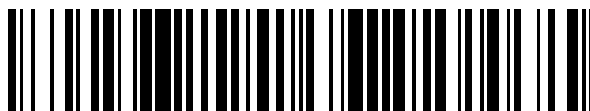


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 729 705**

51 Int. Cl.:

**B07C 5/346** (2006.01)

**B07C 5/28** (2006.01)

**B07C 5/342** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.01.2012 PCT/US2012/020432**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.07.2012 WO12094568**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.01.2012 E 12732047 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2019 EP 2661331**

54 Título: **Sistema de clasificación de chatarra**

30 Prioridad:

**07.01.2011 US 201161430585 P**

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

**05.11.2019**

73 Titular/es:

**HURON VALLEY STEEL CORPORATION (100.0%)  
41000 Huron River Drive  
Belleville, Michigan 48111, US**

72 Inventor/es:

**TOREK, PAUL;  
GORZEN, DANIEL F. y  
CHAGANTI, KALYANI**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 729 705 T3

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

**DESCRIPCIÓN**

Sistema de clasificación de chatarra

5 Referencia cruzada a aplicaciones relacionadas

Campo técnico

10 La invención se refiere a un método y a un sistema para clasificar chatarra en una operación en línea.

Antecedentes

15 La chatarra se clasifica actualmente a alta velocidad o alto volumen usando una cinta transportadora u otras operaciones en línea usando una variedad de técnicas que incluyen: clasificación por aire, clasificación vibratoria, clasificación basada en color, clasificación magnética, clasificación manual por un operador de línea, clasificación espectroscópica, y similares. La chatarra generalmente se tritura antes de la clasificación y requieren una clasificación para facilitar la reutilización de los metales. Al clasificar la chatarra, el metal se reutiliza y, de lo contrario, puede ir a un vertedero. Además, el uso de chatarra clasificada conduce a una reducción de la contaminación y las emisiones en comparación con el refinado de materia prima virgen a partir de mineral o plástico de petróleo. Los fabricantes pueden utilizar chatarra en lugar de materia prima virgen si la calidad del metal clasificado cumple con las normas. La chatarra puede incluir tipos de metales ferrosos y no ferrosos, metales pesados, metales de alto valor como el níquel o titanio, metales fundidos o forjados y otras aleaciones diversas.

25 La tecnología de clasificación de rayos x se ha utilizado en la industria de clasificación de metales (véase, por ejemplo, CA-A-1 242 260) para clasificar la chatarra. Un clasificador de rayos x mide los rayos x transmitidos a través de una pieza de chatarra utilizando un detector de energía dual. El detector es capaz de medir al menos dos niveles de energía diferentes transmitidos a través de la chatarra. El algoritmo de clasificación se basa en la relación de los dos niveles de energía medidos por el detector.

30 Resumen

35 En una realización, un aparato para clasificar chatarra incluye una cinta transportadora para transportar al menos dos categorías de chatarra colocadas al azar. La cinta transportadora se desplaza en una primera dirección. Una fuente de haz de electrones crea un haz de escaneo electrónico. Una lámina objetivo está posicionada para interactuar con la fuente del haz de electrones para crear un haz de rayos x de escaneo a lo largo de un plano generalmente transversal a la primera dirección de la cinta transportadora y dirigido hacia la chatarra en la cinta transportadora. El aparato incluye al menos un detector de retrodispersión para medir rayos x retrodispersados de la chatarra en la cinta transportadora, al menos un detector de dispersión hacia adelante para medir rayos x dispersados hacia adelante de la chatarra en la cinta transportadora, y un detector de transmisión para medición de rayos x transmitidos a través de la chatarra en la cinta transportadora. Una base de datos contiene un plano de corte entre una primera categoría de chatarra y una segunda categoría de chatarra. El plano de corte es una función de los rayos x de transmisión, los rayos x de retrodispersión y los rayos x de dispersión hacia adelante. Un controlador está configurado para recibir rayos x transmitidos, rayos x dispersos hacia adelante y rayos x retrodispersados detectados desde la chatarra como un conjunto de datos. El controlador normaliza el conjunto de datos utilizando rayos x detectados de la cinta transportadora. El controlador luego compara el conjunto de datos normalizado con el plano de corte en la base de datos para categorizar la chatarra en una de la primera y la segunda categoría.

50 En otra realización, un método para clasificar la chatarra incluye hacer incidir rayos X colimados en un material de fondo y hacer incidir rayos X colimados en una porción de una pieza de chatarra provista en el material de fondo. La chatarra contiene una primera y una segunda categoría de metal. El método mide y compara los rayos x transmitidos desde la porción de chatarra y el material de fondo para crear una relación de transmisión. El método mide y compara los rayos x dispersos hacia adelante desde la porción de la chatarra y el material de fondo para crear una relación de dispersión hacia adelante. El método también mide y compara los rayos x retrodispersados de la porción de la chatarra y el material de fondo para crear una relación de retrodispersión. La relación de transmisión y la relación de retrodispersión se ingresan en una base de datos para obtener un valor de corte de dispersión hacia adelante, que proporciona una división entre la primera categoría de metal y la segunda categoría de metal. La relación de dispersión hacia adelante se compara con el valor de corte de dispersión hacia adelante. La pieza de chatarra se clasifica en una de la primera categoría y la segunda categoría en función del valor de corte.

60 Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un esquema de un sistema de clasificación de chatarra de acuerdo con una realización;

65 La figura 2 es un esquema del sistema de clasificación de chatarra de la figura 1;

La figura 3 es un esquema de un arreglo de escaneo para el sistema de clasificación de metales de la figura 1;

La figura 4 es una gráfica tridimensional de mediciones de rayos x emitidas tomadas de dos metales diferentes por el sistema de clasificación de la figura 1;

5 La figura 5 es un gráfico tridimensional de un plano de corte utilizado con el sistema de clasificación de la figura 1;

La figura 6 es un gráfico bidimensional del plano de corte de la figura 5;

La figura 7 es un esquema de una fuente de electrones de acuerdo con una realización;

10 La figura 8 es un gráfico de la intensidad de la fuente de rayos x en función de los voltios de kiloelectrón (keV) para la fuente de rayos x de la figura 7;

15 La figura 9 es un esquema de un flujo de proceso para uso con el sistema de clasificación de chatarra de la figura 1;

La figura 10 es un esquema de otro flujo de proceso para usar con el sistema de clasificación de chatarra de la figura 1.

20 Descripción detallada

Según se requiera, se divulgan aquí realizaciones detalladas de la presente invención; sin embargo, debe entenderse que las realizaciones divulgadas son meramente ejemplos de la invención que pueden realizarse en diversas formas alternativas. Las figuras no son necesariamente a escala; algunas características pueden ser exageradas o minimizadas para mostrar detalles de componentes particulares. Por lo tanto, los detalles estructurales y funcionales específicos aquí descritos no deben interpretarse como limitantes, sino simplemente como una base representativa para enseñar a un experto en la materia a emplear de manera diversa la presente invención.

30 Un sistema 100 de clasificación para chatarra usando espectroscopia de rayos x se muestra en la figura 1. Una cinta 102 transportadora, u otro mecanismo para mover objetos a lo largo de un trayecto, que se muestra aquí como la dirección y, soporta los metales 104 a clasificar. Los metales para clasificar están compuestos de chatarra, como la chatarra de un vehículo, avión o centro de reciclaje; u otra chatarra sólida como se conoce en la técnica. Los metales 104 normalmente se rompen en piezas más pequeñas del orden de centímetros o milímetros por un proceso de trituración, o similar, antes de pasar por el sistema 100 de clasificación o una instalación de clasificación más grande. Normalmente, se realiza una clasificación binaria para clasificar los metales 104 en dos categorías de metales. La cinta 102 transportadora se extiende a lo ancho en la dirección x, y las piezas de metal 104 se colocan al azar en la cinta 102.

40 La cinta 102 pasa a través de un sistema 106 de rayos x, que produce un haz 108 de rayos x que interactúa con el metal 104 para producir rayos x transmitidos o dispersos desde el metal 104. Alternativamente, la cinta 102 deja caer los metales 104 en caída libre a través del sistema 106 de rayos x, y el haz 108 de rayos x interactúa con los metales 104 a medida que caen. También se contemplan otros sistemas para mover los metales 104 a través del sistema 106 de rayos x. El sistema 106 de rayos x está blindado para evitar que los rayos x y la radiación salgan del sistema de rayos x contenido. El blindaje 107 proporciona una característica de seguridad para el sistema 106.

45 Una fuente 110 de haz de electrones produce un haz 112 de escaneo electrónico. El haz 112 de electrones se dirige hacia la cinta 102 transportadora y escanea a lo largo de un plano generalmente transversal a la dirección de desplazamiento (y) de la cinta 102. La fuente 110 de haz de electrones está ubicada dentro de una cámara de vacío, como se conoce en la técnica, para evitar la dispersión del haz 112 de electrones. El haz 112 de electrones interactúa con una lámina 114 bjetivo para producir un haz 108 de rayos x de escaneo generalmente en un plano en la dirección x, que puede ser el mismo plano que el haz 112 de electrones de escaneo. La lámina objetivo en el orden de varias milésimas de grosor y está hecha de tantalio, titanio con polvo de tungsteno, carbono con polvo de tungsteno u otros conocidos en la técnica para producir un haz de rayos x.

55 El haz de rayos x de escaneo pasa a través de un colimador 116 de haz para permitir que solo pase a través la porción de haces 108 de rayos x que viajan generalmente perpendiculares a la cinta 102, o en general en la dirección z.

60 El haz 108 colimado de rayos x se desplaza entonces hacia la cinta 102. El haz 108 interactúa con una región de la cinta 102 sin ningún metal 104 colocado sobre ella, o una región de la cinta 102 con el metal 104 posicionado sobre ella. El haz 108 de rayos x interactuará con la cinta 102 sola o con el metal 104 en la cinta 102 y la cinta 102 subyacente. Una porción de los rayos x 108 se transmite a través de la cinta 102 sola o el metal 104 y la cinta 102 a un detector 118 de transmisión ubicado debajo de la cinta 102. El detector 118 de transmisión está alineado con el plano del haz 108 de rayos x de escaneo, generalmente en la dirección x.

65 Otra porción de los rayos x 108 que interactúan con la cinta 102 o el metal 104 se retrodispersa, y se mide mediante un par de detectores 120 de retrodispersión, aunque también se contempla el uso de un solo detector 120. Se utilizan

dos detectores 120 para aumentar la señal a ruido de la medición de rayos x retrodispersada. Los detectores 120 pueden ubicarse en ángulos iguales desde el plano del haz 108 de rayos x incidentes. Por ejemplo, los detectores 120 están posicionados adyacentes al plano de rayos x 108 de escaneo, y pueden estar tan cerca de la fuente 110 de electrones como sea prácticamente posible.

5 Se puede agregar una capa delgada, como una película o recubrimiento, de niobio u otro metal atómico a la superficie de los detectores 120 de retrodispersión para eliminar o reducir la radiación de fluorescencia emitida desde el metal 104.

10 Una tercera porción de los rayos x 108 que interactúan con la cinta 102 o el metal 104 se dispersan hacia adelante, y se mide con un par de detectores 122 de dispersión hacia adelante, aunque también se contempla el uso de un solo detector. Los detectores 122 pueden ubicarse en ángulos iguales desde el plano del haz 108 de rayos x incidentes. Por ejemplo, los detectores 122 están posicionados adyacentes al plano de los rayos x 108 de escaneo, y pueden estar tan cerca del detector 118 de transmisión como es prácticamente posible.

15 Típicamente, el detector 118 de transmisión recibe la mayor intensidad de señal, seguido por los detectores 120 de retrodispersión, y luego los detectores 122 de dispersión hacia adelante. Los detectores 118, 120, 122 pueden medir uno o ambos de dispersión Rayleigh (elástica) y Compton (inelástica). Los detectores 118, 120, 122 son centelleadores con tubos fotomultiplicadores (PMT) u otros detectores ubicados en uno o ambos extremos del centelleador. Los PMT pueden configurarse en diferentes niveles según las medidas de señal esperadas que se tomarán. Por supuesto, también se contemplan otros detectores, como fotodiodos u otros fotodetectores.

20 Un controlador 124 recibe un conjunto de datos que incluye una medición de rayos x de transmisión, una medición de dispersión hacia adelante y una medición de dispersión hacia atrás tomada de una región de metal 104 en la cinta 102. El controlador 124 puede incluir dos tableros de adquisición de datos, uno para los datos del detector y otro para la fuente 110 y la dirección del haz 112 de electrones para la escaneo. El controlador 124 proporciona un conjunto de datos normalizado al normalizar el conjunto de datos del metal 104 con un conjunto de datos de la cinta 102 sola, que son mediciones de rayos x de cada detector tomadas desde una ubicación en la cinta 102 sin metal 104 presente. Esta normalización sirve como una corrección de ruido de fondo para el metal 104 del conjunto de datos, ya que la cinta 102 absorbe una pequeña cantidad y dispersa una cantidad de rayos x de pequeña a moderada. El conjunto de datos normalizado se compara con un plano de corte almacenado en una base de datos, categorizando así el metal 104 en una de varias categorías.

25 La base de datos está conectada o contenida dentro del controlador 124 y proporciona un plano de corte entre los metales de una primera y segunda categoría del metal 104. El plano de corte es una función de los rayos x de transmisión, los rayos x de dispersión hacia adelante, y retrodispersión de rayos x, y se describe con más detalle a continuación.

30 Un sistema 125 de generación de imágenes comprende un dispositivo 126 de generación de imágenes, tal como una cámara con un dispositivo de carga acoplada (CCD), y un sistema 127 de iluminación apropiado. El sistema 125 de generación de imágenes está ubicado corriente arriba del sistema 106 de rayos x. El dispositivo 126 de generación de imágenes está posicionado para visualizar la cinta 102 y cualquier metal 104 ubicado en la cinta 102. El sistema 125 de generación de imágenes ayuda a determinar qué regiones de la cinta 102 contienen metales 104. El sistema 125 de generación de imágenes también puede configurarse para determinar las características visuales del metal 104 en la cinta 102, que incluye el color, la forma, la textura, el tamaño y otras características que se conocen en los sistemas de visión artificial. Las imágenes del dispositivo 126 de generación de imágenes se envían a un ordenador 128.

35 El ordenador 128 puede estar separado de y conectado al controlador 124, o puede ser una parte del propio controlador 124. El ordenador 128 está en comunicación con el sistema 125 de generación de imágenes y con un sistema de eyectores 130 ubicado corriente abajo del sistema 106 de rayos x. Los eyectores 130 se utilizan para separar una primera categoría de metal de una segunda categoría de metal. Los eyectores 130 pueden usarse para clasificar los metales 104 en más de dos categorías, tales como tres categorías, o cualquier otro número de categorías de metales. Los eyectores pueden ser neumáticos, mecánicos u otros, como se conoce en la técnica. También puede haber un bucle 132 de reciclaje corriente abajo del sistema 106 de rayos x. Si está presente, el bucle 132 de reciclaje toma metales 104 que no podrían ser categorizados y los redirige a través del sistema 100 para volver a escanear y volver a clasificar en una categoría.

40 El dispositivo 126 de generación de imágenes proporciona información al controlador 124 en donde se usan algoritmos de procesamiento de imágenes para determinar una huella del metal 104 en la cinta 102. En otras palabras, el controlador 124 ahora sabe si el conjunto de datos recibido en un punto dado del tiempo en un punto de referencia dado en la cinta 102, pertenece a una medición de solo cinta o una medición de metal. Si se toman mediciones de solo cinta, el controlador 124 utilizará el conjunto de datos recibido para actualizar la transmisión de fondo, los valores de dispersión hacia adelante y de dispersión hacia atrás, que proporcionan el nivel de fondo de la cinta 102 utilizada para normalizar el conjunto de datos. En algunos casos, si la medición del conjunto de datos recibida por el controlador 124 es diferente de un conjunto de datos de fondo, el controlador 124 supone que una partícula de metal 104 está presente en la cinta 102 en esa ubicación.

La figura 2 representa el sistema 106 de rayos x tomada a lo largo perpendicular al plano del haz de electrones de escaneo. La fuente 110 produce un haz 112 de electrones de escaneo. El haz 112 de electrones se desplaza a lo largo de un trayecto 133 plano. El haz 112 de electrones interactúa con la lámina 114 objetivo para producir un haz 108 de rayos x de escaneo, que está colimado para ser generalmente perpendicular a la cinta 102. El haz 108 de rayos x interactúa con una pieza de metal 104 en la cinta 102 y los rayos x resultantes del metal 104 son detectados por los detectores 120 de retrodispersión, los detectores 122 de dispersión hacia adelante y el detector 118 de transmisión.

El haz de electrones se ilustra como interactuando con la lámina 114 objetivo para generar el haz de rayos x utilizando la transmisión. Alternativamente, el haz de electrones puede posicionarse para escanear generalmente en el plano x-y en la dirección x, e interactuar con la lámina 114 objetivo por reflexión para producir un haz 108 de rayos x de escaneo generalmente en el plano x-z en la dirección x. Esta geometría alternativa puede resultar en una mayor eficiencia para la generación de rayos x por miliamperio a un keV equivalente a la generación de rayos x transmisiva descrita anteriormente.

A medida que el haz 108 de rayos x se escanea a través de la cinta 102, el escaneo puede ser un escaneo de trama, un escaneo hacia atrás y hacia adelante u otro tipo de escaneo. El escaneo a través de la cinta 102 junto con el movimiento hacia adelante en la dirección y de la cinta 102, conduce a una matriz 134. El escaneo de rayos x se discretiza en pequeñas regiones o píxeles 136, es decir,  $x_1$ ,  $x_2$ , hasta e incluyendo  $x_n$ . Cada arreglo 138 de píxeles 136 se toma a lo largo de un barrido del escaneo y corresponde a un tiempo, es decir,  $t_1$ ,  $t_2$ , hasta  $t_n$ . La matriz 134 de veces ( $t_i$ ) y los arreglos 138 se relacionan con la velocidad de la cinta 102. El tamaño del arreglo 138 de píxeles 136 es del orden de cientos, y en un ejemplo es doscientos cuarenta. Una pieza de metal 104 puede extenderse sobre múltiples píxeles 136 y múltiples arreglos 138. El metal 140 que se muestra en la figura 3 se extiende desde  $x_2$  a  $x_4$  en los arreglos  $t_1$  y  $t_2$ , y desde  $x_3$  a  $x_4$  en el arreglo  $t_3$ . Por supuesto, la pieza de metal 140 puede extenderse sobre cualquier número de píxeles 136 o arreglos 138. El sistema 125 de generación de imágenes en la figura 1 determina dónde están ubicadas las piezas de metal 104 en la cinta 102. Las coordenadas de ubicación (x, t) de los metales 104 en la cinta 102 se comunican al ordenador 128 y al controlador 124. El ordenador 128 controla la fuente 110 de electrones. El controlador 124 está en comunicación con los detectores y realiza el procesamiento de datos en los conjuntos de datos para determinar la categoría del metal 104.

En un ejemplo, la fuente 110 de haz de electrones proporciona un haz 112 de escaneo continuo de electrones, que a su vez es un haz 108 de rayos x de escaneo continuo. El controlador 124 recibe las coordenadas (x, t) del metal 140 en el la cinta 102 del sistema 125 de generación imágenes y el ordenador 128 y solo procesa los conjuntos de datos metal 104 presentes con el plano de corte. Los conjuntos de datos de fondo solo se pueden usar para actualizar el conjunto de datos de fondo utilizado en la normalización. Sin embargo, solo se realiza un cálculo de conjunto de datos normalizado y la determinación de la categoría de metal 104 con el plano de corte en los conjuntos de datos con el metal 104 que se escanea.

En otro ejemplo, la fuente 110 de haz de electrones proporciona un haz 112 de escaneo de electrones dirigido, que a su vez es un haz 108 de rayos x de escaneo dirigido. El controlador 124 recibe las coordenadas (x, t) del metal 140 en el la cinta 102 del sistema 125 de generación imágenes y el ordenador 128, y solo escanea y procesa conjuntos de datos donde el metal 104 está presente. La fuente 110 de haz de electrones dirige el haz 112 de electrones y el haz 108 de rayos x solo a las regiones de la cinta 102 donde está presente el metal 104. Esto requiere una dirección de haz adicional por parte de la fuente 110 de haz de electrones. Puede producirse un escaneo y un conjunto de datos de fondo solamente a intervalos predeterminados para permitir la actualización del conjunto de datos de fondo utilizado en la normalización. Por lo tanto, se realiza un conjunto de datos normalizado y la determinación de la categoría de metal 104 en todos los conjuntos de datos recibidos, ya que los conjuntos de datos sin metal 104 presente (o conjuntos de datos de fondo solamente) se han minimizado a través del escaneo dirigido.

Si el metal 104 se extiende a través de solo unos pocos píxeles 136 en uno o más arreglos 138, el conjunto de datos resultante puede ser inconcluso o borroso debido a una menor cantidad de metal 104 que interactúa con el haz 108 de rayos x y una señal más baja para relación de ruido medida por los detectores 118, 120, 122. En general, la topografía del metal 104 no afecta la categorización del metal 104 por el controlador 124.

Por ejemplo, cuando se escanea un metal, la transmisión de rayos x disminuye debido a una mayor dispersión y absorción por parte de un metal. Para cualquier porcentaje de nivel de transmisión dado, los metales ligeros como el aluminio y el magnesio tienden a dispersarse más que los metales más pesados con un número atómico más alto que el titanio, como el hierro, el níquel o el plomo. El titanio está generalmente entre los dos grupos (metales ligeros y pesados) y la intensidad de la dispersión puede tender hacia cualquiera de los dos.

El grosor del metal también afecta a las señales de dispersión. La dispersión hacia adelante generada por un haz de rayos x que penetra en un metal generalmente aumenta al principio, luego alcanza un óptimo y luego disminuye, con un aumento del grosor.

También, para piezas más gruesas de metal 104, los rayos x dispersados y redispersos se expanden a través del volumen de metal 104 y se extienden sobre un ángulo sólido más grande (esteradiano) al salir a través del metal 104. Esto tiende a aumentar las mediciones de rayos x de dispersión hacia adelante como una parte de los rayos x incidentes son detectadas por los detectores 122 de dispersión hacia adelante en lugar del detector 118 de transmisión.

5 La señal de retrodispersión se ve menos afectada por el grosor del metal 104, ya que los rayos x típicamente primariamente más débiles de la superficie del metal 104 son retrodispersados y luego son detectados por el detector 120 de retrodispersión.

10 En la figura 4 se muestra una serie de conjuntos de datos 150 normalizados en función de la relación 152 de transmisión, la relación 154 de retrodispersión y la relación 156 de dispersión hacia adelante. La relación es la señal medida de un detector respectivo dividida por el valor de fondo para ese detector. Por ejemplo, una relación de transmisión es la transmisión de rayos x a través del metal 104 dividida por la transmisión de rayos x a través de la cinta 102 sola. Se muestran una primera categoría 158 y una segunda categoría 160 de metal 104. Los conjuntos de datos 150 pueden ser de píxeles 136 individuales para una pieza de metal 104, o pueden ser un valor de píxel 136 promediado para una pieza de metal 104.

20 En una realización, el controlador 124 compara los conjuntos de datos 150 con un plano 162 de corte, que se muestra en la figura 5, que también es una función de la relación 156 de dispersión hacia adelante, la relación 154 de retrodispersión y la relación 152 de transmisión. El sistema 100 de clasificación está provisto con las categorías de metales entre las que se está clasificando, de modo que el controlador 124 utilice un plano 162 de corte apropiado. Existen diferentes planos de corte para cada par de categorías. Por ejemplo, el plano 162 de corte puede ser para titanio y acero inoxidable, donde el titanio es la primera categoría 158 y el acero inoxidable es la segunda categoría 160, o entre otros metales u otros materiales. El conjunto de datos 150 se encontrará a ambos lados del plano 162 de corte, lo que permite determinar si cae en la primera categoría 158 del metal 104, o en la segunda categoría 160 del metal 104. Si un conjunto de datos 150 está lo suficientemente cerca a o superponiendo el plano 162 de corte, el metal 104 puede caer en una tercera categoría indeterminada si se proporciona, y se vuelven a clasificar a través del sistema 100 utilizando el bucle 132 de reciclaje.

30 Las agrupaciones de categorías básicas para metales 104 incluyen: metales pesados y ligeros, metales pesados y titanio, metales ligeros y titanio, metales pesados y superpesados (es decir, plomo), metales forjados y metales fundidos (es decir, mayor contenido de cobre), metal forjado de baja aleación y de alta aleación (es decir, mayor contenido de zinc), metal forjado y aluminio y magnesio (puede requerir escaneo de dirección de haz dirigido). También se contemplan otras agrupaciones, como la chatarra de plástico.

35 El plano 162 de corte se muestra en una vista bidimensional en la figura 6 con la relación 154 de retrodispersión representada en función de la relación 152 de transmisión. La relación 156 de dispersión hacia adelante se muestra en grados variables utilizando el sombreado.

40 El plano 162 de corte se determina a través de la calibración del sistema 100 de clasificación utilizando categorías y agrupaciones de metales 104 que se planifican para la clasificación. Por ejemplo, el plano 162 de corte se determina utilizando un cálculo empírico basado en conjuntos de datos de prueba. En otro ejemplo, la calibración del plano de corte se determina utilizando una máquina de vectores de soporte, que es una técnica matemática para una calibración no lineal en múltiples dimensiones. El corte de la puntuación de la máquina del vector de soporte que define el plano se establece normalmente en cero. El plano de corte también puede desplazarse hacia un material de densidad más baja o un material de densidad más alta estableciendo un corte de puntaje de la máquina del vector de soporte que define el plano a un valor distinto de cero para minimizar los errores para el material de densidad más baja o el material de densidad más alta. Alternativamente, la máquina de vectores de soporte puede usarse directamente para categorizar y clasificar los materiales en lugar de utilizar el plano de corte, y puede calibrarse durante la prueba. Por supuesto, se contemplan otros modelos matemáticos y técnicas de calibración que incluyen una red neuronal u otro clasificador.

55 El plano 162 de corte, una vez calibrado, se almacena en una base de datos 164 en comunicación con el controlador 124. El controlador 124 ingresa la relación de transmisión normalizada (o rayos x) y la relación de retrodispersión normalizada (o rayos x) de un conjunto de datos con la base de datos 164, y compara la relación de dispersión hacia adelante normalizada (rayos x) con el plano 162 de corte para clasificar entre la primera y la segunda categoría del metal 104. El conjunto de datos normalizado puede relacionarse con un píxel 136 o una región más grande del metal 104, o puede relacionarse con un valor promedio para el metal 104 basado en la huella.

60 En otras palabras, el controlador 124 recibe una señal de transmisión, de retrodispersión y dispersión hacia adelante desde los detectores 118, 120, 122, respectivamente. Estas señales se normalizan mediante una medición de fondo o una señal de un conjunto de datos de fondo. Por ejemplo, se encuentra una relación de transmisión al dividir la señal de transmisión de metal 104 para un píxel 136 por una señal de transmisión de fondo para el píxel 135, para crear un conjunto de datos normalizado. El controlador 124 usa el plano 162 de corte para determinar la categoría del metal 104.

## ES 2 729 705 T3

El controlador 124 ubica el conjunto de datos normalizado en la figura 6 utilizando la relación de transmisión y la relación de retrodispersión. El controlador 124 luego compara la relación dispersada hacia adelante con el valor del plano 162 de corte en esa ubicación en la gráfica. Si la relación de dispersión hacia adelante es mayor que el valor del plano 162 de corte, la región o el píxel 136 del metal 104 está en la primera categoría. Si la relación de dispersión hacia adelante es más baja que el plano 162 de corte, la región o el píxel 136 del metal 104 está en la segunda categoría. Si la relación de dispersión hacia adelante está dentro de un cierto valor o porcentaje del plano 162 de corte, la región o el píxel 136 del metal 104 se encuentra en una categoría indeterminada, no se puede clasificar claramente y se puede ubicar en una tercera categoría. Basado en la categoría de metal 104, el controlador 124 interactúa con el sistema 130 eyector para clasificar el metal 104 según la categoría y la ubicación en la cinta 102. Por supuesto, el controlador también podría comparar una relación de retrodispersión con un plano de corte, o una relación de transmisión a un plano de corte también.

El controlador 124 puede integrar los conjuntos de datos para una partícula individual o pieza de metal 104 antes de tomar una decisión de clasificación. En un ejemplo, el controlador 124 calcula la suma de las relaciones de dispersión hacia adelante normalizadas (rayos x) de todos los conjuntos de datos en una partícula y la suma de los valores del plano de corte correspondientes a las relaciones de transmisión y retrodispersión de la base de datos. El controlador 124 compara la suma de las relaciones de dispersión hacia adelante normalizadas con la suma de los valores del plano de corte para clasificar entre la primera y la segunda categoría.

En otro ejemplo, el controlador 124 calcula la suma de las relaciones de dispersión hacia adelante normalizadas (rayos x) por el número total de píxeles 136 (región) para la partícula, calcula la suma de las relaciones de transmisión normalizadas (rayos x) por el número total de píxeles 136 (región) para la partícula, y calcula la suma de las relaciones de dispersión regresiva normalizadas (rayos x) por el número total de píxeles 136 (región) para la partícula. El controlador 124 usa la suma de las relaciones de transmisión normalizadas por el número total de píxeles 136, y la suma de las relaciones de dispersión regresiva normalizadas por el número total de píxeles 136 para determinar un valor de plano de corte promedio total para la partícula de la base de datos 164. El controlador 124 compara la suma de las relaciones de dispersión hacia adelante normalizadas por el número total de píxeles 136 con el valor del promedio total del plano de corte para clasificar entre la primera y la segunda categoría de metal 104 para la partícula de metal 104 como un todo.

La fuente 110 de haz de electrones, mostrada en la figura 7, proporciona un haz 112 de electrones. La fuente 110 de haz de electrones está protegida por un escudo 107 y se opera a una presión de vacío especificada para reducir la dispersión del haz 112 de electrones por el aire. Un sistema 171 de vacío proporciona la presión de vacío deseada, y puede incluir una bomba, bombas de múltiples etapas y/o varios tipos de bombas como se conoce en la técnica. Un generador 170 de haz de electrones es alimentado por una fuente 172 de alimentación. En un ejemplo, el generador 170 de haz de electrones funciona a 120 kV y 2 mA, y es alimentado por una fuente 172 de alimentación capaz de proporcionar 3 kW. El generador 170 de haz de electrones puede funcionar a mayor o menor voltaje de electrones o corriente en función del metal 104 en el sistema 100 de clasificación. El voltaje de electrones generalmente se reduce para ciertas clasificaciones, como el aluminio frente al titanio. Cuando se reduce la tensión de electrones, normalmente se debe aumentar el amperaje, por ejemplo, hasta 50 mA. El voltaje de los electrones puede aumentarse para otras clasificaciones, como plomo frente a zinc. Si el voltaje de electrones aumenta a un valor alto, el blindaje de los rayos x puede convertirse en un problema.

El haz 112 de electrones proporcionado por el generador 170 se enfoca utilizando una bobina 174 de enfoque electromagnético accionada por una fuente 175 de alimentación, que funciona como una lente para el haz generado. La bobina 174 de enfoque puede ser un conjunto de enrolladores. Se pueden proporcionar bobinas 174 de enfoque adicionales para enfocar o colimar el haz 112 según sea necesario.

El haz 112 luego viaja a través de una bobina 176 de dirección del haz también alimentada por la fuente 175 de alimentación, o una fuente de alimentación adicional. La bobina 176 de dirección del haz actúa para hacer que el haz gire hacia adelante y hacia atrás a lo largo de un plano utilizando campos electromagnéticos variables, lo que crea el movimiento de escaneo, también conocido como desviación del haz. Las bobinas 176 de dirección pueden tener forma de montura.

El haz 112 de electrones interactúa entonces con la lámina 114 para producir un haz 108 de rayos x como se muestra en la figura 8. La Figura 8 representa la intensidad del haz de rayos x en función de los voltios de kiloelectrón (keV). Por ejemplo, una fuente 120 de electrones de keV produce 0-120 keV fotones de rayos x. El pico de banda ancha continuo que se muestra se debe a los rayos x de Bremsstrahlung. El pico más pequeño y más agudo se debe a los rayos x característicos emitidos por tungsteno u otro metal en la lámina 114 objetivo. La región de corte, a valores bajos de keV, no escapa más allá de la caja de rayos x o el blindaje 107 a la cinta 102.

El generador 170 de haz, la bobina 174 de enfoque y la bobina 176 de dirección están en comunicación con el controlador 124 para proporcionar la ubicación del haz 108 con respecto a la cinta 102 y los píxeles 136.

En un ejemplo, el haz 108 de rayos x de escaneo escanea a aproximadamente 300 ciclos por segundo, donde un ciclo es un escaneo transversal y hacia atrás. La cinta se desplaza aproximadamente a seiscientos pies por minuto, diez

ft/s, o tres mm/ms. Esto equivale al haz 108 de rayos x que escanea diez mm de cinta 102 por ciclo. Por supuesto, se contemplan otras tasas de escaneo y las tasas de desplazamiento de la cinta.

5 Para el caso en donde la fuente 110 de haz de electrones dirige el haz 112 de electrones y el haz 108 de rayos x solo a las regiones de la cinta 102 donde está presente el metal 104, la fuente 110 puede requerir la adición de un puente H y transistores de efecto de campo (FET) para proporcionar la dirección adicional. Una tabla calibrada que contiene voltajes para dirigir el haz 112 desde una primera posición directamente a una segunda posición también se usa para la bobina 176 de dirección.

10 La figura 9 ilustra un diagrama de flujo del proceso para el sistema 100 de clasificación mostrado en la figura 1, utilizando el plano 162 de corte como se muestra en las figuras 5 y 6. El sistema proporciona un haz de rayos x colimado en el paso 180. El haz de rayos x incide en el material de fondo en el paso 182, y en la chatarra en el paso 184. Los rayos x dispersos hacia adelante y dispersos hacia atrás transmitidos desde el material de fondo son medidos por los detectores de chatarra en el paso 186. Los rayos x dispersos hacia adelante y dispersos hacia atrás transmitidos desde la chatarra son medidos por los detectores en el paso 188. Los conjuntos de datos del paso 186 y el paso 199 se comparan en el paso 190, donde se calculan la relación de transmisión, la relación de dispersión hacia adelante y la relación de dispersión hacia atrás. En algunas realizaciones, las relaciones se promedian o se manipulan matemáticamente de otra manera en el paso 192 (se muestra en líneas de trazos). Las relaciones de transmisión y dispersión hacia atrás se ingresan en una base de datos en el paso 194. La relación de corte de dispersión hacia adelante se determina en el paso 196 utilizando el plano de corte, como se muestra en la figura 6. La relación de dispersión hacia adelante se compara con la relación de corte de dispersión hacia adelante en el paso 198. Dependiendo de si la relación de dispersión hacia adelante es mayor o menor que la relación de corte de dispersión hacia adelante, la chatarra se clasifica en categorías según la información de rayos x en el paso 200.

25 En algunas realizaciones, un sistema de visión artificial con una cámara 126 y un ordenador 128 de visión también se usa para clasificar la chatarra. La cámara 126 graba la chatarra en el fondo y transmite los datos al ordenador 128 a 202 de visión. El ordenador 128 de visión determina las características visuales de las piezas de chatarra en el fondo a 204. Por ejemplo, una característica visual puede incluir color, textura, forma, relación de aspecto, u otra característica determinable por visión artificial. El ordenador 128 de visión puede asignar una o más características visuales a una pieza de chatarra. La chatarra se clasifica en categorías según las características visuales a 206.

30 El ordenador 124 de espectroscopia o el ordenador 128 de visión luego se arbitran en 208 entre las clasificaciones de rayos x y de visión para la chatarra. Se pueden usar varias técnicas de arbitraje, tales como booleanas, probabilísticas, Bayesianas, una combinación de booleanas y bayesianas, máquinas de vectores de soporte, redes neuronales u otras técnicas de clasificación y arbitraje.

35 La chatarra se clasifica luego en una primera categoría en el paso 210, una segunda categoría en el paso 212 y categorías adicionales según se desee, hasta n categorías en el paso 214.

40 Otro ejemplo de un diagrama de flujo del proceso para el sistema 100 de clasificación se muestra en la figura 10. El sistema proporciona un haz de rayos x colimado en el paso 220. El haz de rayos x incide sobre el material de fondo en el paso 222, y en la chatarra en el paso 224. Los rayos x del material de fondo miden los rayos x transmitidos, dispersos hacia adelante y dispersos y hacia atrás por los detectores en el paso 226. Los rayos x transmitidos, dispersos hacia adelante y dispersos y hacia atrás desde la chatarra son medidos por los detectores en el paso 228. Los conjuntos de datos del paso 226 y el paso 228 se ingresan en una clasificación a 230. Los resultados de los pasos 226 y 228 se pueden combinar en un paso adicional antes de la clasificación 230 o dentro de la clasificación 230 para crear un relación de transmisión, relación de dispersión hacia delante y relación de dispersión hacia atrás para utilizar en la clasificación de la chatarra.

50 También se puede usar un sistema de visión artificial con una cámara 126 y un ordenador 128 de visión para clasificar la chatarra. La cámara 126 graba la chatarra en el fondo y transmite los datos al ordenador 128 de visión a 232. El ordenador 128 de visión determina las características visuales de las piezas de chatarra en el fondo a 234. Por ejemplo, una característica visual puede incluir color, textura, forma, relación de aspecto u otra característica determinada por la visión artificial. El ordenador 128 de visión puede asignar una o más características visuales a una pieza de chatarra. La característica visual se introduce en el paso de clasificación a 230.

55 Durante el paso de clasificación, cada pieza de chatarra se clasifica en una de dos o más categorías predeterminadas, como las categorías 236, 238, 240. El controlador determina a qué categoría pertenece la chatarra combinando ambos datos de características visuales y los conjuntos de datos de rayos x. Se pueden usar varias técnicas de clasificación, tales como Bayesiana, máquina de vectores de soporte, red neuronal u otras técnicas de clasificación.

60 En un ejemplo, el clasificador es una máquina de vectores de soporte, que se utiliza para clasificar directamente los metales. En otro ejemplo, el clasificador se basa en un plano de corte como se explicó anteriormente, y la máquina de vectores de soporte u otra técnica se utiliza para calibrar el sistema.

65



**REIVINDICACIONES**

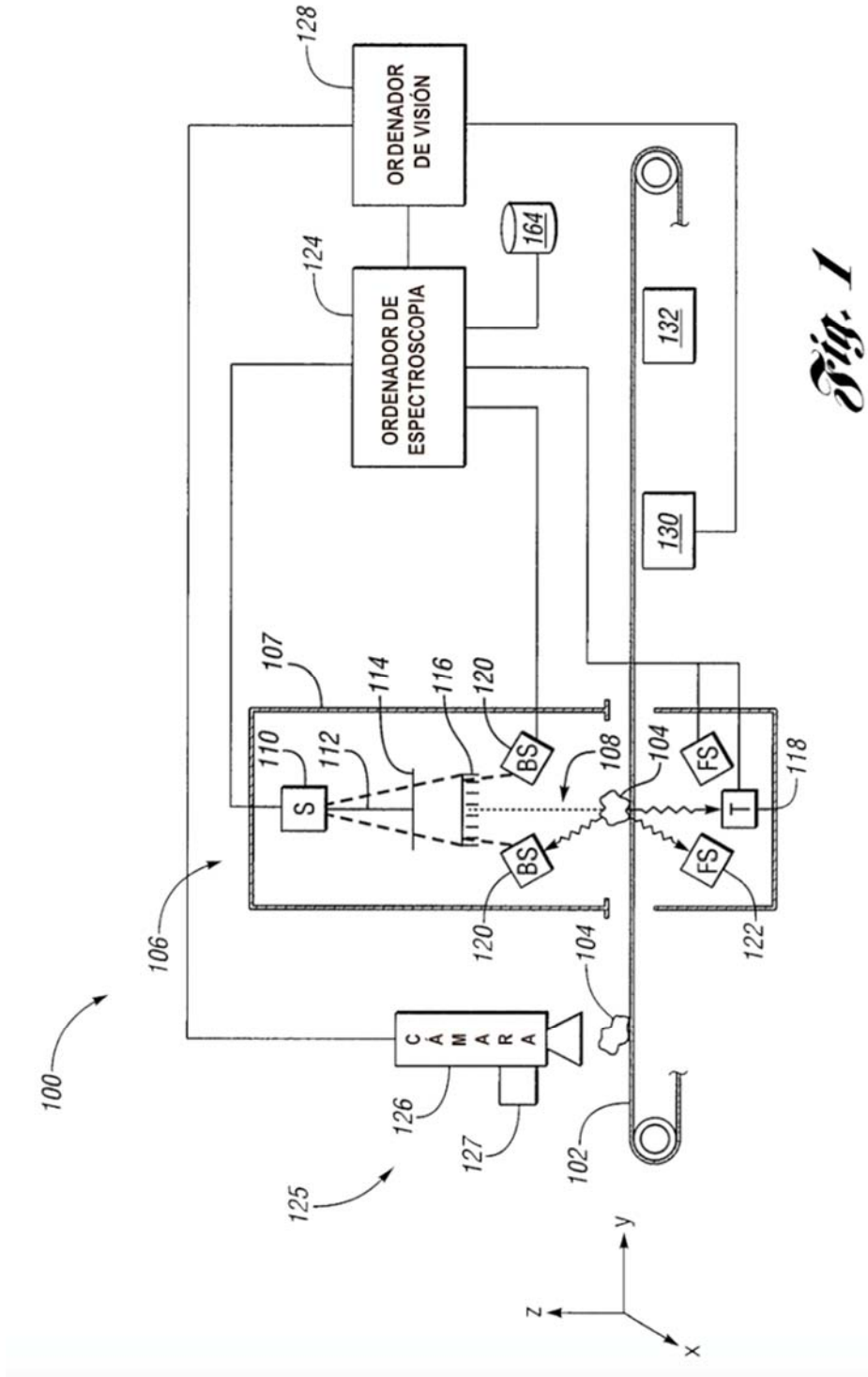
1. Un aparato para clasificar chatarra (104) que comprende:

- 5 una cinta (102) transportadora para transportar al menos dos categorías de chatarra (104) colocadas al azar, la cinta (102) transportadora se desplaza en una primera dirección;
- una fuente (110) de haz de electrones para crear un haz (112) de electrones de escaneo;
- 10 una lámina (114) objetivo posicionada para interactuar con el haz (112) de electrones de escaneo para crear un haz (108) de rayos x de escaneo a lo largo de un plano generalmente transversal a la primera dirección de la cinta transportadora y dirigido hacia la chatarra (104) en la cinta (102) transportadora;
- al menos un detector (120) de retrodispersión para medir rayos x retrodispersados de la chatarra (104) en la cinta
- 15 (102) transportadora;
- al menos un detector (122) de dispersión hacia adelante para medir rayos x dispersados hacia adelante desde la chatarra (104) en la cinta (102) transportadora;
- 20 un detector (118) de transmisión para medir los rayos x transmitidos a través de la chatarra (104) en la cinta (102) transportadora;
- una base de datos que contiene un plano (162) de corte entre una primera categoría (158) de la chatarra y una segunda categoría (160) de la chatarra, el plano (162) de corte una función de rayos x de transmisión, rayos x de retrodispersión,
- 25 y los rayos x de dispersión hacia adelante; y
- un controlador (124) configurado para (i) recibir rayos x transmitidos, rayos x dispersos hacia adelante y rayos x retrodispersados detectados desde la chatarra como un conjunto de datos, (ii) normalizar el conjunto de datos utilizando rayos x detectados de la cinta (102) transportadora, y (iii) comparar el conjunto de datos normalizado con el
- 30 plano (162) de corte en la base de datos para categorizar la chatarra (104) en una de la primera y la segunda categoría (160).
2. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además un sistema de visión situado corriente arriba de la fuente (110) del haz de electrones para visualizar los metales en la cinta (102) transportadora;
- 35 en donde el controlador (124) está configurado para (iv) determinar una característica visual de los metales para categorizar la chatarra (104) en una de las categorías (160) primera y segunda.
3. El aparato de la reivindicación 1, en donde el plano de corte se basa en los rayos x de dispersión hacia adelante.
- 40 4. El aparato de la reivindicación 3, en donde el controlador (124) está configurado para ingresar los rayos x de transmisión normalizados y los rayos x de retrodispersión normalizados del conjunto de datos a la base de datos, y comparar los rayos x de dispersión hacia adelante normalizada con el plano (162) de corte para clasificar entre la primera (158) y la segunda categoría (160) de metal.
- 45 5. El aparato de la reivindicación 1, en donde cada conjunto de datos corresponde a una región en una pieza de chatarra.
6. El aparato de la reivindicación 5, en donde, para la pieza de chatarra, el controlador (124) está configurado para calcular la suma de los rayos x de dispersión hacia adelante normalizados del conjunto de datos y la suma de un valor del plano (162) de corte y compara la suma de los rayos x de dispersión hacia adelante normalizados con la suma de los valores del plano de corte para clasificar entre la primera y la segunda categoría.
- 50 7. El aparato de la reivindicación 5, en donde para la pieza de chatarra, el controlador (124) está configurado para calcular la suma de los rayos x de dispersión hacia adelante normalizados por región, calcular la suma de los rayos x de transmisión normalizados por región y la suma de los rayos x de dispersión de retorno normalizados por región para determinar un valor de plano de corte en la base de datos, y comparar la suma de los rayos x de dispersión hacia adelante normalizados por región con el valor de plano de corte para clasificar entre la primera y la segunda categoría.
- 55 8. El aparato de la reivindicación 1, en donde la base de datos se forma utilizando un cálculo empírico a partir de una prueba para proporcionar la categoría de metal.
- 60 9. El aparato de la reivindicación 1, en donde el controlador (124) está configurado para usar una máquina de vectores de soporte para la calibración, derivándose el plano (162) de corte de la máquina de vectores de soporte.
- 65

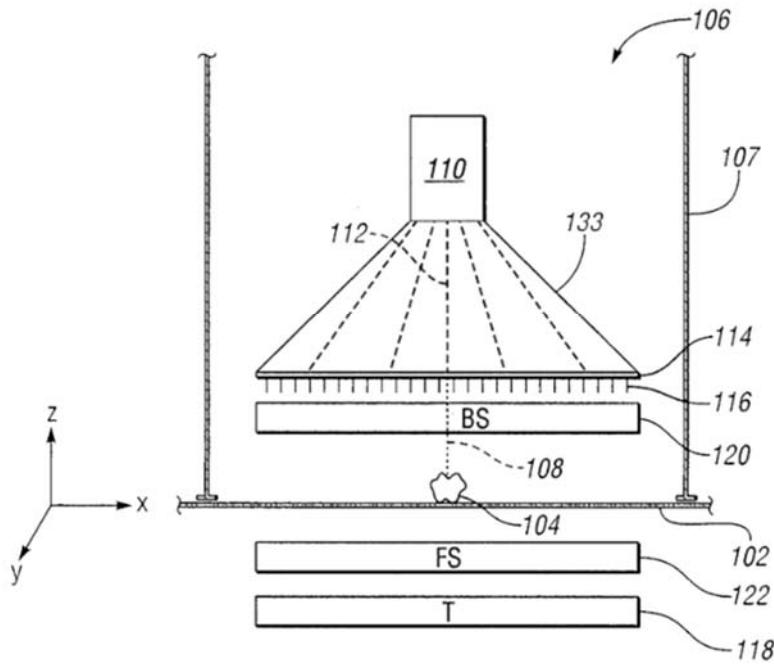
10. El aparato de la reivindicación 9, en donde un corte de puntuación de la máquina del vector de soporte que define el plano se establece en cero.
- 5 11. El aparato de la reivindicación 9, en donde el plano (162) de corte se desplaza hacia uno de un metal de menor densidad y un metal de mayor densidad al establecer un corte de puntaje de la máquina del vector de soporte que define el plano en un valor distinto de cero para minimizar los errores dentro de uno del metal de menor densidad y del metal de mayor densidad.
- 10 12. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además una cámara (126) de generación de imágenes situada corriente arriba de la fuente (110) del haz de electrones para visualizar los metales en la cinta (102) transportadora para dirigir el procesamiento de datos por el controlador (124) a al menos una región de la cinta (102) transportadora que transporta metales.
- 15 13. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además un colimador interpuesto entre la lámina (114) objetivo y la cinta (102) transportadora para colimar los rayos x.
- 20 14. El aparato de la reivindicación 13, en donde la lámina (114) objetivo comprende además al menos uno de tantalio, titanio y tungsteno, y carbono y tungsteno.
- 25 15. El aparato de la reivindicación 1, en donde el detector de transmisión está alineado con el plano de escaneo de rayos x.
- 30 16. El aparato de la reivindicación 1, en donde el detector (120) de retrodispersión está colocado adyacente al plano de escaneo de rayos x y la fuente (110) de haz de electrones.
- 35 17. El aparato de la reivindicación 1, en donde el detector (122) de dispersión hacia delante está colocado adyacente al plano de de rayos x de escaneo y al detector de transmisión.
- 40 18. El aparato de la reivindicación 1, en donde el al menos un detector (120) de retrodispersión es un Centelleador con al menos un tubo fotomultiplicador.
- 45 19. El aparato de la reivindicación 1, en donde la fuente (110) de haz de electrones comprende además un generador (170) de haz de electrones, una bobina (174) de enfoque y bobinas (176) de dirección de haz.
- 50 20. El aparato de la reivindicación 19, en donde el haz (112) de electrones de la fuente (110) del haz de electrones escanea como una disposición.
- 55 21. El aparato de la reivindicación 1, en donde el haz (112) de electrones y el correspondiente haz (108) de rayos x son dirigidos por la cámara (126) de imágenes para escanear regiones de la cinta (102) transportadora que contienen metales a clasificar.
- 60 22. El aparato de la reivindicación 1, en donde la chatarra comprende además una categoría indeterminada tal que el controlador (124) clasifica la categoría indeterminada en un bucle (132) de reciclaje para volver a escanear el aparato.
23. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además al menos un eyector colocado adyacente a la cinta (102) transportadora y corriente abajo del plano de rayos x para clasificar físicamente la primera categoría (158) de chatarra de la segunda categoría (160) de chatarra.
24. Un método para clasificar la chatarra (104) que comprende:
- incidiendo unos rayos x colimados en un material de fondo;
- incidiendo en unos rayos x colimados en una parte de una pieza de chatarra provista en el material de fondo, la chatarra que contiene una primera y una segunda categoría de metal;
- medir y comparar los rayos x transmitidos desde la porción de chatarra y el material de fondo para crear una relación (152) de transmisión;
- medir y comparar los rayos x dispersos hacia adelante desde la parte de la chatarra y el material de fondo para crear una relación (156) de dispersión hacia adelante;
- medir y comparar rayos x retrodispersados de la parte de la chatarra y el material de fondo para crear una relación (154) de retrodispersión;

## ES 2 729 705 T3

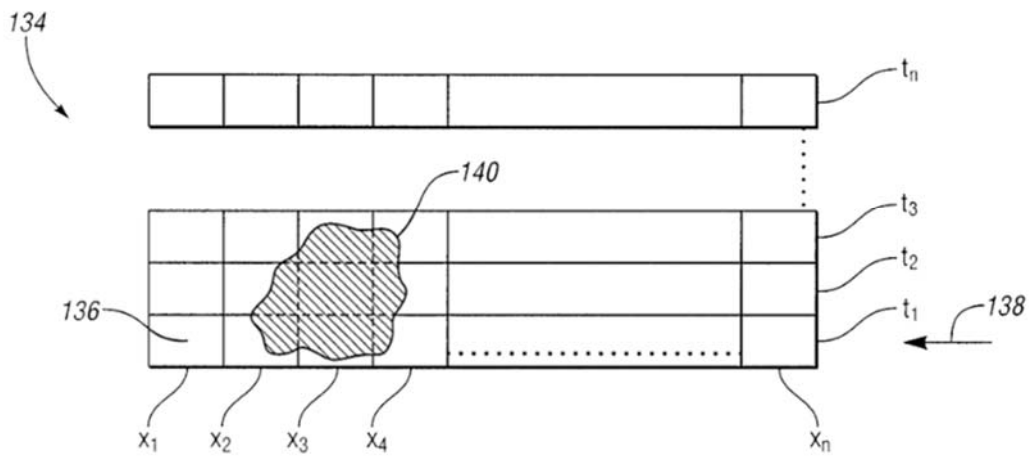
- ingresar la relación (152) de transmisión y la relación (154) de retrodispersión en una base de datos para obtener un valor de corte de dispersión hacia adelante, que proporciona una división entre la primera categoría (158) de metal y la segunda categoría (160) de metal;
- 5     comparar la relación (156) de dispersión hacia adelante con el valor de corte de dispersión hacia adelante; y
- clasificar la pieza de chatarra en una de la primera categoría (158) y la segunda categoría (160) en función del valor de corte.
- 10    25. El método de la reivindicación 24, que comprende además generar imágenes de la pieza de chatarra para determinar una característica visual;
- en donde la pieza de chatarra se clasifica según la característica visual.
- 15    26. El método de la reivindicación 24, que comprende además:
- obtener una relación (152) de transmisión, una relación (156) de dispersión hacia delante y una relación (154) de retrodispersión de cada parte de la pieza de chatarra;
- 20    calcular una suma de las relaciones de dispersión hacia adelante sobre la pieza de chatarra;
- calcular una suma de los valores de corte de dispersión total hacia adelante de la base de datos; y
- comparar la suma de las relaciones de dispersión hacia adelante con la suma de los valores de corte de dispersión hacia adelante para clasificar la pieza de chatarra entre la primera y la segunda categoría.
- 25    27. El método de la reivindicación 24, que comprende además:
- 30    obtener una relación (152) de transmisión, una relación (156) de dispersión hacia delante y una relación (154) de retrodispersión de cada porción de la pieza de chatarra;
- calcular la suma de las relaciones de dispersión hacia adelante sobre la pieza por el número de porciones en la pieza de chatarra;
- 35    calcular la suma de las relaciones de retrodispersión sobre la pieza por el número de porciones en la pieza de chatarra y las relaciones de transmisión sobre la pieza por el número de porciones en la pieza de chatarra para obtener un valor de corte de dispersión hacia adelante para la pieza de la base de datos; y
- 40    comparar la suma de las relaciones de dispersión hacia adelante por el número de porciones con el valor de corte de dispersión hacia adelante de la pieza para clasificar la pieza de chatarra entre la primera y la segunda categoría.
28. El método de la reivindicación 24, en donde el material de fondo comprende una cinta transportadora.
- 45    29. El método de la reivindicación 24, que comprende además clasificar el metal en una tercera categoría de metal adyacente al valor de corte; y
- reclasificar el metal en la tercera categoría.
- 50    30. El método de la reivindicación 24, que comprende además formar un haz (108) de rayos x colimado usando una fuente (110) de haz de electrones y una lámina (114) objetivo.
31. El método de la reivindicación 24, que comprende además expulsar la primera categoría (158) de metal del fondo.



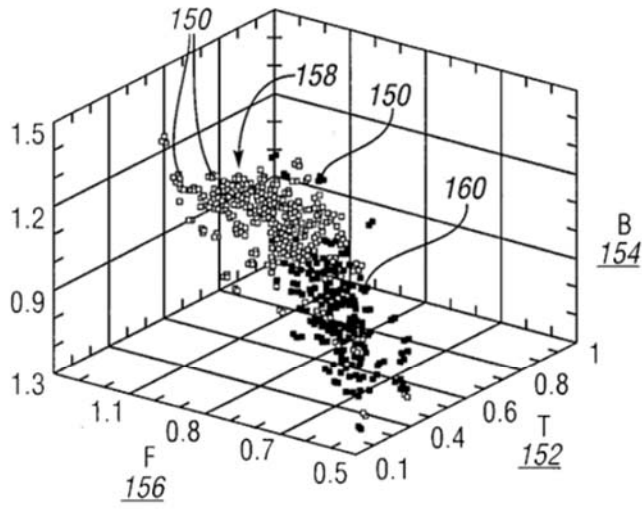
*Fig. 1*



*Fig. 2*

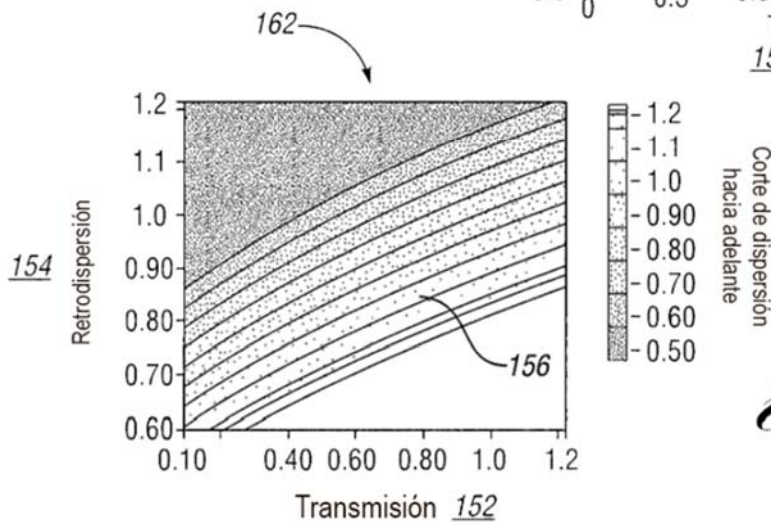
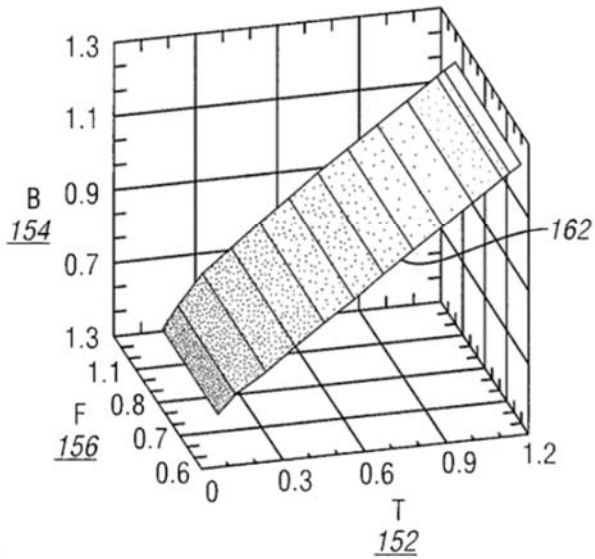


*Fig. 3*

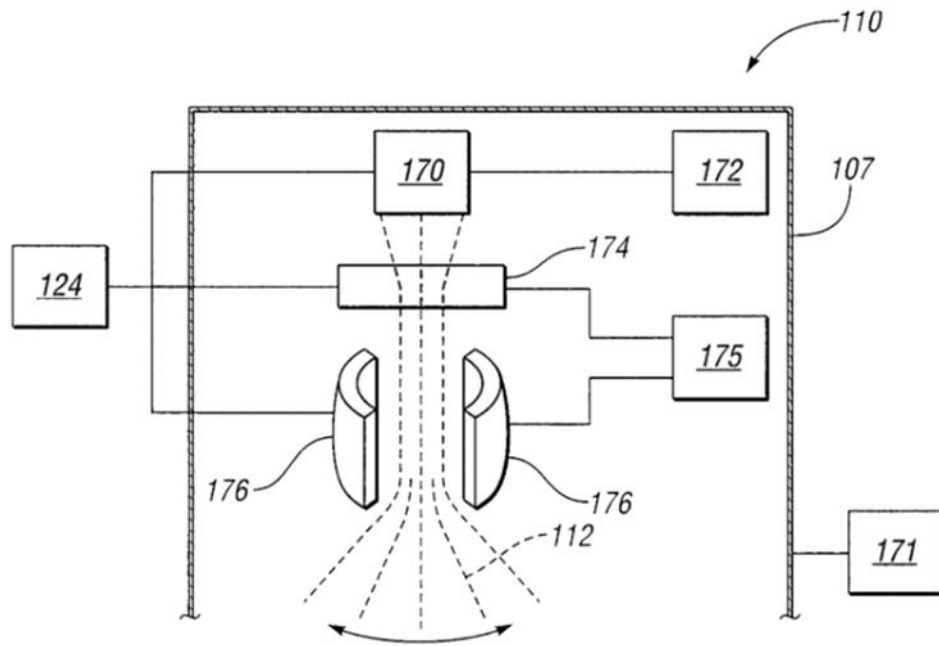


*Fig. 4*

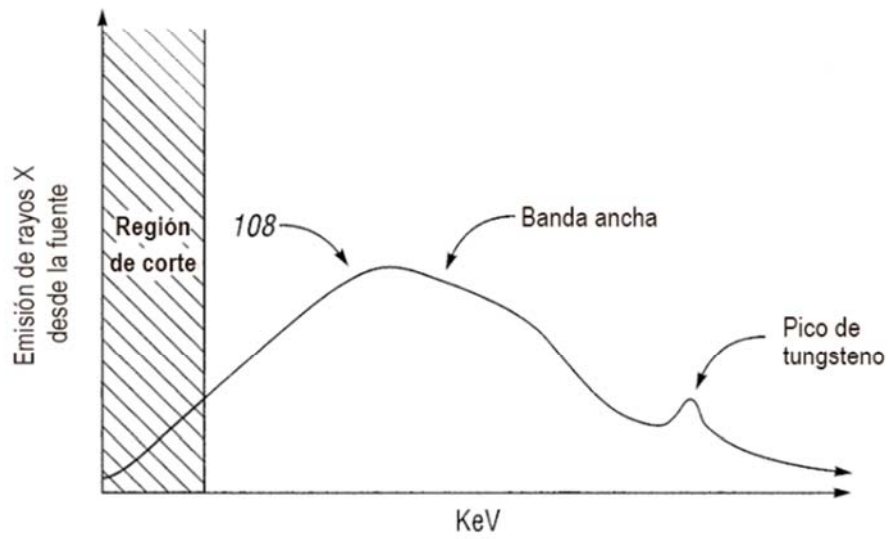
*Fig. 5*



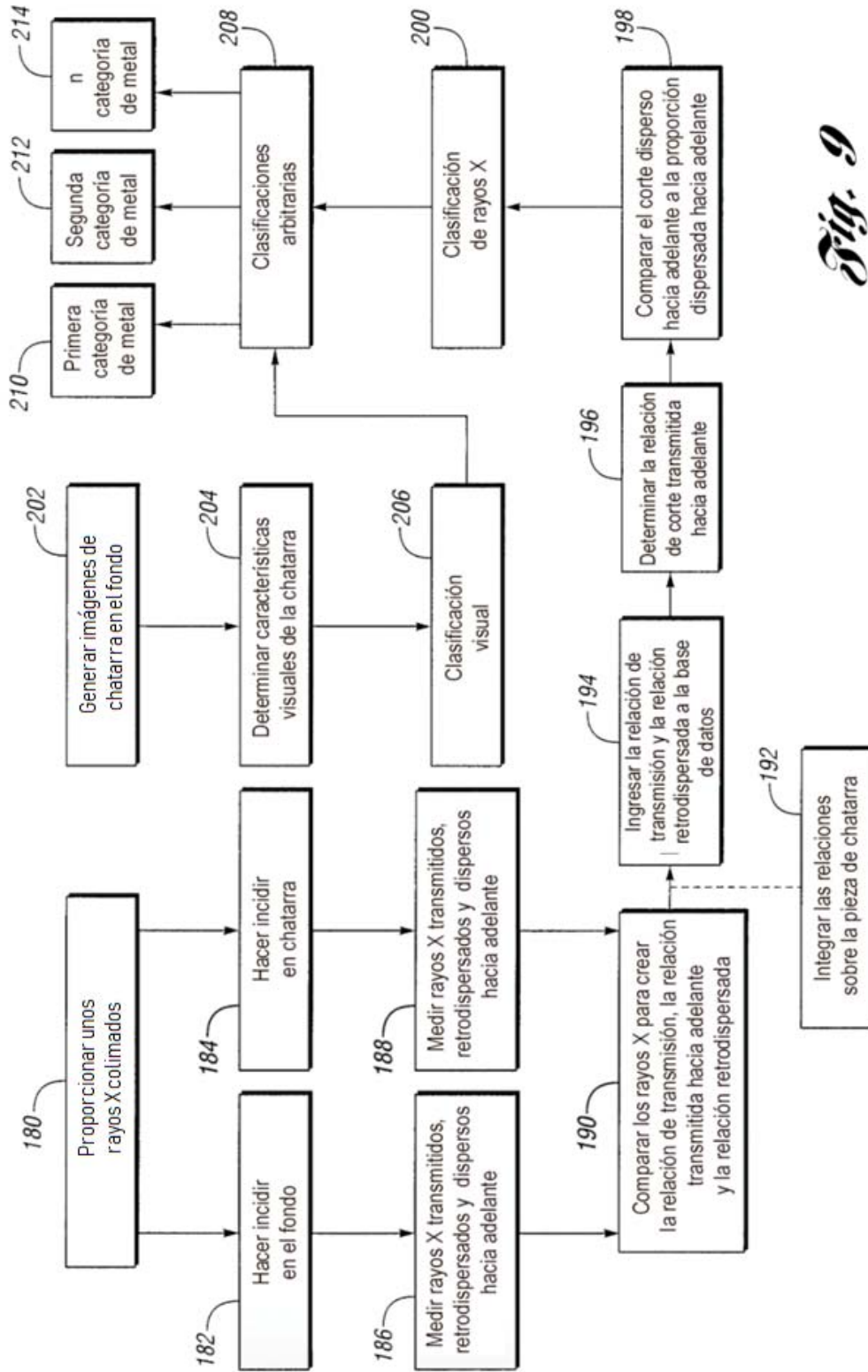
*Fig. 6*



*Fig. 7*

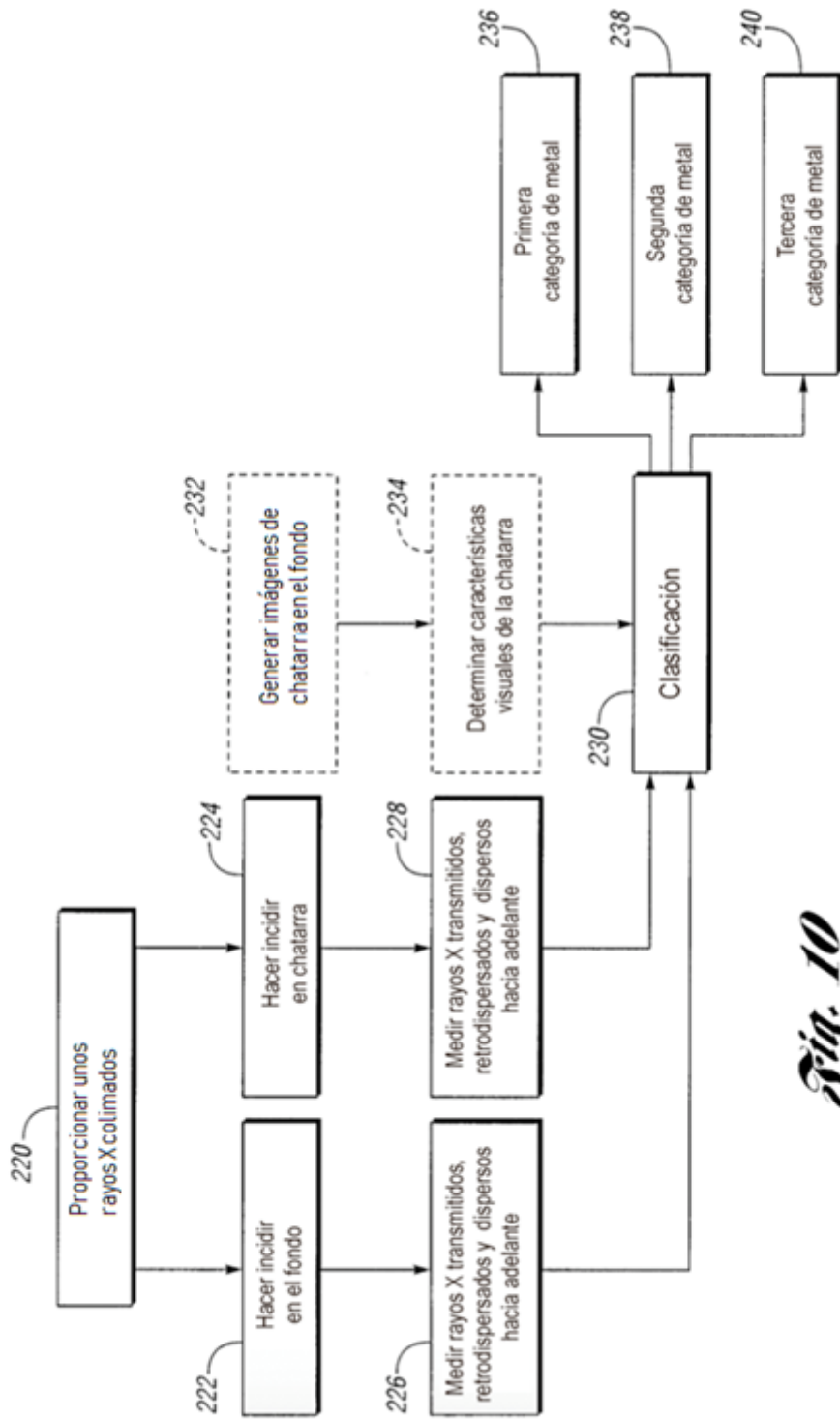


*Fig. 8*



*Fig. 9*





*Fig. 10*