

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 782 122**

51 Int. Cl.:

**F16B 31/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.12.2017 E 17207852 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.02.2020 EP 3361108**

54 Título: **Arandela de indicación de carga**

30 Prioridad:

**08.02.2017 US 201715428114**

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

**10.09.2020**

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)  
100 North Riverside Plaza  
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

**WEBB, SEAN CHRISTIAN**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 782 122 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**

Arandela de indicación de carga

**Campo**

Esta divulgación se refiere al campo de arandelas para su uso con un elemento de sujeción, tal como un perno.

**5 Antecedentes**

Una arandela es una pieza de metal que se usa habitualmente para distribuir la carga de un elemento de sujeción roscado, tal como un perno. Un tipo particular de arandela puede usarse, adicionalmente, para indicar la precarga sobre el elemento de sujeción usado para unir elementos estructurales. La precarga sobre un elemento de sujeción es la tensión creada sobre un elemento de sujeción cuando se tensa. La tensión sobre el elemento de sujeción crea una fuerza de compresión en la junta conocida como fuerza de apriete. Un tipo de arandela de precarga presenta protuberancias que se aplanan cuando se alcanza una precarga determinada. Otro tipo de arandela de precarga presenta silicona que brota de muescas en la arandela cuando se alcanza una precarga determinada.

La medición de la carga presente en las juntas de elementos estructurales resulta beneficiosa en zonas de fabricación, tales como aeroespaciales. Por tanto, resulta deseable diseñar y usar unas arandelas de indicación de carga mejoradas.

El documento US1569837 según su primera reivindicación proporciona la combinación de una junta flexible de transmisión de par que comprende un elemento flexible de material de producción y medios que agarran el mismo para transmisión de par que incluyen un perno de tensión, de medios para indicar la tensión sobre el perno y que impiden, por tanto, el sobreesfuerzo del material.

**20 Sumario**

En un aspecto se proporciona un aparato según la reivindicación 1. En un aspecto adicional, se proporciona un método según la reivindicación 9.

Los ejemplos descritos en el presente documento permiten una arandela de indicación de carga que tiene una forma de bóveda que se deforma de plásticamente cuando se somete a una carga particular mediante un elemento de sujeción. La arandela de indicación de carga puede usarse en el elemento de sujeción en una junta, tal como una junta entre capas de un material compuesto. A medida que se aplica una fuerza de apriete por el elemento de sujeción en la junta, también se aplica la fuerza/carga a la arandela de indicación de carga. Debido a la geometría y las características de la arandela de indicación de carga, la parte con forma de bóveda puede quebrarse si la fuerza/carga supera un umbral. Por tanto, la arandela de indicación de carga puede usarse para indicar la carga en la junta.

Un ejemplo comprende una arandela para un elemento de sujeción. La arandela está comprendida por una placa base circular, un tapón con forma de bóveda que sobresale de la placa base, una cavidad formada entre la placa base circular y el tapón con forma de bóveda, un orificio de sujeción que se extiende a través de la placa base circular y el tapón con forma de bóveda.

En otro ejemplo, la arandela se forma a partir de un material metálico.

En otro ejemplo, el tapón con forma de bóveda está configurado para quebrarse en la cavidad tras la aplicación de una fuerza de apriete mediante el elemento de sujeción que supera una resistencia elástica del tapón con forma de bóveda.

En otro ejemplo, la cavidad tiene una sección transversal semielíptica.

En otro ejemplo, la resistencia elástica del tapón con forma de bóveda se determina basándose en un eje principal de la sección transversal semielíptica de la cavidad, un eje secundario de la sección transversal semielíptica de la cavidad, un grosor del tapón con forma de bóveda, y el material metálico.

En otro ejemplo, un grosor de la placa base circular es mayor que un grosor del tapón con forma de bóveda.

En otro ejemplo, un grosor del tapón con forma de bóveda disminuye desde la placa base circular hasta el orificio de sujeción.

En otro ejemplo, el orificio de sujeción se dimensiona para deslizarse sobre un elemento de sujeción.

Otro ejemplo comprende una arandela con forma de bóveda. La arandela con forma de bóveda incluye una placa base que es circular a lo largo de un primer plano, una pared convexa que sobresale hacia fuera desde una circunferencia de la placa base, teniendo una cavidad entre la placa base y la pared convexa una forma de plano convexa a lo largo de un segundo plano ortogonal al primer plano, y un orificio de sujeción que se extiende a través

de la placa base y la pared convexa a través de un eje central de la arandela con forma de bóveda.

En otro ejemplo, la arandela con forma de bóveda se forma a partir de un material metálico.

5 En otro ejemplo, la pared convexa está configurada para quebrarse en la cavidad y deformarse plásticamente tras la aplicación de una fuerza de apriete mediante un elemento de sujeción que supera una resistencia elástica de la pared convexa.

En otro ejemplo, un grosor de la placa base es mayor que un grosor de la pared convexa. En otro ejemplo, un grosor de la pared convexa disminuye desde la placa base hasta el orificio de sujeción.

En otro ejemplo, el orificio de sujeción se dimensiona para deslizarse sobre un elemento de sujeción.

10 Otro ejemplo comprende un método de determinación de una carga de apriete hacia arriba en una junta de elementos estructurales. El método incluye adquirir una arandela que comprende una placa base circular, un tapón con forma de bóveda que sobresale de la placa base circular y forma una cavidad entre el tapón con forma de bóveda y la placa base circular, y un orificio de sujeción que se extiende a través del tapón con forma de bóveda y la placa base circular. El método incluye, además, deslizar la arandela sobre una espiga de un elemento de sujeción por medio del orificio de sujeción de modo que el tapón con forma de bóveda engancha el elemento de sujeción, insertar la espiga del elemento de sujeción en un orificio pasante en la junta, y aplicar un aumento de fuerza de apriete a la junta con el elemento de sujeción. El método incluye, además, inspeccionar la junta buscando un hueco entre los elementos estructurales, y determinar que la carga de apriete hacia arriba en la junta no supera un umbral cuando el hueco se cierra y el tapón con forma de bóveda de la arandela no se ha quebrado en la cavidad.

20 En otro ejemplo, el método incluye, además, determinar que la carga de apriete hacia arriba en la junta supera el umbral cuando el hueco no está cerrado y el tapón con forma de bóveda de la arandela se ha quebrado en la cavidad.

En otro ejemplo, el elemento de sujeción comprende un perno y una tuerca. El método incluye, además, roscar la tuerca sobre el perno, y aplicar un aumento de par a la tuerca para aplicar el aumento de fuerza de apriete a la junta.

En otro ejemplo, los elementos estructurales comprenden capas de un material compuesto.

25 Las características, funciones, y ventajas que se han comentado pueden lograrse de manera independiente en diversos ejemplos o pueden combinarse en todavía otros ejemplos, cuyos detalles adicionales pueden observarse con referencia a la siguiente descripción y dibujos.

### Descripción de los dibujos

30 Ahora se describen algunos ejemplos de la presente invención, solo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos. El mismo número de referencia representa el mismo elemento o el mismo tipo de elemento en todos los dibujos.

Las figuras 1-2 son vistas en perspectiva de una arandela de indicación de carga en un ejemplo a modo de ejemplo.

La figura 3 es una vista en sección transversal de una arandela de indicación de carga en un ejemplo a modo de ejemplo.

35 La figura 4 es una vista en sección transversal parcial de una arandela de indicación de carga en un ejemplo a modo de ejemplo.

La figura 5 es una vista desde abajo de una arandela de indicación de carga en un ejemplo a modo de ejemplo.

La figura 6 es una vista en sección transversal de una arandela de indicación de carga en donde el tapón con forma de bóveda se quiebra en un ejemplo a modo de ejemplo.

40 La figura 7 es una vista en perspectiva de una arandela de indicación de carga en donde el tapón con forma de bóveda se quiebra en un ejemplo a modo de ejemplo.

Las figuras 8-9 ilustran una arandela de indicación de carga usada en un elemento de sujeción en un ejemplo a modo de ejemplo.

45 La figura 10 es un diagrama de flujo que ilustra un método de uso de una arandela de indicación de carga para determinar la carga de apriete hacia arriba en una junta en un ejemplo a modo de ejemplo.

### Descripción detallada

Las figuras y la siguiente descripción ilustran ejemplos a modo de ejemplos específicos. Se apreciará que los expertos en la técnica podrán concebir diversas disposiciones que, aunque no se describen o se muestran de manera explícita en el presente documento, albergan los principios descritos en el presente documento y se incluyen

dentro del alcance previsto de las reivindicaciones que se encuentran a continuación de esta descripción.

Además, cualquier ejemplo descrito en el presente documento está destinado a ayudar a comprender los principios de la divulgación, y ha de tenerse en consideración sin limitación. Como resultado, esta divulgación no se limita a los ejemplos específicos descritos a continuación, sino por las reivindicaciones y sus equivalentes. Las figuras 1-2 son vistas en perspectiva de una arandela 100 de indicación de carga en un ejemplo a modo de ejemplo. La arandela 100 se usa junto con un elemento de sujeción para unir dos o más elementos estructurales en conjunto. La parte superior de la arandela 100 en la figura 1 está comprendida por un tapón 102 con forma de bóveda, que representa la parte de la arandela 100 que engancha el elemento de sujeción (por ejemplo, la cabeza del elemento de sujeción, una tuerca de un elemento de sujeción, etc.). La parte inferior de la arandela 100 en la figura 2 define una placa 104 base, que representa la parte de la arandela 100 que engancha una superficie de un elemento estructural, otra arandela, etc. La arandela 100 también incluye un orificio 106 de sujeción, que permite que la arandela 100 se deslice sobre el elemento de sujeción.

El tapón 102 con forma de bóveda está comprendido por una capa o pared de material (por ejemplo, metal) que sobresale de la placa 104 base y tiene una forma abovedada o convexa. La placa 104 base está comprendida por una capa de material circular (por ejemplo, metal) que puede ser sustancialmente plana o lisa para distribuir una carga del elemento de sujeción a través de una superficie de un elemento estructural. El tapón 102 con forma de bóveda y la placa 104 base pueden formarse de manera solidaria de modo que la arandela 100 tiene una estructura de único cuerpo formada a partir de un material metálico, tal como aluminio.

La figura 3 es una vista en sección transversal de la arandela 100 en un ejemplo a modo de ejemplo. La figura 3 es una sección transversal a lo largo de la línea 3-3 de la figura 2. El tapón 102 con forma de bóveda se forma a partir de una pared convexa que sobresale hacia fuera desde la placa 104 base. En este ejemplo, la pared convexa sobresale desde la circunferencia de la placa 104 base. La forma del tapón 102 con forma de bóveda forma una cavidad 304 entre la placa 104 base y el tapón 102 con forma de bóveda, que es un espacio hueco o vacío entre la placa 104 base y el tapón 102 con forma de bóveda. La cavidad 304 tiene una forma semielíptica o forma de plano convexa cuando se observa en sección transversal (es decir, a lo largo de un plano que es ortogonal al plano de la placa 104 base).

La figura 4 es una vista en sección transversal parcial de la arandela 100 en un ejemplo a modo de ejemplo. La placa 104 base tiene un grosor de T1, y un tapón 102 con forma de bóveda tiene un grosor de T2. Aunque los grosores de la placa 104 base y el tapón 102 con forma de bóveda pueden variar basándose en elecciones de diseño, el grosor T1 de la placa 104 base puede ser mayor que un grosor T2 del tapón 102 con forma de bóveda. Esto puede permitir que el tapón 102 con forma de bóveda se deforme plásticamente antes o en lugar de la placa 104 base. También, el grosor T2 del tapón 102 con forma de bóveda puede disminuir o estrecharse desde el momento en el que sobresale desde la placa 104 base hasta el orificio 106 de sujeción (véase también la figura 3). La superficie de contacto entre el tapón 102 con forma de bóveda y la placa 104 base define un ángulo 402. La figura 5 es una vista desde abajo de la arandela 100 en un ejemplo a modo de ejemplo. La placa 104 base tiene un diámetro D1, que puede variar según se desee basándose en elecciones de diseño. El orificio 106 de sujeción puede extenderse a través de un eje central de la placa 104 base (y el tapón 102 con forma de bóveda) tal como se muestra en la figura 5.

La arandela 100 se diseña de modo que el tapón 102 con forma de bóveda se quiebra en la cavidad 304 si se aplica una fuerza lo suficientemente elevada al tapón 102 con forma de bóveda mediante un elemento de sujeción. La figura 6 es una vista en sección transversal de la arandela 100 en donde el tapón 102 con forma de bóveda se quiebra en un ejemplo a modo de ejemplo. Tal como resulta evidente en esta figura, una fuerza 602 (por ejemplo, una fuerza de apriete de un elemento de sujeción) o carga que supera un umbral, resistencia elástica, resistencia a la compresión, o límite elástico del tapón 102 con forma de bóveda provocará que el tapón 102 con forma de bóveda se quiebre en la cavidad 304 y se deforme plásticamente. El umbral puede depender de una variedad de características de diseño de la arandela 100. Por ejemplo, el umbral puede determinarse basándose en el eje 310 principal de la sección transversal semielíptica de la cavidad 304 (véase la figura 3), el eje 311 secundario de la sección transversal semielíptica de la cavidad 304, el grosor T2 del tapón 102 con forma de bóveda, y el material usado para formar la arandela 100. El umbral también determinarse basándose en el grosor T1 de la placa 104 base, el diámetro D1 de la placa 104 base, el ángulo 402 entre el tapón 102 con forma de bóveda y la placa 104 base (véase la figura 4), y otras posibles características. El diámetro D1 circular de la placa 104 base puede estar relacionado geoméricamente con el eje 310 principal de la sección transversal semielíptica de la cavidad 304. Por ejemplo, el diámetro D1 puede ser equivalente a la suma del eje 310 principal de la sección transversal semielíptica de la cavidad 304 y el doble del grosor T1 en la intersección del tapón 102 con forma de bóveda y la placa 104 base. La figura 7 es una vista en perspectiva de la arandela 100 en donde el tapón 102 con forma de bóveda se quiebra en un ejemplo a modo de ejemplo.

Las figuras 8-9 ilustran la arandela 100 usada en un elemento de sujeción en un ejemplo a modo de ejemplo. El elemento 802 de sujeción es un perno con una tuerca en este ejemplo, pero el elemento 802 de sujeción puede comprender otro tipo de elemento de sujeción en otros ejemplos, tales como un tornillo, un remache, etc. El elemento 802 de sujeción se usa para fijar las superficies en contacto de los elementos 810-812 estructurales en una junta 813. Los elementos 810-812 estructurales pueden comprender capas de un material compuesto formado a

partir de múltiples materiales constitutivos, tales como un material polimérico reforzado con fibra de carbono (CFRP). Los elementos 810-812 estructurales pueden comprender, alternativamente, cualquier parte, objeto, material, etc., que vaya a unirse. La junta 813 tiene un orificio 817 pasante que se extiende desde una superficie 815 superior hasta una superficie 816 inferior para el elemento 802 de sujeción.

5 En este ejemplo, la arandela 100 se desliza sobre la espiga 806 del elemento 802 de sujeción hasta que el tapón 102 con forma de bóveda se engancha con la cabeza 804 de sujeción. El elemento 802 de sujeción puede insertarse entonces en el orificio 817 pasante de la junta 813 tal como se muestra en la figura 8, en donde la placa 104 base de la arandela 100 entra en contacto con la superficie 815 superior de la junta 813. La tuerca 808 puede entonces roscarse sobre el extremo roscado de la espiga 806. El material de metal usado en la junta 813 es simplemente un  
10 ejemplo, tal como pueden usarse otras arandelas planas u otros elementos de metal con el elemento 802 de sujeción y la arandela 100.

Ventajosamente, la arandela 100 puede indicar una carga en la junta 813. El elemento 802 de sujeción se tensa mediante la aplicación de par o bien la cabeza 804 de sujeción o a la tuerca 808. El par aplicado provoca la tensión del elemento 802 de sujeción, y crea una fuerza de apriete que comprime los elementos 810-812 estructurales. Si la  
15 fuerza de apriete creada por el elemento 802 de sujeción supera la resistencia elástica del tapón 102 con forma de bóveda, entonces el tapón 102 con forma de bóveda se quebrará en la cavidad 304 y se deformará plásticamente (véase la figura 9). La arandela 100 puede actuar, por tanto, como un mecanismo de detección que tiene una respuesta mecánica (es decir, la quiebra del tapón 102 con forma de bóveda) a las cargas que superan el límite elástico de la geometría y el material usado para la arandela 100. Tal como se describió anteriormente, las  
20 características de diseño de la arandela 100 determinan la resistencia elástica del tapón 102 con forma de bóveda. Por ejemplo, el grosor T2 del tapón 102 con forma de bóveda y el grosor T1 de la placa 104 base (véase la figura 3) pueden seleccionarse para satisfacer el límite elástico plástico deseado de la arandela 100, que corresponde con la fuerza de apriete necesaria para la junta 813. El grosor T2 del tapón 102 con forma de bóveda junto con el grosor T1 y el diámetro D1 de la placa 104 base determinan el ángulo 402 designado dentro de la cavidad 304 (véase la figura  
25 4) y el volumen resultante de la cavidad 304. La deformación plástica de la arandela 100 da como resultado el no proporcionar una precarga adicional al elemento 802 de sujeción. Esto se debe a la energía elástica almacenada que proporciona de manera natural una oposición lineal, la fuerza resistiva se libera una vez que la estructura enrejada cristalina se disloca de manera permanente y rompe las uniones atómicas dentro de la estructura metálica. Esto puede resultar ventajoso en juntas de tensión crítica, en las que la precarga adicional puede afectar de manera  
30 dañina a la vida útil estática y de fatiga del elemento 802 de sujeción o la unión de elementos 810-812 estructurales. Debido a esto, tras la deformación completa, la arandela 100 puede actuar como una arandela plana habitual con un grosor dado, o puede desecharse una vez que la información obtenida se usa para tomar una decisión sobre la previsión de diseño de la junta 813 (por ejemplo, la carga requerida para cerrar el hueco se encuentra fuera de tolerancia).

35 Una ventaja adicional de la arandela 100 es que el diseño geométrico es tal que la deformación plástica (permanente) del tapón 102 con forma de bóveda proporciona una cavidad 902 rebajada para que la cabeza 804 de sujeción se aloje. Un ejemplo adicional proporciona una solución para impedir el movimiento de roscado en juntas sujetas con pernos debido a las vibraciones, y juntas fijas inviolables en aplicaciones de alta seguridad. Al introducir una resina epoxi de dos partes y endurecedor en la cavidad 902 rebajada, el relleno endurecido puede impedir que  
40 las juntas 813 se suelten debido a la carga dinámica y a un acceso futuro a la junta para aplicaciones de seguridad. Si la cabeza 804 de sujeción se diseña lo suficientemente más pequeña que la cavidad 902 rebajada, la resina puede encapsular por completo el elemento 802 de sujeción, impidiendo el acceso de herramientas a superficies internas y externas de la cabeza 804 de sujeción necesarias para desensamblar la junta 813. Adicionalmente, la geometría post-fuerza de la arandela 100 es tal que la mezcla de la resina epoxi se retendrá de manera adecuada, sin vertidos, fugas, o sin la necesidad de dispositivos de retención adicionales.  
45

Una aplicación particular de la arandela 100 es determinar la fuerza/carga de apriete hacia arriba en una junta. Puede no producirse una alineación al mismo nivel entre las superficies coincidentes o de contacto de los elementos 810-812 estructurales en la junta 813. Por ejemplo, el elemento 810 estructural puede tener una deformación (por  
50 ejemplo, una ligera curva o flexión), que crea un hueco 820 entre el elemento 810 estructural y el elemento 811 estructural (véase la figura 8). Este hueco 820 crea una fuerza de oposición o una resistencia a oposición en la junta 813 que ha de superarse por la fuerza de apriete del elemento 802 de sujeción para conectarse al hueco 820, que se denomina fuerza de apriete hacia arriba o carga de apriete hacia arriba. La carga de apriete hacia arriba es una carga residual añadida en la junta 813, que requiere superarse por la fuerza de apriete del elemento 802 de sujeción para fusionar el hueco 820 entre los elementos 810-812 estructurales. Un límite o umbral se coloca en esta carga  
55 añadida en la junta 813 en un entorno de producción de modo que el elemento 802 de sujeción y los elementos 810-812 estructurales no envejecen estructuralmente, lo que da como resultado la pérdida de resistencia estática y a la fatiga. Por tanto, puede resultar deseable conocer si la cantidad de carga de apriete hacia arriba en una junta supera un umbral.

La figura 10 es un diagrama de flujo que ilustra un método 1000 de uso de la arandela 100 para determinar la carga de apriete hacia arriba en una junta en un ejemplo a modo de ejemplo. Las etapas del método 1000 se describirán  
60 con referencia a las figuras 8-9, pero los expertos en la técnica apreciarán que el método 1000 puede realizarse con otros elementos de sujeción y en otras juntas. Las etapas de este diagrama de flujo no son inclusivas en su totalidad

y pueden incluir otras etapas no mostradas, y las etapas pueden realizarse en un orden alternativo.

Las etapas del método 1000 pueden realizarse mediante un operario o un sistema automatizado (por ejemplo, un robot) al ensamblar una estructura formada a partir de elementos 810-812 estructurales (por ejemplo, capas de una estructura compuesta), tal como se muestra en las figuras 8-9. El método 1000 incluye adquirir (etapa 1002) una arandela 100 tal como se describió anteriormente, y deslizar (etapa 1004) la arandela 100 sobre una espiga de un elemento de sujeción de modo que el tapón 102 con forma de bóveda engancha el elemento de sujeción (véase la figura 8). El método 1000 incluye, además, insertar (etapa 1006) la espiga del elemento de sujeción en un orificio pasante en la junta (véase la figura 8). Si el elemento de sujeción es un perno tal como se muestra en la figura 8, entonces la tuerca puede roscarse sobre el perno. El método 1000 incluye, además, aplicar (etapa 1008) un aumento de fuerza de apriete a la junta 813 con el elemento de sujeción. Por ejemplo, un operario puede aplicar par o bien la cabeza de sujeción o bien a la tuerca del elemento de sujeción. El par aplicado provoca una tensión del elemento de sujeción y crea una compresión en los elementos 810-812 estructurales. El método 1000 incluye, además, inspeccionar (etapa 1010) la junta 813 buscando un hueco 820 entre los elementos 810-812 estructurales.

Cuando el hueco 820 se cierra y el tapón 102 con forma de bóveda de la arandela 100 no se ha quebrado en la cavidad 304, el método 1000 incluye, además, determinar (etapa 1012) que la fuerza de apriete hacia arriba en la junta 813 no supera un umbral. Como la fuerza de apriete hacia arriba en la junta 813 no supera el umbral, el hueco 820 no añade una carga inaceptable en la junta 813. Por tanto, puede verificarse que la junta 813 se encuentra dentro de tolerancias de fabricación aceptables. En este momento, puede aplicarse par adicional al elemento de sujeción hasta que se alcanza un par deseado (generalmente un porcentaje de la resistencia de prueba del elemento de sujeción). Este par adicional crea una fuerza de apriete que supera la resistencia elástica de la arandela 100 de modo que se quiebra, y la arandela 100 actúa como una arandela plana habitual. Alternativamente, la arandela 100 puede retirarse del elemento de sujeción tras indicar la fuerza de apriete hacia arriba y desecharse. Cuando el hueco 820 no está cerrado y el tapón 102 con forma de bóveda de la arandela 100 se ha quebrado en la cavidad 304, el método 1000 incluye, además, determinar (etapa 1014) que la fuerza de apriete hacia arriba en la junta 813 supera el umbral. Como la fuerza de apriete hacia arriba en la junta 813 supera el umbral, el hueco 820 añade una cantidad inaceptable de carga en la junta 813 que puede afectar negativamente a la integridad estructural de la junta 813. Por tanto, la junta 813 puede no encontrarse dentro de las tolerancias de fabricación aceptables. Los ejemplos y características adicionales de la presente divulgación se presentan a continuación sin limitación. Las características de cada uno de estos ejemplos pueden combinarse con uno o más ejemplos adicionales de cualquier otro lugar en esta divulgación, de cualquier manera adecuada.

Según un aspecto de la divulgación, se proporciona un aparato que comprende: una arandela para un elemento de sujeción, estando la arandela comprendida por: una placa base circular; un tapón con forma de bóveda que sobresale de la placa base; una cavidad formada entre la placa base circular y el tapón con forma de bóveda; y un orificio de sujeción que se extiende a través de la placa base circular y el tapón con forma de bóveda.

Opcionalmente, la arandela se forma a partir de un material metálico.

Opcionalmente, el tapón con forma de bóveda está configurado para quebrarse en la cavidad tras la aplicación de una fuerza de apriete mediante el elemento de sujeción que supera una resistencia elástica del tapón con forma de bóveda.

Opcionalmente, la cavidad tiene una sección transversal semielíptica.

Opcionalmente, la resistencia elástica del tapón con forma de bóveda se determina basándose en: un eje principal de la sección transversal semielíptica de la cavidad; un eje secundario de la sección transversal semielíptica de la cavidad; un grosor del tapón con forma de bóveda; y el material metálico.

Opcionalmente, un grosor de la placa base circular es mayor que un grosor del tapón con forma de bóveda.

Opcionalmente, un grosor del tapón con forma de bóveda disminuye desde la placa base circular hasta el orificio de sujeción.

Opcionalmente, el orificio de sujeción se dimensiona para deslizarse sobre un elemento de sujeción.

Según un aspecto adicional de la divulgación, se proporciona un aparato que comprende: una arandela con forma de bóveda comprendida por: una placa base que es circular a lo largo de un primer plano; una pared convexa que sobresale hacia fuera desde una circunferencia de la placa base; teniendo una cavidad entre la placa base y la pared convexa una forma de plano convexa a lo largo de un segundo plano ortogonal al primer plano; y un orificio de sujeción que se extiende a través de la placa base y la pared convexa a través de un eje central de la arandela con forma de bóveda.

Opcionalmente, la arandela con forma de bóveda se forma a partir de un material metálico.

Opcionalmente, la pared convexa está configurada para quebrarse en la cavidad y deformarse plásticamente tras la aplicación de una fuerza de apriete mediante un elemento de sujeción que supera una resistencia elástica de la

pared convexa.

Opcionalmente, un grosor de la placa base es mayor que un grosor de la pared convexa.

Opcionalmente, un grosor de la pared convexa disminuye desde la placa base hasta el orificio de sujeción.

Opcionalmente, el orificio de sujeción se dimensiona para deslizarse sobre un elemento de sujeción.

- 5 Según un aspecto adicional de la presente divulgación, se proporciona un método para determinar una carga de apriete hacia arriba en una junta de elementos estructurales, comprendiendo el método: adquirir una arandela que comprende una placa base circular, un tapón con forma de bóveda que sobresale de la placa base circular y forma una cavidad entre el tapón con forma de bóveda y la placa base circular, y un orificio de sujeción que se extiende a través del tapón con forma de bóveda y la placa base circular; deslizar la arandela sobre una espiga de un elemento de sujeción por medio del orificio de sujeción de modo que el tapón con forma de bóveda engancha el elemento de sujeción; insertar la espiga del elemento de sujeción en un orificio pasante en la junta; aplicar un aumento de fuerza de apriete a la junta con el elemento de sujeción; inspeccionar la junta buscando un hueco entre los elementos estructurales; y determinar que la carga de apriete hacia arriba en la junta no supera un umbral cuando el hueco se cierra y el tapón con forma de bóveda de la arandela no se ha quebrado en la cavidad.
- 10
- 15 Opcionalmente, el método comprende, además: determinar que la carga de apriete hacia arriba en la junta supera el umbral cuando el hueco no está cerrado y el tapón con forma de bóveda de la arandela se ha quebrado en la cavidad.
- Opcionalmente, el elemento de sujeción comprende un perno y una tuerca, y comprende, además: roscar la tuerca sobre el perno; y aplicar un aumento de par a la tuerca para aplicar el aumento de fuerza de apriete a la junta.
- 20 Opcionalmente, los elementos estructurales comprenden capas de un material compuesto.

Aunque se describieron ejemplos específicos en el presente documento, el alcance no se limita a esos ejemplos específicos. En su lugar, el alcance se define mediante las siguientes reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Aparato que comprende:  
una arandela (100) para un elemento de sujeción, estando la arandela comprendida por:  
una placa (104) base circular;
- 5 un tapón (102) con forma de bóveda que sobresale de la placa base;  
una cavidad (304) formada entre la placa base circular y el tapón con forma de bóveda; y  
un orificio (106) de sujeción que se extiende a través de la placa base circular y el tapón con forma de bóveda;  
caracterizado porque el tapón con forma de bóveda está formado de manera solidaria con la placa base.
2. Aparato según la reivindicación 1, en el que:
- 10 la arandela se forma a partir de un material metálico.
3. Aparato según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que:  
el tapón con forma de bóveda está configurado para quebrarse en la cavidad tras la aplicación de una fuerza de apriete mediante el elemento de sujeción que supera una resistencia elástica del tapón con forma de bóveda.
4. Aparato de cualquier reivindicación anterior en el que:
- 15 la cavidad tiene una sección transversal semielíptica.
5. Aparato según la reivindicación 4, en el que:  
la resistencia elástica del tapón con forma de bóveda se determina basándose en:  
un eje principal de la sección transversal semielíptica de la cavidad;  
un eje secundario de la sección transversal semielíptica de la cavidad;
- 20 un grosor del tapón con forma de bóveda; y  
el material metálico.
6. Aparato según cualquier reivindicación anterior, en el que:  
un grosor de la placa base circular es mayor que un grosor del tapón con forma de bóveda.
7. Aparato según cualquier reivindicación anterior en el que:
- 25 Un grosor del tapón con forma de bóveda disminuye desde la placa base circular hasta el orificio de sujeción.
8. Aparato según cualquier reivindicación anterior, en el que:  
el orificio de sujeción se dimensiona para deslizarse sobre un elemento de sujeción.
9. Método de determinación de una carga de apriete hacia arriba en una junta de elementos estructurales, comprendiendo el método (1000):
- 30 adquirir una arandela que comprende una placa base circular, un tapón con forma de bóveda que sobresale de la placa base circular y forma una cavidad entre el tapón con forma de bóveda y la placa base circular, y un orificio de sujeción que se extiende a través del tapón con forma de bóveda y la placa (1002) base circular;  
deslizar la arandela sobre una espiga de un elemento de sujeción por medio del orificio de sujeción de modo que el tapón con forma de bóveda engancha el elemento (1004) de sujeción;
- 35 insertar la espiga del elemento de sujeción en un orificio pasante en la junta (1006);  
aplicar un aumento de fuerza de apriete a la junta con el elemento (1008) de sujeción;  
inspeccionar la junta buscando un hueco entre los elementos (1010) estructurales; y  
determinar que la carga de apriete hacia arriba en la junta no supera un umbral cuando el hueco se cierra y el tapón con forma de bóveda de la arandela no se ha quebrado en la cavidad (1012);

caracterizado porque el tapón con forma de bóveda está formado de manera solidaria con la placa base.

10. Método según la reivindicación 9, que comprende, además:

determinar que la carga de apriete hacia arriba en la junta supera el umbral cuando el hueco no está cerrado y el tapón con forma de bóveda de la arandela se ha quebrado en la cavidad (1014).

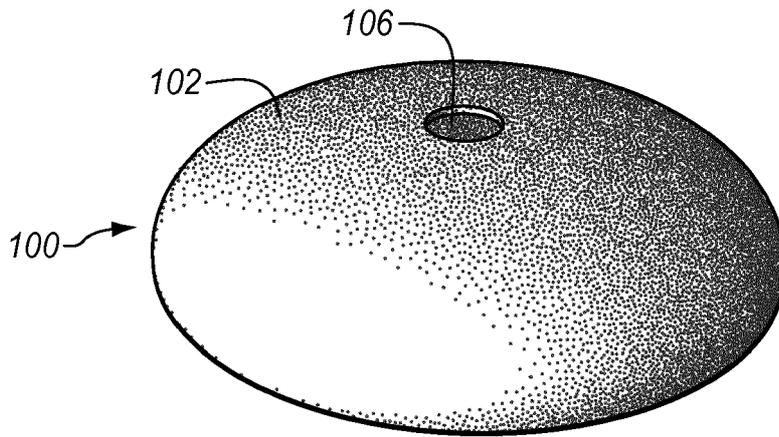
5 11. Método según la reivindicación 9 o la reivindicación 10, en el que el elemento de sujeción comprende un perno y una tuerca, y que comprende, además:

roscar la tuerca sobre el perno; y

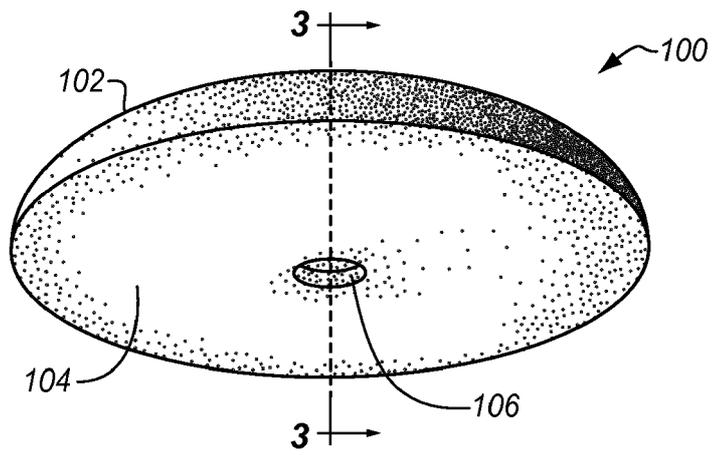
aplicar un aumento de par a la tuerca para aplicar el aumento de fuerza de apriete a la junta.

12. Método según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11 en el que:

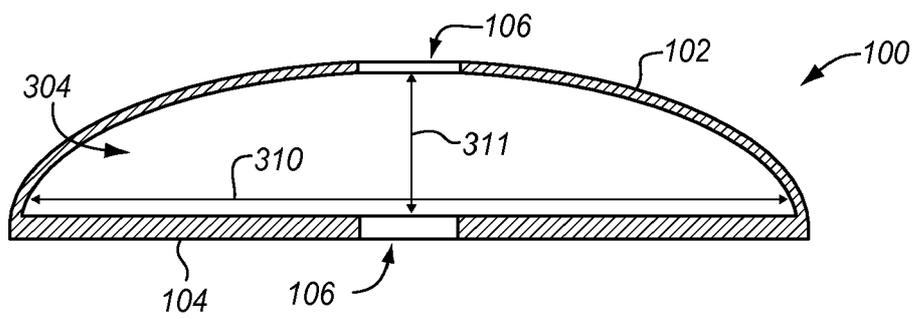
10 los elementos estructurales comprenden capas de un material compuesto.



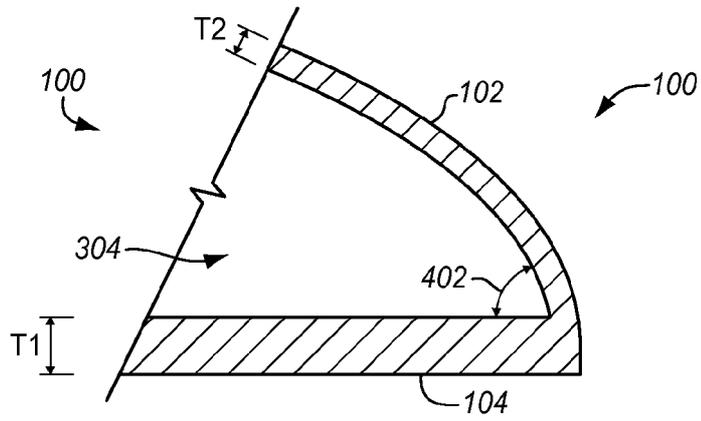
**FIG. 1**



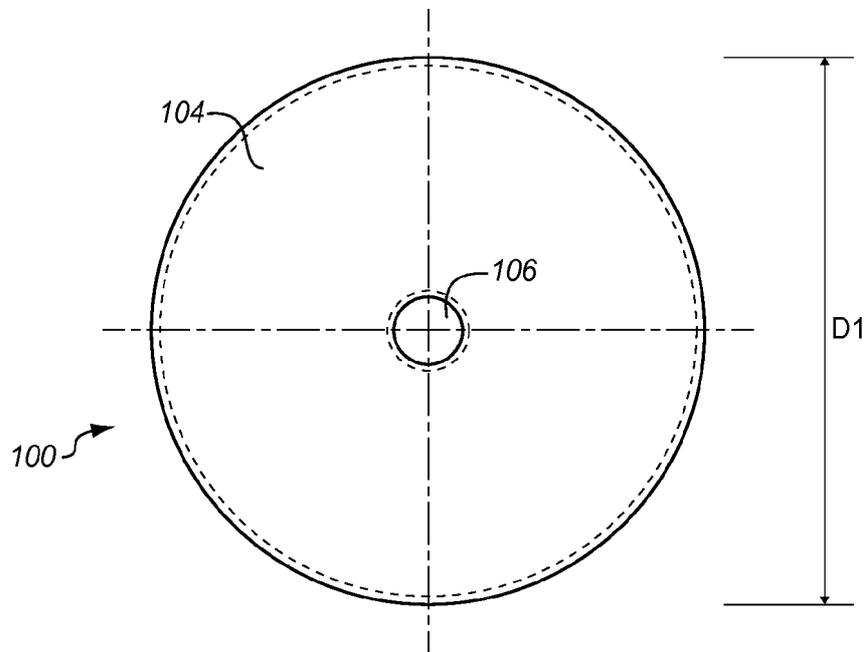
**FIG. 2**



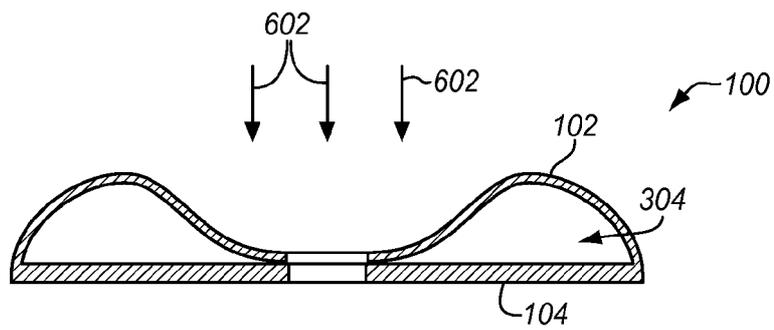
**FIG. 3**



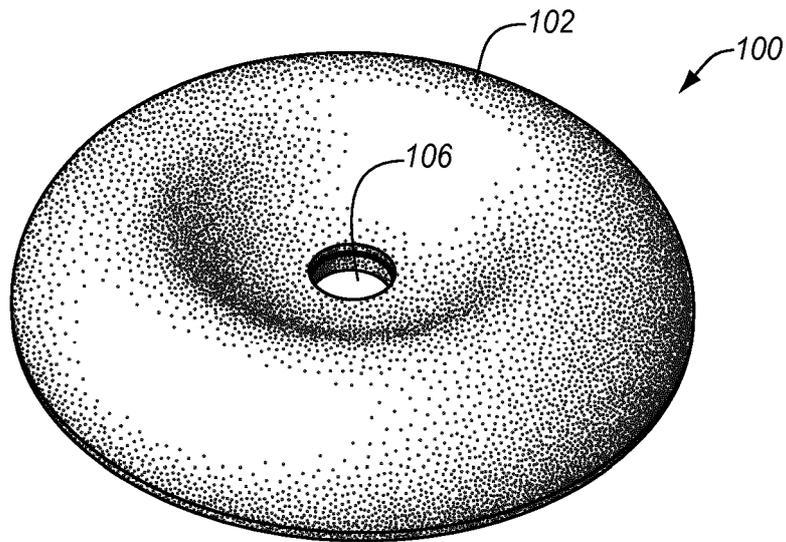
**FIG. 4**



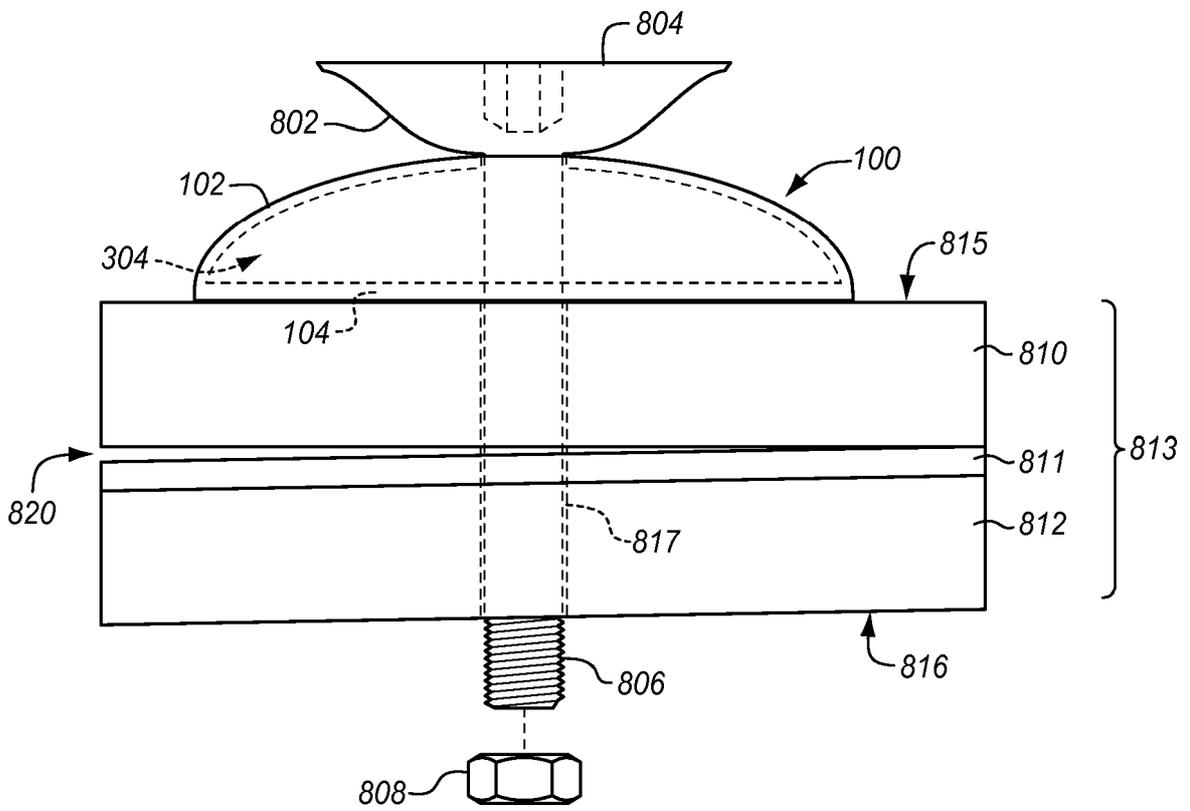
**FIG. 5**



**FIG. 6**

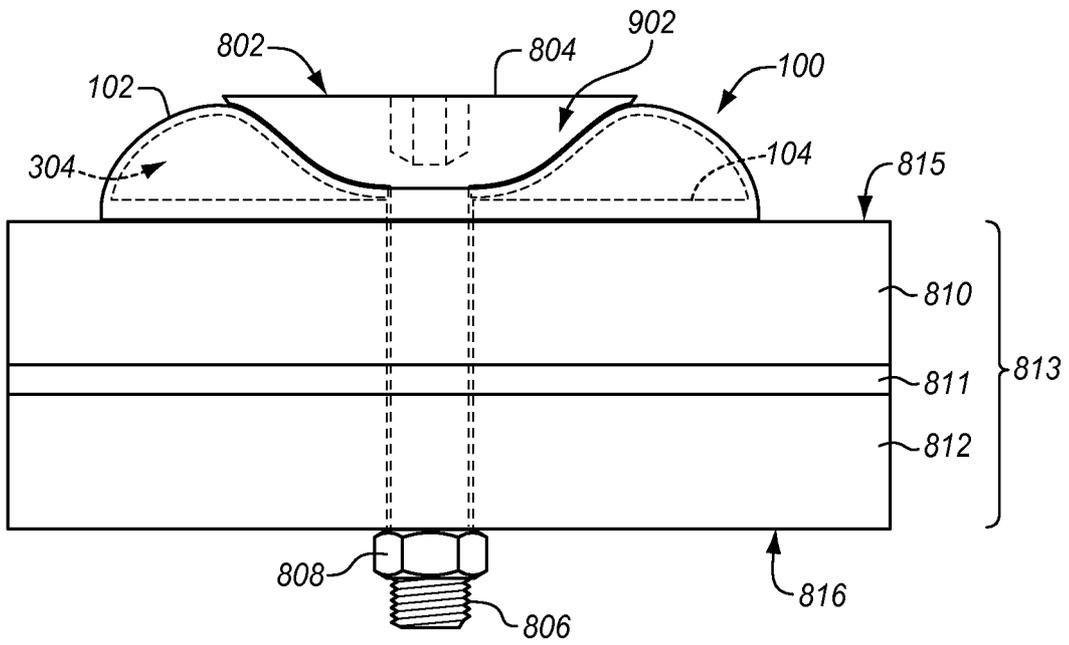


**FIG. 7**



**FIG. 8**

**FIG. 9**



**FIG. 10**

