

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 727 201**

51 Int. Cl.:

B07C 5/342 (2006.01)

B07C 5/36 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.06.2017** E 17177336 (9)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2019** EP 3263234

54 Título: **Método y sistema de clasificación de chatarra**

30 Prioridad:

30.06.2016 US 201615198159

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

14.10.2019

73 Titular/es:

**HURON VALLEY STEEL CORPORATION (100.0%)
1650 W. Jefferson, Suite 100
Trenton, MI 48183, US**

72 Inventor/es:

**TOREK, PAUL;
AUBUCHON, BENJAMIN y
CHAGANTI, KALYANI**

74 Agente/Representante:

ARIZTI ACHA, Monica

ES 2 727 201 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

Método y sistema de clasificación de chatarra

5 El campo técnico de la invención se refiere a los sistemas de clasificación de chatarra.

Campo técnico

10 Diversas realizaciones se relacionan a un método y a un sistema para la clasificación de partículas de chatarra en una operación en línea.

Antecedentes

15 Habitualmente, la chatarra metálica se clasifica a alta velocidad o alto volumen usando una cinta transportadora u otras operaciones en línea usando una variedad de técnicas que incluyen: clasificación manual mediante un operario de línea, clasificación mediante aire, clasificación vibratoria, clasificación basada en color, clasificación magnética, clasificación espectroscópica, y similares. Normalmente, los materiales de chatarra se fragmentan antes de la clasificación y requieren una clasificación para facilitar la separación y reutilización de materiales en la chatarra, por ejemplo, clasificando basándose en la clasificación o tipo de material. Mediante clasificación, los materiales de chatarra pueden reutilizarse en lugar de ir a un vertedero de residuos o a un incinerador. Adicionalmente, el uso de material de chatarra clasificado conlleva la reducción de la contaminación y de las emisiones en comparación con refinar materias primas vírgenes a partir de mena o plásticos a partir de carburante. Los materiales de chatarra clasificados pueden usarse en lugar de materias primas vírgenes por fabricantes si la calidad del material clasificado cumple una norma específica. Los materiales de chatarra pueden clasificarse como metales, plásticos, y similares, y también pueden clasificarse adicionalmente en tipos de metales, tipos de plásticos, etc. Por ejemplo, puede ser deseable clasificar y separar el material de chatarra en tipos de metales ferrosos y no ferrosos, metales pesados, metales con valor elevado tales como níquel o titanio, metales forjados o colados, y otras aleaciones variadas.

30 El documento DE4426490 describe un aparato para analizar partes metálicas movidas por una unidad de transporte con un haz láser, de manera que una unidad de recogida de imagen recoge cada parte, que detecta una unidad de evaluación si la parte tiene un punto brillante de manera metálica. Un sistema de obtención de imágenes alinea el haz láser con el punto de metal. Para analizar las partes metálicas se recoge una adquisición para cada parte, y la unidad de evaluación reconoce si la parte tiene un punto brillante metálico al tiempo que detecta la forma y color de las partes. El haz láser apunta al propio metal y permite un examen electroscópico específico de material. El análisis por la unidad usada para examinar la parte, proporciona adicionalmente la información adquirida en forma y color. Los documentos WO2011159269, US5676256 y US2003034281 también se tuvieron en consideración.

Sumario

40 La invención se refiere al método y el sistema que incluye las características mencionadas en las reivindicaciones. Para la clasificación de partículas de chatarra se obtiene una imagen de un transportador móvil que contiene partículas de chatarra usando un sistema de visión para crear una imagen correspondiente a una ubicación programada del transportador. Se emplea un ordenador para analizar la imagen como una matriz de celdas, identificar las celdas en la matriz que contiene partículas diferenciando la partícula de un fondo indicativo del transportador, y calcular una entrada de color para la partícula a partir de un modelo de color determinando componentes de color para cada celda en la matriz asociada con la partícula, la entrada de color se calcula introduciendo dos componentes de color de cada celda de la matriz asociada con la partícula como un par de discriminantes en una tabla de calibración, marcando la celda si el par de discriminantes es uno de un par de discriminantes predefinidos, y calcular la entrada de color normalizando una suma de las celdas marcadas por un número total de celdas asociadas con la partícula. Se genera y dirige un haz de luz a la partícula en el transportador aguas abajo del sistema de visión y dentro de una zona objetivo que usa un conjunto de exploración que incluye un deflector de haz. Al menos una banda de luz emitida desde la partícula en la zona objetivo se aísla y mide a una banda de frecuencia seleccionada usando un detector para proporcionar datos espectrales para la partícula. El ordenador se emplea para generar un vector de datos para la partícula que contiene la entrada de color y los datos espectrales, y clasificar la partícula en una de al menos dos clasificaciones de un material en función del vector de datos.

60 En un método de clasificación de partículas de chatarra adicional, la entrada de color es una primera entrada de color. El ordenador se emplea para calcular una segunda entrada de color para la partícula introduciendo otros dos componentes de color de cada celda asociada con la partícula como otro par de discriminantes en otra tabla de calibración. Al menos uno de los componentes de color de la primera entrada de color se diferencia de al menos uno de otro de los componentes de color de la segunda entrada de color. El vector de datos se genera para la partícula usando la primera entrada de color, la segunda entrada de color, y los datos espectrales.

- 5 En otro método de clasificación de partículas de chatarra adicional, el ordenador se emplea para crear la tabla de calibración por medio de un procedimiento de calibración usando una partícula conocida a partir de una de las al menos dos clasificaciones: obteniendo imágenes de la partícula conocida y llevando a cabo un análisis de múltiples discriminantes de los componentes de color de cada celda de la imagen de la partícula conocida para proporcionar dos discriminantes, y asignar al menos una región contigua de una representación gráfica de los dos discriminantes a una de las al menos dos clasificaciones del material para definir el conjunto de pares de discriminantes predefinidos para una de las al menos dos clasificaciones de la tabla de calibración.
- 10 En un método de clasificación de partículas de chatarra, la al menos una región contigua se refiere a una clasificación asociada del material. Otra región de la representación gráfica se asigna a otra clasificación asociada del material.
- 15 En otro método de clasificación de partículas de chatarra se obtiene una imagen de un transportador móvil que contiene partículas de chatarra que usa un sistema de visión para crear una imagen correspondiente a una ubicación programada del transportador. Se emplea un ordenador para analizar la imagen como una matriz de celdas, identificar las celdas en la matriz que contienen una partícula diferenciando la partícula de un fondo indicativo del transportador, y calcular una entrada de color para la partícula a partir de un modelo de color determinando componentes de color para cada celda en la matriz asociada con la partícula. Un haz de luz se genera y se dirige a la partícula en el transportador aguas abajo del sistema de visión y dentro de una zona objetivo usando un conjunto de exploración que incluye un deflector de haz. Al menos una banda de luz emitida desde la partícula en la zona objetivo se aísla y se mide en una banda de frecuencia seleccionada usando un detector para proporcionar datos espectrales para la partícula. El ordenador se emplea para generar un vector de datos para la partícula que contiene la entrada de color y los datos espectrales, y clasificar la partícula en una de al menos dos clasificaciones de un material en función del vector de datos.
- 20
- 25 En un método de clasificación de partículas de chatarra adicional, calcular la entrada de color para la partícula comprende además realizar el promedio de al menos un componente de color para la partícula a través de las celdas en la matriz asociada con la partícula.
- 30 En otro método de clasificación de partículas de chatarra adicional, calcular la entrada de color para la partícula comprende además realizar el promedio de tres componentes de color para la partícula a través de las celdas en la matriz asociada con la partícula.
- 35 En un método de clasificación de partículas de chatarra adicional, calcular la entrada de color para la partícula comprende además asignar un componente de color de cada celda en la matriz asociada con la partícula en una localización para obtener un histograma de cada componente de color para la partícula.
- 40 En otro método de clasificación de partículas de chatarra adicional, cada histograma se normaliza mediante una zona de la partícula determinada por varias celdas en la matriz asociada con la partícula.
- 45 En un método de clasificación de partículas de chatarra adicional, la entrada de color comprende al menos tres componentes de color.
- 50 En otro método de clasificación de partículas de chatarra adicional, el ordenador se emplea para reducir ruido en la imagen transformando la imagen por medio de una transformada rápida de Fourier para crear una representación de la imagen en un dominio de frecuencia, eliminar al menos una frecuencia específica de la representación, y transformar la representación de vuelta a la imagen por medio de una transformada rápida de Fourier inversa.
- 55 En un método de clasificación de partículas de chatarra adicional, la partícula se identifica en la matriz aplicando un umbral en al menos un canal de la matriz y marcando una celda cuando un valor del al menos un canal supera el umbral para indicar la presencia de una partícula.
- 60 En otro método de clasificación de partículas de chatarra adicional, el ordenador se emplea para determinar al menos una característica de la partícula a partir de la matriz, una característica que incluye una textura, una forma, una desviación estándar de componente de color, y un volumen de escala de grises. El vector de datos se genera adicionalmente usando el ordenador para contener la al menos una característica.
- En un método de clasificación de partículas de chatarra adicional, el ordenador se emplea para clasificar la partícula en una de las al menos dos clasificaciones del material en función del vector de datos introduciendo el vector de datos en un algoritmo de aprendizaje automático.
- En otro método de clasificación de partículas de chatarra adicional, el algoritmo de aprendizaje automático comprende al menos uno de una máquina de vector de soporte, un análisis discriminante de mínimos cuadrados parciales, una red neuronal, un análisis discriminante de mínimos cuadrados parciales, un bosque aleatorio de

árboles de decisión.

En un método de clasificación de partículas de chatarra adicional, el haz de luz es un disparo láser dirigido a la partícula en la zona objetivo durante un tiempo predeterminado.

5 En otro método de clasificación de partículas de chatarra adicional, el haz de luz es una pluralidad de disparos láser secuenciales dirigidos a la partícula en la zona objetivo. Un vector de datos correspondiente se genera para cada disparo láser usando la entrada de color y los datos espectrales a partir del disparo láser asociado. La partícula se clasifica en una de las al menos dos clasificaciones del material en función del vector de datos correspondiente para cada disparo, y las clasificaciones asociadas con cada uno de la pluralidad de disparos se deciden mediante el ordenador para determinar una clasificación global para la partícula.

15 En un método de clasificación de partículas de chatarra adicional, el ordenador se emplea para transformar la imagen por medio de una transformada rápida de Fourier (FFT) y crear una serie unidimensional que representa un promedio de una magnitud de escala logarítmica en diferentes regiones de frecuencia en la imagen sometida a FFT para representar información de textura asociada con la partícula.

20 En otro método de clasificación de partículas de chatarra adicional, el haz de luz se dirige a una región de la partícula basándose en una transformada de distancia de tablero de ajedrez aplicada a la imagen.

En un método de clasificación de partículas de chatarra adicional, la partícula se clasifica controlando un dispositivo de separación basándose en la clasificación para la partícula y la ubicación programada del transportador.

25 En otro método de clasificación de partículas de chatarra adicional, cada celda en la matriz corresponde a un píxel en la imagen.

30 En un método de clasificación de partículas de chatarra adicional, el ordenador se emplea para calcular la entrada de color para la partícula a partir del modelo de color determinando componentes de color para cada celda en la matriz asociada con la partícula, que comprende además emplear el ordenador para introducir dos componentes de color de cada celda de la matriz asociada con la partícula como un par de discriminantes en una tabla de calibración, marcar la celda si el par de discriminantes es uno de un par de discriminantes predefinidos, y calcular la entrada de color normalizando una suma de las celdas marcadas por un número total de celdas asociadas con la partícula.

35 En otro método de clasificación de partículas de chatarra adicional, la entrada de color es una primera entrada de color. El ordenador se emplea para calcular una segunda entrada de color para la partícula introduciendo otros dos componentes de color de cada celda asociada con la partícula como otro par de discriminantes en otra tabla de calibración. Al menos uno de los componentes de color de la primera entrada de color se diferencia de al menos uno de los otros componentes de color de la segunda entrada de color. El ordenador se emplea para generar el vector de datos para la partícula que contiene la primera entrada de color, la segunda entrada de color, y los datos espectrales.

45 En un método de clasificación de partículas de chatarra adicional, el ordenador se emplea para crear la tabla de calibración por medio de un procedimiento de calibración usando una partícula conocida a partir de una de las al menos dos clasificaciones: obteniendo imágenes de la partícula conocida y llevando a cabo un análisis de múltiples discriminantes de los componentes de color de cada celda de la imagen de la partícula conocida para proporcionar dos discriminantes, y asignar al menos una región contigua de una representación gráfica de los dos discriminantes a una de las al menos dos clasificaciones del material para definir un conjunto de pares de discriminantes predefinidos para una de las al menos dos clasificaciones de la tabla de calibración.

50 En todavía otro método de clasificación de partículas de chatarra, se proporciona un sistema de exploración para clasificar partículas de material de chatarra colocadas de manera aleatoria en un transportador móvil. Un sistema de visión tiene un sensor y una zona de observación predefinida iluminada para obtener imágenes de un transportador que pasa a través de los mismos en un intervalo de tiempo. Un elemento de dirección de haz recibe un haz de luz desde una fuente y redirige el haz hasta un conjunto de exploración de objetivo que tiene un deflector de haz montado en la trayectoria del haz de luz para dirigir adicionalmente el haz hasta una ubicación seleccionada dentro de una zona objetivo bidimensional. Un elemento óptico de enfoque montado en la trayectoria del haz de luz enfoca el haz de luz y proporciona una densidad de potencia de luz generalmente uniforme a lo largo de una superficie focal. Un sensor espectral es adyacente al objetivo. Al menos un controlador recibe y procesa datos de imagen adquiridos desde el sistema de visión para identificar una partícula de chatarra en el transportador en la zona de observación, calcular una entrada de color a partir de un modelo de color para la partícula a partir de una imagen tomada por el sistema de visión aplicando un criterio de color a la imagen, apuntar a una partícula de chatarra en la zona objetivo y controlar el elemento de dirección de haz de luz y el conjunto de exploración de objetivo para dirigir el haz a la partícula de chatarra objetivo, determinar datos espectrales para la partícula basándose en una señal que indica una o más bandas de frecuencia de luz seleccionadas emitidas desde la partícula en respuesta a la

interacción del haz de luz con la partícula, y clasificar la partícula en una clasificación de material usando un vector de datos que contiene la entrada de color y los datos espectrales.

Breve descripción de los dibujos

- 5 La figura 1 ilustra una vista esquemática lateral de un sistema de clasificación según una realización;
- la figura 2 ilustra una vista esquemática desde arriba del sistema de clasificación de la figura 1;
- 10 la figura 3 ilustra un diagrama de un sistema de láser que emplea al menos dos láseres sincronizados para usarse con el sistema de clasificación de la figura 1 según una realización;
- la figura 4 ilustra una vista esquemática en perspectiva del sistema de láser para usarse con el sistema de clasificación de la figura 1;
- 15 la figura 5 ilustra un diagrama de flujo que ilustra un método para clasificar material de chatarra usando el sistema de la figura 1;
- la figura 6 ilustra un diagrama de flujo para un método de proporcionar una entrada de color para usarse con el método de la figura 5, mostrando el lado izquierdo el procedimiento de calibración y mostrando el lado derecho el procedimiento de clasificación;
- 20 la figura 7 ilustra una tabla de calibración para usarse con el método de la figura 6;
- 25 la figura 8 ilustra un ejemplo simplificado de una imagen de partícula y las etapas asociadas con el método de la figura 6;
- la figura 9 ilustra un diagrama de flujo para un método de suministro de una entrada de color para usarse con el método de la figura 5;
- 30 la figura 10 ilustra un histograma resultante del ejemplo simplificado de una imagen de partícula a partir de la figura 8 usando las etapas asociadas con el método de la figura 9; y
- 35 la figura 11 ilustra una red neuronal para usarse al clasificar la partícula usando un vector de datos y el método de la figura 5.

Descripción detallada

40 Tal como se requiere, las realizaciones detalladas de la presente divulgación se proporcionan en el presente documento; sin embargo, debe comprenderse que las realizaciones dadas a conocer son ejemplos y pueden realizarse de diversas formas y alternativas. Las figuras no se realizan a escala necesariamente; 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 tomarlos como base representativa para enseñar a un experto en la técnica a emplear de maneja variada la presente divulgación.

50 Se reconoce que cualquier circuito u otro dispositivo eléctrico dado a conocer en el presente documento puede incluir cualquier número de microprocesadores, circuitos integrados, dispositivos de memoria (por ejemplo, FLASH, memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de solo lectura (ROM), memoria de solo lectura eléctricamente programable (EPROM), memoria de solo lectura eléctricamente programable borrable (EEPROM), u otras variantes adecuadas de los mismos) y software que actúa conjuntamente entre sí para realizar operación/operaciones dado a conocer en el presente documento. Además, cualquiera o más de los dispositivos eléctricos tal como se dan a conocer en el presente documento pueden configurarse para ejecutar un programa de ordenador que se realiza en un medio legible por ordenador no transitorio que se programa para realizar cualquier número de funciones tal como se da a conocer en el presente documento.

Las figuras 1-2 ilustran un sistema 100 o aparato para clasificar materiales de chatarra en dos o más clasificaciones de materiales, y entonces clasificar los materiales en su clasificación asignada.

60 Una cinta 102 transportadora, u otro mecanismo para mover objetos a lo largo de una trayectoria o en una dirección, en este caso mostrado como la dirección y, soporta las partículas 104 que van a clasificarse. Las partículas 104 que van a clasificarse están conformadas por piezas de materiales de chatarra, tales como chatarra metálica procedente de vehículo, avión, un centro de reciclado; u otra chatarra metálica maciza tal como se conoce en la técnica. Normalmente, los materiales 104 se rompen en piezas más pequeñas del orden de centímetros o milímetros

mediante un procedimiento de fragmentación, o similares, antes de pasar por el sistema 100 de clasificación o una mayor instalación de clasificación. Las partículas 104 pueden colocarse de manera aleatoria y orientarse en el transportador 102, tener tipos de formas aleatorias muy diversos, y tener diversas propiedades, tales como un amplio intervalo de reflexión.

5 El sistema 100 clasifica y separa las partículas en dos o más categorías de materiales seleccionadas. En un ejemplo, se realiza una clasificación binaria para clasificar los materiales 104 en dos categorías. En otro ejemplo, los materiales se clasifican en tres o más categorías de materiales. La cinta 102 transportadora se extiende a lo ancho en la dirección x, y las piezas o partículas 104 de material se colocan aleatoriamente en la cinta 102. En diversos ejemplos, puede clasificarse diferentes chatarras, por ejemplo, tipos de metales mezclados, colada frente a forja, aleaciones, etc.

15 El sistema 100 tiene un sistema 106 de visión que obtiene imágenes de la cinta 102 a medida que pasa a través de una zona de observación del sistema 106 de visión. En un ejemplo, el sistema 106 de visión proporciona una imagen a color en el espectro visible. En otros ejemplos, el sistema 106 de visión proporciona otra imagen de múltiples canales. Una unidad 108 de control recibe las imágenes desde el sistema 106 de visión, y usa las imágenes para ubicar las partículas 104 de material en la cinta y rastrear las partículas a medida que se mueven a lo largo de la cinta. La unidad 108 de control también usa las imágenes obtenidas de datos para determinar datos de color asociados con cada partícula 104 en la cinta 102. La unidad 108 de control puede proporcionarse por un sistema informático en rojo que emplea una pluralidad de procesadores para lograr un entorno a alta velocidad, con múltiples funciones en el que se lleva a cabo el procesamiento de manera continua y simultánea en varios procesadores diferentes. En la unidad 108 de control, cada procesador, a su vez, puede proporcionar un entorno de múltiples funciones en donde varios programas funcionalmente diferentes podrían estar activos simultáneamente, compartiendo el procesador según prioridad y necesidad. La elección de implementación de hardware para soportar las funciones identificadas en los grupos de procesamiento también puede depender del tamaño y velocidad del sistema, así como en las categorías que se clasifican.

30 El sistema 100 tiene un sistema 110 electroscópico láser que tiene uno o más láseres y un sistema de dirección de haz. La luz se pulsa desde los láseres se dirige por el sistema de dirección de haz hasta ubicaciones de partícula conocida a medida que las partículas pasan a través del sistema 110 en la cinta 102. Un haz láser o impulso interacciona con la partícula para formar un plasma. El sistema 110 mide luz emitida por el plasma, por ejemplo, en una o más bandas de frecuencia específicas, para proporcionar una señal que indica datos espectrales a la unidad 108 de control.

35 La unidad 108 de control usa los datos de color y los datos espectrales para cada partícula y lleva a cabo un análisis multidiscriminante para la partícula para clasificar la partícula en una de dos o más clasificaciones preseleccionadas. Basándose en el resultado de la clasificación, la unidad 108 de control controla un dispositivo 112 de clasificación para clasificar las partículas 104 basándose en sus clasificaciones asociadas. La unidad 108 de control también puede incluir una o más pantallas de visualización y una interfaz 114 máquina-humano, para usarse en el control del sistema 100 durante el funcionamiento y también para usarse en la calibración o ajuste de sistema.

45 Las partículas 104 de material de chatarra se proporcionan a una primera región 116 de extremo de la cinta 102. La cinta 102 se mueve usando uno o más motores y rodillos 118 de soporte. La unidad 108 de control controla el/los motor(es) 118 para controlar el movimiento y velocidad de la cinta 102. La unidad 108 de control puede incluir uno o más sensores 120 de posición para determinar una ubicación y programación de la cinta 102 para usar partículas 104 de rastreo y ubicación a medida que se mueven a través del sistema en la cinta. En un ejemplo, el transportador 102 se mueve linealmente a una velocidad del orden de 200 a 400 pies por minuto, aunque se contemplan otras velocidades.

50 Las partículas 104 en la cinta 102 pueden pasar bajo un sistema 122 o dispositivo de limpieza. El sistema 122 de limpieza se extiende a través de la anchura de la cinta 102 y puede incluir una fuente de aire presurizado para eliminar suciedad y/o un dispositivo de humectación para proporcionar una pulverización de líquido, por ejemplo, agua, sobre la superficie del transportador 102 para crear una superficie más oscura, más uniforme del transportador tal como el fondo.

55 La cinta 102 pasa a través de un sistema 106 de visión, que incluye un dispositivo 124 de obtención de imágenes para obtener imágenes del material a medida que se mueve a través del sistema 106. El sistema 106 de visión crea una imagen de una región de la cinta 102 basándose en una zona de observación del dispositivo 124 de obtención de imágenes asociado, y asocia la imagen con la programación de la cinta 102.

60 El sistema 106 de visión incluye un dispositivo 124 de obtención de imágenes y un sistema 126 de iluminación bajo el que pasan la cinta 102 y las partículas 104. El dispositivo 124 de obtención de imágenes puede ser una cámara que tiene un sensor de color digital, tal como un dispositivo acoplado a carga (CCD) o un sensor semiconductor complementario de óxido metálico (CMOS). En un ejemplo, el dispositivo 124 de obtención de imágenes es una

cámara de exploración lineal que explora con una frecuencia suficiente para proporcionar una alimentación continua de fotogramas de imagen secuencial del transportador 102, y es una cámara CCD de tres chips, a color RGB. En otros ejemplos, el dispositivo de obtención de imágenes puede incluir un sensor CMOS u otro sensor, o puede proporcionar una imagen usando otro modelo de color, tal como HSV y HSL u otros canales. La cámara 124 tiene una zona de observación asociada que está enfocada en la cinta 102. La cámara 124 puede ser una cámara multiespectral o hiperespectral que proporciona canales infrarrojos, y/o visibles, ultravioletas.

El sistema 106 de visión también puede incluir un dispositivo 125 de obtención de imágenes tridimensional (3-D) con su propio sistema 127 de iluminación. El dispositivo 125 de obtención de imágenes 3-D puede ser una cámara o un par de cámaras que observan un perfil en línea de láser generado por un láser 127 de línea y usa el desplazamiento vertical del láser de línea para determinar el perfil de superficie superior de la partícula 104. En otra realización, puede ser un sistema de oscilación de láser de tiempo de vuelo acoplado a un espejo de exploración unidimensional (1-D) rápido que explora la anchura de la cinta 102. Alternativamente, puede usarse un sistema de cámara 3D estéreo/dual o cualquier otro sistema de obtención de imágenes 3D tal como se conoce en la técnica.

El sistema 126 de iluminación ilumina la zona de observación de la cinta 102 para proporcionar una iluminación uniforme controlada de la zona de observación para el dispositivo 124 de obtención de imágenes. El sistema 126 de iluminación puede estar dotado de una carcasa 128 que incluye un armazón que soporta una o más luces que emiten luz visible de banda ancha, tal como bombillas de luz fluorescente, LED de banda ancha o bombillas de luz halógena. El sistema 126 de iluminación también puede incluir una lente cilíndrica para colimación e iluminación uniforme y/o uno o más paneles difusores colocados entre las luces y el transportador 102.

La unidad 108 de control controla el sistema 106 de visión usando información con respecto a la posición del transportador 102, por ejemplo, usando entradas procedentes del sensor 120 de posición, para determinar el avance lineal de la cinta 102 transportadora y el avance asociado de las partículas 104 de chatarra en la cinta. La unidad 108 de control puede controlar el sistema 106 de visión para adquirir una imagen de la zona de observación cuando la cinta 102 transportadora ha avanzado una distancia igual a la longitud de la zona de observación.

El dispositivo 124 de obtención de imágenes incluye un detector o sensor de imagen que graba electrónicamente una imagen de la zona de observación a través de la que se transportan las partículas de chatarra mediante el transportador 102. Una unidad 130 de procesamiento de imagen se proporciona en la unidad de control para adquirir y procesar periódicamente las imágenes. La unidad 130 de procesamiento incluye lógica para ensamblar cada imagen a partir de la cámara de exploración lineal. La unidad 130 de procesamiento puede dividir cada imagen de la zona de observación en una matriz de celdas, y analizar los datos digitales correspondientes a la imagen para determinar ubicaciones de partículas 104 en el transportador 102 para usarse en el sistema 110 electroscópico láser y dispositivo 112 de separación, y para determinar una entrada de color para cada partícula 104 para usarse en el procedimiento de clasificación y separación. La unidad 130 de procesamiento de imagen recibe una señal que indica la posición del transportador 102 y cuándo adquirir una imagen de manera que la cinta transportadora obtiene una imagen en una serie de imágenes secuenciales de secciones individuales del transportador a medida que pasa a través de la zona de observación. El controlador 132 y el procesador 130 de la unidad 108 de control pueden realizar diversos análisis de cada uno de los valores de píxel digitales grabados para una imagen tal como se describe a continuación. Un ejemplo de un sistema de clasificación visual basado en color se proporciona en la patente estadounidense n.º 5.676.256, publicada el 4 de octubre de 1997, cuya divulgación se incorpora por completo como referencia en el presente documento.

La cinta 102 pasa entonces a través del sistema 110 electroscópico láser. El sistema 110 electroscópico láser puede funcionar como un sistema de espectroscopía de plasma inducido por láser (LIBS), espectroscopía de chispa inducida por láser (LSS), o espectroscopía de emisión óptica inducida por láser (LIOES), y usa un haz láser enfocado para vaporizar y posteriormente producir emisiones de línea espectral desde un material de muestra, tal como una partícula 104, para analizar la composición química de la partícula 104. El sistema 110 de LIBS proporciona datos de salida ópticos de los plasmas inducidos por láser de las partículas después de que una LIBS cuestione a la unidad 108 de control para usarse en la clasificación y separación de las partículas 104. Un ejemplo de un sistema de clasificación de espectroscopía inducida por láser se proporciona en la patente estadounidense n.º 6.545.240 B2, publicada el 8 de abril de 2003, cuya divulgación se incorpora en su totalidad como referencia en el presente documento.

El sistema 110 electroscópico láser proporciona un sistema 134 de láser con al menos un láser que genera un haz láser que incluye al menos un impulso láser, y en algunos ejemplos un flujo de una pluralidad de impulsos láser, dentro de un intervalo de tiempo seleccionado, y al menos un conjunto 136 de exploración. El conjunto 136 de exploración se coloca entre el láser 134 y el transportador 102 con un deflector de haz que puede colocarse para dirigir los impulsos láser a una partícula seleccionada en cualquier ubicación en una región objetivo seleccionada en el transportador 102 y un elemento de enfoque montado para enfocar el haz y proporcionar densidad de potencia láser uniforme a lo largo de un plano que coincide generalmente con el transportador. El sistema 110 incluye además al menos un colector o detector luz para recoger luz emitida mediante plasma producido desde las

partículas 104 a medida que se irradian por los impulsos láser.

El sistema 134 de láser incluye al menos un láser para proporcionar al menos un impulso láser, y en algunos ejemplos una pluralidad de impulsos láser de haz, dentro de un intervalo de tiempo preseleccionado. En un ejemplo, el sistema 134 de láser se proporciona por un par de láseres 138, 140 de granate de aluminio-itrio-neodimio (conocido habitualmente como Nd-YAG) de conmutación Q pulsados de frecuencia fija en estado sólido, una unidad 142 de sincronización, un par de espejos 144, 146, y un divisor 148 de haz polarizante para combinar flujos de pulso polarizados adecuadamente de cada uno de los láseres 138, 140 en una única trayectoria 150 seleccionada. Cada uno de los láseres 138, 140 puede hacerse funcionar en un modo de impulso doble que produce dos impulsos separados por 1-200 microsegundos mediante la conmutación Q del láser dos veces durante un ciclo de lámpara de destellos. En un ejemplo, los impulsos láser en un impulso doble están separados por aproximadamente 50 microsegundos de manera que el sistema 134 de láser con dos láseres 138, 140 proporciona cuatro impulsos emitidos durante un periodo de 150 microsegundos. Basándose en la velocidad de la cinta 102 transportadora, el movimiento de traslación de una partícula 104 durante este periodo de tiempo es despreciable de manera que todos los cuatro impulsos se dirigen hacia la misma ubicación y la misma partícula usando una única posición de elemento de exploración. En ejemplos adicionales, el sistema 100 incluye más de un sistema 134 de láser, o un sistema 134 de láser que suministra menos o más de cuatro impulsos a una partícula. En otro ejemplo, el sistema 134 de láser suministra un disparo láser desde los dos láseres con dos impulsos separados por dos microsegundos, entrelazándose los disparos láser a 100 Hertz, o 50 Hertz.

En un ejemplo, los láseres 138, 140 se hacen funcionar en un modo de frecuencia fija para generar impulsos de características predecibles. En otros ejemplos, pueden usarse otros láseres que también generan suficientes impulsos láser en un lapso de tiempo en un modo de frecuencia fija para usarse con el sistema 100 y sin requerir la recolocación del elemento de exploración.

El conjunto 136 de exploración se controla mediante la unidad 108 de control para dirigir múltiples impulsos láser a lo largo de una trayectoria hasta una ubicación objetivo asociada con una partícula en la zona objetivo. El conjunto 136 de exploración puede incluir uno o más subconjuntos que están asociados con diferentes funciones del conjunto de exploración. En un ejemplo, cada sistema 134 de láser tiene un conjunto 136 de exploración asociado. El conjunto 136 de exploración puede estar configurado para dirigir el haz láser tanto en la dirección de recorrido del transportador 102 como transversalmente a través de la anchura del transportador 102 para permitir flexibilidad en la fijación de objetivo de las partículas 104 a medida que se mueven con el transportador 102.

El conjunto 136 de exploración incluye un subconjunto 152 de deflector de haz que incluye al menos un deflector de haz 154 que tiene un elemento de exploración con un espejo que puede colocarse, controlable. En un ejemplo, el deflector 154 de haz es un elemento de exploración que puede colocarse galvanométrico con un espejo. Cada espejo puede hacerse rotar por la unidad 108 de control entre una posición de no interferencia y una posición de funcionamiento en donde los impulsos láser interactúan con el espejo. El subconjunto 152 de deflector de haz dirige y enfoca impulsos láser de haz disponibles en intervalos constantes desde el láser 134 hasta posiciones seleccionadas en densidades de potencia uniformes a lo largo de un plano dentro de una zona objetivo en el transportador 102. El intervalo de tiempo preseleccionado se elige para ser lo suficientemente corto para eliminar un punto objetivo seleccionado en una partícula 104 de chatarra detectada que se ha transportado a esa ubicación con múltiples impulsos sin recolocar el elemento 136 de exploración. El espejo 154 del subconjunto 152 de detector dirige los impulsos láser desde un sistema 134 de láser asociado a lo largo de una trayectoria fija hasta un subconjunto 156 de exploración. Cuando no se requieren impulsos láser por el sistema, el subconjunto de detector puede redirigir los impulsos láser a un vertedero láser. Si se requiere un conjunto de impulsos láser antes de que puedan suministrarse los impulsos por un primer sistema de láser, el espejo 154 puede recolocarse para dirigir un conjunto de múltiples impulsos desde un segundo sistema de láser a lo largo de la misma trayectoria fija hasta uno de los subconjuntos 156 de exploración. Al proporcionar más de uno, o un conjunto, de sistemas de láser, así como más de un subconjunto de deflector, la frecuencia de impulsos láser para usarse en el sistema electroscópico puede aumentar más allá de una tasa de frecuencia disponible de un sistema de láser de múltiples impulsos.

El subconjunto 156 de exploración también incluye deflectores 158 de haz que reciben los impulsos láser a lo largo de una trayectoria fija desde el subconjunto 136 de deflector de haz. En un ejemplo, múltiples subconjuntos 156 de exploración se proporcionan basándose en la densidad y velocidad de las partículas 104 en la zona objetivo. Cada subconjunto 156 de exploración puede tener una zona objetivo de solapado con un subconjunto de exploración adyacente. El subconjunto 156 de exploración incluye deflectores 158 de haz, por ejemplo, elementos 160 de exploración galvanométricos que pueden colocarse que colocan espejos 162 asociados para dirigir impulsos láser desde el subconjunto 136 de deflector hasta una ubicación seleccionada y una seleccionada 104 partícula dentro de la zona objetivo a medida que se mueve en el transportador 102 a través de la zona objetivo. El subconjunto 156 de exploración también incluye un elemento 164 de enfoque, tal como una lente para enfocar los impulsos láser. La lente 164 puede ser una lente F-Theta o elemento de enfoque similar que incluye una característica de distorsión de manera que la distancia de imagen es proporcional al ángulo de campo y la exploración es lineal con el desplazamiento angular de los espejos de exploración. En un ejemplo, la lente 164 es una lente telecéntrica F-Theta

que también proporciona enfoque de los impulsos láser a lo largo de un eje que es perpendicular al plano de exploración de la zona objetivo en la totalidad de la zona objetivo de manera que la relación angular entre el flujo de impulso láser y la superficie de las partículas es consistente y no depende de la ubicación de las partículas y aumenta la uniformidad de los resultados. En otro ejemplo, la lente forma parte de un telescopio que consiste normalmente en al menos un lente móvil y una lente fija. Al usar la información de perfil de superficie procedente del dispositivo 125 de obtención de imágenes 3-D, junto con la distancia objetivo geométrica, el punto de enfoque en la dirección z se ajusta para un rendimiento LIBS uniforme, mejorado. Además, la ubicación seleccionada en la partícula 104 puede elegirse para encontrarse en una subregión plana de la partícula con rugosidad de superficie mínima, u otras características conocidas en la técnica para proporcionar señales de LIBS superiores.

El sistema 100 puede incluir uno o más colectores 166 de luz. El colector 166 de luz incluye fibras ópticas distribuidas para recoger luz desde el plasma generado, y se conecta a una unidad 168 de análisis espectral y de distribución de luz para aislar y medir componentes espectrales seleccionados de la luz recogida. En un ejemplo, el colector 166 de luz incluye una pluralidad de fibras ópticas de sílice fundido de grado ultravioleta que se colocan para recoger luz desde un plasma creado como resultado de impulsos láser que interactúan con material de las partículas 104 de chatarra. Las fibras ópticas pueden estar soportadas por alojamientos de exploración y están distribuidas para recoger luz sobre cada una de las zonas objetivo. Las fibras ópticas proporcionan la luz emitida mediante el plasma a la unidad de análisis espectral y de distribución de luz.

La unidad 168 de análisis espectral y de distribución de luz puede incluir una cámara de integración para proporcionar una distribución uniforme de la luz recogida al uno o más filtros espectrales. En un ejemplo, los filtros espectrales se proporcionan mediante sistemas 170 monocromadores que transmiten una banda de luz estrecha (aproximadamente de 0,05 a 0,1 nanómetros de longitud de onda) centrada alrededor de una frecuencia seleccionada con respecto a un detector 172. En otro ejemplo, los filtros espectrales se proporcionan mediante un policromador. El detector 172 proporciona una señal a un procesador 174 espectral en la unidad 108 de control que indica la intensidad de la emisión desde el monocromador asociado. En diversos ejemplos, cada detector 172 se proporciona mediante un tubo fotomultiplicador (PMT), un fotodiodo, una serie de diodos intensificados, un detector de CCD, o similares. En un ejemplo, los colectores 166 de luz se usan para una unidad 168 de análisis espectral con un detector de PMT 172. En otro ejemplo, los colectores 166 de luz se omiten o sustituyen por un espejo para una conexión al aire libre a un detector 172 de CCD.

La unidad 108 de control usa al menos la entrada de color y los datos espectrales tal como se describe a continuación para clasificar cada partícula 104 en una de una pluralidad de clasificaciones. La unidad 108 de control controla entonces la unidad 112 de separación, usando la clasificación para cada partícula 104, la ubicación de las partículas, y la colocación del transportador 102 para clasificar y separar las partículas 104.

El sistema 100 incluye una unidad 112 de separación en un segundo extremo 180 del transportador 102. La unidad 112 de separación incluye un sistema 182 de eyectores usado para separar las partículas 104 basándose en su clasificación. La unidad 112 de separación tiene un controlador 184 de separación que está en comunicación con la unidad 108 de control y el sensor 120 de posición para activar de manera selectiva los eyectores 182 apropiados para separar partículas seleccionadas de chatarra ubicadas en el transportador que han alcanzado el extremo 180 de descarga de la cinta. Los eyectores 182 pueden usarse para clasificar las partículas 104 en dos categorías, tres categorías, o cualquier otro número de categorías de materiales. Los eyectores 182 pueden ser neumáticos, mecánicos, u otros tal como se conoce en la técnica. En un ejemplo, los eyectores 182 son boquillas de aire que se activan selectivamente para dirigir un chorro de aire sobre partículas de chatarra seleccionadas para alterar la trayectoria de la partícula seleccionada cuando abandona la cinta transportadora de modo que las partículas se dirigen y clasifican selectivamente en localizaciones 184 de separación, usando, por ejemplo, una caja 186 de división.

Un bucle de reciclado también puede estar presente en el sistema 100. Si está presente, el bucle de reciclado toma las partículas 104 que no pueden clasificarse y vuelve a llevarlas a través del sistema 100 para una reexploración y reclasificación en una categoría.

Haciendo referencia a la figura 5, se muestra un método para clasificar partículas usando la unidad 108 de control del sistema 100 tal como se muestra en las figuras 1-2. En otras realizaciones, diversas etapas en el método pueden combinarse, disponerse, u omitirse. La unidad 108 de control proporciona una señal de activación de línea a la cámara para adquirir una única línea basándose en la posición del transportador 102. En respuesta a la recepción de la señal de activación de línea, la cámara adquiere una imagen de exploración de línea en 200.

La unidad 108 de control forma una matriz asociada con la imagen de exploración de línea que también se une a la posición o coordina la cinta 102 para usarse mediante la unidad 112 de separación. La matriz solapa la imagen de manera que cada celda en la matriz se asocia con uno o más píxeles en la imagen. En un ejemplo, la matriz puede tener una celda asociada con cada píxel. En otros ejemplos, la matriz puede tener una celda asociada con múltiples píxeles adyacentes.

El procesador 130 de imagen recibe una señal desde la cámara 124 que incluye una serie de señales de RGB correspondientes a cada uno de los segmentos o componentes de color rojo, verde y azul de la zona de observación según se detectan por el sensor en la cámara 124. En otros ejemplos, otras señales de color pueden proporcionarse al procesador de imagen que se basan en un espacio de color y modelo de color diferentes para indicar un color para la imagen que incluye al menos tres componentes de color u otros canales puede proporcionarse desde la cámara, por ejemplo, escala de grises, espectros no visibles, y similares. Las señales de RGB de la cámara 124 se ensamblan o se convierten mediante el procesador 130 de imagen en tres series, correspondiendo cada serie a una de las imágenes roja, verde, y azul. El procesador 130 de imagen puede ensamblar los datos de imagen de exploración de línea para formar una imagen o matriz mayor, compuesta como la serie. Cada serie puede ser de 1024 x 1024 valores de píxel digitales (de 0 a 255) para cada una de las imágenes de rojo, verde y azul, y puede ser de 24 bit. Las series pueden superponerse para proporcionar una imagen a color con tres canales, o canales de RGB, para cada píxel o para cada celda en la matriz. Los valores de RGB se proporcionan como un conjunto de datos de valores de [R, G, B], oscilando cada valor entre 0 y 255, al píxel o celda.

En 202, el procesador 130 de imagen puede transformar las series, imagen, o matriz usando una transformada rápida de Fourier (FFT), rechazar el ruido de frecuencia elevado y/o rechazar frecuencias específicas en las direcciones X y/o Y que representan el ruido de patrón de cinta, y entonces aplicar una FFT inversa para restaurar las series, imagen o matriz mejorados. La unidad 108 de control se emplea para reducir ruido en la imagen transformando la imagen por medio de una FFT para crear una representación de la imagen en un dominio de frecuencia, eliminar al menos una frecuencia específica de la representación, y transformar la representación de vuelta a la imagen por medio de una FFT inversa.

En 202, la unidad 108 de control puede normalizar, adicionalmente, cada uno de los canales de color para la imagen, por ejemplo, la imagen R o la serie, la imagen B o la serie, y la imagen G o la serie para un espacio de color de RGB, para corregir cualquier desequilibrio espectral en las fuentes de luz. Por ejemplo, cada píxel en la imagen puede modificar el valor de R, valor de G, y/o valor de B usando una tabla de calibración o de consulta asociada con cada color. Las tablas de calibración o consulta para la corrección de color de la imagen pueden obtenerse basándose en un procedimiento de calibración que usa fondo neutro, una tarjeta de calibración, o similares.

En 204, la unidad 108 de control identifica celdas en la matriz o píxeles en la imagen que pueden contener una partícula 104 diferenciando la partícula de un fondo indicativo del transportador 102. La partícula 104 se diferencia del fondo aplicando un umbral en al menos un canal de la imagen o matriz y marcando un píxel o celda cuando un valor del al menos un canal supera el umbral para indicar la presencia de una partícula 104.

El procesador 130 de imagen determina, adicionalmente, la información objetivo para cada partícula 104 para usarse por el sistema de láser 110. En un ejemplo, el procesador 130 de imagen determina una ubicación objetivo basándose en un centro de gravedad estimado de la partícula 104 usando la forma de una partícula y valores de un canal a color o escala de grises que está por encima de un valor umbral. En otro ejemplo, el procesador 130 de imagen determina una ubicación objetivo usando un algoritmo de transformada de distancia tal como una transformada de tablero de ajedrez calculando una distancia de cada píxel al borde más próximo de la partícula 104 y desviando la ubicación objetivo con respecto al/a los píxel(es) más lejos desde un borde. Obsérvese que cualquier orificio u otra discontinuidad en la partícula 104 puede crear un borde. En otro ejemplo, el procesador 130 de imagen puede usar información de obtención de imágenes 3-D para seleccionar una ubicación objetivo plana y lisa en la partícula, siempre y cuando la ubicación objetivo esté suficientemente lejos de cualquier borde.

El procesador 130 de imagen o la unidad 108 de control pueden usar una matriz con celdas y series de la matriz que incluyen datos de canal de color [R, G, B], e información adicional con respecto a ubicación de partícula, y propiedades de partícula tal como se determina a continuación. El procesador 130 de imagen o la unidad 108 de control pueden usar, alternativamente, una herramienta de procesamiento de biblioteca de obtención de imágenes, tal como MATROX, para crear una tabla u otra base de datos poblada con datos de píxel para cada partícula que incluye valores de [R, G, B], información de límite, y otras propiedades de partícula tal como se determina a continuación.

En 206, la unidad 108 de control ajusta la imagen y la matriz para cada región asociada con o asignada como una partícula 104 para mejorar la partícula. En otros ejemplos, la etapa 206 se omite, y el método avanza desde la etapa 204 directamente hasta la etapa 208. En la etapa 206, la región de la imagen o matriz asociada con una partícula 104 puede modificarse mediante la unidad 108 de control y el procesador 130 de imagen usando diversas técnicas de procesamiento de visión automáticas para erosionar, dilatar, llenar orificios, o de otro modo modificar o corregir la región de la imagen o matriz asociada con la partícula 104 identificada.

En 208, la unidad 108 de control calcula una entrada de color para la partícula 104 a partir de un modelo de color usando componentes de color para cada píxel en la imagen o celda en la matriz asociada con la partícula. La unidad 108 de control puede aplicar criterios de color a los píxeles de la imagen o las celdas de la matriz asociada con la

partícula 104 para determinar la entrada de color para la partícula. En otros ejemplos, la unidad 108 de control puede evaluar grupos de píxeles o celdas de la imagen asociada con la partícula 104. Por ejemplo, la unidad 108 de control puede analizar la frecuencia y/o distribución de componentes de color en píxeles o celdas adyacentes determinando una entrada de color global para la partícula 104. Las siguientes figuras 6 y 9 proporcionan ejemplos de métodos de determinación de una entrada de color.

En 210 en la figura 5, la unidad 108 de control puede computar características de forma, textura, un componente de color desviación estándar, un volumen de escala de grises, una relación de aspecto, u otra característica visual de la partícula identificada de la imagen o matriz como una característica visual para la partícula. Las características de textura pueden incluir rango, perímetro adimensional (perímetro dividido por raíz cuadrada de área), número de orificios creados al crear el umbral de la partícula o al sustraer una imagen de rango de otra, área de orificio total en proporción de área total, área de orificio mayor en proporción de área, y características de textura de Haralick. En otros ejemplos, la etapa 210 se omite, y el método avanza desde la etapa 208 directamente hasta la etapa 212.

La unidad 108 de control puede asignar valores de textura a la partícula transformando la imagen por medio de una transformada rápida de Fourier (FFT). La magnitud promedio de escala logarítmica en diferentes bandas de frecuencia en la imagen de magnitud de FFT puede usarse como característica de textura distintiva.

En 212, el sistema 110 electroscópico láser marca como objetivo una partícula 104 usando información de ubicación objetivo proporcionada desde el sistema 106 visual y la ubicación o coordina la partícula 104 en el transportador 102, y la posición del transportador 102. La unidad 108 de control controla el conjunto 136 de exploración y los deflectores de haz para dirigir impulsos de luz generados por el sistema 134 de láser a la partícula 104 en el transportador 102 aguas abajo del sistema 108 de visión y dentro de la zona objetivo del sistema 110 electroscópico láser. La unidad 108 de control controla el sistema 134 de láser y el conjunto 136 de exploración para dirigir el haz de luz o un disparo láser a la partícula en la zona objetivo durante un tiempo predeterminado. El sistema 110 electroscópico láser puede usar información de forma y característica desde el sistema de visión para identificar ubicaciones preferidas para destruir la partícula.

El sistema 110 electroscópico láser aísla y mide al menos una banda de luz emitida desde la partícula 104 en la zona objetivo en una banda de frecuencia seleccionada usando el detector 172 para proporcionar datos espectrales para la partícula asociada con un disparo láser dirigido a la partícula. La unidad 108 de control determina los datos espectrales para la partícula 104 basándose en una señal que indica una banda de frecuencia de luz emitida seleccionada desde la partícula en respuesta al haz de luz o disparo láser que interactúa con la partícula. Obsérvese que un disparo láser puede incluir una pluralidad de impulsos láser, e incluye cuatro impulsos láser para un sistema de láser de disparo doble, de láser doble.

En otros ejemplos, la unidad 108 de control puede controlar el sistema 110 electroscópico láser para dirigir más de un disparo láser a la partícula 104, o dirigir una pluralidad de disparos láser secuenciales a la partícula en la zona objetivo. La unidad 108 de control determina datos espectrales para cada disparo láser dirigido a la partícula, de manera que cada disparo láser proporciona datos espectrales diferentes. En otro ejemplo, los datos espectrales pueden promediarse o combinarse de tal modo que los datos espectrales no serían diferentes para cada disparo. Los datos espectrales pueden incluir intensidades relacionadas con una o más bandas estrechas seleccionadas de emisión espectral reconocidas por los monocromadores o detectores. En un ejemplo, los datos espectrales se recogen para cada uno de cuatro impulsos láser. Las líneas espectrales específicas que se observan, el tiempo de retardo (retardo de compuerta) desde el disparo del impulso cuando comienzan las observaciones, y la duración (ancho de compuerta) durante los que se recogen los datos, dependen todos de los elementos que van a identificarse en las partículas de chatarra. Los datos espectrales pueden incluir cualquier número de líneas de emisión en longitudes de onda específicas y pueden ser basándose en las clasificaciones deseadas para la partícula 104. Por ejemplo, los datos espectrales pueden incluir ocho líneas de elemento, dieciséis líneas de elemento, o cualquier otro número de líneas de elemento. Los datos espectrales pueden normalizarse o de otro modo modificarse usando una técnica de calibración. En un ejemplo, con detectores 172 de PMT, los datos espectrales se proporcionan por un valor pico para cada línea. Para datos espectrales de múltiples disparos procedentes de una partícula 104, los datos espectrales para una línea dada pueden compararse y promediarse, ponderarse, apuntarse, descartarse, o de otro modo procesarse. En otro ejemplo, con un detector 172 de CCD, uno o más detectores 172 de CCD pueden proporcionarse en diversas bandas espectrales, por ejemplo, banda ancha o ultravioleta a infrarroja, o cualquier subconjunto de los espectros de banda ancha. Los datos espectrales para una partícula 104 pueden proporcionarse usando un algoritmo de aprendizaje automático tal como un análisis discriminante de mínimos cuadrados parciales (PLSDA) usando histogramas que ponderan píxeles y comparaciones o canales, y similares, una máquina de vector de soporte (SVM), u otro algoritmo. Los datos espectrales pueden muestrearse a partir de emisiones de monocromadores o detectores en un intervalo de muestreo de diez a veinte nanosegundos.

Los impulsos láser pueden distanciarse o separarse en el tiempo mediante la unidad 108 de control para proporcionar un periodo de espera suficiente para permitir la excitación espectral del plasma emitido como resultado del impulso previo para disminuir suficientemente de modo que los datos espectrales adquiridos a partir de los

impulsos posteriores se dirigen a la partícula 104 que no se ve afectada por la excitación del impulso anterior. Por ejemplo, los impulsos láser pueden estar separados aproximadamente 50 microsegundos.

5 En la etapa 214, la unidad 108 de control genera un vector de datos para la partícula 104 para el disparo láser que contiene tanto la entrada de color como los datos espectrales. El vector también puede incluir datos visuales adicionales asociados con la partícula, por ejemplo, una o más características visuales tal como se determina en la etapa 210.

10 En la etapa 216, la unidad 108 de control clasifica la partícula 104 en una de al menos dos clasificaciones de un material en función del vector de datos introduciendo el vector de datos en un algoritmo de aprendizaje automático. La unidad de control puede usar una máquina de vector de soporte (SVM), un análisis discriminante de mínimos cuadrados parciales (PLSDA), una red neuronal, bosques aleatorios de árboles de decisión, u otra técnica de clasificación y de aprendizaje automático para evaluar el vector de datos y clasificar la partícula 104. En un ejemplo, una red neuronal se usa para clasificar cada una de las partículas 104 de chatarra como una de una lista
15 preseleccionada de familias de aleaciones u otra lista preseleccionada de materiales basándose en composición elemental o química basándose en el análisis de datos espectrales y la entrada de datos de color.

20 Los datos espectrales pueden analizarse en 216 para los múltiples impulsos para cada partícula 104 en uno o más vectores de datos. Por ejemplo, los datos espectrales para dos categorías de partículas pueden diferenciarse y clasificarse aislando una o dos bandas espectrales y utilizando técnicas de relación sencillas comparando las intensidades de una o más líneas espectrales analizadas con la intensidad de una línea de referencia, y entonces comparando esas relaciones con diferentes intervalos de valores correspondientes a diferentes aleaciones para dividir en categorías la partícula junto con la entrada de color en el vector de datos.

25 En un ejemplo, cuando se clasifican diversas categorías de partículas 104 que tienen elementos constituyentes similares, tales como varias aleaciones de aluminio diferentes, el método puede usar un régimen de clasificación complejo, tal como una red neuronal, que usa el vector de datos que incluye una pluralidad de líneas espectrales seleccionadas, la entrada de color, y puede incluir otras características de partícula tales como forma, textura, y similares para dividir en categorías las partículas. El vector de datos también puede incluir otros datos para usarse
30 en la clasificación de la partícula tales como entradas desde el monocromador que incluyen un valor correspondiente a la cantidad de radiación dispersa al hacer funcionar la longitud de onda de los láseres y las líneas de emisión seleccionadas monitorizadas por otros monocromadores/detectores, energía de láser producida, y ubicación de partícula en el transportador.

35 Para una unidad 108 de control que implementa una red neuronal para clasificar la partícula 104 usando el vector de datos, el programa de red neuronal puede "entrenarse" para "aprender" relaciones entre grupos de datos de salida y entrada ejecutando la red neuronal a través de un procedimiento de "aprendizaje supervisado". Las relaciones aprendidas pueden usarse entonces para predecir salidas y dividir en categorías una partícula 104 de chatarra usando un vector de datos que contiene datos espectrales tales como intensidades de emisión y dispersión
40 producida a partir de muestras representativas de chatarra que tienen una química, una entrada de color, y otros datos de característica de partícula conocidos. Un ejemplo de una red neuronal se muestra y se describe a continuación con referencia a la figura 11. La red neuronal puede estar configurada para proporcionar a una relación funcional generalizada conocida entre conjuntos de datos de salida y entrada. Las técnicas de algoritmo tales como retropropagación y aprendizaje competitivo pueden usarse para estimar los diversos parámetros o ponderaciones
45 para una clase dada de datos de salida y entrada.

50 Con el fin de combinar clasificación de visión de máquina y LIBS, cada una puede proporcionar de manera independiente una puntuación para cada material que va a separarse, y entonces combinarse las puntuaciones en una etapa final independiente. Alternativamente, los vectores de datos de LIBS y visión de máquina pueden unirse, formando un único vector de datos mayor, antes de aplicar el clasificador, que puede ser una red neuronal, PLSDA, SVM, análisis discriminante, u otro método de clasificación y de aprendizaje automático. En el enfoque anterior, pueden usarse diferentes técnicas para las etapas de LIBS, visión de máquina, y combinación final. Por ejemplo, los datos de LIBS pueden evaluarse con PLSDA para generar una puntuación numérica para cada clase de material, mientras que los datos de visión se evalúan con análisis de múltiples discriminantes para generar una puntuación
55 para cada clase; entonces estas puntuaciones pueden evaluarse mediante una máquina de vector de soporte para generar la clasificación final.

60 En un ejemplo, la clasificación de una partícula 104 puede ser una clasificación de múltiples fases. Por ejemplo, puede usarse una SVM binaria para clasificar dos grupos más grandes de materiales en una clasificación binaria, y entonces puede usarse PLSDA con cada grupo para clasificar metales individuales dentro de cada grupo de materiales. En un ejemplo, estas fases múltiples pueden usarse solo con el vector de datos de LIBS, incluso antes de combinarse con el resultado con datos de visión. En otro ejemplo, tantos los datos de visión como de LIBS (como un único gran vector) pueden usarse en cada fase, en cuyo caso el resultado es una decisión final.

- 5 En la etapa 218, la unidad 108 de control puede decidir múltiples clasificaciones para una partícula 104 si la partícula se interroga por más de un disparo láser y/o se interroga en más de una ubicación objetivo, ya que cada disparo láser puede dar como resultado una clasificación asociada. La unidad 108 de control combina los veredictos de clasificación para todos los disparos láser en cada partícula 104 para alcanzar una decisión de clasificación final usando una de varias decisiones, que incluyen un promedio ponderado de puntuaciones, o votado, u otros métodos conocidos en la técnica de aprendizaje automático.
- 10 Por ejemplo, cuando dos disparos láser se dirigen a la misma partícula 104, puede generarse un vector de datos para cada disparo láser usando la entrada de color y los datos espectrales a partir del disparo láser asociado. La partícula 104 se clasifica en una de las al menos dos clasificaciones del material en función del vector correspondiente para cada disparo, de manera que la partícula tiene dos clasificaciones asociadas. La unidad 108 de control decide entonces las dos clasificaciones para la partícula 104 a partir de cada uno de los dos disparos para determinar una clasificación global para la partícula 104.
- 15 En la etapa 220, la unidad 108 de control controla la unidad 112 de separación para activar de manera selectiva un eyector para expulsar una partícula a una localización basándose en la clasificación para la partícula. La unidad 108 de control controla los eyectores basándose en la clasificación de la partícula que se asigna a las celdas en la matriz asociada con la partícula y basándose en la posición y programación del transportador.
- 20 La figura 6 ilustra un método 250 empleado por la unidad 108 de control para determinar la entrada de color para la partícula. En la etapa 208 de la figura 5. En otras realizaciones, diversas etapas en el método 250 pueden combinarse, redisponerse, u omitirse. En un ejemplo, la unidad 108 de control usa el método 250 para calcular la entrada de color para la partícula a partir del modelo de color.
- 25 En 252, la unidad 108 de control recibe los componentes de color de cada píxel de la imagen o celda de la matriz asociada con la partícula. Cada píxel de la imagen puede tener tres o más componentes de color, por ejemplo, los tres canales de RGB tal como se describió anteriormente. Para cada píxel de cada partícula 104 identificada, la unidad 108 de control obtiene por tanto los componentes de color, por ejemplo R,G,B; o H,S,V; u otras bases de espacio de color tales como las procedentes de datos de cámara multiespectrales con más de 3 componentes de color.
- 30 En 254, la unidad 108 de control emplea un análisis de múltiples discriminantes (MDA) para reducir las tres (o más) componentes de color o dimensiones hasta dos componentes de color que proporcionan un par de discriminantes. La unidad 108 de control usa el MDA para identificar los dos componentes de color más relevantes para cada píxel basándose en las dos clasificaciones y los materiales que van a clasificarse. La unidad 108 de control puede llevar a cabo más de un MDA para los píxeles o celdas asociadas con la partícula 104 para múltiples clasificaciones. Cada MDA se usa para clasificar todas las partículas 104 en dos grupos, es decir, se usa para una clasificación binaria.
- 35 En 256, la unidad 108 de control introduce el par de discriminantes proporcionados por los dos componentes de color identificadas para cada píxel o celda asociada con la partícula usando el MDA en una tabla de calibración, diagrama de calibración, tabla de consulta, o similares almacenados en una unidad de memoria asociada con la unidad de control. La unidad 108 de control determina si el par de discriminantes es un par de discriminantes predefinidos en la tabla de calibración. Si el par de discriminantes es uno de una serie de pares de discriminantes predefinidos, tal como se determina por medio de un procedimiento de calibración descrito a continuación, la unidad 40 108 de control marca el píxel o celda en la imagen, por ejemplo, con un valor 1. Si el par de discriminantes no es uno de la serie de pares de discriminantes predefinidos, la unidad 108 de control deja el píxel o celda en la imagen sin marcar, por ejemplo, como un valor 0.
- 45 En 258, la unidad 108 de control calcula una entrada de color para la partícula 104. La unidad 108 de control suma todos los píxeles o celdas marcados asociados con la partícula 104 para proporcionar una suma de los píxeles marcados. La unidad 108 de control calcula el número total de píxeles o celdas asociadas con la partícula 104. La unidad 108 de control calcula una fracción de llenado para la partícula 104 normalizando o dividiendo la suma de los píxeles marcados por el número total de píxeles asociados con la partícula. La unidad 108 de control establece entonces la fracción de llenado como la entrada de color para la partícula 104 en el vector de datos.
- 50 En 258, la unidad 108 de control calcula una entrada de color para la partícula 104. La unidad 108 de control suma todos los píxeles o celdas marcados asociados con la partícula 104 para proporcionar una suma de los píxeles marcados. La unidad 108 de control calcula el número total de píxeles o celdas asociadas con la partícula 104. La unidad 108 de control calcula una fracción de llenado para la partícula 104 normalizando o dividiendo la suma de los píxeles marcados por el número total de píxeles asociados con la partícula. La unidad 108 de control establece entonces la fracción de llenado como la entrada de color para la partícula 104 en el vector de datos.
- 55 La unidad 108 de control puede proporcionar más de una entrada de color para la partícula 104 repitiendo el método 250 y usando otros dos componentes de color desde la partícula como otro par de discriminantes en otra tabla de calibración para determinar una segunda fracción de llenado y segunda entrada de color para la partícula. Y así sucesivamente: la unidad 108 de control puede calcular una tercera entrada de color para la partícula 104 usando un tercer par de discriminantes, una tercera tabla de calibración, y una tercera fracción de llenado; etc. El primer par de discriminantes para una primera determinación de entrada de color tiene al menos un componente de color diferente en comparación con un segundo par de discriminantes para una segunda determinación de entrada de color. Por ejemplo, pueden usarse [R, G] como un par de discriminantes para una primera entrada de color, y pueden usarse [R, B] o [G, B] como otro par de discriminantes para una segunda entrada de color. Uno de los componentes de
- 60

color en un par de discriminantes puede ser otro valor tal como escala de grises, brillo, y similares. Si se determina más de una fracción de llenado y entrada de color asociada para la partícula, cada entrada de color puede ser un valor escalar independiente que se incluye en el vector de datos en el método 200. Un motivo común para añadir pares de discriminantes segundo, tercero, etc. es el de diferenciar entre más de dos materiales. Sin embargo, pares de discriminantes adicionales junto con tablas de calibración asociadas y fracciones de llenado pueden ayudar a mejorar la precisión de una clasificación binaria sencilla.

En la figura 6 se muestra un método 260 de calibración para proporcionar la tabla de calibración o consulta para usarse en la etapa 256.

En 262, partículas primera y segunda formadas a partir de materiales conocidos de cada una de las clasificaciones seleccionadas para el MDA binario obtienen una imagen usando el mismo sistema 106 de visión tal como se usa en el sistema 100, que incluye el mismo dispositivo de obtención de imágenes y condiciones de luz. Las imágenes de las partículas pueden procesarse, por ejemplo, usando las etapas 202, y/o 206 en el método 200. La unidad 108 de control recibe los componentes de color a partir de cada píxel de la imagen o celda de la matriz asociada con la partícula conocida. Cada píxel de las imágenes puede tener tres o más componentes de color de manera que la unidad 108 de control recibe los componentes de color, por ejemplo, R,G,B; o H,S,V; etc.

En la etapa 264, se lleva a cabo un MDA para las imágenes para reducir las tres (o más) componentes de color o dimensiones hasta dos componentes de color para proporcionar un par de discriminantes para cada píxel o celda para cada partícula. La unidad 108 de control usa el MDA para identificar los dos componentes de color más relevantes para cada píxel. Los pares de discriminantes se representan entonces gráficamente mediante la unidad 108 de control, tal como se muestra en la figura 7. La representación gráfica puede observarse por un usuario, por ejemplo, por medio de las visualizaciones y el HMI de la unidad de control.

La figura 7 representa gráficamente los pares de discriminantes, tal como se muestra por un primer componente de color o primer discriminante en un eje y un segundo componente de color o segundo discriminante en el otro eje, teniendo cada eje un intervalo de 0-255. Los pares de discriminantes de la primera partícula, o asociados con las primeras clasificaciones se encuentran dentro de la región 266. Los pares de discriminantes de la segunda partícula, o asociados con la segunda clasificación se encuentran dentro de la región 268. Obsérvese que las dos regiones 266, 268 pueden solaparse en una o más zonas contiguas, tal como se muestra por la región 270. En la etapa 280 del método 260, la región 272 se dibuja o selecciona como una región contigua por el usuario y asignada a la clasificación de material objetivo, o una de las clasificaciones en una separación binaria de dos clasificaciones, por ejemplo, para el primer material de partícula. La región 272 puede ser una única región contigua, o la región 272 puede incluir más de una región contigua asignada por el usuario para una clasificación. Cuando el usuario selecciona la región 272, la tabla de consulta o tabla de calibración resultante puede ser no lineal, lo que permite una flexibilidad adicional para el procedimiento de clasificación.

En el presente ejemplo, los pares de discriminantes solo pueden representarse gráficamente si se producen en al menos tres píxeles o celdas asociadas con la partícula. En otros ejemplos, los pares de discriminantes pueden representarse gráficamente o introducirse en la tabla si se producen en al menos un píxel o celda de la imagen de partícula, o en más de cuatro píxeles o celdas de la imagen de partícula.

La fracción de llenado puede calcularse como el porcentaje de píxeles o celdas de la partícula que se encuentran en la región 272. En la etapa 282, la unidad 108 de control guarda la tabla de calibración o consulta con los conjuntos predefinidos de pares de discriminantes que están asociados con una clasificación y se encuentran en la región 272 definida.

La figura 8 ilustra un ejemplo simplificado de un cálculo de fracción de llenado para una partícula. La matriz o serie 290 representa una imagen de una partícula. La imagen de la partícula incluye 9 píxeles totales, aunque se contemplan series de otros tamaños para usarse con la presente divulgación. Cada celda o píxel en la imagen tiene un valor de R, G, y un valor de B asociados, tal como se muestra en la figura. La imagen 290 corresponde con la etapa 252 en el método 250.

La unidad 108 de control procesa la imagen 290 en la etapa 254, lo que da como resultado un par discriminante para cada píxel en la imagen. Los pares de discriminantes representativos se enumeran para cada píxel en la matriz 292. En un ejemplo, el primer componente del par de discriminantes se calcula en función de los valores [R, G, B] para el píxel asociado, y puede realizarse basándose en una ecuación tal como $aR+bG+cB+d$, en donde a, b, c, y d son valores constantes. En el ejemplo, el segundo componente del par de discriminantes se calcula como otra función de los valores [R, G, B] para el píxel asociado, y puede realizarse basándose en una ecuación tal como $eR+fG+gB+h$, en donde e, f, g, y h son valores constantes.

Cada uno de los pares de discriminantes en la matriz 292 se introducen en una tabla de consulta en la etapa 256. En el presente ejemplo, cada uno de los pares de discriminantes en la matriz 292 se introduce en la tabla de consulta

mostrada en la figura 7. Si el par de discriminante es uno de una serie de pares predefinidos, tales como los de la región 272, un valor de uno se asigna a la celda. Si el par de discriminantes no es uno de los pares predefinidos, un valor de cero se asigna a la celda. Los resultados de introducir la matriz 292 en la tabla de consulta de la figura 7 se ilustran en la matriz 294.

5 La unidad 108 de control puede entonces calcular una fracción de llenado para la partícula. En el presente ejemplo, la fracción de llenado de la partícula es 0,111 basándose en una celda de nueve celdas totales que tienen un valor marcado. La fracción de llenado puede entonces proporcionarse al vector de datos para la partícula para usarse en la clasificación. En ejemplos adicionales, la unidad 108 de control puede comparar, adicionalmente, la fracción de llenado calculada con un valor umbral. Por ejemplo, cuando la fracción de llenado de la partícula está por debajo de un valor umbral de 0,65, la unidad 108 de control puede determinar que la partícula no es de una clasificación asociada con la fracción de llenado por encima del valor umbral.

15 La unidad 108 de control puede extraer, adicionalmente, parámetros adicionales, tales como textura y otros datos de imagen y partícula para usarse en el vector de datos. Por ejemplo, la imagen 290 en la figura 8 tiene un perímetro de 8 píxeles, y un área de 9 píxeles. La imagen 290 también tiene las siguientes características de textura: un rango de 69,0, un perímetro sobre la raíz cuadrada del área ($P/\sqrt{\text{área}(A)}$) de 2,667, cero orificios, cero píxeles como la mayor área de orificio, y cero píxeles como el área de orificio total para la imagen. También pueden extraerse características de parámetros y textura adicionales a partir de la imagen para usarse en el vector de datos y clasificación de la partícula.

20 La figura 9 ilustra un método 300 empleado por la unidad 108 de control para determinar una entrada de color para la partícula 104 en la etapa 208 de la figura 5. En otras realizaciones, diversas etapas en el método 300 pueden combinarse, rediseñarse, u omitirse. En un ejemplo, la unidad 108 de control usa el método 300 para calcular la entrada de color para la partícula a partir del modelo de color.

25 En 302, la unidad 108 de control recibe los componentes de color a partir de cada píxel de la imagen o celda de la matriz asociada con la partícula 104. Cada píxel de la imagen puede tener tres o más componentes de color, por ejemplo, los tres canales de RGB tal como se describió anteriormente. Para cada píxel de cada partícula identificada, la unidad 108 de control obtiene por tanto los componentes de color, por ejemplo R, G, B; o H, S, V; u otras bases de espacio de color tales como las procedentes de los datos de cámara multiespectral con más de 3 componentes de color.

35 El método puede proporcionar una entrada de color por medio de una primera variación A del método 300 o una segunda variación B del método 300.

40 Para la variación A, el método avanza desde el bloque 302 hasta el bloque 304. En el bloque 304, la unidad 108 de control promedia cada componente de color a través de todos los píxeles o celdas asociadas con e identificados como la partícula. Por ejemplo, la unidad 108 de control puede promediar los valores de R para todos los píxeles asociados con la partícula, los valores de B para todos los píxeles asociados con la partícula, y los valores de G para todos los píxeles asociados con la partícula, dado como resultado un lote de datos de color para la partícula con tres valores escalares, como $[R_{\text{promedio}}, B_{\text{promedio}}, G_{\text{promedio}}]$. En otros ejemplos, la unidad 108 de control puede calcular los valores de componente de color promedio para la partícula basándose en otro modelo de color o espacio, tal como HSV, etc.

45 En la etapa 306, la unidad 108 de control establece la entrada de color para la partícula 104 como el conjunto de datos identificado en la etapa 304, y avanza a la etapa 308 en donde finaliza el método 300, y la entrada de color se usa con el método 200.

50 En un ejemplo, la unidad 108 de control aplica el método 300, la variación A a la imagen de partícula 290 tal como se muestra en la figura 8. La unidad 108 de control calcula los valores $[R_{\text{promedio}}, B_{\text{promedio}}, G_{\text{promedio}}]$ para la partícula tal como se muestra en la etapa 304 usando la imagen 290 en la figura 8, que, en el presente ejemplo, da como resultado un conjunto de datos de color para $[R_{\text{promedio}}, B_{\text{promedio}}, G_{\text{promedio}}]$ de [189, 83, 133].

55 Para la variación B, el método avanza desde el bloque 302 hasta el bloque 310. En el bloque 310, la unidad 108 de control crea un histograma para cada componente de color de la partícula 104, de manera que existe un histograma de R, un histograma de G, y un histograma de B para una partícula que usa un espacio de color de RGB. Alternativamente, la unidad 108 de control crea un único histograma para la partícula 104 con tres conjuntos de localizaciones, estando cada conjunto de localizaciones asociado con un componente de color diferente del espacio de color. En un ejemplo, se usan componentes de color de 8-bit para el histograma, de manera que las localizaciones para un componente de color tienen un valor asociado que se encuentra dentro de una de las localizaciones. Por ejemplo, con un componente de 8-bit roja, el valor de R de un píxel o celda en la imagen se encontraría en una de 10 localizaciones que tienen un intervalo entre 0-25, 26-50, ..., y 230-255. Para un único histograma que usa el espacio de color de RGB, el histograma resultante tiene, por tanto, treinta localizaciones.

Obviamente, las localizaciones pueden definirse de otro modo, por ejemplo, para un color de 16-bit, un color de 32-bit, como localizaciones con intervalos distintos o tamaños diferentes, y similares.

5 La unidad 108 de control examina cada píxel de celda de la imagen asociada con la partícula 104, y las localizaciones de los valores de los componentes de color para ese píxel aumentando el histograma valor de localización de histograma apropiado en uno. La unidad 108 de control repite esto para todos los píxeles o celdas asociadas con la partícula.

10 Una vez que el/los histograma(s) se pueblan basándose en los datos de color de partícula, la unidad 108 de control puede normalizar el/los histograma(s) en la etapa 312 mediante el área de la partícula 104 en la imagen. El área de la partícula 104 puede calcularse mediante la unidad de control sumando el número de píxeles o celdas que se identifican como la partícula o asociados con la partícula.

15 En la etapa 314, la unidad 108 de control establece la entrada de color para la partícula 104 como el histograma identificado en la etapa 312. La entrada de color es, por tanto, un conjunto de datos que contienen un número de valores escalares basándose en los valores asociados con cada localización. En un ejemplo, el histograma normalizado contiene 30 localizaciones basándose en un espacio de color de RGB de 8-bit, y la entrada de color sería, por tanto, un conjunto de datos con 30 valores escalares normalizados. El método 300 avanza entonces a la etapa 308 en donde finaliza el método 300, y la entrada de color se usa con el método 200.

20 En un ejemplo, la unidad 108 de control aplica el método 300, la variación B a la imagen de la partícula 290 tal como se muestra en la figura 8. La unidad 108 de control crea un histograma tal como se muestra en la figura 10, usando la etapa 310, con los valores [R, G, B] de cada píxel en la imagen 290 asignados de manera apropiada a una localización del histograma. Por ejemplo, solo un píxel en la imagen 290 tiene un valor de R entre 50-75, y por tanto el recuento de localización asociada es uno. El histograma tal como se muestra en la figura 10 puede normalizarse adicionalmente por la unidad 108 de control en la etapa 312, y el histograma normalizado o no normalizado se proporciona como la entrada de color en la etapa 314.

30 La partícula puede clasificarse usando un vector de datos que incorpora tanto datos de color como datos espectrales según la presente divulgación, y tal como se describe con respecto al método de la figura 5. En un ejemplo, el método ilustrado en la figura 5 introduce el vector de datos en una red neuronal en la etapa 216 para clasificar la partícula. Un diagrama de una red neuronal para usarse con el método de la figura 5 se ilustra en la figura 11. El programa de red neuronal puede "entrenarse" para "aprender" relaciones entre grupos de datos de salida y entrada ejecutando la red neuronal a través de un procedimiento de "aprendizaje supervisado". Las relaciones aprendidas de este modo pueden usarse entonces para predecir salidas (es decir, dividir en categorías cada una de las partículas de chatarra) basándose en un conjunto dado de entradas relacionadas con, por ejemplo, color y entradas espectrales producidas a partir de muestras de chatarra representativas que tienen una química conocida.

40 En la figura 11, la unidad 108 de control usa una red 340 neuronal y una lógica de toma de decisiones/de análisis para proporcionar un esquema de clasificación para la selección de chatarra metálica para clasificar los materiales usando un sistema de clasificación binario, o para clasificar la partícula en una de tres o más clasificaciones. Pueden emplearse herramientas de configuración de red neuronal comercialmente disponibles para establecer una relación funcional generalizada conocida entre conjuntos de datos de salida y entrada. Pueden aplicarse técnicas algorítmicas conocidas tales como retropropagación y aprendizaje competitivo para estimar los diversos parámetros o ponderaciones para una clase dada de datos de salida y entrada.

50 La red 340 neuronal usa el vector de datos determinado en la etapa 214 como la entrada a la red neuronal, conteniendo el vector de entradas de datos de datos de color, datos espectrales, etc. Tal como se describió anteriormente, el vector de datos incluye datos espectrales a partir de la LIBS, así como una entrada de color. El vector de datos puede contener datos adicionales representativos de otros parámetros de partícula o sistema.

Tal como se ilustra en la figura 11, la red 340 neuronal tiene entradas procedentes del vector de datos que se basan en los datos espectrales obtenidos durante el procedimiento de LIBS. En un ejemplo, los datos espectrales incluyen dieciséis líneas, estando cada línea representada por un valor de intensidad. En otros ejemplos, los datos espectrales pueden incluir un número de líneas espectrales mayor o menor basándose en las clasificaciones deseadas de materiales, o asociadas con diferentes impulsos láser en el flujo de impulsos láser. El vector de datos proporcionado a la red neuronal incluye, por tanto, los datos espectrales adquiridos por la unidad de control a partir de la distribución de luz y sistema 28 de análisis espectral como las entradas de datos. Por ejemplo, las múltiples entradas 350 correspondientes a los datos espectrales para una partícula seleccionada pueden incluir una serie de entradas de datos correspondientes a lecturas de intensidad procedentes de un detector para una banda (L) espectral seleccionada durante un periodo (t) de tiempo seleccionado tras el primer impulso (P) (L1P1t1, L1P1t2... L1P1tn), datos correspondiente a lecturas de detector para la misma banda seleccionada tras el segundo impulso (L1P2t1, L1P2t2 ... L1Pztn), y las entradas de datos similares para esa banda espectral seleccionada para cada impulso adicional se dirigen a la partícula (L1Pnt1, L1Pnt2... L1Pztn), así como conjuntos adicionales de estos

conjuntos para cada una de las bandas (L2P1t1...LZPntn, LnPlt1 ... LnPntn) seleccionadas, y así sucesivamente.

5 La red 340 neuronal tiene entradas procedentes del vector de datos que se basan en la entrada 352 de color para la partícula contenida en el vector de datos. En un ejemplo, la entrada 352 de color es un valor escalar de fracción de llenado determinado para la partícula, tal como se describe con respecto a la figura 6. Alternativamente, la entrada 352 de color puede ser un conjunto de datos de unos valores [R, G, B] promedio para la partícula, tal como se muestra y se describe con respecto a la figura 8, variación A. La entrada 352 de color también puede ser un conjunto de datos de valores escalares que se basan en valores de localización normalizados procedentes de un histograma, por ejemplo, con 30 valores de localización proporcionados como la entrada de color en el vector de datos, tal como se muestra y se describe con respecto a la figura 8, variación B.

10 La red 340 neuronal tiene entradas procedentes del vector de datos que se basan en otras características 354 de imagen para la partícula contenida en el vector de datos, por ejemplo, tal como se determina en la etapa 210 que incluyen forma, textura, y otras características.

15 La red 340 neuronal también puede estar dotada de una variedad de otras entradas deseadas, que incluyen datos relacionados con energía 358 de láser dispersa, y datos relacionados con energía 360 de láser producida. La posición de la partícula en la cinta puede proporcionarse a la red neuronal como parte de los vectores de datos, tal como se indica por la posición X y la posición Y en 362. De manera similar, pueden incluirse otras entradas 362 que se consideran que influyen en el procedimiento de toma de decisiones en el vector de datos.

20 Tal como se describió anteriormente, al usar técnicas de programación de red neuronal conocidas, la red puede entrenarse proporcionando conjuntos de entradas junto con la deseada de las salidas 370-376 posibles. Una vez se obtienen relaciones funcionales específicas entre las entradas y salidas, puede usarse la red con nuevos conjuntos de entradas para predecir valores de salida. Se apreciará que una vez desarrollada, la red neuronal puede incorporar información procedente de una multitud de entradas en el procedimiento de toma de decisiones para dividir en categorías las partículas de manera eficaz.

25 Aunque anteriormente se describen realizaciones a modo de ejemplo, no se pretende que esas realizaciones describan todas las formas posibles de la divulgación. En lugar de eso, las palabras usadas en la memoria descriptiva son palabras de descripción en lugar de palabras de limitación, y se comprende que pueden realizarse diversos cambios sin alejarse del alcance tal como se define en las reivindicaciones. Adicionalmente, las características de diversas realizaciones de implementación pueden combinarse para formar realizaciones adicionales de la divulgación.

30

35

REIVINDICACIONES

1. Método (300) de clasificación (104) de partículas de chatarra que comprende:
 - 5 obtener imágenes de un transportador (102) móvil que contiene partículas (104) de chatarra que usa un sistema (106) de visión para crear una imagen correspondiente a una ubicación programada del transportador (102);
 - 10 emplear un ordenador para analizar la imagen como una matriz de celdas;
 - generar y dirigir un haz de luz a la partícula (104) en el transportador (102) aguas abajo del sistema (106) de visión y dentro de una zona objetivo usando un conjunto de exploración que incluye un deflector de haz;
 - 15 aislar y medir al menos una banda de luz emitida desde la partícula (104) en la zona objetivo en una banda de frecuencia seleccionada usando un detector para proporcionar datos espectrales para la partícula; y
 - caracterizado por emplear el ordenador para identificar celdas en la matriz que contienen una partícula (104) diferenciando la partícula (104) de un fondo indicativo del transportador (102), y
 - 20 calcular una entrada de color para la partícula (104) a partir de un modelo de color determinando componentes de color para cada celda en la matriz asociada con la partícula (104); y
 - generar un vector de datos para la partícula (104) que contiene la entrada de color y los datos espectrales, y clasificar la partícula (104) en una de al menos dos clasificaciones de un material en función del vector de
 - 25 datos.
2. Método (300) según la reivindicación 1, en el que calcular la entrada de color para la partícula comprende además realizar el promedio de al menos un componente de color para la partícula (104) a través de las
- 30 celdas en la matriz asociada con la partícula (104).
3. Método (300) según la reivindicación 1, en el que calcular la entrada de color para la partícula (104) comprende además realizar el promedio de tres componentes de color para la partícula (104) a través de las celdas en la matriz asociada con la partícula (104).
- 35 4. Método (300) según la reivindicación 1, en el que calcular la entrada de color para la partícula comprende además asignar un componente de color de cada celda en la matriz asociada con la partícula (104) en una localización para obtener un histograma de cada componente de color para la partícula, en el que cada histograma se normaliza (104) mediante una zona de la partícula determinada por varias celdas en la matriz asociada con la partícula (104).
- 40 5. Método (300) según la reivindicación 1, que comprende además emplear el ordenador para reducir ruido en la imagen transformando la imagen por medio de una transformada rápida de Fourier para crear una representación de la imagen en un dominio de frecuencia, eliminar al menos una frecuencia específica de la representación, y transformar la representación de vuelta a la imagen por medio de una transformada rápida de Fourier inversa.
- 45 6. Método (300) según la reivindicación 1, en el que la partícula (104) se identifica en la matriz aplicando un umbral en al menos un canal de la matriz y marcando una celda cuando un valor del al menos un canal supera el umbral para indicar la presencia de una partícula (104).
- 50 7. Método (300) según la reivindicación 1, que comprende además emplear el ordenador para determinar al menos una característica de la partícula (104) a partir de la matriz, una característica que incluye una textura, una forma, una desviación estándar de componente de color, y un volumen de escala de grises;
- 55 en el que el vector de datos se genera adicionalmente usando el ordenador para contener la al menos una característica.
8. Método (300) según la reivindicación 1, en el que el ordenador se emplea para clasificar la partícula (104) en una de las al menos dos clasificaciones del material en función del vector de datos introduciendo el
- 60 vector de datos en un algoritmo de aprendizaje automático, comprendiendo el algoritmo de aprendizaje automático al menos una de una máquina de vector de soporte, un análisis discriminante de mínimos cuadrados parciales, una red neuronal, un análisis discriminante de mínimos cuadrados parciales, un bosque aleatorio de árboles de decisión.

9. Método (300) según la reivindicación 1, en el que el haz de luz es al menos un disparo láser dirigido a la partícula (104) en la zona objetivo durante un tiempo predeterminado;
- 5 en el que un vector de datos correspondiente se genera para cada disparo láser usando la entrada de color y los datos espectrales a partir del disparo láser asociado; y
- 10 en el que la partícula (104) se clasifica en una de las al menos dos clasificaciones del material en función del vector de datos correspondiente para cada disparo láser, y las clasificaciones asociadas con cada uno de los disparos láser se deciden por el ordenador para determinar una clasificación global para la partícula (104).
10. Método (300) según la reivindicación 1, que comprende además emplear el ordenador para transformar la imagen por medio de una transformada rápida de Fourier (FFT) y crear una serie unidimensional que representa un promedio de una magnitud de escala logarítmica en diferentes regiones de frecuencia en la imagen sometida a FFT para representar información de textura asociada con la partícula (104).
- 15 11. Método (300) según la reivindicación 1, que comprende además marcar como objetivo el haz de luz en una región de la partícula (104) basándose en una transformada de distancia de tablero de ajedrez aplicada a la imagen.
- 20 12. Método (300) según la reivindicación 1, en el que emplear el ordenador para calcular la entrada de color para la partícula (104) a partir del modelo de color determinando componentes de color para cada celda en la matriz asociada con la partícula (104) comprende además emplear el ordenador para introducir dos componentes de color de cada celda de la matriz asociada con la partícula (104) como un par de discriminantes en una tabla de calibración, marcar la celda si el par de discriminantes es uno de un par de discriminantes predefinidos, y calcular la entrada de color normalizando una suma de las celdas marcadas por un número total de celdas asociadas con la partícula (104).
- 25 13. Método (300) según la reivindicación 12, en el que la entrada de color es una primera entrada de color, comprendiendo además el método (300):
- 30 emplear el ordenador para calcular una segunda entrada de color para la partícula (104) introduciendo otros dos componentes de color de cada celda asociada con la partícula (104) como otro par de discriminantes en otra tabla de calibración;
- 35 en el que al menos uno de los componentes de color de la primera entrada de color se diferencia de al menos uno de los otros componentes de color de la segunda entrada de color; y
- 40 en el que el ordenador se emplea para generar el vector de datos para la partícula (104) que contiene la primera entrada de color, la segunda entrada de color, y los datos espectrales.
- 45 14. Método (300) según la reivindicación 12, que comprende además emplear el ordenador para crear la tabla de calibración por medio de un procedimiento de calibración usando una partícula (104) conocida a partir de una de las al menos dos clasificaciones:
- 50 obteniendo imágenes de la partícula conocida y llevando a cabo un análisis de múltiples discriminantes de los componentes de color de cada celda de la imagen de la partícula (104) conocida para proporcionar dos discriminantes, y
- 55 asignando al menos una región contigua de una representación gráfica de los dos discriminantes a una de las al menos dos clasificaciones del material para definir un conjunto de pares de discriminantes predefinidos para una de las al menos dos clasificaciones de la tabla de calibración.
- 60 15. Sistema (100) de exploración para clasificar partículas (104) de material de chatarra colocadas de manera aleatoria en un transportador (102) móvil, comprendiendo el sistema (100) de exploración:
- un sistema (106) de visión que tiene un sensor y una zona de observación predefinida iluminada para obtener imágenes de un transportador (102) que pasa a través de los mismos en un intervalo de tiempo;
- un elemento de dirección de haz que recibe un haz de luz desde una fuente y redirige el haz hasta un conjunto de exploración de objetivo que tiene un deflector de haz montado en una trayectoria del haz de luz para dirigir adicionalmente el haz hasta una ubicación seleccionada dentro de una zona objetivo bidimensional, y

un elemento óptico de enfoque montado en la trayectoria del haz de luz para enfocar el haz de luz y proporcionar una densidad de potencia de luz generalmente uniforme a lo largo de una superficie focal;

5 un sensor espectral adyacente a la zona objetivo; y

al menos un controlador para recibir y procesar datos de imagen adquiridos desde el sistema (106) de visión para identificar una partícula (104) de chatarra en el transportador (102) en la zona de observación,

10 calcular una entrada de color a partir de un modelo de color para la partícula a partir de una imagen tomada por el sistema (106) de visión aplicando un criterio de color a la imagen,

15 marcar como objetivo una partícula de chatarra en la zona objetivo y controlar el elemento de dirección de haz de luz y el conjunto de exploración de objetivo para dirigir el haz a la partícula (104) de chatarra objetivo,

determinar datos espectrales para la partícula (104) basándose en una señal que indica una o más bandas de frecuencia de luz seleccionadas emitidas desde la partícula (104) en respuesta a la interacción del haz de luz con la partícula (104), y

20 clasificar la partícula (104) en una clasificación de material usando un vector de datos que contiene la entrada de color y los datos espectrales.

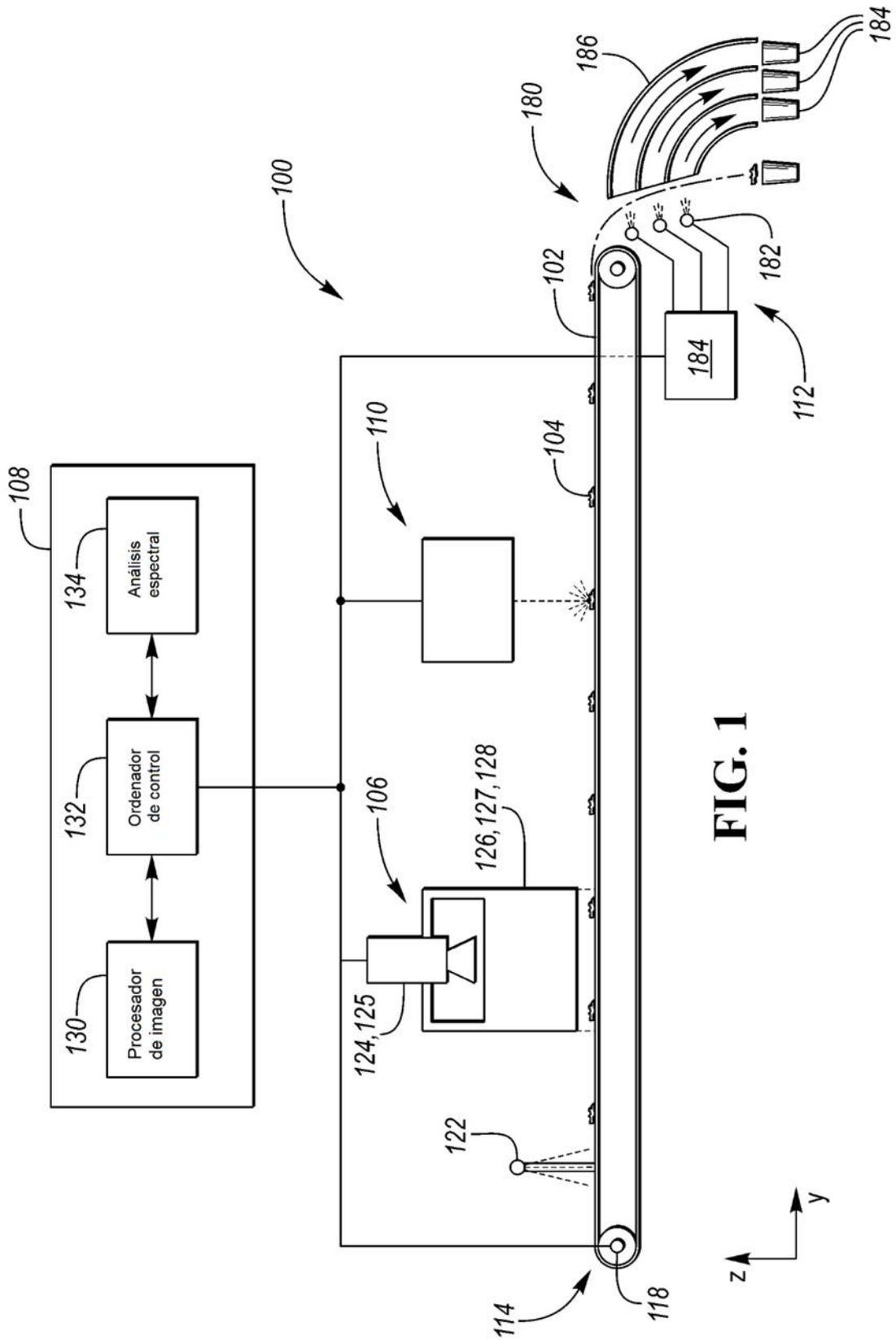


FIG. 1

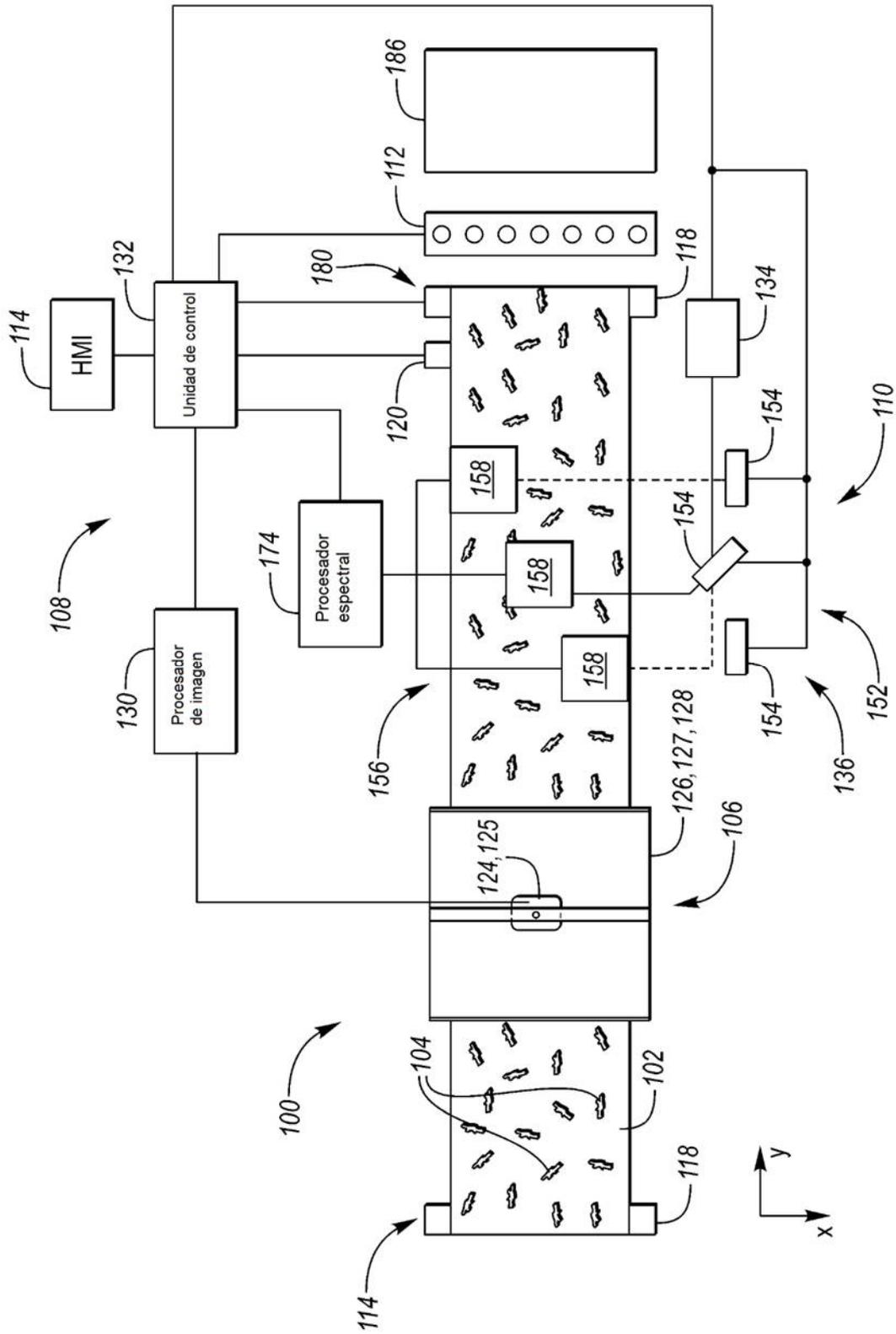


FIG. 2

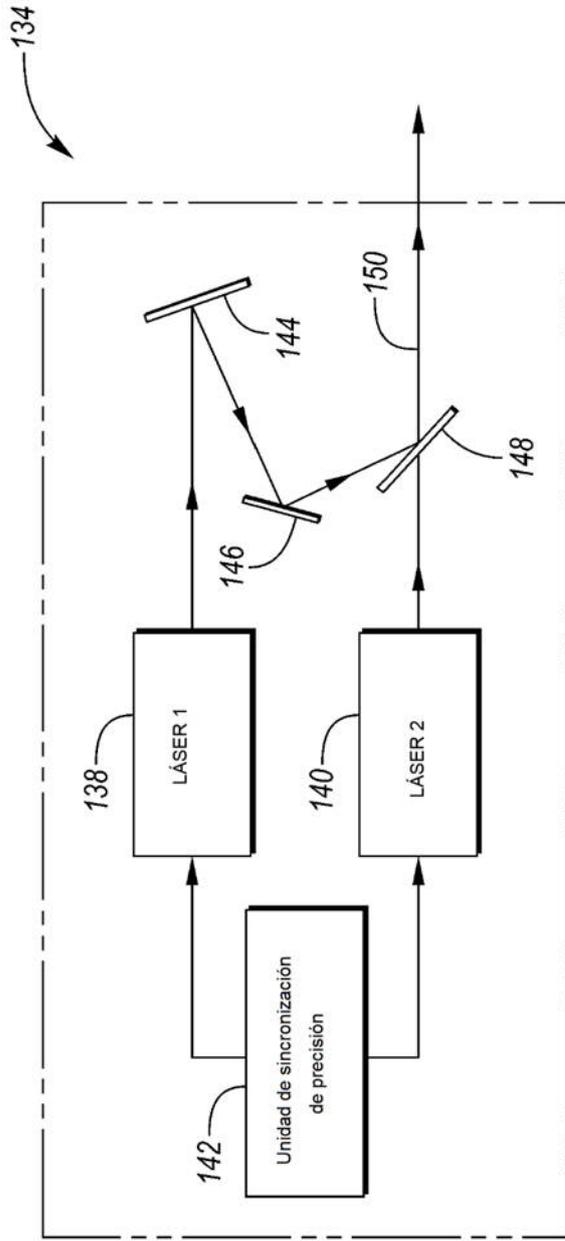


FIG. 3

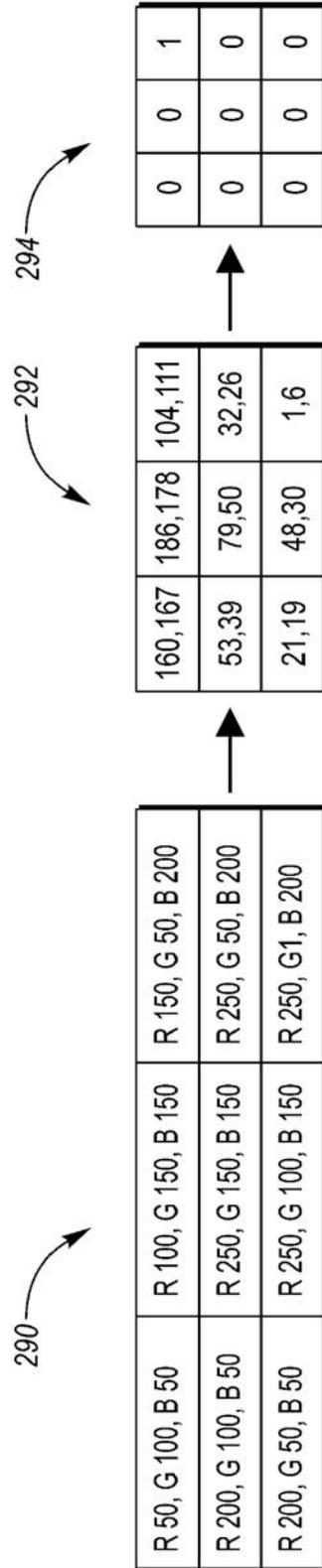


FIG. 8

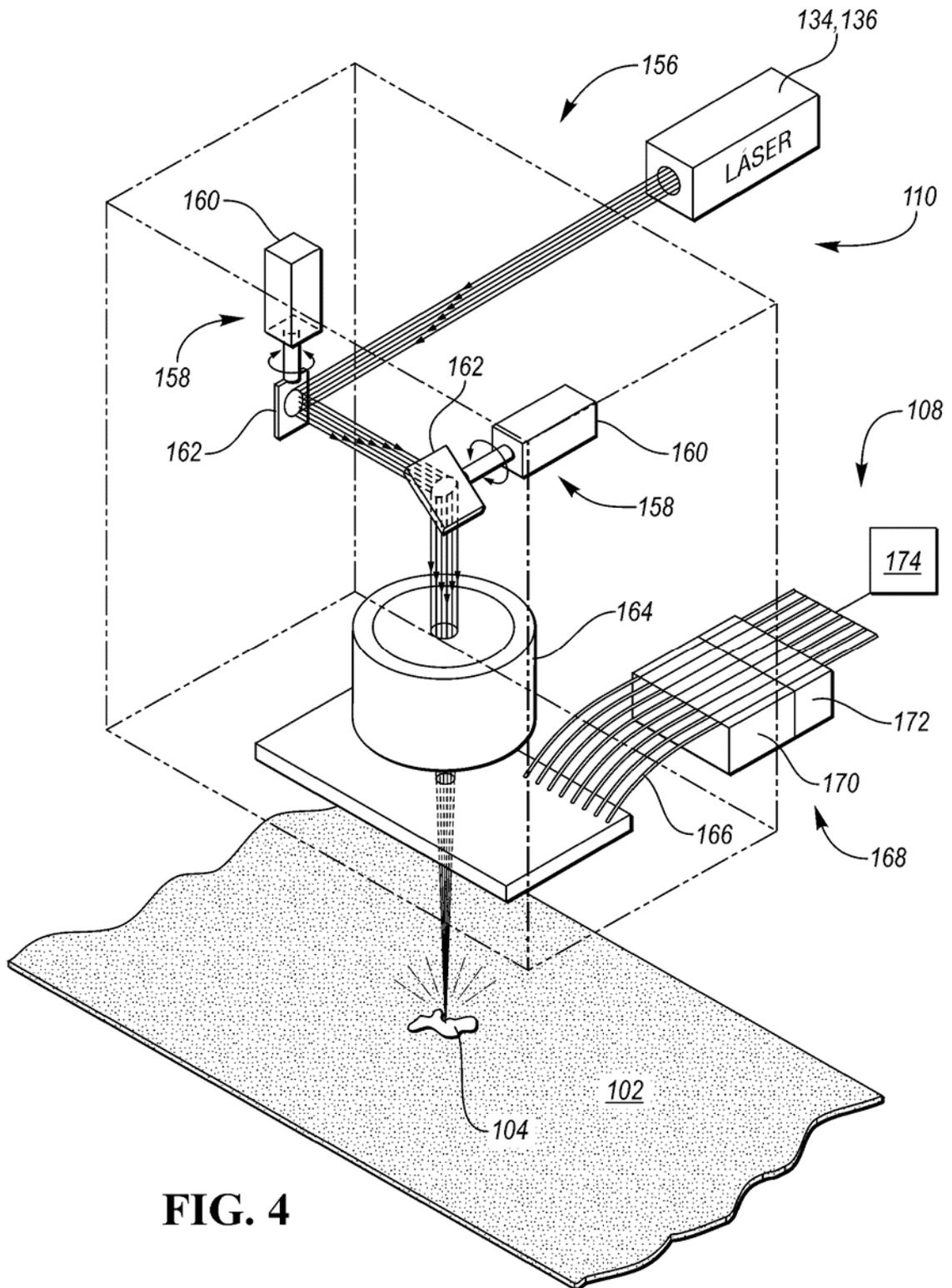


FIG. 4

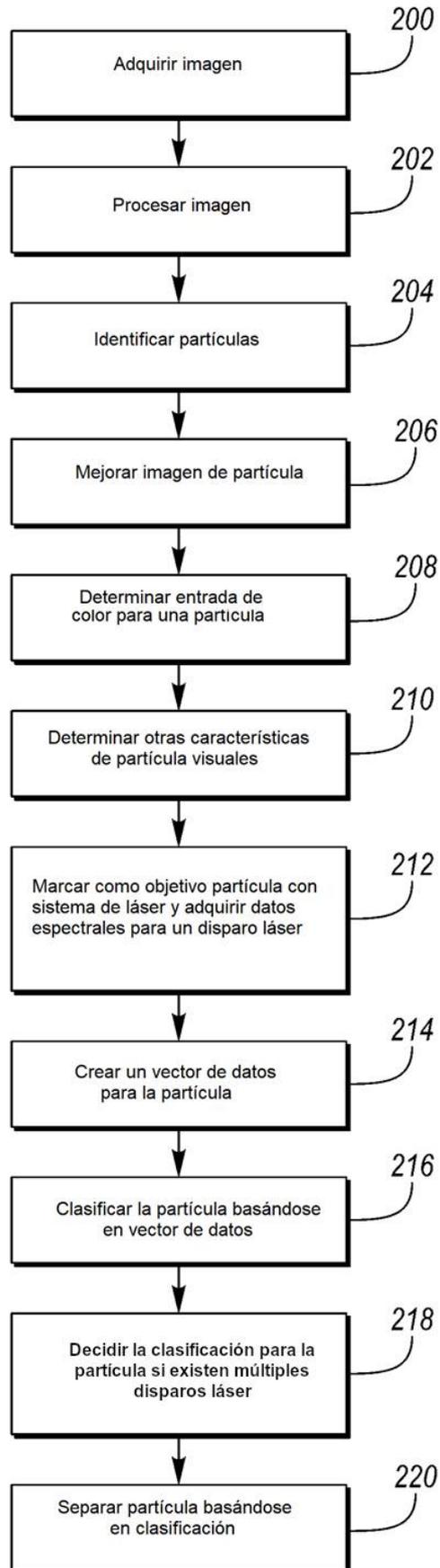


FIG. 5

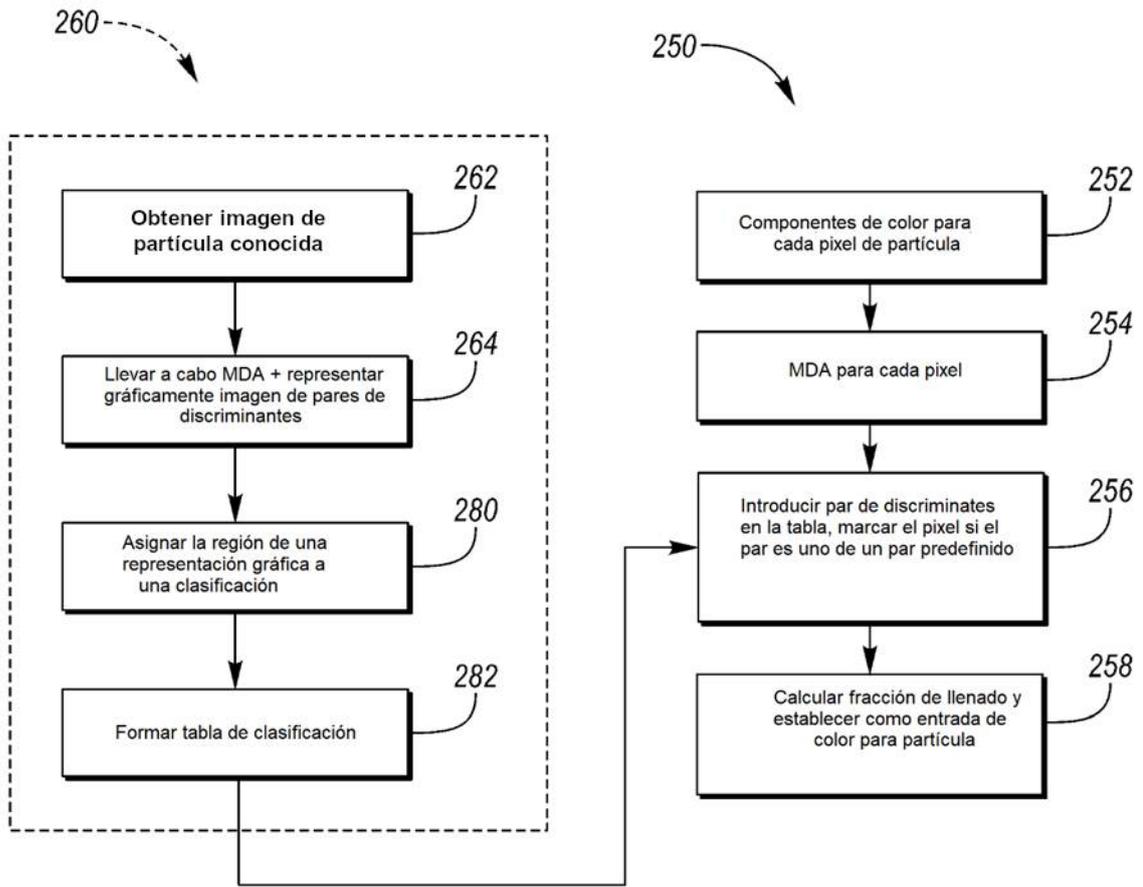
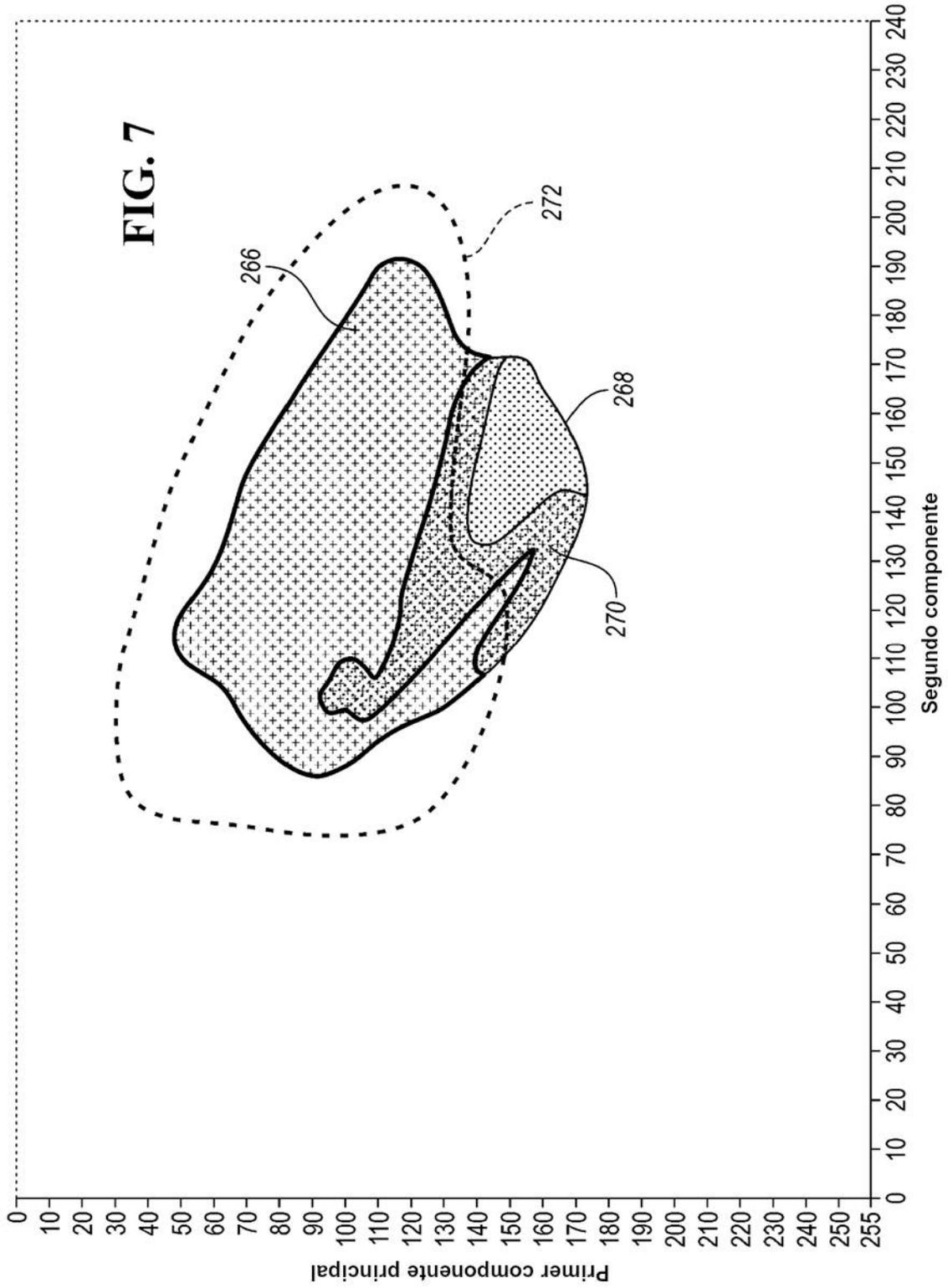


FIG. 6



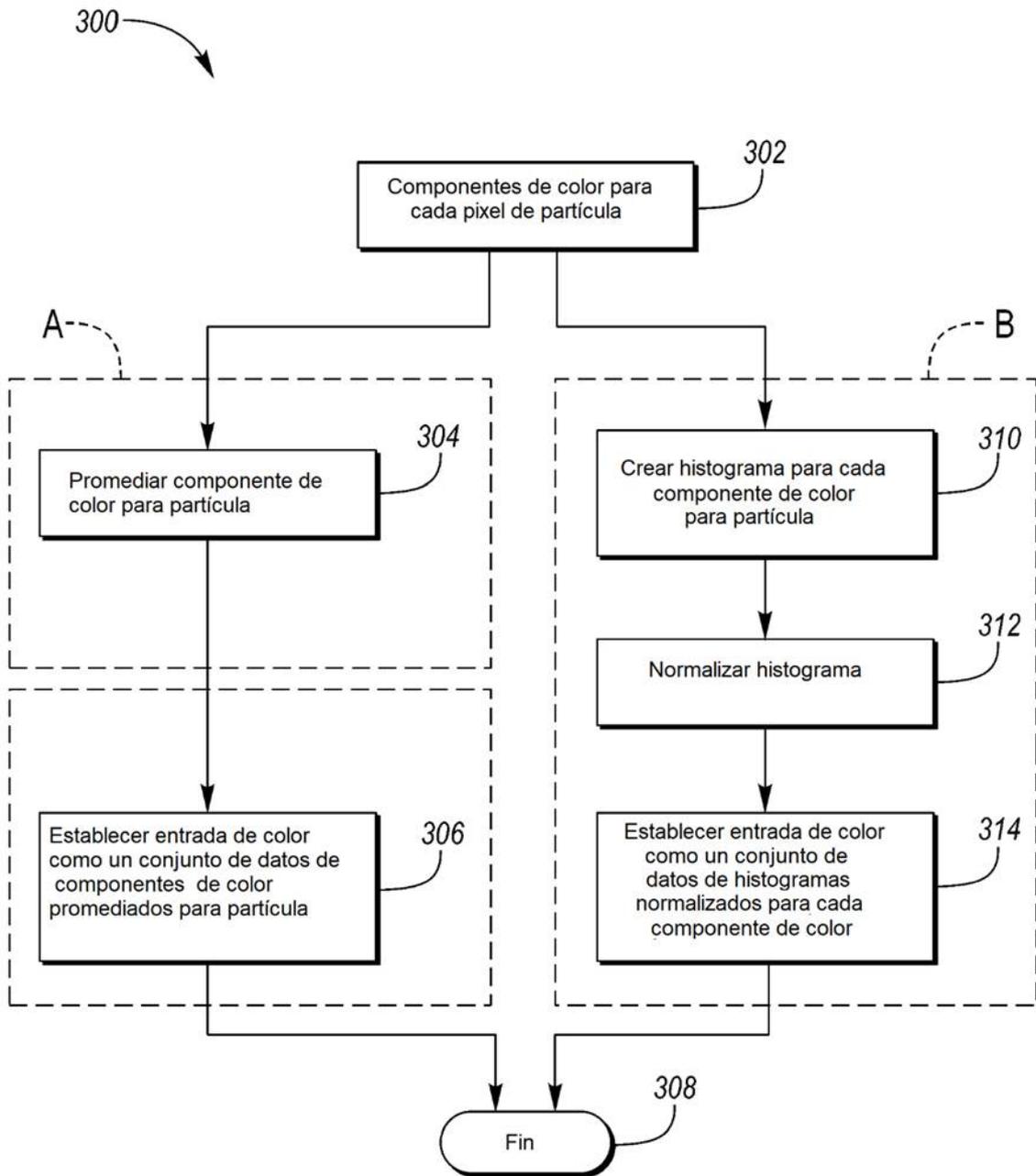


FIG. 9

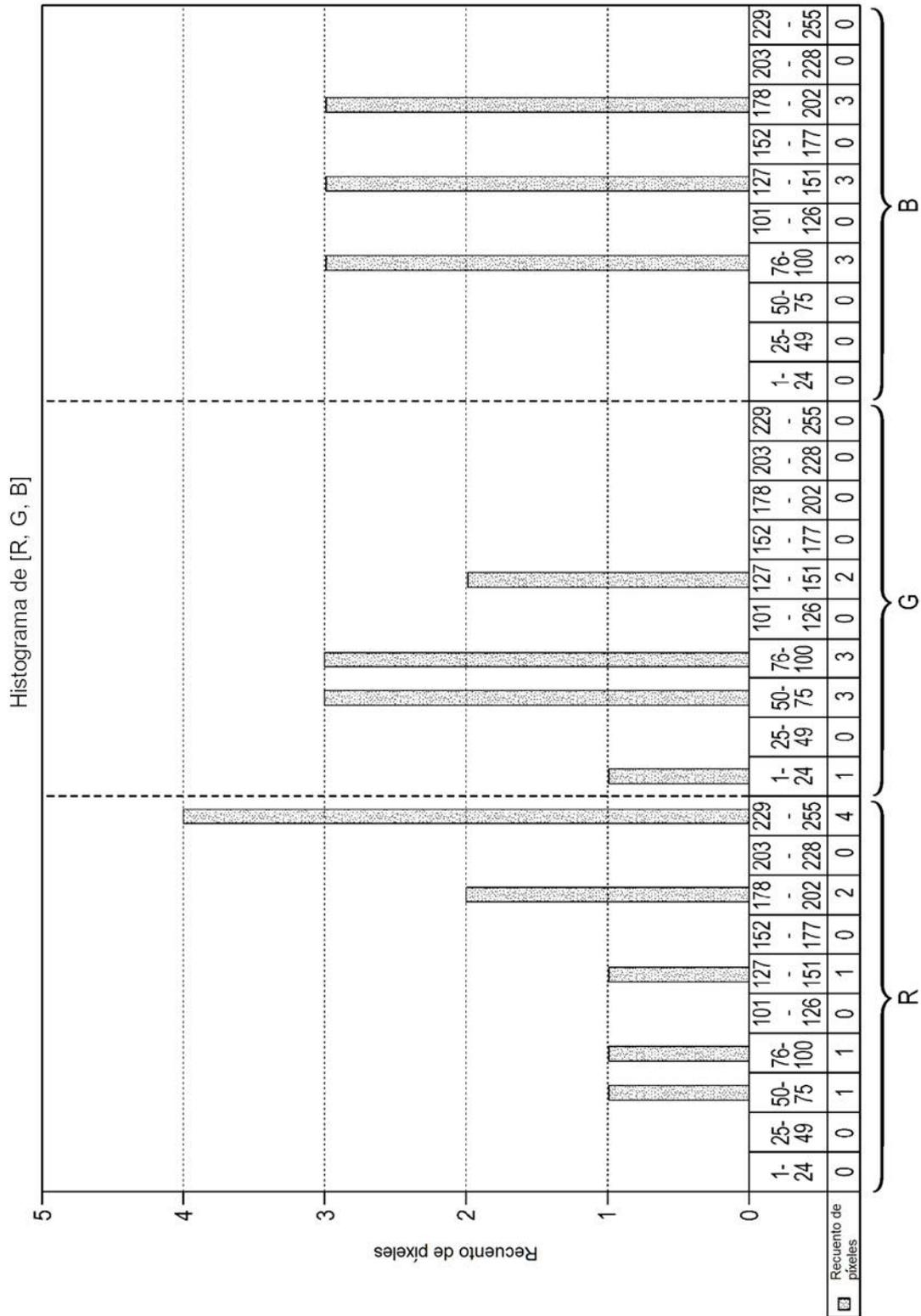


FIG. 10

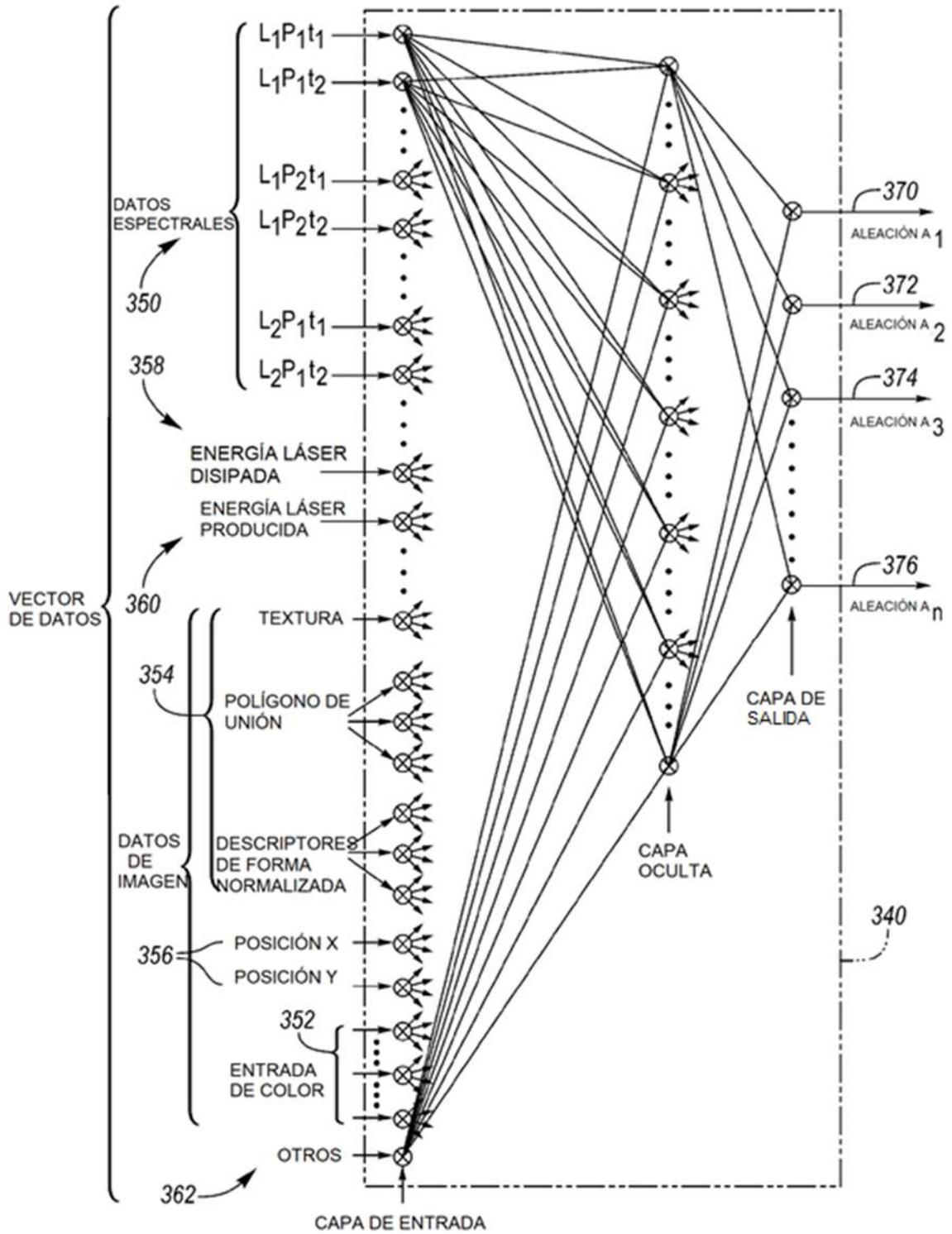


FIG. 11