ha mencionado anteriormente, durante el apriete de un perno dado, se aplica una fuerza axial denominada “*precarga*” al perno dado. En otras palabras, “*precarga*” es una fuerza que mantiene unido el perno dado a su tuerca u orificio roscado correspondiente. Si la precarga tiene una magnitud insuficiente, el perno dado y su orificio roscado o no correspondiente se aflojarán y su funcionalidad de sujeción se perderá, especialmente el perno dado fallará en funcionamiento.

La pérdida de dicha precarga es un fenómeno que se encuentra con frecuencia para las uniones empernadas. Las causas de la pérdida permanente de precarga incluyen el aflojamiento, que es el resultado del asentamiento entre las superficies de contacto del perno dado y su correspondiente tuerca u orificio roscado, la relajación importante de las piezas sujetas por el perno dado y su correspondiente tuerca u orificio roscado, y el importante desplazamiento que aparece cuando el perno dado y su tuerca u orificio roscado correspondiente operan a temperaturas elevadas. Otra causa de pérdida permanente de precarga puede incluir autoaflojamiento, resultante, por ejemplo, de las vibraciones y/o cargas dinámicas que hacen que el perno dado y su tuerca u orificio roscado correspondiente giren uno respecto a otro en una dirección de giro de desapriete. La expansión y contracción térmica también son causas de cambio en la precarga antes mencionada, pero normalmente no son permanentes, por ejemplo, cuando el perno dado y su tuerca correspondiente vuelven a su temperatura de funcionamiento habitual.

Debido a lo anterior, es práctica habitual en muchas industrias contemporáneas inspeccionar elementos de sujeción, incluyendo pernos y tuercas, o pernos y orificios roscados correspondientes, de forma periódica, para asegurarse de que no se hayan aflojado. Además, también es conocido emplear características secundarias, por ejemplo, pegamento polimérico aplicado a roscas de pernos o collarines de nylon, para impedir que una tuerca u orificio roscado correspondiente se desprenda totalmente de su perno correspondiente, pero tales enfoques no son satisfactorios para asegurar piezas sujetadas por el perno y su tuerca u orificio roscado que ya no se sujetan firmemente entre, especialmente a temperaturas elevadas en las que el pegamento polimérico o los collarines de nylon se funden o se descomponen.

Los enfoques contemporáneos para abordar un problema de inspección de uniones con pernos para detectar una pérdida de precarga no son satisfactorios. Hay dos métodos conocidos que se emplean para inspeccionar una unión empernada dada. Un primer método incluye llevar a cabo una comprobación de par, en donde se usa una llave dinamométrica para girar un perno y/o tuerca de la unión empernada dada en una dirección de apriete de rotación. Sin embargo, no hay una práctica aceptada escrita o estándar con respecto a cómo realizar tal comprobación de par. Además, una relación entre el par y la precarga depende de un coeficiente de fricción en las roscas del perno y un coeficiente de fricción de las superficies bajo un cabezal del perno y la tuerca u orificio roscado. Después de la instalación de la unión empernada dada, el coeficiente de fricción mencionado anteriormente es, en la práctica, desconocido y es de este modo imposible determinar la precarga del perno con algún grado de precisión. Un segundo método incluye amartillar el perno y, escuchando el sonido obtenido correspondiente, tratar de determinar si la unión empernada está suelta o no, por ejemplo, realizando un análisis de espectro de Fourier del sonido obtenido correspondiente y comparándolo con una plantilla de espectro de Fourier.

Por lo tanto, una pérdida de precarga en una unión empernada es un problema bien conocido, y se aborda actualmente en la mayoría de las industrias llevando a cabo inspecciones periódicas. Estas inspecciones periódicas suelen ser costosas, potencialmente peligrosas, dan lugar a interrupciones y pueden generar fácilmente resultados de inspección cuantificables. Además, debido a la necesidad de herramientas

especializadas para realizar tales inspecciones, el personal especializado y el equipo deben transportarse a lugares de inspección.

En la publicación WO 2015/150544 A2 se describe un perno inteligente que incluye una cavidad de perno en el mismo, en donde se utiliza un láser unido cerca de un cabezal del perno inteligente para interrogar a un extremo inferior de la cavidad del perno que está alejado del cabezal del perno inteligente, en donde un cambio en la distancia entre el extremo inferior de la cavidad del perno y el cabezal del perno varía a medida que el perno se deforma como resultado de que se aplique una tensión longitudinal al perno inteligente, y en donde se mide un cambio en la distancia para proporcionar una medida correspondiente de precarga, en concreto la precarga se determina midiendo un cambio de distancia entre una sonda láser y el extremo inferior de la cavidad del perno.

Aunque el perno inteligente mencionado anteriormente funciona para medir la precarga, y también cambia en la precarga dependiendo del tiempo transcurrido, el perno inteligente es relativamente complejo en su construcción y, por lo tanto, relativamente costoso de fabricar. Dicha complejidad surge, por ejemplo, del láser del perno inteligente que se monta en un extremo superior del perno, en concreto, sustancialmente en el cabezal del perno inteligente, utilizándose un haz de fibras para transportar un haz de láser generado en funcionamiento por el láser hasta el extremo inferior de la cavidad; se requiere un trabajo de montaje manual para conectar las fibras individuales del haz de fibras a una unidad de control en la parte superior del perno inteligente. Además, cuando se modifica un perno sólido estándar para proporcionar la cavidad para el perno inteligente, se requiere un trabajo de mecanizado considerable, que puede consumir mucho tiempo cuando el perno sólido se fabrica a partir de un material duro, por ejemplo, acero inoxidable, Hastelloy-N® o similar.

Por lo tanto, se apreciará de lo anterior que hay necesidad de unos pernos inteligentes mejorados para abordar los inconvenientes mencionados anteriormente de los tipos conocidos de elementos de sujeción.

Sumario

La presente descripción busca proporcionar un perno inteligente mejorado que incluya una región de cabezal acoplada a una región roscada, por ejemplo, a través de una región de cuello no roscada o roscada.

Además, la presente descripción busca proporcionar un método de uso de un perno inteligente que incluye una región de cabezal acoplada a una región roscada, por ejemplo, a través de una región de cuello no roscada o roscada.

Según un primer aspecto, se proporciona un perno inteligente que incluye una región de cabezal acoplada a una región roscada, en donde la región de cabezal incluye una cavidad de perno, en donde una distancia entre la región de cabezal y un extremo inferior de la cavidad de perno cambia en funcionamiento dependiendo de una tensión longitudinal aplicada entre la región roscada y la región de cabezal, y en donde el perno inteligente incluye una disposición de sensor para medir cambios en la distancia entre la región de cabezal y el extremo inferior de la cavidad de perno, caracterizado por que:

la disposición de sensor está montada en la región del cabezal, de forma que la disposición de sensor está referenciada espacialmente con respecto a la región del cabezal; y

un extremo distal de la disposición de sensor está dispuesto adyacente al extremo inferior de la cavidad del perno para definir un hueco (G) entre los mismos, de forma que el hueco (G) varía en tamaño en respuesta a cambios en la posición espacial del extremo inferior de la cavidad del perno en relación con el extremo distal de la disposición de sensor dependiendo de los cambios en una tensión longitudinal aplicada al perno inteligente, en donde la transmisión de radiación interrogación en funcionamiento a través del hueco (G) procedente de una fuente de radiación de interrogación de la disposición del sensor a un sensor de radiación correspondiente de la disposición de sensor genera una señal de medición de tensión desde el sensor de radiación que se procesa dentro de la disposición de sensor para la comunicación inalámbrica desde el perno inteligente.

El perno inteligente es ventajoso porque la medición de la tensión aplicada al perno inteligente empleando la medición de la transmisión de radiación que se produce en funcionamiento a través del hueco (G) permite que el perno inteligente sea fabricado de forma más sencilla y más económica.

Opcionalmente, la cavidad del perno se extiende desde la región de cabezal a la región roscada.

Opcionalmente, la disposición de sensor está montada dentro de un rebaje formado en la región de cabezal, y la cavidad de perno se extiende desde una superficie inferior del rebaje hacia el perno inteligente.

Opcionalmente, la cavidad del perno está conformada simétricamente, en concreto, centralmente, a lo largo de un eje central alargado del perno inteligente. De forma alternativa, la cavidad del perno de forma asimétricamente, especialmente fuera del centro, y un eje alargado de la cavidad del perno es sustancialmente paralelo al eje central alargado del perno

inteligente. Dicha disposición es capaz de medir asimetrías en la precarga aplicada al perno pequeño cuando está en funcionamiento.

Opcionalmente, la disposición de sensor incluye una disposición de suministro de energía y una disposición de procesamiento de datos, en donde la disposición de procesamiento de datos se proporciona en funcionamiento con energía procedente de la disposición de suministro de energía, y en donde la disposición de procesamiento de datos es operable para funcionar en al menos un “estado de suspensión” y un “estado activo”, en donde la disposición de procesamiento de datos es operable para procesar la señal de medición de tensión para generar datos de medición correspondientes y para transmitir los datos de medición de forma inalámbrica desde el perno inteligente cuando está en el “estado activo”, y para conservar energía cuando está en el “estado de suspensión” dejando de enviar transmisiones inalámbricas procedentes del perno inteligente.

Opcionalmente, la disposición de sensor es operable para cambiar entre el “estado de suspensión” y el “estado activo” de forma cíclica, para proporcionar una secuencia temporal de datos de medición de tensión transmitidos de forma inalámbrica desde el perno inteligente.

Opcionalmente, la disposición de sensor está en un estado inicial, y es conmutable para su uso al “estado de suspensión” y/o al “estado activo”.

Opcionalmente, la disposición de sensor consume en el “estado de suspensión” menos del 1 % de la energía consumida por la disposición de sensor en el “estado activo”.

Opcionalmente, la disposición de sensor consume en el “estado de suspensión” menos del 0,1 % de la energía consumida por la disposición de sensor en el “estado activo”.

Opcionalmente, la disposición de sensor es operable para estar temporalmente más del 99 % de su tiempo de funcionamiento en el “estado de suspensión”, con respecto al “estado activo”.

Opcionalmente, la disposición de sensor incluye un reloj digital para definir un período entre repeticiones del “estado activo” empleado.

Opcionalmente, la disposición de sensor incluye una disposición de suministro de energía que incluye una batería.

Opcionalmente, la disposición de suministro de energía incluye además una disposición de captación de energía para captar energía procedente de un entorno externo para el perno inteligente, en donde la disposición de captación de energía incluye al menos uno de: colector solar, un cargador inductivo resonante, un cargador de energía inalámbrico que incluye una disposición de transformador de aumento de voltaje.

Opcionalmente, la disposición de sensor incluye una disposición de antena que está dispuesta en una superficie expuesta superior de la disposición de sensor cuando se monta dentro de la región de cabezal.

Opcionalmente, la disposición de sensor se ejecuta como un componente unitario que se instala mediante la inserción de al menos una parte de la disposición de sensor en la cavidad del perno.

Opcionalmente, la disposición de sensor es operable para ejecutar una comunicación inalámbrica de la señal de medición de tensión procesada se implementa en una forma entre pares (P2P), y que la disposición de sensor es operable para funcionar como un nodo de comunicación entre pares (P2P) para retransmitir transmisiones entre pares (P2P).

Opcionalmente, el perno inteligente tiene su región de cabezal y su región roscada fabricada a partir de al menos uno de: un metal, una aleación metálica, un material de polvo de metal sinterizado, un material cerámico, un material plástico, un material polimérico, un material amorfo.

Opcionalmente, el perno inteligente está dispuesto para ser operable en un entorno acuático, y para transmitir su señal de medición procesada a través de una ruta de comunicación conductora externa al perno inteligente utilizando un acoplamiento capacitivo de su señal de medición procesada desde la disposición del sensor a la ruta de comunicación conductora.

Opcionalmente, la disposición de sensor está encapsulada en material plástico polimérico, y está fijada dentro del perno inteligente utilizando adhesivo.

Opcionalmente, la disposición de sensor comprende además:

la fuente de radiación de interrogación para iluminar el extremo inferior de la cavidad del perno;

el sensor de radiación para recibir radiación devuelta desde el extremo inferior de la cavidad del perno para medir una elongación del perno inteligente;

una disposición de procesamiento de datos para recibir la señal de medición procedente del sensor de radiación, en donde la disposición de procesamiento de datos está provista de una funcionalidad de comunicación inalámbrica que emplea un microcontrolador de baja potencia con una funcionalidad de comunicación inalámbrica integrada; y

la disposición de suministro de energía, para proporcionar energía eléctrica de funcionamiento para la disposición de procesamiento de datos y la fuente de radiación de interrogación, comprende además al menos uno de: una pluralidad de condensadores, una pluralidad de baterías no recargables, una pluralidad de baterías recargables, una pluralidad de células solares, una pluralidad de disposiciones de acoplamiento de potencia inductivas resonantes para proporcionar potencia al perno inteligente.

Opcionalmente, la funcionalidad de comunicación inalámbrica integrada se proporciona utilizando Bluetooth®.

Opcionalmente, la fuente de radiación (200A) de interrogación comprende además al menos uno de un láser de estado sólido, un diodo emisor de luz y una fuente de radiación de nanohilo.

Opcionalmente, la disposición de procesamiento de datos está configurada para:

procesar la señal de medición utilizando una medición diferencial de radiación desde la fuente de radiación (200A) de interrogación utilizando un primer elemento y un segundo elemento, en donde el primer elemento proporciona una medida de magnitud de radiación desde la fuente de radiación (200A) de interrogación, y los segundos elementos proporcionan una medida de radiación desde la fuente de radiación (200A) de interrogación transmitida a través del hueco (G); y

procesar la señal de medición mediante linealización de resultados de medición utilizando al menos uno de un algoritmo de spline.

Opcionalmente, el perno inteligente se acopla de forma comunicativa a al menos un dispositivo remoto a través de una red de comunicación, y en donde el perno inteligente es operable para transmitir datos pertenecientes al mismo, a dicho al menos un dispositivo remoto, en donde los datos pertenecientes al perno inteligente comprenden al menos uno de: (i) la señal de medición de tensión, (ii) la señal de medición de tensión procesada, (ii) el estado operativo del perno inteligente, en donde además el al menos un dispositivo remoto es operable para procesar los datos pertenecientes al perno inteligente, para monitorizar y/o controlar el perno inteligente.

Opcionalmente, el al menos un dispositivo remoto es operable para almacenar los datos relacionados con el perno inteligente.

Opcionalmente, el al menos un dispositivo remoto se selecciona de un grupo que consiste en: un dispositivo informático, un servidor, una base de datos, un dispositivo de Internet of Things (Internet de las Cosas - IoT), una unidad de Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable - PLC).

Opcionalmente, la disposición de sensor puede montarse en una cavidad de perno de un perno inteligente que incluye una región de cabezal acoplada a una región roscada, en donde una distancia entre la región de cabezal y un extremo inferior de la cavidad del perno cambia en funcionamiento dependiendo de la tensión longitudinal aplicada entre la región roscada y la región de cabezal, y en donde la disposición de sensor es operable para medir cambios en la distancia entre la región de cabezal y el extremo inferior de la cavidad del perno, en donde:

la disposición de sensor puede montarse en la región de cabezal de forma que la disposición de sensor esté referenciada espacialmente con respecto a la región de cabezal; y

puede montarse una disposición de sensor de modo que el extremo distal de la disposición de sensor esté dispuesto adyacente al extremo inferior de la cavidad del perno de forma que los cambios en la posición espacial del extremo inferior de la cavidad del perno en relación con el extremo distal de la disposición de sensor se produzcan dependiendo de los cambios en la tensión longitudinal aplicada al perno inteligente para definir un hueco cuyo tamaño varía según los cambios en la tensión longitudinal, en donde la disposición de sensor es operable para proporcionar la transmisión de radiación en funcionamiento a través del hueco desde una fuente de radiación de interrogación de la disposición de sensor a un sensor de radiación correspondiente de la disposición de sensor para generar una señal de medición de tensión desde el sensor de radiación, que es procesable dentro de la disposición de sensor para la comunicación inalámbrica desde el perno inteligente.

Según un segundo aspecto, se proporciona un método de uso de un perno inteligente que incluye una región de cabezal acoplada a una región roscada, en donde la región de cabezal incluye una cavidad de perno, en donde una distancia entre la región de cabezal y un extremo inferior de la cavidad de perno cambia en funcionamiento dependiendo de una tensión longitudinal aplicada entre la región roscada y la región de cabezal, y en donde el

perno inteligente incluye una disposición de sensor para medir cambios en la distancia entre la región de cabezal y el extremo inferior de la cavidad de perno, caracterizado por que el método incluye:

disponer la disposición de sensor que va a montarse en la región de cabezal de forma que la disposición de sensor esté referenciada espacialmente con respecto a la región de cabezal; y

disponer un extremo distal de la disposición de sensor que se disponga adyacente al extremo inferior de la cavidad del perno para definir un hueco (G) entre los mismos, de modo que un tamaño del hueco (G) cambia en respuesta a cambios en la posición espacial del extremo inferior de la cavidad del perno con respecto al extremo distal de la disposición de sensor que se produce dependiendo de los cambios de tensión longitudinal aplicada al perno inteligente, en donde la transmisión de radiación de interrogación en funcionamiento a través del hueco (G) desde una fuente de radiación de interrogación de la disposición de sensor a un sensor de radiación correspondiente de la disposición de sensor genera una señal de medición de tensión procedente del sensor inteligente que se procesa dentro de la disposición de sensor para la comunicación inalámbrica desde el perno inteligente.

Se apreciará que las características de la invención pueden combinarse en diversas combinaciones sin abandonar el ámbito de la invención definido por las reivindicaciones adjuntas.

Las realizaciones de la presente descripción eliminan sustancialmente, o al menos abordan parcialmente, los problemas mencionados anteriormente en la técnica anterior, y permiten la inspección automática y la notificación de su estado operativo, en particular, una medición de la precarga del perno inteligente.

Breve descripción de los dibujos

El sumario anterior, así como la siguiente descripción detallada de realizaciones ilustrativas, se comprende mejor al leerlo junto con los dibujos anexos. Para ilustrar la presente descripción, se muestran estructuras ilustrativas de la descripción en los dibujos. Sin embargo, la presente descripción no se limita a métodos e instrumentales específicos descritos en la presente memoria. Además, los expertos en la técnica entenderán que los dibujos no están a escala. En la medida de lo posible, los elementos similares se han indicado con números idénticos.

A continuación se describirán realizaciones de la presente invención, a modo de ejemplo únicamente, con referencia a los siguientes diagramas, en donde:

La Fig. 1 es una ilustración de un perno inteligente según una realización de la presente descripción;

la Fig. 2 es una ilustración de una disposición de sensor de un perno inteligente, según una realización de la presente descripción;

la Fig. 3 es una ilustración de una placa de circuito impreso antes de su inserción en una cuna, según una realización de la presente descripción;

la Fig. 4 muestra una vista lateral de un blanco, para insertar de forma deslizante sobre y extremo de un receptáculo, según una realización de la presente descripción;

las Figs. 5 y 6 ilustran la operación de un perno inteligente, según una realización de la presente descripción;

la Fig. 7 es una ilustración de un perno inteligente y partes diferentes de una disposición de sensor del perno inteligente, no según la invención.

la Fig. 8 es un sistema de comunicación ilustrativo que incluye uno o más enrutadores dispuestos espacialmente cerca de un conjunto de perno, según una realización de la presente descripción;

la Fig. 9 es un entorno ilustrativo donde otra realización de la presente descripción es operable para funcionar;

la Fig. 10 es un entorno ilustrativo donde todavía otra realización de la presente descripción es operable para funcionar;

la Fig. 11 es un entorno ilustrativo donde otra realización adicional de la presente descripción es operable para funcionar; y

las Figs. 12, 13 y 14 ilustran ejecuciones ilustrativas de un perno inteligente en comunicación con al menos un dispositivo remoto, según diversas realizaciones de la presente descripción.

En los dibujos adjuntos, se emplea un número subrayado para representar un elemento sobre el que se coloca el número subrayado o un elemento al que está adyacente el número subrayado. Un número no subrayado se refiere a un elemento identificado por una línea que vincula el número no subrayado al elemento. Cuando un

número no está subrayado y está acompañado por una flecha asociada, el número no subrayado se utiliza para identificar un elemento general al que la flecha apunta.

Descripción detallada de las realizaciones

La siguiente descripción detallada ilustra realizaciones de la presente descripción y formas en las que pueden implementarse. Aunque se han descrito algunos modos de realización de la presente descripción, los expertos en la técnica reconocerán que también son posibles otras realizaciones para llevar a cabo o poner en práctica la presente descripción.

En un aspecto, se proporciona un perno inteligente que incluye una región de cabezal acoplada a una región roscada, en donde la región de cabezal incluye una cavidad de perno, en donde una distancia entre la región de cabezal y un extremo inferior de la cavidad de perno cambia en funcionamiento dependiendo de una tensión longitudinal aplicada entre la región roscada y la región de cabezal, y en donde el perno inteligente incluye una disposición de sensor para medir cambios en la distancia entre la región de cabezal y el extremo inferior de la cavidad de perno, caracterizado por que:

la disposición de sensor está montada en la región del cabezal, de forma que la disposición de sensor está referenciada espacialmente con respecto a la región del cabezal; y

un extremo distal de la disposición de sensor está dispuesto adyacente al extremo inferior de la cavidad del perno para definir un hueco (G) entre los mismos, de forma que el hueco (G) varía en tamaño en respuesta a cambios en la posición espacial del extremo inferior de la cavidad del perno en relación con el extremo distal de la disposición de sensor dependiendo de los cambios en una tensión longitudinal aplicada al perno inteligente, en donde la transmisión de radiación interrogación en funcionamiento a través del hueco (G) procedente de una fuente de radiación de interrogación de la disposición del sensor a un sensor de radiación correspondiente de la disposición de sensor genera una señal de medición de tensión desde el sensor de radiación que se procesa dentro de la disposición de sensor para la comunicación inalámbrica desde el perno inteligente.

El perno inteligente es ventajoso porque la medición de la tensión aplicada al perno inteligente empleando la medición de la transmisión de radiación que se produce en funcionamiento a través del hueco (G) permite que el perno inteligente sea fabricado de forma más sencilla y más económica.

Opcionalmente, para el perno inteligente, la cavidad del perno se extiende desde la región de cabezal a la región roscada.

Opcionalmente, para el perno inteligente, la disposición de sensor está montada dentro de un rebaje de la región del cabezal, y la cavidad del perno se extiende desde una superficie inferior del rebaje hacia el perno inteligente.

Opcionalmente, para el perno inteligente, la disposición de sensor incluye una disposición de suministro de energía y una disposición de procesamiento de datos, en donde la disposición de procesamiento de datos se proporciona en funcionamiento con energía procedente de la disposición de suministro de energía, y en donde la disposición de procesamiento de datos es operable para funcionar en al menos un "estado de suspensión" y un "estado activo", en donde la disposición de procesamiento de datos es operable para procesar la señal de medición de tensión para generar datos de medición correspondientes y para transmitir los datos de medición de forma inalámbrica desde el perno inteligente cuando está en el "estado activo", y para conservar energía cuando está en el "estado de suspensión" dejando de enviar transmisiones inalámbricas desde el perno inteligente.

Más opcionalmente, para el perno inteligente, la disposición de sensor es operable para cambiar entre el "estado de suspensión" y el "estado activo" de forma cíclica, para proporcionar una secuencia temporal de datos de medición de tensión transmitidos de forma inalámbrica desde el perno inteligente.

Más opcionalmente, para el perno inteligente, la disposición de sensor está en un estado inicial, y es conmutable para su uso en el "estado de suspensión" y/o el "estado activo".

Más opcionalmente, para el perno inteligente, la disposición de sensor consume en el "estado de suspensión" menos del 1 % de la energía consumida por la disposición de sensor en el "estado activo".

Más opcionalmente, para el perno inteligente, la disposición de sensor consume en el "estado de suspensión" menos del 0,1 % de la energía consumida por la disposición del sensor en el "estado activo".

Más opcionalmente, para el perno inteligente, la disposición de sensor es operable para estar temporalmente más del 99 % de su tiempo de funcionamiento en el "estado de suspensión", en relación con el "estado activo".

Más opcionalmente, para el perno inteligente, la disposición de sensor incluye un reloj digital para definir un período entre repeticiones del "estado activo" que se emplea.

Opcionalmente, para el perno inteligente, la disposición de sensor incluye una disposición de suministro de energía que incluye una batería.

5 Más opcionalmente, para el perno inteligente, la disposición de suministro de energía incluye además una disposición de captación de energía para captar energía de un entorno externo al perno inteligente, en donde la disposición de captación de energía incluye al menos uno de: un colector solar, un cargador inductivo resonante, un cargador de energía inalámbrico que incluye una disposición de transformador de aumento de voltaje.

10 Opcionalmente, para el perno inteligente, la disposición de sensor incluye una disposición de antena que está dispuesta en una superficie expuesta superior de la disposición de sensor cuando se monta dentro de la región de cabezal.

Opcionalmente, para el perno inteligente, la disposición de sensor se ejecuta como un componente unitario que se instala mediante la inserción de al menos una parte de la disposición de sensor en la cavidad del perno.

15 Opcionalmente, para el perno inteligente, la disposición de sensor es operable para ejecutar la comunicación inalámbrica de la señal de medición de tensión procesada en una forma entre pares (P2P), y la disposición de sensor es operable para funcionar como un nodo de comunicación entre pares (P2P) para retransmitir transmisiones entre pares (P2P).

20 Opcionalmente, el perno inteligente tiene su región de cabezal y su región roscada fabricada a partir de al menos uno de: un metal, una aleación metálica, un material de polvo de metal sinterizado, un material cerámico, un material plástico, un material polimérico, un material amorfo.

25 Opcionalmente, el perno inteligente está dispuesto para ser operable en un entorno acuático, y para transmitir su señal de medición procesada a través de una ruta de comunicación conductora externa al perno inteligente utilizando un acoplamiento capacitivo de su señal de medición procesada desde la disposición del sensor a la ruta de comunicación conductora.

30 Opcionalmente, para el perno inteligente, la disposición de sensor se encapsula en un material plástico polimérico, y se fija dentro del perno inteligente utilizando adhesivo.

Opcionalmente, para el perno inteligente, la disposición de sensor comprende además:

35 la fuente de radiación de interrogación para iluminar el extremo inferior de la cavidad del perno;

el sensor de radiación para recibir radiación devuelta desde el extremo inferior de la cavidad del perno para medir una elongación del perno inteligente;

40 una disposición de procesamiento de datos para recibir la señal de medición del sensor de radiación, en donde la disposición de procesamiento de datos está provista de una funcionalidad de comunicación inalámbrica empleando un microcontrolador de baja potencia con una funcionalidad de comunicación inalámbrica integrada; y

45 la disposición de suministro de energía, para proporcionar energía eléctrica operativa para la disposición de procesamiento de datos y la fuente de radiación de interrogación, además comprende al menos uno de: una pluralidad de condensadores, una pluralidad de baterías no recargables, una pluralidad de baterías recargables, una pluralidad de células solares, una pluralidad de disposiciones de acoplamiento de potencia inductivas resonantes para proporcionar potencia al perno inteligente.

50 Opcionalmente, para el perno inteligente, la funcionalidad de comunicación inalámbrica integrada se proporciona mediante el uso de un protocolo de comunicación inalámbrica de campo cercano, por ejemplo, utilizando Bluetooth®.

55 Opcionalmente, para el perno inteligente, la fuente de radiación de interrogación comprende además al menos uno de un láser de estado sólido, un diodo emisor de luz y una fuente de radiación de nanohilo. Otras fuentes de radiación de interrogación son factibles, por ejemplo, fuentes luminiscentes, fuentes incandescentes y similares.

Opcionalmente, para el perno inteligente, la disposición de procesamiento de datos está configurada para:

60 procesar la señal de medición utilizando una medición diferencial de radiación desde la fuente de radiación de interrogación utilizando un primer elemento y un segundo elemento, en donde el primer elemento proporciona una medida de magnitud de radiación desde la fuente de radiación de interrogación, y los segundos elementos proporcionan una medida de radiación desde la fuente de radiación de interrogación transmitida a través del hueco (G); y

65 procesar la señal de medición mediante linealización de resultados de medición utilizando un algoritmo polinomial, por ejemplo, un algoritmo de spline.

Opcionalmente, el perno inteligente se acopla de forma comunicativa a al menos un dispositivo remoto a través de una red de comunicación, y en donde el perno inteligente es operable para transmitir datos pertenecientes al mismo, a dicho al menos un dispositivo remoto, en donde los datos pertenecientes al perno inteligente comprenden al menos uno de: (i) la señal de medición de tensión, (ii) la señal de medición de tensión procesada, (ii) el estado operativo del perno inteligente, en donde además el al menos un dispositivo remoto es operable para procesar los datos pertenecientes al perno inteligente, para monitorizar y/o controlar el perno inteligente.

Opcionalmente, el al menos un dispositivo remoto es operable para almacenar los datos pertenecientes al perno inteligente.

Opcionalmente, el al menos un dispositivo remoto se selecciona de un grupo que consiste en: un dispositivo informático, un servidor, una base de datos, un dispositivo de Internet of Things (Internet de las Cosas - IoT), una unidad de Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable - PLC).

En otro aspecto, se proporciona un método de uso de un perno inteligente que incluye una región de cabezal acoplada a una región roscada, en donde la región de cabezal incluye una cavidad de perno, en donde una distancia entre la región de cabezal y un extremo inferior de la cavidad de perno cambia en funcionamiento dependiendo de una tensión longitudinal aplicada entre la región roscada y la región del cabezal, y en donde el perno inteligente incluye una disposición de sensor para medir cambios en la distancia entre la región de cabezal y el extremo inferior de la cavidad de perno, caracterizado por que el método incluye:

disponer la disposición de sensor que va a montarse en la región de cabezal de forma que la disposición de sensor esté referenciada espacialmente con respecto a la región de cabezal; y

disponer un extremo distal de la disposición de sensor que se dispondrá adyacente al extremo inferior de la cavidad del perno para definir un hueco (G) entre los mismos, de forma que un tamaño del hueco (G) cambia en respuesta a cambios en la posición espacial del extremo inferior de la cavidad del perno con respecto al extremo distal de la disposición de sensor que se produce dependiendo de los cambios en la tensión longitudinal aplicada al perno inteligente, en donde la transmisión de radiación de interrogación en funcionamiento a través del hueco (G) desde una fuente de radiación de interrogación de la disposición de sensor a un sensor de radiación correspondiente de la disposición de sensor genera una señal de medición de tensión del sensor inteligente que se procesa dentro de la disposición de sensor para la comunicación inalámbrica desde el perno inteligente.

Las realizaciones de la presente descripción buscan proporcionar un perno inteligente, que pueda fabricarse en grandes volúmenes a un coste relativamente más bajo, especialmente como un “producto de volumen” que no requiera alta precisión durante la fabricación. En una realización, los términos “perno” o “tornillo” u otros términos relacionados pueden utilizarse indistintamente y no limitan necesariamente el ámbito de la presente descripción.

Además, el perno inteligente incluye una región de cabezal acoplada a una región roscada. En una realización, el perno inteligente tiene su región de cabezal y su región roscada fabricada a partir de al menos uno de: un metal, una aleación metálica, un material de polvo de metal sinterizado, un material cerámico, un material polimérico (por ejemplo, PEEK), un material amorfo (por ejemplo, un material similar a vidrio amorfo).

La región del cabezal incluye una cavidad de perno del perno inteligente. En una realización, la cavidad de perno se extiende desde la región del cabezal hasta la región roscada. Además, una distancia entre la región de cabezal y un extremo inferior de la cavidad de perno puede cambiar en funcionamiento dependiendo de la tensión longitudinal aplicada entre la región roscada y la región del cabezal del perno inteligente. En una realización, el perno inteligente incluye la región de cabezal, por ejemplo, con superficies de acoplamiento dispuestas hexagonalmente para recibir una llave dinamométrica, y una región roscada. En la región del cabezal, se proporciona un rebaje para alojar la disposición de sensor mencionada anteriormente. Además, la cavidad del perno puede extenderse desde un fondo del rebaje hasta aproximadamente la mitad de la región roscada.

Además, la cavidad del perno puede estar dispuesta a lo largo de un eje central alargado del perno inteligente, pero no necesariamente es así; por ejemplo, la cavidad del perno está opcionalmente fuera del eje, en vez de estar en el eje, lo que permite medir asimetrías en la precarga aplicada. Por ejemplo, cuando el perno inteligente es de tamaño relativamente grande, por ejemplo M24 o mayor, los pernos inteligentes incluyen una pluralidad de cavidades de perno, en donde cada cavidad está provista de su propia disposición de sensor para medir la deformación; tal pluralidad de cavidades de perno permite medir asimetrías precargadas, y también medirlas centralmente a lo largo de un eje central alargado del perno inteligente. Además, el uso de una pluralidad de cavidades de perno, cada una con su propia disposición de sensor correspondiente para medir la deformación, proporciona un alto grado de fiabilidad de operación, porque, en caso de que una cavidad de perno se vuelva inoperativa, por ejemplo, debido a un fallo de su disposición de sensor, otra de las cavidades del perno y su disposición de sensor asociada podrá continuar proporcionando mediciones, como se ha descrito anteriormente. Opcionalmente, en un caso de una de la pluralidad de cavidades de perno y su disposición de sensor asociada, la deformación asociada con la cavidad del perno fallido puede extrapolarse mediante el cálculo de la tensión en las otras cavidades operativas del perno de la pluralidad de cavidades de perno. La cavidad del

perno tiene una influencia relativamente pequeña sobre la robustez y la resistencia mecánica del perno inteligente en comparación con un perno convencional correspondiente de material similar al perno inteligente, pero desprovisto de la cavidad del perno en el mismo. Opcionalmente, el perno inteligente puede ejecutarse como un perno M10, o de un tamaño mayor que M10, en aleación de acero inoxidable, material de polvo de metal sinterizado o material cerámico duro, o incluso un material polimérico tal como PEEK. En un ejemplo, la cavidad del perno puede tener una longitud longitudinal de aproximadamente doce milímetros y un diámetro de aproximadamente cinco milímetros. De forma ventajosa, el rebaje y la cavidad del perno pueden conformarse con bordes achaflanados, para evitar proporcionar cualquier punto de elevación de tensión que pueda dar lugar a una fractura prematura del perno inteligente cuando se tensiona en funcionamiento.

Para hacer que la conformación de la cavidad del perno sea lo más fácil y económica posible, es ventajoso que se utilice una conformación en frío de una pieza bruta de perno cuando se fabrica el perno inteligente. Sin embargo, la cavidad del perno debe sobresalir de forma ventajosa hacia un vástago del perno inteligente donde se produce la deformación cuando el perno inteligente está sujeto a una tensión longitudinal a lo largo de su eje alargado. Una resistencia mecánica del perno inteligente viene determinada por la parte roscada. En una realización ilustrativa, el perno inteligente incluye una región de cuello que corresponde a una parte no roscada del vástago del perno inteligente, por ejemplo; sin embargo, para ciertos pernos, el vástago también está provisto de una rosca. En una realización, el vástago sigue siendo más fuerte que la parte roscada. Además, el rebaje en la región de cabezal del perno inteligente puede no afectar sustancialmente a la resistencia de la región del cabezal.

En una realización, la región roscada es operable para acoplarse con una tuerca o un orificio roscado, por ejemplo, un orificio roscado en una placa de metal, cuando se utiliza el perno inteligente para sujetar piezas entre sí. Los expertos en la técnica apreciarán que los términos “tuerca” u “orificio roscado” u otros términos relacionados pueden utilizarse indistintamente y no limitan el ámbito de la presente descripción.

Además, el perno inteligente incluye una disposición de sensor configurada para medir cambios en la distancia entre la región de cabezal y el extremo inferior de la cavidad de perno. En una realización, la disposición de sensor está montada en la región de cabezal de forma que la disposición de sensor está referenciada espacialmente con respecto a la región de cabezal. En una realización, un extremo distal de la disposición de sensor puede estar dispuesto adyacente al extremo inferior de la cavidad del perno de forma que los cambios en la posición espacial del extremo inferior de la cavidad del perno con respecto al extremo distal de la disposición de sensor se producen dependiendo de los cambios de tensión longitudinal aplicada al perno inteligente para definir un hueco “G” cuyo tamaño puede variar según los cambios en la tensión longitudinal.

En una realización, la disposición de sensor incluye además una fuente de radiación de interrogación y un sensor de radiación correspondiente. Además, una transmisión de radiación de interrogación en funcionamiento a través del hueco “G” desde la fuente de radiación de interrogación de la disposición del sensor al sensor de radiación correspondiente de la disposición de sensor puede generar una señal de medición de tensión procedente del sensor de radiación que se procesa dentro de la disposición de sensor para la comunicación inalámbrica desde el perno inteligente.

En una realización, la disposición de sensor puede ejecutarse como una sola unidad y es operable para interrogar a una cavidad de perno que se forma previamente en el perno inteligente. Por ejemplo, cuando el perno inteligente se forja inicialmente o se mecaniza durante la fabricación. En una realización, la disposición de sensor se empuja hacia la cavidad del perno durante la fabricación. Además, la disposición de sensor se diseña de forma ventajosa para poder asumir variaciones relativamente grandes en dimensiones espaciales de la cavidad del perno, de modo que un diseño de disposición de sensor puede emplearse dentro de un intervalo de tamaños de pernos inteligentes, por ejemplo, de tamaños M8 a M30.

En una realización, la disposición de sensor se monta en la región de cabezal del perno inteligente de forma que la disposición de sensor está referenciada espacialmente con respecto a la región de cabezal. De forma alternativa, la disposición de sensor puede estar montada dentro de un rebaje formado en la región del cabezal, y la cavidad del perno puede extenderse desde una superficie inferior del rebaje hacia el perno inteligente.

En una realización, la disposición de sensor incluye una disposición de antena dispuesta en una superficie expuesta superior de la disposición de sensor cuando se monta dentro de la región de cabezal.

Además, la disposición de sensor puede ejecutarse como un componente unitario que puede instalarse mediante la inserción de al menos una parte de la disposición de sensor en la cavidad del perno. Además, la disposición de sensor está configurada para determinar una precarga en el perno inteligente, y para comunicar inalámbricamente los datos de medición detectados a una base de datos. La base de datos puede estar espacialmente alejada del perno inteligente, por ejemplo, la comunicación de los datos de medición detectados a la base de datos puede hacerse mediante el uso de GSM, Wi-Fi u otras redes inalámbricas. Además, en una realización, la base de datos está presente en un dispositivo informático, tal como un ordenador, situado lejos del perno inteligente. Opcionalmente, cuando una pluralidad de los pernos inteligentes están montados de forma espacialmente adyacente entre sí, los pernos inteligentes son operables para transmitir sus datos de medición detectados desde un perno inteligente hasta otro en

una forma de comunicación entre pares ("P2P"). De forma alternativa o adicional, cuando se montan múltiples pernos inteligentes o se disponen de forma espacialmente mutua, entonces los pernos inteligentes son operables para transmitir sus datos de medición detectados en una forma de comunicación Ethernet. De forma alternativa, los pernos inteligentes pueden transmitir sus datos de forma inalámbrica en un canal de comunicación que sea común al mismo; opcionalmente, en un caso en el que dos o más pernos inteligentes transmiten simultáneamente sus datos de medición detectados, dicha transmisión simultánea se detecta y se hacen uno o más intentos adicionales para retransmitir los datos de medición detectados después de un período de espera. El período de espera puede ser un período de espera predefinido, por ejemplo, aunque no de forma limitativa, 5 segundos, 10 segundos, 20 segundos, 1 minuto, 30 minutos, etc. La forma de comunicación Ethernet es muy relevante para la operación submarina, donde los pernos inteligentes se sellan contra la entrada de agua salada, y se proporciona una vía de comunicación a través de un conductor, por ejemplo, un cable flexible recubierto de polímero o una pista conductora plana, que se enruta muy cerca de los cabezales de cada uno de los pernos inteligentes para permitir el acoplamiento capacitivo inalámbrico de señales desde las disposiciones de sensor de los pernos inteligentes al cable flexible recubierto de polímero o a la pista conductora plana, y *viceversa*, si es necesario; el cable flexible revestido con polímero o la pista conductora plana se enruta a un receptor de datos que es operable para recibir los datos de medición detectados desde los pernos inteligentes y el relé, o comunicar además de otro modo, los datos a una base de datos. Opcionalmente, el cable flexible revestido con polímero o la pista conductora plana están dispuestos para encajar a presión, por ejemplo, un encaje por ajuste a presión, sobre los cabezales de los pernos inteligentes, para permitir la instalación rápida de los pernos inteligentes que se conseguirá por ejemplo, mediante buzos que operan en un entorno submarino, por ejemplo, en una instalación de exploración y/o producción de petróleo en el mar. Opcionalmente, la potencia de funcionamiento para los pernos inteligentes, o al menos para cargar baterías y/o condensadores de los pernos inteligentes, también se proporciona a través del cable flexible recubierto de polímero o de la pista conductora plana mediante una señal alterna (AC) de forma capacitiva (es decir, electrostáticamente a través del establecimiento de un campo eléctrico) que tiene un espectro de frecuencia que es distinto al de las señales de medición emitidas por los pernos inteligentes que son indicativos de la deformación medida y, por lo tanto, de la tensión medida. Aún De forma alternativa, el cable flexible revestido con polímero o la pista conductora plana se energizan periódicamente con una señal alterna (CA) que carga la batería y/o el condensador del perno inteligente. El perno inteligente comunica sus datos de medición de deformación en períodos "silenciosos" durante los cuales la señal alterna (CA) no está presente.

En una realización, está prevista la disposición de sensor para su instalación en la cavidad del perno formada en el interior de, por ejemplo, tipos estándar producidos de forma masiva de pernos/tornillos o pasadores. En una realización, la disposición de sensor incluye una fuente de radiación de interrogación, un sensor, una disposición de procesamiento de datos y una disposición de suministro de energía.

La fuente de radiación de interrogación está configurada para emplear radiación de interrogación. Los ejemplos de la fuente de radiación de interrogación pueden incluir, aunque no de forma limitativa, un láser de estado sólido, un diodo emisor de luz, un diodo emisor de luz orgánico, una fuente de radiación de nanohilo (de resonancia de plasmón) (en donde la luz puede emitirse por resonancia de plasmón en nanohilos cuando una corriente eléctrica fluye a través de la misma, hasta una eficiencia cuántica que puede aproximarse al 50 %) o similar. Además, la radiación de interrogación puede ser empleada por la fuente para iluminar el extremo inferior de la cavidad del perno.

En una realización, el sensor de la disposición del sensor está configurado para recibir radiación devuelta desde el extremo inferior de la cavidad del perno para medir una elongación del perno inteligente. En un ejemplo, una magnitud de la radiación recibida devuelta procedente del extremo inferior de la cavidad del perno diversas a medida que el perno inteligente puede sufrir una deformación como resultado de la tensión longitudinal que se aplica al mismo.

Opcionalmente, el perno inteligente se acopla de forma comunicativa a al menos un dispositivo remoto a través de una red de comunicación, y en donde el perno inteligente es operable para transmitir datos pertenecientes al mismo, a dicho al menos un dispositivo remoto, en donde los datos pertenecientes al perno inteligente comprenden al menos uno de: (i) la señal de medición de tensión, (ii) la señal de medición de tensión procesada, (ii) el estado operativo del perno inteligente, en donde además el al menos un dispositivo remoto es operable para procesar los datos pertenecientes al perno inteligente, para monitorizar y/o controlar el perno inteligente. En tal caso, la red de comunicación permite la transmisión de los datos pertenecientes al perno inteligente, entre el perno inteligente y el al menos un dispositivo remoto.

Además, opcionalmente, el al menos un dispositivo remoto es operable para almacenar los datos pertenecientes al perno inteligente. En tal caso, el al menos un dispositivo remoto puede almacenar los datos pertenecientes al perno inteligente en al menos una unidad de memoria asociada con el al menos un dispositivo remoto.

Opcionalmente, la red de comunicación es una red de comunicación inalámbrica. De forma alternativa, opcionalmente, la red de comunicación es una red de comunicación por cable. En una realización, la red de comunicación para acoplar de forma comunicativa el perno inteligente y el al menos un dispositivo remoto incluye, aunque no de forma limitativa, internet TCP/IP, Wi-Fi, red celular, red de radio, Bluetooth®, LoRa™, LoRaWAN™, Controller Area Network (Red de Área de Controlador - CAN), Local Interconnected Network (Red de Interconexión

Local - LIN). Se apreciará que para facilitar la comunicación entre los mismos, tanto el perno inteligente como el al menos un dispositivo remoto comprenden módulos de comunicación que son compatibles entre sí, al tiempo que también son compatibles con la red de comunicación. Además, opcionalmente, la red de comunicación es bidireccional. Por lo tanto, la red de comunicación permite la comunicación desde el perno inteligente hasta el al menos un dispositivo remoto, y desde el al menos un dispositivo remoto al perno inteligente.

Opcionalmente, la disposición de sensor comprende el módulo de comunicación del perno inteligente. En tal caso, la disposición de sensor del perno inteligente es operable para transmitir los datos pertenecientes al perno inteligente, a dicho al menos un dispositivo remoto. Opcionalmente, la disposición de procesamiento de datos comprende el módulo de comunicación del perno inteligente. En tal caso, la disposición de procesamiento de datos del perno inteligente es operable para transmitir los datos pertenecientes al perno inteligente, a dicho al menos un dispositivo remoto. Como un ejemplo, la disposición de procesamiento de datos puede incluir componentes de comunicación inalámbricos para implementar el módulo de comunicación del perno inteligente.

Como se ha mencionado anteriormente, opcionalmente, los datos pertenecientes al perno inteligente comprenden al menos uno de: (i) la señal de medición de tensión procesada, (ii) el estado operativo del perno inteligente. Opcionalmente, en este sentido, el estado operativo del perno inteligente comprende al menos uno de: la precarga en el perno inteligente, la temperatura del perno inteligente, el tiempo de funcionamiento del perno inteligente, la posición del perno inteligente, la referencia de ID del perno inteligente, el tipo de perno inteligente, el estado de la batería del perno inteligente, el estado del perno inteligente, el intervalo de inspección del perno inteligente.

Además, opcionalmente, el al menos un dispositivo remoto se selecciona de un grupo que consiste en: un dispositivo informático, un servidor, una base de datos, un dispositivo de Internet of Things (Internet de las Cosas - IoT), una unidad de Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable - PLC).

Además, opcionalmente, el perno inteligente se acopla de forma comunicable a dicho al menos un dispositivo remoto a través de al menos un dispositivo de red. Ejemplos de tales dispositivos de red incluyen, aunque no de forma limitativa, un enrutador, una tarjeta de concentrador, una puerta de enlace. En tal caso, los datos pertenecientes al perno inteligente se transmiten a dicho al menos un dispositivo de red, donde dichos datos se transmiten a dicho al menos un dispositivo remoto. Opcionalmente, los datos pertenecientes al perno inteligente son procesados por el al menos un dispositivo de red y, a continuación, se transmiten a dicho al menos un dispositivo remoto.

Además, opcionalmente, el al menos un dispositivo remoto se acopla de forma comunicable a un dispositivo asociado a un usuario final del perno inteligente. En tal caso, el usuario puede utilizar el dispositivo para acceder a dicho al menos un dispositivo remoto, para controlar el perno inteligente. Dicho dispositivo asociado con el usuario final del perno inteligente también puede denominarse "dispositivo de usuario". Ejemplos del dispositivo incluyen, aunque no de forma limitativa, un ordenador de sobremesa, un ordenador portátil, una tableta y un teléfono inteligente.

En una ejecución ilustrativa, el perno inteligente se acopla de forma comunicativa a un servidor (por ejemplo, tal como un servidor en la nube) a través de Internet. En tal ejecución, la disposición de sensor del perno inteligente es operable para transmitir la señal de medición de tensión al servidor en la nube. Además, opcionalmente, la disposición de sensor se acopla de forma comunicable al servidor en la nube a través de dispositivos de red, tales como un enrutador y una tarjeta de concentrador asociada con el enrutador. Por lo tanto, en tal ejecución, la disposición de sensor transmite la señal de medición de tensión al enrutador, donde la señal de medición de tensión se transmite al servidor en la nube. En el servidor en la nube, la señal de medición de tensión puede procesarse, interpretarse, visualizarse, documentarse y almacenarse. Por lo tanto, el servidor en la nube controla el perno inteligente. Además, opcionalmente, un usuario final del perno inteligente puede utilizar un dispositivo de usuario (tal como por ejemplo un ordenador de sobremesa, un ordenador portátil, un teléfono inteligente, y similares) para acceder al servidor en la nube para controlar el perno inteligente.

En otra ejecución ilustrativa, el perno inteligente se acopla de forma comunicativa a una unidad de Programmable Logic Controller (controlador lógico programable - PLC) a través de una tarjeta de concentrador. En tal ejecución, la disposición de sensor del perno inteligente transmite datos relacionados con el perno inteligente a la tarjeta de concentrador. La tarjeta de concentrador procesa opcionalmente los datos pertenecientes al perno inteligente convirtiéndolos en una señal de medición de tensión en una medida de fuerza. A continuación, la medición de fuerza es transmitida a la unidad de Programmable Logic Controller (controlador lógico programable - PLC) por la tarjeta de concentrador.

En otra ejecución ilustrativa adicional, el perno inteligente se acopla de forma comunicativa a una pluralidad de dispositivos informáticos a través de una Controller Area Network (red de área de controlador - CAN) o un sistema de Local Interconnected Network (red interconectada local - LIN). En tal ejecución, el perno inteligente se acopla de forma comunicable a la pluralidad de dispositivos informáticos a través de una tarjeta de concentrador. Por lo tanto, como ejemplo, la disposición de sensor del perno inteligente transmite los datos pertenecientes al perno inteligente a la tarjeta de

concentrador, en donde dichos datos comprenden una señal de medición de tensión y un estado operativo del perno inteligente. Además, la tarjeta de concentrador es operable para convertir la señal de medición de tensión en una medida de fuerza. A continuación, la medición de fuerza y el estado operativo del perno inteligente son transmitidos por la tarjeta de concentrador a la pluralidad de dispositivos informáticos. En una realización, la disposición de procesamiento de datos está configurada para recibir una señal de medición desde el sensor de radiación y para energizar la fuente de radiación de interrogación. Además, la disposición de procesamiento de datos puede estar provista de una funcionalidad de comunicación inalámbrica, por ejemplo, empleando un microcontrolador de baja potencia con un Bluetooth® incorporado, LoRa™, LoRaWAN™ o una funcionalidad de comunicación inalámbrica similar. El LoRa™ es una solución inalámbrica bidireccional que complementa una infraestructura celular de máquina a máquina (M2M). LoRa™ puede conectar un dispositivo móvil alimentado por batería a una infraestructura de red. LoRa™ también puede conectar un dispositivo móvil alimentado por batería a una infraestructura de red. LoRaWAN™ es una red de área amplia de baja potencia destinada a objetos operados inalámbricamente en redes regionales, nacionales y globales. La arquitectura de red se tiende de forma típica en un dispositivo final a una puerta de enlace a una configuración del servidor de red. LoRa™ es ideal para sensores accionados por batería tal como Internet de las Cosas y M2M.

En una realización, un perno prisionero es una sujeción sin cabezal roscado externamente. Además, medir la precarga por elongación en el perno prisionero es difícil ya que la elongación depende de la longitud del calibración. Para el perno prisionero, una longitud de calibración puede variar dependiendo de la posición de la tuerca. En este caso, el sensor y la longitud de calibración están aislados de la parte no roscada del perno prisionero. De ese modo, la longitud de calibración siempre es la misma y la posición de la tuerca no afecta a la elongación.

En una realización, la disposición de procesamiento de datos está configurada para procesar la señal de medición utilizando la medición diferencial de luz utilizando un primer elemento y un segundo elemento. En otra realización, la disposición de procesamiento de datos se configura para procesar la señal de medición mediante linealización de resultados de medición utilizando un algoritmo adecuado, tal como, aunque no de forma limitativa, un algoritmo polinomial, un algoritmo de spline, una conversión de tabla de búsqueda.

En una realización, la disposición de suministro de energía está configurada para proporcionar energía eléctrica de funcionamiento para la disposición de procesamiento de datos y para la fuente de radiación de interrogación. La disposición de suministro de energía incluye al menos uno de: condensadores (por ejemplo, supercondensadores), baterías no recargables, baterías recargables, células solares (por ejemplo, película solar, colector solar, células solares fotovoltaicas de semiconductores, células solares de tinte orgánico), disposiciones de acoplamiento de potencia inductiva resonante para proporcionar energía al perno inteligente, un cargador de energía inalámbrica que incluye una disposición de transformador de aumento de tensión, o cualquier otra disposición de captación de energía y una combinación de estas. Opcionalmente, la disposición del transformador de aumento de voltaje se ejecuta como un dispositivo piezoeléctrico resonante (PZT), por ejemplo, fabricado a partir de titanato zirconato de plomo polarizado. Las disposiciones de captación de energía incluyen, por ejemplo, la recepción de señales electromagnéticas moduladas inalámbricas que son interceptadas por una antena para generar una señal demodulada correspondiente que se emplea para accionar un transformador de aumento de voltaje piezoeléctrico resonante, cuya salida está rectificada para proporcionar energía de funcionamiento al perno inteligente, por ejemplo, con un potencial de varios voltios.

Además, la disposición de sensor puede estar montada de forma ventajosa dentro de un receptáculo y estar encapsulada en un material plástico protector duradero que pueda soportar la exposición a la luz UV, la exposición a vibraciones, impactos, choques, sustancias corrosivas, humedad y magnetismo. De este modo, la disposición de sensor se ejecuta de forma beneficiosa como una pieza unitaria que es práctica desde un punto de vista logístico, y fácil de instalar durante la fabricación, renovación y/o reparación. Incluso los usuarios finales del perno inteligente pueden instalar la disposición de sensor después de recibir un entrenamiento sencillo.

En una realización, la disposición de sensor también incluye un blanco para el montaje en la parte inferior de la cavidad del perno; por ejemplo, el blanco se ajusta a presión o queda retenido de forma adhesiva en la parte inferior de la cavidad del perno. Además, la disposición del sensor puede ser operable para interrogar al blanco cuando se mide la distancia entre la región de cabezal y el extremo inferior de la cavidad del perno.

En una realización, la disposición de sensor está alojada dentro del receptáculo mencionado anteriormente que tiene una parte superior que está alojada en el rebaje y una parte inferior que se aloja dentro de la cavidad del perno. La parte superior puede ejecutarse como un componente plano con un borde periférico redondo. Además, la parte inferior está dispuesta con su eje alargado de forma sustancialmente ortogonal a un plano de la parte superior, como se ilustra, y se une a la parte superior sustancialmente en un centro de la parte superior. La parte superior y la parte inferior del receptáculo de material plástico son de forma ventajosa de un componente moldeado integral de material plástico, por ejemplo, nylon, polietileno, polipropileno o similar; opcionalmente, se emplea PEEK para fabricar el receptáculo de material plástico para aplicaciones de alta demanda. Un ejemplo de las aplicaciones de alta demanda incluyen, aunque no de forma limitativa, situaciones en las que se requiere que el perno inteligente funcione durante un largo período a temperatura elevada o alta, por ejemplo, 200 grados Celsius (200 °C).

En una realización, una parte superior del receptáculo de material plástico incluye una batería, por ejemplo, ejecutada como una celda de botón redonda en forma de disco. Opcionalmente, en una superficie expuesta superior de la batería, se monta una película solar o una célula fotovoltaica solar, que es operable para convertir la luz solar o una radiación electromagnética similar en una corriente de carga para cargar la batería, cuando se implementa como una batería recargable.

En una realización, la disposición de sensor incluye una antena de parche que rodea al menos una parte de la batería para proporcionar transmisión inalámbrica de señales, y opcionalmente transmisión inalámbrica de señales. Opcionalmente, la disposición de sensor está encapsulada en una capa de material plástico protector, como se ha mencionado anteriormente, por ejemplo, una resina sustancialmente ópticamente transparente o un material flexible sustancialmente ópticamente transparente, tal como caucho de silicona. El caucho de silicona es ventajoso en que puede formularse para soportar temperaturas sostenidas que se acercan a 250 grados Celsius (200 °C) durante períodos prolongados.

En una realización, la disposición de sensor se programa de forma remota.

En una realización, la disposición de sensor también incluye un sensor montado en el extremo de una placa de circuito, tal como la placa de circuitos de plástico, lejos de la disposición de antena. El sensor incluye un transmisor a la derecha del eje geométrico del receptáculo de material plástico. El sensor también incluye un receptor a la izquierda del eje geométrico del receptáculo de material plástico. El receptáculo de material plástico también incluye un receptor de referencia/calibración en el lado superior del transmisor. El componente de referencia, es decir, el receptor de referencia, se utiliza para medir la luz transmitida sin un hueco para calibrar el sensor con intervalos de tiempo determinados o en cada secuencia de medición. La placa de circuitos de plástico está integrada en el receptáculo de material plástico de modo que el transmisor de sensor y el receptor se encuentra sustancialmente en la superficie inferior del receptáculo de material plástico.

En algunas realizaciones se proporcionan uno o más orificios de acceso para el acoplado eléctrico a la disposición de sensor, por ejemplo, para uno o más de: para fines de prueba, para fines de reprogramación, para fines de activación de la disposición de sensor.

Por ejemplo, en una realización se establece un condensador como un supercondensador de película, y se incluye opcionalmente en una cara inferior de la batería, especialmente en una cara opuesta a una cara expuesta de la batería sobre la que se monta la película solar. Además, el condensador es capaz de contemplar aumentos de consumo de energía del perno inteligente cuando está en funcionamiento. Por ejemplo, el condensador puede contemplar aumentos del consumo de energía cuando se transmiten de forma inalámbrica sus datos de medición detectados cuando la disposición del sensor está en el “estado activo”. Además, los condensadores pueden almacenar energía, por ejemplo, durante un período relativamente más largo, por ejemplo, días o incluso semanas.

En una realización, la parte inferior de la disposición de sensor incluye una disposición de procesamiento de datos que incluye, aunque no de forma limitativa, una disposición de procesamiento de datos, una memoria de datos, componentes de comunicación inalámbrica y un reloj. La disposición de procesamiento de datos también puede incluir otros tipos de sensores, por ejemplo, un sensor de temperatura. La disposición de procesamiento de datos se ejecuta opcionalmente como parte de un application specific integrated circuit (circuito integrado específico de aplicación - ASIC) diseñado de forma personalizada o utilizando un ordenador procesador de datos estándar; por ejemplo, opcionalmente se emplea un procesador de micropotencia, con funcionalidad Bluetooth® integrada, funcionalidad de reloj, funcionalidad en modo inactivo, analog-to-digital converter (convertidor analógico-digital - ADC) y salida de voltaje de referencia. La disposición de procesamiento de datos se ejecuta de forma ventajosa utilizando una placa de circuito impreso alargada cuyo plano dentro de la disposición de sensor está dispuesto de forma sustancialmente ortogonal con respecto a un plano de la batería, como se ilustra. Opcionalmente, la disposición de procesamiento de datos no se proporciona inicialmente con software cargado en su disposición de procesamiento de datos en un proceso de fabricación inicial cuando se produce el perno inteligente, y el software específico de cliente se aplica posteriormente, por ejemplo, a través de uno o más orificios de acceso y/o mediante descarga inalámbrica de software personalizado. Opcionalmente, la disposición de sensor se ejecuta utilizando componentes electrónicos semiconductores de carburo de silicio, para permitir que el perno inteligente funcione en entornos de alta radiación, por ejemplo, en un aparato para poner en marcha reactores nucleares, para operar en entornos después de que se haya producido un accidente nuclear y similar.

En un extremo distal de la parte inferior de la disposición de sensor, alejado de la parte superior, se incluye un sensor de radiación para detectar la elongación de deformación del perno inteligente cuando se aplica tensión al mismo en funcionamiento. En el sensor de radiación se incluye una fuente de radiación de interrogación, por ejemplo, como se ha descrito anteriormente, por ejemplo, una fuente de luz láser de estado sólido, un LED, un OLED, una fuente de luz de resonancia de plasmón o similar. La fuente de radiación de interrogación puede montarse en un primer lado de un elemento de montaje, por ejemplo, una placa de circuito o similar. El sensor de radiación, tal como un detector de luz, por ejemplo, un detector de luz de fotodiodo, está incluido en un segundo lado del elemento de montaje. El sensor de radiación puede incluir dos elementos de sensor, especialmente un primer elemento para recibir directamente una parte de la radiación de interrogación emitida desde la fuente de radiación, y un segundo elemento para recibir una parte de la interrogación emitida desde la fuente de radiación de interrogación que llega a un extremo inferior del elemento de montaje.

y se transmite a través de un hueco “G” formado entre el extremo inferior del elemento de montaje en una superficie del extremo inferior de la cavidad del perno. Como se ha mencionado anteriormente, el hueco “G” varía dependiendo de la deformación experimentada en el funcionamiento por el perno inteligente, especialmente medido utilizando el segundo elemento, mientras que la parte recibida directamente en el primer elemento proporciona una medida de salida de luz desde la fuente de radiación de interrogación; dichas dos mediciones permiten aplicar una corrección, por ejemplo, en la disposición de procesamiento de datos del perno inteligente, para compensar variaciones temporales en la salida de radiación desde la fuente de iluminación, por ejemplo, debido al envejecimiento de la fuente de radiación de interrogación, o debido a cambios en su salida de radiación de interrogación dependiendo de la temperatura de funcionamiento del perno inteligente.

Además, el hueco “G” varía en tamaño cuando el perno inteligente está en funcionamiento dependiendo de la tensión aplicada al perno inteligente. En funcionamiento, la parte superior de la disposición del sensor se fija a la región de cabezal del perno inteligente, y el extremo distal de la parte inferior es libre para moverse con relación a la superficie del extremo inferior de la cavidad del perno. Además, los cambios relativos en la señal de salida del primer y segundo elementos de sensor de radiación pueden permitir determinar una medida del hueco “G”, y los errores de escala debidos a cambios en las características de salida de luz de la fuente de radiación a determinar.

La ecuación 1 (Ec. 1) define una relación aproximada entre un tamaño del hueco “G” a una tensión de salida “ V_{E1} ” del primer elemento y de una tensión de salida “ V_{E2} ” del segundo elemento, en donde “ V_{E0} ” es una constante de desplazamiento,

y k es una constante de escala:

$$G = \frac{K(V_{E2} - V_{E0})}{V_{E1}} \quad \text{Eq. 1}$$

La ecuación 2 (Ec. 2) define una relación aproximada entre un tamaño del hueco “G”, una tensión S_A aplicada al perno inteligente y una tensión de desplazamiento “ S_0 ”:

$$G = \frac{(S_A - S_0)}{E} \quad \text{Eq. 2}$$

Opcionalmente, la disposición de procesamiento de datos de la disposición de sensor es operable para aplicar un algoritmo de linealización, por ejemplo, una transformación polinómica, tal como un cálculo de spline, a datos correspondientes a las señales “ V_{E1} ” y “ V_{E2} ”, de modo que el perno inteligente genera una representación precisa de la deformación aplicada al perno inteligente. De forma alternativa o adicional, dicha linearización se aplica en una base de datos a la que el perno inteligente comunica sus datos de medición de forma inalámbrica. En una realización, la base de datos está presente en un dispositivo informático, tal como, un teléfono móvil, un servidor, una instalación informática en la nube, etc. De forma ventajosa, el perno inteligente se proporciona a los usuarios en un estado precalibrado.

En una realización, se ha visto que es viable lograr la medición del hueco “G” a una resolución de unos pocos nanómetros (nm) en ejemplos contruidos prácticos del perno inteligente.

En una realización, el extremo inferior de la disposición de sensor puede estar provista de un blanco con forma de copa de ajuste suelto acoplado por deslizamiento antes de ser introducido en la cavidad del perno: el blanco en forma de copa es un ajuste a presión en el extremo de la cavidad del perno o fijado de forma adhesiva al extremo de la cavidad del perno. Al empujar los componentes hacia abajo, el sensor láser se apoya en la parte inferior del blanco. Puede no haber ningún hueco en esta condición. La pared exterior del blanco tiene un adhesivo, por ejemplo, y se sujetará en el extremo de la cavidad del perno. Además, no es crítico que el blanco llegue exactamente al extremo inferior de la cavidad. Con una fuerza de precarga en el perno, el blanco se mueve hacia abajo en la cavidad y aparece un hueco “G”. Por lo tanto, en una realización ilustrativa de la disposición del sensor, el sensor incluye un receptáculo de material plástico (como se ha mencionado anteriormente), una printed circuit board (placa de circuito impreso - PCB o ASIC) provista de todos los componentes para medir la deformación, y un blanco (como se ha mencionado anteriormente), que está montado en el extremo del receptáculo con un ajuste suelto. En una realización, la placa de circuito PCB se moldea en el receptáculo antes de que se inserte en la cavidad del perno. La PCB puede ser una placa de circuito plana con un láser de estado sólido en un extremo inferior de una tira alargada, proporcionando especialmente la placa de circuito impreso alargada, y la antena en un extremo de una tira. Además, pueden montarse distintos componentes en una parte longitudinal de la PCB entre el láser y una parte en forma de disco que soporta una disposición de suministro de energía, especialmente la batería. El láser puede estar configurado para medir una elongación del perno inteligente. La PCB es flexible, por ejemplo, fabricada por Kapton (en concreto una película de material plástico de nitrilo) con una de más capas de pistas conductoras eléctricas integradas en la misma, y componentes electrónicos de montaje en superficie ensamblados sobre el mismo, y pueden doblarse para orientar la parte en forma de disco horizontalmente en una parte superior más amplia de la base de plástico. La parte longitudinal está orientada

verticalmente, especialmente de forma ortogonal con respecto a la parte en forma de disco, en el receptáculo antes del moldeo. Se elige de forma ventajosa para su uso un material plástico con un coeficiente de expansión relativamente bajo, y al menos la parte inferior del receptáculo debe ser ópticamente transparente para permitir que el láser emita luz desde el receptáculo hasta el hueco "G" debajo del receptáculo y el blanco.

Además, la PCB puede estar moldeada en el receptáculo de plástico. Opcionalmente, la PCB se ejecuta utilizando un application specific integrated circuit (circuito integrado específico de aplicación - ASIC). Se emplea una parte superior de la PCB para ejecutar la antena, y la parte central en forma de disco soporta una fuente de alimentación y la parte inferior soporta la fuente de radiación láser y otros componentes, tal como una disposición de procesamiento de datos, una memoria de datos y un reloj digital, como se ha mencionado anteriormente. Los otros componentes son operables para comunicarse de forma inalámbrica con un servidor remoto o similar, para transferir información de un estado operativo del perno inteligente, por ejemplo su precarga, su deformación y opcionalmente la temperatura operativa del perno inteligente.

Además, durante un proceso ilustrativo de moldeo de la PCB en el receptáculo, la PCB flexible puede doblarse para orientar su región de forma de disco central horizontalmente en el receptáculo. La antena se dobla alrededor de un borde de la batería para exponer un extremo de la antena a los alrededores del perno inteligente.

En una realización ilustrativa, el receptáculo de plástico tiene la parte superior más amplia que está diseñada para tener un ajuste estrecho dentro del rebaje y está sujeta al mismo utilizando un material adhesivo. En una realización ilustrativa, la disposición de sensor está encapsulada en material plástico polimérico, y está fijada dentro del perno inteligente utilizando adhesivo. Además, el receptáculo tiene la parte inferior que tiene un diámetro exterior que es ligeramente más pequeño que un diámetro interior de la cavidad del perno, por ejemplo, en al menos 0,1 mm más pequeño, de modo que la parte inferior sea capaz de moverse con respecto a la superficie interior de la cavidad del perno, como resultado de que el perno inteligente esté sujeto a una tensión aplicada variable en funcionamiento a lo largo de su eje longitudinal.

En una realización, el blanco se forma a partir de un manguito de un material plástico de baja fricción, que se ajusta por deslizamiento, en concreto acoplado de forma deslizante, sobre el receptáculo. Cuando la parte inferior de la disposición de sensor se inserta en la cavidad del perno, se empuja hacia abajo hasta que la parte superior más amplia del receptáculo se ajusta en una parte más amplia de la cavidad del perno. Después, el blanco queda retenido en la cavidad del perno por un ajuste por fricción o se retiene de forma adhesiva.

En una realización, el blanco puede ser un manguito de un plástico de baja fricción, que puede ajustarse por deslizamiento, especialmente acoplado de forma deslizante, sobre el receptáculo, como se ha mencionado anteriormente. Cuando el blanco se inserta en la cavidad del perno, se empuja hacia abajo utilizando el receptáculo, hasta que el blanco queda retenido en el extremo de la cavidad del perno. El blanco puede fijarse en la cavidad del perno mediante la fricción y/o retenerse de forma adhesiva en el mismo.

En una realización, el blanco se sitúa alrededor y sobre el sensor encapsulado de la disposición de sensor. El blanco tiene una función operativa de reflejar la radiación incidente recibida, por ejemplo, la radiación de luz tiene una longitud de onda en un intervalo de 190 nm a 3 µm de longitud de onda, de vuelta hacia la disposición de sensor. El blanco es operable para reflejar la radiación de interrogación de forma directa o difusa. Opcionalmente, el blanco puede fabricarse de un material plástico, por ejemplo, polímeros de nylon, polietileno, PEEK, policarbonato o polipropileno, un polímero relleno de vidrio.

En una realización, el blanco de plástico tiene una función de reflejar la luz procedente de un emisor de láser de vuelta a una disposición de receptor de luz de la disposición de sensor. El blanco puede ser reflectante o difuso, como se ha mencionado anteriormente. La expansión del blanco debido a los cambios de temperatura se compensa opcionalmente en la disposición de procesamiento de datos de la disposición de sensor. De forma ventajosa, el blanco se fija de forma adhesiva dentro de la cavidad del perno, y se desliza en funcionamiento con respecto a la disposición del sensor cuando el perno inteligente está en funcionamiento para medir la tensión aplicada longitudinalmente al perno inteligente, por medio de la deformación exhibida por el perno inteligente.

Opcionalmente, la PCB se ejecuta como varios módulos de placa de circuito que se acoplan entre sí para formar la PCB. Por lo tanto, los módulos de placa de circuito pueden diseñarse para tener distintas funcionalidades, y la PCB, por lo tanto, se personaliza durante la fabricación mediante la elección de módulos de placa de circuito a emplear.

En funcionamiento, la PCB dificulta la transmisión directa desde la fuente de radiación al detector de luz, excepto alrededor de un extremo distal de la PCB a través del hueco "G" mencionado anteriormente. Opcionalmente, la fuente de radiación está provista de una disposición de monitorización de salida de radiación para referencia, como se ha mencionado anteriormente, por ejemplo, para compensar variaciones en la salida de la fuente de radiación de interrogación dependiendo del tiempo y/o de la temperatura. El hueco "G" varía a medida que el perno inteligente se deforma como resultado de que la tensión longitudinal se aplique al mismo en funcionamiento. El blanco puede asegurar que el hueco "G" se defina de forma previsible, ya que la cavidad del perno puede no conformarse necesariamente con precisión, mientras que el blanco puede moldearse por inyección a un alto grado de precisión y a un bajo coste de fabricación.

En un modo de no precarga del perno inteligente, el blanco puede permanecer en contacto con el área inferior de la PCB, de modo que el hueco “G” sea sustancialmente cero; en tal caso, apenas se transmite luz a través del hueco “G” de la fuente de radiación al detector de luz. En el modo de precarga del perno inteligente, el blanco puede moverse junto con un vástago del perno inteligente hacia abajo para generar el hueco “G”; la intensidad de la luz transmitida a través del hueco “G” se mide así para determinar la deformación en el perno inteligente, como se ha descrito anteriormente.

Además, la longitud del “cabezal” del perno inteligente puede variar considerablemente, dependiendo de su diseño. En una realización, la disposición de sensor debe dividirse en partes, en donde una primera parte incluye la fuente de alimentación y la antena, y una segunda parte incluye un láser para generar luz y un detector de luz. La primera y segunda partes están conectadas mutuamente por una disposición de cables o una disposición de conectores.

En funcionamiento, la disposición de sensor mide la precarga aplicada al perno inteligente enviando un haz láser desde un emisor colocado en un extremo distal de la PCB de la disposición de sensor. El haz láser es reflejado entonces por el blanco en la parte inferior de la cavidad del perno hacia un receptor montado en la PCB, que mide la cantidad de luz que se refleja. Cuando se aprieta el perno inteligente, se alarga elásticamente y, por lo tanto, el blanco se aleja del emisor y más luz es reflejada de vuelta a través del hueco “G” al receptor. El receptor puede registrar la cantidad de luz como valores analógicos/digitales que, a través de algoritmos de conversión predefinidos, se traducen para proporcionar datos representativos de una fuerza en Newtons (N). Los algoritmos de conversión pueden obtenerse a través de celdas de carga de referencia, cálculos, mecánica de tensión, método de cálculo VDI 2230 o bancos de prueba de desplazamiento.

En una realización, datos e información tales como, por ejemplo, precarga, temperatura, tiempo, posición del perno inteligente, referencia de ID del perno inteligente, tipo de perno inteligente, estado de batería, estado de perno inteligente, intervalo de inspección y similares se envían de forma inalámbrica a un punto de acceso que se conecta a una base de datos a través de, por ejemplo, GSM, Wi-Fi, TCP/IP de Internet u otra red de comunicación y carga de medición y/o datos de estado/información. La base de datos puede ser una presente en un dispositivo informático situado de forma remota del perno inteligente. La comunicación inalámbrica en el perno inteligente puede ser Bluetooth®, LoRa®, Zigbee®, Z-wave® u otra similar. La posición del perno inteligente puede determinarse por su posición dentro de una red entre pares (P2P), cuando la comunicación inalámbrica desde un perno inteligente dado se transmite a través de otros pernos inteligentes que son operables para definir la red entre pares (P2P). En otras palabras, el perno inteligente es capaz opcionalmente de funcionar como un nodo de comunicación entre pares inalámbrico, así como proporcionar su funcionalidad de medición de tensión, así como también la funcionalidad de detección de temperatura.

En una realización de ejemplo, el perno inteligente está dispuesto para ser operable en un entorno acuático, como se describe anteriormente, y para transmitir su señal de medición procesada a través de una ruta de comunicación conductora externa al perno inteligente utilizando un acoplamiento capacitivo de su señal de medición procesada desde la disposición de sensor a la ruta de comunicación conductora. Por ejemplo, los pernos inteligentes pueden usarse en tuberías bajo el agua, y los pernos inteligentes pueden transmitir la señal de medición procesada a través de una ruta de comunicación conductora externa al perno inteligente mediante un acoplamiento capacitivo de su señal de medición procesada desde la disposición de sensor a la ruta de comunicación conductora.

En una realización, la disposición de sensor está encapsulada en material plástico polimérico, y está fijada dentro del perno inteligente utilizando adhesivo.

En otra realización, la disposición de sensor puede montarse en una cavidad de perno de un perno inteligente que incluye una región de cabezal acoplada a una región roscada; opcionalmente, la región roscada se extiende sustancialmente a la región de cabezal. Una distancia entre la región de cabezal y un extremo inferior de la cavidad del perno puede cambiar en funcionamiento dependiendo de la tensión longitudinal aplicada entre la región roscada y la región de cabezal. Además, la disposición de sensor puede configurarse para medir cambios en la distancia entre la región de cabezal y el extremo inferior de la cavidad del perno.

En una realización, la disposición de sensor se puede montar en la región de cabezal de forma que la disposición de sensor está referenciada espacialmente con respecto a la región de cabezal. En otra realización, una disposición de sensor se puede montar de modo que el extremo distal de la disposición de sensor esté dispuesto adyacente al extremo inferior de la cavidad del perno de forma que los cambios en la posición espacial del extremo inferior de la cavidad del perno con respecto al extremo distal de la disposición de sensor se produzcan dependiendo de los cambios en la tensión longitudinal aplicada al perno inteligente para definir un hueco “G” cuyo tamaño varía según los cambios en la tensión longitudinal. La disposición de sensor puede hacerse funcionar para proporcionar la transmisión de radiación de interrogación en funcionamiento a través del hueco “G” desde una fuente de radiación de interrogación de la disposición de sensor a un sensor de radiación correspondiente de la disposición de sensor para generar una señal de medición de tensión del sensor de radiación que es procesable dentro de la disposición de sensor para la comunicación inalámbrica desde el perno inteligente.

En una realización, la disposición de sensor es operable para implementar comunicación inalámbrica de la señal de medición de tensión procesada se implementa en una forma entre pares (P2P), y que la disposición de sensor es operable para funcionar como un nodo de comunicación entre pares (P2P) para retransmitir transmisiones entre pares. Por ejemplo, la disposición de sensor puede comunicarse con otros pernos inteligentes presentes dentro de un intervalo predefinido y puede comunicar la señal de medición y los datos con otros pernos inteligentes. En una realización alternativa, la disposición de sensor puede hacerse funcionar para comunicar la señal de medición o datos a otros dispositivos informáticos de forma inalámbrica.

En una realización, la disposición de sensor incluye uno o más componentes. La disposición de sensor incluye una disposición de suministro de energía y una disposición de procesamiento de datos. En algunas realizaciones, la disposición de sensor incluye la disposición de suministro de energía que incluye una batería, por ejemplo, una batería no recargable, tal como una batería de litio. En otra realización, la disposición de suministro de energía incluye una disposición de captación de energía para captar o producir energía desde un entorno externo al perno inteligente. La disposición de captación de energía puede incluir al menos uno de un colector solar, un cargador inductivo resonante, un cargador de energía inalámbrico que incluye una disposición de transformación de aumento de voltaje. En otra realización más, la disposición de suministro de energía incluye uno o más condensadores, supercondensadores o similares.

Además, la disposición de procesamiento de datos puede proporcionarse en funcionamiento con energía de la disposición de suministro de energía. Además, la disposición de procesamiento de datos es operable para funcionar en al menos un “estado de suspensión” y un “estado activo”. En una realización alternativa, la disposición de procesamiento de datos está configurada para conservar energía cuando está en estado “inactivo” disminuyendo el envío de transmisiones inalámbricas, por ejemplo, datos de medición, desde el perno inteligente.

Además, todos los componentes mencionados anteriormente de la disposición de sensor pueden colocarse en una cuna de soporte y moldearse en un plástico protector duradero que pueda soportar, luz ultravioleta, vibración, impacto, choque, sustancias corrosivas, humedad y magnetismo.

En una realización, la disposición de sensor del perno inteligente se implementa de forma beneficiosa para proporcionar un mayor grado de funcionalidad de medición que previamente ha sido factible para tipos conocidos de pernos inteligentes. Por ejemplo, el perno inteligente se implementa de forma beneficiosa de modo que su disposición de sensor incluya un transmisor inalámbrico para transmitir datos de medición desde el perno inteligente, por ejemplo, a intervalos temporales, por ejemplo, a intervalos temporales predefinidos. En una realización, la disposición de sensor es operable para cambiar entre el “estado de suspensión” y el “estado activo” de forma cíclica, para proporcionar una secuencia temporal de datos de medición de tensión que pueden ser transmitidos de forma inalámbrica desde el perno inteligente. En algunas realizaciones, los datos de medición de tensión se transmiten a un dispositivo informático situado de forma remota. Por ejemplo, la disposición de sensor es accionable para funcionar en al menos dos estados, especialmente un “estado de suspensión” y “un estado activo” como se ha mencionado anteriormente. En el “estado de suspensión”, el consumo de energía de la disposición de sensor puede reducirse a un nivel bajo, por ejemplo, en un intervalo de 1 a 1000 microvatios (μW); además, la disposición del sensor está inactiva y puede no transmitir de forma inalámbrica los datos de medición desde la disposición de sensor. En el “estado activo”, la disposición de sensor puede realizar mediciones y/o transmitir datos de medición desde la disposición de sensor.

Además, cuando está en funcionamiento, el perno inteligente está principalmente en “estado de suspensión”, pero ocasionalmente puede cambiar del “estado de suspensión” al “estado activo” para realizar mediciones y/o para transmitir datos de medición, como se ha mencionado anteriormente. Opcionalmente, el perno inteligente está en el “estado activo” durante un período de solo un 1 % o menos de su tiempo de funcionamiento, y está en el “estado de suspensión” durante un 99 % o más de su tiempo de funcionamiento. Aún más opcionalmente, el perno inteligente está en “estado activo” durante un período de solo un 0,1 % o menos de su tiempo de funcionamiento, y está en “estado de suspensión” durante un 99,9 % o más de su tiempo de funcionamiento. En una realización, la disposición de sensor está en un estado inicial, y es conmutable para su uso en el “estado de suspensión” y/o en el “estado activo”. Opcionalmente, el perno inteligente, antes de su instalación para sujetar piezas entre sí, está en un “estado inactivo”, en donde el perno inteligente no conmuta periódicamente de su “estado de suspensión” a su “estado activo” y *viceversa*, de forma cíclica periódica; por ejemplo, el perno inteligente está en su “estado inactivo” cuando está en almacenamiento, y luego se activa para comenzar su rutina de conmutación entre su “estado de suspensión” y su “estado activo” como se ha mencionado anteriormente cuando se utiliza para sujetar piezas juntas con la precarga aplicada al perno inteligente. Opcionalmente, el perno inteligente cambia desde su “estado inactivo” aplicando una señal inalámbrica al mismo, un pulso magnético al mismo, o similar. Por ejemplo, el perno inteligente incluye opcionalmente un sensor magnético en miniatura, por ejemplo, un conmutador de efecto Hall o un interruptor de láminas que se utiliza para cambiar el perno inteligente de su “estado inactivo” a su “estado de suspensión” o “estado activo”.

En una realización, la disposición de sensor mientras está en el “estado de suspensión” consume menos del uno por ciento de la energía consumida por la disposición de sensor en el “estado activo”. En otra realización, la

disposición de sensor mientras está en el “estado de suspensión” consume menos del 0,1 % de la energía consumida por la disposición de sensor en el “estado activo”.

En una realización, la disposición de sensor es operable para estar temporalmente más del 99 % de su tiempo de funcionamiento en el “estado de suspensión”, en relación con el “estado activo”.

Opcionalmente, cuando está en el “estado activo”, la disposición de sensor puede realizar una serie de mediciones temporales para proporcionar un conjunto de datos de medición correspondientes a la memoria de datos del perno inteligente, transmitiendo seguidamente los datos de medición correspondientes de la pluralidad de mediciones en un mensaje junto con los datos temporales correspondientes que indican cuándo, utilizando especialmente marcadores de tiempo, se hizo la pluralidad de mediciones. De forma alternativa o adicional, en el “estado activo”, la disposición de sensor puede realizar una única medición para proporcionar unos datos de medición correspondientes a la memoria de datos de la unidad inteligente, transmitiendo seguidamente los datos de medición correspondientes de la medición única en un mensaje junto con los datos temporales correspondientes que indican cuándo se hizo la medición única. Opcionalmente, el perno inteligente puede reconfigurarse en funcionamiento y/o cuando inicialmente se activa desde su “estado inactivo”, para hacer una única medición o una pluralidad de mediciones, como se ha descrito anteriormente. De forma alternativa, el perno inteligente se suministra en una condición ya operativa, especialmente la conmutación entre su “estado de suspensión” y “estado activo”.

En una realización, el perno inteligente de la presente descripción incluye además un reloj digital para definir un período entre repeticiones del “estado activo” empleado. El reloj digital también puede estar configurado para proporcionar coordinación temporal para la medición.

El perno inteligente, según la presente descripción, es capaz de proporcionar una inspección automática e informar de su estado operativo, en particular una medición de la precarga del perno inteligente. Opcionalmente, el perno inteligente también puede funcionar para comunicar un estado de su batería interna, por ejemplo, una batería no recargable, tal como una batería de litio, por ejemplo, para comunicar un grado al que se ha agotado la batería no recargable, de modo que sus usuarios pueden idear una rutina para sustituir el perno inteligente. Mediante este enfoque, un aflojamiento o fallo potencial debidos a la corrosión y/o a la fractura del perno inteligente, puede controlarse de forma remota. Opcionalmente, puede proporcionarse una funcionalidad de detección adicional en el perno inteligente, por ejemplo, una medición de temperatura del perno inteligente, realizada cuando también se está midiendo su precarga; la detección de temperatura se realiza de forma ventajosa utilizando un sensor de temperatura que se acomoda dentro de la disposición de sensor, por ejemplo, utilizando un sensor de temperatura de estado sólido. El perno inteligente puede utilizarse para uniones con pernos en situaciones, por ejemplo, que incluyen: interruptores ferroviarios o uniones de pista, luces de pista de aeródromo, estructuras/instalaciones de plataformas petrolíferas, centrales eléctricas, embarcaciones marítimas, puentes, tanques de almacenamiento, etc.

En un escenario ilustrativo, las luces de pista de en un aeropuerto se atornillan utilizando pernos a una pista dada y los pernos deben comprobarse y verificarse de forma regular para comprobar el aflojamiento de los pernos. Si una luz dada se desconecta de la pista debido a que sus pernos se aflojan, puede dar lugar a una colisión de aeronaves. Las luces se inspeccionan de forma convencional empleando una comprobación de par según un programa riguroso. Durante un tiempo de inspección asociado con dicha comprobación de par, la pista debe estar cerrada y ningún avión debe poder despegar o aterrizar. Se estima que un coste anual de comprobar los pernos en las luces de la pista es de aproximadamente 500 k£/año (aproximadamente 1 millón de USD, tipo de cambio de 2016) existiendo además, un coste de inactividad para una pista cerrada, que puede estar dentro de en un intervalo de dos a cuatro horas por noche. Utilizando el perno inteligente para fijar tales luces, todas las luces pueden inspeccionarse y notificarse de forma remota automáticamente sin que se requiera presencia de personal en la pista, y también sin necesidad de cerrar la pista mientras se realizan inspecciones. Por lo tanto, se proporcionan ventajas de ahorros de costes de inspección y de informes, más tiempo de ejecución disponible para más slots de vuelo y mayor seguridad, dado que el perno inteligente proporciona resultados cuantificables de precarga.

La presente descripción también proporciona un método para utilizar un perno inteligente que incluye una región de cabezal acoplada a una región roscada. La región de cabezal incluye una cavidad de perno. Además, cambia una distancia entre la región de cabezal y un extremo inferior de la cavidad del perno en el funcionamiento dependiendo de la tensión longitudinal aplicada entre la región roscada y la región de cabezal. El perno inteligente también incluye una disposición de sensor para medir cambios en la distancia entre la región de cabezal y el extremo inferior de la cavidad del perno. El método descrito incluye disponer la disposición de sensor para su montaje en la región de cabezal de forma que la disposición de sensor esté referenciado espacialmente con respecto a la región de cabezal. El método incluye además disponer un extremo distal de la disposición de sensor que se disponga adyacente al extremo inferior de la cavidad del perno, de modo que los cambios en la posición espacial del extremo inferior de la cavidad del perno con respecto al extremo distal de la disposición de sensor se produzcan dependiendo de los cambios en la tensión longitudinal aplicada al perno inteligente para definir un hueco “G” cuyo tamaño varía según los cambios de tensión longitudinal, en donde la transmisión de radiación de interrogación en funcionamiento a través del hueco “G” desde una fuente de radiación de interrogación de la disposición de sensor a un sensor de

radiación correspondiente de la disposición de sensor genera una señal de medición de tensión procedente del sensor de radiación que se procesa dentro de la disposición del sensor para la comunicación inalámbrica desde el perno inteligente.

5 El perno inteligente descrito proporciona un mayor grado de funcionalidad de medición que ha sido factible previamente para tipos conocidos de pernos inteligentes. Por ejemplo, el perno inteligente se ejecuta de forma ventajosa de modo que su disposición de sensor incluya un transmisor inalámbrico para transmitir datos de medición desde el perno inteligente, por ejemplo, en intervalos temporales.

10 Además, el perno inteligente es capaz de proporcionar una inspección automática e informes de su estado operativo, en particular, una medición de la precarga del perno inteligente. El perno inteligente también puede funcionar para informar de un estado de su batería interna. Mediante este enfoque, un aflojamiento o fallo potencial debidos a la corrosión y/o a la fractura del perno inteligente, puede controlarse de forma remota. Además, puede proporcionarse una funcionalidad de detección adicional tal como, aunque no de forma limitativa, la medición de la temperatura en el perno
15 inteligente.

La presente descripción proporciona pernos inteligentes, especialmente una forma de elementos de sujeción inteligentes, que pueden ser utilizados en industrias del petróleo y gas, en industrias de construcción, en entornos marinos, en industrias de generación de energía, en industrias de energía renovable, en industrias nucleares, en sistemas ferroviarios, en silvicultura, en agricultura, en industrias de infraestructura pesada, en industrias
20 aeroespaciales. Adicionalmente, los pernos inteligentes pueden ser utilizados, por ejemplo, en conexiones con pernos que están sujetos a una inspección regular o en aquellos que sean críticos para la seguridad o funcionalidad de una aplicación o estructura.

25 Descripción detallada de los dibujos

Con referencia a la Fig. 1, se proporciona una ilustración esquemática de un perno inteligente **10**, según una realización de la presente descripción. Como se muestra, el perno inteligente **10** incluye una región **40** de cabezal acoplada a una región roscada **20**, por ejemplo, opcionalmente a través de una región de cuello no roscada. La
30 región **40** de cabezal incluye una cavidad **60** de perno. El perno inteligente **10** está dispuesto para emplear una disposición de sensor ejecutada como una única unidad que es operable para interrogar a la cavidad **60** del perno que se forma previamente en el perno inteligente **10**. El perno inteligente **10** es capaz de proporcionar una inspección y notificación automática de su estado operativo, en particular, una medición de la precarga del perno inteligente **10**. En la región **40** de cabezal, se proporciona un rebaje **50** para alojar la unidad de sensor mencionada
35 anteriormente. Además, la cavidad **60** del perno se extiende desde una parte inferior del rebaje **50** a aproximadamente un medio de la región roscada **20**, por ejemplo, la mitad del perno inteligente **10** está en un intervalo del 20 % al 70 % a lo largo de una longitud del perno inteligente **10**. Como se muestra, la cavidad **60** del perno está dispuesta a lo largo de un eje central alargado del perno inteligente **10**, pero debe ser así necesariamente; por ejemplo, la cavidad **60** del perno está opcionalmente fuera del eje, en vez de estar en el eje
40 como se ilustra en la Fig. 1. Opcionalmente, el perno inteligente **10** está provisto de una pluralidad de cavidades **60** de perno, cada una provista de una disposición de sensor, por ejemplo, para medir la carga asimétrica aplicada al perno inteligente **10** cuando está en funcionamiento.

Con referencia a continuación a la Fig. 2, el perno inteligente **10** incluye además una disposición **100** de sensor montado en la región **40** de cabezal, de modo que la disposición **100** de sensor esté espacialmente referenciado
45 con respecto a la región **40** de cabezal. La disposición **100** de sensor se aloja dentro de un receptáculo **110** de material plástico que tiene una parte superior que está alojada en el rebaje **50** como se describe con referencia a la Fig. 1, y una parte inferior que se aloja dentro de la cavidad **60** del perno.

La disposición **100** de sensor puede instalarse en la cavidad **60** del perno formada en el interior de, por ejemplo, tipos estándar producidos en masa de pernos/tornillos o pernos prisioneros. La disposición **100** de sensor incluye una fuente de radiación **200A** de interrogación para iluminar el extremo inferior de la cavidad **60** del perno. La
50 disposición **100** de sensor también incluye un sensor **200B** de radiación para recibir radiación devuelta desde el extremo inferior de la cavidad **60** del perno para medir una elongación del perno inteligente **10**. La disposición **100** de sensor también incluye una disposición **180** de procesamiento de datos para recibir una señal de medición del sensor **200B** de radiación y para energizar la fuente de radiación **200A** de interrogación.

Como se muestra, la disposición **100** de sensor también incluye una disposición de fuente de alimentación para proporcionar energía eléctrica operativa para la disposición **180** de procesamiento de datos y la fuente de radiación **200A**
60 de interrogación. La disposición de la fuente de alimentación incluye condensadores **170**, una o más baterías **120** y un colector solar **130** para proporcionar energía al perno inteligente **10**. Como se muestra, la parte superior del receptáculo **110** de material plástico incluye las baterías **120**. Además, en una superficie superior expuesta de las baterías **120**, se monta el colector solar tal como una película solar **130**, que puede funcionar para convertir la luz solar o una radiación electromagnética similar en una corriente de carga para cargar las baterías **120**, cuando se ejecutan como una batería recargable. Los condensadores **170**, por ejemplo, ejecutados como un supercondensador de película, está opcionalmente
65 incluidos en una cara inferior de las baterías **120**, especialmente en una cara opuesta a una cara expuesta de las baterías

120 sobre la que el colector solar **130** está montado. Los condensadores **170** son capaces de contemplar aumentos de consumo de energía por el perno inteligente **10** cuando está en funcionamiento, es decir cuando funciona en su “estado activo”.

5 La disposición **100** de sensor también incluye una disposición de antena **140** que rodea al menos una parte de las baterías **120** para proporcionar transmisión inalámbrica de señales, y opcionalmente transmisión inalámbrica de señales. Además, la disposición **100** de sensor se encapsula en una capa de material plástico protector, tal como el receptáculo **110** de material plástico.

10 Además, la disposición **100** de sensor incluye uno o más orificios **160** de acceso para acoplarse eléctricamente a la disposición **100** de sensor, por ejemplo, para uno o más de: para ensayos, para reprogramación, para la activación de la disposición **100** de sensor, etc.

15 La disposición **180** de procesamiento de datos puede ejecutarse utilizando una placa **190** de circuitos impresos alargada cuyo plano dentro de la disposición **100** de sensor está dispuesta sustancialmente de forma ortogonal con respecto a un plano de las baterías **120**, como se ilustra. Por “sustancialmente ortogonal” se entiende, por ejemplo, en un intervalo de 85° a 95°.

20 La disposición **100** de sensor también incluye un sensor **200** montado en el extremo de una placa de circuito, tal como la placa **190** de circuitos impresos, distante de la disposición **140** de antena. El sensor **200** incluye un transmisor **200A** a la derecha del eje geométrico del receptáculo **110** de material plástico. El sensor **200** también incluye un receptor **200B** a la izquierda del eje geométrico del receptáculo **110** de material plástico. El receptáculo **110** de material plástico también incluye un receptor **200C** de referencia/calibración en el lado superior del transmisor **200A**. El componente de referencia, es decir, el receptor **200C** de referencia, se utiliza para medir la luz transmitida sin un hueco para calibrar el sensor **200** con intervalos de tiempo determinados o en cada secuencia de medición. La placa **190** de circuitos impresos se incorpora en el receptáculo **110** de material plástico de modo que el transmisor del sensor **200A** y el receptor **200B** se apoya en la superficie inferior del receptáculo **110** de material plástico.

30 La Fig. 3 es una ilustración de una placa **220** de circuitos antes de la inserción en un receptáculo **110** de material plástico según una realización de la presente descripción. La placa **220** de circuitos se muestra en una condición antes de moldearse en el receptáculo **110** de material plástico. En una realización, la placa **220** de circuitos es una placa **220** de circuitos impresos. En otra realización, la placa **220** de circuitos es una placa de circuito pegada. En otra realización adicional, la placa **220** de circuitos es una placa de application specific integrated circuit (circuito integrado específico de aplicación - ASIC).

35 Haciendo referencia ahora a la Fig. 4, se muestra una vista lateral de un blanco **280**. El blanco **280** está situado alrededor de, y sobre, el sensor **200** de radiación de la disposición **100** de sensor. Como se ha explicado con referencia a la Fig. 2, el sensor **200** de radiación incluye o el blanco **280**, por ejemplo, ejecutado como un manguito de material plástico, y la placa **220** de circuitos está provista de todos los componentes para medir la deformación, en donde el blanco **280** se retiene de forma deslizante sobre el receptáculo por medio de un ajuste suelto sobre el mismo. El blanco **280** se fija en una parte inferior de la cavidad **60** del perno.

40 Con referencia ahora a la Fig. 3, la placa **220** de circuitos se moldea en el receptáculo **110**. La placa **220** de circuitos se muestra plana con un láser de estado sólido en el extremo inferior de una tira alargada **250**, proporcionando especialmente la placa **220** de circuitos alargada y la disposición **140** de antena en un extremo de una tira **270**.

45 Con referencia a continuación a la Fig. 5 y a la Fig. 6, se ilustra el funcionamiento de la disposición **100** de sensor. Como se describe con referencia a la Fig. 2, la PCB **190** dificulta la transmisión directa desde la fuente de radiación **200A** de interrogación al sensor **200B** de radiación. El hueco **604** varía a medida que el perno inteligente **10** se deforma como resultado de que la tensión longitudinal se aplique al mismo en funcionamiento. El blanco **280**, en cooperación con el receptáculo **110**, puede garantizar que el hueco **604** se defina de forma previsible, ya que la cavidad **60** del perno no necesariamente puede conformarse con precisión, mientras que el blanco **280** puede moldearse por inyección a un alto grado de precisión y a un bajo coste de fabricación.

50 En la Fig. 5 se muestra una situación en un modo no de precarga, en donde el blanco **280** está en contacto con el área inferior de la PCB **190**, de modo que el hueco **604** es sustancialmente cero; en tal caso, apenas se transmite luz a través del hueco “G” desde la fuente de radiación **200A** de interrogación al sensor **200B** de radiación. La disposición **100** de sensor puede encapsularse en material plástico polimérico, y se fija dentro del perno inteligente utilizando un adhesivo. El blanco **280** tiene un ajuste estrecho a la cavidad **60** del perno y puede fijarse opcionalmente utilizando un adhesivo **240**.

55 En la Fig. 6, el perno inteligente **10** está en un modo de precarga. El blanco **280** puede moverse junto con un vástago del perno inteligente **10** para generar un hueco “G” **604**; la intensidad de un haz **602** de luz transmitido a través del hueco **604** se mide para determinar la deformación en el perno inteligente **10**.

La Fig. 7 es una ilustración de un perno prisionero **702** (también denominado un perno inteligente prisionero) y distintas partes de una disposición **704** de sensor del perno prisionero **702**.

La disposición **100** de sensor puede dividirse en dos partes: una primera parte incluye la fuente **706** de alimentación y una disposición **708** de antena y una segunda parte incluye un láser **710** y un receptáculo **712**. Además, la primera y segunda partes están conectadas mutuamente por una disposición de cable o una disposición **714** de conector. El perno prisionero **702** es una sujeción sin cabezal roscado externamente. Además, medir la precarga por elongación en el perno prisionero **702** es difícil, ya que la elongación depende de una longitud de calibración. Para el perno prisionero **702**, una longitud de calibración puede variar dependiendo de una posición de la tuerca. En este caso, el sensor y la longitud de calibración están aislados de una parte no roscada del perno prisionero **702**. De ese modo, la longitud de calibración siempre es la misma y la posición de la tuerca puede no afectar a la elongación.

La Fig. 8 es un sistema **800** de comunicación ilustrativo que incluye uno o más enrutadores **808** dispuestos cerca de un conjunto **802** de perno, según una realización de la presente descripción. Como se muestra, el sistema **800** de comunicación incluye el conjunto **802** de perno que incluye un perno inteligente **804** utilizado para uniones con pernos en una tubería **806**. El perno inteligente **804** puede configurarse para procesar la señal de medición de tensión para generar datos de medición correspondientes y para transmitir los datos de medición de forma inalámbrica a uno o más enrutadores situados cerca del perno inteligente **804** cuando está en estado activo. Datos e información tales como, por ejemplo, precarga, temperatura, tiempo, posición del perno inteligente **804**, referencia de ID del perno inteligente **804**, tipo de perno inteligente, estado de la batería, estado del perno inteligente, intervalo de inspección y similares se envían de forma inalámbrica a un dispositivo informático **810** a través de los enrutadores **808** conectados a través de una red **812** de comunicación inalámbrica. En una realización, los enrutadores **808** transmiten información a un servidor en la nube que incluye el dispositivo informático **810**.

La Fig. 9 es una ilustración de un entorno **900** ilustrativo donde puede funcionar otra realización de la presente descripción. Como se muestra, el entorno incluye una serie de pernos inteligentes **902**, **904**, y **906** utilizados en uniones con pernos en una tubería **908**. Los pernos inteligentes **902**, **904**, y **906** se montan espacialmente adyacentes entre sí en la tubería **908**. Los pernos inteligentes **902**, **904**, y **906** son operables para transmitir sus datos de medición detectados desde un perno inteligente a otro perno inteligente en una forma de comunicación entre pares ("P2P"). Además, el perno inteligente **902** puede configurarse para transmitir datos al perno inteligente **906** de forma directa o indirecta a través del perno inteligente **904**. De forma alternativa, los pernos inteligentes **902**, **904**, y **906** puede transmitir sus datos de forma inalámbrica en un canal de comunicación que es común a los mismos; opcionalmente, en un evento en que dos o más de los pernos inteligentes **902**, **904**, y **906** transmiten sus datos de medición detectados simultáneamente, se detecta tal transmisión simultánea y se llevan a cabo seguidamente uno o más intentos adicionales para retransmitir los datos de medición detectados transcurrido un período de espera.

La Fig. 10 es una ilustración de un entorno **1000** ilustrativo donde puede funcionar otra realización adicional de la presente descripción. Como se muestra, el entorno **1000** incluye una serie de pernos inteligentes **1002**, **1004**, y **1006** utilizados en una serie de uniones con pernos en una tubería **1008**. Los pernos inteligentes **1002**, **1004**, y **1006** se montan espacialmente mutuamente adyacentes, los pernos inteligentes **1002**, **1004**, y **1006** pueden funcionar para transmitir sus datos de medición detectados desde un perno inteligente hasta otro en una forma de comunicación entre pares ("P2P"). Además, cada uno de los pernos inteligentes **1002-1006** está configurado para enviar datos de forma inalámbrica a un dispositivo informático **1010** a través de una red de comunicación inalámbrica **1012**. Como se muestra, el perno inteligente **1006** puede transmitir o retransmitir los datos recibidos desde otros pernos inteligentes tales como, el perno inteligente **1002** a un receptor tal como, el dispositivo informático **1010** a través de la red **1012** de comunicación inalámbrica para su posterior procesamiento.

La Fig. 11 es una ilustración del entorno **1100** ilustrativo, en donde otra realización de la presente descripción puede funcionar. Como se muestra, el entorno incluye dos pernos inteligentes **1104** a **1106** dispuestos para ser operables en un entorno acuático **1102** y para transmitir su señal de medición procesada a través de una ruta de comunicación conductora externa a los pernos inteligentes **1104** a **1106** utilizando un acoplamiento capacitivo de su señal de medición procesada de disposiciones de sensor de los pernos inteligentes **1104** a **1106** a la ruta de comunicación conductora. Los pernos inteligentes **1104** a **1106** se utilizan en una tubería **1108** bajo el agua, por ejemplo, en una condición salina, y los pernos inteligentes **1104** a **1106** pueden transmitir la señal de medición procesada a un dispositivo informático **1110** a través de una red de comunicación inalámbrica **1112**. El entorno acuático **1102** mencionado anteriormente es, por ejemplo, un entorno de suelo oceánico con agua de mar salina bajo presiones muy altas, por ejemplo, en un intervalo de 300 a 1000 Bar; entornos de suelo oceánico se encuentran, por ejemplo, para llevar a cabo exploración y la producción de petróleo y gas en aguas profundas.

Como se ha descrito anteriormente, la presente descripción se refiere a los pernos inteligentes **1104** a **1106** incluyendo las disposiciones de sensor para determinar una precarga en los pernos inteligentes **1104** a **1106** y para comunicar inalámbricamente los datos de medición detectados a una base de datos en el dispositivo informático **1110**.

Haciendo referencia a las Figs. 12, 13 y 14, se ilustran ejecuciones ilustrativas del perno inteligente **10** en comunicación con al menos un dispositivo remoto, según diversas realizaciones de la presente descripción. Un experto en la técnica puede entender que las Figs. 12, 13 y 14 incluyen disposiciones simplificadas para la ejecución del perno inteligente **10** para mayor claridad, que no debería limitar indebidamente el ámbito de las reivindicaciones en la presente memoria. El experto en la técnica reconocerá muchas variaciones, alternativas y modificaciones de las realizaciones de la presente descripción.

Con referencia a la Fig. 12, se ilustra una ejecución ilustrativa del perno inteligente **10** en comunicación con al menos un dispositivo remoto, representado como un servidor en la nube **1202**, según una realización de la presente descripción. En tal caso, el perno inteligente **10** se acopla de forma comunicable al servidor en la nube **1202** a través de una red de comunicación (no mostrada). Como ejemplo, una disposición de sensor (no mostrada) del perno inteligente **10** puede funcionar para transmitir una señal de medición de tensión al servidor en la nube **1202**. Además, opcionalmente, el perno inteligente **10** se acopla de forma comunicable al servidor en la nube **1202** a través de dispositivos de red tales como un enrutador **1204** y una tarjeta **1206** de concentrador asociada al enrutador **1204**. Por lo tanto, en tal ejecución, el perno inteligente **10** transmite la señal de medición de tensión al enrutador **1204**, desde donde la señal de medición de tensión se transmite al servidor en la nube **1202**. Como se muestra, el servidor **1202** en la nube también se acopla de forma comunicable a un dispositivo **1208** de usuario asociado a un usuario final del perno inteligente **10**. El usuario puede utilizar el dispositivo **1208** de usuario para acceder al servidor **1202** en la nube, para controlar el perno inteligente **10**.

Haciendo referencia a la Fig. 13, se ilustra una ejecución ilustrativa del perno inteligente **10** en comunicación con al menos un dispositivo remoto, representado como una unidad **1302** de Programmable Logic Controller (controlador lógico programable - PLC), según otra realización de la presente descripción. El perno inteligente **10** se acopla de forma comunicable a la unidad **1302** de Programmable Logic Controller (controlador lógico programable - PLC) a través de una red de comunicación (no mostrada). Como ejemplo, una disposición de sensor (no mostrada) del perno inteligente **10** puede funcionar para transmitir una señal de medición de tensión a la unidad **1302** de Programmable Logic Controller (controlador lógico programable - PLC). Además, opcionalmente, el perno inteligente **10** se acopla de forma comunicable a la unidad **1302** de Programmable Logic Controller (controlador lógico programable - PLC) a través de un dispositivo de red, tal como una tarjeta **1304** de concentrador. Por lo tanto, en tal ejecución, el perno inteligente **10** transmite la señal de medición de tensión a la tarjeta **1304** de concentrador, donde la señal de medición de tensión se procesa opcionalmente y se transmite a la unidad **1302** de Programmable Logic Controller (controlador lógico programable - PLC).

Haciendo referencia a la Fig. 14, se ilustra una ejecución ilustrativa del perno inteligente **10** en comunicación con al menos un dispositivo remoto, representado como una pluralidad de dispositivos informáticos **1402** y **1404**, según otra realización adicional de la presente descripción. El perno inteligente **10** se acopla de forma comunicable a la pluralidad de dispositivos informáticos **140** y **1404** a través de una red de comunicación (no mostrada). Como ejemplo, la red de comunicación puede ser un sistema de Controller Area Network (red de área de controlador - CAN) o un sistema de Local Interconnected Network (red interconectada local - LIN). Además, como se muestra, el perno inteligente **10** se acopla de forma comunicable a la pluralidad de dispositivos informáticos **1402** y **1404** a través del dispositivo de red, tal como una tarjeta **1406** de concentrador. Por lo tanto, en tal ejecución, el perno inteligente **10** transmite datos relacionados con el mismo a la tarjeta **1406** de concentrador, desde donde los datos relacionados con el perno inteligente **10** se procesan opcionalmente y se transmiten a la pluralidad de dispositivos informáticos **1402** y **1404**.

Es posible realizar modificaciones a las realizaciones de la invención descritas anteriormente sin desviarse del ámbito de la invención definido por las reivindicaciones adjuntas. Las expresiones tales como “que incluye”, “que comprende”, “que incorpora”, “que consiste en”, “tiene”, “es”, utilizadas para describir y reivindicar la presente invención, están pensadas para que se interpreten de un modo no exclusivo, en concreto permitiendo que artículos, componentes o elementos no descritos explícitamente también estén presentes. También debe interpretarse que el singular se refiere al plural. Los números incluidos entre paréntesis en las reivindicaciones adjuntas pretenden ayudar a la comprensión de las reivindicaciones y no deben interpretarse en modo alguno como que limitan el contenido reivindicado por estas reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un perno inteligente (10) que incluye una región (40) de cabezal acoplada a una región roscada (20), en donde la región (40) de cabezal incluye una cavidad (60) de perno, en donde una distancia entre la región (40) de cabezal y un extremo inferior de la cavidad (60) de perno cambia en operación en función de una tensión longitudinal aplicada entre la región roscada (20) y la región (40) de cabezal, y en donde el perno inteligente (10) incluye una disposición (100) de sensor para medir cambios en la distancia entre la región (40) de cabezal y el extremo inferior de la cavidad (60) de perno, caracterizado por que:
 - la disposición (100) de sensor está montada en la región (40) de cabezal, de modo que la disposición (100) de sensor está referenciada espacialmente con respecto a la región (40) de cabezal; y
 - un extremo distal de la disposición (100) de sensor está dispuesto adyacente al extremo inferior de la cavidad (60) de perno para definir un hueco (G) entre los mismos, de modo que el hueco (G) varía de tamaño en respuesta a cambios en la posición espacial del extremo inferior de la cavidad (60) de perno en relación con el extremo distal de la disposición (100) de sensor dependiendo de los cambios en una tensión longitudinal aplicada al perno inteligente (10), en donde la transmisión de radiación de interrogación en funcionamiento a través del hueco (G) desde una fuente de radiación (200A) de interrogación de la disposición (100) de sensor a un sensor (200B) de radiación correspondiente de la disposición (100) de sensor genera una señal de medición de tensión desde el sensor (200B) de radiación que se procesa dentro de la disposición (100) de sensor para comunicación inalámbrica desde el perno inteligente (10).
2. Un perno inteligente (10) de la reivindicación 1, caracterizado por que la cavidad (60) de perno se extiende desde la región (40) de cabezal a la región roscada (20).
3. Un perno inteligente (10) de la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la disposición (100) de sensor está montada dentro de un rebaje (50) de la región (40) de cabezal, y la cavidad (60) de perno se extiende desde una superficie inferior del rebaje (50) al perno inteligente (10).
4. Un perno inteligente (10) de la reivindicación 1, 2 o 3, caracterizado por que la disposición (100) de sensor incluye una disposición (120, 130, 170) de suministro de energía y una disposición (180) de procesamiento de datos en donde la disposición (180) de procesamiento de datos se proporciona en funcionamiento con energía procedente de la disposición (120, 130, 170) de suministro de energía, y en donde la disposición (180) de procesamiento de datos es operable para funcionar en al menos un “estado de suspensión” y un “estado activo”, en donde la disposición (180) de procesamiento de datos es operable para procesar la señal de medición de tensión para generar datos de medición correspondientes y para transmitir los datos de medición de forma inalámbrica desde el perno inteligente (10) cuando está en el “estado activo”, y para conservar energía cuando está en el “estado de suspensión”, cesando el envío de transmisiones inalámbricas desde el perno inteligente (10).
5. Un perno inteligente (10) de la reivindicación 4, caracterizado por que la disposición (100) de sensor es operable para cambiar entre el “estado de suspensión” y el “estado activo” de modo cíclico, para proporcionar una secuencia temporal de datos de medición de tensión transmitidos de forma inalámbrica desde el perno inteligente (10).
6. Un perno inteligente (10) de la reivindicación 4 o 5, en donde la disposición (100) de sensor está en un estado inicial, y es conmutable para su uso en el “estado de suspensión” y/o el “estado activo”.
7. Un perno inteligente (10) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la disposición (100) de sensor incluye una disposición (140) de antena que está dispuesta en una superficie expuesta superior de la disposición (100) de sensor cuando se monta dentro de la región (40) de cabezal.
8. Un perno inteligente (10) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el perno inteligente (10) tiene su región (40) de cabezal y su región roscada (20) fabricadas a partir de al menos uno de: un metal, una aleación metálica, un material de polvo de metal sinterizado, un material cerámico, un material plástico, un material polimérico, un material amorfo.
9. Un perno inteligente (10) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el perno inteligente (10) está dispuesto para ser operable en un entorno acuático, y para transmitir su señal de medición procesada a través de una ruta de comunicación conductora externa al perno inteligente (10) utilizando acoplamiento capacitivo de su señal de medición procesada desde la disposición (100) de sensor a la ruta de comunicación conductora.
10. Un perno inteligente (10) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la disposición (100) de sensor comprende además:

- la fuente de radiación (200A) de interrogación para iluminar el extremo inferior de la cavidad de perno;
 el sensor (200B) de radiación para recibir radiación de vuelta desde el extremo inferior de la cavidad de perno para medir una elongación del perno inteligente (10);
 una disposición de procesamiento de datos para recibir la señal de medición desde el sensor (21) de radiación, en donde la disposición de procesamiento de datos está provista de una funcionalidad de comunicación inalámbrica empleando un microcontrolador de baja potencia con una funcionalidad de comunicación inalámbrica integrado; y
 la disposición (120, 130, 170) de suministro de energía, para proporcionar energía eléctrica operativa para la disposición de procesamiento de datos y la fuente de radiación de interrogación, comprende además al menos uno de: una pluralidad de condensadores, una pluralidad de baterías no recargables, una pluralidad de baterías recargables, una pluralidad de células solares, una pluralidad de disposiciones de acoplamiento de potencia inductivas resonantes para proporcionar potencia al perno inteligente (10).
11. Un perno inteligente (10) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la fuente de radiación (200A) de interrogación comprende además al menos uno de un láser de estado sólido, un diodo emisor de luz y una fuente de radiación de nanohilo.
12. Un perno inteligente (10) de la reivindicación 4 o la reivindicación 10, caracterizado por que la disposición de procesamiento de datos está configurada para:
- procesar la señal de medición utilizando una medición diferencial de radiación desde la fuente de radiación (200A) de interrogación utilizando un primer elemento y un segundo elemento, en donde el primer elemento proporciona una medida de una magnitud de radiación procedente de la fuente de radiación (200A) de interrogación, y los segundos elementos proporciona una medida de radiación procedente de la fuente de radiación (200A) de interrogación transmitida a través del hueco (G); y
 procesar la señal de medición mediante linealización de resultados de medición utilizando al menos uno de un algoritmo de spline.
13. Una disposición (100) de sensor para el perno inteligente (10) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizada por que la disposición (100) de sensor puede montarse en una cavidad (60) de perno de un perno inteligente (10) que incluye una región (40) de cabezal acoplada a una región roscada (20), en donde una distancia entre la región (40) de cabezal y un extremo inferior de la cavidad (60) de perno cambia en operación dependiendo de la tensión longitudinal aplicada entre la región roscada (20) y la región (40) de cabezal, y en donde la disposición (100) de sensor es operable para medir cambios en la distancia entre la región (40) de cabezal y el extremo inferior de la cavidad (60) de perno, en donde:
- la disposición (100) de sensor puede montarse en la región (40) de cabezal de modo que la disposición (100) de sensor esté referenciada espacialmente con respecto a la región (40) de cabezal; y
 la disposición (100) de sensor puede montarse de modo que el extremo distal de la disposición (100) de sensor esté dispuesta adyacente al extremo inferior de la cavidad (60) de perno para definir un hueco (G) entre los mismos, de modo que los cambios en la posición espacial del extremo inferior de la cavidad (60) de perno en relación con el extremo distal de la disposición (100) de sensor se producen dependiendo de los cambios en la tensión longitudinal aplicada al perno inteligente (10) para variar un tamaño del hueco (G), en donde la disposición (100) de sensor es operable para proporcionar la transmisión de radiación de interrogación en funcionamiento a través del hueco (G) desde una fuente de radiación (200A) de interrogación de la disposición (100) de sensor a un sensor (200B) de radiación correspondiente de la disposición (100) de sensor para generar una señal de medición de tensión del sensor (200B) de radiación que es procesable dentro de la disposición (100) de sensor para comunicación inalámbrica desde el perno inteligente (10).
14. Un método de uso de un perno inteligente (10) que incluye una región (40) de cabezal acoplada a una región roscada (20), en donde la región (40) de cabezal incluye una cavidad (60) de perno, en donde una distancia entre la región (40) de cabezal y un extremo inferior de la cavidad (60) de perno cambia en operación en función de una tensión longitudinal aplicada entre la región roscada (20) y la región (40) de cabezal, y en donde el perno inteligente (10) incluye una disposición (100) de sensor para medir cambios en la distancia entre la región (40) de cabezal y el extremo inferior de la cavidad (60) de perno, caracterizado por que el método incluye:

disponer la disposición (100) de sensor para montarse en la región (40) de cabezal de modo que la disposición (100) de sensor esté referenciada espacialmente con respecto a la región (40) de cabezal; y

- 5 disponer un extremo distal de la disposición (100) de sensor para disponerse adyacente al extremo inferior de la cavidad (60) de perno para definir un hueco (G) entre los mismos, de modo que un tamaño del hueco (G) cambia en respuesta a cambios en la posición espacial del extremo inferior de la cavidad (60) de perno en relación con el extremo distal de la disposición (100) de sensor que se produce dependiendo de los cambios de tensión longitudinal aplicada al perno inteligente (10), en donde la transmisión de radiación de interrogación que opera a través
10 del espacio (G) desde una fuente de radiación (200A) de interrogación de la disposición (100) de sensor a un sensor (200B) de radiación correspondiente de la disposición (100) de sensor genera una señal de medición de tensión del sensor (200B) de radiación que se procesa dentro de la disposición (100) de sensor para comunicación inalámbrica desde el perno inteligente (10).

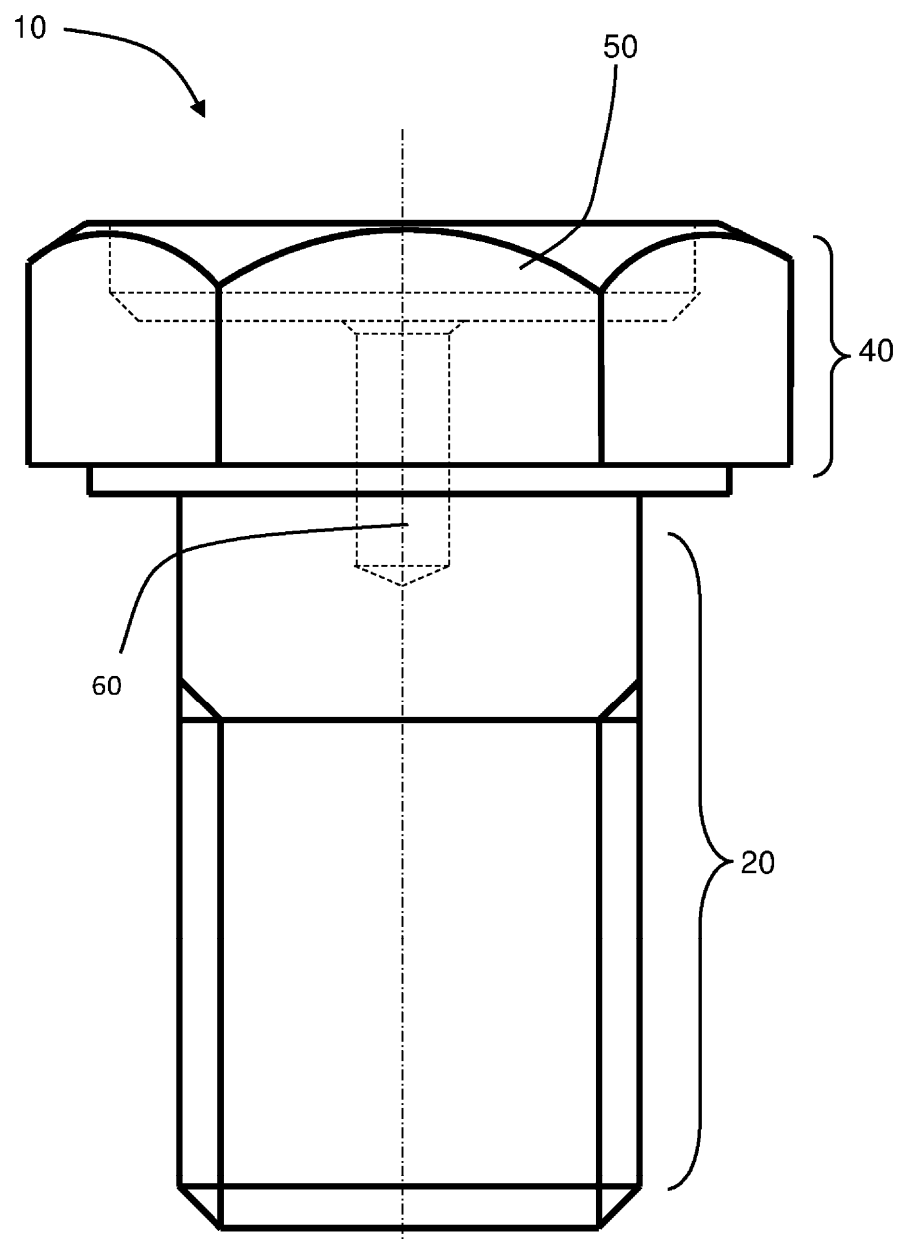


Fig. 1

100

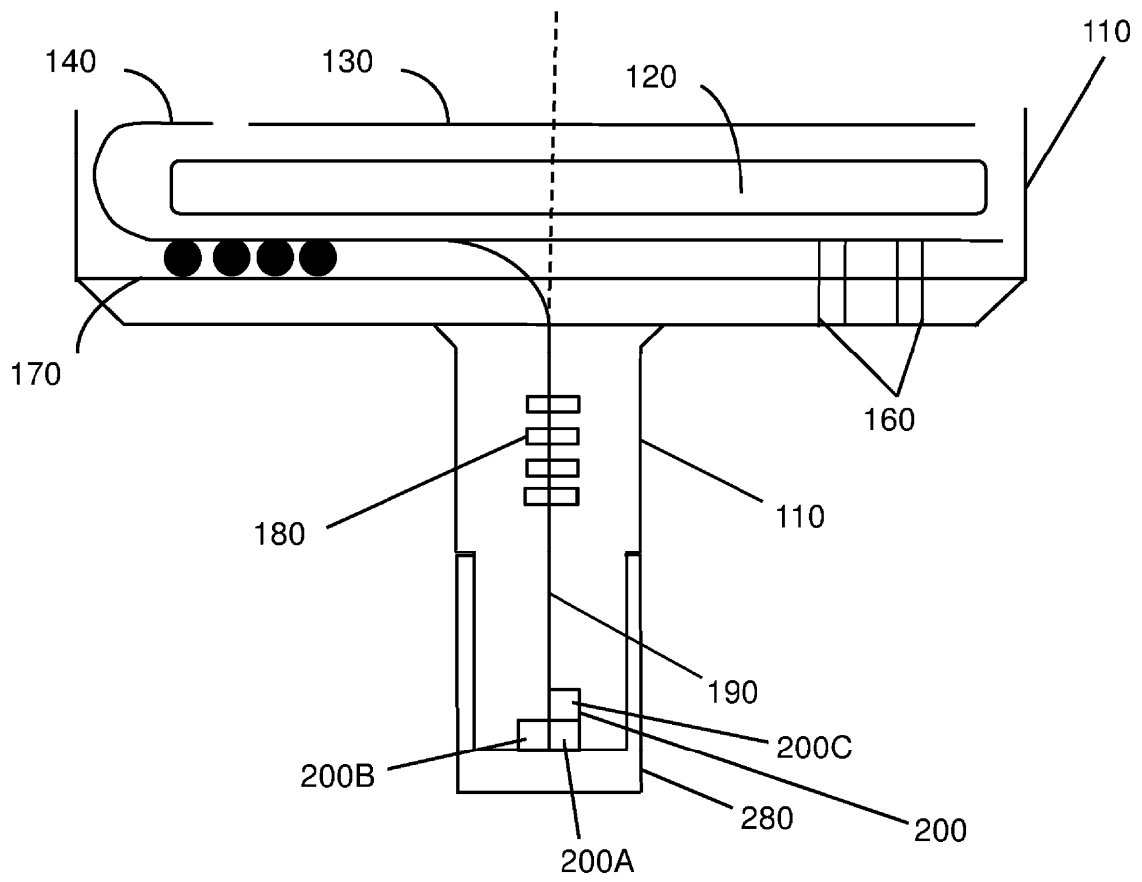


Fig. 2

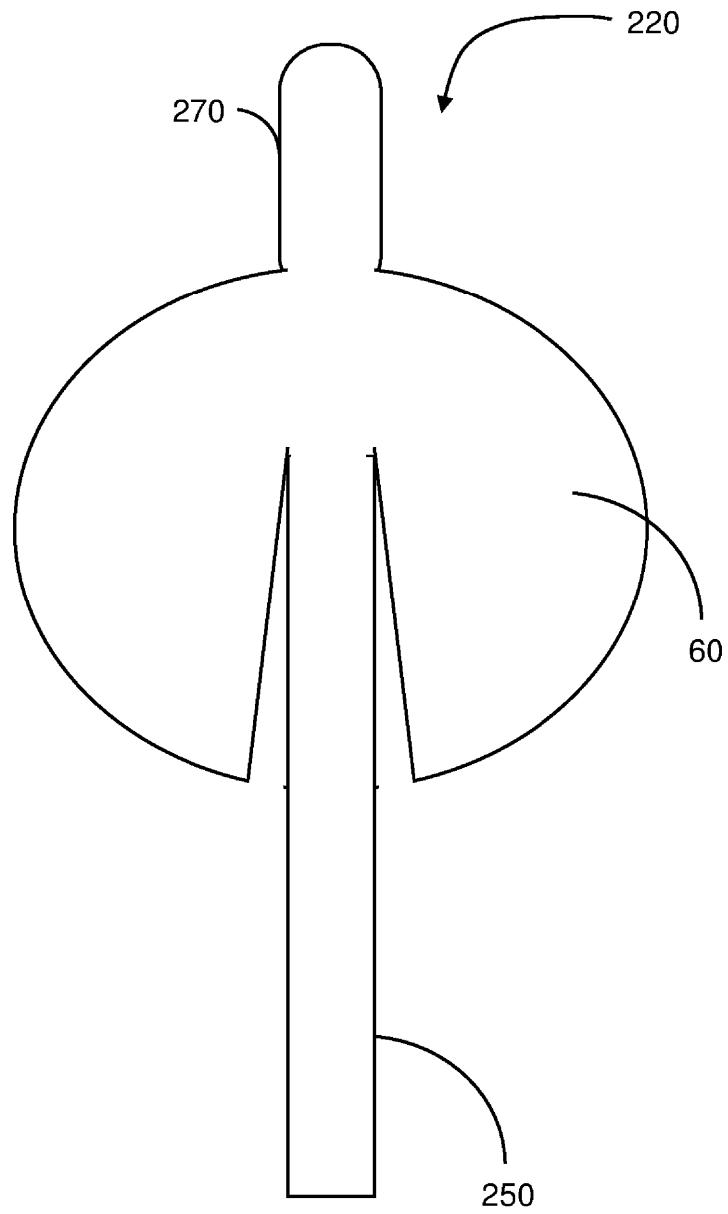


Fig. 3

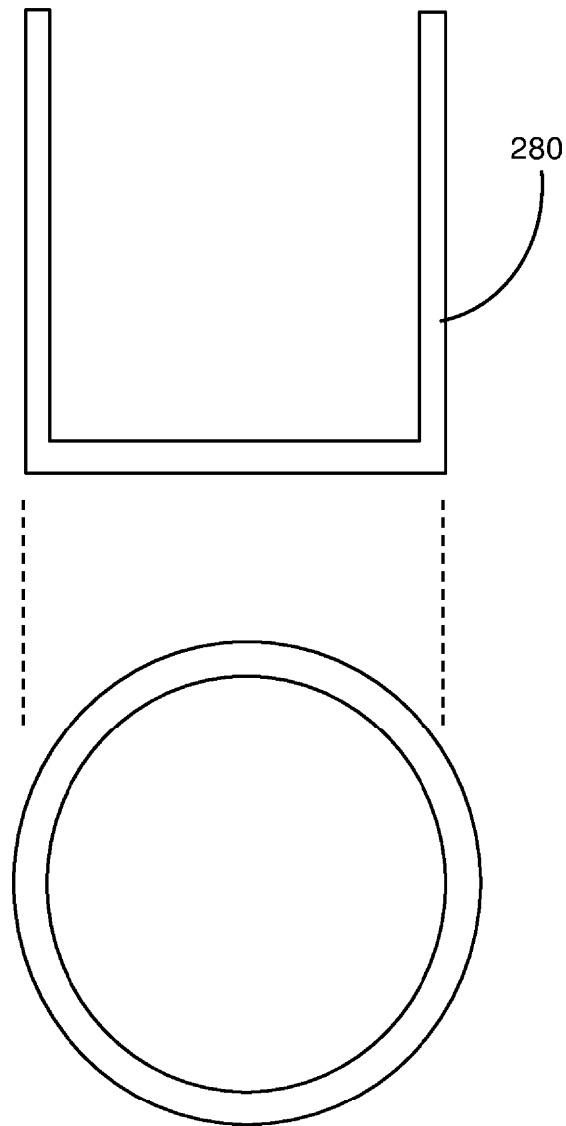


Fig. 4

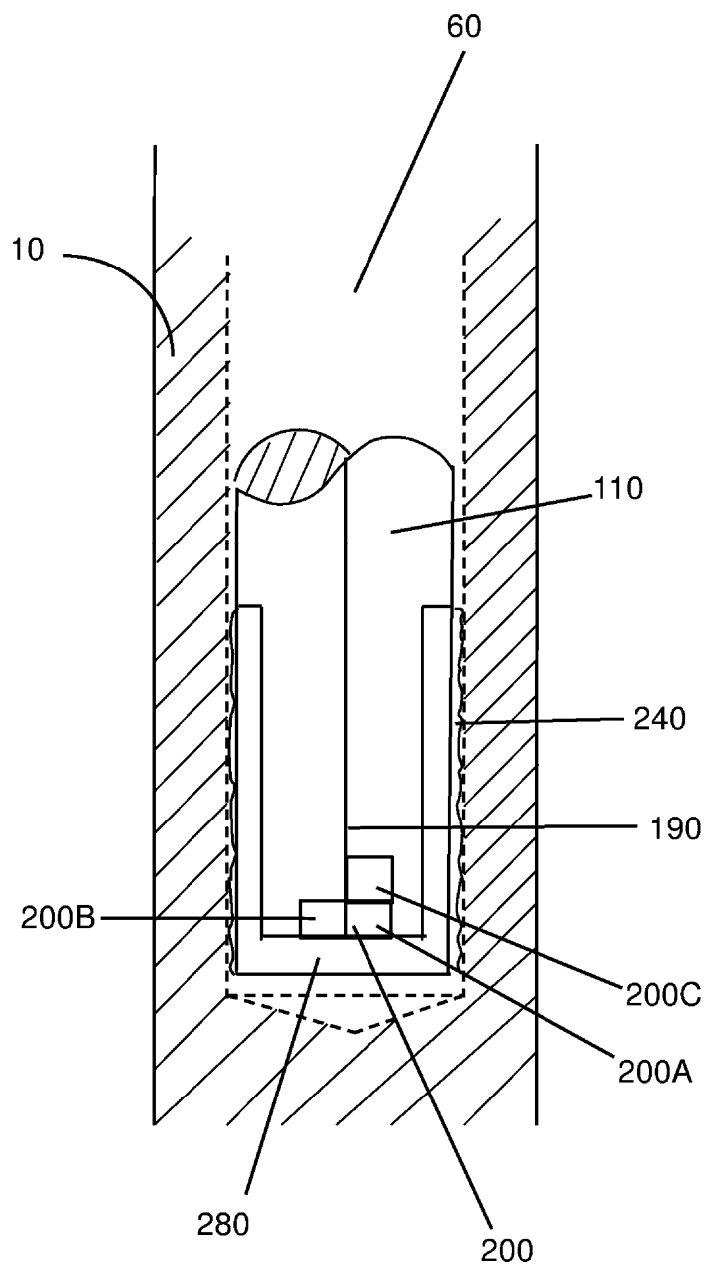


Fig. 5

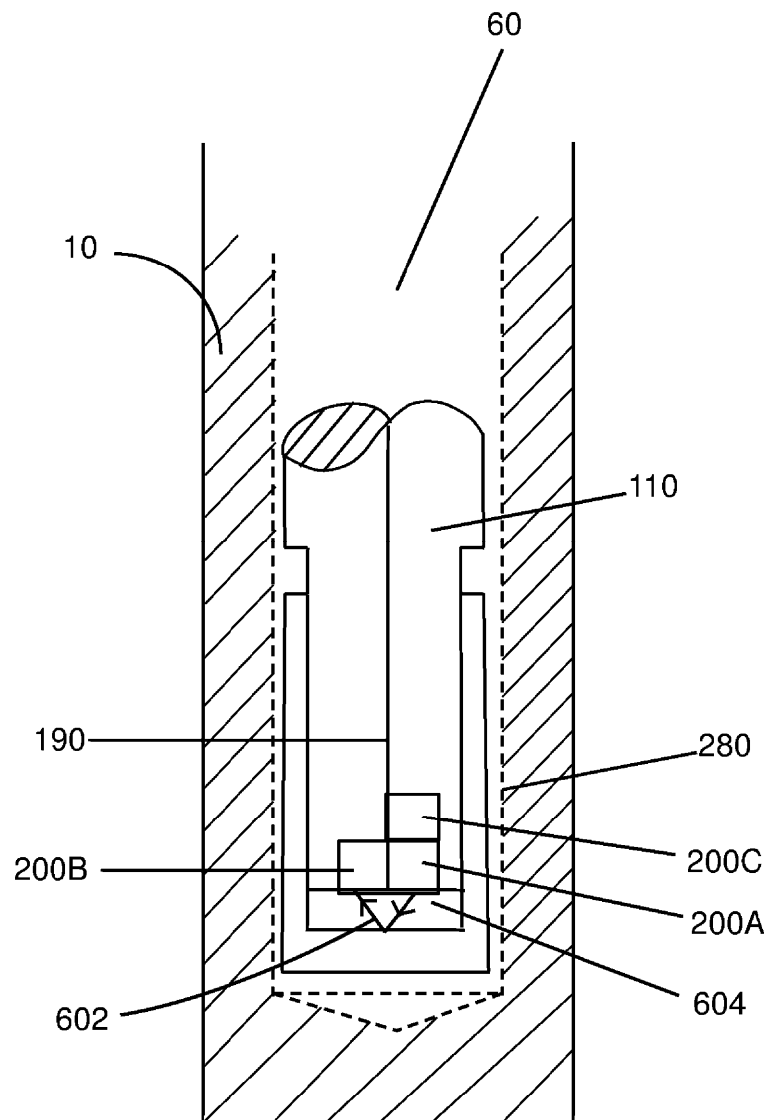


Fig. 6

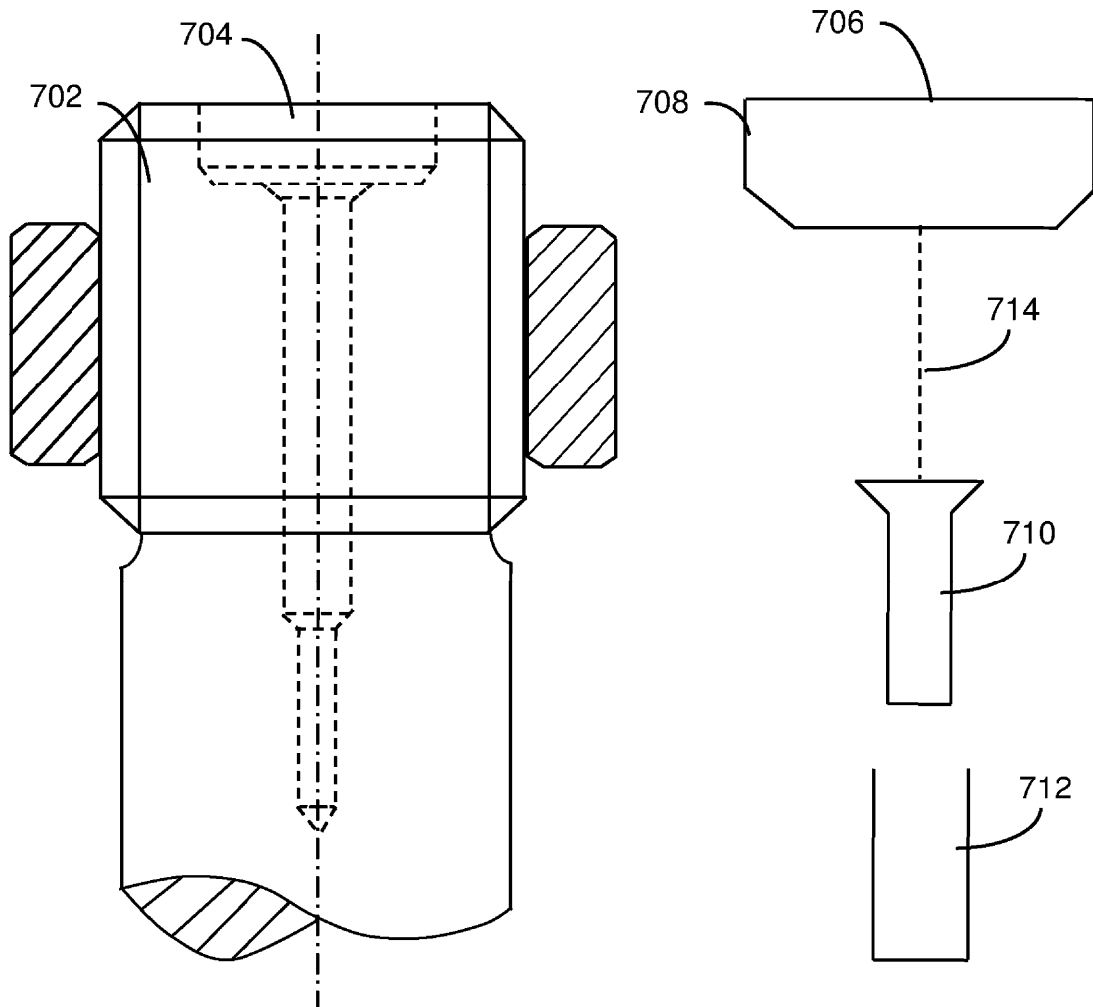


Fig. 7

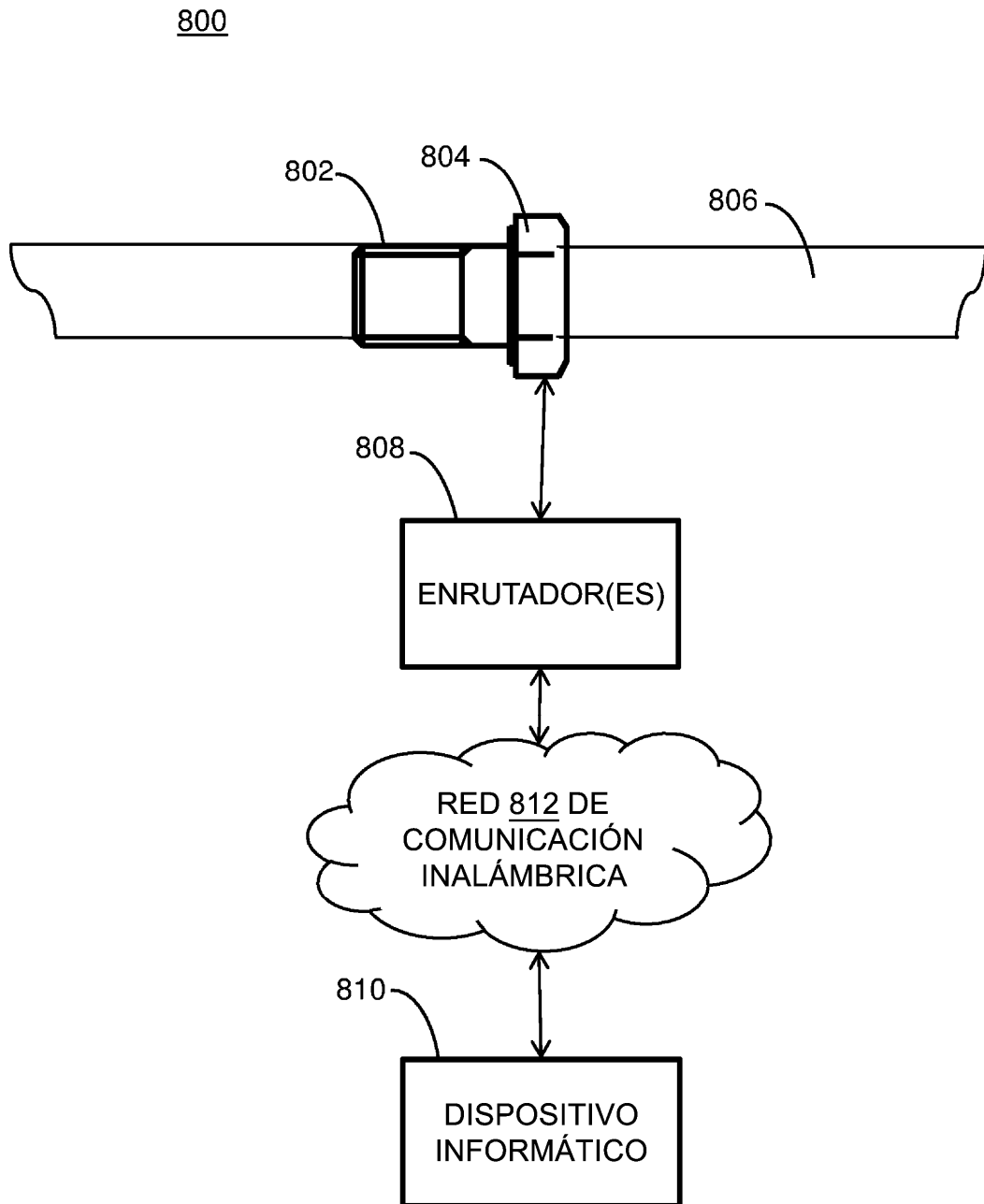


Fig. 8

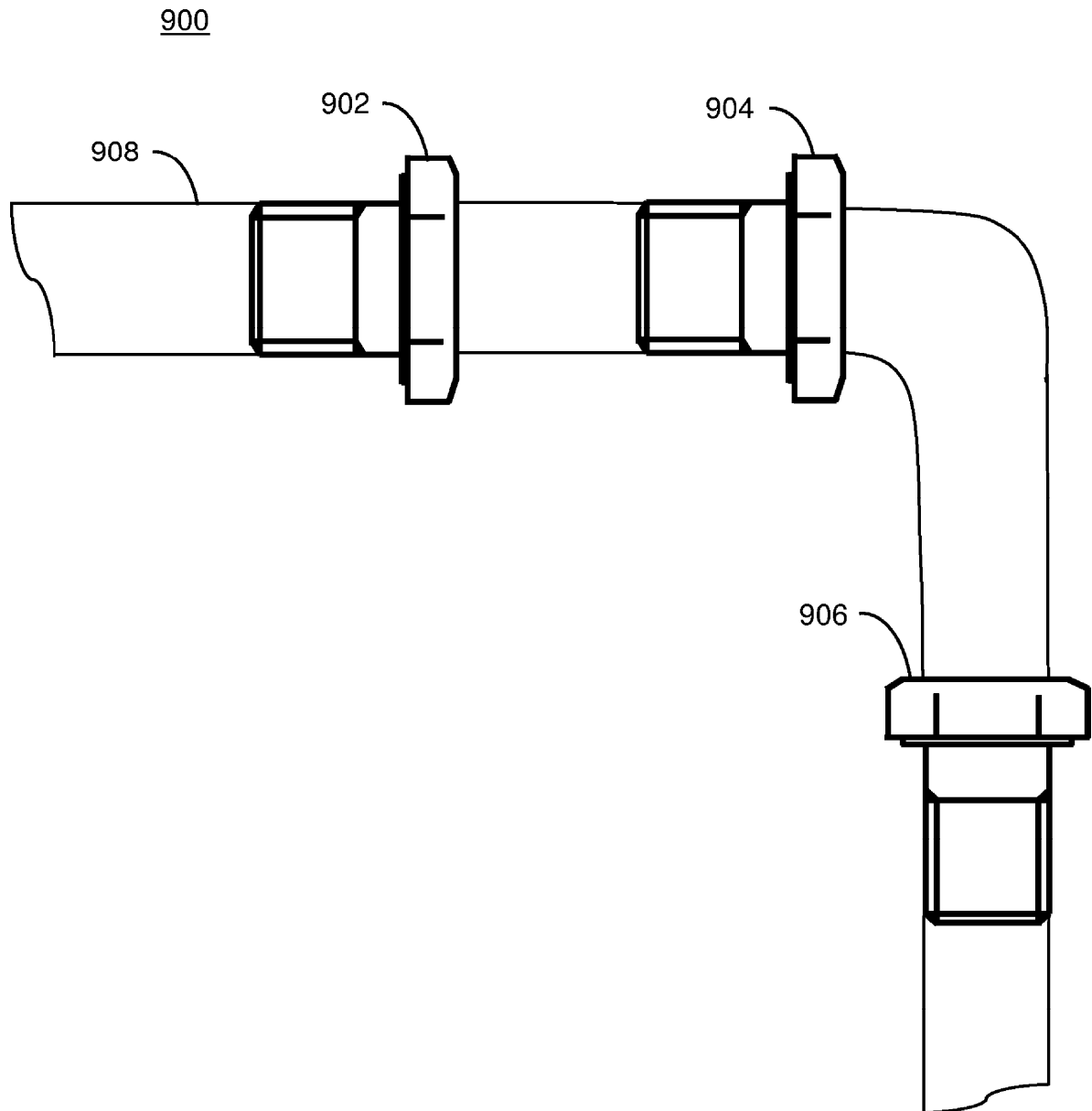


Fig. 9

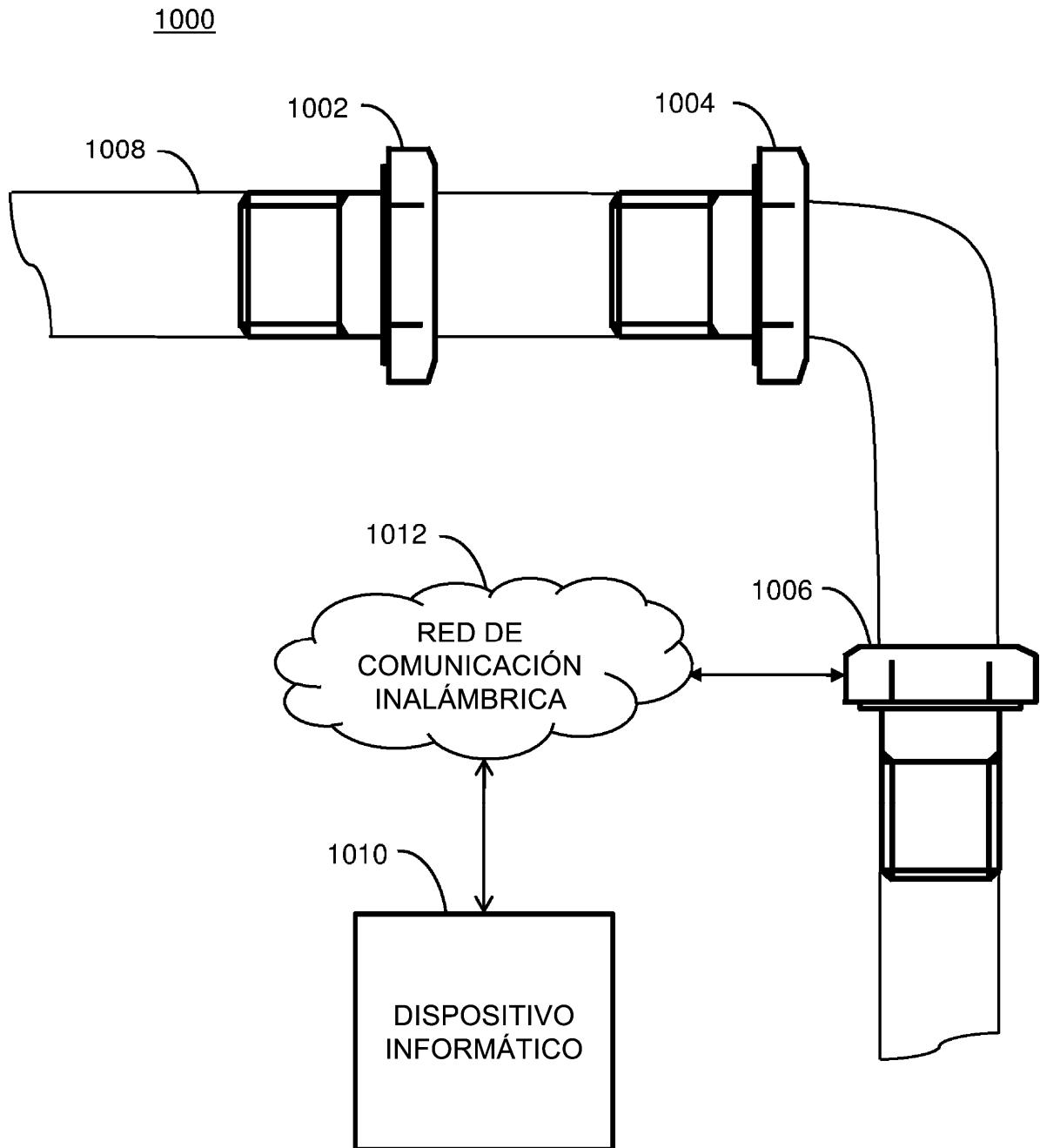


Fig. 10

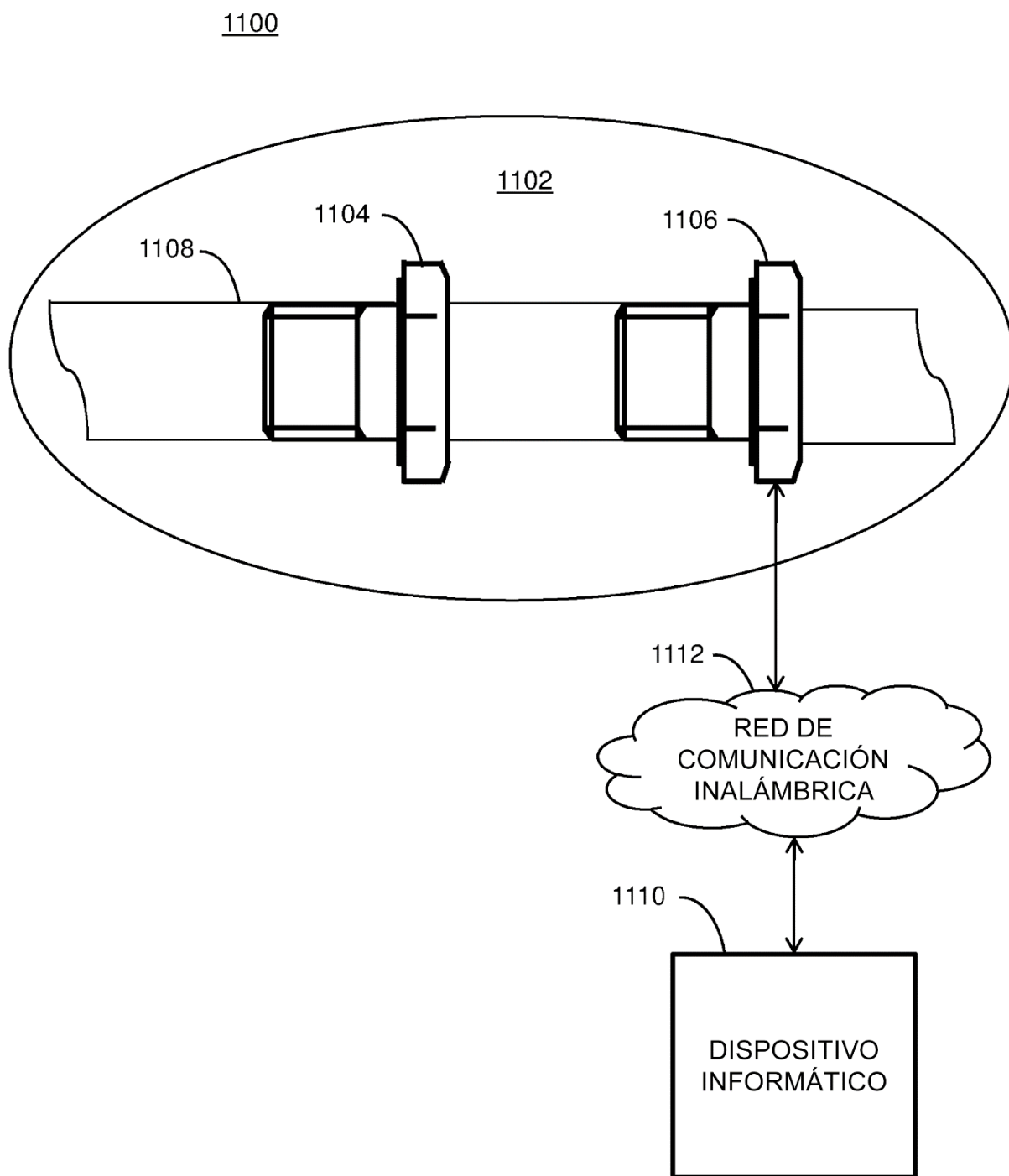


FIG. 11

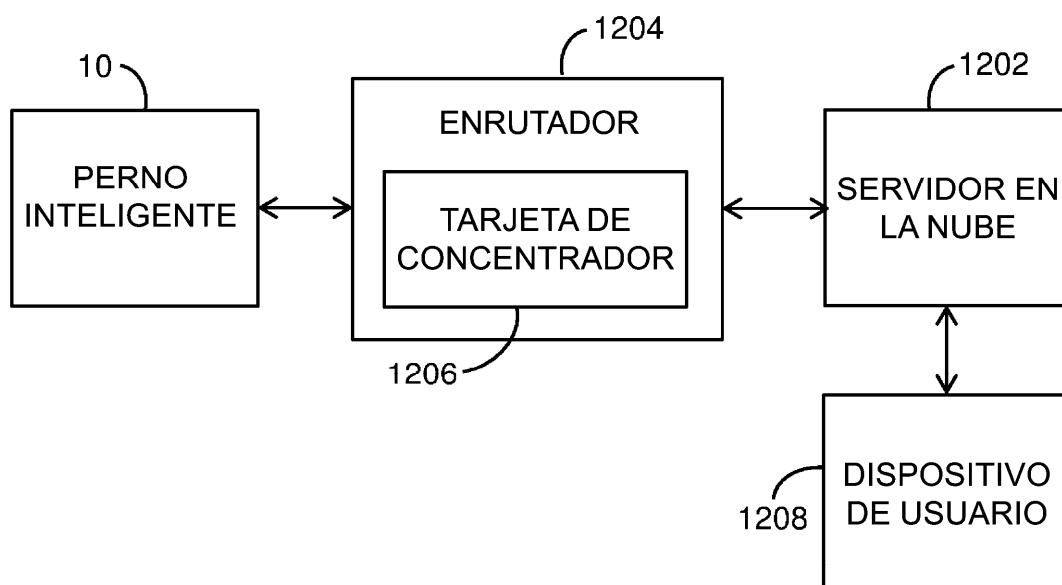


Fig. 12

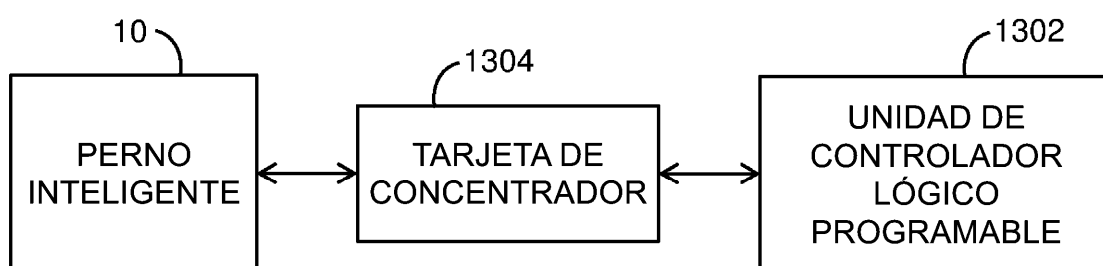


Fig. 13

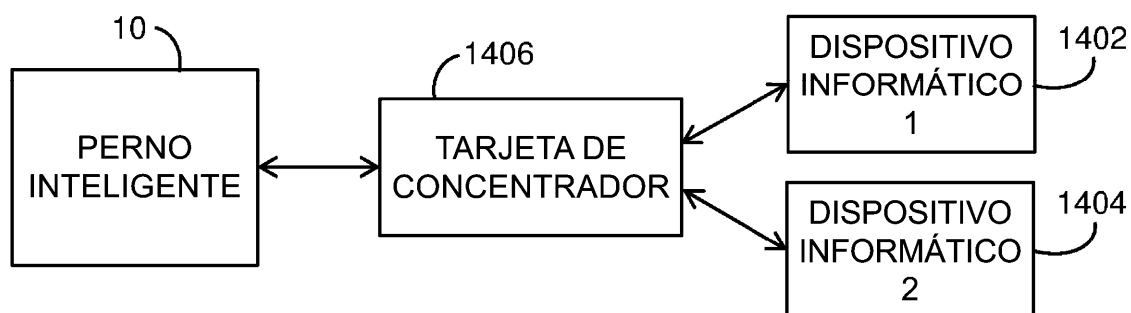


Fig. 14