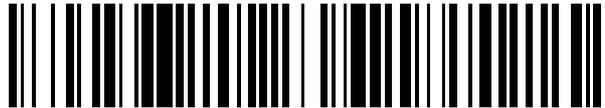


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 630 736**

21 Número de solicitud: 201531776

51 Int. Cl.:

**G01B 11/30** (2006.01)

**G06T 7/40** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

**07.12.2015**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**23.08.2017**

Fecha de concesión:

**27.06.2018**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**04.07.2018**

56 Se remite a la solicitud internacional:

**PCT/ES2016/070865**

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA (100.0%)  
C/ Pedro Cerbuna 12  
50009 Zaragoza (Zaragoza) ES**

72 Inventor/es:

**AGUILAR MARTÍN, Juan José;  
SANTOLARIA MAZO, Jorge;  
SAMPER CARNICER, David y  
VELÁZQUEZ SANCHO, Jesús**

74 Agente/Representante:

**FÚSTER OLAGUIBEL, Gustavo Nicolás**

54 Título: **SISTEMA Y MÉTODO DE DETECCIÓN DE DEFECTOS EN SUPERFICIES ESPECULARES O SEMI-ESPECULARES MEDIANTE PROYECCIÓN FOTOGRAMÉTRICA**

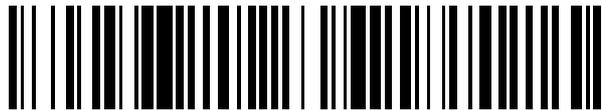
ES 2 630 736 B1

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 630 736**

21 Número de solicitud: 201531776

57 Resúmen:

Sistema y método de detección de defectos en superficies especulares o semi-especulares mediante proyección fotogramétrica.

La presente invención se refiere a un sistema de detección de defectos en superficies especulares o semi-especulares de objetos a inspeccionar, apto para su integración en una línea de producción industrial, que comprende: una pluralidad de medios de emisión de luz (1) sobre los objetos; una pluralidad de cámaras (2) para la detección de la luz reflejada por los objetos; un subsistema de control y análisis fotogramétrico de información asociada a la luz emitida por los medios de emisión de luz (1) y a la luz detectada por las cámaras (2); y una estructura de soporte (3), integrada en la línea de producción de los objetos a inspeccionar, en la que se encuentran dispuestos los medios de emisión de luz (1) y las cámaras (2) del sistema. Ventajosamente, los medios de emisión de luz (1) se disponen en el sistema de forma que la luz emitida sobre la superficie de los objetos posee un patrón periódico de luz y sombra, y dicho patrón se emite con un movimiento relativo sobre los objetos a inspeccionar, recorriendo su superficie.

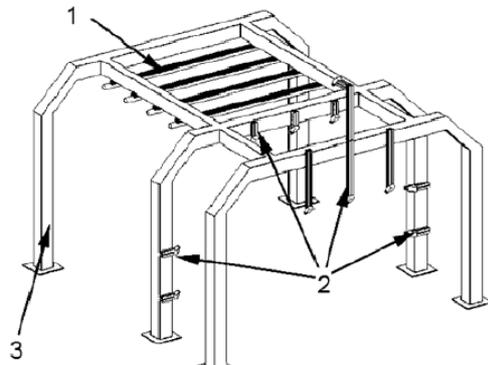


FIG. 1

ES 2 630 736 B1

**DESCRIPCIÓN**

**SISTEMA Y MÉTODO DE DETECCIÓN DE DEFECTOS EN SUPERFICIES  
ESPECULARES O SEMI-ESPECULARES MEDIANTE PROYECCIÓN  
5 FOTOGRAMÉTRICA**

**CAMPO DE LA INVENCIÓN**

10 La presente invención se enmarca dentro del campo técnico correspondiente al análisis de superficies para la detección y localización de defectos o heterogeneidades. Su ámbito de aplicación se refiere principalmente a los procesos industriales donde los productos finales requieren un acabado de pintura, como ocurre en la industria automovilística, del transporte, de los electrodomésticos, etc. Más concretamente, la invención se refiere a un sistema de detección y localización de defectos en superficies especulares o semi-especulares de  
15 objetos, mediante proyección fotogramétrica, que puede ser utilizado en tiempo real en una cadena de fabricación o montaje industrial. La invención se refiere, asimismo, a un método de detección de defectos basado en dicho sistema.

**ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN**

20 Los tratamientos de pintura se utilizan habitualmente para mejorar las características superficiales de los productos industriales, tales como su resistencia a la corrosión, al desgaste, mejorar la adhesión de otros productos, estanqueidad para evitar entradas de agua, y propiedades estéticas tales como el color o el brillo.

25 Una vez terminado el tratamiento de pintura de dichos productos, se realiza habitualmente la inspección de los mismos en el marco de los procesos de control de calidad. Dicha inspección, en muchos casos, suele ser visual y realizada por operarios en instalaciones adecuadas, para tener la iluminación requerida y necesaria. No obstante, la decisión final de  
30 validación depende siempre de la visión y el análisis de la persona responsable de la inspección existiendo, por tanto, muchos condicionantes o situaciones no controladas (fatiga, estado de ánimo o distracciones) que pueden llevar a que algunos defectos no se detecten correctamente, permaneciendo en el producto final que llega al cliente.

35 Una vez un producto con un acabado defectuoso se encuentra ya fuera de la línea de producción, la reparación del acabado de su superficie conlleva una mayor complejidad

logística y operativa, con el consiguiente impacto sobre los costes de producción. Por tanto, si la detección de defectos se realiza de forma eficiente en un primer control sobre la línea de producción, el coste asociado será mucho menor.

- 5 Los defectos a identificar pueden ser, generalmente, de dos tipos: los que producen variación local de la geometría de la superficie y los que producen una variación local de contraste o color.

Los defectos del primer grupo son puntos o motas que han quedado adheridas al producto antes del proceso de pintado, tratándose del defecto más común. Se produce por las inclusiones de suciedad, cuerpos extraños y polvo, que provocan desigualdades pequeñas y granuladas, existentes casi siempre en gran cantidad y repartidas con mayor o menor regularidad, modificando localmente la geometría de la superficie. Estos defectos se detectan mejor donde se hacen más visibles al observarlos, cuando se iluminan con luz estructurada, en las cercanías de una frontera de luz claro-oscuro. Ese cambio en la luz que se refleja en esa zona es el que hace posible, utilizando técnicas de visión artificial sobre las imágenes tomadas por cámaras, detectar el defecto. La reflexión de luz estructurada es esencialmente sensible a la curvatura y, por tanto, permite la detección de defectos de variación de geometría que son imperceptibles usando las técnicas de visión artificial tradicionales o las de triangulación con proyección directa sobre las superficies. El principio de funcionamiento se basa en la generación de movimiento relativo entre la superficie a examinar y la luz con la que se iluminan.

Los defectos del segundo grupo son pequeños arañazos, manchas etc., que también se pueden detectar mediante iluminación difusa y algoritmos de gradiente o de contraste.

Existen sistemas de detección de abolladuras u ondulaciones, de profundidad típica de unas pocas micras, destinados a la inspección de chapas para carrocerías de vehículos, basados en el uso de sensores ópticos 3D y de medios de procesamiento de las señales, como el descrito en el artículo "Visualization and Detection of Small Defects on Car-Bodies" (S. Karbacher et al.), publicado en Vision, Modeling and Visualization '99 (Proceedings), Infix, 1-8 (1999). Estos sistemas pueden comprender un pórtico integrado en una línea de producción de automóviles, donde se instala una pluralidad de fuentes de emisión de luz y cámaras para detectar la luz reflejada por las superficies de los automóviles. También incorporan un medio de adquisición de los datos generados por las fuentes de emisión y por

las cámaras, así como un subsistema de proceso y análisis de defectos superficiales de los automóviles a inspeccionar.

5 Por otro lado, existen también referencias a sistemas de fotogrametría en tiempo real, basados en fotogrametría digital de corto alcance, para el análisis de deformaciones en carrocerías de automóviles en la línea de montaje, como el descrito en el artículo título “Automated Dimensional Inspection with Realtime Photogrammetry” (H.A. Beyer), publicado en ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 50, Issue 3, p.20-26 (1995). Este sistema se basa en el uso de cámaras CCD para la inspección de los  
10 automóviles, junto con hardware y software utilizados para al análisis de los datos obtenidos.

Si bien los sistemas antes descritos y sus procedimientos asociados sirven para detectar heterogeneidades superficiales en los productos mediante diferentes técnicas, el principal problema de todos ellos es que comprenden una alta tasa de error en la identificación de  
15 defectos de pequeñas dimensiones, debido a la interferencia generada por vibraciones y ruidos debidos al movimiento en la línea de producción. Asimismo, los citados sistemas no son aptos para el análisis de productos de superficies especulares o semi- especulares de diferentes colores en una misma línea de producción.

20 Por otra parte, se hace necesario un sistema de luz estructurada de alto contraste, capaz de realzar el defecto geométrico por un fenómeno óptico de amplificación en las proximidades de la frontera de la iluminación, y que permita detectar defectos con mayor precisión y mayor resolución.

25 Se plantea, por tanto, la necesidad de solucionar los problemas existentes actualmente en los procedimientos de detección conocidos, para mejorar la precisión y la calidad de la imagen obtenida y así obtener resultados más precisos en la detección de defectos, reduciendo a su vez la aparición de falsos positivos.

### 30 **DESCRIPCIÓN BREVE DE LA INVENCION**

Un objeto de la presente invención es, pues, la obtención de sistemas de detección de defectos que permitan obtener resultados precisos, mejorando tasas de detección de defectos en los objetos a inspeccionar. Para ello, la invención propone el uso de patrones de  
35 redundancia en los gradientes de la luz estructurada utilizada, y una velocidad de captura adecuada de las cámaras, de forma que se puedan utilizar filtros bidimensionales (2D) y

5 tridimensionales (3D), mediante proyección fotogramétrica, para eliminar las vibraciones, reflejos y ruidos presentes en la línea de producción de los objetos. En la inspección en fábrica, normalmente el objeto a inspeccionar se encuentra en movimiento, debido al desplazamiento de la propia línea de producción, permaneciendo estáticos los patrones de luz. Esto permite que el movimiento relativo entre producto y luz explore toda la superficie del objeto lo que, junto con los algoritmos de tratamiento, detección y seguimiento adecuados al efecto, permite la inspección sin interferir en el movimiento normal de los productos en la línea de fabricación.

10 Dicho objeto de la invención se obtiene, preferentemente, mediante un sistema de detección de defectos en superficies especulares o semi-especulares de objetos a inspeccionar, apto para su integración en una línea de producción industrial, que comprende:

- una pluralidad de medios de emisión de luz sobre los objetos;
- una pluralidad de cámaras para la detección de la luz reflejada por los objetos;
- 15 - un subsistema de control y análisis fotogramétrico de información asociada a la luz emitida por los medios de emisión de luz y a la luz detectada por las cámaras; y
- una estructura de soporte en la que se encuentran dispuestos los medios de emisión de luz y las cámaras del sistema.

20 Ventajosamente, y para generar el análisis redundante de los defectos, los medios de emisión de luz se disponen en el sistema de forma que la luz emitida sobre la superficie de los objetos posee un patrón periódico de luz y sombra, donde dicho patrón se emite con un movimiento relativo sobre los objetos a inspeccionar, recorriendo su superficie. El movimiento relativo existente entre el patrón periódico de luz/sombra y los objetos a inspeccionar se produce, bien por el movimiento de dichos objetos, permaneciendo el patrón emitido estático sobre los mismos, o bien por el movimiento del patrón emitido sobre los objetos a inspeccionar, mientras dichos objetos permanecen estáticos.

30 En una realización preferente de la invención, las cámaras son cámaras de captura con una frecuencia de adquisición de imágenes comprendida entre 40-100 Hz. Más preferentemente, las cámaras son cámaras industriales de tipo CCD o CMOS.

35 En otra realización preferente de la invención, los medios de emisión de luz son medios de iluminación directa sobre los objetos a inspeccionar. Más preferentemente, dichos medios comprenden emisores de luz de neón, fluorescentes, o diodos emisores de luz (LEDs).

En otra realización preferente de la invención, los medios de emisión de luz son medios de iluminación indirecta sobre los objetos, por medio de proyección o retroproyección sobre una o más pantallas. Más preferentemente, los medios de iluminación indirecta emiten patrones periódicos de luz y sombra sobre las pantallas que, a su vez, se reflejan sobre los objetos a inspeccionar.

En otra realización preferente de la invención, el subsistema de control y análisis de información comprende medios de proceso y tratamiento mediante proyección fotogramétrica de las imágenes captadas por las cámaras, medios de filtrado 2D y/o 3D para la identificación de defectos en dichas imágenes, medios de análisis del color de los objetos a inspeccionar, y/o medios de representación de los objetos y los defectos identificados mediante realidad aumentada.

En otra realización preferente de la invención, el sistema comprende asimismo uno o más de los siguientes elementos: lentes de alta resolución para las cámaras, uno o más ordenadores para el procesado y control del sistema, uno o más elementos de medición para controlar la posición de los objetos y sincronizar las capturas de las cámaras.

Otro objeto de la invención se refiere a un método de identificación de defectos en superficies de objetos a inspeccionar, que comprende el uso de un sistema según cualquiera de las realizaciones descritas en el presente documento, donde dicho sistema está opcionalmente integrado en una línea de producción industrial de los objetos a inspeccionar.

El método de la invención comprende la realización de, al menos, los siguientes pasos:

- se ilumina la superficie de los objetos a inspeccionar con los medios de emisión de luz, de forma que la luz emitida sobre dicha superficie posee un patrón periódico de luz y sombra, con un movimiento relativo sobre los objetos a inspeccionar;
- se registra la luz reflejada por los objetos por medio de las cámaras;
- se analiza la luz reflejada y la luz emitida por medio del subsistema de control y análisis, a través de proyección fotogramétrica para la detección de defectos en las superficies.

En una realización preferente del método de la invención, el patrón periódico de luz y sombra posee una forma adaptativa a la superficie de los objetos a inspeccionar, de forma que dicho patrón varíe en función de la curvatura de la superficie inspeccionada.

En líneas generales, el sistema y el método para la detección de defectos de la invención resuelve el problema técnico de conseguir la localización e identificación del tipo de defecto en la propia línea de producción, mediante un sistema robusto y de forma óptima, incorporando opcionalmente herramientas de realidad aumentada para su posterior  
5 reparación eficiente por parte de un operador.

El sistema incluye una serie de cámaras situadas de manera que cubran la totalidad de la superficie a investigar, donde dichas cámaras están preparadas para la adquisición de imágenes a alta velocidad, que después se tratarán mediante algoritmos de visión artificial  
10 en tiempo real.

Como se ha mencionado, los medios de iluminación consisten en un conjunto de haces de luz, o patrones de luz estructurada, de alto contraste capaces de realzar el defecto geométrico por un fenómeno óptico de amplificación en las proximidades de la frontera de la  
15 iluminación, es decir, en los tránsitos de claro a oscuro y de oscuro a claro periódicos del patrón de iluminación empleado. En estos tránsitos, la reflexión de la luz varía debido a la variación local de curvatura, lo que permite resaltar los defectos con un diámetro de hasta diez veces el tamaño del propio defecto. Es este fenómeno el que capacita al sistema para detectar defectos pequeños de tamaño micrométrico. Es necesario que la luz que incida  
20 sobre la superficie sea de alto contraste, por ejemplo mediante patrones luz/sombra. Dicho conjunto de haces de luz puede ser creado por tubos fluorescentes a alta frecuencia, iluminación LED, o mediante la proyección o retro-proyección de imágenes con patrones de alto contraste sobre una pantalla que se refleje en la superficie.

25 La iluminación es uno de los componentes de mayor importancia del sistema, ya que el éxito de un buen reconocimiento del defecto en la imagen depende en gran medida de una buena reflexión de la luz en la superficie. Según lo descrito en párrafos anteriores, la invención plantea dos posibles formas de iluminación: directa e indirecta.

30 El primer sistema de iluminación, iluminación directa, se lleva a cabo mediante el uso de tubos de neón o iluminación LED o fluorescentes de alta frecuencia, fijos a la estructura del sistema (túnel de inspección, por ejemplo). El reflejo de esta luz genera un patrón redundante de líneas fijo sobre la superficie móvil del objeto, permitiendo un barrido completo de la superficie de los objetos.

35

El segundo sistema, iluminación indirecta, funciona mediante proyectores. El principio básico es proyectar o retro-proyectar diferentes patrones de luz estructurada de alto contraste sobre una pantalla situada en las proximidades del objeto a inspeccionar y observar el barrido de los patrones reflejados en el objeto móvil o fijo. Con esta técnica se pueden

5 generar diferentes patrones de luz, como pueden ser puntos, líneas rectas, circunferencias, cruces, cuadrados, triángulos, etc., pudiendo seleccionar la iluminación más adecuada en función de la forma del objeto a controlar. Los patrones de luz podrán ser fijos, adaptativos a la superficie, en movimiento a ciertas posiciones para realizar el barrido o secuencialmente un patrón claro-oscuro de las formas descritas seguido de su patrón inverso oscuro-claro.

10 Como se ha mencionado previamente, los patrones adaptativos varían el tamaño de la retícula en función de la curvatura de la superficie a inspeccionar, de forma que las zonas cercanas a las fronteras claro-oscuro sean del tamaño mínimo adecuado para la localización de los defectos. El diseño de estos patrones también puede ser realizado de forma que se maximice el número de ampliaciones por número de imágenes de forma que se explore la

15 superficie con el número mínimo de imágenes. Tanto la forma como el tamaño de la retícula del patrón pueden ir cambiando a lo largo de la inspección para adaptarse a la curvatura de la superficie, cuando el producto está en movimiento, o para barrer toda la superficie cuando el producto se mantiene estático.

20 Las cámaras son la otra parte fundamental del sistema. Éstas están dispuestas de modo que sea posible la cobertura total del área a inspeccionar mediante inspección sin contacto, sin interferir en el normal movimiento de los productos por la línea de montaje de fabricación, y de forma que los ángulos de reflexión de la luz maximicen la detección de los defectos superficiales.

25 El sistema de detección de defectos permanece estático sobre la estructura de soporte del sistema. Son los productos a inspeccionar los que pueden llevar el movimiento (movimiento normal de la línea sin interferir en la velocidad de producción y sin ser necesario desvíos de los productos) para su escaneado. Estos desplazamientos de los productos se obtienen

30 mediante un sistema de medida que capta el movimiento de la línea de producción. Por lo tanto el sistema se puede incorporar a la línea de producción haciendo que el tiempo del proceso productivo no se vea aumentado por la inspección de los productos.

Otra alternativa planteada por la invención es inspeccionar productos estáticos, en cuyo

35 caso es necesario que los medios de iluminación barran o recorran toda la superficie a inspeccionar.

Para la captura de las imágenes se dispone de cámaras de visión industrial, cuya alta frecuencia de captura posibilita la detección de defectos aunque existan posibles vibraciones asociadas al movimiento de los productos en su inspección. Para determinar el número y tipo de cámaras que forman parte del sistema se tienen que tener en cuenta la velocidad máxima de la línea de producción, la anchura máxima a inspeccionar, los diferentes cambios o inclinaciones de la normal a la superficie y el tamaño de defecto mínimo a detectar.

El sistema está configurado para capturar imágenes de manera sincronizada, entre las cámaras y el movimiento del producto inspeccionado, según se desplaza en la línea de producción. Ante posibles paradas de la línea de producción, el sistema dispone de un elemento de medición (encoder, distanciómetro, velocímetro, cámara de visión, etc.) para controlar la posición del objeto y sincronizar la captura de las cámaras, de forma que no se pierde el sincronismo en ningún momento de la inspección.

Para capturar de forma óptima las imágenes de productos de diferentes colores, se incorpora al sistema la posibilidad de adecuar los parámetros de captura (ganancia, tiempo de exposición, etc.) al color específico del producto inspeccionado, manteniendo esos parámetros de captura actualizados en el tiempo y por tanto reactivos a posibles variaciones en la sensibilidad de las cámaras y en la luminancia de los sistemas de iluminación.

Después de las capturas de imágenes, éstas se procesan en tiempo real mediante algoritmos optimizados de tratamiento de imágenes (de suavizado de imagen, de resalte de gradientes de niveles de gris o de detección de contornos) que permitan detectar los defectos por variaciones locales del nivel de gris.

Se aplican, además, máscaras para tratar solo las zonas de interés de las imágenes capturadas, aumentando así la velocidad de proceso y evitando reflejos de zonas no deseadas.

Con el objetivo de que el sistema tenga elevada capacidad de localización de defectos y no presente falsos positivos, durante la inspección 2D se realiza un seguimiento del posible defecto detectado, teniendo en cuenta tanto su comportamiento físico como sus propiedades ópticas en imágenes consecutivas. A su vez, la información espacial 2D obtenida en este proceso es tratada para obtener la aproximación espacial 3D de la detección del defecto, para ello se utilizan distintos grupos de polinomios homogéneos y simétricos formados por monomios con distintas variables heterogéneas, tanto espaciales como temporales. Cruzando estas informaciones y aplicando distintos tratamientos

estadísticos a los datos obtenidos en ambos procesos es posible determinar con la suficiente confianza, si una detección positiva del sistema es debida a un defecto o a un reflejo espurio sobre la superficie inspeccionada, lo que permite realizar un filtrado a partir de la información 2D eliminando los falsos positivos que se puedan producir. Además, la  
5 obtención de las coordenadas 3D de los defectos mediante proyección fotogramétrica de los posibles defectos 2D en la superficie nominal del producto inspeccionado permite la mejora del tratamiento, al integrar un filtrado de agrupamiento en 3D, con el que se consigue reforzar las prestaciones del sistema utilizando alta redundancia.

10 La redundancia en la captura de las imágenes también se usa como procedimiento de autodiagnóstico gracias a los solapes de los campos de visión de las cámaras. Los defectos detectados en estas zonas de solape permiten calcular los errores de desajuste de las cámaras. Cuando la diferencia entre las coordenadas 3D de los defectos supera un umbral, el sistema puede configurarse para alertar acerca de la necesidad de recalibrar las cámaras  
15 afectadas.

El análisis de las imágenes se efectúa mediante varias unidades de tratamiento de datos y con un PC de control central. El mecanismo de cálculo de los procesadores realiza todas las operaciones aritméticas y lógicas con enlace de los datos obtenidos. El PC de control  
20 controla el sistema de tal modo que todas las operaciones se realizan en el orden de sucesión temporal y lógico.

La principal ventaja de la invención es el gran número de veces que se detecta un defecto gracias al uso de redundancia en los gradientes de la luz estructurada utilizada y la  
25 velocidad de captura de las cámaras, de forma que se puedan utilizar los filtros adecuados 2D y 3D (mediante proyección fotogramétrica) para que se eliminen las vibraciones, reflejos y ruidos presentes en la línea de producción. En la inspección normalmente el objeto lleva el movimiento, desplazamiento de la propia línea de producción, permaneciendo estáticos los patrones de luz. Esto permite que el movimiento relativo entre producto y luz escanee o  
30 explore toda la superficie del objeto, lo que, junto con los algoritmos de tratamiento, detección y seguimiento desarrollados permite la inspección sin interferir en el movimiento normal de los productos en la línea de fabricación.

Una vez obtenidas las coordenadas 3D de los defectos, su catalogación y gravedad, los  
35 resultados se presentan por pantalla de manera gráfica o en gafas de realidad aumentada, para facilitar la posterior reparación rápida de los mismos.

## DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La Figura 1 muestra una vista en perspectiva del sistema de la invención, según una  
5 realización preferente de la misma basada en medios de iluminación directa, a través de  
tubos fluorescentes.

La Figura 2 muestra una vista en perspectiva del sistema de la invención, según una  
10 realización preferente de la misma basada en medios de iluminación directa, a través de un  
túnel de LEDs.

La Figura 3 muestra una vista en perspectiva del sistema de la invención, según una  
15 realización preferente de la misma basada en medios de iluminación indirecta, a través de  
proyección sobre pantallas.

La Figura 4 muestra una vista en perspectiva del sistema de la invención, según una  
realización preferente de la misma, donde dicho sistema se encuentra integrado en una  
línea de producción de los objetos a inspeccionar.

20 En las Figuras 5-8 se muestran patrones de iluminación y proyección empleados en  
diferentes realizaciones de la presente invención.

## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

25 Se procede a continuación a describir diferentes ejemplos de realizaciones preferidas de la  
invención, aportadas con fines ilustrativos pero no limitativos de la misma. Haciendo  
referencia a las Figuras 1-4 del presente documento, el sistema de detección de defectos en  
superficies de la invención comprende:

30 - una pluralidad de medios de emisión de luz (1) sobre las superficies de uno o más  
objetos a inspeccionar;

- una pluralidad de cámaras (2) de registro de la luz reflejada por dichas superficies;

- una estructura de soporte (3) estática, integrada en la línea de producción de los  
objetos a inspeccionar, en la que se encuentran dispuestos los medios de emisión de luz (1)  
y las cámaras (2) del sistema;

35 - un subsistema (no mostrado en las Figuras 1-4) de control y análisis de información  
asociada a la luz emitida por los medios de emisión de luz (1) y/o a la luz detectada por las  
cámaras (2).

Para la captura de imágenes de las superficies a inspeccionar, se utilizará preferentemente una pluralidad de cámaras (2) de visión industrial de alta frecuencia de captura de imágenes por segundo, típicamente comprendida entre 40-100 Hz, por ejemplo cámaras CCD o CMOS. El número y tipo concreto de cámaras que formarán parte del sistema dependerá de  
5 diferentes parámetros, tales como las dimensiones del objeto a inspeccionar, velocidad máxima de la cadena de fabricación y tamaño mínimo del defecto a detectar. Por ejemplo, para la inspección completa de la carrocería de un vehículo se pueden utilizar 25-30 cámaras CMOS de 40 Hz para detectar defectos de hasta 0,1 mm en una cadena de fabricación de velocidad 130 mm/segundo.

10

Como se ha mencionado, los elementos del sistema de detección de defectos permanecerán fijos sobre la estructura de soporte (3) (por ejemplo una estructura de pórtico en la Figura 1), a medida que los objetos a inspeccionar se desplazan en la línea de producción de los mismos. Durante dicho desplazamiento, las cámaras (2) irán adquiriendo  
15 imágenes de los objetos, para posteriormente se procesadas por el subsistema de control y análisis obteniendo información tridimensional (3D) acerca de las dimensiones de los defectos y de su situación en las superficies de los objetos. Para la toma de las imágenes (es decir, el adecuado registro de la luz reflejada sobre los objetos), es necesario utilizar medios de emisión de luz (1) adecuados, ya que el éxito de un buen reconocimiento de  
20 imagen depende en gran medida de una buena iluminación. Alternativamente, los objetos a inspeccionar pueden permanecer estáticos, siendo los medios de emisión de luz (2) los que realizan un barrido de sus superficies.

25

En una primera realización preferente de la invención, la iluminación se realiza a través de  
medios de emisión de luz (1) directa sobre los objetos, es decir, incidiendo dicha luz directamente sobre las superficies a inspeccionar. Dichos medios pueden ser, más preferentemente, tubos de neón o tubos fluorescentes de alta frecuencia (Figura 1), o  
medios basados en diodos emisores de luz (LEDs) (ver Figura 2, donde se utiliza dicha técnica configurada como un túnel de iluminación sobre los objetos a inspeccionar). En la  
30 Figura 4 se muestra un ejemplo de este tipo de iluminación, integrada en un sistema para la detección de defectos en superficies de automóviles.

35

En una segunda realización preferente de la invención (Figura 3), los medios de emisión de luz (1) son medios de iluminación indirecta sobre los objetos, por medio de proyección o retroproyección. El principio básico de esta realización es proyectar o retro-proyectar diferentes patrones de luz sobre una pantalla (4) situada en las proximidades del objeto a

inspeccionar, y observar el barrido de los patrones reflejados en la superficie del mismo. En la Figura 3 se muestra un ejemplo de proyección de un patrón de luz lineal, que se comporta de forma equivalente a la luz proporcionada por tubos fluorescentes (Figura 1). Dependiendo del tipo de objeto a inspeccionar, se determinará el número de proyectores que son necesarios. Para un ejemplo de inspección de carrocerías de automóviles, resulta necesario un mínimo de 3 proyectores (uno para el análisis de las superficies horizontales y dos para las superficies laterales del automóvil, según se muestra en la Figura 3, también con una estructura de soporte (3) de tipo pórtico).

10 La principal ventaja de la presente invención se obtiene mediante la disposición de los medios de emisión de luz (1), tanto en iluminación directa como indirecta, de forma que se genere un patrón de iluminación periódico y de alto contraste sobre las superficies a inspeccionar. Este patrón genera una iluminación periódica con zonas de luz y sombra, que permite al sistema de control y análisis el cálculo sucesivo de múltiples detecciones en las regiones de frontera de luz/sombra, proporcionando un análisis redundante que ayuda tanto a aumentar la tasa de detección de defectos, como a limitar la aparición de falsos positivos.

Dependiendo de la forma y la disposición de los medios de iluminación directa, o del patrón de proyección seleccionado, es posible generar diferentes patrones de contraste (puntos, líneas, circunferencias, cruces, cuadrados, etc.) en función de las particularidades geométricas del objeto a inspeccionar. En el caso de que el producto inspeccionado esté en movimiento en la línea de fabricación, los patrones pueden ir cambiando de tamaño y adaptándose a la curvatura de la superficie inspeccionada, de forma que las áreas cercanas a las fronteras de contraste tengan el tamaño mínimo necesario en las imágenes para realizar la detección de los defectos. Asimismo, en el caso de que el producto permanezca inmóvil durante su inspección en línea de fabricación, los patrones de luz se generarán en movimiento en una o varias direcciones, para que las fronteras de contraste recorran toda la superficie del objeto.

30 Como se ha mencionado, la iluminación indirecta permite una gran flexibilidad en el diseño de los patrones, tanto en su forma como en el tamaño de retícula y sus colores. Por ejemplo, se pueden utilizar secuencias de imágenes en las que el patrón de luz, en lugar de imitar las franjas de luz, pasa a asemejarse a un tablero de ajedrez (Figura 5) o una retícula de cuadrados (Figura 6).

35

- El objetivo de utilizar este tipo de patrones es minimizar el número de imágenes necesarias para analizar toda la superficie del producto, maximizando las ampliaciones de los defectos en las imágenes gracias a que sobre los defectos incida luz indirecta desde todas las direcciones posibles, garantizando el resalte del defecto independientemente del posicionamiento de la cámara, de la dirección dominante de las franjas de contraste de la iluminación, de la dirección de movimiento de estas franjas por movimiento del producto inspeccionado, o de los patrones de iluminación.
- También, en función del color de la pintura, puede resultar necesario localizar los defectos en las zonas claras u oscuras de las imágenes registradas por las cámaras (2). El diseño de los patrones también se puede adaptar a este hecho, por ejemplo el patrón mostrado en la Figura 6 está diseñado para trabajar en una zona oscura. Un patrón inverso a éste sería adecuado si se quiere trabajar en una zona clara de las imágenes.
- Mediante este sistema de iluminación basado en proyección o retro-proyección, se pueden también intercalar patrones homogéneos de diferentes colores y niveles de gris, que optimicen la detección de defectos de contraste utilizando las mismas cámaras (2) con las que se detectan los defectos de geometría.
- Se procede a continuación a describir el procedimiento de detección de los defectos en superficies asociado al sistema de la invención. En primer lugar, se iluminan las superficies de los objetos a inspeccionar con los medios de emisión de luz (1) y se realiza la captura de imágenes por parte de las cámaras (2) (en la Figura 7, como ejemplo, se muestra un patrón obtenido para un túnel de LEDS como el mostrado en la Figura 2, en una realización basada en iluminación directa). Orientando las cámaras (2) con un ángulo de visión respecto de la superficie a inspeccionar se resaltan los defectos de geometría que se pueden observar en imágenes consecutivas, especialmente alrededor de las fronteras de contraste generadas por el patrón de iluminación (ver Figura 8).
- Una vez introducida la información en los ordenadores éstos procesan, mediante algoritmos y filtros 2D y con la calibración de las cámaras, la proyección fotogramétrica y a la determinación de la ubicación del defecto durante la inspección de forma sincronizada. A las capturas de las cámaras (2) de visión se les aplican también filtros 3D, y se obtiene una única información fusionada de los defectos en la superficie a inspeccionar.

El sistema tiene la posibilidad de adecuar los parámetros de captura (ganancia, tiempo de exposición, etc.) al color específico del producto inspeccionado y también de mantener esos parámetros de captura actualizados en el tiempo y, por tanto, siendo reactivo a posibles variaciones en la sensibilidad de las cámaras y en la luminancia de los sistemas de iluminación.

5

Con el resultado de la inspección, el subsistema de control y análisis podrá imprimir o generar un informe de inspección, que mostrará la localización de los defectos, así como su gravedad. Dicha información podrá mostrarse, asimismo, como información 3D en gafas de realidad aumentada, para la posterior reparación optimizada de éstos por medio de los procedimientos que la empresa estime oportunos.

10

**REIVINDICACIONES**

5 1.- Sistema de detección de defectos en superficies especulares o semi-especulares de objetos a inspeccionar, apto para su integración en una línea de producción industrial, que comprende:

- una pluralidad de medios de emisión de luz (1) sobre los objetos;
- una pluralidad de cámaras (2) para la detección de la luz reflejada por los objetos;
- un subsistema de control y análisis fotogramétrico de información asociada a la luz emitida por los medios de emisión de luz (1) y a la luz detectada por las cámaras (2);
- 10 - una estructura de soporte (3) en la que se encuentran dispuestos los medios de emisión de luz (1) y las cámaras (2) del sistema;

estando el sistema **caracterizado por que** los medios de emisión de luz (1) se disponen en el sistema de forma que la luz emitida sobre la superficie de los objetos posee un patrón periódico de luz y sombra, y por que dicho patrón posee un movimiento relativo  
15 respecto a los objetos a inspeccionar, para el recorrido su superficie.

2.- Sistema según la reivindicación anterior, donde las cámaras (1) son cámaras de captura con una frecuencia de adquisición de imágenes comprendida entre 40-100 Hz.

20 3.- Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde las cámaras (1) son cámaras industriales CCD o CMOS.

4.- Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los medios de emisión de luz (1) comprenden medios de iluminación directa sobre los objetos.

25 5.- Sistema según la reivindicación anterior, donde los medios de emisión de luz (2) comprenden emisores de luz de neón, fluorescentes, o LEDs.

6.- Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los medios de  
30 emisión de luz (2) comprenden medios de iluminación indirecta sobre los objetos, por medio de proyección o retroproyección sobre una o más pantallas (4).

7.- Sistema según la reivindicación anterior, donde los medios de emisión de luz (2) emiten patrones periódicos de luz y sombra sobre las pantallas (4) que, a su vez, se reflejan  
35 sobre los objetos a inspeccionar.

8.- Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el movimiento relativo existente entre el patrón periódico de luz/sombra y los objetos a inspeccionar se produce por el movimiento de dichos objetos, permaneciendo el patrón emitido estático sobre los mismos.

5

9.- Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1-7, donde el movimiento relativo existente entre el patrón periódico de luz/sombra y los objetos a inspeccionar se produce por el movimiento en una o varias direcciones del patrón emitido sobre los objetos a inspeccionar, mientras dichos objetos permanecen estáticos.

10

10.- Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el subsistema de control y análisis de información comprende medios de proceso y tratamiento mediante proyección fotogramétrica de las imágenes captadas por las cámaras (2), medios de filtrado 2D y/o 3D para la identificación de defectos en dichas imágenes, medios de análisis del color de los objetos a inspeccionar, y/o medios de representación de los objetos y los defectos identificados mediante realidad aumentada.

15

11.- Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende asimismo uno o más de los siguientes elementos: lentes de alta resolución para las cámaras (2), uno o más ordenadores para el procesado y control del sistema, uno o más elementos de medición para controlar la posición de los objetos y sincronizar las capturas de las cámaras (2).

20

12.- Método de identificación de defectos en superficies especulares o semi-especulares de objetos a inspeccionar, **caracterizado por que** comprende el uso de un sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, y la realización de los siguientes pasos:

25

- se ilumina la superficie de los objetos a inspeccionar con los medios de emisión de luz (1), de forma que la luz emitida sobre dicha superficie posee un patrón periódico de luz y sombra, con un movimiento relativo sobre los objetos a inspeccionar;

30

- se registra la luz reflejada por los objetos por medio de las cámaras (2);

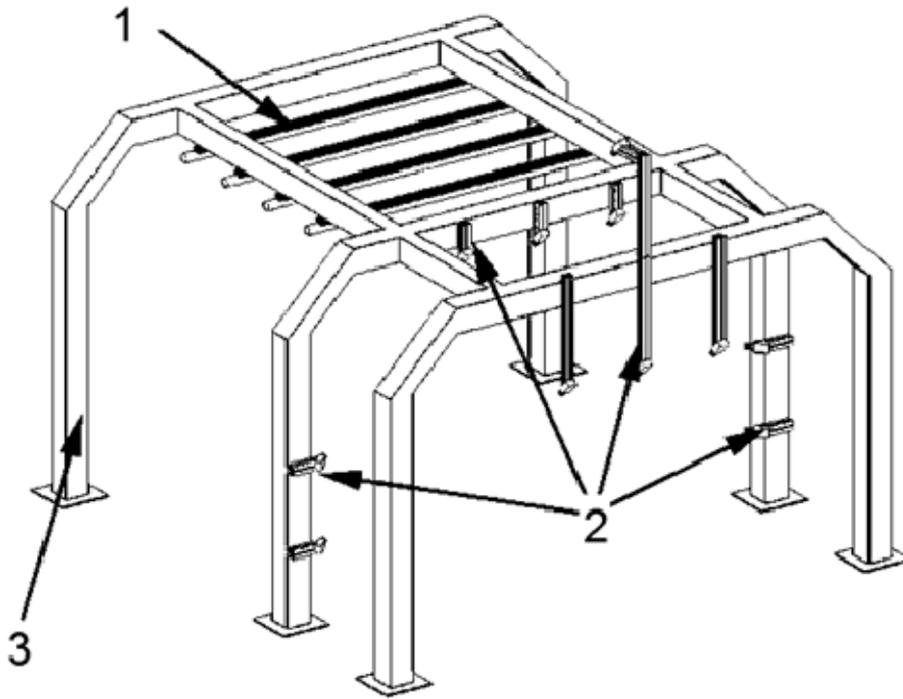
- se analiza la luz reflejada y la luz emitida por medio del subsistema de control y análisis, a través de proyección fotogramétrica, para la detección de defectos en las superficies.

35

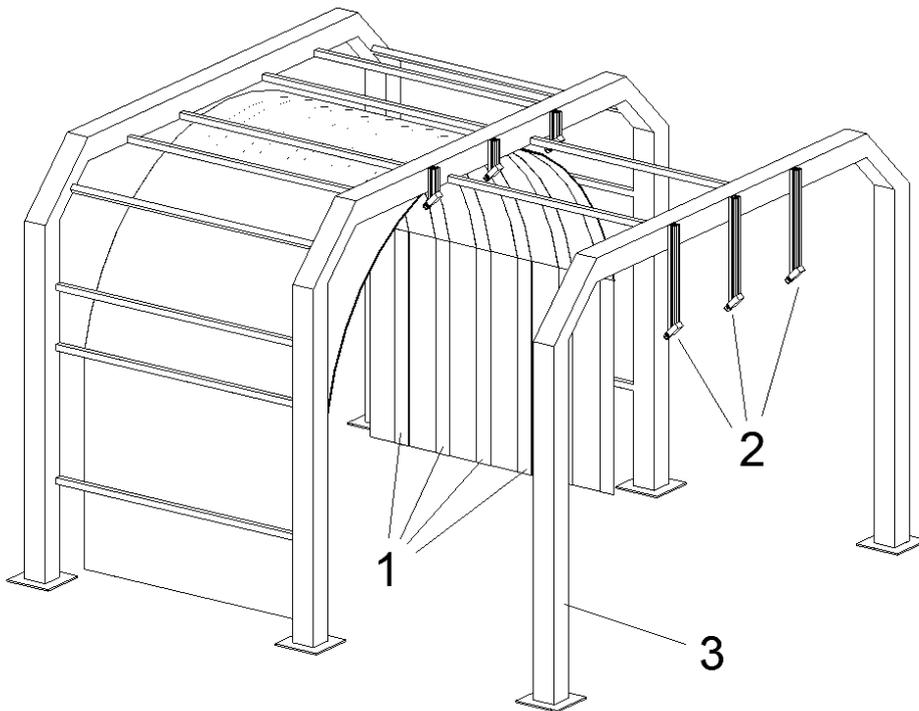
13.- Método según la reivindicación anterior, donde el sistema de detección se encuentra integrado en una línea de producción industrial de los objetos a inspeccionar.

5 14.- Método según cualquiera de las reivindicaciones 12-13, donde el patrón periódico de luz y sombra emitido posee una forma adaptativa a la superficie de los objetos a inspeccionar, de modo que dicho patrón varíe en función de la curvatura de la superficie inspeccionada.

10 15.- Método según cualquiera de las reivindicaciones 12-14, donde el patrón periódico de luz y sombra emitido es un patrón ajedrezado, una retícula de cuadrados o triángulos, o un patrón de puntos, líneas rectas, circunferencias o cruces.



**FIG. 1**



**FIG. 2**

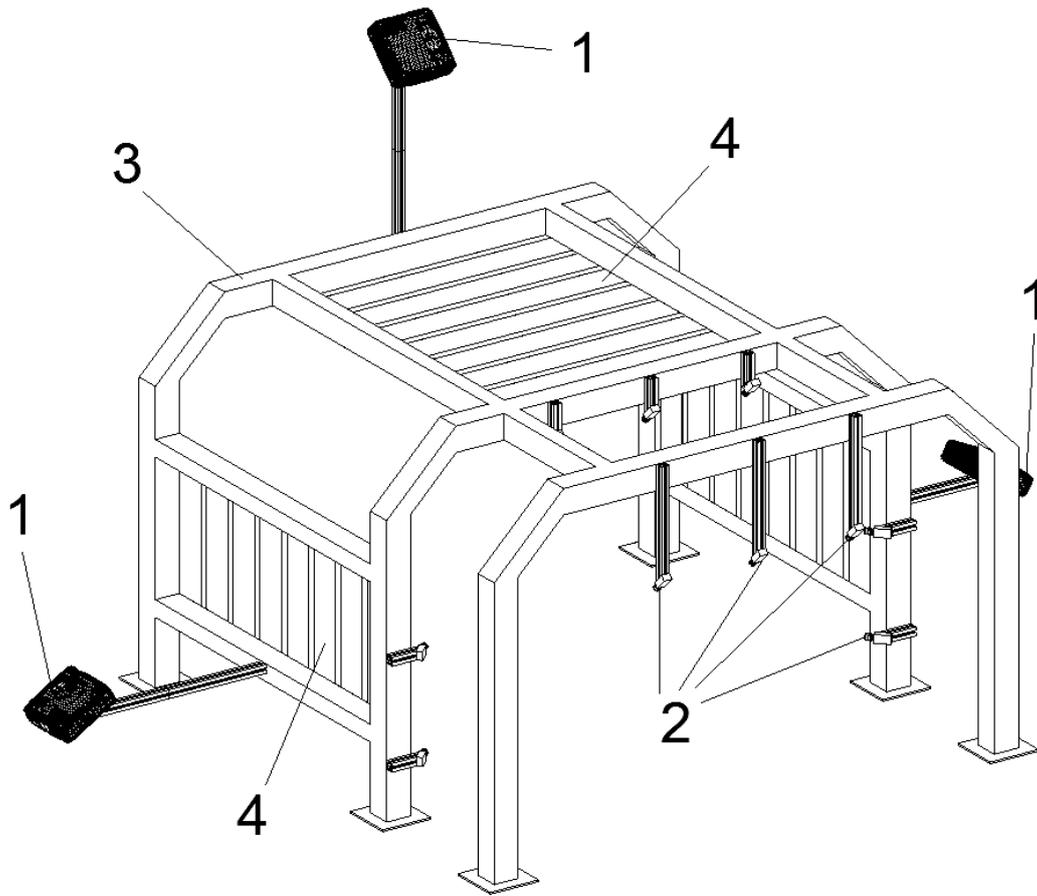


FIG. 3

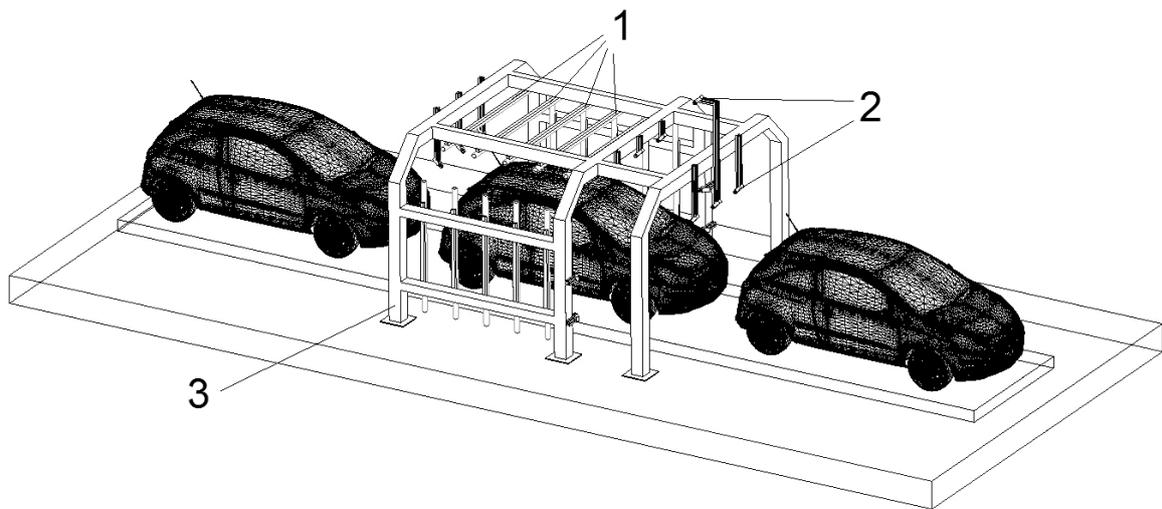


FIG. 4

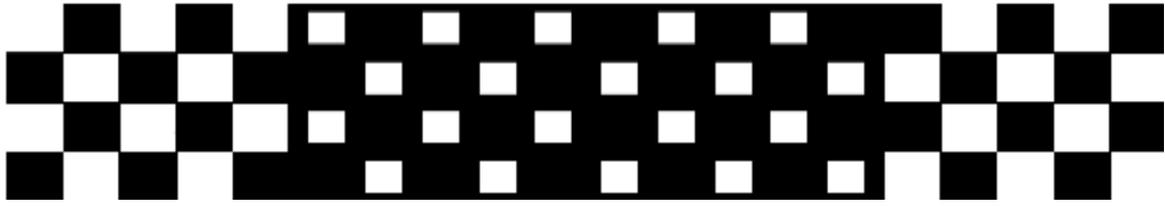


FIG. 5

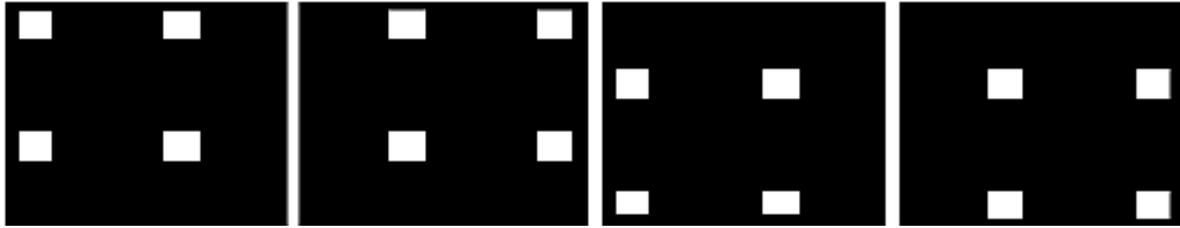


FIG. 6

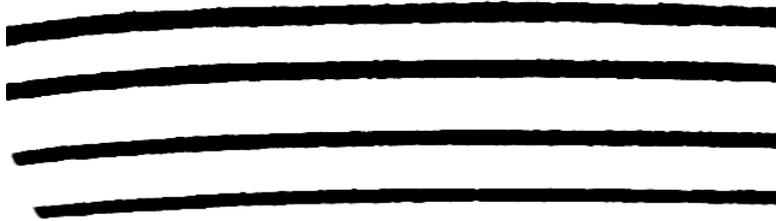


FIG. 7

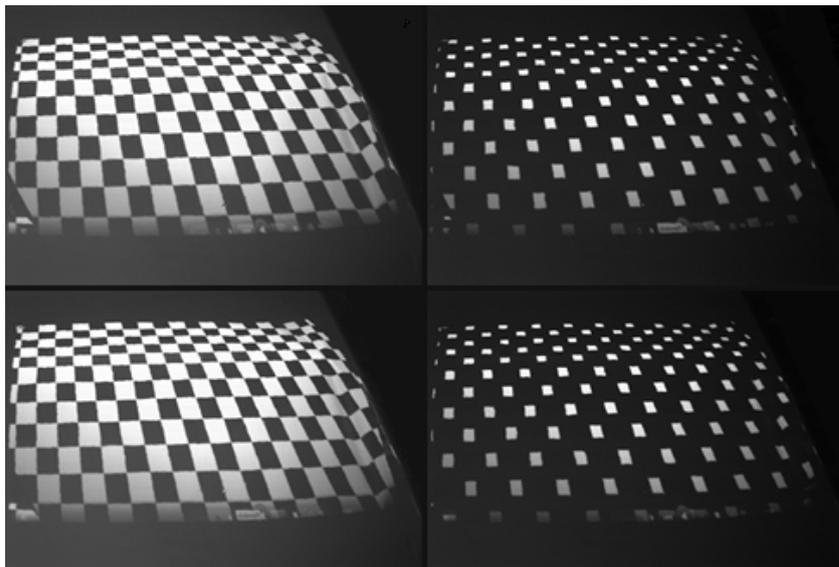


FIG. 8