

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 654 593**

51 Int. Cl.:

**G01B 11/00** (2006.01)

**G01B 11/02** (2006.01)

**G01B 11/25** (2006.01)

**G01B 21/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.07.2012 E 12177227 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.10.2017 EP 2554940**

54 Título: **Medición de características asistida por proyección usando una cámara no calibrada**

30 Prioridad:

**03.08.2011 US 201113197645**

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

**14.02.2018**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**CROTHERS, PHILLIP J.;  
FREEMAN, PHILIP L.;  
SZARSKI, MARTIN A. y  
YOUNG, JUSTIN G.**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 654 593 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**

Medición de características asistida por proyección usando una cámara no calibrada

**Campo**

5 La presente divulgación se refiere, en general, a sistemas de medición y, más en concreto, a sistemas para medir características usando un láser y al menos una cámara no calibrada.

**Antecedentes**

10 Durante el proceso de ensamblaje de una estructura, habitualmente es deseable inspeccionar la estructura para determinar si determinadas características se encuentran dentro de las tolerancias de diseño. Por ejemplo, muchas estructuras se ensamblan usando sujeciones mecánicas tales como pernos o tornillos para fijar partes coincidentes a la estructura. Las sujeciones mecánicas se pueden instalar en orificios que se forman en la estructura en una ubicación deseada. Con el fin de proporcionar una fuerza suficiente para manejar las tensiones transmitidas a la estructura por las sujeciones mecánicas, preferiblemente los orificios están ubicados a una distancia mínima desde el borde de la estructura.

15 Los métodos actuales de inspección de un ensamblaje para la ubicación de orificios y otras características incluyen el uso de utillaje semipermanente. Tal utillaje semipermanente se puede montar en el ensamblaje o en un soporte de sujeción para sujetar el ensamblaje en su lugar. El utillaje semipermanente puede incluir marcas que indican la ubicación deseada de las características tales como orificios que se pueden formar en el ensamblaje para permitir la fijación de partes coincidentes. Desafortunadamente, el utillaje semipermanente se ha de fabricar habitualmente con unas tolerancias relativamente ajustadas, lo que aumenta el coste global de fabricar el ensamblaje. Además, el utillaje semipermanente puede requerir un acoplamiento manual del utillaje con el ensamblaje, lo que puede interrumpir las operaciones de fabricación. Además, tal utillaje semipermanente puede requerir el uso de mano de obra cualificada para inspeccionar el ensamblaje en un proceso que consume mucho tiempo de determinar de forma manual si las características en el ensamblaje se encuentran dentro de las tolerancias de diseño.

25 Otro método de inspección de un ensamblaje para la ubicación de características incluye el uso de una máquina de medición de coordenadas (CMM, *coordinate measurement machine*). Una CMM puede incluir una sonda de contacto que se puede montar en un brazo móvil o un pórtico. La sonda de contacto se puede controlar por ordenador o controlarse de forma manual para guiar la sonda de contacto a diferentes ubicaciones de inspección del ensamblaje. En cada ubicación de inspección, la sonda de contacto se puede colocar en contacto con una o más características tales como un orificio en el ensamblaje para determinar las coordenadas (es decir, x, y, z) de las características en relación con un punto de referencia sobre el ensamblaje. Las coordenadas medidas se pueden comparar con una ubicación deseada de la característica para determinar si la ubicación de característica se encuentra dentro de las tolerancias de diseño. Desafortunadamente, habitualmente las CMM son relativamente costosas y pueden requerir el uso de mano de obra cualificada para operar una CMM. Un inconveniente adicional asociado con las CMM es que el brazo móvil o pórtico de la CMM puede proporcionar un acceso limitado a determinadas áreas del ensamblaje. Lo que es más, la producción del ensamblaje se puede detener cuando la CMM se encuentra en uso, dando como resultado un impacto negativo sobre la programación de la producción.

40 Con respecto a otra técnica anterior, el documento WO2010/052943 divulga un sistema y método de visión que comportan proyectar una escala sobre un objeto, permitiendo que un usuario mida el tamaño del objeto. En primer lugar se mide la distancia al objeto y entonces se obtiene el tamaño del objeto de tal modo que, finalmente, se puede proyectar una escala del tamaño correcto. El documento DE 10 2006 018 766 A1 divulga proyectar una escala en forma de rejilla sobre un objeto que se va a medir y observa deformaciones en la escala. El documento US 6.100.984 divulga proyectar un patrón de un determinado tamaño de píxel sobre el objeto.

45 Tal como se puede observar, en la técnica existe la necesidad de un sistema y método automatizados para medir con precisión el tamaño y la ubicación de las características de un artículo. Además, en la técnica existe la necesidad de un sistema y método para medir de forma no invasiva las características de un artículo sin suspender las operaciones de fabricación. Además, en la técnica existe la necesidad de un sistema y método para medir las características de un artículo que sea de bajo coste y que se pueda adaptar para inspeccionar una amplia diversidad de configuraciones de artículo.

**Sumario**

50 Las necesidades anteriormente indicadas asociadas con la medición de las características de un artículo son abordadas y mitigadas de forma específica por la presente divulgación que, en una realización, proporciona un método de medición de una característica de un artículo según la reivindicación 7, y un sistema de visión según la reivindicación 1. De acuerdo con la presente invención, se proporciona un método de proyección de una plantilla de

5 escala que tiene un elemento de plantilla de escala sobre el artículo, teniendo el elemento de plantilla de escala una longitud predeterminada. El método incluye proyectar un patrón de medición sobre el artículo. El método incluye registrar una imagen que contiene la característica, la plantilla de escala y el patrón de medición. El método incluye adicionalmente determinar un factor de escala de la imagen basándose en la plantilla de escala, y determinar un tamaño y/o una ubicación de la característica basándose en el patrón de medición y el factor de escala de imagen.

10 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un sistema de visión para medir de forma no invasiva las características de un artículo. El sistema de visión incluye un proyector de láser, una cámara y un procesador. El proyector de láser está configurado para proyectar una plantilla de escala y un patrón de medición sobre el artículo. El elemento de plantilla de escala se proyecta con una longitud predeterminada sobre el artículo. El patrón de medición se superpone a la característica. La cámara está configurada para registrar una imagen que contiene la característica, la plantilla de escala y el patrón de medición. El procesador está configurado para determinar un factor de escala de imagen de la imagen basándose en la plantilla de escala. El procesador está configurado para determinar un tamaño y/o una ubicación de la característica basándose en el factor de escala de imagen y el patrón de medición.

15 De forma ventajosa, en el método descrito anteriormente, la etapa de determinar el factor de escala de imagen comprende determinar la cantidad de píxeles que se extienden de forma lineal a lo largo de una longitud del elemento de plantilla, y determinar la cantidad de píxeles por unidad de longitud de la imagen basándose en la cantidad de píxeles en el elemento de plantilla.

20 De forma ventajosa, el método anterior incluye adicionalmente en donde la plantilla de escala y el patrón de medición se proyectan sobre un plano de artículo, comprendiendo adicionalmente el método la etapa de rectificar la imagen para eliminar la distorsión geométrica de la imagen antes de determinar el factor de escala de imagen.

25 De forma ventajosa, en el método anterior, la característica incluye adicionalmente una ubicación deseada y la etapa de determinar al menos uno de un tamaño y una ubicación de la característica comprende adicionalmente proyectar el patrón de medición sobre el artículo en la ubicación deseada, y determinar una ubicación medida de la característica en relación con la ubicación deseada basándose en el patrón de medición y el factor de escala de imagen.

30 De forma ventajosa, en el método anterior, la característica comprende adicionalmente un orificio que tiene un perímetro y el método puede comprender adicionalmente las etapas de proyectar el patrón de medición sobre el artículo de tal modo que el patrón de medición intersecta el perímetro de orificio en unos puntos de intersección y determinar un diámetro medido del orificio basándose en el factor de escala de imagen y los puntos de intersección.

De forma ventajosa, en el sistema de visión anteriormente descrito, el procesador está configurado para determinar el factor de escala de imagen mediante la determinación de la cantidad de píxeles en el elemento de plantilla.

35 De forma ventajosa, en el sistema de visión anteriormente descrito, el sistema se mejora adicionalmente al configurar el proyector de láser para proyectar la plantilla de escala y el patrón de medición sobre una superficie de artículo sustancialmente plana, y estando configurado el procesador para rectificar la imagen para eliminar la distorsión geométrica de la imagen antes de determinar el factor de escala de imagen.

40 De forma ventajosa, en el sistema de visión anteriormente descrito, el sistema se mejora adicionalmente al configurar el proyector de láser para proyectar el patrón de medición sobre el artículo de tal modo que el patrón de medición intersecta un perímetro de un orificio en el artículo en unos puntos de intersección, estando configurado el procesador para medir un diámetro del orificio basándose en el factor de escala de imagen y los puntos de intersección, y estando configurado el procesador para determinar una ubicación medida del orificio en relación con una ubicación deseada del orificio basándose en el patrón de medición y el factor de escala de imagen.

45 De acuerdo con otro aspecto no reivindicado de la presente divulgación, se proporciona un método de medición de una característica de un artículo, que comprende las etapas de proyectar una plantilla de calibración de cámara en una ubicación conocida sobre una superficie de artículo, registrar, usando una cámara, una imagen que contiene la característica y la plantilla de calibración de cámara, calibrar la cámara basándose en la imagen y la ubicación conocida de la plantilla de calibración de cámara sobre la superficie de artículo, y determinar al menos uno de un tamaño y una ubicación de la característica basándose en la calibración de la cámara.

50 De forma ventajosa, en el método no reivindicado anteriormente descrito, la etapa de proyectar la plantilla de calibración de cámara comprende adicionalmente proyectar la plantilla de calibración de cámara sobre una superficie de artículo no plana.

De forma ventajosa, en el método no reivindicado anteriormente descrito, la etapa de proyectar la plantilla de calibración de cámara incluye adicionalmente proporcionar la plantilla de calibración de cámara con al menos seis

puntos de calibración que tienen ubicaciones conocidas sobre la superficie de artículo.

5 De acuerdo con un aspecto adicional de la presente divulgación, el método no reivindicado anteriormente descrito comprende adicionalmente definir un plano de imagen de la imagen, calibrar la cámara mediante la realización de lo siguiente: estimar parámetros intrínsecos y parámetros extrínsecos de la cámara basándose en la imagen y la ubicación conocida de la plantilla de calibración de cámara sobre la superficie de artículo, determinar una relación entre la imagen y la superficie de artículo basándose en los parámetros intrínsecos y los parámetros extrínsecos, definir unos puntos de intersección sobre el plano de imagen en donde la plantilla de calibración de cámara intersecta la característica, determinar al menos uno del tamaño y la ubicación de la característica basándose en los puntos de intersección y la relación entre la imagen y la superficie de artículo.

10 De forma ventajosa, en el método no reivindicado anteriormente descrito, el método comprende adicionalmente las etapas de proyectar un patrón de medición sobre la superficie de artículo de tal modo que el patrón de medición se superpone a la característica, registrar la imagen de tal modo que la imagen contiene la característica, la plantilla de calibración de cámara y el patrón de medición y determinar al menos uno del tamaño y la ubicación de la característica basándose en el patrón de medición y la calibración de la cámara.

15 De forma ventajosa, en el método no reivindicado anteriormente descrito, el método comprende adicionalmente las etapas de incluir la característica con una superficie de característica que es diferente de la superficie de artículo, definir una relación entre la superficie de característica y la superficie de artículo, y determinar al menos uno del tamaño y la ubicación de la característica basándose en la calibración de la cámara y la relación entre la superficie de característica y la superficie de artículo.

20 De acuerdo con aún otro aspecto más de la presente divulgación que no se reivindica, se proporciona un sistema de visión para medir una característica de un artículo que comprende un proyector de láser configurado para proyectar una plantilla de calibración de cámara sobre el artículo en una ubicación conocida sobre la superficie de artículo, superponiéndose la plantilla de calibración de cámara a la característica, una cámara configurada para registrar una imagen que contiene la característica y la plantilla de calibración de cámara y un procesador configurado para  
25 calibrar la cámara basándose en la ubicación conocida de la plantilla de calibración de cámara sobre la superficie de artículo, estando configurado el procesador para determinar al menos uno de un tamaño y una ubicación de la característica basándose en la imagen y la calibración de la cámara.

De forma ventajosa, en el sistema de visión no reivindicado anteriormente descrito, la plantilla de calibración de cámara incluye al menos seis puntos de calibración que tienen ubicaciones conocidas sobre la superficie de artículo.

30 De forma ventajosa, en el sistema de visión no reivindicado anteriormente descrito, el proyector de láser está configurado para proyectar la plantilla de calibración de cámara sobre la superficie de artículo como un patrón de rejilla y teniendo el patrón de rejilla unos elementos de rejilla que se intersectan entre sí en los puntos de calibración.

De forma ventajosa, en el sistema de visión no reivindicado anteriormente descrito, el procesador está configurado para estimar parámetros intrínsecos y parámetros extrínsecos de la cámara basándose en la imagen y la ubicación conocida de la plantilla de calibración de cámara sobre la superficie de artículo, estando configurado el procesador para determinar una relación entre la imagen y la superficie de artículo basándose en los parámetros intrínsecos y los parámetros extrínsecos, estando configurado el procesador para definir unos puntos de intersección sobre la imagen en donde la plantilla de calibración de cámara intersecta la característica, y estando configurado el procesador para determinar al menos uno del tamaño y la ubicación de la característica basándose en los puntos de  
35 intersección y la relación entre la imagen y la superficie de artículo.

De forma ventajosa, en el sistema de visión no reivindicado anteriormente descrito, la característica se incluye con una superficie de característica que es diferente de la superficie de artículo, teniendo la superficie de característica una relación definida con la superficie de artículo, y estando configurado el procesador para determinar al menos uno del tamaño y la ubicación de la característica basándose en la calibración de la cámara y la relación entre la  
40 superficie de característica y la superficie de artículo.

Las características, funciones y ventajas que se han analizado se pueden lograr de forma independiente en diversas realizaciones de la presente divulgación o se pueden combinar en aún otras realizaciones, detalles adicionales de las cuales se pueden ver con referencia a la descripción y los dibujos siguientes posteriormente.

**Breve descripción de los dibujos**

50 Estas y otras características de la presente divulgación se harán más evidentes tras consultar los dibujos en donde números semejantes se refieren a partes semejantes por la totalidad de los mismos, y en donde:

la figura 1 es una ilustración en perspectiva de una realización de una estación de trabajo que tiene un sistema de

visión que incluye un par de cámaras y un proyector de láser para medir características de un artículo;

la figura 2 es una vista desde arriba de la estación de trabajo y el sistema de visión tomada a lo largo de la línea 2 de la figura 1;

5 la figura 3 es una vista lateral de la estación de trabajo y el sistema de visión tomada a lo largo de la línea 3 de la figura 1;

la figura 4 es una ilustración de un diagrama de bloques del sistema de visión;

la figura 5 es una ilustración de un diagrama de flujo de una o más operaciones que se pueden incluir en una metodología de generación de uno o más archivos de control del sistema de visión;

10 la figura 6 es una ilustración de un diagrama de flujo de una o más operaciones que se pueden incluir en una metodología de medición de una o más características del artículo;

la figura 7 es una ilustración de una interfaz gráfica de usuario (GUI, *graphical user interface*) que representa un registro de una imagen de una porción del artículo que tiene una característica y que ilustra la proyección de la plantilla de escala y el patrón de medición sobre el artículo;

15 la figura 8 es una vista ampliada de la imagen mostrada en la figura 7 y que incluye la plantilla de escala y el patrón de medición superponiéndose a un orificio formado en el artículo;

la figura 9 es una vista de la imagen de la figura 8 y que ilustra las fronteras interior y exterior de la plantilla de escala para determinar un factor de escala de la imagen;

la figura 10 es una vista de la imagen de la figura 9 y que ilustra un segmento de patrón del patrón de medición que se extiende entre un borde del artículo y un perímetro del orificio;

20 la figura 11 es una ilustración de una GUI que representa una imagen del artículo y que enumera valores del tamaño y la ubicación de la característica mostrada en la imagen;

la figura 12 una vista de una imagen de un patrón de rejilla para rectificar la distorsión geométrica de una imagen;

25 la figura 13 es una vista de la imagen de la figura 12 a continuación de la rectificación de la imagen y la eliminación de la distorsión geométrica y que ilustra adicionalmente un patrón de medición que se extiende entre un borde del artículo y un perímetro del orificio;

la figura 14 es una ilustración de un diagrama de flujo que tiene una o más operaciones que se pueden incluir en una metodología de medición de una o más características del artículo usando una plantilla de calibración de cámara proyectada sobre el artículo;

30 la figura 15 es una vista en perspectiva de un ejemplo no reivindicado del sistema de visión que ilustra la proyección de la plantilla de calibración de cámara y el patrón de medición sobre una superficie no plana del artículo; la figura 16 es una vista de la imagen tomada a lo largo de la línea 16 de la figura 15 y que ilustra la plantilla de calibración de cámara y el patrón de medición;

la figura 17 es una vista en perspectiva del artículo y que ilustra un segmento de patrón del patrón de medición que se extiende entre un borde del artículo y un perímetro del orificio;

35 la figura 18 es una vista en perspectiva del artículo que ilustra el orificio ubicado sobre una superficie de característica que es diferente de la superficie de artículo sobre la cual se proyecta la plantilla de calibración de cámara;

la figura 19 es una vista de una imagen que contiene la plantilla de calibración de cámara y el patrón de medición proyectados sobre el artículo ilustrado en la figura 18; y

40 la figura 20 es una vista en perspectiva del artículo de la figura 18 y que ilustra un segmento de patrón que representa una distancia de borde entre el borde de artículo y el orificio.

### Descripción detallada

Haciendo referencia a continuación a los dibujos en los que lo mostrado es para fines de ilustración de diversas

realizaciones de la divulgación, en la figura 1 se muestra una estación de trabajo 40 que tiene un sistema de visión 10 para medir una o más características geométricas 22 de una pieza de trabajo o un artículo 14. El sistema de visión 10 incluye al menos un proyector de láser 146 y una o más cámaras no calibradas 122 para medir las características 22 del artículo 14 que puede estar experimentando operaciones de fabricación en la estación de trabajo 40. El artículo 14 puede comprender una única pieza de trabajo que puede ser soportada por un soporte de sujeción estacionario 12. El artículo 14 también puede comprender un ensamblaje de piezas de trabajo que puede ser soportado por el soporte de sujeción 12.

Tal como se muestra en la figura 1, el proyector de láser 146 emite un haz de láser 148 que puede realizar un barrido u orientarse de manera rápida y repetitiva de una forma predeterminada de tal modo que el haz de láser 148 aparece sobre la superficie del artículo 14 como una forma constante y brillante en la forma de una plantilla de escala 80 (por ejemplo, la forma de cuadrado en la figura 1) y un patrón de medición 100 (por ejemplo, las líneas de retículo 102 en la figura 1). La plantilla de escala 80 se proyecta sobre el artículo 14 con un tamaño predeterminado y con una forma predeterminada. La plantilla de escala 80 se puede proyectar por encima de una característica 22 que se va a medir o la plantilla de escala 80 se puede proyectar adyacente a la característica 22 tal como hacia un lado de la característica 22. El patrón de medición 100 también se puede proyectar sobre el artículo 14 con un tamaño y una forma predeterminados. El proyector de láser 146 proyecta el patrón de medición 100 de tal modo que el patrón de medición 100 se superpone a una característica 22 del artículo 14.

El patrón de medición 100 se puede proyectar en una forma que designa una ubicación deseada 26 (la figura 1) de una característica 22 (la figura 1). Por ejemplo, el patrón de medición 100 (la figura 1) se puede proyectar como un conjunto de líneas ortogonales de retículo 102 (la figura 1) que se intersectan entre sí en una ubicación deseada 26 que representa un centro nominal de un orificio 30 en el artículo 14 (la figura 1). El proyector de láser 146 puede proyectar de forma secuencial la plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100 sobre una serie de características 22 seleccionadas del artículo 14. El movimiento del proyector de láser 146 en la proyección de la plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100 de característica 22 a característica 22 se puede controlar mediante un procesador 46 y se puede basar en un modelo de diseño asistido por ordenador (CAD, *computer aided design*) del artículo 14 tal como se describe con mayor detalle posteriormente.

Haciendo referencia aún a la figura 1, las una o más cámaras 122 del sistema de visión 10 se pueden reorientar continuamente para seguir el movimiento del proyector de láser 146 a medida que el proyector de láser 146 proyecta de forma secuencial la plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100 sobre las características 22 seleccionadas del artículo 14. En cada una de las características 22, las cámaras 122 pueden registrar una o más imágenes 70 (la figura 7). Las cámaras 122 pueden tener una capacidad de barrido horizontal y/o una capacidad de inclinación vertical para permitir que las cámaras 122 se muevan a lo largo de una dirección de barrido horizontal 130 y/o a lo largo de una dirección de inclinación vertical 132. Las cámaras 122 también pueden tener una capacidad de acercamiento/alejamiento óptico de tal modo que la ampliación de cada imagen 70 se puede maximizar para potenciar la precisión del análisis de cada imagen 70 tal como se describe posteriormente. La ampliación de cada imagen 70 puede aumentar la precisión de los cálculos de medición durante el análisis de imágenes. Opcionalmente, cada imagen 70 se puede dimensionar de tal modo que el campo de visión incluye un borde 20 del artículo 14 de tal modo que la ubicación de la característica 22 en relación con el borde de artículo 20 se puede determinar durante el análisis de imágenes. El proceso de proyectar de forma secuencial la plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100 y registrar una imagen 70 puede continuar hasta que las cámaras 122 han registrado las imágenes 70 (la figura 11) de sustancialmente la totalidad de las características 22 deseadas o seleccionadas del artículo 14.

Cada imagen 70 (la figura 7) se procesa o se analiza mediante la determinación de al menos un factor de escala de imagen de la imagen 70 basándose en un tamaño predeterminado o conocido de la plantilla de escala proyectada 80 sobre el artículo 14. Por ejemplo, una imagen 70 se puede analizar para determinar la cantidad de píxeles 72 de la imagen 70 que se extienden de forma lineal a lo largo de una longitud de un elemento de plantilla 82 (la figura 8) de la plantilla de escala 80. El elemento de plantilla 82 se puede orientar a lo largo de al menos una dirección de la plantilla de escala 80. Por ejemplo, uno o más de los elementos de plantilla 82 se pueden orientar sustancialmente en paralelo a un eje x de un sistema de coordenadas de imagen (la figura 9) de la imagen 70 y/o sustancialmente en paralelo a un eje y del sistema de coordenadas de imagen.

El factor o factores de escala de imagen de cada imagen 70 (la figura 7) se expresan como la cantidad de píxeles 72 de la imagen 70 por unidad de longitud de la imagen 70. El factor o factores de escala de imagen de cada imagen 70 se pueden usar para determinar el estado según construcción del artículo 14 (la figura 1). Más en concreto, se pueden usar uno o más factores de escala de imagen de la imagen 70 para determinar las características geométricas o los datos geométricos asociados con cada característica 22. Tales datos geométricos pueden incluir, pero no se limitan a, un tamaño medido de cada característica 22 y/o una ubicación medida 28 (la figura 13) de cada característica 22 en relación con el borde de artículo 20 y/o en relación con otra característica 22. Los datos geométricos medidos de cada característica 22 se pueden comparar con una característica geométrica nominal o deseada de la característica 22 tal como el tamaño nominal o deseado de la característica 22 y/o la ubicación 26 nominal o deseada de la característica 22. La comparación de los datos medidos con los datos nominales de una característica 22 puede facilitar una determinación en lo que respecta a si el tamaño y/o la ubicación de la

característica 22 se encuentra dentro de las tolerancias de diseño y si existe una desviación 110 (la figura 10) o una condición de no conformidad.

Haciendo referencia aún a la figura 1, el artículo 14 se puede montar de forma fija en el soporte de sujeción 12 que puede comprender un soporte de sujeción de ensamblaje 12. El soporte de sujeción de ensamblaje 12 se puede ubicar en un ajuste de fábrica o en un entorno de fabricación o en otros ajustes. Por ejemplo, en un ajuste de fabricación, se pueden realizar una o más operaciones de fabricación sobre el artículo 14. Tales operaciones de fabricación pueden incluir la formación de orificios, ranuras, hendiduras, muescas, y una cualquiera de una diversidad de otros tipos de características 22 en el artículo 14. Las operaciones de fabricación también pueden incluir el montaje o ensamblaje de partes coincidentes (que no se muestran) en el artículo 14. La medición de tales características 22 usando el sistema de visión 10 puede incluir medir el tamaño y/o la ubicación de tales características 22 tal como se ha indicado anteriormente. Adicionalmente, la medición de tales características 22 usando el sistema de visión 10 puede incluir la medición de la ubicación de bordes (que no se muestran) de partes coincidentes, subensamblajes, soporte físico, sistemas o subsistemas, revestimientos, tratamientos de superficie, capas de adhesivo, capas de material compuesto, materiales de fabricación de material compuesto, y uno cualquiera de una diversidad de otros elementos o componentes, sin limitación, que se pueden incluir con, instalar sobre, montar en, aplicar por encima de o asociar de otro modo con el artículo 14.

El sistema de visión 10 también se puede instalar en una estación de trabajo ubicada en un entorno de no producción tal como en un entorno de realización de pruebas. Por ejemplo, el sistema de visión 10 se puede instalar en un laboratorio de pruebas en el que el artículo 14 puede ser un artículo de prueba (que no se muestra) montado en un soporte de sujeción de prueba (que no se muestra). El sistema de visión 10 se puede configurar para supervisar, registrar, medir y/o analizar datos geométricos asociados con una o más características 22 de un artículo de prueba en respuesta a los estímulos térmicos, de vibración, de choque y/o acústicos del artículo de prueba y/o en respuesta a la carga estática y/o dinámica u otras operaciones de realización de pruebas que se pueden realizar sobre el artículo de prueba. Por ejemplo, el sistema de visión 10 puede supervisar la respuesta del artículo de prueba a las cargas estáticas mediante la proyección de la plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100 sobre unas características 22 seleccionadas del artículo de prueba, el registro de las imágenes 70 (la figura 11) de las características 22 seleccionadas durante la realización de pruebas, y el análisis de las imágenes 70 de las características 22 para detectar deflexiones o deformaciones en el artículo de prueba. El análisis de las imágenes 70 se puede realizar en tiempo real o durante el análisis posterior a la prueba.

Haciendo referencia a las figuras 1-4, en una realización, las cámaras 122 y el proyector de láser 146 se pueden montar sobre un soporte 42 tal como un soporte de montaje. Las cámaras 122 y el proyector de láser 146 se pueden montar de una forma que proporciona un acceso de línea de visión sustancialmente sin obstrucciones al artículo 14. No obstante, las cámaras 122 y el proyector de láser 146 no se limitan a montarse en un soporte de montaje y, opcionalmente, se pueden montar en un suelo, un techo, una o más paredes o tabiques, o en cualquier otro tipo de estructura fija o temporal (que no se muestra) que se puede ubicar en la estación de trabajo 40. Por ejemplo, las cámaras 122 y/o el proyector de láser 146 también se pueden montar sobre una plataforma móvil o portátil (que no se muestra) tal como un trípode u otro soporte móvil que se pueda mover a su posición en una estación de trabajo 40 deseada que contiene un artículo 14. De forma ventajosa, las cámaras 122 y el proyector de láser 146 se pueden montar de una forma que evita interrumpir el flujo de trabajo de fabricación del artículo 14 y las operaciones de fábrica en general.

El sistema de visión 10 se muestra en las figuras 1-4 en una realización que tiene una primera cámara 124 y una segunda cámara 126 como parte de un sistema de cámara 118. No obstante, se puede incluir cualquier número de cámaras 122 con el sistema de cámara 118. En una realización, cada una de las cámaras 122 puede registrar una imagen 70 (la figura 7) de cada una de las características 22 seleccionadas. El procesador 46 puede seleccionar una de las imágenes 70 registradas por las cámaras 122 para un análisis adicional. La imagen 70 que se puede seleccionar como la imagen 70 para un análisis adicional puede ser la imagen 70 registrada por la cámara 122 que está ubicada lo más cerca de la característica 22 y/o que tiene el ángulo de perspectiva más pequeño (que no se muestra) de la imagen 70. La imagen 70 que se puede seleccionar para un análisis adicional también puede ser la imagen 70 que proporciona un grado más alto de precisión para el análisis de imágenes en relación con las imágenes 70 registradas por la otra cámara o cámaras 122. Se pueden considerar otros factores cuando se selecciona de entre las imágenes 70 para el análisis de imágenes tal como se describe con mayor detalle posteriormente.

En una realización, el sistema de cámara 118 puede contener múltiples cámaras 122 (la figura 1) que se pueden interconectar entre sí para proporcionar cobertura para las ubicaciones deseadas del artículo 14 (la figura 1). Las cámaras 122 se pueden montar de forma individual tal como sobre una base (que no se muestra) permitiendo el movimiento de las cámaras 122 en la dirección de barrido horizontal 130 y/o la dirección de inclinación vertical 132. No obstante, opcionalmente las cámaras 122 se pueden montar en grupos o agrupaciones (que no se muestran) en donde cada agrupación se puede montar en una única base (que no se muestra) permitiendo el movimiento de la agrupación de cámaras en la misma dirección. Las cámaras 122 del sistema de visión 10 se pueden configurar de una forma sustancialmente similar entre sí o las cámaras 122 pueden tener diferentes configuraciones con diferentes

capacidades de formación de imágenes, diferentes resoluciones y diferentes capacidades de barrido horizontal, de inclinación vertical y de acercamiento/alejamiento.

Las cámaras 122 se pueden ubicar a una distancia predeterminada 128 (la figura 1) del artículo 14 para facilitar la determinación de la cantidad de barrido horizontal y/o inclinación vertical que se puede requerir a las cámaras 122 para moverse en coordinación con el movimiento del proyector de láser 146 (la figura 3). A este respecto, las ubicaciones de las cámaras 122 se pueden definir mediante las coordenadas del sistema de coordenadas de artículo ACS (es decir,  $x_a$ ,  $y_a$ ,  $z_a$ ) en relación con el origen de ACS o en relación con un punto de referencia predeterminado (que no se muestra) del artículo 14. La ubicación o distancia 128 conocida de las cámaras 122 en relación con el artículo 14 puede prever un control preciso del movimiento de la cámara 122 (por ejemplo, barrido horizontal, inclinación vertical, acercamiento/alejamiento) tal como se describe con mayor detalle posteriormente. Las cámaras 122 se pueden controlar mediante un ordenador 44 (la figura 1) o un procesador central 46 (la figura 1) o mediante una red de procesadores que cooperan para regular el funcionamiento de las cámaras 122 en coordinación con el proyector de láser 146. La red de cámaras 122 se puede situar de una forma para registrar las imágenes 70 (la figura 7) de sustancialmente la totalidad de las características 22 deseadas (la figura 1) del artículo 14 durante las diferentes fases de fabricación, ensamblaje o realización de pruebas.

Tal como se muestra en las figuras 1-4, en una realización, el sistema de visión 10 puede incluir un proyector de láser único 146 como parte del sistema de proyector 140. El proyector de láser único 146 se puede montar de una forma que prevé una proyección sustancialmente sin obstrucciones del haz de láser sobre el artículo 14 (la figura 1). Por ejemplo, tal como se muestra en la figura 2, el proyector de láser 146 se puede montar de una forma para prever una proyección sustancialmente sin obstrucciones a las ubicaciones sobre el artículo 14 que se extiende entre el primer extremo 16 y el segundo extremo 18 del artículo 14 y a las ubicaciones entremedias del primer y el segundo extremos 16, 18. A pesar de que se muestra un proyector de láser único 146, el sistema de proyector 140 puede incluir cualquier número de proyectores de láser 146. Por ejemplo, dos o más proyectores de láser 146 que se pueden interconectar entre sí para proporcionar cobertura para uno o más lados de un artículo 14 o para proporcionar cobertura a lo largo de sustancialmente la totalidad de la longitud o sustancialmente la totalidad de la anchura del artículo 14 si tal longitud o anchura del artículo 14 es mayor que la cobertura que puede ser proporcionada por un proyector de láser único 146. Opcionalmente, el sistema de proyector 140 puede incluir unos proyectores de láser 146 que se pueden situar de una forma para proyectar la plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100 sobre los lados de arriba y de debajo (que no se muestran) del artículo 14.

El proyector de láser 146 (la figura 3) puede emitir un haz de láser 148 (la figura 3) que tiene una longitud de onda en el espectro visible a pesar de que se contemplan longitudes de onda en el espectro no visible (por ejemplo, infrarrojo). De forma ventajosa, el color del haz de láser 148 (por ejemplo, de color verde) se puede seleccionar de tal modo que la proyección de la plantilla de escala 80 (la figura 1) y el patrón de medición 100 son muy visibles para las cámaras 122 (la figura 1) del sistema de visión 10 (la figura 1) en una diversidad de condiciones de iluminación ambiente. Por ejemplo, el color del haz de láser 148 (la figura 3) puede ser de tal modo que la proyección de la plantilla de escala 80 (la figura 1) y el patrón de medición 100 son visibles para las cámaras 122 bajo luz solar directa, en condiciones de iluminación fluorescente de un entorno de fabricación, y en regiones de relativamente poca luz como resultado de las sombras sobre el artículo 14 (la figura 1) procedentes de obstrucciones. El proyector de láser 146 se puede calibrar y certificar en la fábrica de un proyector de láser 146 de tal modo que las proyecciones de la plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100 pueden ser precisas dentro de una tolerancia tremendamente ajustada. Por ejemplo, en una realización, el proyector de láser 146 puede tener una precisión posicional de +/- 0,015 pulgadas (0,0381 cm) o menos (es decir, +/- 0,010, +/- 0,005, etc.) a una distancia de proyección de 15 pies (4,572 m) o más.

Haciendo referencia a la figura 1, el proyector de láser 146 se puede posicionar con precisión en relación con o alinearse con el artículo 14 antes de iniciar el proceso de medición tal como se describe posteriormente. A este respecto, el proyector de láser 146 se puede posicionar con precisión en relación con el artículo 14 para definir la ubicación y la orientación del proyector de láser 146 en relación con el artículo 14. El proyector de láser 146 se puede posicionar con precisión en relación con el artículo 14 mediante la alineación del proyector de láser 146 con los objetivos de posicionamiento preciso 150 de ubicación conocida uno en relación con otro y en relación con el artículo 14. Por ejemplo, tal como se muestra en la figura 1, se pueden usar cuatro (4) objetivos de posicionamiento preciso 150 para alinear el proyector de láser 146 con el artículo 14. Los objetivos de posicionamiento preciso 150 se pueden formar de material retrorreflectante con una forma redondeada de un diámetro relativamente pequeño (por ejemplo, 1/2 pulgada (1,27 cm)) para facilitar un centrado relativamente preciso del haz de láser 148 sobre los objetivos de posicionamiento preciso 150 durante el posicionamiento preciso. No obstante, los objetivos 150 se pueden proporcionar en cualquier tamaño, forma, configuración y cantidad, sin limitación.

Los objetivos de posicionamiento preciso 150 se pueden montar fuera del artículo 14 tal como sobre el soporte de sujeción 12 tal como se ilustra en la figura 1. El montaje de los objetivos de posicionamiento preciso 150 fuera del artículo 14 puede minimizar o reducir los requisitos de soporte físico y eliminar el tiempo y el coste asociados con diseñar, fabricar, instalar y retirar tal soporte físico del artículo 14. En una realización no limitante, el soporte de sujeción 12 puede incluir un objetivo de posicionamiento preciso 150 montado adyacente a cada uno del primer y el

segundo extremos 16, 18 del artículo 14, un objetivo de posicionamiento preciso 150 montado aproximadamente a medio camino entre los objetivos de posicionamiento preciso 150 en el primer y el segundo extremos 16, 18 y un objetivo de posicionamiento preciso 150 montado en el soporte de sujeción 12 a lo largo de la parte de arriba del soporte de sujeción 12. Los objetivos de posicionamiento preciso 150 se pueden montar de una forma no simétrica uno en relación con otro para facilitar el posicionamiento preciso del proyector de láser 146 en relación con el artículo 14. Por ejemplo, al menos uno de los objetivos de posicionamiento preciso 150 (por ejemplo, el objetivo de posicionamiento preciso 150 de más arriba en la figura 1) se puede situar en una relación no lineal con respecto a los objetivos de posicionamiento preciso 150 restantes (por ejemplo, los tres objetivos de más abajo en la figura 1). Los objetivos de posicionamiento preciso 150 se pueden montar en el soporte de sujeción 12 en unas ubicaciones predeterminadas que se pueden definir en términos de coordenadas (es decir, x, y, z) de un sistema de coordenadas de artículo ACS en relación con el origen de ACS o en relación con un punto de referencia predeterminado (que no se muestra) del artículo 14. El proyector de láser 146 se puede posicionar con precisión en relación con los objetivos de posicionamiento preciso 150 de tal modo que la proyección de la plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100 es posicionalmente precisa en relación con una configuración de diseño nominal del artículo 14.

Haciendo referencia a la figura 4, se muestra un diagrama de bloques de una realización del sistema de visión que tiene uno o más programas o módulos de soporte lógico que pueden cooperar entre sí para controlar el funcionamiento de los uno o más proyectores de láser 146 y las una o más cámaras 122 tal como la primera y la segunda cámaras 124, 126 del sistema de visión 10. En la realización mostrada en la figura 4, el sistema de visión 10 puede incluir un programa de supervisión 190, un programa de medición 192 y un programa de control de láser 194. A pesar de mostrarse como si se ejecutaran en un único procesador 46, el programa de supervisión 190, el programa de medición 192 y el programa de control de láser 194 se pueden ejecutar en varios procesadores 46 (la figura 1) que se pueden instalar en una o más ubicaciones y que se comunican entre sí por medio de direcciones de IP. El programa de supervisión 190 puede ser usado por un usuario para supervisar en general el sistema de visión 10 y para iniciar la medición de una o más características 22 de un artículo 14. El programa de supervisión 190 y el programa de control de láser 194 se pueden acoplar de forma comunicativa con el programa de medición 192 tal como se muestra en la figura 4 a pesar de que el programa de supervisión 190 también se puede acoplar con el programa de control de láser 194.

El programa de medición 192 se puede acoplar con el sistema de cámara 118 mediante una conexión cableada y/o por medios inalámbricos y puede controlar el funcionamiento de las cámaras 122 a través de un controlador de cámara 120. El controlador de cámara 120 puede ser accionado por un archivo de control de cámara 184 en el programa de medición 192 (la figura 4) para controlar la orientación (es decir, barrido horizontal, inclinación vertical) de las cámaras 122 (la figura 1) y controlar el registro de las imágenes 70 (la figura 7) mediante las cámaras 122 tal como se describe con mayor detalle posteriormente. El programa de medición 192 también puede recibir del controlador de cámara 120 las imágenes 70 (la figura 7) registradas por las cámaras 122. El programa de supervisión 190 (la figura 4), a través de un usuario, puede solicitar el control del controlador de cámara 120 al programa de medición 192 durante un proceso de medición. Por ejemplo, un usuario del sistema de visión 10 puede ver la formación de imágenes en tiempo real de una característica 22 usando una interfaz gráfica de usuario (GUI, *graphical user interface*) 48 ilustrada en la figura 7 tal como se describe posteriormente. A través de los controles deslizantes de control de barrido horizontal 52, de control de inclinación vertical 50 y de control de acercamiento/alejamiento 54 incluidos con la GUI 48, un usuario puede ajustar o refinar la situación y/o el acercamiento/alejamiento óptico de una cámara 122 dada antes del registro de la imagen 70 mediante la cámara 122. El programa de supervisión 190, a través de un usuario, puede liberar el control del sistema de cámara 120 de vuelta al programa de medición 192 en cualquier momento. El programa de medición 192 se puede configurar para completar un proceso de medición dado y entregar datos de medición de las características 22 medidas al programa de supervisión 190 para su almacenamiento en un archivo de configuración (que no se muestra) y/o para una representación en tiempo real tal como en una GUI 48 tal como se ilustra en la figura 11 y tal como se describe con mayor detalle posteriormente.

Haciendo referencia aún a la figura 4, el programa de control de láser 194 se puede acoplar de forma comunicativa con el programa de medición 192 y con el sistema de proyector 140. El programa de control de láser 194 puede proporcionar unos medios de transmisión de órdenes del programa de medición 192 al sistema de proyector 140. El sistema de proyector 140 puede comprender el proyector de láser 146 y el soporte lógico de láser 144 del fabricante del proyector para operar el proyector de láser 146. El programa de control de láser 194 puede recibir un archivo de posicionamiento preciso de proyector 180 del programa de medición 192. El archivo de posicionamiento preciso de proyector 180 se puede generar mediante macroinstrucciones de CAD basándose en un archivo de CAD 170 que contiene un modelo de CAD de los objetivos de posicionamiento preciso 176, un modelo de CAD del artículo 174 y/o un modelo de CAD de la estación de trabajo 172. El archivo de posicionamiento preciso de proyector 180 puede facilitar el posicionamiento preciso del proyector de láser 146 en relación con el artículo 14 antes de iniciar el proceso de medición. El programa de control de láser 194 también puede recibir el archivo de patrones de medición 182 del programa de medición 192. El archivo de patrones de medición 182 puede incluir las coordenadas de las características 22 que se van a medir y el orden en el que medir las características 22 tal como brevemente se ha mencionado anteriormente y tal como se describe con mayor detalle posteriormente.

5 Haciendo referencia al diagrama de flujo de la figura 5, se muestra una metodología 300 de generación de los archivos de control 178 (la figura 4) tal como el archivo de posicionamiento preciso de proyector 180 (la figura 4), el archivo de patrones de medición 182 (la figura 4) y el archivo de control de cámara 184 (la figura 4). Los archivos de control 178 pueden facilitar el funcionamiento del proyector de láser 146 y las cámaras 122 y el análisis de las imágenes 70 tal como se describe con mayor detalle posteriormente.

10 La etapa 302 de la metodología 300 de la figura 5 puede incluir proporcionar un archivo de CAD 170 (la figura 4) que contiene un modelo de CAD del artículo 174 (la figura 4), un modelo de CAD de la estación de trabajo 172 (la figura 4) y un modelo de CAD de los objetivos de posicionamiento preciso 176 (la figura 4). El modelo de artículo 174 puede representar la geometría del artículo 14 y las características 22 que se van a medir. Las características 22 se pueden definir mediante las coordenadas de un sistema de coordenadas de referencia (es decir, x, y, z) (la figura 1) en relación con un punto de referencia (que no se muestra) del artículo 14 (la figura 1). El modelo de estación de trabajo 172 puede representar la geometría del soporte de sujeción 12 del artículo 14. El modelo de objetivo 176 puede representar la geometría y la posición de los objetivos de posicionamiento preciso 150 (la figura 1) en una posición conocida en relación con un punto de referencia del artículo 14. Como alternativa, los objetivos de posicionamiento preciso 150 se pueden sustituir por dispositivos o características sin objetivo (que no se muestran). En una realización no limitante, las características sin objetivo pueden incluir receptores de metrología (que no se muestran) en ubicaciones conocidas sobre el soporte de sujeción 12 y sobre el proyector de láser 146 y que pueden recibir señales de al menos un transmisor de metrología (que no se muestra) también en una ubicación conocida en relación con el soporte de sujeción 12. Las características sin objetivo se pueden representar en el archivo de CAD 170 mediante coordenadas (es decir, x, y, z) en relación con un punto de referencia del artículo 14 para posicionar con precisión el proyector de láser 146 en relación con el artículo 14.

25 El archivo de CAD 170 (la figura 4) no se limita a modelos de CAD de la configuración de un único artículo 174 o la configuración de una única estación de trabajo 172 (la figura 4) sino que puede incluir una diversidad de diferentes modelos de CAD 174 de artículos y estaciones de trabajo que tienen diferentes configuraciones. También se pueden proporcionar los modelos de CAD 176 (la figura 4) de diferentes configuraciones de objetivo. Se puede proporcionar una biblioteca de diferentes archivos de CAD 170 con cada archivo de CAD 170, incluyendo diferentes combinaciones de modelos de artículo, modelos de estación de trabajo 172 y modelos de objetivo 176. También se debería hacer notar que la representación del artículo 14, la estación de trabajo 40, y los objetivos de posicionamiento preciso 150 no se limitan a modelos de CAD sino que se pueden definir por medio de hojas de cálculo que enumeran las coordenadas del ACS (la figura 1) (es decir, x, y, z) de la geometría del artículo 14, la estación de trabajo 40 y los objetivos de posicionamiento preciso 150 (la figura 1). Lo que es más, la representación del artículo 14 (la figura 1), la estación de trabajo 40 (la figura 1) y los objetivos de posicionamiento preciso 150 se puede proporcionar en un formato de archivo .ply (es decir, formato de archivo de polígono) o en cualquier otro formato de archivo adecuado.

35 La etapa 304 de la metodología 300 de la figura 5 puede comprender generar el archivo de posicionamiento preciso de proyector 180 (la figura 4) para posicionar con precisión el proyector de láser 146 (la figura 4) en relación con los objetivos de posicionamiento preciso 150 mostrados en la figura 1. Como alternativa, el archivo de posicionamiento preciso de proyector 180 se puede generar usando un modelo de objetivo que contiene características sin objetivo (que no se muestran). Mediante el posicionamiento preciso del proyector de láser 146 en relación con el objetivo de posicionamiento preciso 150 o en relación con características sin objetivo, el proyector de láser 146 se puede alinear con o posicionarse con precisión en relación con la geometría del artículo 14 (la figura 1) de tal modo que el proyector de láser 146 se puede mover con precisión de una característica inicial a características posteriores en un proceso de medición.

45 La etapa 306 de la metodología 300 de la figura 5 puede comprender generar el archivo de patrones de medición 182 (la figura 4). El archivo de patrones de medición 182 puede incluir las coordenadas (es decir, x, y, z) de las características 22 (la figura 1) que se van a medir sobre el artículo 14 (la figura 1). Adicionalmente, el archivo de patrones de medición 182 puede incluir una descripción de una ruta óptima para medir las características 22 del artículo 14. A este respecto, el archivo de patrones de medición 182 puede definir una secuencia relativamente muy eficiente en la que medir las características 22 basándose en un objetivo de minimizar la cantidad de tiempo requerida para recorrer el artículo 14 y proyectar la plantilla de escala 80 (la figura 1) y el patrón de medición 100 (la figura 1) en cada característica 22, y registrar una imagen 70 (la figura 7) de cada característica 22.

55 El archivo de patrones de medición 182 se puede generar mediante una macroinstrucción de CAD (que no se muestra) usando un archivo de CAD 170 seleccionado (la figura 4) que contiene un modelo de artículo 174 (la figura 4) y un modelo de estación de trabajo 172 (la figura 4). La plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100 se pueden generar basándose en la geometría y la ubicación de cada característica 22. El tamaño y la forma de la plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100 para cada característica 22 se pueden generar mediante la macroinstrucción de CAD y se pueden basar en el tamaño y la forma de la característica 22. En una realización preferida, preferiblemente el tamaño de la plantilla de escala 80 es sustancialmente equivalente a o proporcional al tamaño de la característica 22 para aumentar la precisión del análisis de la imagen 70. Como una alternativa a que la macroinstrucción de CAD genere la plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100 para las características 22,

el tamaño y la forma de la plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100 se pueden seleccionar de entre una biblioteca de las plantillas de escala 80 y los patrones de medición 100.

En la etapa 306, la ubicación sobre el artículo 14 (la figura 1) en donde se proyectan la plantilla de escala 80 (la figura 1) y el patrón de medición 100 (la figura 1) también se puede determinar para cada característica 22 (la figura 1). Por ejemplo, para un orificio 30 (la figura 1) ubicado en el artículo 14 a una distancia relativamente corta a un borde de artículo 20, en general la plantilla de escala 80 se puede centrar por encima del orificio 30 de forma similar a la que se ilustra en las figuras 7-11. Para otras características 22, la plantilla de escala 80 se puede ubicar fuera hacia un lado de la característica 22. El tamaño y la forma de la plantilla de escala 80 también pueden ser diferentes para diferentes características 22. Por ejemplo, para un orificio 30 ubicado en un área relativamente estrecha del artículo 14, se puede seleccionar una plantilla de escala de relativamente pequeño tamaño (por ejemplo, de cuadrado de 0,5 pulgadas (1,27 cm)) 80. Tal como se ha indicado anteriormente, la plantilla de escala 80 es de un tamaño sustancialmente equivalente o proporcional al de la característica 22 que se está midiendo. Por ejemplo, para un orificio 30 que tiene un diámetro de 0,5 pulgadas (1,27 cm), se puede seleccionar una plantilla de escala de cuadrado de 1 pulgada (2,54 cm) 80. En contraposición, para un orificio 30 que tiene un diámetro de 0,25 pulgadas (0,635 cm), se puede seleccionar una plantilla de escala de cuadrado de 0,5 pulgadas (1,27 cm) 80. También se debería hacer notar que la plantilla de escala 80 no se limita a una forma de cuadrado sino que se puede proporcionar en cualquier forma y tamaño, sin limitación. Por ejemplo, la plantilla de escala 80 se puede proporcionar como un rectángulo o como cualquier polígono de múltiples lados. Opcionalmente, la plantilla de escala 80 puede incluir segmentos curvados (que no se muestran). La plantilla de escala 80 también se puede proporcionar en una forma abierta y no se limita a una forma cerrada tal como una plantilla de escala con forma de cuadrado. Por ejemplo, la plantilla de escala 80 se puede proporcionar como un asterisco (que no se muestra) u otras formas abiertas adecuadas.

La etapa 308 de la metodología 300 de la figura 5 puede incluir generar el archivo de control de cámara 184 para controlar las una o más cámaras 122 (la figura 1) del sistema de visión 10. En una realización, el archivo de control de cámara 184 (la figura 4) puede incluir instrucciones para rastrear el movimiento del proyector de láser 146. A este respecto, el archivo de control de cámara 184 puede incluir instrucciones para coordinar el barrido horizontal y la inclinación vertical de cada cámara 122 (la figura 1) para seguir el proyector de láser 146 durante la proyección secuencial de la plantilla de escala 80 (la figura 1) y el patrón de medición 100 (la figura 1) de característica 22 a característica 22. El archivo de control de cámara 184 también puede especificar el acercamiento/alejamiento óptico para cada cámara 122 de una forma para maximizar la ampliación de la imagen 70 al tiempo que se mantiene la característica 22 (la figura 1), la plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100 dentro del marco de la imagen 70. Cada imagen 70 también se puede dimensionar de tal modo que uno o más bordes del artículo 14 (la figura 1) se encuentran dentro del marco de la imagen 70 de tal modo que se puede determinar la distancia de borde 108 de una característica 22.

La etapa 310 de la metodología 300 de la figura 5 puede incluir exportar los archivos de control 178 al procesador 46 para su ejecución por el programa de medición 192. Tal como se ha indicado anteriormente, los archivos de control 178 (la figura 4) pueden facilitar el funcionamiento del proyector de láser 146 y las cámaras 122 (la figura 1) para medir unas características 22 seleccionadas de un artículo 14. Antes de iniciar la medición de una o más características 22 (la figura 1) de un artículo, el sistema de visión 10 puede sugerir a un usuario que introduzca la distancia normal (es decir, perpendicular o más corta) 128 (la figura 1) de cada una de las cámaras 122 al artículo 14. Como alternativa, se pueden introducir las coordenadas de cada una de las cámaras 122 en relación con un punto de referencia (que no se muestra) del artículo 14. Como alternativa, la distancia 128 de las cámaras 122 al artículo 14 se puede extraer del modelo de estación de trabajo 172 (la figura 4) y el modelo de artículo 174 (la figura 4). Se puede requerir que la distancia 128 (la figura 1) entre las cámaras 122 y el artículo 14 permita que se coordine el barrido horizontal y/o la inclinación vertical de cada cámara 122 con el movimiento del proyector de láser 146.

Haciendo referencia al diagrama de flujo de la figura 6 y con referencia adicional a las imágenes 70 ilustradas en las figuras 7-13, se describirá a continuación una metodología 400 para medir una o más características geométricas 22 de un artículo 14. Una cualquiera de las etapas descritas posteriormente para realizar la metodología 400 se puede implementar mediante el procesador 46 (la figura 1) tal como mediante el programa de supervisión 190, el programa de medición 192 y/o el programa de control de láser 194 (la figura 4). Además, una cualquiera de las etapas de la metodología 400 puede estar asistida por una GUI 48 (que no se muestra) que se puede proporcionar al usuario tal como en un ordenador portátil 44 (la figura 1) o un ordenador de estación de trabajo (que no se muestra) que se puede ubicar en la estación de trabajo 40 (la figura 1) o en una ubicación remota. La metodología 400 puede estar asistida por un ordenador de estación de trabajo que puede ser usado por un operador durante operaciones de ensamblaje tales como para acceder a las instrucciones de trabajo para el artículo 14 o registrar el trabajo completado sobre el artículo 14 (la figura 1). La GUI 48 puede permitir que un usuario manipule el programa de supervisión 190, el programa de medición 192 y/o el programa de control de láser 194 durante una cualquiera de las etapas descritas posteriormente. Además, la GUI 48 puede permitir que un usuario observe el progreso en la medición y el análisis de las características 22 de un artículo 14.

La etapa 402 de la metodología 400 de la figura 6 puede comprender posicionar con precisión el proyector de láser

146 en relación con el artículo 14 usando los objetivos de posicionamiento preciso 150 (la figura 1). El proceso de posicionamiento preciso se puede definir mediante el archivo de posicionamiento preciso de proyector 180 (la figura 4). En una realización, los objetivos de posicionamiento preciso 150 se pueden montar en ubicaciones fuera del artículo 14 tal como sobre el soporte de sujeción 12 (la figura 1) en ubicaciones conocidas uno en relación con otro y en relación con el artículo 14, tal como se ha descrito anteriormente. Como alternativa, el proyector de láser 146 (la figura 1) se puede posicionar con precisión en relación con una o más características sin objetivo (que no se muestran) tal como se ha mencionado anteriormente. Mediante el posicionamiento preciso del proyector de láser 146, la posición del proyector de láser 146 en relación con el artículo 14 se puede definir de tal modo que la plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100 se pueden proyectar sobre cada característica 22 con un grado relativamente alto de precisión posicional. Además, mediante el posicionamiento preciso del proyector de láser 146, el proyector de láser 146 puede mover con precisión la proyección de la plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100 de característica 22 a característica 22.

La etapa 404 de la metodología 400 de la figura 6 puede comprender proyectar una plantilla de escala 80 (la figura 1) sobre el artículo 14 (la figura 1) cerca de una característica 22 (la figura 1) o superponiéndose a una característica 22. Por ejemplo, la figura 7 ilustra una plantilla de escala con forma de cuadrado 80 proyectada sobre un artículo 14 de tal modo que la plantilla de escala de cuadrado 80 circunscribe un orificio 30 (la figura 1) en el artículo 14. No obstante, la plantilla de escala 80 se puede proyectar hacia un lado de la característica 22 que se va a medir. Por ejemplo, la plantilla de escala de cuadrado 80 se puede proyectar entre uno cualquiera de los conjuntos de orificios 30 ilustrados en la imagen 70 de la figura 7. Preferiblemente, la plantilla de escala 80 se proyecta sobre o cerca de la característica 22 que se está midiendo con el fin de aumentar la precisión del análisis de imágenes tal como se describe posteriormente. La plantilla de escala 80 se puede proyectar sobre el artículo 14 en uno cualquiera de una diversidad de tamaños y formas y no se limita a una forma de cuadrado. Por ejemplo, la plantilla de escala 80 se puede proyectar como un rectángulo o como un polígono que tenga cualquier número de lados tal como se ha indicado anteriormente. Opcionalmente, la plantilla de escala 80 puede incluir elementos curvados (que no se muestran). Además, la plantilla de escala 80 se puede proporcionar en una forma abierta tal como un asterisco (que no se muestra) y no se limita a una forma cerrada tal como un cuadrado o un rectángulo.

En la imagen 70 mostrada en las figuras 7-11, la plantilla de escala 80 puede incluir al menos un elemento de plantilla 82 que se puede proyectar con el fin de aparecer como una línea relativamente recta cuando se observa a lo largo de la dirección del haz de láser 148 (la figura 1) y/o cuando se observa en una imagen 70 registrada por la cámara 122 (la figura 1). A este respecto, el proyector de láser 146 (la figura 1) se puede configurar para proyectar la plantilla de escala 80 sobre una superficie no plana (que no se muestra) o una superficie con contorno (que no se muestra) de tal modo que uno o más elementos de plantilla 84 de la plantilla de escala 80 aparecen como una línea recta en la imagen 70 registrada por una o más de las cámaras 122. De forma ventajosa, la proyección de uno o más elementos de plantilla 84 como una línea recta prevé una determinación de al menos un factor de escala de imagen de la imagen 70 para su uso durante el análisis de imágenes. El proyector de láser 146 puede proyectar la plantilla de escala 80 (la figura 1) sobre el artículo 14 de tal modo que la plantilla de escala 80 tiene una longitud predeterminada o conocida para facilitar la determinación del factor de escala de imagen. Tal como se describe posteriormente, el factor de escala de imagen se puede expresar como la cantidad de píxeles 72 (la figura 9) que se extienden de forma lineal a lo largo de un elemento de plantilla de una longitud conocida. Mediante la determinación de al menos un factor de escala de imagen para cada imagen 70 en términos de la cantidad de píxeles por unidad de longitud, se pueden determinar el tamaño y/o la ubicación de una o más características 22.

La etapa 406 de la metodología 400 puede comprender proyectar un patrón de medición 100 (la figura 1) sobre el artículo 14 (la figura 1). El patrón de medición 100 se superpone a una característica 22 que se va a medir. Por ejemplo, las imágenes ilustradas en las figuras 7-11 muestran el patrón de medición 100 como las líneas de retículo 102. Las líneas de retículo 102 pueden intersectarse entre sí en una ubicación deseada o nominal del centro del orificio 30 que se está midiendo. A pesar de que las figuras 7-11 ilustran el patrón de medición 100 como las líneas de retículo 102, el patrón de medición 100 se puede proyectar sobre la característica 22 en una cualquiera de una diversidad de diferentes formas y no se limita a la configuración de las líneas de retículo 102. La proyección de la plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100 sobre el artículo 14 se puede controlar mediante el programa de control de láser 194 (la figura 4) que puede aceptar órdenes procedentes del programa de medición 192 (la figura 4). Las órdenes recibidas por el programa de control de láser 194 se pueden reenviar al soporte lógico de láser 144 para controlar el proyector de láser 146.

La etapa 408 de la metodología 400 de la figura 6 puede comprender detectar la presencia de la plantilla de escala 80 en la imagen 70 de la característica 22 adquirida por una o más cámaras 122 (la figura 1). Las cámaras 122 (la figura 1) se pueden orientar para concentrarse sobre la característica 22 por encima de la cual se proyectan la plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100. Las cámaras 122 se pueden orientar en la dirección de barrido horizontal 130 y/o la dirección de inclinación vertical 132 (la figura 1) bajo el control del controlador de cámara 120 que puede recibir órdenes del programa de medición 192 y/o el programa de supervisión 190 (la figura 4). Tal como se ha indicado anteriormente, el controlador de cámara 120 puede ser accionado por el archivo de control de cámara 184. Un usuario también puede ajustar de forma manual el barrido horizontal y/o la inclinación vertical de la cámara 122 usando el control de barrido horizontal 52 y/o el control de inclinación vertical 50 de la GUI 48 tal como se

muestra en la figura 7 hasta que se ha detectado visualmente una plantilla de escala 80.

La etapa 410 de la metodología 400 de la figura 6 puede comprender centrar la característica 22 (la figura 1), la plantilla de escala 80 (la figura 1), el patrón de medición 100 (la figura 1) y/o el borde de artículo 20, dentro del campo de visión 136 (la figura 1) de cada cámara 122 (la figura 1) después de que se haya detectado la plantilla de escala 80. El centrado de la imagen 70 se puede realizar mediante el cálculo de una relación entre el movimiento de la cámara 122, y la región del artículo 14 capturada dentro de la imagen 70 o dentro del campo de visión 136 de la cámara 122. La relación entre el movimiento de la cámara 122 y la región capturada dentro de la imagen 70 (la figura 7) se puede basar en el barrido horizontal, la inclinación vertical y el acercamiento/alejamiento de la cámara 122 y la distancia de la cámara 122 desde la característica 22. La distancia de la cámara 122 desde la característica 22 se puede determinar mediante el ajuste de la distancia 128 previamente introducida para representar cualquier contorno o curvatura en la superficie del artículo 14 y la realización de un ajuste para el ajuste actual de barrido horizontal y de inclinación vertical de la cámara 122 en relación con el ajuste previo de barrido horizontal y de inclinación vertical. Como alternativa, el contorno o la curvatura en el artículo 14 se puede aplanar mediante la rectificación de la imagen 70 para eliminar la distorsión geométrica tal como se ilustra en las figuras 12-13 y tal como se describe con mayor detalle posteriormente. El tamaño de la región capturada dentro de la imagen 70 se puede determinar mediante el cálculo de al menos un factor de escala de imagen para la imagen 70. El factor de escala de imagen se puede calcular mediante la determinación de la cantidad de píxeles 72 (la figura 9) que se extienden de forma lineal a lo largo de una longitud de un elemento de plantilla 82 en al menos una dirección de la plantilla de escala 80.

Por ejemplo, la figura 8 ilustra la plantilla de escala con forma de cuadrado 80 que tiene cuatro (4) elementos de plantilla 84 que comprenden los lados de plantilla 84 de la plantilla de escala 80. Al saber el tamaño con el que la plantilla de escala 80 se proyecta sobre el artículo 14 (por ejemplo, un cuadrado de 1 pulgada (2,54 cm)), se puede determinar la cantidad de píxeles por unidad de longitud. La cantidad de píxeles por unidad de longitud representa el factor de escala de imagen de la imagen 70 y se puede usar para determinar el tamaño (por ejemplo, la longitud o la anchura) de la región en la imagen 70 y la distancia de la plantilla de escala 80 a un borde de la imagen 70. De esta misma forma, se puede determinar la ubicación relativa del patrón de medición 100, la característica 22 y el borde de artículo 20. Al saber el campo de visión 136 de la cámara 122 (la figura 1) basándose en el nivel actual de acercamiento/alejamiento y saber el tamaño de la región en la imagen 70 y la distancia de la plantilla de escala 80 al límite de la imagen 70, se puede determinar la cantidad de ajuste (es decir, barrido horizontal, inclinación vertical) de la cámara 122 requerido para centrar la plantilla de escala 80. Como alternativa, un usuario puede centrar de forma manual la imagen 70 mediante el ajuste del control de barrido horizontal 52 o el control de inclinación vertical 50 en la GUI 48 tal como se ilustra en la figura 7.

A continuación del centrado de la imagen 70, el acercamiento/alejamiento óptico de la cámara 122 se puede ajustar para maximizar el tamaño de la característica 22 (la figura 1), la plantilla de escala 80 (la figura 1), el patrón de medición 100 (la figura 1) y/o el borde de artículo 20 (la figura 1) dentro de la imagen 70. Maximizar el acercamiento/alejamiento óptico puede aumentar la precisión del análisis de imágenes que se puede realizar después de que se haya registrado y guardado la imagen 70. Para múltiples cámaras 122 (la figura 1), el sistema de visión 10 puede comparar las imágenes 70 (la figura 7) de cada característica 22 capturada por cada cámara 122 y seleccionar una preferida de las imágenes de cámara 70 basándose en uno o más factores o atributos. Factores o atributos que se pueden ponderar en la selección de una preferida de las imágenes 70 incluyen la distancia de cada cámara 122 a la característica 22. Por ejemplo, se puede seleccionar la imagen registrada por la cámara lo más cerca de la característica. Factores adicionales que se pueden ponderar en la selección de una preferida de las imágenes 70 incluyen el ángulo de perspectiva de cada cámara 122 en relación con la característica 22. A este respecto, se puede seleccionar la imagen 70 registrada por la cámara 122 que tiene el ángulo más pequeño del eje óptico 134 de la cámara 122 (la figura 1) en relación con el haz de láser 148 (la figura 1). Otros factores que se pueden ponderar en la selección de una preferida de las imágenes 70 incluyen la posición de la característica 22 en relación con el borde de artículo 20, y la imagen 70 más favorable desde un punto de vista de análisis de imágenes. Por ejemplo, se puede seleccionar la imagen 70 que tiene la resolución más alta de la totalidad de las imágenes 70 de una característica 22 dada.

Después de centrar y de maximizar el acercamiento/alejamiento óptico de la imagen 70 (la figura 7) y de seleccionar la imagen 70 de entre múltiples imágenes 70 capturadas por múltiples cámaras 122, la imagen 70 se puede guardar junto con los valores de barrido horizontal, de inclinación vertical y de acercamiento/alejamiento correspondientes. Opcionalmente, la imagen 70 se puede representar en una GUI 48 (que no se muestra) de tal modo que un usuario puede seguir el proceso de medición. En el caso en el que la imagen 70 se centra de forma manual y el acercamiento/alejamiento se ajusta de forma manual, el usuario puede seleccionar un botón de exploración 60 (la figura 7) en la GUI 48 para ordenar al procesador 46 que registre la imagen 70.

La etapa 412 de la metodología 400 de la figura 6 puede comprender proyectar la plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100 (la figura 1) sobre cada una de las características 22 restantes definidas mediante el archivo de patrones de medición 182. Una vez que el proyector de láser 146 (la figura 1) ha proyectado la plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100 sobre una nueva característica 22 en la secuencia de medición, las cámaras 122 (la

figura 1) se pueden reorientar mediante el ajuste del barrido horizontal y la inclinación vertical para capturar una imagen 70 de la característica 22 y para centrar cada imagen 70 (la figura 7) tal como se ha descrito anteriormente. También se puede ajustar el nivel de acercamiento/alejamiento de cada cámara 122. Se puede registrar una imagen 70 en cada característica 22. Preferiblemente, la imagen 70 puede contener la característica 22, la plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100. Opcionalmente, la imagen 70 puede incluir uno o más bordes de artículo 20 de tal modo que se puede determinar la distancia de borde 108 (la figura 1) de la característica 22. En donde se usan múltiples cámaras 122, una preferida de las imágenes 70 (la figura 7) registradas por una de las cámaras 122 se puede seleccionar y guardar en el programa de medición 192 tal como se ha indicado anteriormente. El proceso de medición puede continuar hasta que se ha registrado al menos una imagen 70 para cada una de las características 22 seleccionadas.

La etapa 414 de la metodología 400 de la figura 6 puede incluir rectificar una o más imágenes 70 (la figura 7) que se pueden seleccionar para un análisis adicional. La rectificación de una imagen 70 puede comprender eliminar la distorsión geométrica de la imagen 70 y se puede implementar para unas imágenes de superficies de artículo sustancialmente planas. Por ejemplo, haciendo referencia a la figura 12-13, se muestra una imagen 70 de un patrón de rejilla 160 proyectado sobre una superficie de artículo sustancialmente plana de un artículo 14 para la rectificación de la imagen 70. De manera preferible pero opcional, el patrón de rejilla 160 en las figuras 12-13 se proporciona como un patrón de rejilla de cuadrados de cuatro por cuatro 160 a pesar de que el patrón de rejilla 160 puede tener una cantidad total más grande o más pequeña de cuadrados 162 que el patrón de rejilla de cuadrados de cuatro por cuatro 160 mostrado. Una cantidad total más grande de cuadrados 162 puede aumentar la precisión del análisis de imágenes. Opcionalmente, el patrón de rejilla 160 puede incluir una cantidad más grande de cuadrados 162 a lo largo de una dirección vertical que la cantidad de cuadrados a lo largo de la dirección horizontal, o viceversa.

En la etapa 414, el patrón de rejilla 160 se puede proyectar sobre una superficie sustancialmente plana del artículo 14 (la figura 1) y una imagen 70 se puede registrar tal como se muestra en la figura 12. Debido a la orientación y la posición de la cámara 122 (la figura 1) en relación con el artículo 14, el patrón de rejilla 160 puede aparecer geoméricamente distorsionado. Para eliminar la distorsión geométrica y rectificar la imagen 70, la imagen 70 (la figura 7) se puede procesar mediante la extracción de la banda de color de láser (por ejemplo, de color verde) y la determinación de un umbral para la imagen 70 para producir una imagen 70 binaria (por ejemplo, de color negro sobre color blanco). La imagen 70 puede experimentar una operación de limpieza morfológica para mejorar la nitidez de imagen tal como al cerrar la imagen 70 para eliminar orificios seguido por un adelgazamiento de la imagen 70 hasta el punto en donde un adelgazamiento adicional daría como resultado discontinuidades en la imagen 70. Los segmentos de línea recta 163 o los elementos de plantilla de la imagen 70 (la figura 7) se pueden identificar mediante la realización de una transformada de Hough con supresión no máxima. Tal como se muestra en la figura 12, los segmentos de línea 163 se pueden definir para el patrón de rejilla 160. También se pueden definir los puntos de intersección 164 de sustancialmente la totalidad de los segmentos de línea 163.

En la figura 12, se puede realizar un análisis de componentes conectados sobre la imagen 70. El cuadrado interior de dos por dos 165 que tiene los segmentos de línea 163 interrumpidos por el orificio 30 se puede identificar y se puede corresponder con el componente, siendo un área convexa de un tamaño más pequeño en relación con una envolvente convexa definida mediante el patrón de rejilla 160. La envolvente convexa de un polígono que define las coordenadas de imagen del cuadrado interior de dos por dos 165 se puede calcular y simplificar para hallar esquinas del cuadrado de dos por dos 165. Las esquinas que se corresponden con cuatro direcciones cardinales 166 del cuadrado de dos por dos 165 se pueden identificar para calcular una transformación de perspectiva u homografía plana entre un plano de imagen 74 que tiene unidades en píxeles 72 y la superficie plana del artículo 14 que tiene unidades de longitud tales como pulgadas o milímetros. Entonces se puede aplicar una inversa de la transformación de perspectiva a la imagen 70 mostrada en la figura 12 para proporcionar una vista rectificadas de la imagen 70 tal como se muestra en la figura 13. Se debería hacer notar que el proceso de rectificación de la etapa 414 de la figura 6 es una realización no limitante de la rectificación de una imagen 70 y no se ha de interpretar como limitante para otras técnicas que se pueden implementar sobre la plantilla de escala 80 y/o el patrón de medición 100 para eliminar o reducir la distorsión geométrica en una imagen 70.

La etapa 416 de la metodología 400 de la figura 6 puede comprender determinar al menos un factor de escala de imagen para su uso en el análisis de imágenes y para calcular las mediciones (por ejemplo, el tamaño, la ubicación) de una característica 22 (la figura 1). El factor de escala de imagen usado en el cálculo de las mediciones de la característica 22 (por ejemplo, el tamaño y la ubicación) puede tener un grado relativamente más alto de precisión o exactitud que el factor de escala de imagen anteriormente mencionado usado en la proyección de láser de la plantilla de escala 80 y el patrón de medición 100 (la figura 1). A este respecto, el factor de escala de imagen usado en una proyección de láser se puede realizar con un nivel reducido de precisión para reducir la intensidad de cómputo y reducir de ese modo la cantidad de tiempo requerido para que el programa de medición 192 (la figura 4) realice las operaciones de procesamiento cuando se proyecta el haz de láser 148 de característica a característica en torno al artículo 14. Durante el análisis de imágenes, es preferible un grado relativamente alto de precisión sobre el factor de escala de imagen a costa de una mayor intensidad de cómputo y un tiempo de procesamiento relativamente más prolongado. No obstante, se contempla que el factor de escala de imagen usado durante la proyección de láser en torno al artículo 14 también se pueda usar como el factor de escala de imagen para el análisis de imágenes, o

viceversa.

5 Haciendo referencia a la figura 8, la determinación de al menos un factor de escala de imagen de una imagen 70 puede incluir determinar la cantidad de píxeles 72 (la figura 9) contenidos en una longitud promedio del elemento de plantilla lineal 82 de la plantilla de escala 80. Para la plantilla de escala con forma de cuadrado 80 mostrada en la figura 8, la etapa 416 puede incluir determinar la cantidad de píxeles 72 que se extienden de forma lineal a lo largo de cada uno de los cuatro (4) lados de plantilla 84. El proceso de determinar el factor de escala de imagen puede incluir extraer la banda de color de láser de la plantilla de escala 80 de la imagen 70. La plantilla de escala 80 se puede convertir a binario y convertirse a una línea de láser relativamente continua (que no se muestra). Se pueden eliminar los objetos extraños y/o relativamente pequeños (que no se muestran) en la imagen 70.

10 Haciendo referencia a la figura 9, en una realización no limitante de la metodología 400 se pueden generar una frontera interior 86 y una frontera exterior 88 para la plantilla de escala 80. Cada una de las fronteras interior y exterior 86, 88 se muestran en línea discontinua y pueden intersectarse entre sí para definir conjuntos de esquinas interiores y exteriores 90, 92. Se puede ajustar una esquina intermedia 94 entre cada uno de los conjuntos de esquinas interiores y exteriores 90, 92. Las esquinas intermedias 94 se pueden interconectar mediante un conjunto de segmentos de línea 96. Cada segmento de línea 96 se puede analizar para determinar la cantidad de píxeles 72 (la figura 9) que se extienden de forma lineal a lo largo del segmento de línea 96. En una realización no limitante, se puede determinar la cantidad de píxeles 72 para uno o más segmentos de línea 96 que se extienden en una dirección sustancialmente en paralelo a un eje  $x_i$  de un sistema de coordenadas de imagen (ICS, *image coordinate system*). De forma similar, se puede determinar la cantidad de píxeles 72 para uno o más segmentos de línea que se extienden en una dirección sustancialmente a lo largo de o en paralelo a un eje  $y_i$  del ICS. Se puede promediar la cantidad de píxeles 72 en los segmentos de línea 96 que se extienden sustancialmente en paralelo al eje  $x_i$  del ICS. De forma similar, se pueden promediar los segmentos de línea 96 que se extienden sustancialmente en paralelo al eje  $y_i$  del ICS.

25 Debido a que la plantilla de escala 80 se proyecta sobre el artículo 14 con un tamaño predeterminado (por ejemplo, un cuadrado de 1 pulgada (2,54 cm)), la cantidad de píxeles 72 en los segmentos de línea promediados 96 sustancialmente en paralelo al eje  $x_i$  se puede usar para determinar la cantidad de píxeles por unidad de longitud de la imagen 70 a lo largo de una dirección del eje  $x$  que puede servir como el factor de escala de imagen a lo largo de una dirección del eje  $x_i$ . De forma similar, la cantidad de píxeles 72 en los segmentos de línea promediados 96 sustancialmente en paralelo al eje  $y_i$  se puede usar para determinar la cantidad de píxeles por unidad de longitud a lo largo de una dirección del eje  $y_i$  que puede servir como el factor de escala de imagen a lo largo del eje  $y_i$  y que puede ser diferente del factor de escala de imagen a lo largo del eje  $x_i$  de la imagen 70 (la figura 7). A este respecto, se debería hacer notar que los factores de escala de imagen se pueden determinar a lo largo de cualquier dirección de la imagen y no se limitan a las direcciones del eje  $x_i$  y del eje  $y_i$  de la imagen 70 tal como se ilustra en la figura 9. Además, los factores de escala de imagen para cada imagen 70 se pueden determinar con respecto a direcciones que son no perpendiculares entre sí. Lo que es más, se pueden determinar más de dos (2) factores de escala de imagen para una única imagen 70.

40 La etapa 418 de la metodología 400 de la figura 6 puede comprender determinar un tamaño de la característica 22 basándose en el patrón de medición 100 (la figura 1) y el factor de escala de imagen. El tamaño de la característica 22 (la figura 1) se puede determinar al definir la intersección del patrón de medición 100 con un borde de la característica 22. Por ejemplo, la figura 9 ilustra el patrón de medición 100 configurado como un conjunto de líneas de retículo 102 orientadas en perpendicular una en relación con otra. Las líneas de retículo 102 se muestran superponiéndose a un perímetro de un orificio 30. Con el fin de mejorar la claridad o nitidez de las líneas de retículo 102, se pueden realizar una o más técnicas de procesamiento de imagen sobre las líneas de retículo 102. Por ejemplo, se pueden extraer las regiones de la imagen 70 que rodean las líneas de retículo 102. La banda de color (por ejemplo, de color verde) de la proyección de láser se puede extraer de las líneas de retículo 102 y la región extraída se puede convertir a binario (por ejemplo, píxeles de color negro y de color blanco). Las líneas de retículo 102 se pueden prolongar. Una o más etapas adicionales de procesamiento de imagen se pueden realizar sobre la imagen 70 para mejorar la claridad de las líneas de retículo 102.

50 Haciendo referencia a la figura 10, se muestran unos puntos de intersección definidos en donde las líneas de retículo 102 se intersectan con el perímetro de orificio 32. Al definir al menos 3 puntos de intersección 106i, y al saber el factor de escala de imagen (es decir, la cantidad de píxeles por unidad de longitud) de la imagen 70, se puede determinar el diámetro del orificio 30. El diámetro medido del orificio 30 se puede comparar con un diámetro nominal o deseado del orificio 30 para determinar una desviación 110 del diámetro medido del orificio 30. El valor numérico del diámetro medido del orificio 30 se puede representar en una GUI 48 (que no se muestra) e identificarse con la ubicación del orificio 30 sobre el artículo 14. A pesar de que la etapa de determinar el tamaño de una característica 22 se describe en el contexto de determinar el diámetro medido de un orificio 30, el proceso se puede aplicar para determinar el tamaño de una amplia diversidad de características y no se limita a determinar un diámetro medido de orificio. Por ejemplo, el tamaño geométrico de una característica se puede determinar para una ranura, una hendidura, una separación, una abertura, una muesca, y uno cualquiera de una diversidad de otros tipos de características que se pueden incluir con o asociar con el artículo 14.

60

La etapa 420 de la metodología 400 de la figura 6 puede comprender determinar una ubicación medida 28 (la figura 10) de la característica 22 (la figura 9) basándose en el patrón de medición 100 (la figura 9) y el factor de escala de imagen. La ubicación de la característica 22 se puede determinar en relación con una ubicación deseada 26 de la característica 22, en relación con un borde del artículo 20, y/o en relación con una parte coincidente (que no se muestra) del artículo 14. Por ejemplo, haciendo referencia a la figura 10, la ubicación medida 28 de un centro de orificio 34 se puede determinar en relación con una ubicación deseada 26 del centro de orificio 34 representada por la intersección de las líneas de retículo 102. La ubicación medida 28 del centro de orificio 34 se puede determinar usando los datos de tamaño de orificio determinados anteriormente en la etapa 418. Como alternativa, la ubicación medida 28 del centro de orificio 34 (la figura 10) se puede determinar basándose en un diámetro nominal del orificio tal como se puede definir mediante el modelo de artículo 174 (la figura 4). Por ejemplo, al definir al menos dos puntos de intersección 106, y al saber el diámetro nominal del orificio 30 y el factor de escala de imagen de la imagen 70, se puede determinar la ubicación medida 28 del centro de orificio 34. La ubicación medida 28 del centro de orificio 34 se puede comparar con la ubicación deseada 26 del centro de orificio 34 para determinar una desviación 110 en la ubicación del orificio 30. La ubicación medida 28 del centro de orificio 34 también se puede determinar en relación con la ubicación medida 28 de otra característica 22 tal como la ubicación medida 28 de un centro de orificio 34 adyacente.

La determinación de la ubicación de una característica 22 (la figura 9) puede comprender adicionalmente determinar una distancia de borde 108 (la figura 10) de una característica 22 basándose en el patrón de medición 100 (la figura 9) y el factor de escala de imagen. Haciendo referencia a la figura 10, las líneas de retículo 102 se pueden proyectar sobre el artículo 14 de tal modo que al menos una de las líneas de retículo 102 está orientada sustancialmente en perpendicular en relación con el borde de artículo 20. En la figura 10 se muestra un segmento de patrón 104 de la línea de retículo 102 que se extiende entre el borde de artículo 20 y el perímetro de orificio 32. La longitud del segmento de patrón 104 se puede determinar mediante el recuento de la cantidad de píxeles 72 (la figura 9) que se extienden de forma lineal (es decir, de extremo a extremo) a lo largo de la longitud del segmento de patrón 104 en al menos una dirección de la imagen 70. Por ejemplo, la longitud del segmento de patrón 104 se puede determinar a lo largo de una dirección x de un sistema de coordenadas de imagen ICS.

La cantidad de píxeles en el segmento de patrón 104 se puede convertir a una medición de longitud usando el factor de escala de imagen. La medición de longitud puede comprender la distancia de borde 108 entre el borde de artículo 20 y el perímetro de orificio 32. Tal como se muestra en la figura 11, los valores 58 de las ubicaciones de característica 58 se pueden representar en una GUI 48 que también puede contener una imagen 70 de la característica 22 que se está midiendo. La GUI 48 también puede representar los valores 56 del tamaño de la característica 22 tal como se muestra en la figura 11. La GUI 48 puede incluir un selector de características 62 para permitir que un usuario evoque una diferente de las características 22 de tal modo que una imagen 70 de la característica 22 se puede representar en la GUI 48 junto con los valores medidos de la característica 22. También se puede incluir un selector de ajustes 64 con la GUI 48 para permitir que un usuario seleccione un artículo diferente que se va a medir, o que cambie los ajustes de red o uno cualquiera de una diversidad de otros ajustes de sistema.

La distancia de borde 108 (la figura 10) entre el centro de orificio 34 (la figura 10) y el borde de artículo 20 (la figura 10) también se puede determinar basándose en el proceso descrito anteriormente para determinar la ubicación medida 28 del centro de orificio 34. Además, se puede determinar la distancia de borde 108 para las características 22 que no sean los orificios 30. Además, la distancia entre partes coincidentes (que no se muestran) que se pueden montar en el artículo 14 se puede determinar basándose en los bordes de la característica 22 de las partes coincidentes y discontinuidades que tienen lugar en el patrón de medición 100 (la figura 10) en unas ubicaciones en las que el patrón de medición 100 se superpone al borde 24 de una característica 22.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 13, se describirá una realización para determinar el tamaño o la ubicación de una característica 22 usando un patrón de rejilla 160. En general, la imagen rectificadas 70 del artículo 14 mostrado en la figura 13 se puede ubicar por encima del orificio 30 en el artículo 14. La imagen 70 se puede procesar de una forma indicada anteriormente mediante la extracción de la banda de color de láser (por ejemplo, de color verde) y mediante la conversión de la imagen 70 a binario y el procesamiento de la imagen 70 para mejorar la calidad de imagen para fines de medición. Se puede realizar un análisis de componentes conectados sobre la imagen 70 de una forma tal como se describió anteriormente en la etapa 418. Se puede seleccionar una región de interés (ROI, *region of interest*) 167 que abarca el patrón de rejilla 160 para un procesamiento adicional. La cantidad de píxeles 72 que se extienden de forma lineal a lo largo de al menos una dirección de la ROI 167 se puede determinar y se puede dividir por el tamaño conocido del patrón de rejilla 160 tal como se proyecta sobre una superficie plana del artículo 14 para llegar a un factor de escala de imagen. Entonces, la ROI 167 se puede extraer de la imagen 70 y determinarse para la misma como umbral un nivel reducido de intensidad para aumentar la cantidad de información en la proyección de láser del patrón de rejilla 160 y el patrón de medición 100 (por ejemplo, las líneas de retículo 102) en la imagen 70. Se puede aplicar una transformada de Hough a la ROI 167 de tal modo que se puede identificar un segmento de línea sustancialmente recto dentro de la ROI 167.

Haciendo referencia aún a la figura 13, se pueden seleccionar los puntos de extremo 169 de los cuatro segmentos de línea 163 que terminan en el perímetro de orificio 32. Los cuatro puntos de extremo 169 pueden facilitar una

determinación del tamaño del orificio 30 usando un ajuste de mínimos cuadrados de los puntos de extremo 169. La ubicación medida del centro de orificio 34 se puede determinar basándose en el diámetro determinado del orificio 30. El patrón de rejilla 160 se puede proyectar sobre el artículo 14 de tal modo que la intersección de las líneas de retículo 102 del patrón de medición 100 representa la ubicación deseada o nominal del centro de orificio 34. Una desviación 110 de la ubicación medida 28 del orificio 30 y la ubicación deseada 26 del orificio 30 se puede determinar basándose en unos píxeles 72 que se extienden de forma lineal entre la ubicación del orificio 30 medido y el centro de orificio 34 deseado o nominal multiplicado por el factor de escala de imagen.

En lo que respecta a determinar una distancia de borde 108 del orificio 30 desde el borde de artículo 20, en la figura 13, una segunda región de interés (ROI, *region of interest*) 168 se puede extraer de la imagen 70 original. La segunda ROI 168 puede abarcar una porción del patrón de medición 100 (por ejemplo, las líneas de retículo 102) orientada a lo largo de la dirección de la distancia de borde 108. Por ejemplo, en la figura 13, la segunda ROI 168 puede tener una altura generalmente equivalente a una altura (por ejemplo, un diámetro) del orificio 30 y una anchura que se extiende a lo largo de la anchura de la imagen 70. Se puede realizar un procesamiento de imagen adicional sobre la segunda ROI 168 para potenciar el análisis de imágenes para determinar la distancia de borde 108. Por ejemplo, la segunda ROI 168 se puede someter a un filtro de Sobel para destacar las líneas horizontales de la imagen 70 y atenuar las líneas verticales de la imagen 70. También se puede aplicar una transformada de Hough a la segunda ROI 168 para identificar líneas. Se puede identificar y seleccionar el segmento de línea horizontal que se extiende entre el orificio 30 y el borde de artículo 20. Esta cantidad de píxeles 72 que se extienden de forma lineal en la línea horizontal se puede multiplicar por el factor de escala de imagen para llegar a la distancia de borde 108 entre el orificio 30 y el borde de artículo 20.

Haciendo referencia a la figura 15, se muestra un ejemplo no reivindicado del sistema de visión para medir una característica 204 de un artículo 14 usando una plantilla de calibración de cámara 240. De forma ventajosa, la plantilla de calibración de cámara 240 facilita la medición de las características 204 sobre una superficie de artículo no plana 254 del artículo 200. No obstante, la plantilla de calibración de cámara 240 se puede usar para medir características sobre una superficie de artículo plana (que no se muestra). Además, la plantilla de calibración de cámara 240 facilita la medición de las características 204 de una forma precisa si la cámara 122 tiene una distorsión de la lente significativa o si la característica 204 está ubicada sobre una superficie de artículo que es una superficie separada de la superficie sobre la cual se proyecta la plantilla de calibración de cámara 240.

Tal como se muestra en la figura 15, la plantilla de calibración de cámara 240 se puede implementar en un entorno de una estación de trabajo 40 similar al que se ilustra en la figura 1. La plantilla de calibración de cámara 240 puede incluir al menos un proyector de láser 146 (la figura 4) y al menos una cámara 122. El proyector de láser 146 puede proyectar la plantilla de calibración de cámara 240 tal como el patrón de rejilla 160 que tiene ubicaciones conocidas sobre la superficie de artículo 254. El patrón de rejilla 160 puede incluir unos elementos de rejilla 244 que se intersectan entre sí en unos puntos de intersección 246 definiendo al menos seis (6) puntos de calibración 250 sobre la superficie de artículo 254. Los puntos de calibración 250 se pueden definir en relación con el sistema de coordenadas de artículo ACS. El patrón de rejilla 160 también puede incluir esquinas u otras entidades que pueden definir los al menos seis (6) puntos de calibración 250 que tienen ubicaciones conocidas sobre la superficie de artículo 254 en relación con el sistema de coordenadas de artículo ACS. No obstante, la plantilla de calibración de cámara 240 puede comprender unos puntos discretos (que no se muestran) proyectados sobre la superficie de artículo 254. Opcionalmente, también se puede proyectar un patrón de medición 100 (por ejemplo, las líneas de retículo 102) sobre la superficie de artículo 254. La plantilla de calibración de cámara 240 y/o el patrón de medición 100 se pueden superponer a la característica 204 para facilitar la medición de la ubicación y/o el tamaño de la característica 204.

La figura 15 ilustra la plantilla de calibración de cámara 240 y el patrón de medición 100 proyectados sobre una superficie de artículo no plana 254 que se curva de forma cóncava. No obstante, la plantilla de calibración de cámara 240 y el patrón de medición 100 se pueden proyectar sobre una superficie de artículo no plana 254 que tiene cualquier tipo de curvatura incluyendo, pero sin limitarse a, una curvatura convexa, o una combinación de curvaturas convexas y cóncavas u otros tipos de contornos. La cámara 122 tiene un eje óptico 134 que intersecta un plano de imagen 224 en un punto principal 138 de una imagen 220 que puede ser registrada por la cámara 122. La cámara 122 puede registrar una imagen 220 delimitada por un límite de imagen proyectada 226 que puede contener la característica 204, los puntos de calibración 250 y, opcionalmente, el patrón de medición 100. La imagen 220 puede definir el plano de imagen 224 y puede incluir una pluralidad de píxeles 222 que tienen unas coordenadas de píxel  $x_c$ ,  $y_c$  de un sistema de coordenadas de píxel (PCS, *pixel coordinate system*). La cámara 122 puede tener un sistema de coordenadas de cámara que tiene unas coordenadas de cámara  $x_c$ ,  $y_c$ ,  $z_c$ . El procesador 46 puede calibrar la cámara 122 usando la plantilla de calibración de cámara 240. El procesador 46 puede determinar un tamaño y/o una ubicación de la característica 204 sobre la superficie de artículo 254 en unas coordenadas de artículo  $x_a$ ,  $y_a$ ,  $z_a$  de un sistema de coordenadas de artículo ACS basándose en la imagen 220 y la calibración de la cámara 122.

A este respecto, el procesador 46 (la figura 1) puede determinar una relación entre la imagen 220 y la superficie de artículo 254 basándose en la ubicación tridimensional (3D) conocida de los puntos de calibración 250 sobre la superficie de artículo 254 y basándose en parámetros intrínsecos y parámetros extrínsecos de la cámara 122. Tal

como es conocido en la técnica, los parámetros extrínsecos de una cámara 122 (la figura 1) representan la transformación entre el sistema de coordenadas de cámara y el sistema de coordenadas de artículo ACS y definen una ubicación y una orientación del sistema de coordenadas de cámara en relación con el sistema de coordenadas de artículo ACS. Los parámetros extrínsecos incluyen valores de traslación y de rotación requeridos para ubicar conjuntamente y alinear los ejes del sistema de coordenadas de cámara con el sistema de coordenadas de artículo ACS.

Haciendo referencia aún a la figura 15, los parámetros intrínsecos representan una longitud focal de la cámara 122 que se puede describir como la proyección en perspectiva de un punto del plano de imagen 224 sobre la superficie de artículo 254. Los parámetros intrínsecos también pueden representar la transformación entre las coordenadas del plano de imagen 224 y las coordenadas de píxel de la imagen 220, y la distorsión geométrica de la imagen 220 debido a la óptica de cámara tal como la distorsión de la lente. Los parámetros intrínsecos pueden proporcionar una correspondencia de las coordenadas de píxel de un punto (por ejemplo, los puntos de calibración 252 y/o los puntos de intersección 246) en la imagen 220 con las coordenadas correspondientes en el sistema de coordenadas de cámara. El procesador 46 (la figura 1) puede definir los puntos de intersección 246 (por ejemplo, en las coordenadas del sistema de coordenadas de píxel PCS) sobre la imagen 220 en donde la plantilla de calibración de cámara 240 y/o el patrón de medición 100 intersectan el borde de característica 206. Entonces, el procesador 46 puede determinar el tamaño y/o la ubicación de la característica 204 sobre la superficie de artículo 254 en relación con el sistema de coordenadas de artículo ACS usando los puntos de intersección 246 (la figura 15) y la relación que se puede calcular entre la imagen 220 y la superficie de artículo 254 basándose en los parámetros intrínsecos y extrínsecos.

Haciendo referencia a continuación al diagrama de flujo de la figura 14, se muestra una metodología 500 de medición de una característica 204 (la figura 15) de un artículo 200 (la figura 15) usando una plantilla de calibración de cámara 240 (la figura 15). La metodología puede facilitar la determinación del tamaño y/o la ubicación de una o más características 204 sobre la superficie de artículo 254 (la figura 15). La ubicación de las una o más características 204 se puede definir en relación con el sistema de coordenadas de artículo ACS.

La etapa 502 de la metodología 500 de la figura 14 puede incluir proyectar una plantilla de calibración de cámara 240 (la figura 15) de ubicación tridimensional (3D) conocida sobre la superficie de artículo 254 (la figura 15). Preferiblemente, la plantilla de calibración de cámara 240 se superpone a la característica 204 tal como se muestra en la figura 15. La plantilla de calibración 240 incluye al menos seis (6) puntos de calibración 250 (la figura 15) que tienen unas coordenadas de 3D conocidas sobre la superficie de artículo 254 uno en relación con otro y definidos con respecto al sistema de coordenadas de artículo ACS para posibilitar la determinación de los parámetros intrínsecos y extrínsecos. A pesar de que se muestran seis (6) puntos de calibración 250 proyectados sobre la superficie de artículo 254 en la figura 15, se puede proyectar una cantidad más grande de puntos de calibración 250 sobre la superficie de artículo 254 para aumentar la precisión del análisis de imágenes. La etapa 502 puede comprender proyectar la plantilla de calibración de cámara 240 como un patrón de rejilla 242 que tiene unos elementos de rejilla 244 sobre una superficie de artículo no plana 254 tal como la superficie curvada ilustrada en la figura 15. La intersección de los elementos de rejilla 244 puede definir los al menos seis (6) puntos de calibración 250.

La etapa 504 de la metodología 500 de la figura 14 puede incluir registrar, usando una o más cámaras 122, una imagen 220 que contiene la característica 204 y la plantilla de calibración de cámara 240 tal como se muestra en la figura 15. La imagen 220 puede incluir el patrón de medición 100 tal como las líneas de retículo 102 que se pueden proyectar sobre la superficie de artículo 254 de tal modo que el patrón de medición 100 se superpone a la característica 204. En un ejemplo, el patrón de medición 100 y la plantilla de calibración de cámara 240 se pueden integrar o proyectar sobre la superficie de artículo 254 como una única proyección. El patrón de medición 100 y/o la plantilla de calibración de cámara 240 se pueden superponer a la característica 204. A pesar de que en la figura 16 se muestra una única cámara 122, se pueden usar múltiples cámaras 122 para registrar imágenes de cada característica 204 de una forma tal como se ha descrito anteriormente. Una imagen 220 preferida de la característica 204 se puede seleccionar basándose en uno o más factores incluyendo la distancia de la cámara 122 a la característica 204 o basándose en otros factores analizados anteriormente.

La etapa 506 de la metodología 500 de la figura 14 puede incluir calibrar la cámara 122 (la figura 1) usando la imagen 220 (la figura 15) y la proyección de la plantilla de calibración de cámara 240 (la figura 15). Más en concreto, la calibración de la cámara 122 puede comprender determinar la posición de los puntos de calibración 250 (la figura 15) sobre la superficie de artículo 254 (la figura 15) en relación con los puntos de calibración 252 correspondientes en la imagen 220.

La etapa 508 de la metodología 500 de la figura 14 puede comprender calibrar la cámara 122 (la figura 15) mediante la estimación de los parámetros intrínsecos y los parámetros extrínsecos de la cámara 122 basándose en la imagen 220 (la figura 15) y las ubicaciones 3D conocidas de los seis (6) puntos de calibración 250 (la figura 15) sobre la superficie de artículo 254 (la figura 15). Tal como se ha indicado anteriormente, los parámetros extrínsecos pueden definir una ubicación y una orientación del sistema de coordenadas de cámara (la figura 15) en relación con el

sistema de coordenadas de artículo ACS (la figura 15). Los parámetros intrínsecos pueden vincular las coordenadas de píxel (por ejemplo, por medio del sistema de coordenadas de píxel PCS) (la figura 16) de los puntos en la imagen 220 con las coordenadas en el sistema de coordenadas de cámara.

5 La etapa 510 de la metodología 500 de la figura 14 puede incluir determinar una relación entre la imagen 220 (por ejemplo, en coordenadas de píxel) y la superficie de artículo 254 (por ejemplo, en coordenadas de artículo). La relación se puede determinar basándose en los parámetros intrínsecos y los parámetros extrínsecos de la cámara 122 descrita anteriormente.

10 La etapa 512 de la metodología 500 de la figura 14 puede comprender definir unos puntos de intersección 106i (la figura 16) sobre el plano de imagen 224 (la figura 16) en donde la plantilla de calibración de cámara 240 (la figura 16) intersecta la característica 204 (la figura 16). A este respecto, la ubicación de la intersección del patrón de medición 100 con el perímetro de orificio 214 en la imagen 220 de la figura 16 se puede describir en el contexto de la ubicación del mismo punto de intersección sobre la superficie de artículo 254 en relación con el sistema de coordenadas de artículo ACS.

15 La etapa 514 de la metodología 500 de la figura 14 puede incluir determinar un tamaño y/o una ubicación de la característica 204 (la figura 17) sobre la superficie de artículo 254 (la figura 17). La ubicación de la característica 204 sobre la superficie de artículo 254 se puede definir en términos de las coordenadas de artículo basándose en la calibración de la cámara 122 (la figura 15) y, más en concreto, basándose en la ubicación 3D de los puntos de intersección 246 sobre la superficie de artículo 254 y la relación entre la imagen 220 (la figura 15) y la superficie de artículo 254 (la figura 15). Por ejemplo, la figura 17 ilustra la ubicación medida 210 de un centro de orificio 216 y una ubicación deseada 208 del centro de orificio 216 representada por la intersección de las líneas de retículo 102.

25 Haciendo referencia a la figura 18, la metodología 500 de la figura 14 se puede aplicar al artículo 200 en donde la característica 204 (la figura 15) está ubicada sobre una superficie que es diferente de la superficie de la plantilla de calibración de cámara 240. Tal como se muestra en la figura 18, la característica 204 está asociada con una superficie de característica 256 que está orientada con un ángulo diferente de la orientación de la superficie de artículo 254 sobre la cual se proyectan la plantilla de calibración de cámara 240 y el patrón de medición 100. No obstante, la superficie de característica 256 se puede desacoplar de la superficie de artículo 254 sobre la cual se proyectan la plantilla de calibración de cámara 240 y el patrón de medición 100. En un ejemplo, la característica 204 puede comprender un orificio 212 formado en una superficie de característica 256. No obstante, la característica 204 no se limita a un orificio 212 formado en la superficie de característica 256 del artículo 200 (la figura 15) sino que puede comprender una cualquiera de una diversidad de configuraciones de características incluyendo, pero sin limitarse a, cualquier característica 204 que se forme en o sobre el artículo 200, o que se pueda aplicar a, montar en, acoplar a o asociar de otro modo con el artículo 200. Si la orientación de la superficie de característica 256 (la figura 18) se conoce en relación con la superficie de artículo 254 (la figura 15) tal como la orientación de una normal 258 al plano local (la figura 18) a la superficie de característica 256 (la figura 18), y si la ubicación de la superficie de característica 256 (por ejemplo, las coordenadas del ACS de la normal 258 al plano local) se conoce en relación con la superficie de artículo 254 (la figura 15), entonces se pueden determinar el tamaño y/o la ubicación de la característica 204 (la figura 15) sobre la superficie de artículo 254.

40 La figura 19 muestra una imagen 220 del artículo 200 de la figura 18 y que ilustra los puntos de intersección 106i sobre el plano de imagen 224 en donde el patrón de medición 100 intersecta el perímetro de orificio 214. La ubicación de los puntos de intersección 106i en la imagen 220 se puede describir en el contexto de la ubicación de los puntos de intersección 106a correspondientes (la figura 18) sobre la superficie de artículo 254 en relación con el sistema de coordenadas de artículo ACS. A este respecto, el tamaño y/o la ubicación de la característica 204 sobre la superficie de artículo 254 se pueden definir en términos de las coordenadas de artículo basándose en la calibración de la cámara 122 tal como se ha descrito anteriormente en las etapas 508 y 510.

45 La figura 20 ilustra una porción del segmento de patrón 104 que se extiende del borde de artículo 202 al orificio 212. Si se conoce un diámetro nominal del orificio 212, la ubicación medida 210 del centro de orificio 216 se puede determinar en relación con el sistema de coordenadas de artículo ACS. A este respecto, la distancia de borde 108 en la figura 20 representa la distancia del borde de artículo 202 al centro de orificio 216. Un tamaño de orificio también se puede determinar mediante la proyección del patrón de medición 100 por encima del orificio 212 de tal modo que se pueden formar al menos tres (3) puntos de intersección (que no se muestran) en las intersecciones del patrón de medición 100 con el perímetro de orificio 214. El tamaño y/o la ubicación de características que no sean orificios también se pueden determinar de esta misma forma.

55 De forma ventajosa, el sistema de visión 10 y las metodologías anteriormente descritas proporcionan unos medios para una inspección no invasiva de un artículo de una forma que evita interferir con las operaciones de fabricación y sin necesidad de la destreza técnica de especialistas. Además, el sistema de visión 10 se puede operar de forma autónoma de una forma controlada por ordenador en una amplia gama de entornos y en una amplia gama de condiciones de iluminación para ubicar características sobre un artículo.

5 Muchas modificaciones y otras realizaciones de la divulgación acudirán a la mente de un experto en la materia a la que se refiere la presente divulgación que cuente con el beneficio de las enseñanzas presentadas en las descripciones anteriores y los dibujos asociados. Las realizaciones descritas en el presente documento tienen por objeto ser ilustrativas y no se pretende que sean limitantes o exhaustivas. A pesar de que en el presente documento se emplean expresiones específicas, las mismas se usan solo en un sentido genérico y descriptivo y no para fines de limitación.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de visión para medir una característica (22) de un artículo (14), que comprende:

5 un proyector de láser (146) configurado para proyectar una plantilla de escala (80) y un patrón de medición (100) sobre el artículo (14), incluyendo la plantilla de escala (80) al menos un elemento de plantilla (82) que tiene una longitud predeterminada, superponiéndose el patrón de medición a la característica (22); una cámara (122) configurada para registrar una imagen (70) que contiene la característica (22), la plantilla de escala (80) y el patrón de medición (100), estando compuesta la imagen por una pluralidad de píxeles (72);

caracterizado por que

10 el sistema de visión comprende adicionalmente: un procesador configurado para determinar un factor de escala de imagen de la imagen basándose en la plantilla de escala, siendo el factor de escala de imagen la cantidad de píxeles por unidad de longitud; estando configurado adicionalmente el procesador (46) para determinar al menos uno de un tamaño y una ubicación de la característica (22) basándose en el patrón de medición (100), la plantilla de escala (80) y el factor de escala de la imagen (70).

15 2. Sistema de visión según la reivindicación 1, en donde el procesador está configurado para determinar el factor de escala de imagen mediante la determinación de la cantidad de píxeles en el elemento de plantilla.

3. Sistema de visión de la reivindicación 1 o 2, en donde el procesador está configurado para determinar el factor de escala de imagen al:

20 determinar la cantidad de píxeles que se extienden de forma lineal a lo largo de una longitud del elemento de plantilla; y determinar la cantidad de píxeles por unidad de longitud de la imagen basándose en la cantidad de píxeles en el elemento de plantilla.

4. El sistema de visión de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la plantilla de escala comprende un primer elemento de plantilla que se extiende en una primera dirección y un segundo elemento de plantilla que se extiende en una segunda dirección, diferente de la primera dirección, estando configurado el procesador para:

25 determinar un primer factor de escala de imagen en la primera dirección y un segundo factor de escala de imagen en la segunda dirección; y

determinar un tamaño en la primera dirección basándose en el primer factor de escala de imagen y un tamaño en la segunda dirección basándose en el segundo factor de escala.

5. El sistema de visión de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde:

30 el proyector de láser (146) está configurado para proyectar la plantilla de escala (80) y el patrón de medición (100) sobre una superficie de artículo sustancialmente plana; y el procesador está configurado para rectificar la imagen para eliminar la distorsión geométrica de la imagen antes de determinar el factor de escala de imagen.

6. El sistema de visión de cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde el proyector de láser (146) está configurado para:

35 proyectar el patrón de medición (100) sobre el artículo (14) de tal modo que el patrón de medición (100) intersecta un perímetro (32) de un orificio (30) en el artículo en unos puntos de intersección; y en donde el procesador está configurado para medir un diámetro del orificio (30) basándose en el factor de escala de imagen y los puntos de intersección; y en donde el procesador está configurado para determinar una ubicación medida del orificio (30) en relación con una ubicación deseada del orificio (30) basándose en el patrón de medición (100) y el factor de escala de imagen.

40 7. Método de medición de una característica (22) de un artículo (14), que comprende:

proyectar una plantilla de escala (80) que comprende un elemento de plantilla (82) y un patrón de medición (100) sobre el artículo (14), teniendo el elemento de plantilla de escala una longitud predeterminada, superponiéndose el patrón de medición (100) a la característica (22);

45 registrar una imagen (70) que contiene la característica (22), la plantilla de escala (80) y el patrón de medición (100), estando compuesta la imagen por una pluralidad de píxeles (72);

caracterizado por

determinar usando un procesador (45) al menos un factor de escala de imagen de la imagen (70) basándose en la plantilla de escala (80), siendo el factor de escala de imagen la cantidad de píxeles por unidad de longitud;

5 y determinar a partir de la imagen (70) registrada al menos uno de un tamaño y una ubicación de la característica basándose en el patrón de medición (100) y el factor de escala de imagen.

8. Método de la reivindicación 7, que comprende determinar al menos un factor de escala de imagen de la imagen (70) basándose en la plantilla de escala (80) mediante la determinación de la cantidad de píxeles en el elemento de plantilla.

9. Método de la reivindicación 7 u 8, en donde determinar el factor de escala de imagen comprende:

10 determinar la cantidad de píxeles que se extienden de forma lineal a lo largo de una longitud del elemento de plantilla; y determinar la cantidad de píxeles por unidad de longitud de la imagen basándose en la cantidad de píxeles en el elemento de plantilla.

15 10. Método según cualquiera de las reivindicaciones 7-9, en donde la plantilla de escala tiene un primer elemento de plantilla que se extiende en una primera dirección y un segundo elemento de plantilla que se extiende en una segunda dirección, diferente de la primera dirección, comprendiendo el método:

determinar un primer factor de escala de imagen en la primera dirección y un segundo factor de escala de imagen en la segunda dirección;

determinar un tamaño en la primera dirección basándose en el primer factor de escala de imagen y un tamaño en la segunda dirección basándose en el segundo factor de escala.

20 11. El método de cualquiera de las reivindicaciones 7-10, en donde la característica tiene una ubicación deseada, comprendiendo la etapa de determinar al menos uno de un tamaño y una ubicación de la característica:

proyectar el patrón de medición (100) sobre el artículo (14) en la ubicación deseada; y

determinar una ubicación medida de la característica (22) en relación con la ubicación deseada basándose en el patrón de medición y el factor de escala de imagen.

25 12. El método de cualquiera de las reivindicaciones 7-11, en donde la plantilla de escala (80) y el patrón de medición (100) se proyectan sobre un artículo (14), comprendiendo adicionalmente el método la etapa de:

rectificar la imagen para eliminar la distorsión geométrica de la imagen (70) antes de determinar el factor de escala de imagen.

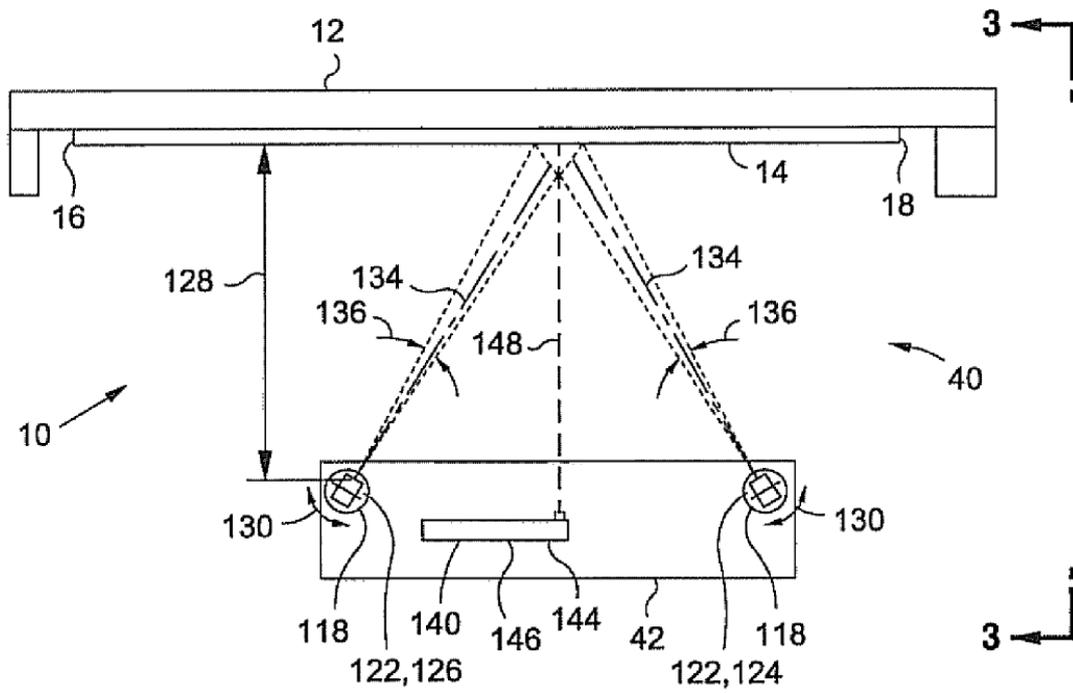
30 13. El método de cualquiera de las reivindicaciones 7-12, en donde la característica comprende un orificio (30) que tiene un perímetro (32), comprendiendo adicionalmente el método las etapas de:

proyectar el patrón de medición (100) sobre el artículo (14) de tal modo que el patrón de medición interseca el perímetro de orificio (32) en unos puntos de intersección; y

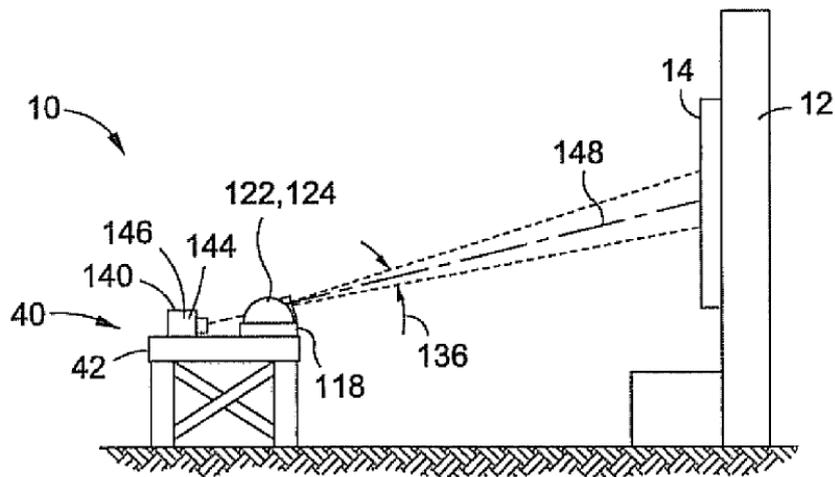
determinar un diámetro medido del orificio (30) basándose en el factor de escala de imagen y los puntos de intersección.

35 14. Sistema de visión de cualquiera de las reivindicaciones 1-6, configurado para realizar el método según cualquiera de las reivindicaciones 7-13.





**FIG. 2**



**FIG. 3**

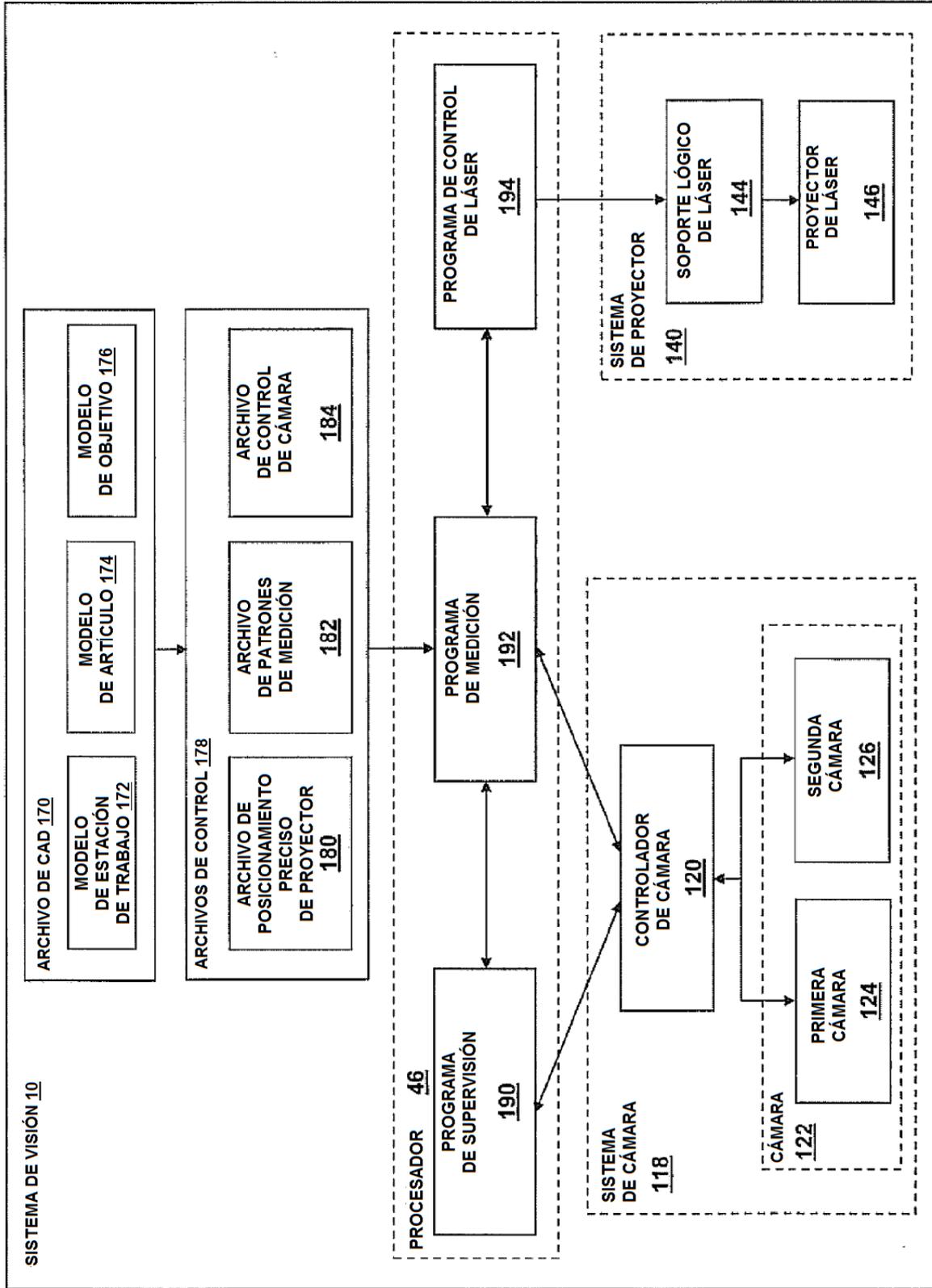
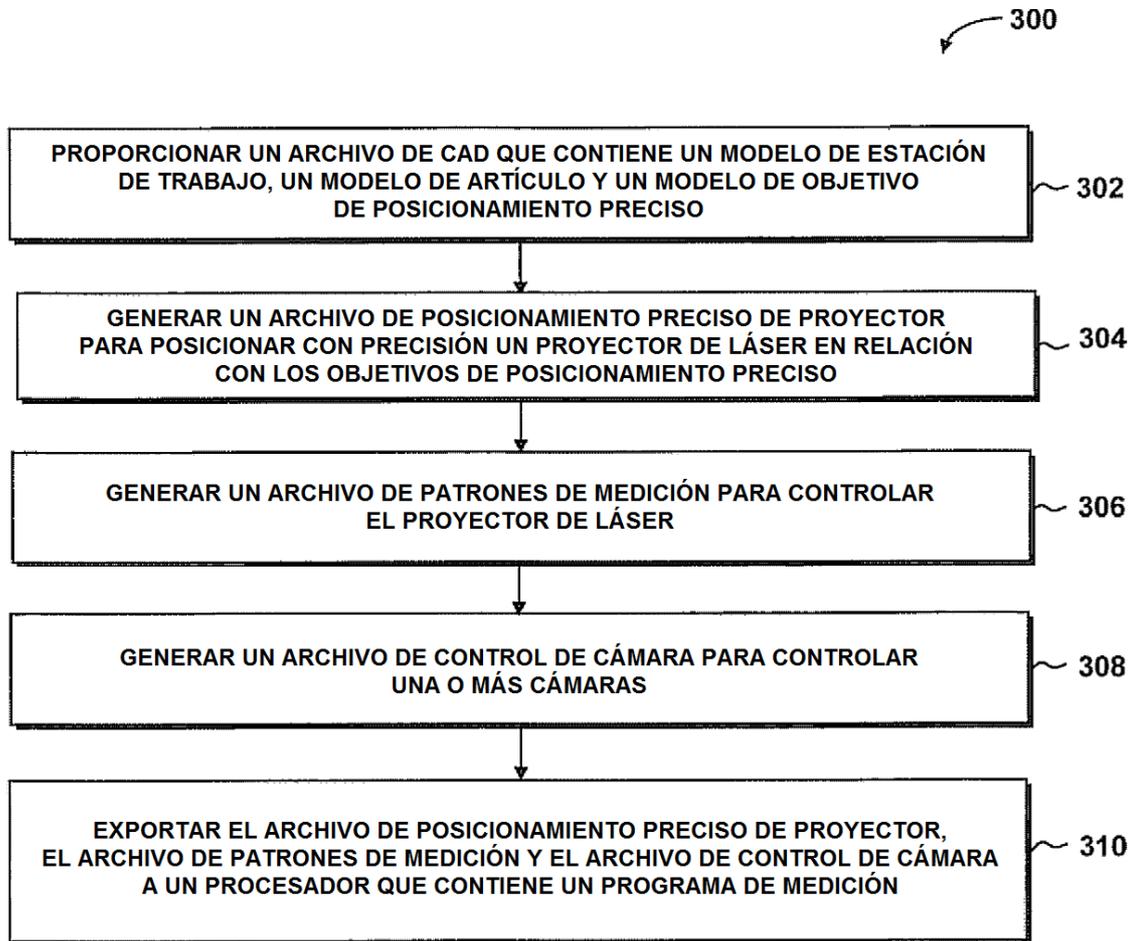


FIG. 4



**FIG. 5**

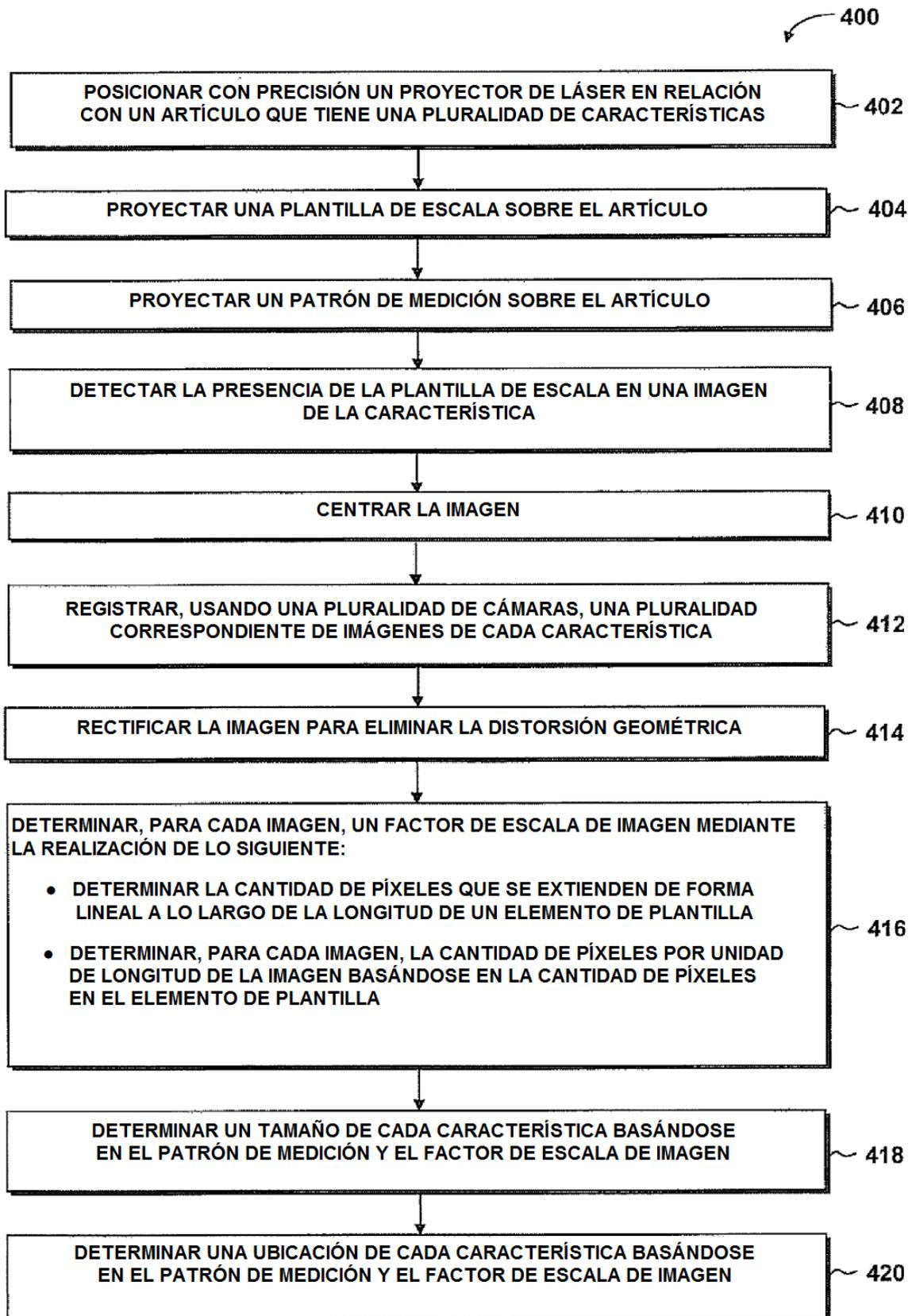


FIG. 6

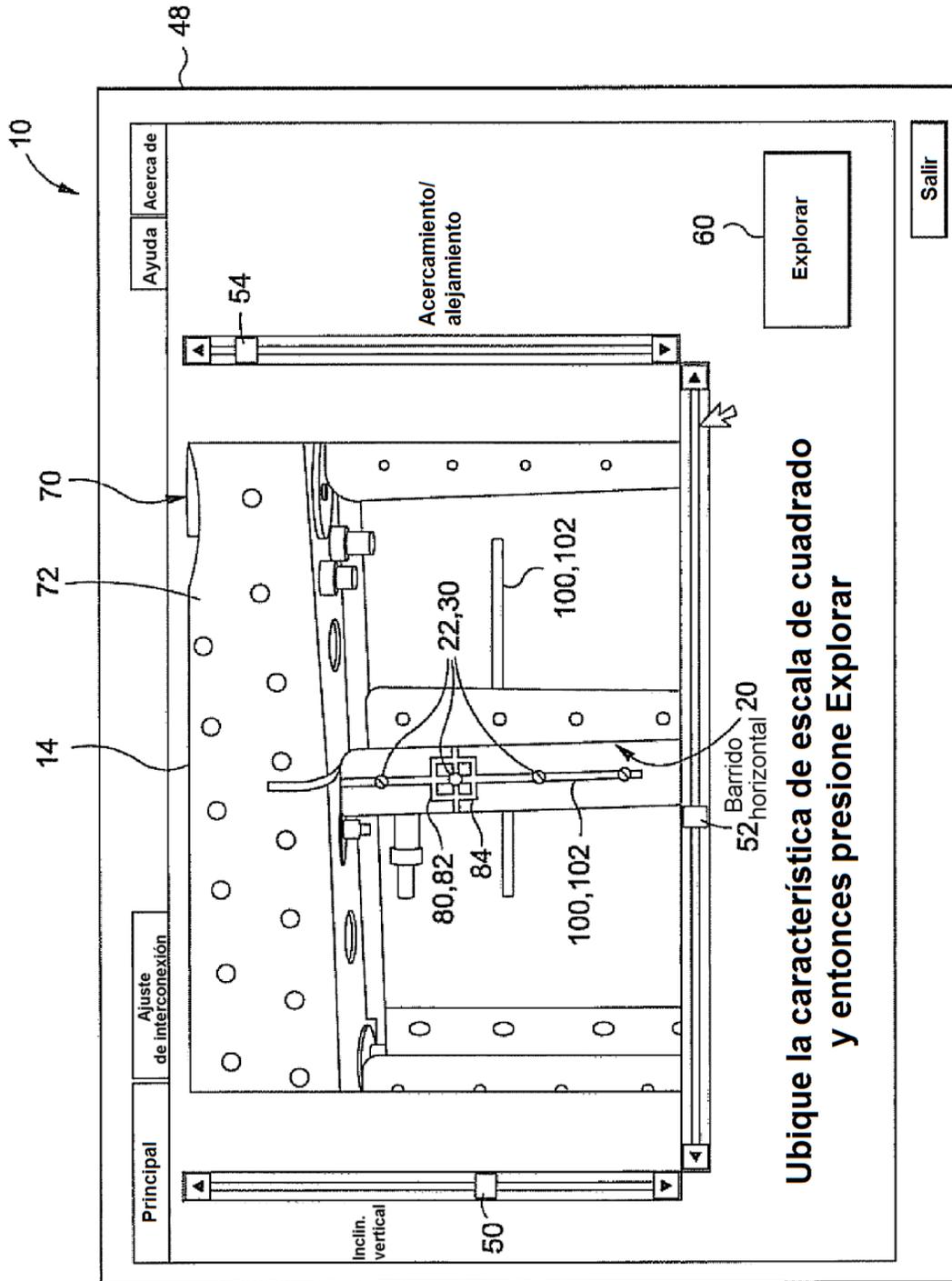


FIG. 7

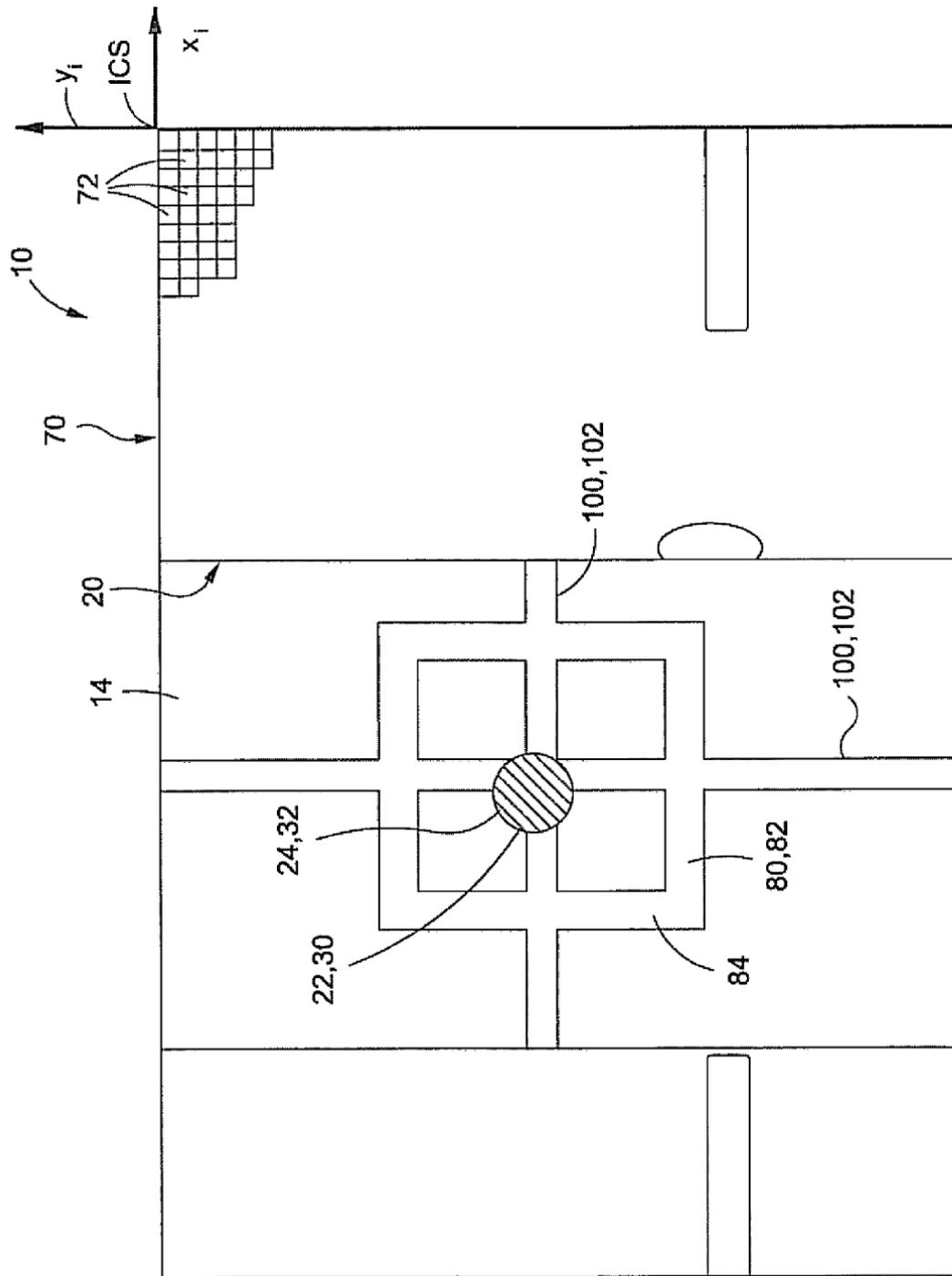


FIG. 8

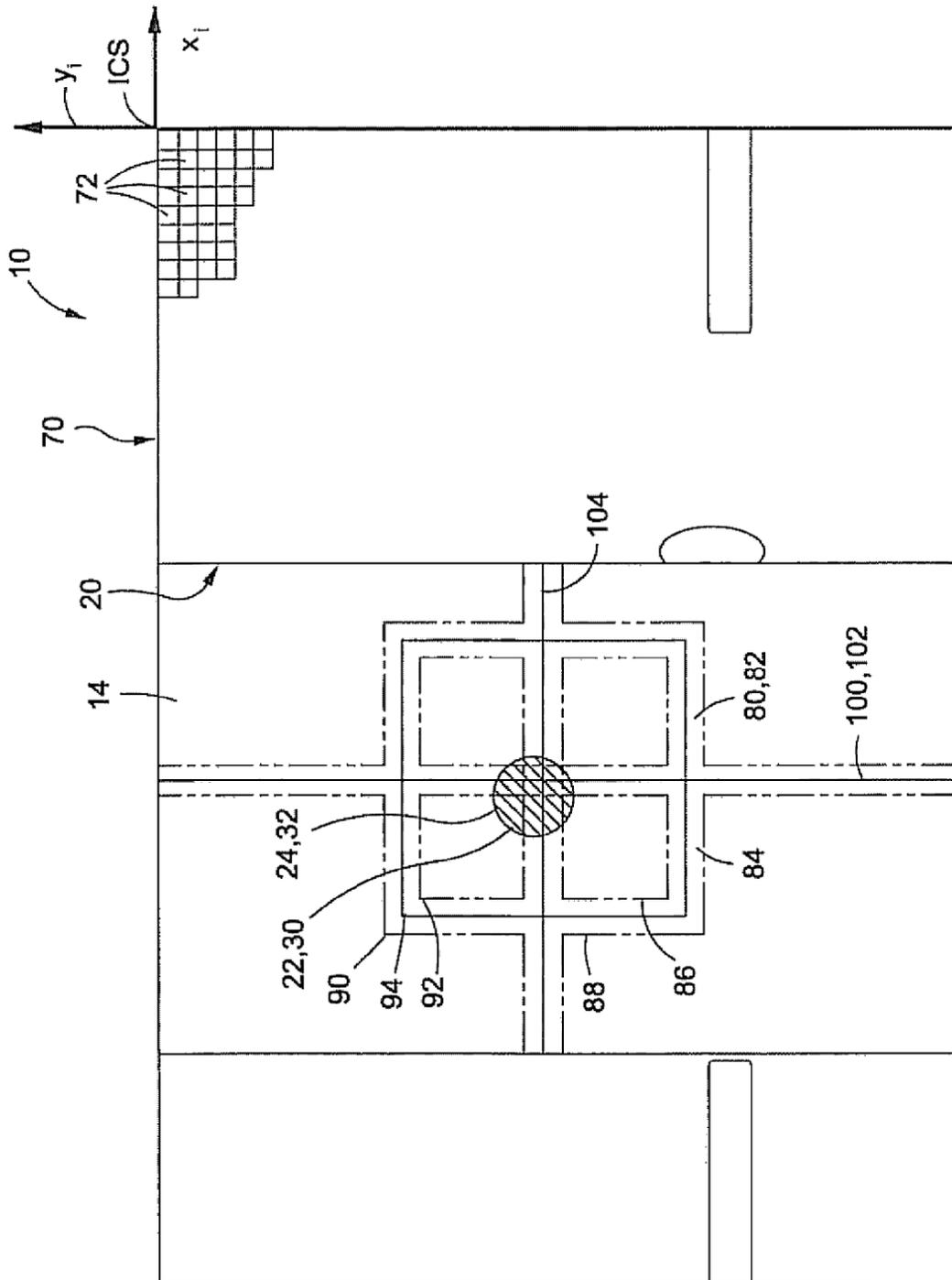


FIG. 9

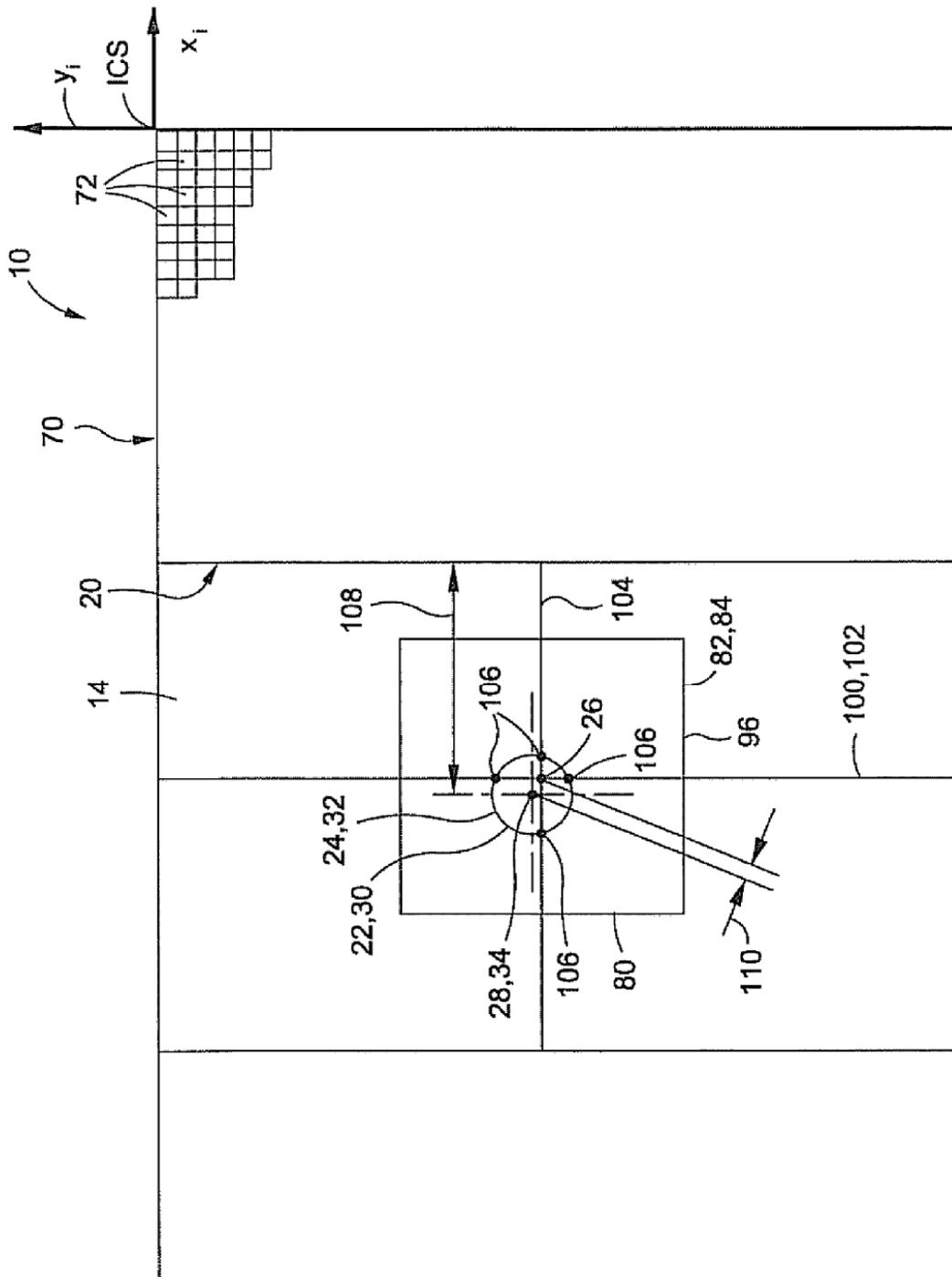


FIG. 10

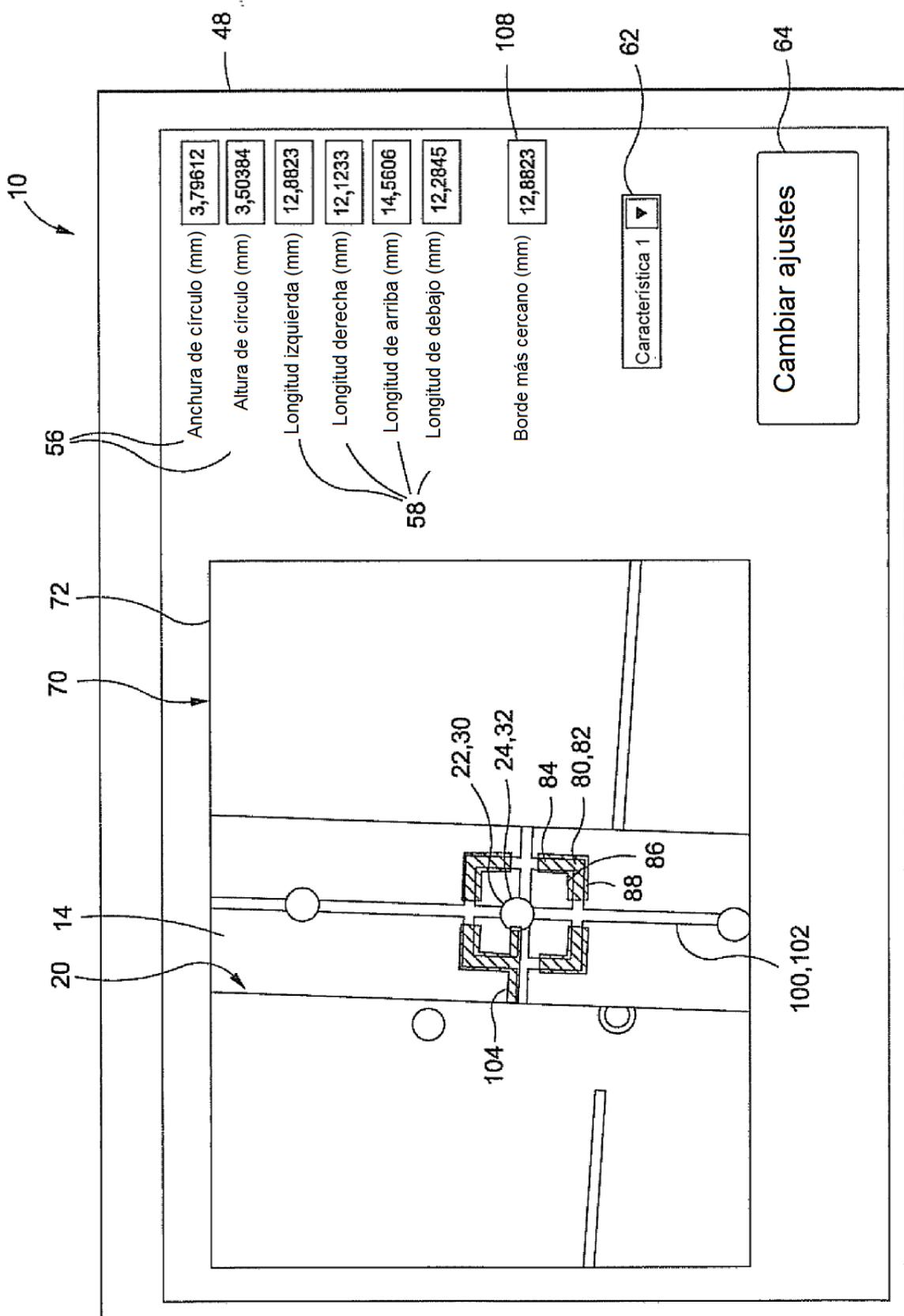


FIG. 11



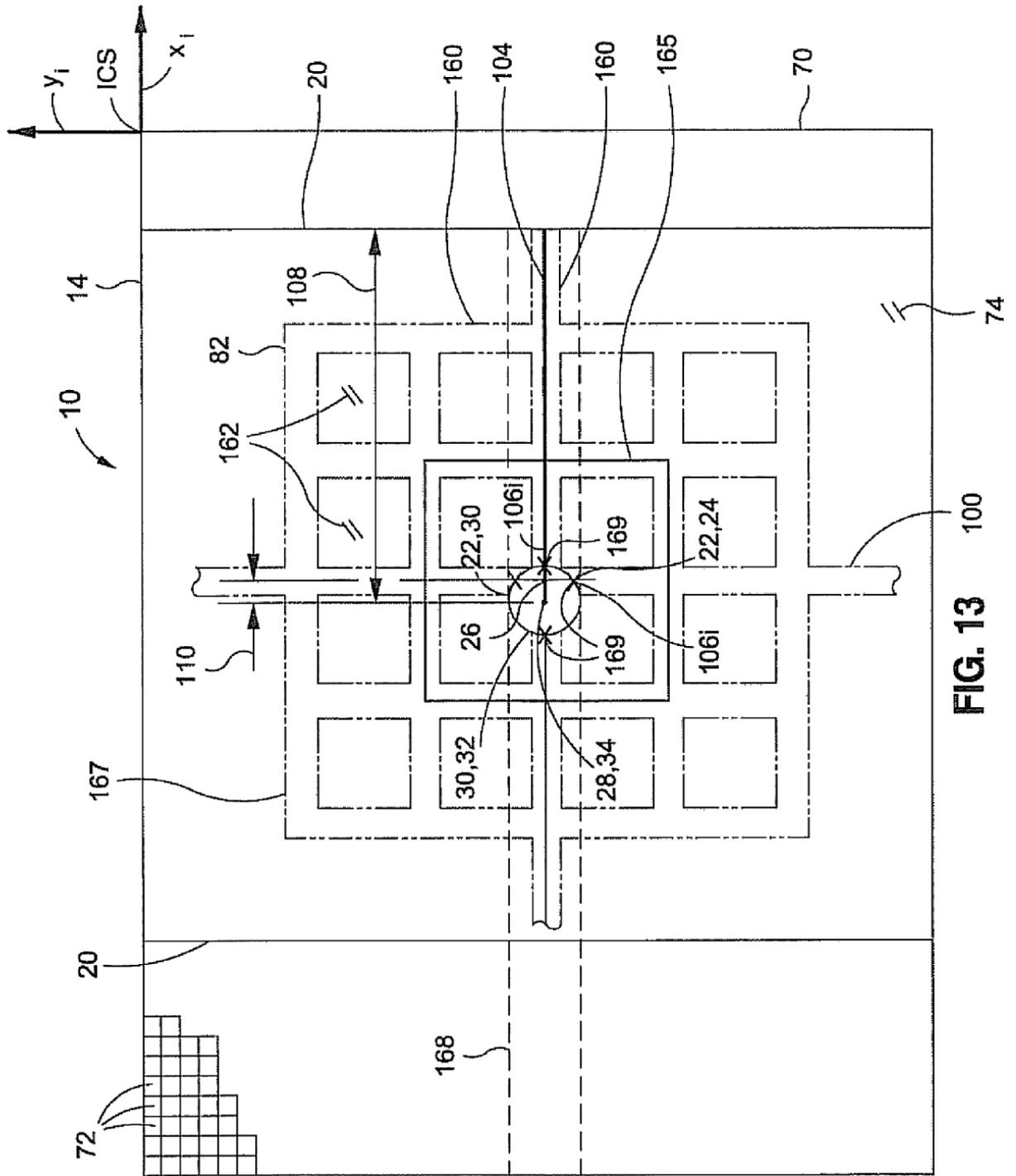
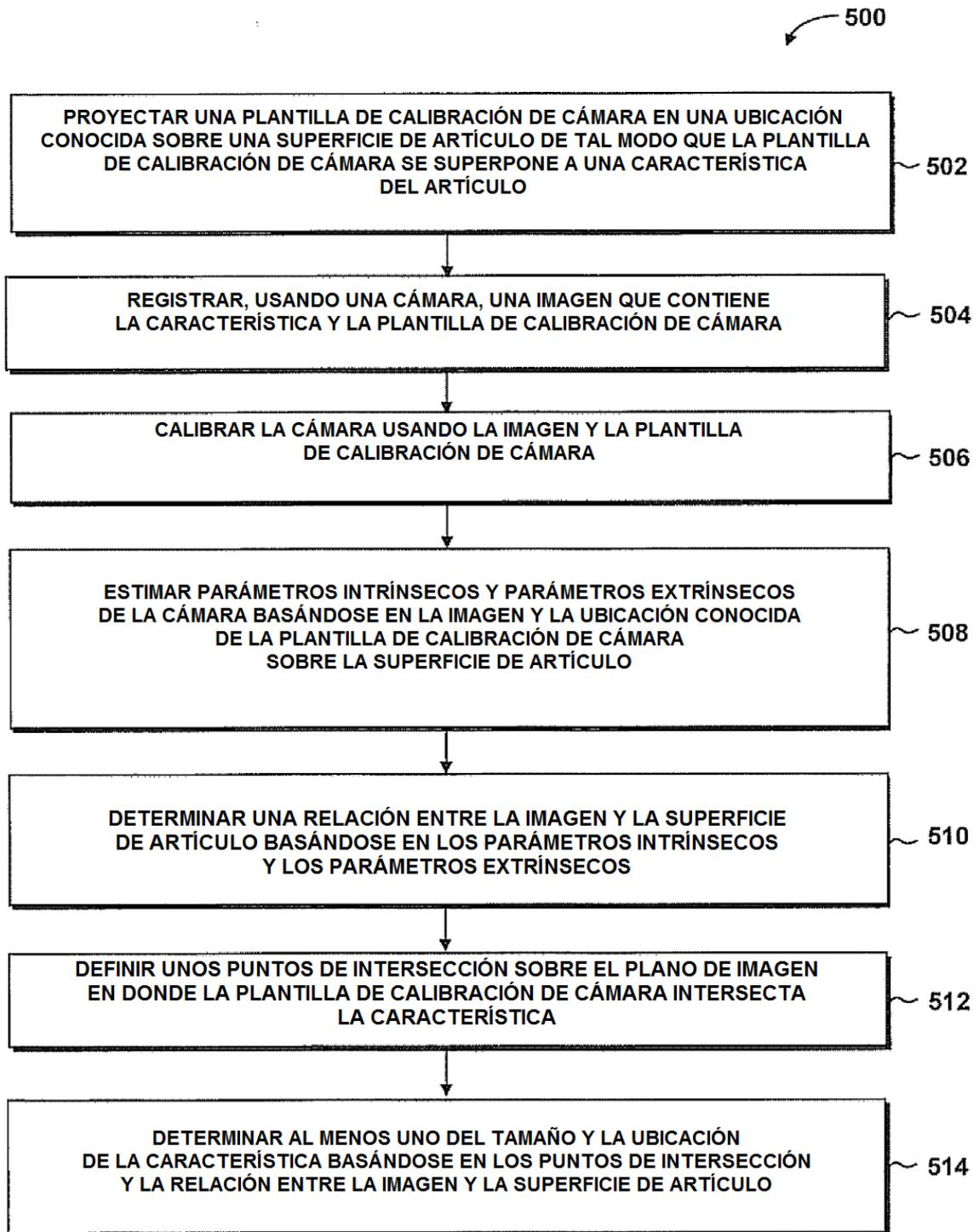


FIG. 13

100

74



**FIG. 14**



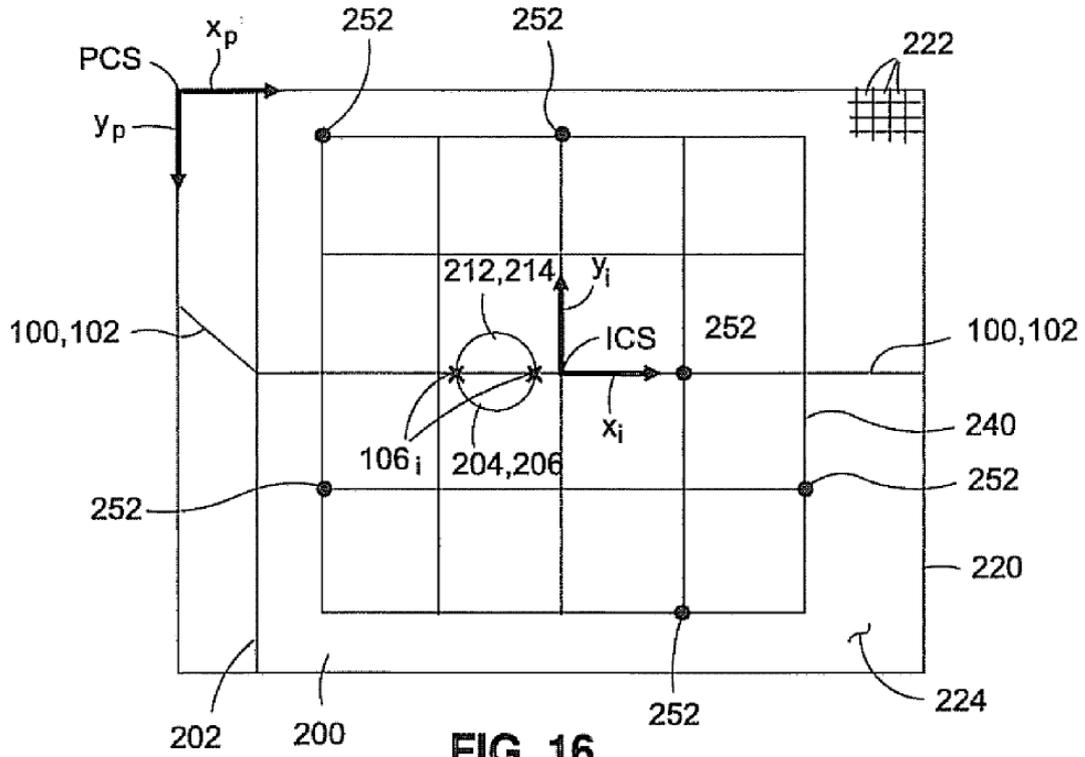


FIG. 16

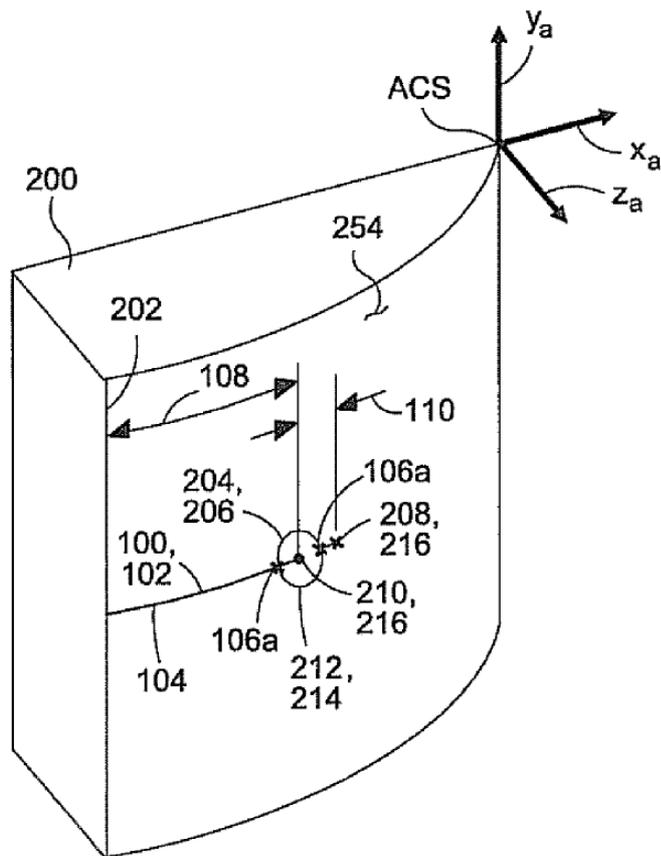
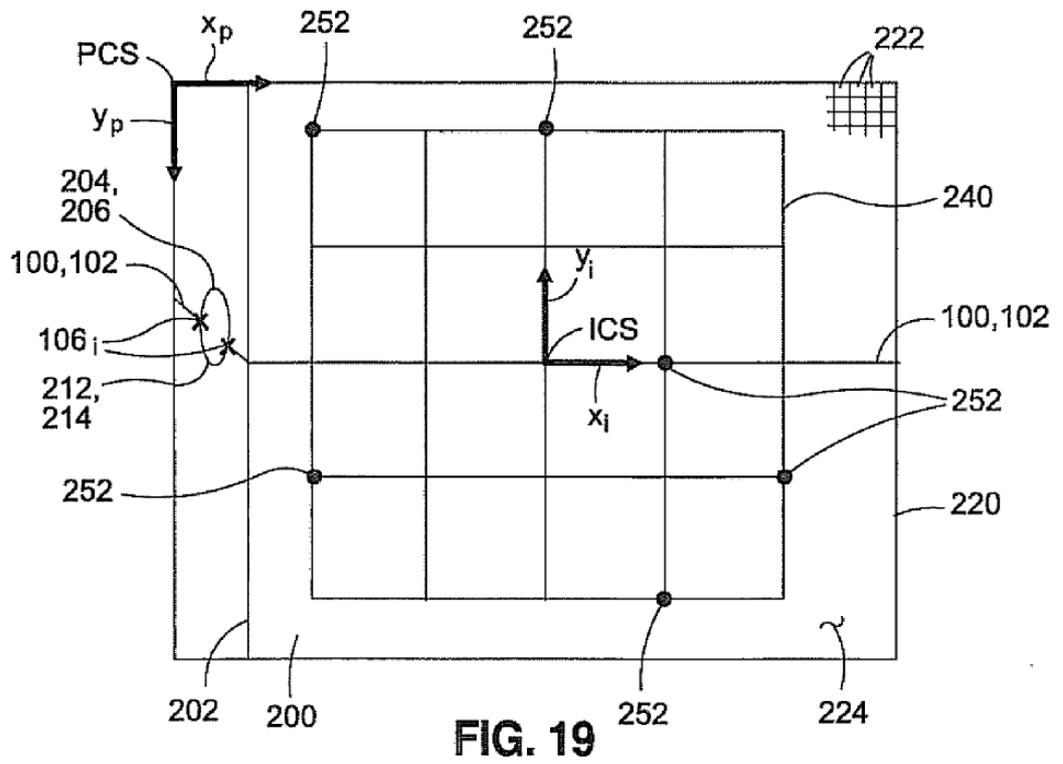
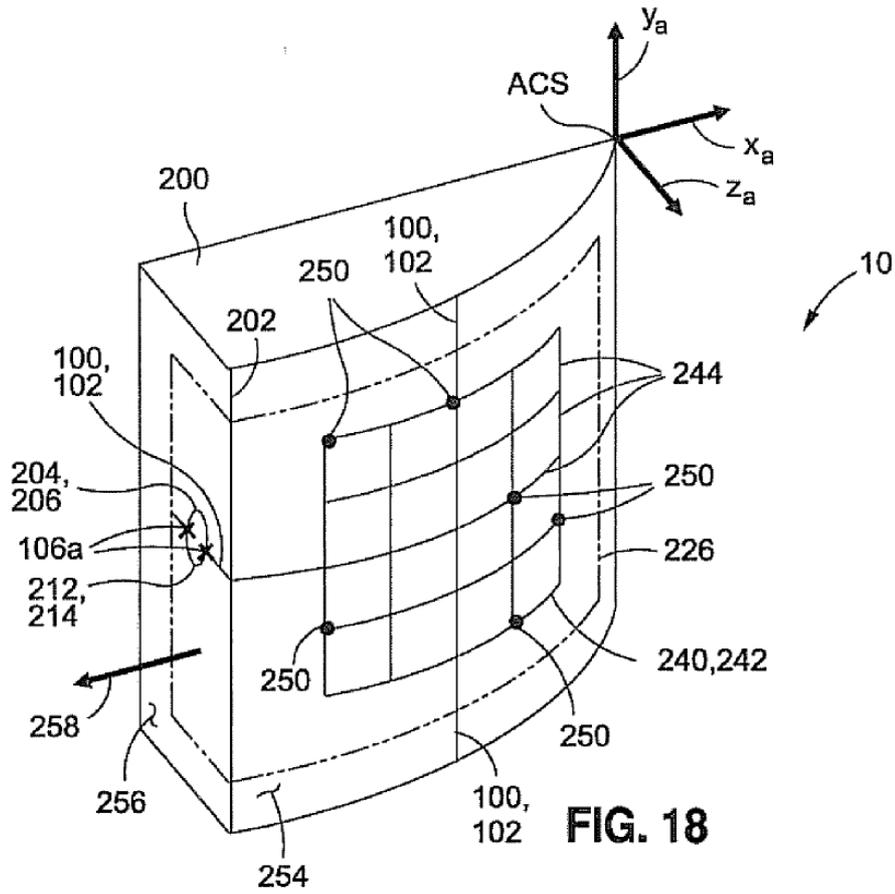


FIG. 17



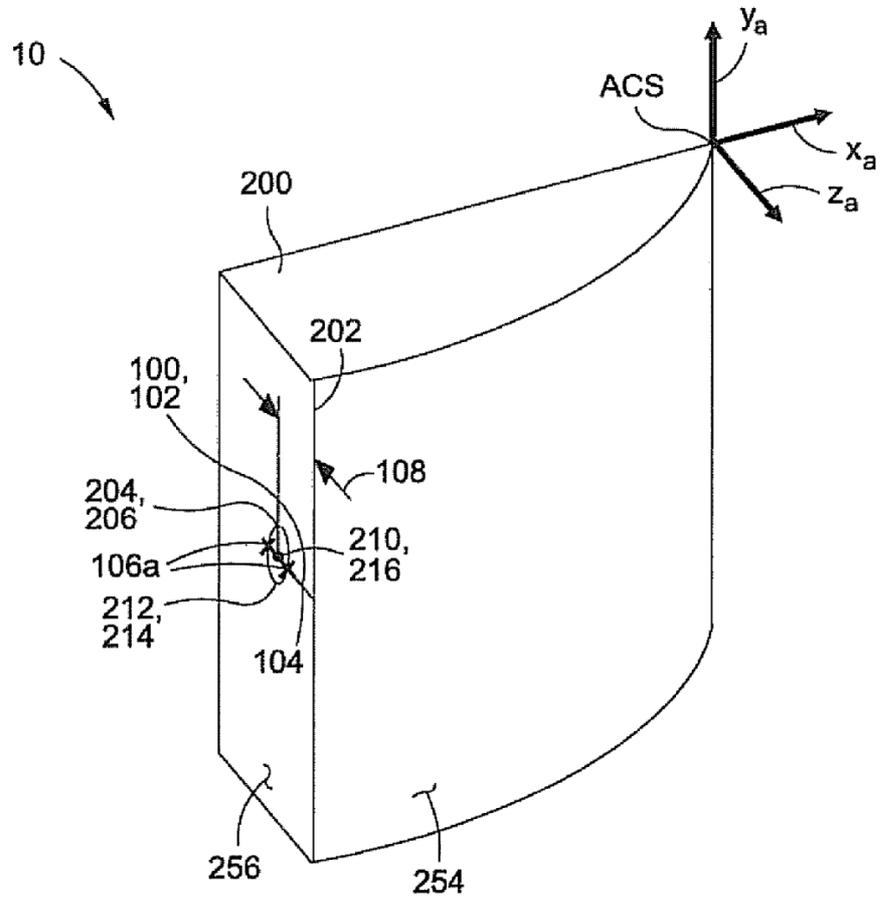


FIG. 20