

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 734 210**

51 Int. Cl.:

**G01N 21/88** (2006.01)

**G01N 21/90** (2006.01)

**G01N 21/954** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.05.2015 PCT/US2015/033200**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.01.2016 WO16010635**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.05.2015 E 15821551 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2019 EP 3169990**

54 Título: **Detección y medición de grietas en vasos metalúrgicos**

30 Prioridad:

**18.07.2014 US 201462026052 P**

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

**04.12.2019**

73 Titular/es:

**PROCESS METRIX, LLC (100.0%)  
6622 Owens Drive  
Pleasanton, California 94588, US**

72 Inventor/es:

**HARVILL, THOMAS**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 734 210 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**

Detección y medición de grietas en vasos metalúrgicos

Referencia cruzada con solicitudes relacionadas

5 Esta solicitud reivindica prioridad a la solicitud de patente de EE. UU. del número de serie 62/026,052, presentada el 18 de julio de 2014, titulada "Detección y Medición de grietas en vasos metalúrgicos"

Antecedentes

Campo técnico

10 Las realizaciones del asunto objeto divulgado en el presente documento se refieren generalmente a aparatos, métodos y sistemas y, más particularmente, a dispositivos, procesos, mecanismos y técnicas para detectar y medir grietas en vasos metalúrgicos.

Descripción de la técnica relacionada

15 Los vasos o contenedores metálicos de diversos tamaños y formas diseñados para contener metales fundidos se usan ampliamente en muchas aplicaciones industriales. Los ejemplos de estas aplicaciones incluyen, pero no se limitan a, procesos de gasificación en la producción química y de energía, hornos de arco eléctrico (Electric-Arc Furnaces, EAF), hornos básicos de oxígeno (Basic Oxygen Furnace, BOF), cubas, hornos de reducción de minerales, desgasificadores y hornos de descarburación con oxígeno y argón (Argon-Oxygen-Decarburization, AOD) en la fabricación de acero. Como se conoce en la técnica, estos contenedores habitualmente se revisten con material refractario instalado en forma de ladrillos o hierro fundido en bloques monolíticos con el objetivo de proteger la parte metálica del vaso de los contenidos que tienen altas temperaturas. Sin embargo, debido al uso y desgaste normal del material refractario dados 20 los efectos combinados de la oxidación, la corrosión y la abrasión mecánica, se pierde cierta porción de la superficie refractaria en contacto con el metal fundido durante el procesamiento, por lo tanto, es necesario realizar inspecciones frecuentes a fin de asegurar el uso prolongado al realizar reparaciones localizadas anticipadas para evitar posibles fallas catastróficas y la renovación prematura o innecesaria del revestimiento refractario de todo el vaso.

25 La Figura 1 muestra un contenedor metalúrgico convencional 2 que tiene una carcasa 4, una capa interna de material refractario 6 y una abertura 8. La línea discontinua 7 en la Figura 1 ilustra la capa original de material refractario antes de que el contenedor se pusiera en uso. La diferencia entre las líneas 7 y 6 es aquella que la configuración de los sistemas existentes detecta a fin de que un operador decida cuándo sacar de servicio el contenedor para someterlo a reparación. Un patrón de desgaste específico que crea riesgos potenciales son las grietas en el material refractario 6. Las grietas permiten que el metal fundido se acerque más a la carcasa exterior de acero del vaso 4, lo que genera una mayor probabilidad de que se funda la carcasa 4. Habitualmente, la fusión de la carcasa 4 se denomina "escape" y algunos la consideran como un modo de falla catastrófica que puede provocar 30 lesiones o daños significativos.

35 Inicialmente, operarios experimentados realizaban visualmente la caracterización del grosor refractario de estos contenedores. Dado el ambiente hostil y los prolongados periodos de inactividad que este método requería, se abandonó rápidamente tras el surgimiento de sistemas automatizados. Como aquellos con experiencia en la técnica comprenden, se sabe que existen procesos automatizados convencionales que miden el grosor localizado; es decir, la distancia localizada entre la capa interna de material refractario 6 y la carcasa del contenedor 4. Un método convencional usado ampliamente para medir el grosor del revestimiento restante de los vasos metalúrgicos es la exploración con láser.

40 La Figura 2 muestra un sistema convencional de medición del grosor del revestimiento refractario mediante exploración con láser 10 que comprende un carro móvil 12, un sistema de exploración con láser 16 montado en este, y el hardware y software asociados, localizados en el carro móvil 12. Uno de los objetivos del sistema de exploración con láser 10 cuando se usa en vasos metalúrgicos es medir con precisión el grosor del revestimiento para permitir que el vaso se mantenga en servicio tanto tiempo como sea posible e indicar las áreas que requieren de mantenimiento. Un sistema típico de exploración con láser 14 incluye un láser, un escáner, ópticas, un fotodetector y dispositivos de recepción electrónicos (no se muestra). 45

50 Estos láseres se configuran para emitir pulsos rápidos de luz láser contra una superficie objetivo. Algunos lanzan hasta 500.000 pulsos por segundo. El sensor ubicado en el instrumento mide la cantidad de tiempo que tarda cada pulso en rebotar y regresar desde la superficie objetivo hasta el escáner a través de un campo visual determinado 16 en la Figura 2. La luz se mueve a una velocidad constante y conocida de manera tal que el sistema de exploración con láser 14 puede calcular la distancia entre él y el objetivo con gran precisión. Mediante la repetición de este procedimiento en una sucesión rápida, el instrumento construye gradualmente un complejo "mapa" de la superficie que mide. Mediante el cálculo y/o la comparación entre los cambios entre los mapas con los intervalos medidos de las superficies internas del material refractario 6 y la medición de referencia de dichas superficies, los cambios se detectan y evalúan en relación 55 con posibles cambios que pueden provocar una falla en la carcasa 4. Las mediciones sencillas se pueden realizar en un periodo de 20 a 30 segundos. Se puede diagramar un mapa completo del interior del horno que consiste en, por

ejemplo, 4 a 6 mediciones y más de 2.000.000 puntos de datos en un breve periodo de tiempo (por ejemplo, menos de 10 minutos). La exploración con láser produce una gran recopilación de puntos de datos que, con frecuencia, se denominan nubes de puntos de datos.

5 Sin embargo, a pesar del progreso resumido anteriormente en la caracterización del desgaste en el material refractario 6 del contenedor metalúrgico 2, hasta la fecha, no existen dispositivos, procesos y/o métodos que puedan detectar y medir una grieta en la superficie refractaria 6. Por lo tanto, en función de, al menos, los desafíos antes indicados con los dispositivos convencionales de exploración con láser para caracterizar la integridad de los vasos y medir sus perfiles superficiales, sería conveniente contar con dispositivos, métodos y sistemas capaces de detectar, medir y/o caracterizar las grietas en el material refractario 6. Dicha caracterización incluiría la capacidad de cuantificar la profundidad máxima de las grietas, la ubicación, la orientación, la longitud, el ancho promedio y el ancho máximo. Esta información se le podría presentar después a un usuario conocedor, quien podría determinar la gravedad de una grieta y evaluar si el vaso metalúrgico requiere de mantenimiento o revestimiento, incluso antes de que la exploración del revestimiento refractario detecte un desgaste en el revestimiento refractario que se encuentre por debajo de los niveles de seguridad mínima.

15 Resúmen

Una o más de las necesidades mencionadas anteriormente u otras conocidas en la técnica se abordan mediante aparatos, métodos y procesos para detectar y medir grietas en el revestimiento de un contenedor. Dichos aparatos incluyen un dispositivo de exploración para generar una nube de puntos de datos mediante la medición de las distancias desde el dispositivo de exploración hasta una pluralidad de puntos en la superficie del material de revestimiento del contenedor; un controlador conectado al dispositivo de exploración, que se configura para ajustar una malla poligonal a través de la nube de puntos de datos y adaptarse a una superficie mínima mediante la nube de puntos de datos; la grieta se detecta mediante una porción de la malla poligonal que contiene un grupo de polígonos que se extiende más allá de la superficie mínima, superando una distancia umbral, y la grieta se mide mediante el cálculo de una pluralidad de dimensiones del grupo de polígonos.

25 Los métodos para detectar y medir las grietas en el revestimiento de un contenedor se encuentran también dentro del alcance del asunto objeto divulgado. Estos métodos incluyen diversas etapas: ajuste usando un controlador y una malla poligonal a través de una nube de puntos de datos; la malla poligonal tiene una resolución especificada por el usuario y la nube de puntos de datos se recopila mediante un dispositivo de exploración conectado al controlador que mide las distancias desde el dispositivo de exploración hasta una pluralidad de puntos en la superficie del material de revestimiento del contenedor; y ajuste de una superficie mínima a través de la nube de puntos de datos mediante el uso del controlador, donde la grieta se detecta mediante una porción de la malla poligonal que contiene un grupo de polígonos que se extiende más allá de la superficie mínima, superando una distancia umbral, y la grieta se mide mediante el cálculo de una pluralidad de dimensiones del grupo de polígonos.

Breve descripción de los dibujos

35 Los dibujos adjuntos (no se dibujaron a escala), que se incorporan en la descripción y conforman una parte de esta, ilustran una o más realizaciones y, en conjunto con la descripción, explican estas realizaciones. En los dibujos:

La Figura 1 ilustra un contenedor metalúrgico convencional que tiene una capa protectora de material refractario.

40 La Figura 2 ilustra un sistema convencional de exploración con láser para caracterizar el material refractario dentro del contenedor de la Figura 1.

La Figura 3 ilustra una realización de ejemplo de un sistema de exploración con láser de acuerdo con un aspecto del asunto objeto divulgado.

La Figura 4 ilustra una representación de la malla del contenedor de la Figura 1 superpuesta con una nube de puntos de datos captados con el sistema de la Figura 3 de acuerdo con una realización del asunto objeto divulgado.

45 La Figura 5 ilustra un primer plano de una porción de la Figura 4.

La Figura 6 ilustra una vista bidimensional en corte de la representación de malla adaptada a los puntos de datos de la Figura 4, superpuestas con una superficie mínima ajustada a los puntos de datos de acuerdo con una realización del asunto objeto divulgado.

50 La Figura 7 ilustra una posible grieta identificada mediante un conjunto de facetas candidatas de la Figura 6 de acuerdo con una realización del asunto objeto divulgado.

La Figura 8 ilustra otra posible grieta identificada mediante un conjunto de facetas candidatas de la Figura 6.

La Figura 9 ilustra una representación tridimensional de las grietas detectadas de acuerdo con una realización del asunto objeto divulgado.

La Figura 10 ilustra una tabla que muestra varios parámetros y dimensiones de las grietas identificadas en la Figura 4 de acuerdo con realizaciones del asunto objeto divulgado.

La Figura 11 ilustra un diagrama de flujo que representa un método de acuerdo con una realización del asunto objeto divulgado.

- 5 La Figura 12 ilustra un sistema informático configurado para identificar y caracterizar las grietas en el contenedor de la Figura 1 de acuerdo con una realización del asunto objeto divulgado.

Descripción detallada

10 La siguiente descripción de las realizaciones ilustrativas hace referencia a los dibujos adjuntos. Los mismos números de referencia en dibujos diferentes identifican elementos iguales o similares. La siguiente descripción detallada no limita la invención. Más bien, el alcance de la invención se define en función de las reivindicaciones adjuntas. Para mayor simplicidad, las siguientes realizaciones se analizan con respecto a la terminología y la estructura de los aparatos, sistemas o métodos para detectar y medir grietas en los revestimientos refractarios usados para proteger vasos o contenedores usados en la industria metalúrgica. Sin embargo, las realizaciones que se analizan a continuación no se limitan a estos conjuntos ilustrativos, sino que pueden aplicarse a otros aparatos, sistemas o métodos, incluidos, entre otros, los siguientes: la caracterización, detección, obtención de perfiles y/o la medición de grietas en el revestimiento de otros contenedores configurados para contener o transportar sustancias cuya temperatura asciende por encima del punto de fusión de los materiales con los que está fabricado el contenedor.

20 Cuando en la descripción se hace referencia a “1 realización” o “una realización”, se refiere a que un elemento, estructura o característica particular descrita en relación con una realización se incluye en, al menos, una realización del asunto objeto divulgado. De este modo, la presencia de la expresión “en 1 realización” o “en una realización” en diversos lugares de la descripción no hace referencia necesariamente a la misma realización. Además, los elementos, estructuras o características particulares pueden combinarse de cualquier manera que resulte adecuada en una o más realizaciones.

25 Esta divulgación describe aparatos, sistemas y procesos que analizan una nube de puntos de datos obtenidos mediante la exploración del revestimiento refractario de un vaso metalúrgico con el objetivo de identificar grietas. Luego, los algoritmos utilizados identifican y cuantifican cada grieta en términos de profundidad máxima, ubicación, orientación, longitud, ancho promedio y ancho máximo. Una persona con experiencia en las técnicas aplicables puede usar esta información para determinar qué tan grave es la grieta y evaluar si el vaso metalúrgico requiere de mantenimiento o revestimiento.

30 La Figura 3 ilustra una realización de ejemplo de un sistema de exploración con láser 20 capaz de generar una nube de puntos de datos de acuerdo con un aspecto del asunto objeto divulgado. En términos generales, este sistema de exploración con láser 20 comprende dos componentes principales: un escáner 22 y un controlador general 24. El sistema de exploración con láser 20 y el controlador general 24 pueden disponerse juntos en el mismo dispositivo o separados uno del otro. Por ejemplo, una realización del carro móvil puede incluirlos a ambos en la misma unidad. En otra realización, el sistema de escáner láser 20 puede constituir en sí mismo una unidad configurada para posicionarse en frente del contenedor que se desea caracterizar, mientras que el controlador general 24 puede posicionarse en otro lugar (por ejemplo, en la sala de control de operaciones de la planta). Como se usa en el presente documento, se puede hacer referencia al controlador general 24 como dispositivo de reducción de datos 24, o dispositivo informático o de cálculo 24.

40 Durante el funcionamiento, a través del campo visual 16, el escáner 22 explora el material refractario 6 en el contenedor 2 y genera una nube de puntos de datos que se transferirá hacia el controlador general 24. De acuerdo con una realización, los datos de exploración del sistema de exploración 20 se procesan como se analiza ahora. Tenga en cuenta que en el campo de la caracterización del desgaste de contenedores metalúrgicos, existen procesos para registrar datos obtenidos y aplicar diversas etapas de procesamiento conocidas a fin de generar una imagen de la superficie del revestimiento e identificar las áreas que necesitan reparación. En función de esta imagen, que puede representarse en un medio impreso, en pantalla, en forma de tabla, etc., un experto en contenedores metalúrgicos determina si es necesario reparar el revestimiento del contenedor y asesora a la empresa metalúrgica de manera correspondiente. Las realizaciones analizadas a continuación mejoran este proceso tecnológico por el cual se determina la aptitud de un contenedor metalúrgico, por ejemplo, mediante la

45  
50

55 En los sistemas convencionales, esta nube de puntos de datos se ha usado a tal efecto para caracterizar el desgaste en el material refractario 6. Como apreciarán aquellos con experiencia en la técnica, excepto por las características indicadas e identificadas en el presente documento, ninguna de dichas características en el sistema de exploración con láser 20 y en el controlador general 24 deben considerarse como limitaciones del asunto objeto divulgado. En una realización, el sistema de exploración con láser 20 incluye un láser, un escáner, ópticas, un fotodetector y dispositivos de recepción electrónicos. Existen diversos tipos diferentes de láseres, escáneres, ópticas, fotodetectores y dispositivos de recepción electrónicos que pueden recopilar una nube de puntos de datos para caracterizar la superficie del material refractario 6. En una

realización, el sistema de exploración con láser 20 es una implementación específica de una clasificación más general de sistemas de medición conocidos como sistemas LiDAR (sistema de detección y medición de distancias mediante luz U obtención de imágenes, detección y medición de distancias mediante láser). En tales realizaciones, cualquier tipo de sistema LiDAR puede producir la nube de puntos de datos adecuada para el análisis de detección de grietas si la precisión del dispositivo equivale, al menos, a la mitad de la precisión de los tamaños de las características que se desean detectar. Una vez captada, la nube de puntos de datos se transfiere hacia el controlador general 24 para el análisis posterior, como se explicará en más detalle a continuación. En una realización, el sistema de exploración con láser 20 comprende un escáner láser Anteris, que tiene un pequeño diámetro de haz de luz (aproximadamente 4 mm), exploración de alta precisión (rango de error de  $\pm 3$  mm), altas velocidades de exploración (hasta 500.000 Hz), un diseño robusto adecuado para el ambiente industrial y las cargas térmicas impuestas durante la exploración de superficies a altas temperaturas, longitud de onda del láser segura para la vista (que elimina y/o reduce sustancialmente las cuestiones de seguridad en el lugar de trabajo), ángulo de exploración vertical de  $\pm 40^\circ$  y ángulo de exploración horizontal de 0 a  $360^\circ$ . Dichos escáneres con láser permiten exploraciones de resolución estándar del interior del vaso en el transcurso de, aproximadamente, 6 a 10 segundos, lo que resulta en una reducción en el tiempo de inactividad del vaso y una mayor disponibilidad de producción. En el modo de alta resolución, el escáner Anteris puede proporcionar imágenes detalladas del vaso que pueden utilizarse para detectar grietas y definir la región alrededor de un agujero de colada o el estado de un tapón de purga.

Las características deseables del sistema láser del escáner 20 incluyen precisión de tiempo a fin de proporcionar los niveles deseados de exactitud de rango, precisión de las mediciones angulares y tamaños del haz de luz que proporcionarán la precisión general deseada, como se indicó anteriormente. El tamaño mínimo de característica detectable depende de la capacidad del escáner para resolver espacialmente un punto individual obtenido. La incertidumbre del escáner se puede considerar como una esfera alrededor de un punto con radio  $\sigma_{\text{Escáner}}$ . Usar  $\sigma_{\text{Escáner}}$  como la primera desviación estándar de la incertidumbre de medición significa que existe una probabilidad del 86 % de que el punto medido se encuentre dentro de la esfera de incertidumbre. Mediante el uso de esta métrica y datos heurísticos, el mínimo tamaño de característica alcanzable, es decir, que se puede ver, equivale a dos veces la incertidumbre del escáner. Esta afirmación depende de que la resolución de la medición sea menor o igual que la incertidumbre del escáner. La resolución de la medición es la separación espacial de los puntos en una superficie medida. La incertidumbre de la medición o del escáner está dominada, al menos, por tres términos; es decir, la incertidumbre del rango ( $\sigma_R$ ), la incertidumbre de la medición angular ( $\sigma_{\text{Ángulo}}$ ), y la incertidumbre del diámetro del haz de luz ( $\sigma_B$ ). Si se supone que estas son variables aleatorias, se puede estimar que la incertidumbre del escáner constituye la suma de los cuadrados de las incertidumbres de rango y angular. La incertidumbre de rango depende de la capacidad del escáner para medir el rango, por lo que se genera una incertidumbre de la medición del tiempo (o  $\delta t$ ). La incertidumbre angular depende, por cada punto, del rango hasta el objetivo (R), como:

$$\sigma_{\text{Ángulo}} = \sqrt{(R * \delta\phi)^2 + (R * \delta\theta)^2} . \quad (1)$$

Y la incertidumbre del escáner,  $\sigma_{\text{Escáner}}$ , se calcula luego mediante:

$$\sigma_{\text{Escáner}} = \sqrt{(\sigma_{\text{Ángulo}})^2 + (\sigma_R)^2 + (\sigma_B)^2} , \quad (2)$$

donde, la incertidumbre del haz de luz,  $\sigma_B$ , es igual a un medio del diámetro del haz de luz. Con las cantidades indicadas anteriormente, el tamaño mínimo detectable de las grietas, o  $\xi_{\text{Grieta,Min.}}$ , es igual al doble de la incertidumbre del escáner. En un sistema práctico que usa láser, el tamaño del haz de luz limitará con frecuencia la incertidumbre del escáner.

En términos generales, una vez que se genera una nube de puntos de datos, se detectan y se miden las grietas mediante el ajuste inicial de la nube con una superficie de malla poligonal de alta resolución,  $S_{HR}$ , donde dicha superficie tiene, en algunas realizaciones, una resolución que define o selecciona el usuario. Como se usa en el presente documento, la expresión "alta resolución" significa que la separación promedio de los puntos de medición en la superficie en cuestión es menor o igual que, aproximadamente, 5 mm, lo que conduce a un tamaño mínimo de característica detectable de, aproximadamente, 10 mm.

Posteriormente, se calcula una superficie mínima,  $S_{\text{min}}$ , para la nube de puntos de datos. La comparación entre  $S_{HR}$  y  $S_{\text{min}}$  permitirá que se identifiquen los puntos de datos ubicados a una distancia mayor que la distancia especificada desde  $S_{\text{min}}$ . Esto hace posible que se identifiquen todos los puntos de  $S_{HR}$  que posiblemente pertenecen a las grietas. Como se explicará en más detalle a continuación, en una realización, tal comparación entre  $S_{HR}$  y  $S_{\text{min}}$ , se realiza mediante la identificación de todas las facetas de  $S_{HR}$  que tienen vértices que yacen fuera de  $S_{\text{min}}$ , es decir, las facetas que se encuentran a distancias mayores que la distancia programada desde  $S_{HR}$ , lo que genera un conjunto de facetas potenciales que pertenecen a las grietas en el material refractario 6. Finalmente, mediante el tratamiento adicional de los vértices que yacen fuera de  $S_{HR}$ , las facetas conectadas se agrupan en grietas únicas, y se realiza la caracterización de las grietas en términos de orientación, longitud, ubicación de profundidad máxima, ancho promedio y ancho máximo de la grieta. Cada una de estas porciones del asunto objeto divulgado se analizarán ahora en más detalle teniendo en cuenta diversas realizaciones.

Las Figuras 4 y 5 ilustran una representación de malla de alta resolución del contenedor metalúrgico generada a partir de la nube de puntos de datos captados desde el contenedor con el sistema de exploración de la Figura 3 de acuerdo con una realización del asunto objeto divulgado. La Figura 4 es una ilustración del contenedor completo y la Figura 5 ilustra una porción en primer plano de la Figura 4. En el ejemplo brindado en las Figuras 4 y 5, se ha usado una malla triangular. No obstante, aquellos con experiencia apreciarán que podrían usarse otras figuras geométricas para generar dicha malla. Además, el usuario debe definir o seleccionar la resolución de esta malla, como ya se indicó; se debe tener en cuenta que crear y analizar mallas más finas llevará más tiempo de cálculo que en el caso de las mallas más gruesas. Asimismo, la resolución se puede seleccionar de acuerdo con la resolución de la nube de puntos de datos: una densidad más alta de puntos de datos conduce a la posibilidad de seleccionar una resolución de malla más fina. Por lo tanto, el tamaño de la malla debe considerarse como una variable arbitraria y no como una que limitaría el asunto objeto que se divulga en el presente documento.

Además, en algunas realizaciones, primero se obtienen las exploraciones de alta resolución y luego se llevan a cabo los procedimientos de detección y caracterización de las grietas descritos en el presente documento. En otras realizaciones, las exploraciones de baja resolución se usan primero para identificar las áreas donde se ubican las posibles grietas. Posteriormente, se realizan las exploraciones de alta resolución solo del área donde se ubican las posibles grietas.

En términos generales, el tamaño de la malla es más grande que la precisión de la fuente de luz que se utiliza para explorar el contenedor. Por ejemplo, para un láser que tiene una precisión de  $\pm 5$  mm, se puede configurar el tamaño de malla de resolución que se utiliza a 25 mm. Como se indicó, las mallas más finas pueden generar demoras en el proceso de reducción de datos. Por ejemplo, los datos recopilados en la Figura 4 tienen, aproximadamente, 1 M+ de puntos de datos por medición. Cuando se convierten en una estructura de datos (se usa una malla triangular en este ejemplo), se deben crear todas las facetas (es decir, cada pequeño triángulo generado mediante el ajuste de los datos). Por lo tanto, la velocidad de procesamiento aumenta con el uso de una menor cantidad de triángulos. Por ejemplo, en una malla triangular con 1 M de puntos de datos, para cualquier tipo de operación matemática (por ejemplo, crear una sección transversal de la malla, calcular diferentes volúmenes deseados o medir diferentes distancias deseadas hasta varios puntos), las escalas de tiempo de cálculo aumentan geométricamente con el tamaño de las estructuras. Como tal, como lo saben aquellos con experiencia en las técnicas aplicables, el tamaño de la malla es una importante restricción de cálculo que se debe tener en cuenta. Los usuarios esperan resultados que se acerquen al tiempo real a fin de poder manipular y observar los datos calculados; por lo tanto, siempre hay equilibrio entre el tamaño de la malla y el tiempo de cálculo.

Otro aspecto que debe considerarse cuando se genera la malla es el ruido. La nube de puntos de datos generada por el sistema de exploración es de naturaleza ruidosa y también puede incluir datos captados que son valores estadísticos atípicos; por consiguiente, deben eliminarse dado que no pertenecen a la superficie que se desea caracterizar. Se pueden usar diferentes procesos para reducir el ruido en los datos obtenidos. Por ejemplo, se puede emplear un ajuste de los cuadrados mínimos a fin de reducir o filtrar el ruido. Además, la detección y medición de grietas son sensibles a la resolución que selecciona el usuario. Por ejemplo, una grieta alrededor de 25 mm puede detectarse de manera confiable mediante el uso de un láser con una precisión de  $\pm 5$  mm. Si el tamaño de cuadrícula seleccionado es igual al tamaño de la grieta que se desea medir, se debe prever que dicha grieta se detecte, pero no se cuantifique.

La superficie gris ilustrada en la Figura 4 es una superficie que resulta de un ajuste óptimo de todos los datos mediante el uso de un ajuste de cuadrados mínimos, es decir,  $S_{HR}$ , lo que resulta básicamente en una aproximación de cuadrados mínimos de la nube de puntos de datos sin procesar. Limitada por la resolución usada para recopilar la nube de puntos de datos sin procesar y a fin de ajustar mejor o con más precisión los datos a las características de la grieta que se desea identificar y caracterizar, la malla ajustada se reduce a elementos poligonales más pequeños (por ejemplo, elementos triangulares). Los puntos negros mostrados en la Figura 5 representan los puntos de datos reales superpuestos sobre la superficie ajustada mostrada. De este modo, en algunas realizaciones, la superficie generada es una subsección relativamente pequeña de la totalidad de la superficie. En toda esta divulgación, la superficie ilustrada en las Figuras 4 y 5 se denominará superficie de malla de alta resolución, o  $S_{HR}$ .

Una vez que la superficie de malla de alta resolución,  $S_{HR}$ , se genera con una resolución definida por el usuario, la superficie mínima,  $S_{mín.}$ , se calcula para la nube de puntos de datos. Luego, la comparación sistemática de  $S_{HR}$  y  $S_{mín.}$  permitirá identificar los puntos de datos que se localizan a una distancia mayor que la distancia especificada desde la superficie mínima, por lo que se identifican todos los puntos de  $S_{HR}$  que es posible que se asocien con las grietas. Las Figuras 6 a 8 ilustran varias secciones bidimensionales completas o parciales de los datos de la Figura 4, que muestran los puntos de datos y las superficies tanto de alta resolución como mínima.

La información generalmente ilustrada en la Figura 6 se presenta de la siguiente manera. La carcasa de acero que recubre el contenedor se muestra en 30. El revestimiento permanente 32 se dispone junto a la carcasa 30, lo que le proporciona protección permanente. Junto al revestimiento permanente 32 se encuentra la capa de material refractario 6, en ocasiones denominada revestimiento de trabajo 34. Las grietas en el revestimiento de trabajo 34 son los defectos que habitualmente generan preocupación. Los agujeros 36 son agujeros de colada usados para verter materiales desde el contenedor y/u otros agujeros usados para agitar o purgar el contenedor durante el procesamiento del material. En algunos métodos de exploración, estos elementos pueden usarse como referencias para colocar el contenedor con precisión antes de medir el revestimiento de trabajo 34.

En una realización,  $S_{HR}$  es un ajuste óptimo por cuadrados mínimos y  $S_{\mu, \min.}$  es la primera desviación estándar negativa,  $\mu$ , de  $S_{HR}$ , de manera tal que de aquí en adelante la superficie se denomina  $S_{\mu, \min.}$ . La superficie de alta resolución ( $S_{HR}$ ), la superficie mínima ( $S_{\mu, \min.}$ ) y los puntos de datos se muestran en 38, junto a la superficie externa del revestimiento de trabajo 34. En otra realización,  $S_{\mu, \min.}$  es una superficie mínima construida sustrayendo de la  $S_{HR}$  la desviación estándar negativa local de  $S_{HR}$ . La superficie de ajuste óptimo por cuadrados mínimos  $S_{HR}$  puede considerarse como la superficie creada cuando se coloca un globo inflado dentro del contenedor, pero que no está tan ajustado como para adaptarse a todas las grietas que se desean localizar y medir. En las vistas ampliadas mostradas en las Figuras 7 y 8, en 40,  $S_{HR}$ ,  $S_{\mu, \min.}$ , y las divergencias de los datos reales, el ajuste óptimo muestra una depresión con la superficie mínima localizada en la parte superior de este, lo que permite identificar posibles sitios de grietas.

Tal como entienden aquellos con experiencia, existen diferentes maneras de eliminar el ruido y/o los valores estadísticos atípicos de los datos captados y de generar  $S_{HR}$ . Por ejemplo, la generación de tal superficie de malla de alta resolución,  $S_{HR}$ , puede realizarse mediante técnicas como marching cubes, CRUST y/o Poisson, por solo citar algunos. Como ya se indicó, una característica deseada de tales algoritmos para habilitar la detección confiable de grietas es que el algoritmo de ajuste sea inmune al ruido. La inmunidad al ruido es una característica deseada dado que la nube de puntos de entrada, por lo general, es ruidosa debido a varios motivos. Entre otros, se incluyen los siguientes: incertidumbre del escáner y/o puntos de datos falsamente captados a partir de humo, polvo y/o residuos, los cuales también son un ejemplo de puntos de datos de valores estadísticos atípicos. Una técnica de ajuste ventajosa emplearía un tamaño de malla variable según el nivel de detalle de la nube de puntos de datos. Aquellos con experiencia en las técnicas aplicables comprenderán que la resolución de tales técnicas de ajuste afectará el tamaño mínimo de las grietas que se desean detectar y medir. Por ejemplo, una resolución de 25 mm limitará la precisión del algoritmo de cálculo de las grietas a, aproximadamente, la mitad de este valor, es decir, 12 mm. Además, la generación de la superficie  $S_{HR}$  puede realizarse también mediante el procesamiento de los datos captados en conjuntos más pequeños a fin de mejorar la velocidad y, al mismo tiempo, mantener un tamaño de conjunto de datos aceptable.

En realizaciones que usan  $S_{\mu, \min.}$ , tal representación estadística de la superficie ajustada puede calcularse de manera que para cada faceta,  $F_i$ , en la superficie ajustada  $S_{HR}$ , y cada punto en la nube de entrada de puntos de datos,  $P_j$ , por la distancia normal,  $D_j$ , desde  $P_j$  hasta  $F_i$ , se calcula primero, seguido por la determinación de la distancia normal promedio  $D_{i,AVG}$  y una desviación estándar,  $\sigma_i$ , de todas las distancias normales calculadas. Posteriormente, para cada faceta,  $F_i$ , en la superficie ajustada  $S_{HR}$  y cada punto en la nube de puntos de entrada,  $P_j$ ,  $S_{\mu, \min.}$ , se puede calcular de la siguiente manera:

$$\text{Si } (D_j - D_{i,AVG}) < 0, \text{ se agrega } D_j \text{ a } D_{mTOTAL} \text{ y se incrementa un contador, } N_M; \quad (3)$$

$$D_{mAVG} = \frac{D_{mTOTAL}}{N_M}; \text{ y} \quad (4)$$

$$P_{mi} = \langle n_{F_i}, D_{mAVG} \rangle, \quad (5)$$

donde  $\langle \rangle$  es el producto escalar entre las variables mostradas, en las cuales  $n_{F_i}$  es un vector unitario normal respecto de la faceta  $F_i$ . Según las ecuaciones (3)-(5),  $S_{\mu, \min.}$  se construye a partir de los puntos  $P_{mi}$ .

Las grietas pueden identificarse y medirse mediante la comparación de  $S_{HR}$  y  $S_{\mu, \min.}$  una vez que se especifica el tamaño de las grietas que seleccionó el operario. Aquellos con experiencia en la técnica tendrán en cuenta que se necesita una distancia programable para poder controlar la cantidad de facetas que se adaptarán a una condición diseñada para detectar grietas a fin de caracterizarlas. Las grietas solo serán significativas cuando tengan un tamaño determinado. Todas las facetas que coinciden con el tamaño de grieta que seleccionó el operario se identifican como facetas que posiblemente pertenecen a una grieta. Todas esas facetas se separan, luego, se determina si pertenecen al mismo grupo, es decir, a la misma grieta.

Inicialmente, las grietas se filtran mediante la extracción de todas las facetas,  $F_i$ , de la malla de alta resolución  $S_{HR}$  que tengan un vértice que yace fuera de  $S_{\mu, \min.}$  en una distancia mayor que una distancia programable,  $\Omega_m$ . Todas estas se combinan en una superficie de posibles grietas, o  $S_{CC}$ . A fin de identificar todas las facetas que pertenecen a una única grieta, para todas las facetas en  $S_{CC}$ , aquellas con vértices comunes se conectan a una superficie de grietas,  $S_C$ , lo que genera un grupo  $S_{RC,i}$  de subsuperficies  $i$  ( $S_{RC,i}$  es una subsuperficie de  $S_C$ , que es una subsuperficie de  $S_{CC}$ ).

Matemáticamente,  $S_C$  contiene grupos de facetas conectadas de  $S_{HR}$  que son superficies de grietas; como tal, para cada vértice,  $V_j$ , en cada faceta,  $F_i$ , en la superficie ajustada  $S_{HR}$ , se calcula en primer lugar la distancia euclidiana marcada,  $D_{mj}$ , desde  $V_j$  hasta  $S_{\mu, \min.}$ . Posteriormente, se añade *If*  $D_{mj} \geq \Omega_m$   $F_i$  a la superficie de posibles grietas,  $S_{CC}$ , donde  $\Omega_m$  es el parámetro programable seleccionado por el usuario. Luego, se agrupan recursivamente las facetas en  $S_{CC}$  con aquellas facetas que tienen un vértice común. De esa manera, se forman grupos en la superficie de grietas sin procesar  $S_{RC,i}$ . Los grupos en  $S_{RC,i}$  se agrupan recursivamente para formar  $S_C$  mediante la combinación de superficies en  $S_{RC,i}$  si se

satisface la distancia mínima entre las superficies,  $D_{RC}$ , y otro parámetro programable,  $\Omega_c$ .  $\Omega_c$  puede considerarse como una distancia física de manera que, si dos grietas están “cerca” (dentro de  $\Omega_c$ ) y apuntan hacia la misma dirección, entonces pueden considerarse como una misma grieta, lo que crea la recopilación de superficies de grietas,  $S_c$ .

5 Las estadísticas correspondientes a cada grieta se calculan luego con la información obtenida en  $S_c$ . Es decir, en una realización, la distancia euclidiana desde cada vértice en  $S_c$  hasta  $S_{\mu, \min}$ , puede determinar la profundidad promedio de la grieta,  $D_{CAVG}$ . La profundidad máxima de la grieta,  $D_{CMAX}$ , y la ubicación de la grieta puede determinarse en otra realización mediante la distancia euclidiana máxima desde cada vértice en  $S_c$  hasta  $S_{\mu, \min}$ . Finalmente, el ajuste de una línea de ajuste óptimo mediante cuadrados mínimos a través de todos los vértices en una grieta puede usarse para determinar la orientación de la grieta, que debe corresponderse con la dirección de la línea de ajuste óptimo.

10 Otra manera para cuantificar las grietas detectadas y medidas es determinar su orientación. La orientación es una característica deseable debido a la manera en que se construyen ciertos vasos. En función de las características de construcción de un determinado vaso, es más probable que las grietas se produzcan a lo largo de las líneas de ladrillos. Si se conoce la orientación principal en que puede haberse dispuesto el material refractario, por ejemplo, 15 pueden buscarse y caracterizarse las grietas que prácticamente se alinean con esa orientación principal, según una aplicación particular. Aquellos con experiencia en las técnicas aplicables tendrán en cuenta que los aparatos, sistemas, métodos y procesos que se divulgan son generales. Como tales, se puede buscar una cierta dirección o las facetas agrupadas juntas a lo largo de dicha dirección. Además de la experiencia que se obtiene cuando se trabaja con ciertos tipos de vasos y materiales refractarios, la mejor orientación programable se puede decidir según 20 la experiencia, el tipo de aplicación, la colocación de los ladrillos, la orientación seleccionada como función del tipo de ladrillo y/o el tipo esperado de grieta en una aplicación determinada, por solo citar algunos ejemplos.

Por ejemplo, si las grietas verticales predominan de alguna manera en una aplicación determinada, las grietas dentro de  $\pm 30^\circ$  de un eje vertical (por ejemplo, un eje Z) que tienen una relación longitud-ancho promedio, o bien  $R_{L/W}$ , mayor que el valor umbral programable mínimo, o bien  $R_{L/W, \min}$ , se pueden buscar en los datos reducidos. 25 De manera similar, si las grietas horizontales predominan de alguna manera en otra aplicación, las grietas dentro de  $\pm 30^\circ$  de un plano horizontal (por ejemplo, un plano XY) que tienen una relación longitud-ancho promedio, o bien  $R_{L/W}$ , mayor que el valor umbral programable mínimo, o  $R_{L/W, \min}$ , se pueden identificar en los datos reducidos.

Para cada  $S_{RC, I}$  en  $S_{RC}$ , se determina la longitud, la orientación, la profundidad máxima, el ancho promedio, el ancho máximo y la localización mediante la conexión con otras subsuperficies  $S_{RC, IJ}$  para crear un nuevo conjunto consolidado de subsuperficies  $S_{C, I}$ .  $S_{RC, I}$  debe tener la misma orientación que  $S_{RC, J}$ .  $S_{RC, I}$  debe estar dentro de una distancia máxima  $\Omega_c$ , desde  $S_{RC, J}$ . Y, finalmente,  $S_{RC, IJ}$  debe tener una relación longitud-ancho promedio más alta que  $S_{RC, I}$  y  $S_{RC, J}$ , es decir,  $R_{L/W, J} > R_{L/W, I}$ . Para cada faceta en  $S_c$ , se calcula la profundidad de la grieta. La profundidad de la grieta se define como la distancia euclidiana máxima entre cada vértice en  $S_{C, I}$  y  $S_{\mu, \min}$ . Para mejorar la precisión de los cálculos de profundidad, los algoritmos dentro del alcance del asunto objeto divulgado pueden volver a ajustar  $S_{HR}$  (opcional) solo en la región definida por  $S_{C, I}$  para crear una superficie ajustada con una resolución más alta que la primera superficie empleada.

40 Aquellos con experiencia tendrán en cuenta que  $S_{RC, I}$  es el subgrupo que cumplió con los criterios de filtrado dados, pero que no pueden conectarse a otros subgrupos directamente (en realidad, se tocan entre sí). De este modo, se puede detectar una grieta o, posiblemente, un trozo de materiales de procesamiento que puede tener una grieta llena en una pequeña porción. Las últimas etapas de procesamiento recién descritas constituyen, por lo tanto, la evaluación de un criterio de proximidad que podría establecerse para agrupar los subgrupos en supersubgrupos. Si están suficientemente cerca y siguen, aproximadamente, la misma orientación, pertenecen a la misma grieta. Como tal,  $\Omega_c$  permite materiales de relleno y, luego del primer agrupamiento, los procesos propuestos realizarán la verificación de nuevo en función de todas 45 las grietas que cumplieron con las condiciones. En la explicación dada,  $i$  representa todos los grupos que cumplieron con los criterios dados y  $j$  representa todos los grupos en general. Aquellos con experiencia tendrán en cuenta que  $i$  no puede ser igual que  $j$  porque, en ese caso, siempre se cumpliría con la condición dada (claramente, un resultado no deseado).

Como aquellos con experiencia sabrán, una relación longitud-ancho promedio es una variable deseable que se debe considerar y que debe seleccionarse según el tipo de aplicación que se examina y las características de los tipos de grietas que se buscan. Una vez que se especifica un valor para esta variable y se filtran los datos, se recopilarn todos los posibles candidatos que cumplen con los criterios establecidos, y el usuario puede ajustar una línea de ajuste óptimo a través de todas aquellas facetas, mediante la colocación efectiva de un rectángulo envolvente alrededor de las facetas seleccionadas. En el caso de este conjunto, si un grupo de facetas tiene una relación longitud-ancho de, aproximadamente uno, es un cráter y no una grieta. Habitualmente, una grieta se 55 caracterizará por tener una dimensión longitudinal larga con respecto a una dimensión transversal. Como tal, si se puede especificar una relación longitud-ancho promedio, los productos, procesos y sistemas que se divulgan tendrán una flexibilidad integrada. Por lo general, se puede especificar una relación de, aproximadamente, 4; no obstante, esto dependerá del tipo de aplicación y de otras variables conocidas por aquellos con experiencia. Por ejemplo, las grietas en cubas pueden tener una relación longitud-ancho promedio probablemente mayor que 4. En otra aplicación, los usuarios pueden buscar grietas muy grandes, en ocasiones incluso cráteres, como una posición donde se ha desprendido un ladrillo, un orificio grande. Entonces, una de las características beneficiosas 60



de los productos, procesos y sistemas que se divulgan es la flexibilidad para establecer una relación longitud-ancho promedio como una función de lo que se busca o de la aplicación disponible.

Las regiones más oscuras identificadas como 50 en la Figura 9 ilustran grietas en el contenedor de la Figura 4. Estas grietas se han detectado y caracterizado como resultado de los procedimientos y/o cálculos analizados anteriormente, ejecutados sobre la nube de puntos de datos ilustrada en la misma figura. La tabla en la Figura 10 ilustra los valores de orientación de la grieta para cada grieta detectada, la profundidad máxima, la ubicación en coordenadas cilíndricas (radio (R), ángulo ( $\theta$ ) y distancia longitudinal (Z)), longitud de la grieta, ancho promedio y ancho máximo.

Los métodos y procesos configurados para detectar/identificar, medir y caracterizar grietas en el revestimiento de un vaso o contenedor también están dentro del alcance del asunto objeto divulgado. La Figura 11 ilustra el diagrama de flujo de una realización de ejemplo de un método o proceso 100 de acuerdo con el asunto objeto divulgado. Como se muestra, en 110, dichos métodos incluyen el ajuste de una malla poligonal a través de una nube de puntos de datos; la malla poligonal tiene una resolución especificada por el usuario; la nube de puntos de datos se recopila mediante un dispositivo de exploración que mide las distancias desde el dispositivo hasta una pluralidad de puntos en la superficie del material de revestimiento del contenedor. En 120, se ajusta una superficie mínima a través de la nube de puntos de datos mediante el uso del controlador. Y, en 130, se identifica/detecta una grieta mediante una porción de la malla poligonal que contiene un grupo de polígonos que se extiende más allá de la superficie mínima, superando una distancia umbral que selecciona el usuario, y se mide una pluralidad de dimensiones del grupo de polígonos.

Una o más de las etapas de los métodos que comprenden el asunto objeto divulgado pueden implementarse en un sistema informático configurado específicamente para detectar/identificar, medir y caracterizar grietas en el revestimiento refractario de un vaso o contenedor metalúrgico, como se explicó anteriormente en el presente documento. Un ejemplo de un sistema informático representativo capaz de llevar a cabo las operaciones de acuerdo con las realizaciones ilustrativas se muestra en la Figura 12. Se pueden usar hardware, software solo de lectura, software o una combinación de estos para llevar a cabo las diversas etapas y operaciones descritas en el presente documento.

El sistema informático de ejemplo 900 adecuado para realizar las actividades descritas en las realizaciones ilustrativas puede incluir un servidor 901. Tal servidor 901 puede incluir un procesador central (CPU) 902 acoplado a una memoria de acceso aleatorio (RAM) 904 y a una memoria solo de lectura (ROM) 906. La ROM 906 puede constituir también otros tipos de medios de almacenamiento para almacenar programas, como ROM programable (PROM), PROM borrable (EPROM), etc. El procesador 902 puede comunicarse con otros componentes internos y externos a través del circuito de entrada/salida (I/O) 908 y el bus 910 para proporcionar señales de control y similares. El CPU 902 lleva a cabo una variedad de funciones como se conoce en la técnica, según lo indiquen las instrucciones del software y/o del software solo de lectura.

El servidor 901 puede incluir, además, uno o más dispositivos de almacenamiento de datos, incluidos una unidad de disco 912, unidades de CD ROM 914 y otros dispositivos capaces de leer y/o almacenar información, como DVD, etc. En una realización, el software para llevar a cabo las etapas analizadas anteriormente puede almacenarse y distribuirse en un CD ROM 916, un dispositivo extraíble de memoria 918 u otro medio capaz de almacenar información de manera portátil. Estos medios de almacenamiento pueden insertarse en dispositivos, como la unidad de CD ROM 914, la unidad de disco 912, etc., o leerse a través de estos. El servidor 901 puede acoplarse a una pantalla 920, que puede ser cualquier tipo de pantalla de visualización o presentación conocida, como pantallas LCD, pantallas LED, pantallas de plasma, tubos de rayos catódicos (cathode ray tubes, CRT), etc. Se proporciona una interfaz de entrada de usuario 922, que incluye uno o más mecanismos de interfaz de usuario, como mouse, teclado, micrófono, panel táctil, pantalla táctil, sistema de reconocimiento de voz, entre otros.

El servidor 901 se puede acoplar a otros dispositivos informáticos, como terminales de línea fija y/o inalámbrica por medio de una red. El servidor puede formar parte de una configuración de red más grande como una red de área global (global area network, GAN), tal como Internet 928, que permite la conexión óptima con los diversos dispositivos de cliente de línea fija y/o móvil.

Las realizaciones ilustrativas divulgadas proporcionan aparatos, métodos y sistemas para detectar/identificar, medir y caracterizar grietas en el revestimiento de un vaso o contenedor metalúrgico, así como los demás usos en el presente documento resumidos anteriormente y tenidos en cuenta por aquellos con experiencia en las técnicas aplicables después de la consideración del asunto objeto divulgado. Se debe entender que esta descripción no pretende limitar la invención. Por el contrario, las realizaciones ilustrativas pretenden cubrir alternativas, modificaciones y equivalencias, que se incluyen en el espíritu y alcance de la invención según se define en las reivindicaciones adjuntas. Además, en la descripción detallada de las realizaciones ilustrativas, se exponen numerosos detalles específicos a fin de proporcionar una comprensión integral de la invención que se reivindica. Sin embargo, un experto en la técnica comprendería que varias realizaciones pueden llevarse a la práctica sin esos detalles específicos.

Si bien las características y los elementos de las presentes realizaciones ilustrativas se describen en las realizaciones en combinaciones particulares, cada característica o elemento puede usarse de forma independiente,

sin las demás características o elementos de las realizaciones, o bien en varias combinaciones con o sin otras características y elementos divulgados en el presente documento.

5 Esta descripción escrita usa ejemplos del asunto objeto divulgado para permitir que cualquier experto en la técnica la lleve a la práctica, incluidos la fabricación y el uso de cualquier dispositivo o sistema, y la ejecución de cualquier método incorporado. El alcance patentable del asunto objeto se define mediante las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos que vengan a la mente de los expertos en la técnica. Se pretende que estos ejemplos se encuentren dentro del alcance de las reivindicaciones.

10 Si bien las realizaciones descritas del asunto objeto divulgado en el presente documento se han mostrado en los dibujos y se describieron en su totalidad anteriormente con particularidad y detalle en relación con varias realizaciones ilustrativas, será evidente para aquellos con experiencia en la técnica que será posible aplicar muchas modificaciones, cambios y omisiones sin apartarse materialmente de las enseñanzas novedosas, los principios y los conceptos expuestos en el presente documento, y las ventajas de la invención mencionadas en las reivindicaciones adjuntas. Por lo tanto, el alcance apropiado de las innovaciones descritas debe determinarse solo mediante la más amplia interpretación de las reivindicaciones adjuntas a fin de abarcar todas esas modificaciones, cambios y omisiones. Asimismo, el orden o la

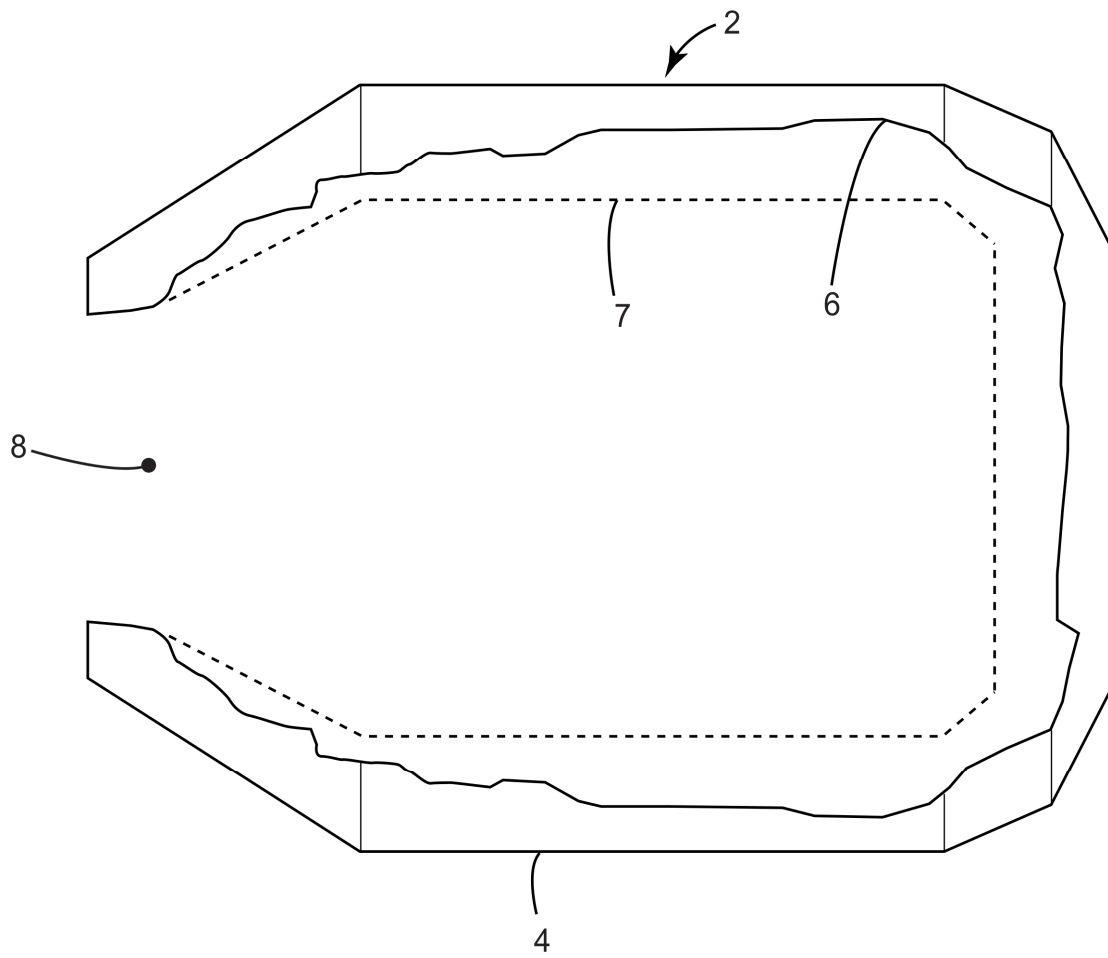
15 secuencia de cualquier etapa de los procesos o de los métodos pueden variar o reorganizarse de acuerdo con realizaciones alternativas. Finalmente, en las reivindicaciones, cualquier cláusula relacionada con el medio más la función pretende cubrir las estructuras descritas en el presente documento, ya que se realiza la función mencionada y no solo los equivalentes estructurales, sino también las estructuras equivalentes.

**REIVINDICACIONES**

1. Un aparato configurado para detectar y medir una grieta en la superficie de un revestimiento de un contenedor; comprendiendo dicho aparato:
  - 5 un dispositivo de exploración con láser, ópticas, un escáner, un fotodetector y dispositivos de recepción electrónicos; el dispositivo de exploración se configura para generar una nube de puntos de datos mediante la medición de distancias desde el dispositivo de exploración hasta una pluralidad de puntos en la superficie del revestimiento del contenedor; y
  - un controlador conectado al dispositivo de exploración;
  - a controller (24) connected to the scanning device,
  - 10 caracterizado porque, el controlador se configura para adaptar una malla poligonal a través de la nube de puntos de datos mediante el uso de una resolución seleccionada por el usuario y para ajustar una superficie mínima ( $S_{min}$ ) a través de la nube de puntos de datos, en donde el controlador está configurado además para,
    - detectar la grieta mediante una porción de la malla poligonal que contiene un grupo de polígonos que se extiende más allá de la superficie mínima, superando la distancia umbral seleccionada por el usuario, y para
    - 15 medir la grieta mediante el cálculo de una pluralidad de dimensiones del grupo de polígonos.
2. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el controlador se configura, además, para eliminar valores estadísticos atípicos de la nube de puntos de datos antes de ajustar la malla poligonal y la superficie mínima.
3. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la malla poligonal está configurada para obtener la malla poligonal mediante un ajuste óptimo por cuadrados mínimos de la nube de puntos de datos, y para determinar la superficie mínima como una primera desviación estándar negativa del ajuste óptimo por cuadrados mínimos.
- 20 4. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el controlador está configurado para calcular la superficie mínima se calcula mediante el cálculo de una distancia normal desde cada faceta de la malla poligonal hasta cada punto en la nube de puntos de datos, y mediante la determinación de una distancia normal promedio y una desviación estándar de las distancias normales calculadas; en donde, para cada faceta en la superficie poligonal ajustada y para cada punto en la nube de puntos de entrada, el controlador se configura para calcular la superficie mínima mediante productos escalares entre vectores unitarios normales a las facetas correspondientes y el promedio normal calculado.
- 25 5. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la distancia umbral es una función de un tamaño de la grieta.
- 30 6. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el controlador está configurado para determinar un tamaño de grieta promedio promediando las distancias desde cada faceta de cada polígono en el grupo de polígonos conectados y para calcular una profundidad máxima de grieta al determinar una distancia máxima de las distancias de cada vértice del polígono en el grupo conectado de polígonos a la superficie mínima.
- 35 7. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en donde una resolución del dispositivo de exploración es igual o menor que aproximadamente la mitad de una dimensión característica de la grieta que se está midiendo.
8. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la pluralidad de dimensiones incluye una orientación de la grieta con respecto al contenedor.
9. El aparato de acuerdo con la reivindicación 8, en donde se especifica un intervalo angular para la orientación y solo se identifican las grietas que tienen una relación de longitud-ancho promedio mayor que un valor umbral mínimo.
- 40 10. Un método para detectar y medir una grieta en una superficie de un revestimiento de un contenedor, comprendiendo dicho método:
  - ajustar una malla poligonal a través de una nube de puntos de datos, teniendo la malla poligonal una resolución especificada por un usuario y siendo la nube de puntos de datos recolectada mediante un dispositivo de escaneo al
  - 45 medir las distancias desde el dispositivo de escaneo a una pluralidad de puntos en la superficie del material de revestimiento del contenedor; y
  - ajustar una superficie mínima a través de la nube de puntos de datos, en donde la grieta es detecta por una porción de la malla poligonal que contiene un grupo de polígonos que se extiende más allá de la superficie mínima, superando una distancia de umbral seleccionada por el usuario y la grieta se mide calculando una pluralidad de
  - 50 dimensiones del conjunto de polígonos.

11. El método de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende además:  
filtrar los valores estadísticos atípicos de la nube de puntos de datos antes del ajuste de la superficie poligonal y el ajuste de la superficie mínima.
12. El método de acuerdo con la reivindicación 10, en donde el ajuste de la malla poligonal comprende además:
- 5   ajustar un óptimo por cuadrados mínimos de la nube de puntos de datos y ajustar la superficie mínima que comprende un cálculo de una primera desviación estándar negativa del ajuste óptimo por cuadrados mínimos de la nube de puntos de datos.
13. El método de acuerdo con la reivindicación 10, en donde el ajuste de la superficie mínima comprende además:
- 10   Calcular de una distancia normal desde cada faceta de la malla poligonal hasta cada punto en la nube de puntos de datos; y  
determinar una distancia normal promedio y una desviación estándar de las distancias normales calculadas, en donde, para cada faceta en la superficie poligonal ajustada y para cada punto en la nube de puntos de entrada, la superficie mínima se calcula mediante productos escalares entre vectores unitarios normales de las facetas correspondientes y el promedio normal calculado.
- 15   14. El método de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende además:  
calcular un tamaño promedio de la grieta promediando las distancias desde cada faceta del polígono en el grupo de polígonos conectados hasta la superficie mínima; y  
calcular una máxima profundidad de las grietas mediante la determinación de una máxima distancia a partir de las distancias desde cada vértice del polígono en el grupo de polígonos conectados hasta la superficie mínima.
- 20   15. El método de acuerdo con la reivindicación 10, en donde la malla poligonal es una malla triangular.
16. El método de acuerdo con la reivindicación 10, en donde una resolución del dispositivo de exploración es menor o igual que un medio de una dimensión característica de la grieta que se mide.
17. El método de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende además:
- 25   separar las grietas en el grupo de polígonos mediante grupos de polígonos que tienen vértices comunes o direcciones comunes.
18. El método de acuerdo con la reivindicación 10, en donde la pluralidad de dimensiones incluye una orientación de la grieta con respecto al contenedor.
19. El método de acuerdo con la reivindicación 18, en donde se especifica un intervalo angular para la orientación y se identifican solo las grietas que tienen una relación longitud-ancho promedio mayor que el valor umbral mínimo de la relación longitud-ancho promedio.
- 30   20. El método de acuerdo con la reivindicación 19, en donde la relación longitud-ancho promedio y el valor umbral mínimo son una la función de una aplicación industrial del contenedor.

Fig. 1



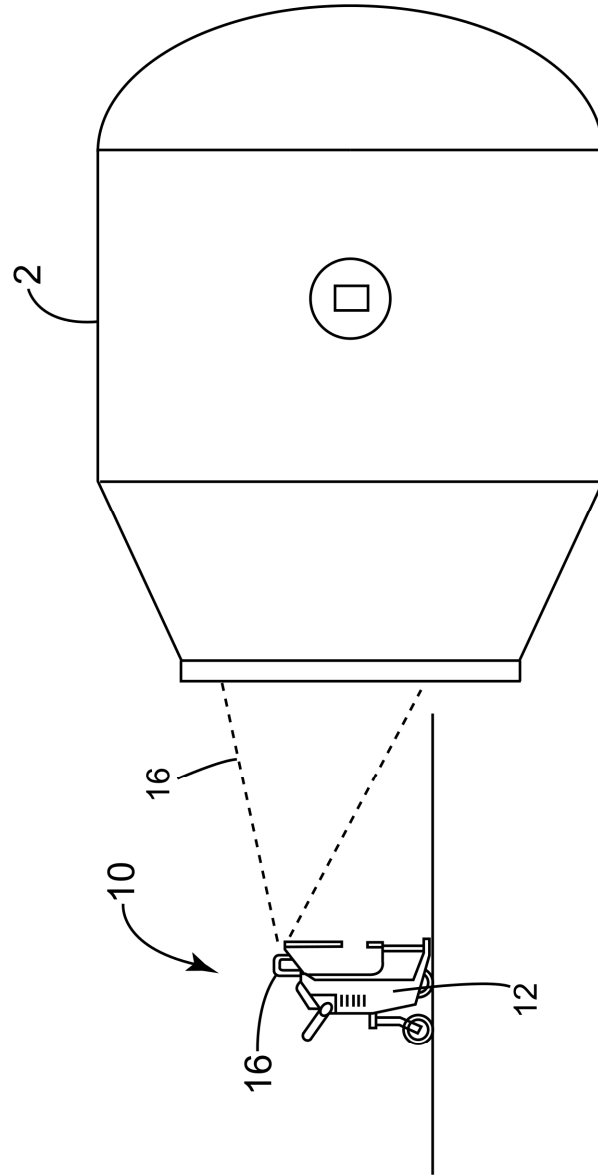


Fig. 2

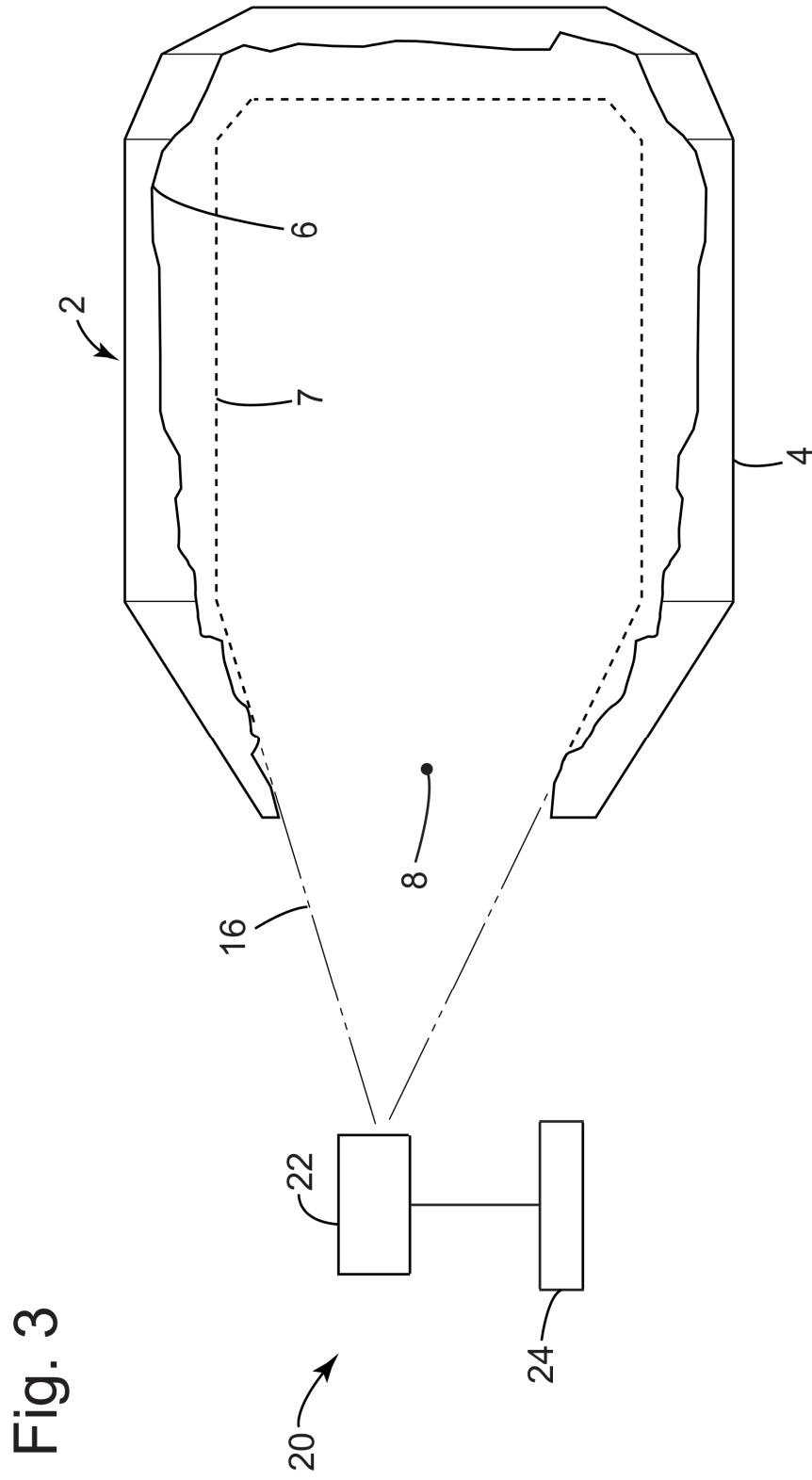


Fig. 4





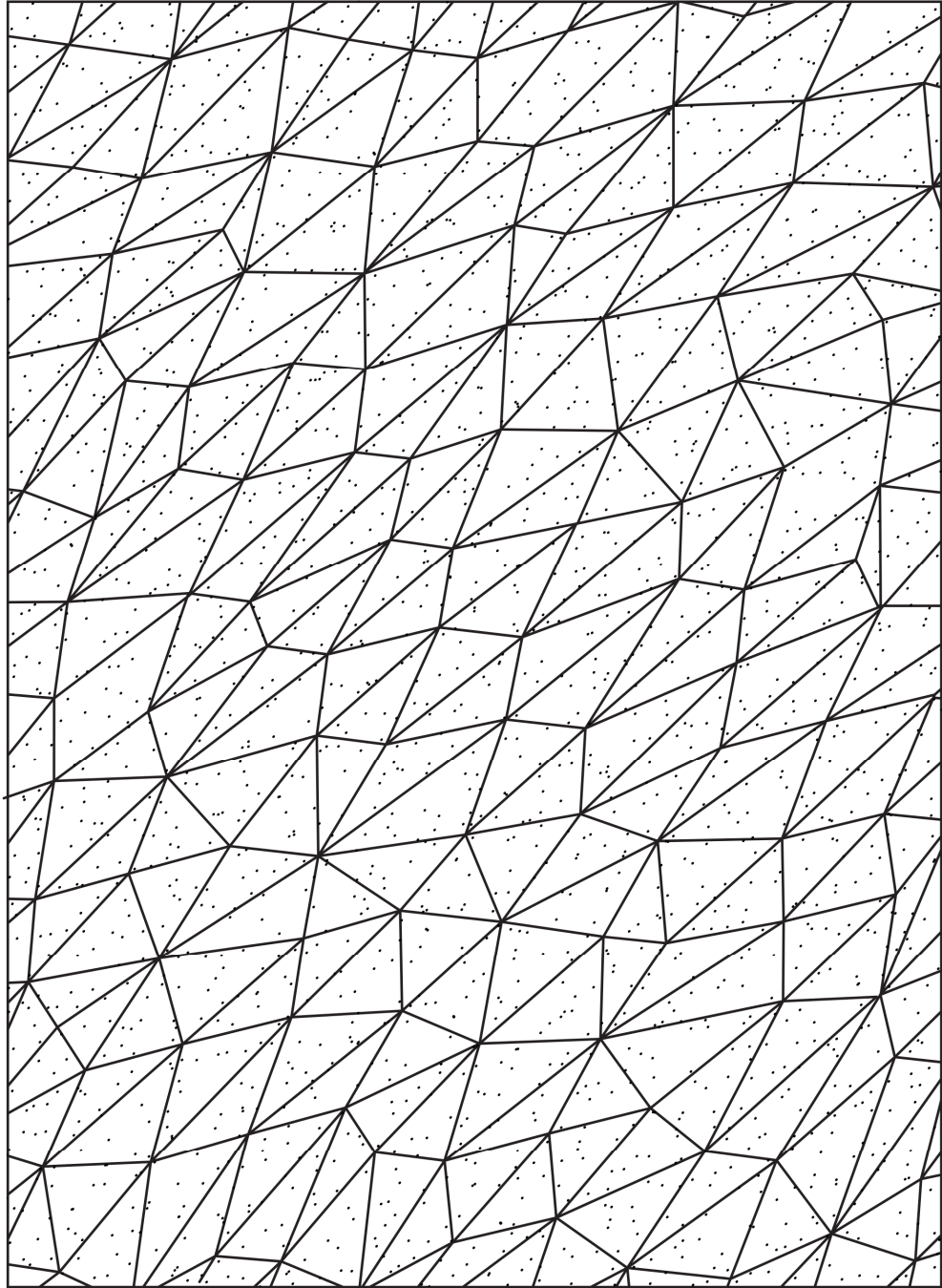


Fig. 5

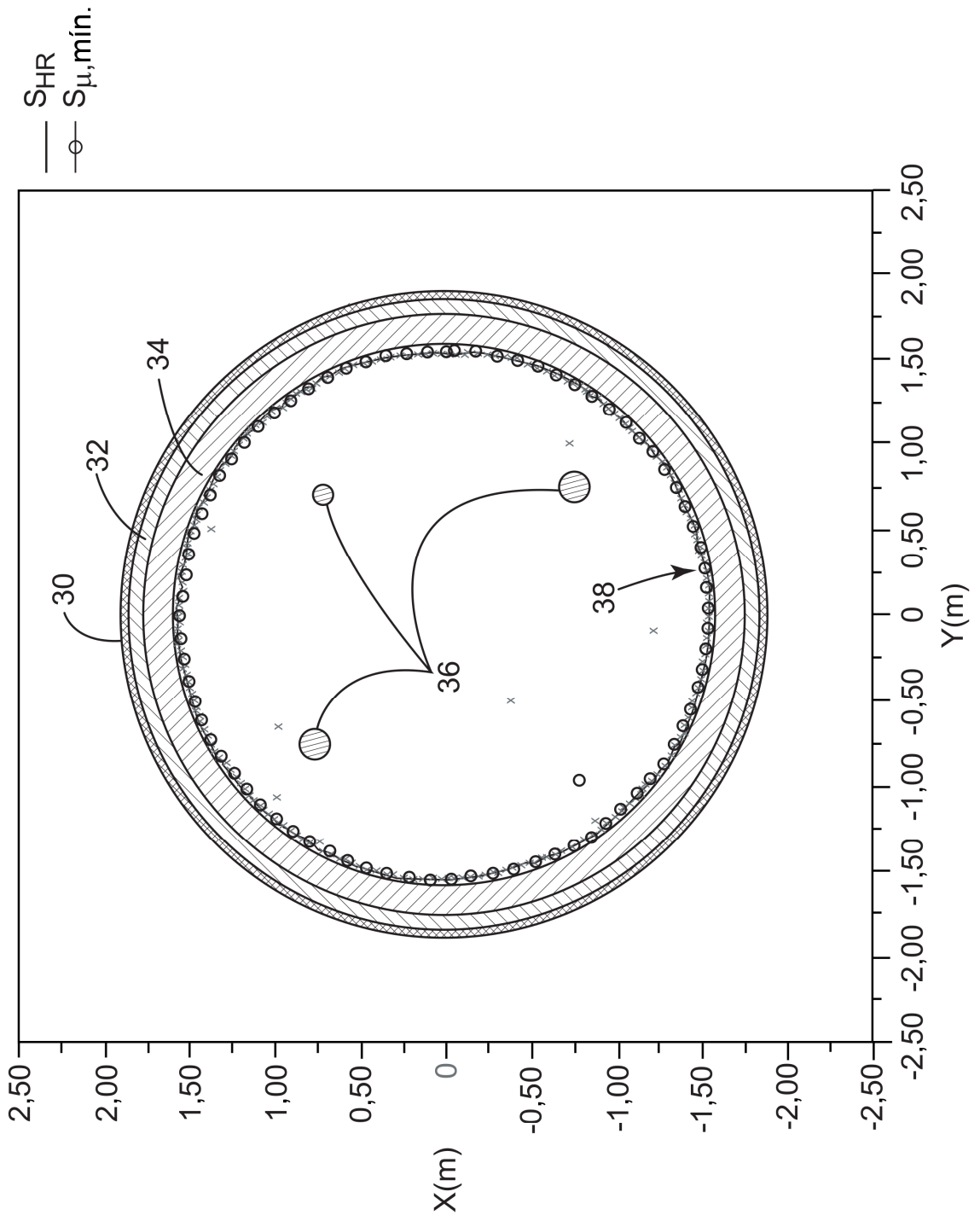


Fig. 6

Fig. 7

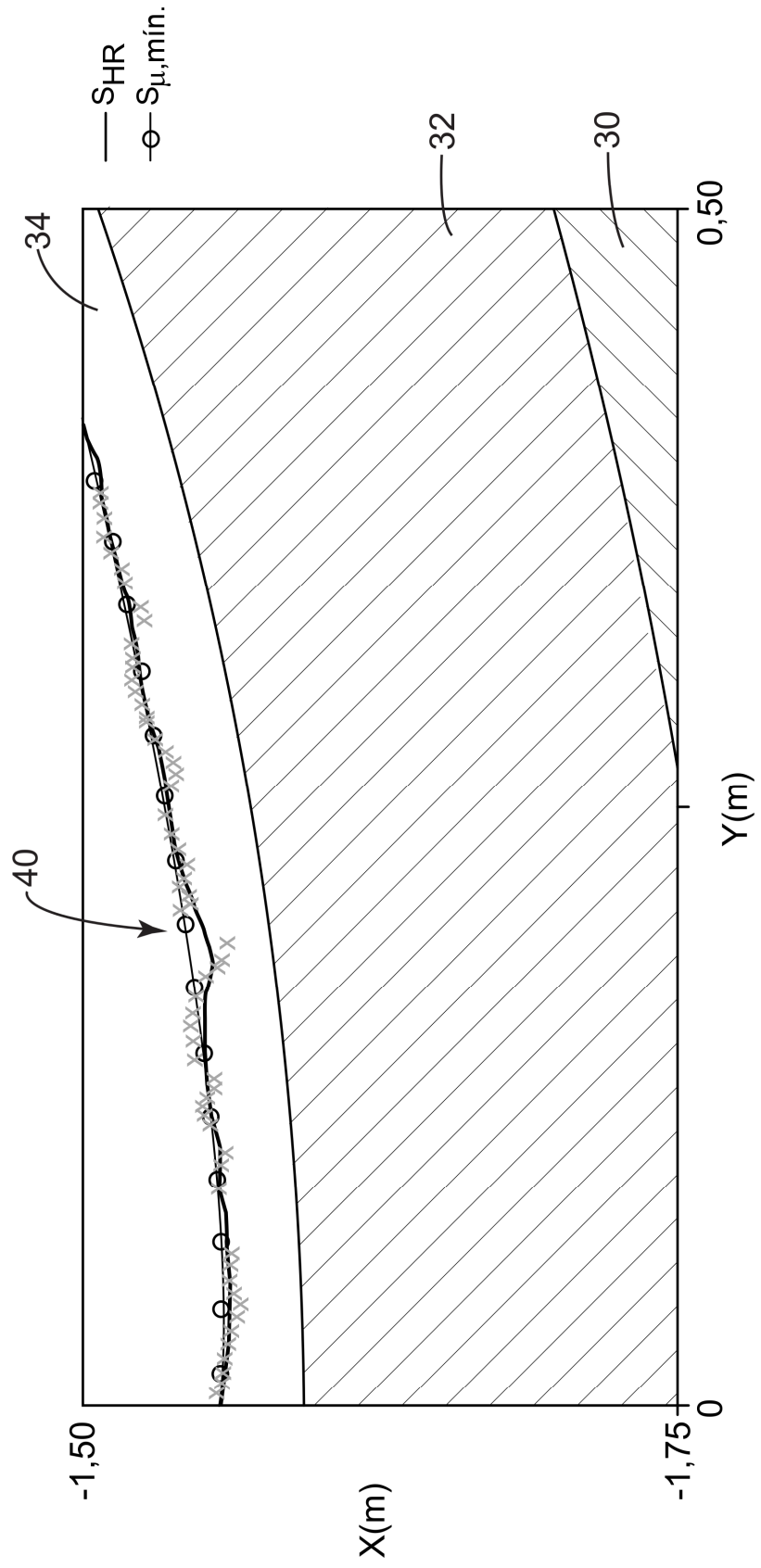
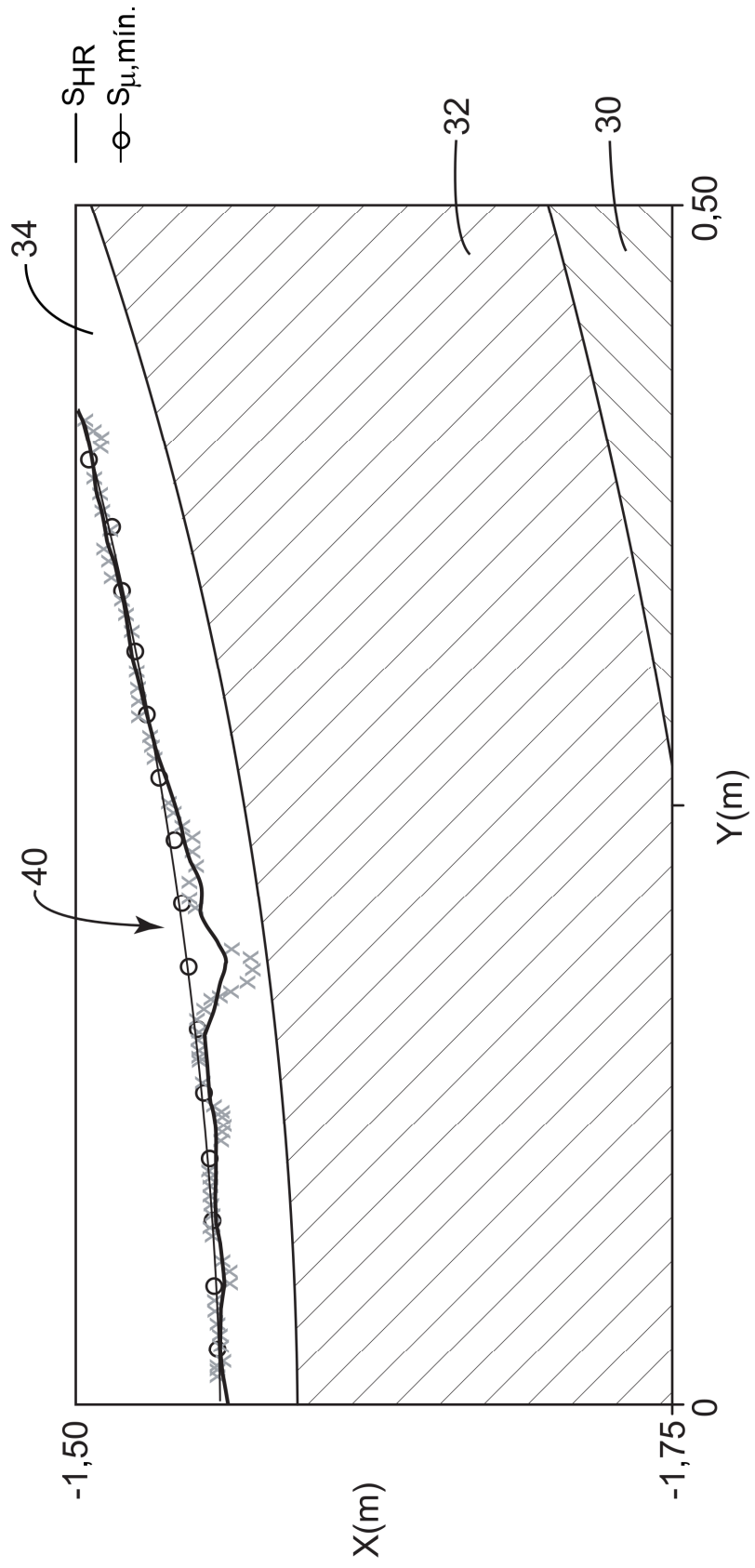


Fig. 8



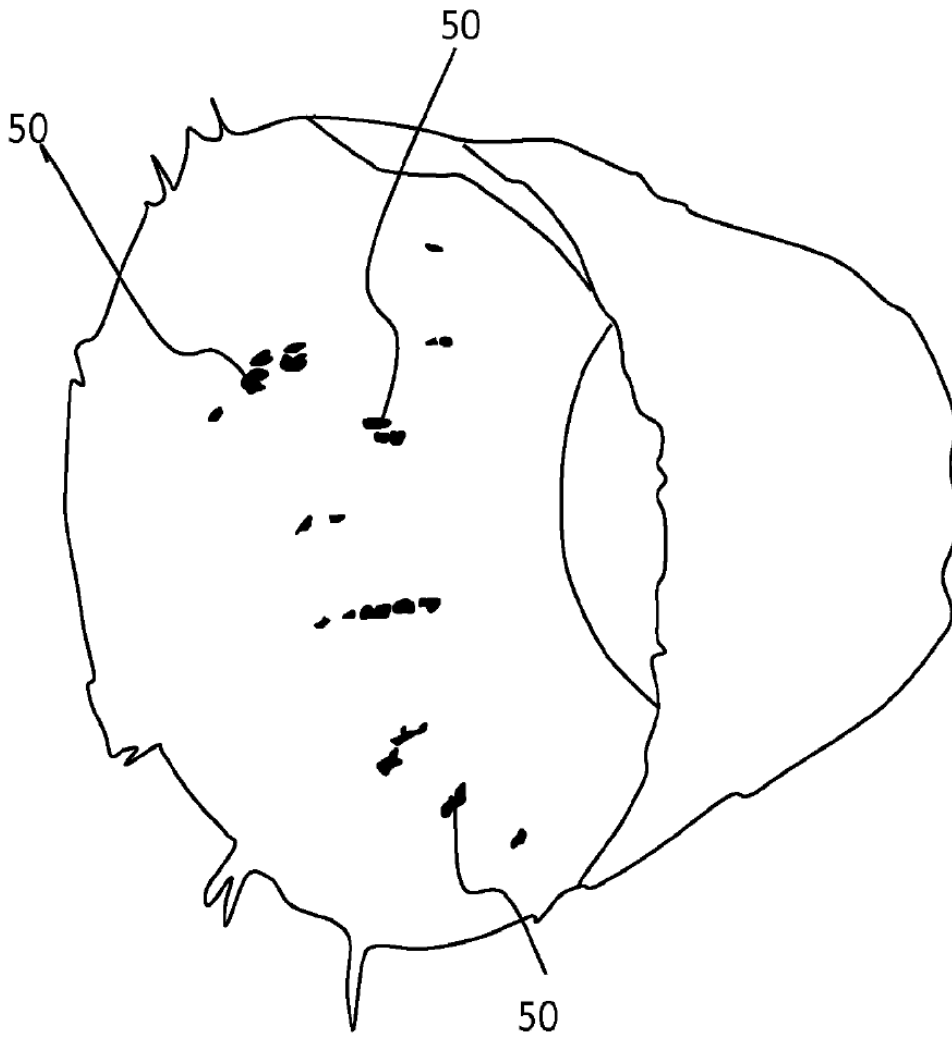


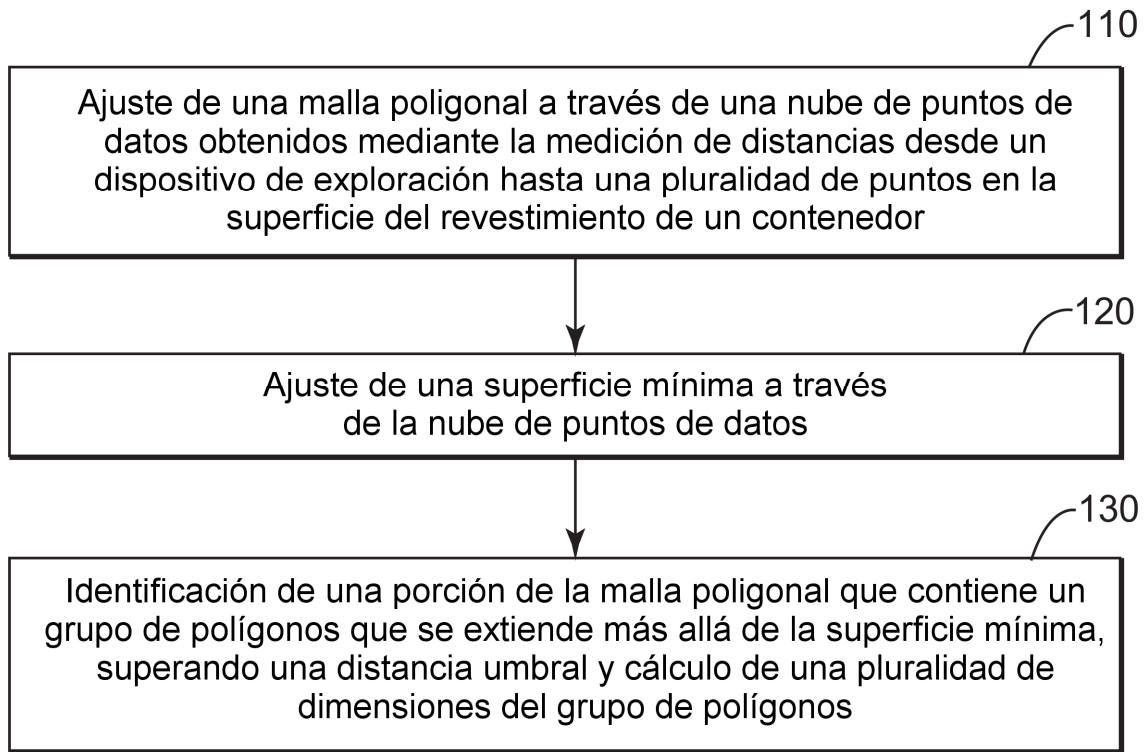
Fig. 9

Fig. 10

Dirección	Profundidad máx.(mm)	R (m)	Theta(°)	Z (m)	Longitud (mm)	Ancho promedio (mm)	Ancho máx. (mm)
Vertical	35	1,615	178,4	3,225	585	60	153
Vertical	27	1,564	205,7	1,825	582	80	244
Vertical	26	1,592	182,4	1,325	589	83	248
Vertical	26	1,569	307,8	2,6	1439	70	242
Vertical	25	1,572	174,4	1,775	561	60	138
Vertical	25	1,56	297,3	2,025	476	41	91
Vertical	24	1,571	311	1,525	775	73	254
Vertical	24	1,613	181,6	3,95	337	52	98
Vertical	23	1,541	287,7	1,95	490	77	218
Vertical	22	1,563	188	2,325	353	49	118
Vertical	21	1,546	34,6	2,225	265	35	70
Vertical	21	1,578	105,3	1,575	803	43	126
Vertical	21	1,538	188	0,75	454	65	187
Vertical	21	1,557	165,5	0,975	332	40	89
Vertical	20	1,576	209,7	4,502	347	54	149
Vertical	20	1,534	174,4	0,7	588	50	106
Vertical	20	1,586	214,6	1,9	777	43	90
Vertical	20	1,559	244,3	2,05	264	41	82
Vertical	19	1,576	356,8	3,325	701	46	106
Vertical	19	1,576	40,2	1,675	694	45	127
Vertical	19	1,527	168,8	0,725	456	43	105
Vertical	19	1,578	149,5	2,05	807	54	180
Vertical	19	1,576	203,3	4,155	791	63	165
Vertical	19	1,596	167,9	2,825	399	45	103
Vertical	19	1,574	196,1	4,022	374	41	86
Vertical	19	1,555	83,6	2,075	292	32	62
Vertical	18	1,567	175,2	2,35	410	53	122
Vertical	18	1,525	341,5	0,675	209	33	73
Vertical	18	1,573	64,3	1,775	314	37	79
Vertical	18	1,554	61,9	2,025	352	37	92
Vertical	17	1,571	341,5	2	335	47	104
Vertical	17	1,523	335,9	0,675	186	30	62
Vertical	17	1,561	358,4	2,3	634	33	70
Vertical	16	1,554	17,7	2	328	46	124
Vertical	16	1,559	11,3	1,975	379	46	134
Vertical	16	1,562	4	1,95	9783	143	411
Vertical	16	1,54	283,7	2,175	460	47	119
Vertical	16	1,58	211,3	3,725	364	44	115
Vertical	16	1,563	154,3	3,55	456	52	135
Vertical	15	1,591	56,3	0,95	227	35	80

Fig. 11

100



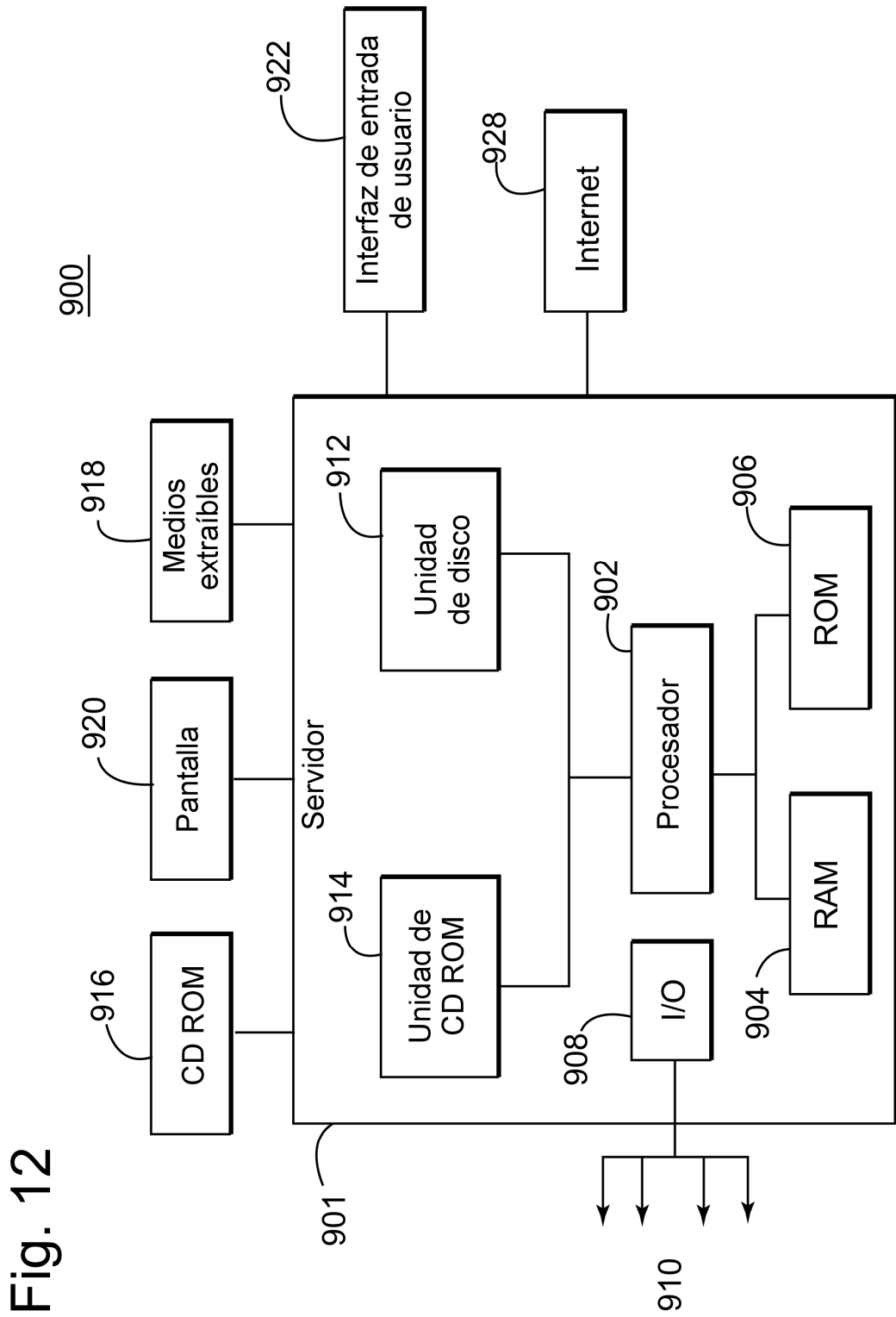


Fig. 12