

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 898 407**

51 Int. Cl.:

**G01B 11/245** (2006.01)  
**G01B 11/25** (2006.01)  
**G01N 21/00** (2006.01)  
**G01N 1/04** (2006.01)  
**C03B 35/14** (2006.01)  
**C03B 23/023** (2006.01)  
**C03B 27/04** (2006.01)  
**C03B 29/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.05.2016 PCT/US2016/032855**  
 87 Fecha y número de publicación internacional: **29.12.2016 WO16209414**  
 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.05.2016 E 16814894 (8)**  
 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.11.2021 EP 3314237**

54 Título: **Sistema y método para desarrollar información de superficie tridimensional correspondiente a una lámina de vidrio contorneada**

30 Prioridad:

**26.06.2015 US 201514752133**

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

**07.03.2022**

73 Titular/es:

**GLASSTECH, INC. (100.0%)**  
**995 Fourth Street Ampoint Industrial Park**  
**Perrysburg, Ohio 43551, US**

72 Inventor/es:

**ADDINGTON, JASON C.;**  
**VILD, MICHAEL J. y**  
**MORAN, BENJAMIN L.**

74 Agente/Representante:

**ARIZTI ACHA, Monica**

ES 2 898 407 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Sistema y método para desarrollar información de superficie tridimensional correspondiente a una lámina de vidrio contorneada

5

### Campo técnico

Esta invención se refiere a un sistema y a un método para adquirir información de superficie tridimensional correspondiente a una lámina de vidrio contorneada.

10

### Antecedentes

Los fabricantes de láminas de vidrio, particularmente láminas de vidrio conformadas en diversas formas curvadas para su uso como parabrisas de automóviles, lunetas traseras y ventanillas laterales, están interesados en medir la forma de la lámina de vidrio conformada para evaluar la conformidad de la forma realmente conformada a la especificación de diseño, así como para evaluar la cantidad de distorsión óptica en las láminas conformadas que puede percibir un observador humano.

15

Por tanto, al menos para los fines anteriores, resulta deseable desarrollar un sistema y un método para adquirir rápidamente datos correspondientes a la superficie de una lámina de vidrio curvada, particularmente a medida que se transporta la lámina de vidrio sobre un transportador entre o después del doblado, enfriamiento u otras operaciones de procesamiento, y después de eso desarrollar una descripción matemática tridimensional precisa de la superficie de la lámina de vidrio.

20

El documento CN203231736 da a conocer un dispositivo de medición de objeto de espejo basado en visión binocular. La visión binocular se define como visión "usando dos ojos con campos de visión solapantes, permitiendo una buena percepción de la profundidad". El dispositivo implementa usar dos cámaras apuntadas a la misma zona de visualización, montadas simétricas con respecto al objeto que está midiéndose.

25

El documento US2009282871 da a conocer la medición de distorsión óptica transmitida en una lámina de vidrio. Esta medición usa una única cámara posicionada para capturar imágenes de un patrón de matriz de puntos en una pantalla de fondo con la lámina de vidrio interpuesta entre la cámara y la pantalla de fondo.

30

El documento US2010149327 da a conocer un dispositivo para detectar defectos (por ejemplo, arañazos, astillados, manchas) en la cara de borde de una lámina de vidrio. El dispositivo usa dos cámaras apuntadas al mismo borde de una lámina de vidrio para detectar el nivel de iluminación de luz dirigida al borde, a partir de un par de fuentes de luz. Las dos cámaras y dos fuentes de luz deben estar asociadas con la misma zona de interés en el borde de vidrio para obtener los niveles de iluminación en el borde.

35

El documento US2008247668 da a conocer la reconstrucción de una imagen tridimensional a partir de datos de imagen bidimensional, empleando múltiples cámaras dirigidas para obtener "datos digitales estéreo de múltiples vistas" a partir de imágenes de la misma zona de interés en un objeto. Esta reconstrucción usa restricciones geométricas de proyección para generar un candidato tridimensional del objeto a partir de puntos de borde seleccionados, desarrollado a partir de los datos digitales estéreo recopilados a partir del objeto.

40

45

### Sumario

El sistema y el método dados a conocer para adquirir información de superficie tridimensional correspondiente a, y desarrollar una descripción matemática de la superficie de, una lámina de vidrio contorneada incluyen, como un componente, un sistema de adquisición de datos de superficie que puede incluir a transportador para transportar la lámina de vidrio en una primera dirección generalmente paralela a la primera dimensión de la lámina de vidrio, al menos 2. dos elementos de visualización que proyectan un patrón de contraste preseleccionado y al menos dos cámaras. Cada una de las dos o más cámaras está emparejada de manera única con uno de los elementos de visualización, en el que cada par de elemento de visualización y cámara está montado en una relación separada una distancia y ángulo conocidos con respecto a la superficie de la lámina de vidrio de tal manera que la cámara detecta la imagen reflejada del patrón proyectado sobre la superficie de la lámina de vidrio a partir de su elemento de visualización asociado.

50

55

El componente de sistema de adquisición de datos de superficie según la invención incluye dos o más cámaras, estando cada una de las cámaras emparejada de manera única con uno de los elementos de visualización tal como se describió anteriormente, en el que cada uno de los pares de elemento de visualización y cámara están separados unos de otros al menos en una segunda dirección a través de la segunda dimensión de la lámina de vidrio de tal manera que cada cámara detecta la imagen reflejada del patrón proyectado sobre la superficie de la lámina de vidrio a partir tan solo de su elemento de visualización asociado, y en el que los patrones detectados por las dos o más cámaras juntos cubren toda la superficie en la dirección de la segunda dimensión de la lámina de vidrio.

60

65

El componente de adquisición de datos de superficie del sistema según la invención también incluye un control programable que incluye al menos un procesador programado para ejecutar lógica para controlar cada una de las cámaras para adquirir al menos una imagen del patrón reflejado de su elemento de visualización asociado en la lámina de vidrio a medida que se transporta la lámina de vidrio a través de la trayectoria del patrón proyectado en la primera dirección.

El sistema según la invención también incluye, como otro componente, lógica para analizar y combinar los datos adquiridos por el componente de sistema de adquisición de datos de superficie para construir una descripción matemática tridimensional de la superficie de la lámina de vidrio. Este componente del sistema puede incluir lógica para desarrollar, para cada píxel en la zona de visualización de la cámara para cada imagen adquirida, un vector de mapeo que define el lugar en el que el rayo reflejado se proyecta desde el origen de cámara hasta el elemento de visualización asociado y lógica para desarrollar, para cada píxel en la zona de visualización de la cámara para cada imagen adquirida, el valor de elevación,  $s$ , del punto, resolviendo simultáneamente (1) la ecuación de óptica geométrica y (2) la ecuación de geometría diferencial, usando el vector de mapeo.

La definición de superficie desarrollada por el sistema dado a conocer puede usarse como entrada para otros sistemas que usan la información de superficie para realizar otras operaciones de fabricación, analíticas o de medición que implican o se refieren a la superficie, tales como, por ejemplo, procesamiento óptico o calibrado. Alternativamente, el sistema puede estar integrado en un único sistema que usa los mismos procesadores o procesadores adicionales para realizar una o más de tales funciones analíticas o de medición.

Por ejemplo, el sistema también puede incluir lógica que usa la descripción matemática tridimensional de la superficie para realizar una o más operaciones de procesamiento óptico para analizar las características ópticas de la lámina de vidrio para medir, por ejemplo, el nivel de distorsión óptica reflejada en zonas de interés sobre la superficie y visualizar o notificar de otro modo información seleccionada asociada con el análisis.

Alternativa o adicionalmente, el sistema puede incluir lógica que usa la descripción matemática tridimensional de la superficie para comparar la superficie desarrollada con una superficie a modo de ejemplo predefinida y visualizar o notificar de otro modo información seleccionada asociada con la comparación.

El sistema también o alternativamente puede estar integrado con otras funciones analíticas y de notificación tal como se describió anteriormente.

El sistema puede usar un único ordenador que controla el transportador y el funcionamiento de las cámaras e incluye la lógica de adquisición de datos de superficie anteriormente descrita, así como la lógica de procesamiento de distorsión óptica. Alternativamente, el control de transportador, controles de cámaras, adquisición de datos de superficie y procesamiento óptico pueden estar integrados pero implementarse en procesadores independientes o múltiples, en uno o más controladores de lógica programable y/u ordenadores.

#### **Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 es una vista de extremo parcial esquemática de una realización del sistema dado a conocer;

la figura 2 es una vista desde arriba esquemática del sistema de la figura 1;

la figura 3 es una vista esquemática de un patrón de tres frecuencias que puede emplearse en una realización del sistema;

la figura 4 es una vista esquemática de un patrón de dos frecuencias que puede emplearse en otra realización del sistema;

la figura 5 es una vista esquemática desde arriba de la disposición de múltiples pares de elemento de visualización/cámara mostrada en la figura 2 que incluye la orientación angular de los elementos de visualización/cámaras para una pieza de vidrio particular;

la figura 6 es una vista desde arriba de una lámina de vidrio curvada particular que ilustra las zonas de la superficie de lámina de vidrio analizadas por cada uno de los pares de elemento de visualización/cámara usados en el sistema de la figura 1;

la figura 7 es un diagrama de flujo que describe la lógica empleada en una realización del sistema dado a conocer;

la figura 8 es una ilustración esquemática de los parámetros geométricos pertinentes que pueden usarse para determinar la elevación de un único punto sobre la superficie de la lámina de vidrio según las etapas representadas en la figura 9;

la figura 9 es un diagrama de flujo que describe la lógica de resolución de puntos de superficie empleada en una

realización de la porción de desarrollo de superficie del sistema;

la figura 10 es un diagrama esquemático de una realización del sistema dado a conocer instalado en línea en una línea de conformación y templado de vidrio de automóviles típica; y

la figura 11 es un diagrama esquemático de otra realización del sistema dado a conocer instalado en línea en una línea de conformación de parabrisas de automóviles típica.

### Descripción detallada

Tal como se requiere, en el presente documento se dan a conocer realizaciones detalladas de la presente invención. Sin embargo, debe entenderse que las realizaciones dadas a conocer son simplemente a modo de ejemplo de la invención que puede implementarse de diversas formas alternativas. Las figuras no están necesariamente a escala; algunas características pueden exagerarse o minimizarse para mostrar detalles de componentes particulares. Por tanto, detalles estructurales y funcionales específicos dados a conocer en el presente documento no deben interpretarse como limitativos, sino simplemente como una base representativa para enseñar a un experto en la técnica a emplear de diversas maneras la presente invención.

Haciendo referencia a la figura 1, se da a conocer un sistema de adquisición datos de superficie de lámina de vidrio y de desarrollo de definición de superficie, generalmente indicado como 10, e incluye un transportador 12 que transporta la lámina de vidrio G en una primera dirección generalmente paralela a una primera dimensión de la lámina de vidrio. En la realización representada, la lámina de vidrio contorneada G es un parabrisas o luneta trasera de vehículo generalmente rectangular, que tiene una primera dimensión que es la dimensión relativamente más pequeña (y que puede denominarse alternativamente altura) y una segunda dimensión relativamente más grande (que puede denominarse alternativamente anchura). La lámina de vidrio G está curvada alrededor de uno o más ejes de curvatura que son generalmente paralelos a la primera dirección. El transportador 12 puede ser un único transportador dedicado únicamente a transportar la lámina de vidrio G a través del sistema de inspección óptico 10 que puede estar configurado y/o hacerse funcionar como un sistema de inspección óptico autónomo. Alternativamente, el transportador 12 puede ser uno de una serie de transportadores que transportan la lámina de vidrio a través de una variedad de estaciones de procedimiento, tales como, por ejemplo, estaciones de calentamiento, conformación y recocido o templado encontradas en sistemas de fabricación de lámina de vidrio de automóviles, arquitectónico y/o solar típicos.

El sistema de adquisición de datos de superficie de lámina de vidrio y de desarrollo de definición de superficie 10 representado en las figuras 1 y 2 también incluye dos o más elementos de visualización 14 — 24. Cada elemento de visualización proyecta un patrón de contraste, tal como, por ejemplo, los patrones mostrados en las figuras 3 y 4, patrón que se proyecta sobre la superficie de la lámina de vidrio a medida que se transporta por debajo de las pantallas. El sistema 10 representado también incluye dos o más cámaras 28 — 40. Cada una de las cámaras 28 - 40 está emparejada de manera única con uno de cada uno del número correspondiente de elementos de visualización 14 — 26. En la realización representada del sistema 10, una abertura está formada en el centro de cada uno de los elementos de visualización 14 — 26. La cámara asociada con un elemento de visualización particular está montada de tal manera que la abertura de visualización de la cámara se extiende a través de la abertura en su elemento de visualización asociado de tal manera que el acceso de visualización principal de la cámara es perpendicular a la superficie de la pantalla. Evidentemente, los expertos en la técnica apreciarán que cada cámara puede estar dispuesta alternativamente en otras ubicaciones con respecto a su elemento de visualización asociado, siempre que la cámara esté posicionada para detectar la imagen reflejada del patrón proyectado sobre la superficie de la lámina de vidrio a partir de ese elemento de visualización y no detectar imágenes reflejadas de patrones proyectados a partir de otros elementos de visualización en su campo de visión.

Haciendo todavía referencia a las figuras 1 y 2, el número y la colocación de los elementos de visualización dependen del tamaño de los elementos de visualización, así como la anchura y la curvatura de la lámina de vidrio. En la realización representada del sistema 10, los pares de cámara/elemento de visualización están posicionados de tal manera que el eje de visualización principal de cada cámara es generalmente perpendicular a la superficie de la lámina de vidrio. El número total de pares de cámara/elemento de visualización debe ser suficiente de tal manera que el número total de patrones proyectados abarque toda la anchura de la superficie de la pieza de lámina de vidrio que va a analizarse.

Haciendo de nuevo referencia a la figura 1, el sistema de adquisición de datos de superficie de lámina de vidrio y de desarrollo de definición de superficie 10 también incluye un control programable, representado en esta realización como un ordenador 42, que incluye al menos un procesador programado para detectar la lámina de vidrio a medida que avanza sobre el transportador, controlar cada una de las cámaras 28 — 40 para adquirir una o más imágenes del patrón reflejadas a partir de la superficie de la lámina de vidrio a medida que se transporta por debajo de las cámaras/elementos de visualización y construir la definición de la superficie de lámina de vidrio (usando, por ejemplo, la técnica representada y descrita en las figuras 7-9 y tal como se describe adicionalmente a continuación en el presente documento).

En cualquier realización del sistema 10 (tal como la realización representada en las figuras) en la que el campo de visión de una cámara en cualquier zona de anchura es menor que la primera dimensión (altura) de la lámina de vidrio, el control de sistema puede estar programado para adquirir múltiples imágenes a medida que se transporta el vidrio en la primera dirección. Se apreciará que el número de imágenes adquiridas por cada cámara debe ser suficiente para que la información de superficie desarrollada a partir de cada imagen (tal como se describe a continuación en el presente documento) pueda combinarse para formar una descripción de toda la superficie a través de la altura (es decir, en la dirección de transporte) de la lámina de vidrio.

Cuando, como en la realización representada, las cámaras están montadas con su abertura de visualización extendiéndose a través de una abertura en el elemento de visualización, el control de sistema 42 puede estar programado para adquirir múltiples imágenes a medida que se transporta el vidrio en la primera dirección para garantizar que se obtiene una imagen del patrón reflejado en una imagen anterior o posterior de la lámina en movimiento para aquella porción de la superficie de la lámina de vidrio que, en una cualquiera de las imágenes capturadas, está en la zona de reflexión de la abertura de elemento de visualización. De nuevo, se apreciará que el número de imágenes adquiridas por cada cámara también debe ser suficiente para que la información de superficie desarrollada a partir de cada imagen (tal como se describe a continuación en el presente documento) pueda combinarse para formar una descripción de toda la superficie a través de la altura en la zona en la que una única imagen puede incluir una imagen de la abertura de elemento de visualización en vez del patrón reflejado.

Las descripciones de superficie para cada una de las cámaras se combinan de manera similar para formar una descripción de toda la superficie a través de la anchura (o a través de la zona de interés en la dirección de la anchura) de la lámina de vidrio.

Haciendo referencia a la figura 3, en una realización el patrón de pantalla es un patrón de tres frecuencias construido mediante superposición de tres patrones sinusoidales de frecuencia diferente en cada una de las direcciones x e y del sistema de coordenadas empleado por la lógica de sistema. Debe observarse que, en la realización ilustrada, los ejes del sistema de coordenadas x-y se eligen para estar orientados de tal manera que coinciden con los ejes x e y del elemento de visualización (y, además, el eje y es paralelo a la dirección de desplazamiento del transportador y el eje x es ortogonal a la dirección de desplazamiento del transportador).

Los patrones sinusoidales se eligen y se combinan para garantizar que la porción del patrón resultante que aparece en el elemento de visualización no es repetitiva, garantizando de ese modo que, para los datos de imagen recopilados, cada píxel en el campo de visión de la cámara corresponderá de manera única a un único punto en el elemento de visualización. Cada una de las tres frecuencias puede ser valores relativamente primos y se seleccionan de tal manera que están separadas dentro de la envolvente de frecuencias limitada por los límites de frecuencia mínima y máxima de la óptica de la cámara.

Después puede deconstruirse matemáticamente la imagen de este patrón de tres frecuencias reflejado a partir de la superficie de la lámina de vidrio para dar tres imágenes de frecuencias individuales en cada una de la dirección x e y. Después puede aislarse información de fase correspondiente a cada una de las tres frecuencias y usarse tal como se describe a continuación en el presente documento para desarrollar una descripción tridimensional precisa de la superficie de lámina de vidrio.

En otra realización, ilustrada en la figura 4, puede usarse un patrón de dos frecuencias. Este patrón de dos frecuencias puede construirse mediante superposición de dos patrones sinusoidales de frecuencia diferente en cada una de dos direcciones ortogonales que se hacen rotar (o se inclinan) alrededor de los ejes que se usan para separar el análisis en componentes ortogonales, de tal manera que cada uno de los componentes sinusoidales del patrón proporciona información de fase en ambas direcciones x e y. En la realización ilustrada, los ejes del sistema de coordenadas x, y que se usan por la lógica de sistema para separar el análisis en componentes ortogonales coinciden con los ejes x e y del elemento de visualización (y el eje y también coincide con la dirección de transporte).

Por tanto, en la realización ilustrada, las direcciones ortogonales de los patrones sinusoidales están inclinadas con respecto a los ejes x e y del elemento de visualización. Sin embargo, se apreciará que puede elegirse cualquier otra orientación conveniente para los ejes que se usan por el sistema para separar el análisis en componentes ortogonales, siempre que los patrones sinusoidales se hagan rotar alrededor de los ejes que se usan para separar el análisis en componentes ortogonales para proporcionar información de fase en ambas direcciones x e y.

De nuevo, los patrones sinusoidales se eligen (frecuencias relativamente primas y separadas tal como se describió anteriormente) y se combinan para garantizar que la porción del patrón resultante que aparece en el elemento de visualización no es repetitiva, garantizando de ese modo que en los datos de imagen recopilados cada píxel en el campo de visión de la cámara corresponderá de manera única a un único punto en el elemento de visualización.

Después puede deconstruirse matemáticamente de manera similar la imagen de este patrón de dos frecuencias reflejado a partir de la superficie de la lámina de vidrio. De nuevo, puede aislarse información de fase correspondiente a cada una de las dos frecuencias y usarse tal como se describe a continuación en el presente documento para desarrollar una descripción tridimensional precisa de la superficie de lámina de vidrio.

Los expertos en la técnica apreciarán que, empleando un patrón no repetitivo de múltiples frecuencias y empleando la técnica de deflectometría descrita a continuación en el presente documento, puede obtenerse una descripción matemática precisa de la superficie de lámina de vidrio a partir de una única imagen para cada punto sobre la superficie de la lámina de vidrio a partir de la cual la cámara detecta el patrón reflejado. Por tanto, no es necesario capturar usar múltiples patrones y/o múltiples imágenes, excepto tal como se describe en el presente documento cuando se adquieren múltiples imágenes a medida que se mueve la lámina de vidrio sobre el transportador para construir una superficie para esa porción de la lámina de vidrio que no refleja el patrón proyectado en ninguna imagen adquirida individual (por ejemplo, (1) la porción de la lámina de vidrio directamente por debajo de la abertura en la pantalla, o (2) para la porción de la lámina de vidrio que no está en la zona de visualización de la cámara debido al hecho de que la altura de la lámina de vidrio es mayor que el patrón proyectado a partir de la pantalla en la dirección de transporte).

Haciendo ahora referencia a las figuras 5 y 6, en la realización ilustrada, y para la pieza de lámina de vidrio G representada, la segunda dimensión (anchura) de la lámina de vidrio se dividió en siete zonas. Estas zonas se identificaron según se requirió debido a la dimensión del patrón de elemento de visualización observado por la cámara y la dimensión de anchura y la curvatura de la pieza de lámina de vidrio particular. En este ejemplo, el elemento de visualización de primera zona 20 está orientado formando un ángulo de aproximadamente 25° en el sentido contrario a las agujas del reloj con respecto a la horizontal (cuando se observa como en la figura 1), el elemento de visualización 18 está inclinado a aproximadamente 15° en el sentido contrario a las agujas del reloj, el elemento de visualización 16 está inclinado a aproximadamente 7,5° en el sentido contrario a las agujas del reloj, el elemento de visualización 14 es aproximadamente horizontal, el elemento de visualización 22 está inclinado a aproximadamente 7,5° en el sentido de las agujas del reloj con respecto a la horizontal, el elemento de visualización 24 está inclinado a aproximadamente 15° en el sentido de las agujas del reloj y el elemento de visualización 26 está inclinado a aproximadamente 25° en el sentido de las agujas del reloj. En la realización ilustrada, los siete elementos de visualización 14 — 26 están dispuestos en la dirección de transporte de la lámina de vidrio G. Sin embargo, tal como apreciarán los expertos en la técnica, otras disposiciones pueden ser óptimas para piezas de lámina de vidrio de diferentes anchuras y curvaturas, siempre que las pantallas estén dispuestas de tal manera que cada cámara asociada solo detecte el patrón reflejado a partir de su elemento de visualización asociado en su campo de visión y las zonas de superficie detectadas por todas las cámaras juntas comprendan la superficie a través de toda la anchura de la pieza de lámina de vidrio.

El sistema de adquisición de datos de superficie de lámina de vidrio y de desarrollo de definición de superficie 10 incluye un sistema de adquisición de datos de superficie que emplea los pares de cámara y elemento de visualización anteriormente descritos e imágenes adquiridas, así como lógica para desarrollar una descripción tridimensional precisa de la superficie a partir de los patrones reflejados a partir de cada imagen, y lógica para combinar las descripciones de superficie desarrolladas a partir de las imágenes tal como se describe a continuación en el presente documento para obtener una descripción matemática precisa de toda la superficie de la lámina de vidrio.

El sistema 10 también puede incluir, además del sistema de adquisición de datos de superficie, uno o más ordenadores y/o controles programables que incluyen lógica para procesar los datos de superficie adquiridos para analizar las características ópticas de la lámina de vidrio.

El sistema de adquisición de datos de superficie de lámina de vidrio y de desarrollo de definición de superficie 10 puede incorporarse, a su vez, en un sistema para fabricar láminas de vidrio que incluye una o más estaciones de procesamiento y uno o más transportadores para transportar las láminas de vidrio desde una estación hasta otra durante el procesamiento, tal como los sistemas de fabricación 200 y 300 mostrados esquemáticamente en las figuras 10 y 11.

La figura 7 describe el método 80 realizado por la lógica de control del sistema 10 dado a conocer. Cuando el sistema 10 determina que una lámina de vidrio está en la posición apropiada sobre el transportador, el sistema activa la(s) cámara(s) apropiada(s), en 82, para adquirir una imagen del patrón reflejado a partir de la superficie de la lámina de vidrio. La posición de las láminas de vidrio puede determinarse usando sensores convencionales.

Tal como se indica en 84, pueden obtenerse una o más imágenes adicionales a partir de cada cámara, según se requiera, a medida que se mueve la lámina de vidrio sobre el transportador. Tal como se describió anteriormente, el número de imágenes adquiridas por cada cámara está determinado mediante al menos dos consideraciones. En primer lugar, en realizaciones del sistema en las que las cámaras están montadas dentro de una abertura de sus elementos de visualización asociados, debe adquirirse un número suficiente de imágenes para garantizar que el sistema adquiere una imagen reflejada del patrón para todos los puntos en la zona de visualización, incluyendo los puntos a partir de los cuales no se refleja el patrón de elemento de visualización en una imagen particular debido al hecho de que está ubicado dentro de la zona que incluye una reflexión de la abertura. En segundo lugar, pueden requerirse múltiples imágenes a medida que se transporta el vidrio a través de la zona de visualización de la cámara en realizaciones del sistema en las que el campo de visión de la cámara no es lo suficientemente grande como para adquirir una reflexión del patrón de elemento de visualización a partir de la superficie de la lámina de vidrio a través

de la totalidad de su primera dimensión (es decir, toda la altura) en una imagen.

Para cada una de las imágenes adquiridas, el sistema, en 86, debe determinar la ubicación precisa en el espacio tridimensional de cada punto sobre la superficie de la lámina de vidrio basándose en el patrón reflejado en la imagen. Tal como se describió anteriormente, el uso de un patrón que no se repite en la zona de visualización de la cámara garantiza que cada punto en la pantalla de elemento de visualización que se refleja dentro de la zona de visualización de la cámara estará asociado de manera única con un píxel que detecta el patrón reflejado. Pueden emplearse técnicas de procesamiento de imágenes convencionales para determinar las ubicaciones en x e y (es decir, en el plano focal de la cámara) para cada punto sobre la superficie de la lámina de vidrio que está en la zona de visualización de la cámara para esa imagen. Pueden emplearse otras técnicas de procesamiento conocidas para determinar la ubicación en z (también conocida como la elevación) de cada punto. En la realización dada a conocer, se emplea una técnica de vector de mapeo (tal como se representa en las figuras 8 y 9, y tal como se describe más completamente a continuación en el presente documento) para determinar la elevación de cada punto individual sobre la superficie del vidrio a partir de la imagen del patrón proyectado reflejado.

En una realización, los valores de x, y y z desarrollados para cada punto en la zona de visualización de una cámara particular se desarrollan normalmente en un sistema de coordenadas asociado con esa cámara. En una realización, por ejemplo, el origen del sistema de coordenadas para cada cámara se establece en el origen de esa cámara 98 (tal como se muestra en la figura 8). La colección resultante de puntos asociados con la superficie en la zona de visualización de cada cámara ("la nube de puntos") puede combinarse entonces para cada imagen recopilada por esa cámara.

Después, el sistema, en 88, combina los datos de superficie desarrollados para cada una de las imágenes adquiridas a partir de todas las cámaras para obtener la definición de superficie que identifica la ubicación de cada punto en el espacio tridimensional para toda la superficie de la lámina de vidrio. En una realización, se convierten las nubes de puntos para cada cámara en un sistema de coordenadas común ("global") y después se combinan las nubes de puntos para formar toda la superficie.

Se apreciará que pueden seleccionarse uno más de otros sistemas/orígenes de coordenadas y emplearse basándose en una arquitectura de cámara/elemento de visualización del sistema particular y/o por conveniencia de cálculo. De manera similar, la combinación de la superficie desarrollada a partir de las imágenes adquiridas individuales puede realizarse usando otras técnicas de procesamiento de datos de imagen convencionales.

Las figuras 8 y 9 ilustran, respectivamente, la base teórica y el método realizado por la lógica de control para determinar la elevación (valor de z) de cada punto sobre la superficie del vidrio a partir de la imagen del patrón proyectado reflejado para cada imagen adquirida. La figura 8 ilustra las relaciones geométricas pertinentes entre la cámara 28, la pantalla de elemento de visualización 14 y la superficie de la lámina de vidrio G. Los tres principios usados para determinar la elevación de un único punto sobre la superficie de la lámina de vidrio a partir de una imagen proyectada reflejada son (1) la superficie de cualquier objeto puede definirse mediante el vector normal 92 para cada punto diferenciado de la superficie; (2) la ley de reflexión define el vector normal 92 en cada punto bisecando el ángulo entre el rayo incidente 94 y el rayo reflejado 96 de luz (también denominado en el presente documento ecuación de "óptica geométrica" o "ángulo de reflexión"); y (3) el vector normal también puede definirse mediante la geometría diferencial que describe cada punto sobre la superficie de la lámina de vidrio (también denominado en el presente documento ecuación de "geometría diferencial").

Haciendo todavía referencia a la figura 8, basándose en la ley de reflexión, el rayo incidente está definido totalmente por las características intrínsecas de la cámara. Por tanto, cada píxel en la célula de receptor de la cámara en el origen de la cámara 98 observa un punto en el espacio a distancias variables a través de la lente. Continuando con la ley de reflexión, el rayo reflejado 96 está definido por una posición de pantalla y un punto de superficie en el vidrio. La distancia está restringida únicamente en el lugar en el que interseca el rayo incidente 94. Hay dos expresiones matemáticas que definen el vector normal 92. Una se deriva de la ley de reflexión. La segunda ecuación diferencial se deriva de la diferenciación parcial geométrica en cualquier punto sobre la superficie. Para resolver las ecuaciones diferenciales correspondientes, se necesita establecer un vector de mapeo 100, que define, para cada píxel, el lugar en el que el rayo reflejado incidirá en el patrón proyectado sobre el elemento de visualización (observado desde el origen de cámara). Una vez establecido el campo de mapeo (es decir, el conjunto de vectores de mapeo para cada píxel en el campo de visión de la cámara), pueden calcularse las distancias entre el origen de la cámara y cada punto diferenciado sobre la superficie.

La ecuación de óptica geométrica es:

$$\vec{n} = \|\vec{v}\| \left( \vec{m} - s \frac{\vec{v}}{|\vec{v}|} \right) - \left\| \vec{m} - s \frac{\vec{v}}{|\vec{v}|} \right\| (\vec{v})$$

donde n es la normal a la superficie, v es el vector de píxel de cámara, m es el vector de mapeo y s es la distancia

desde la cámara hasta la superficie (a lo largo del vector de cámara de modo que el punto de superficie  $(p=s\frac{v}{|v|})$ ).

La geometría diferencial describe los puntos sobre la superficie de la lámina de vidrio:

5 
$$\vec{n} = \frac{\partial \vec{p}}{\partial x} \times \frac{\partial \vec{p}}{\partial y}$$

Dado que n es el producto vectorial de los dos diferenciales, por definición es ortogonal a ambos, proporcionando:

10 
$$\vec{n} \cdot \frac{\partial \vec{p}}{\partial x} = \vec{n} \cdot \frac{\partial \vec{p}}{\partial y} = 0$$

Resolviendo los mismos para determinar la elevación, s:

15 
$$\begin{aligned} (\|\vec{v}\| \left( \vec{m} - s \frac{\vec{v}}{|\vec{v}|} \right) - \left\| \vec{m} - s \frac{\vec{v}}{|\vec{v}|} \right\| (\vec{v})) \cdot \frac{\partial \vec{p}}{\partial x} &= 0 \\ (\|\vec{v}\| \left( \vec{m} - s \frac{\vec{v}}{|\vec{v}|} \right) - \left\| \vec{m} - s \frac{\vec{v}}{|\vec{v}|} \right\| (\vec{v})) \cdot \frac{\partial \vec{p}}{\partial y} &= 0 \end{aligned}$$

La figura 9 ilustra cómo un ordenador programado de manera adecuada podría implementar esta técnica de vector de mapeo 102. En 104 el sistema desarrolla un vector de mapeo que define el lugar en el que el rayo reflejado se proyecta en el elemento de visualización (de nuevo, observado matemáticamente desde el origen de cámara). Una primera expresión, la ecuación de óptica geométrica, en 106, define el vector normal a la superficie para cada punto sobre la superficie de lámina de vidrio dentro de la zona de visualización de la cámara basándose en la ley de reflexión. Una segunda ecuación, la ecuación de geometría diferencial, en 108, define el vector normal a la superficie basándose en la multiplicación de los diferenciales parciales que describen el punto sobre la superficie en las direcciones x, y. Estas dos ecuaciones pueden resolverse simultáneamente usando el vector de mapeo para obtener la elevación, s (es decir, la distancia z, la distancia entre la superficie de vidrio y el origen de cámara) para cada punto sobre la superficie de lámina de vidrio que está dentro de la zona de visualización de la cámara. Esta información, acoplada con las ubicaciones en x e y anteriormente desarrolladas de cada punto de superficie, proporciona una descripción específica, en x, y y z, para cada punto sobre la superficie.

Los expertos en la técnica apreciarán que pueden usarse otros métodos conocidos para desarrollar ubicaciones no ambiguas en tres dimensiones para cada uno de los puntos sobre la superficie de la lámina de vidrio basándose en las ubicaciones en x e y no ambiguas de los patrones reflejados en cada ubicación de píxel de la imagen y la relación geométrica entre el plano focal de la cámara, la pantalla de elemento de visualización y la lámina de vidrio. Sin embargo, se ha determinado que la elevación de cada punto sobre la superficie de la lámina de vidrio puede determinarse rápidamente usando los principios descritos anteriormente e ilustrados en la figura 8, y la técnica descrita anteriormente e ilustrada en la figura 9, sin recurrir a proyectar múltiples patrones variables y/o analizar múltiples imágenes de la misma zona de visualización para así determinar una definición tridimensional de la superficie de vidrio.

Haciendo de nuevo referencia a las figuras 1 y 2, el sistema de adquisición de datos de superficie de lámina de vidrio y de desarrollo de definición de superficie 10 dado a conocer puede montarse en línea para inspeccionar láminas de vidrio a medida que se transportan sobre un transportador asociado con un sistema de procesamiento de lámina de vidrio que realiza múltiples operaciones de fabricación con las láminas de vidrio. El sistema 10 dado a conocer incluye un sistema de adquisición de datos de superficie y un ordenador que incluye lógica para recibir los datos de imagen capturados y desarrollar una descripción tridimensional de la superficie de lámina de vidrio a partir de los datos de imagen. El sistema 10 también puede realizar uno o más análisis usando la superficie desarrollada, tales como procesamiento óptico conocido, calibrado y/u otros análisis relacionados con la superficie tal como se describió anteriormente y visualizar o notificar de otro modo información seleccionada asociada con los análisis. Tal como se describió anteriormente, el ordenador 42 puede estar operativamente conectado al transportador y a las cámaras para realizar la adquisición de imágenes, el desarrollo de superficie y el procesamiento óptico descritos en el presente documento. Alternativamente, el ordenador 42 puede combinarse con uno o más de otros ordenadores y/o controles programables para realizar estas funciones.

El sistema 10 también puede programarse por el usuario para visualizar de manera gráfica y numérica características de la superficie, incluyendo, por ejemplo, diversas marcas de distorsión óptica y/o calibrado y/u otras marcas consideradas relevantes en la industria para el análisis de la calidad de láminas de vidrio conformadas y fabricadas.

Las cámaras digitales 28 — 40 están conectadas, cada una, a través de una línea de datos convencional a uno o más ordenadores, tales como el ordenador 42, que pueden estar programados de manera adecuada para adquirir

los datos de imagen digital a partir de la cámara, procesar los datos de imagen para obtener la definición de superficie deseada para la lámina de vidrio y analizar los datos para desarrollar diversas marcas de distorsión. El ordenador 42 también puede estar programado para presentar la información desarrollada en formas tanto gráfica (por ejemplo, imágenes con código de color) como estadística. Si se desea, pueden derivarse y notificarse otros diversos datos estadísticos para zonas predefinidas de la lámina de vidrio.

Tal como apreciarán los expertos en la técnica, el sistema de adquisición de datos de superficie de lámina de vidrio y de desarrollo de definición de superficie 10 puede emplear adicional o alternativamente otras técnicas de procesamiento de imágenes conocidas para recopilar y analizar los datos de imagen adquirida y desarrollar una definición de la superficie.

En una realización, los elementos de visualización 14 — 26 son cajas de luz que usan iluminación convencional (tal como luces fluorescentes) detrás de un panel translúcido sobre el cual se imprime, pinta o aplica de otro modo el patrón de contraste usando métodos convencionales. Las cámaras digitales 28 - 40 están conectadas al ordenador 60 usando métodos conocidos, preferiblemente de modo que la adquisición de la imagen por la cámara puede controlarse por el ordenador 42.

La figura 10 ilustra un sistema de calentamiento, doblado y templado de lámina de vidrio típico 200 que incluye el sistema de adquisición de datos de superficie de lámina de vidrio y de desarrollo de definición de superficie en línea 10. En esta instalación, las láminas de vidrio (indicadas como G) entran en una zona de calentamiento 202 en la que se ablanda el vidrio hasta una temperatura adecuada para conformar el vidrio para dar la forma deseada. Después se transporta la lámina de vidrio calentada hasta una estación de doblado 204 en la que se conforma la lámina ablandada para dar la forma deseada y después de eso se transporta adicionalmente hasta una estación de enfriamiento 206 en la que se enfría la lámina de vidrio de una manera controlada para lograr las características físicas apropiadas. En esta realización, la lámina de vidrio se transportará entonces fuera de la estación de enfriamiento sobre un transportador a partir del cual se transporta la lámina para la adquisición de imágenes y el análisis mediante el sistema 10 dado a conocer. Tras la medición, se moverá la lámina de vidrio sobre el transportador 12 para su procesamiento adicional. Se apreciará que el transporte y transferencia del vidrio pueden lograrse usando técnicas conocidas tales como mediante transportadores de cintas, flotación por aire o rodillos, posicionadores y brazos robóticos, con el fin de manipular el vidrio de la manera descrita. También se apreciará que una pluralidad de transportadores, cada uno de los cuales puede controlarse independientemente para mover las láminas de vidrio a través de las diferentes estaciones de procesamiento a velocidades para controlar de manera eficiente el flujo y procesamiento de las láminas de vidrio a través del sistema 200.

La figura 11 ilustra esquemáticamente de manera similar un sistema de adquisición de datos de superficie de lámina de vidrio y de desarrollo de definición de superficie en línea 10 en un sistema de fabricación de parabrisas de automóviles típico 300, que puede incluir una estación de calentamiento 302, una estación de doblado 304, una estación de enfriamiento 306 y una estación de laminación 308, aguas arriba del sistema de inspección óptico 10.

Datos seleccionados emitidos por el sistema 10 también pueden proporcionarse como entrada a la lógica de control para el sistema de calentamiento, doblado y templado de lámina de vidrio asociado 200 (o sistema de fabricación de parabrisas de automóviles 300) para permitir que el/los control(es) asociado(s) con una o más de las estaciones del sistema de lámina de vidrio modifique(n) su(s) parámetros de funcionamiento en función de los datos ópticos desarrollados a partir de láminas de vidrio anteriormente procesadas.

Se apreciará que el sistema de adquisición de datos de superficie de lámina de vidrio y de desarrollo de definición de superficie 10 de la presente invención puede montarse alternativamente en línea en otros diversos puntos en los sistemas de fabricación de lámina de vidrio anteriormente descritos y otros según se desee para maximizar la tasa de producción del sistema, siempre que las mediciones de distorsión óptica se realicen después de haberse conformado la lámina de vidrio para obtener su forma final.

Aunque anteriormente se describieron realizaciones a modo de ejemplo, no se pretende que estas realizaciones describan todas las posibles formas de la invención. En vez de eso, los términos usados en la memoria descriptiva son términos de descripción en vez de limitación y se entiende que pueden realizarse diversos cambios sin alejarse del alcance de la invención tal como se define por las reivindicaciones adjuntas.

## REIVINDICACIONES

1. Sistema (10) para adquirir datos de superficie a partir de una de las superficies de una lámina de vidrio curvada generalmente rectangular (G) que tiene una superficie de interés con una primera dimensión y una segunda dimensión, en el que la lámina de vidrio (G) está curvada al menos alrededor de uno o más ejes de curvatura que son generalmente paralelos a la primera dimensión, y desarrollar una definición de superficie de la lámina de vidrio (G), comprendiendo el sistema (10):
- un transportador (12) para transportar la lámina de vidrio (G) en una primera dirección generalmente paralela a la primera dimensión de la lámina de vidrio (G);
- al menos dos elementos de visualización (14-26), proyectando cada uno de los elementos de visualización (14-26) un patrón de contraste preseleccionado,
- al menos dos cámaras (28-40); y
- un control programable que incluye al menos un procesador programado para ejecutar lógica para controlar cada una de las cámaras (28-40) para adquirir al menos una imagen del patrón reflejado del elemento de visualización asociado (14-26) en la lámina de vidrio a medida que se transporta la lámina de vidrio (G) a través de la trayectoria del patrón proyectado en la primera dirección, y lógica para analizar y combinar los datos adquiridos por las cámaras para construir datos de superficie representativos de la superficie de la lámina de vidrio (G);
- en el que cada una de las al menos dos cámaras (28-40) está emparejada de manera única con uno de los elementos de visualización (14-26), en el que cada uno de los pares de elementos de visualización (14-26) y cámara 2 está montado en una relación separada una distancia y ángulo conocidos con respecto a la superficie de la lámina de vidrio (G) de tal manera que la cámara detecta la imagen reflejada del patrón proyectado sobre la superficie de la lámina de vidrio (G) a partir de su elemento de visualización asociado, y en el que cada uno de los pares de elemento de visualización y cámara están separados unos de otros al menos en una segunda dirección a través de la segunda dimensión de la lámina de vidrio (G) de tal manera que cada cámara detecta la imagen reflejada del patrón proyectado sobre la superficie de la lámina de vidrio a partir tan solo de su elemento de visualización asociado, y en el que los patrones detectados por las cámaras (28-40) juntos cubren toda la superficie en la dirección de la segunda dimensión de la lámina de vidrio (G).
2. Sistema (10) según la reivindicación 1, caracterizado porque la primera dimensión es la dimensión menor de la lámina de vidrio (G) y la segunda dimensión es la dimensión mayor de la lámina de vidrio.
3. Sistema (10) según la reivindicación 1, caracterizado porque la lógica para analizar y combinar los datos adquiridos por las cámaras (28-40) para construir datos de superficie representativos de la superficie de la lámina de vidrio (G) incluye lógica para construir datos de superficie representativos de toda la superficie a través de la segunda dimensión de la lámina de vidrio (G).
4. Sistema (10) según la reivindicación 1, caracterizado porque una única imagen de los patrones reflejados proyectados por los elementos de visualización (14-26) a partir de cada una de las cámaras asociadas (28-40) no puede combinarse para definir datos representativos de la superficie de la lámina de vidrio (G) a través de la totalidad de la segunda dimensión de la lámina de vidrio (G) y en el que el control programable incluye al menos un procesador programado para ejecutar lógica para controlar cada una de las cámaras (28-40) para adquirir múltiples imágenes del patrón reflejado del elemento de visualización asociado (14-26) en la lámina de vidrio a medida que se transporta la lámina de vidrio (G) a través de la trayectoria del patrón proyectado en la primera dirección, y lógica para analizar y combinar los datos adquiridos por las múltiples imágenes adquiridas por cada una de las al menos dos cámaras (28-40) para construir datos de superficie representativos de la superficie de la lámina de vidrio a través de la totalidad de la primera dimensión de la lámina de vidrio (G).
5. Sistema (10) según la reivindicación 1, caracterizado porque cada uno de los elementos de visualización (14-26) incluye una abertura, y en el que la cámara asociada está montada detrás de su elemento de visualización asociado de tal manera que el eje principal de la cámara asociada es generalmente normal a la superficie del elemento de visualización y la imagen se recibe por la cámara a través de la abertura, y en el que el control programable incluye lógica para controlar cada una de las cámaras (28-40) para adquirir múltiples imágenes del patrón reflejado del elemento de visualización asociado en la lámina de vidrio (G) a medida que se transporta la lámina de vidrio en la primera dirección al menos para una distancia mayor que el tamaño de la abertura, y lógica para analizar y combinar los datos a partir de las múltiples imágenes para definir datos representativos de la superficie de la lámina de vidrio (G) en la zona para la que una cualquiera de las imágenes adquiridas incluye una imagen reflejada de la abertura.

6. Sistema (10) según la reivindicación 1, caracterizado porque la lógica para analizar y combinar los datos adquiridos por las cámaras (28-40) para construir datos de superficie representativos de la superficie de la lámina de vidrio (G) incluye al menos:
- 5 lógica para desarrollar, para cada píxel en la zona de visualización de la cámara para cada imagen adquirida, un vector de mapeo (100) que define el lugar en el que el rayo reflejado se proyecta desde el origen de cámara hasta el elemento de visualización asociado; y
- 10 lógica para desarrollar, para cada píxel en la zona de visualización de la cámara para cada imagen adquirida, el valor de elevación,  $s$ , del punto, resolviendo simultáneamente (1) la ecuación de óptica geométrica y (2) la ecuación de geometría diferencial, usando el vector de mapeo (100).
7. Sistema (10) según la reivindicación 1, caracterizado porque el patrón de contraste preseleccionado no se repite a través de toda la zona de visualización de la cámara.
- 15 8. Sistema (10) según la reivindicación 7, caracterizado porque el patrón de contraste preseleccionado es un patrón de tres frecuencias, construido mediante superposición de tres patrones sinusoidales de frecuencia diferente en cada una de las direcciones  $x$  e  $y$  del sistema de coordenadas empleado por la lógica de sistema.
- 20 9. Sistema (10) según la reivindicación 7, caracterizado porque el patrón de contraste preseleccionado es un patrón de dos frecuencias, construido mediante superposición de dos patrones sinusoidales de frecuencia diferente en cada una de las direcciones  $x$  e  $y$  del patrón, en el que los dos patrones sinusoidales de frecuencia diferente están rotados con respecto a los ejes del sistema de coordenadas empleado por la lógica de sistema.
- 25 10. Sistema (10) según la reivindicación 1, caracterizado porque el sistema está incorporado en un sistema para fabricar láminas de vidrio curvadas (G) que incluye múltiples estaciones de procesamiento y uno o más transportadores (12) para transportar la lámina de vidrio (G) desde una estación hasta otra durante el procesamiento.
- 30 11. Método para adquirir datos de superficie a partir de una lámina de vidrio curvada (G) y desarrollar una definición de superficie de la lámina de vidrio, teniendo la lámina de vidrio (G) una primera dimensión y una segunda dimensión, en el que la lámina de vidrio (G) está curvada al menos alrededor de uno o más ejes de curvatura que son generalmente paralelos a la primera dimensión, incluyendo el método al menos las etapas de:
- 35 transportar la lámina de vidrio (G) en una primera dirección generalmente paralela a la primera dimensión de la lámina de vidrio;
- 40 proyectar un patrón de contraste preseleccionado a partir de cada uno de al menos dos elementos de visualización (14-26) sobre la superficie de la lámina de vidrio (G)
- 45 proporcionar al menos dos cámaras (28-40);
- controlar cada una de las cámaras (28-40) para adquirir al menos una imagen del patrón reflejado de un elemento de visualización asociado de los al menos dos elementos de visualización (14-26) en la lámina de vidrio (G) a medida que se transporta la lámina de vidrio (G) a través de la trayectoria del patrón proyectado en la primera dirección; y
- 50 analizar y combinar los datos adquiridos por las cámaras (28-40) para construir datos de superficie representativos de la superficie de la lámina de vidrio (G);
- 55 en el que la etapa de proporcionar las cámaras incluye emparejar de manera única cada una de las cámaras con uno de los elementos de visualización (14-26), y montar cada par de elemento de visualización y cámara en una relación separada una distancia y ángulo conocidos con respecto a la superficie de la lámina de vidrio (G) para detectar la imagen reflejada del patrón proyectado sobre la superficie de la lámina de vidrio (G) a partir de su elemento de visualización asociado, y separar cada uno de los pares de elemento de visualización y cámara unos de otros al menos en una segunda dirección a través de la segunda dimensión de la lámina de vidrio (G) de tal manera que cada cámara detecta la imagen reflejada del patrón proyectado sobre la superficie de la lámina de vidrio (G) a partir tan solo de su elemento de visualización asociado, en el que los patrones detectados por las cámaras (28-40) juntos cubren toda la superficie en la dirección de la segunda dimensión de la lámina de vidrio (G).
- 60 12. Método según la reivindicación 11, caracterizado porque la etapa de analizar y combinar los datos adquiridos por las cámaras (28-40) para construir datos de superficie representativos de la superficie de la
- 65

lámina de vidrio (G) incluye además al menos las etapas de:

5 desarrollar, para cada píxel en la zona de visualización de la cámara para cada imagen adquirida, un vector de mapeo (100) que define el lugar en el que el rayo reflejado se proyecta desde el origen de cámara hasta el elemento de visualización asociado, y

10 desarrollar, para cada píxel en la zona de visualización de la cámara para cada imagen adquirida, el valor de elevación,  $s$ , del punto, resolviendo simultáneamente (1) la ecuación de óptica geométrica y (2) la ecuación de geometría diferencial, usando el vector de mapeo (100).

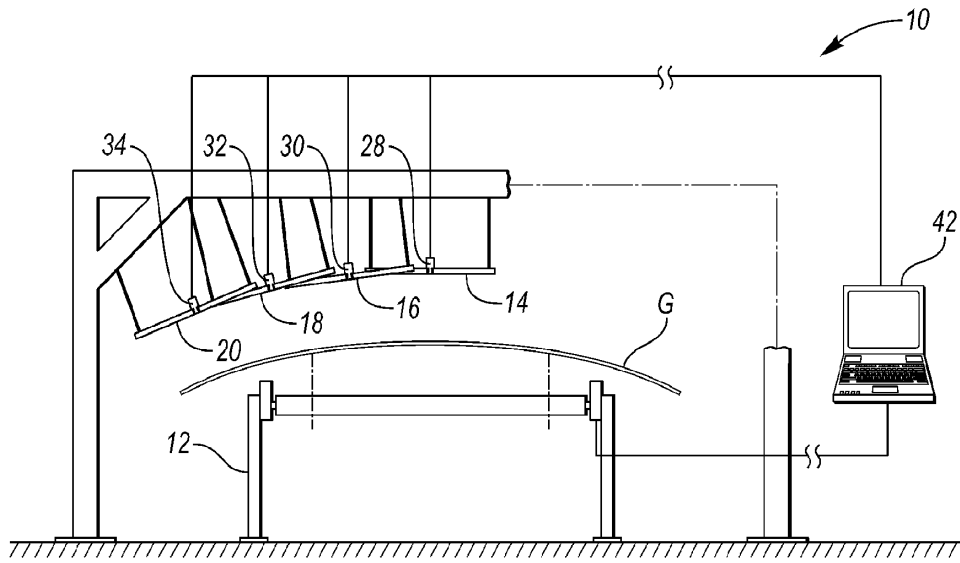


FIG. 1

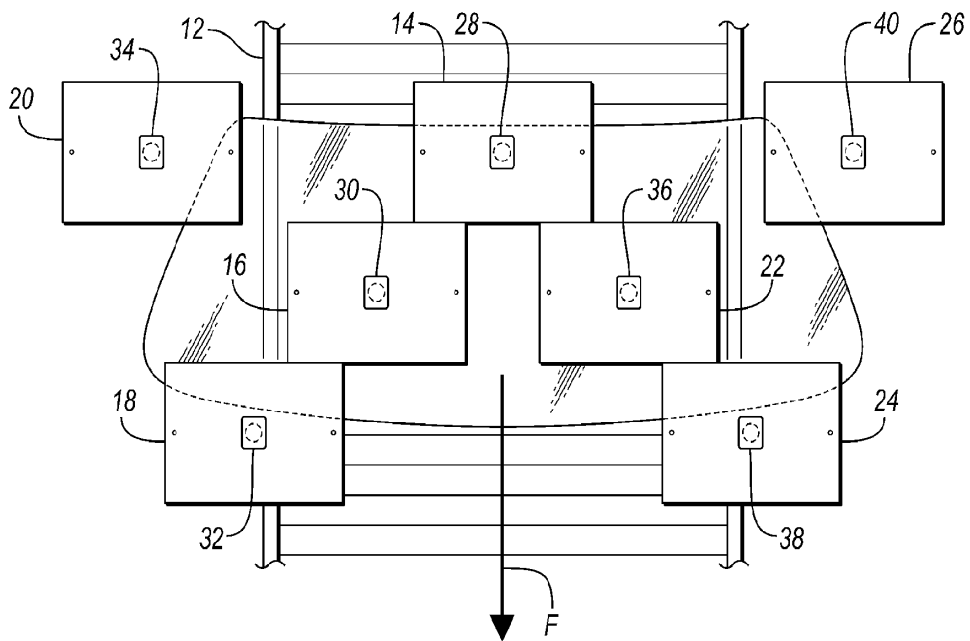
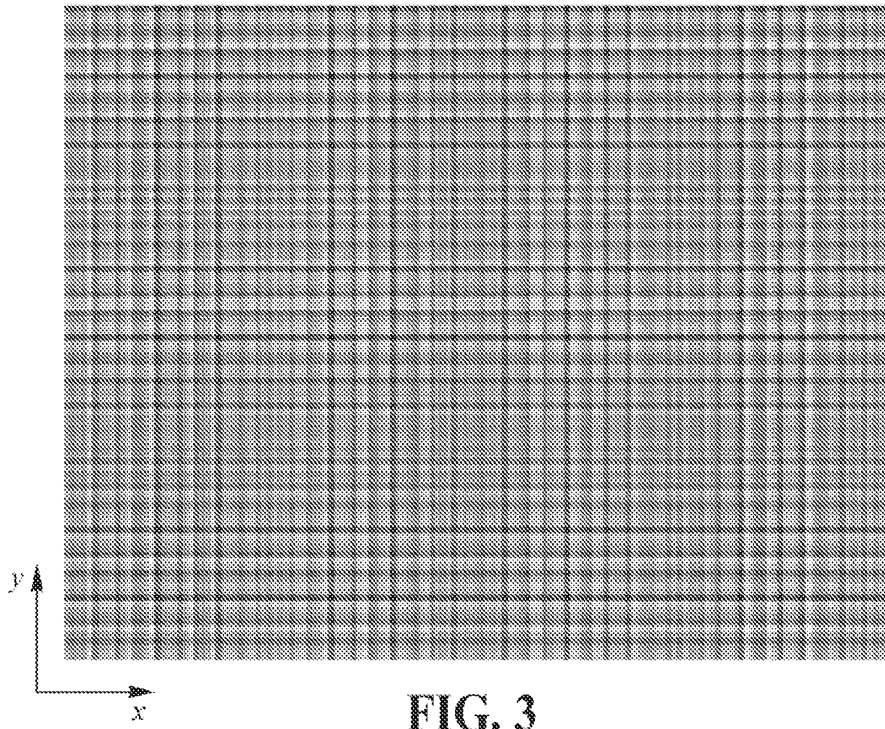
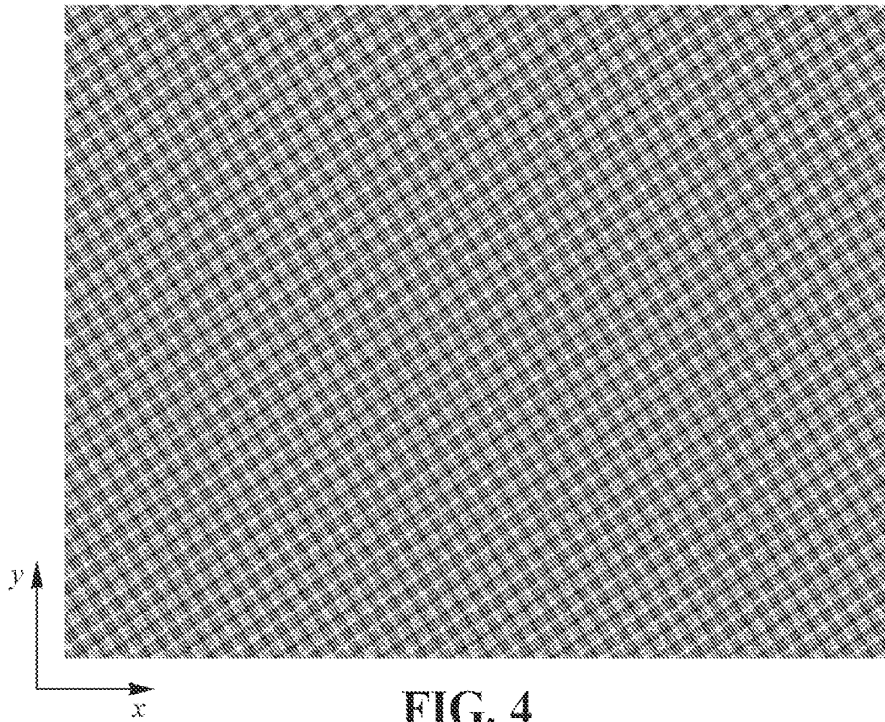


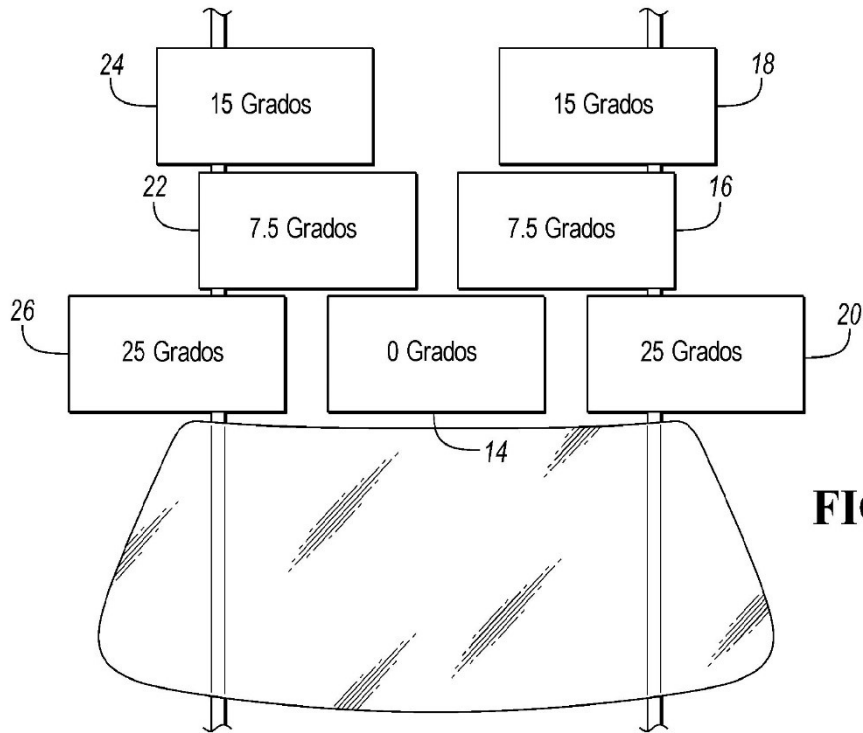
FIG. 2



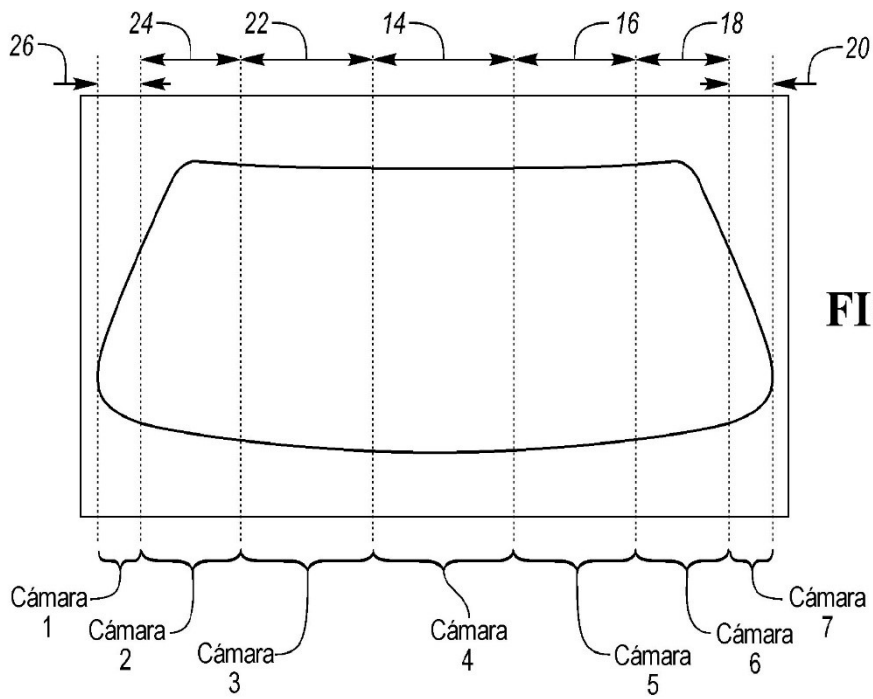
**FIG. 3**



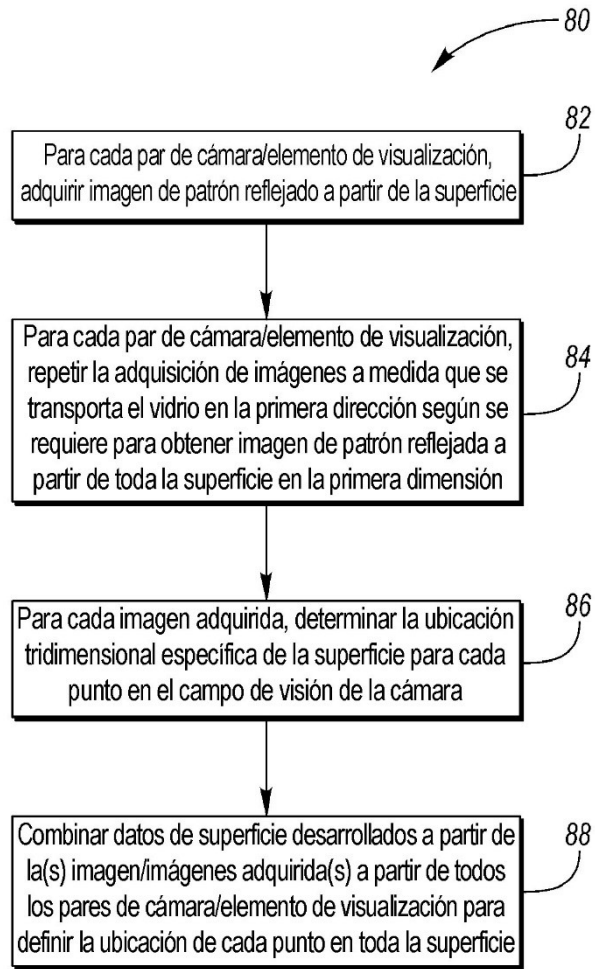
**FIG. 4**



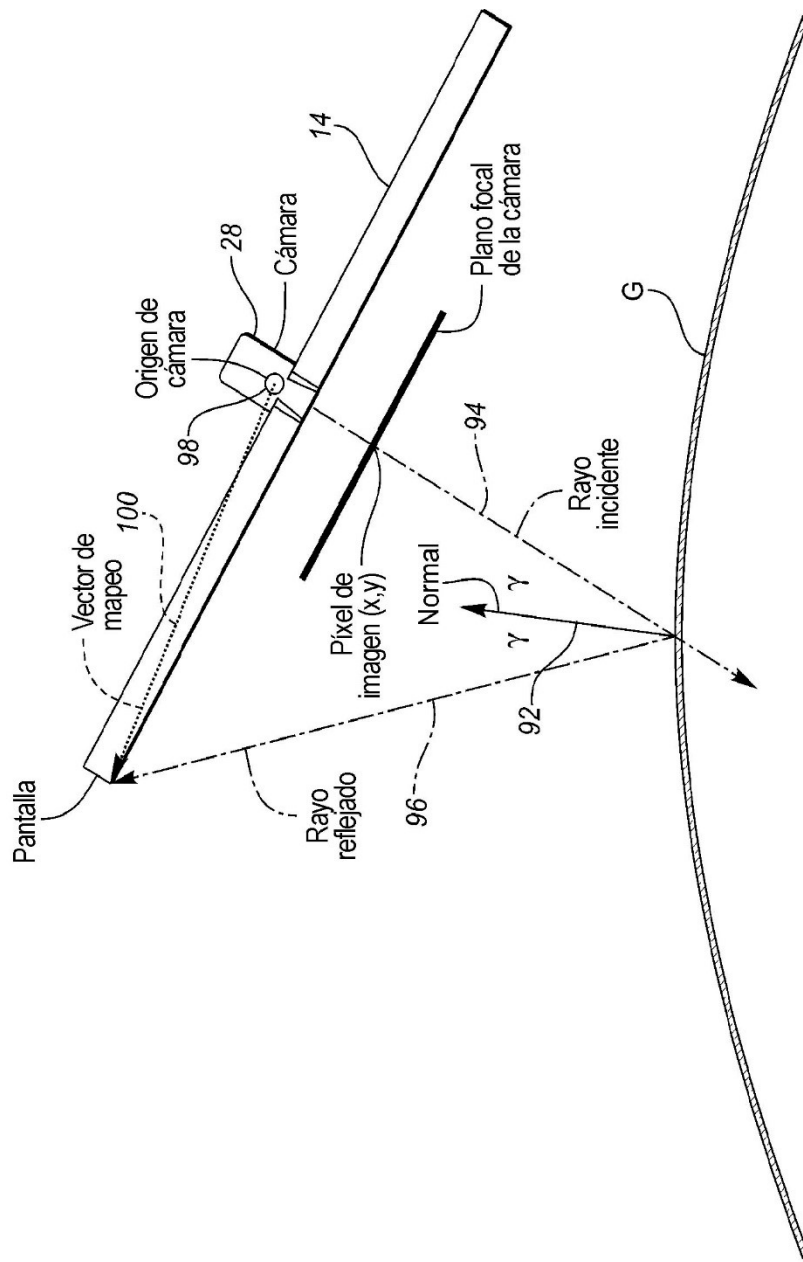
**FIG. 5**



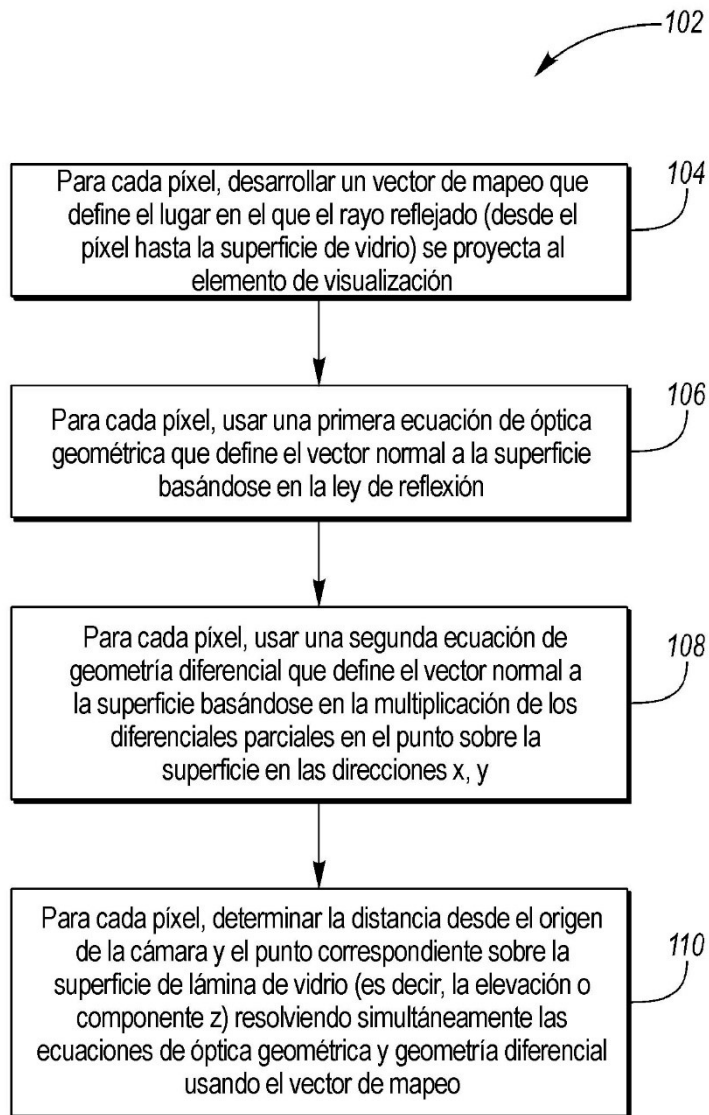
**FIG. 6**



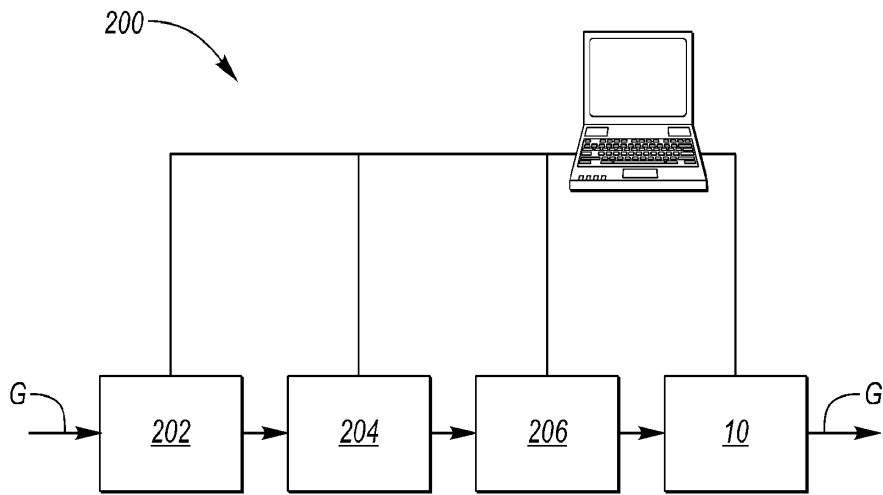
**FIG. 7**



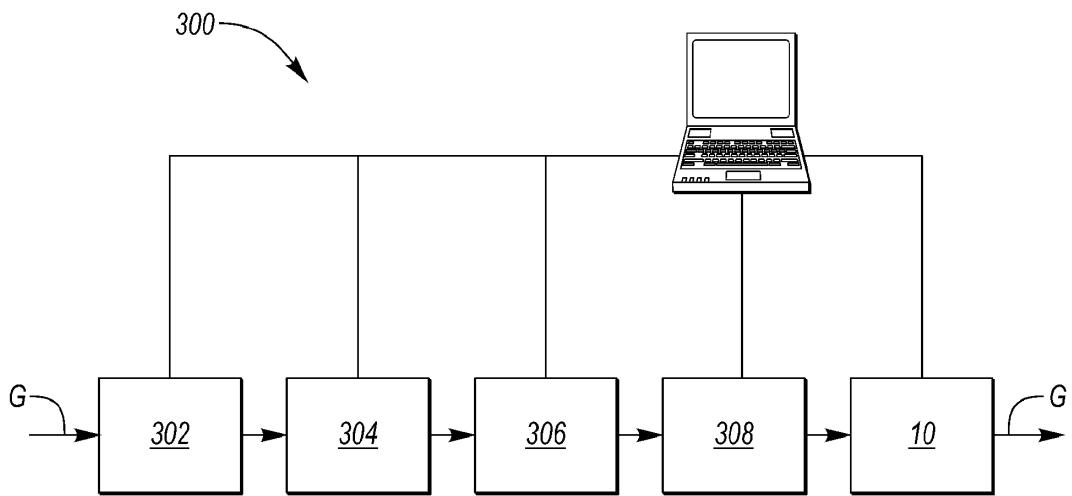
**FIG.8**



**FIG. 9**



**FIG. 10**



**FIG. 11**