

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 920 479**

51 Int. Cl.:

B07C 5/02 (2006.01)
B07C 5/10 (2006.01)
B07C 5/34 (2006.01)
B07C 5/342 (2006.01)
B07C 5/36 (2006.01)
B07C 5/38 (2006.01)
G01N 23/223 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.07.2016** **PCT/US2016/042850**
87 Fecha y número de publicación internacional: **19.01.2017** **WO17011835**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.07.2016** **E 16825313 (6)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.06.2022** **EP 3322544**

54 Título: **Sistema de clasificación de materiales**

30 Prioridad:

16.07.2015 US 201562193332 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.08.2022

73 Titular/es:

SORTERA ALLOYS, INC. (100.0%)
6729 Harbour Town Lane
Fort Worth TX 76132, US

72 Inventor/es:

GARCIA, MANUEL GERARDO;
KUMAR, NALIN y
DAS, SUBODH

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 920 479 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 materiales

Campo de la tecnología

- 5 La presente divulgación se relaciona en general con la clasificación de materiales, tales como chatarra, y en particular, con la clasificación de piezas de materiales (por composición) en un flujo de materiales que se mueven a lo largo de un sistema transportador.

Información de antecedentes

- 10 Esta sección pretende presentar diversos aspectos de la técnica, que pueden estar asociados con realizaciones ejemplares de la presente divulgación. Se cree que esta discusión ayuda a proporcionar un marco de trabajo para facilitar una mejor comprensión de aspectos particulares de la presente divulgación. En consecuencia, debe entenderse que esta sección debe leerse a la luz de esto, y no necesariamente como admisiones del estado de la técnica.

- 15 Normalmente, la clasificación de piezas de materiales ha implicado determinar una propiedad o propiedades físicas de cada pieza y agrupar piezas que comparten una propiedad o propiedades comunes. Tales propiedades pueden incluir color, matiz, textura, peso, densidad, transmisividad a la luz, sonido u otras señales, en reacción a estímulos tales como diversos campos.

- 20 La chatarra a menudo se tritura y, por lo tanto, requiere clasificación para facilitar la reutilización de los metales. Al clasificar la chatarra, se reutiliza el metal que, de lo contrario, podría ir a parar a un vertedero. Además, el uso de chatarra clasificada reduce la contaminación y las emisiones en comparación con la refinación de materias primas vírgenes a partir del mineral. Los fabricantes pueden usar chatarra en lugar de materias primas vírgenes si la calidad del metal clasificado cumple con ciertos estándares. La chatarra puede incluir tipos de metales ferrosos y no ferrosos, metales pesados, metales de alto valor tales como el níquel o el titanio, metales colados o forjados y otras aleaciones diversas.

- 25 El reciclaje de metales no ferrosos de equipos al final de su vida útil triturados, tales como automóviles o electrodomésticos, está aumentando constantemente en importancia, ya que muchas materias primas, tales como el cobre o el aluminio, pueden recuperarse de esta manera. Sin embargo, para que esto sea posible, estas fracciones deben extraerse con un alto grado de pureza. Por lo tanto, un proceso de clasificación efectivo, eficiente y económico puede agregar valor porque el valor de mercado de las fracciones no ferrosas individuales refinadas es significativamente mayor que el de las mezclas ferrosas sin clasificar.

- 30 El reciclaje de chatarra de aluminio es una propuesta muy atractiva ya que se puede ahorrar hasta 95 % de los costes de energía en comparación con la extracción laboriosa del aluminio primario más costoso. El aluminio primario se define como el aluminio procedente de minerales enriquecidos con aluminio, tal como la bauxita. Al mismo tiempo, la demanda de aluminio aumenta constantemente en mercados, tal como la fabricación de automóviles, debido a sus propiedades de peso ligero. En consecuencia, es particularmente deseable separar eficientemente los metales de chatarra de aluminio en familias de aleaciones, ya que la chatarra de aluminio mezclada de la misma familia de aleaciones vale mucho más que la de aleaciones mezcladas indiscriminadamente. Por ejemplo, en los métodos de mezcla utilizados para reciclar aluminio, cualquier cantidad de chatarra compuesta de aleaciones similares o iguales y de calidad consistente tiene más valor que la chatarra que consiste en aleaciones de aluminio mixtas.

- 40 La chatarra forjada contiene una mezcla de aleaciones forjadas. La chatarra forjada mixta tiene un valor limitado porque la mezcla, debido a su composición química combinada, debe diluirse si se usa para producir una nueva aleación forjada. La razón por la que esto es así se debe a las tolerancias de composición más estrictas de las aleaciones forjadas, que se requieren para cumplir con los requisitos de rendimiento de los productos forjados. La chatarra de alto valor debe tener una alta absorción en el producto reciclado. Alta absorción significa que una parte sustancial del producto final se compone de chatarra. Para aumentar el valor de la chatarra forjada se requiere la separación del producto forjado en calidades de aleación o materiales constituidos de manera similar para maximizar la absorción. La chatarra de aleaciones mixtas presenta algunos problemas difíciles de separabilidad debido a su pobre absorción en aleaciones forjadas de alta calidad. La chatarra de aleaciones mixtas tiene poca absorción en aleaciones forjadas de alta calidad y, como resultado, solo se pueden usar cantidades limitadas de chatarra mixta para reciclar en productos forjados. La absorción se define como el porcentaje de una aleación o mezcla que se puede usar para producir un lingote de otra composición deseada sin exceder los límites de composición de aleación especificados. Dentro de tales aleaciones de aluminio, el aluminio siempre será la mayor parte del material. Sin embargo, los constituyentes tales como el cobre, el magnesio, el silicio, el hierro, el cromo, el zinc, el manganeso y otros elementos de aleación brindan una variedad de propiedades al aluminio aleado y brindan un medio para distinguir una aleación forjada de otra.

- 55 La Asociación del Aluminio es la autoridad que define los límites permitidos para la composición química de las aleaciones de aluminio. La Aluminum Association publica los datos de las composiciones químicas de las aleaciones en "International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum

Alloys.", que se actualizó en enero de 2015. La Aluminum Association también tiene un documento similar para aleaciones coladas. En general, de acuerdo con la Aluminum Association, la serie 1000 de aleaciones de aluminio se compone esencialmente de aluminio puro con un contenido mínimo de aluminio de 99 % en peso; la serie 2000 es de aluminio principalmente aleado con cobre; la serie 3000 es de aluminio principalmente aleado con manganeso; la serie 4000 es de aluminio aleado con silicio; la serie 5000 es de aluminio principalmente aleado con magnesio; la serie 6000 es de aluminio aleado con magnesio y silicio; la serie 7000 es de aluminio principalmente aleado con zinc; y la serie 8000 es una categoría miscelánea.

Si bien sería beneficioso poder clasificar una masa o cuerpo de chatarra de lámina de aluminio que contenga una mezcla heterogénea de piezas de diferentes aleaciones, para separar las diferentes composiciones de aleaciones o al menos diferentes familias de aleaciones antes de volver a fundirlas para reciclarlas, las piezas de chatarra de diferentes composiciones de aleaciones de aluminio normalmente no se distinguen visualmente entre sí. Los metales ópticamente indistinguibles son difíciles de clasificar y, por lo tanto, pueden perderse. Por ejemplo, no es fácil separar e identificar manualmente piezas pequeñas de colada de aluminio forjado o detectar accesorios de zinc o acero encapsulados en aluminio. También existe el problema de que la clasificación por colores es casi imposible para materiales de colores idénticos, tales como los metales totalmente grises de aleaciones de aluminio, zinc y plomo.

Además, la presencia de piezas mezcladas de diferentes aleaciones en un cuerpo de chatarra limita la capacidad de la chatarra para ser reciclada de manera útil, a menos que las diferentes aleaciones (o, al menos, las aleaciones que pertenecen a diferentes familias de composición, tales como las designadas por las series 1000, 2000, 3000 de Aluminum Association, etc.) pueden separarse antes de volver a fundirse. Esto se debe a que, cuando se vuelve a fundir chatarra mezclada de diversas composiciones de aleaciones o familias de composiciones, la mezcla fundida resultante contiene proporciones de la aleación principal y elementos (o las diferentes composiciones) que son demasiado altas para satisfacer las limitaciones de composición de cualquier aleación en particular comercial.

Además, como lo demuestra la producción y venta de la camioneta Ford F-150 2015, que tiene un aumento considerable de partes de su carrocería y bastidor que consisten en aluminio en lugar de acero, también es deseable reciclar chatarra metálica de lámina, incluyendo la generada en la fabricación de componentes de automóviles a partir de lámina de aluminio. El reciclaje de la chatarra implica volver a fundir la chatarra para proporcionar un cuerpo de metal fundido que se puede moldear y/o laminar en partes de aluminio útiles para la producción posterior de dichos vehículos. Sin embargo, la chatarra de fabricación de automóviles (y la chatarra metálica de otras fuentes, tales como aviones y electrodomésticos comerciales y domésticos) a menudo incluye una mezcla de piezas de chatarra de dos o más aleaciones de aluminio que difieren sustancialmente entre sí en su composición. Un ejemplo específico de chatarra de fabricación mixta de lámina de aluminio, generada en ciertas operaciones de fabricación de automóviles actuales, es una mezcla de piezas de una o más aleaciones de la serie 5000 de Aluminum Association y piezas de una o más aleaciones de la serie 6000 de Aluminum Association. Así, los expertos en la técnica de las aleaciones de aluminio apreciarán las dificultades en esta técnica de separar las aleaciones de aluminio, especialmente las aleaciones que han sido trabajadas tales como aleaciones forjadas, extrudidas, laminadas y generalmente forjadas, en un producto trabajado reutilizable o reciclable. En su mayor parte, estas aleaciones son indistinguibles en la inspección visual o mediante otras técnicas convencionales de clasificación de chatarra, tal como la densidad y/o las corrientes de Foucault. Por lo tanto, es una tarea difícil separar, por ejemplo, aleaciones de las series 2000, 3000, 5000, 6000 y 7000; además, la capacidad de clasificar entre aleaciones de aluminio dentro de la misma serie de Asociación de Aluminio no se ha logrado en la técnica anterior.

Como resultado, hay ciertas economías disponibles para la industria del aluminio mediante el desarrollo de un plan o sistema de reciclaje simple pero bien planificado. El uso de material reciclado sería un recurso metálico menos costoso que una fuente primaria de aluminio. A medida que aumenta la cantidad de aluminio vendido a la industria automotriz (y otras industrias), será cada vez más necesario utilizar aluminio reciclado para complementar la disponibilidad de aluminio primario.

El documento US 2010/0017020 divulga un sistema y un método de clasificación con un medio de transporte para transportar artículos que se van a clasificar a una velocidad predeterminada. Un subsistema de espectrómetro XRF incluye al menos una fuente de rayos X que dirige la energía de rayos X a un artículo transportado por el medio de transporte y un detector que responde a los rayos X emitidos por el artículo y produce una señal espectral que caracteriza un borde delantero del artículo y un borde posterior del artículo. Un subsistema de desvío corriente abajo del subsistema XRF es para desviar artículos clasificados. Un subsistema de procesamiento electrónico responde a la señal del detector y está configurado para determinar si el artículo debe desviarse con base en la composición elemental del artículo de su espectro de rayos X. El mismo subsistema de procesamiento también está configurado para calcular la posición del artículo en el medio de transporte con base en la señal del detector y junto con la velocidad predeterminada del medio de transporte que controla el subsistema desviador para desviar los artículos seleccionados.

Visto desde un primer aspecto, se proporciona un método para clasificar una pluralidad de piezas de aleación metálica como se define en la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas.

Visto desde un segundo aspecto, se proporciona un sistema para clasificar aleaciones metálicas como se define en la reivindicación 8 de las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 ilustra un esquema de un sistema de clasificación configurado de acuerdo con diversas realizaciones de la presente invención.

La FIG. 2 ilustra un esquema de un dispositivo para individualizar pasivamente uno o más flujos de materiales.

5 La FIG. 3 ilustra un esquema de un sistema de clasificación configurado de acuerdo con diversas realizaciones de la presente invención.

La FIG. 4 ilustra un diagrama de flujo configurado de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

La FIG. 5 ilustra un diagrama de flujo de una operación de un sistema de medición de distancia configurado de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

10 La FIG. 6 ilustra un diagrama de flujo de una operación de un sistema de fluorescencia de rayos X ("XRF") configurado de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

La FIG. 7 ilustra un diagrama de flujo de un sistema y método para clasificar materiales de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

15 La FIG. 8 ilustra un diagrama de flujo de una operación de un dispositivo de clasificación configurado de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

Las FIGS. 9-13 ilustran una fuente ejemplar de fluorescencia de rayos X en línea ("IL-XRF") configurada de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

Las FIGS. 14-15 ilustran una comparación de una fuente IL-XRF con una fuente XRF de la técnica anterior.

20 La FIG. 16 ilustra esquemáticamente un detector XRF ejemplar configurado de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

Las FIGS. 17-21 ilustran un ejemplo de un sistema y proceso para clasificar materiales en función de su fluorescencia de rayos X.

La FIG. 22 ilustra un diagrama de flujo, configurado de acuerdo con realizaciones de la presente invención, de un sistema y proceso para clasificar materiales usando fluorescencia de rayos X.

25 La FIG. 23 muestra las composiciones elementales para las aleaciones de aluminio 6013, 6022 y 6013 según lo define la Aluminum Association.

La FIG. 24 muestra los espectros XRF para las clasificaciones de aleación de aluminio 6013 (espectro izquierdo), 6022 (espectro central) y 6061 (espectro derecho).

La FIG. 25 muestra un proceso para convertir un espectro en un vector de cuentas netas para un material.

30 La FIG. 26 muestra un proceso para normalizar el vector de la FIG. 25

La FIG. 27 muestra un proceso para convertir un espectro en un vector de recuentos netos para un material ejemplar de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

La FIG. 28 muestra un proceso para normalizar el vector de la FIG. 27 para el material ejemplar o en una firma de composición elemental ("ECS"), de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

35 La FIG. 29 muestra una comparación del ECS normalizado de la FIG. 28 para el material ejemplar de los ECS de referencia estándar normalizados.

Las FIGS. 30-31 muestran un ejemplo de clasificación de aleaciones de aluminio utilizando un método de producto punto.

La FIG. 32 muestra valores ECS para cuatro aleaciones de aluminio ejemplares.

40 La FIG. 33 muestra los valores ECS de la FIG. 33 con valores de intervalo de error.

La FIG. 34 ilustra un diagrama de bloques de un sistema de procesamiento de datos configurado de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

Descripción detallada

45 En el presente documento se describen realizaciones detalladas de la presente invención. Sin embargo, debe entenderse que las realizaciones descritas son meramente ejemplares de la invención, que puede materializarse en

formas diversas y alternativas. Las figuras no están necesariamente a escala; algunas características pueden exagerarse o minimizarse para mostrar detalles de componentes particulares. Por lo tanto, los detalles estructurales y funcionales específicos descritos en el presente documento no deben interpretarse como limitantes, sino simplemente como una base representativa para enseñar a un experto en la técnica a emplear de diversas formas la presente invención.

Tal como se usa en el presente documento, un "material" puede ser un elemento químico, un compuesto o una mezcla de elementos químicos, o un compuesto o una mezcla de un compuesto o una mezcla de elementos químicos, en el que la complejidad de un compuesto o mezcla puede variar desde simple hasta complejo. Los materiales pueden incluir metales (ferrosos y no ferrosos), aleaciones de metales, plásticos, caucho, vidrio, cerámica, etc. Tal como se usa en el presente documento, "elemento" significa un elemento químico de la tabla periódica de elementos, incluyendo los elementos que pueden descubrirse después de la presentación. fecha de esta solicitud. Tal como se utiliza en el presente documento, el término "aluminio" se refiere a aluminio metálico y aleaciones con base en aluminio, es decir, aleaciones que contienen más del 50 % en peso de aluminio (incluyendo las clasificadas por la Aluminum Association). Como se usa en el presente documento, los términos "chatarra" y "pedazos de chatarra" se refieren a piezas metálicas en estado sólido a diferencia del estado fundido.

Tal como se define en las Guidelines for Nonferrous Scrap promulgadas por el Institute Of Scrap Recycling Industries, Inc., el término "Zorba" es el término colectivo para metales no ferrosos triturados, que por lo general se originan en vehículos al final de su vida útil "ELV" o desechos electrónicos y equipos eléctricos ("WEEE"). El Institute Of Scrap Recycling Industries, Inc. ("ISRI") en los Estados Unidos estableció las especificaciones para Zorba. ISRI define a Zorba como "metales no ferrosos mixtos triturados que consisten principalmente en aluminio generado por un separador de corrientes de Foucault u otras técnicas de segregación". En Zorba, cada pieza de chatarra metálica puede estar compuesta por una combinación de metales no ferrosos: aluminio, cobre, plomo, magnesio, acero inoxidable, níquel, estaño y zinc, en forma elemental o aleado (sólido). Además, el término "Twitch" significará chatarra de aluminio fragmentadora flotante (de trituradoras de automóviles).

En realizaciones de la presente invención, la fluorescencia de rayos X ("XRF") se describe como utilizada para determinar las composiciones de materiales (por ejemplo, elementos) dentro de muestras, tales como piezas de chatarra (por ejemplo, piezas de chatarra metálica, Zorba, Twitch, etc.). Sin embargo, las realizaciones de la presente invención pueden clasificar muestras de materiales que difieren en su composición química mediante una serie de procesos conocidos en los que uno o más flujos de materiales individuales pasan por una fuente radiante de rayos X y se irradian, y se mide la radiación reflejada y se utiliza para identificar o clasificar los tipos de materiales (por ejemplo, piezas de chatarra metálica). Por ejemplo, en lugar de la utilización de rayos X emitidos por un tubo de rayos X, se puede utilizar radiación de rayos X de isótopos y la radiación reflejada se mide y usa para identificación/clasificación.

Como se usa en el presente documento, los términos "identificar" y "clasificar" y los términos "identificación" y "clasificación" pueden utilizarse de forma intercambiable. Dentro de las realizaciones de la presente invención, la fluorescencia de rayos X detectada en un material se puede utilizar para identificar algunos o todos los elementos presentes en el material, incluyendo las cantidades o cantidades relativas de tales elementos. Las realizaciones de la presente invención pueden entonces utilizar la identificación de dichos elementos para identificar el tipo de aleación metálica (por ejemplo, aleación de aluminio) perteneciente a los rayos X fluorescentes detectados. Además, las realizaciones de la presente invención pueden utilizar la identificación de los elementos dentro del material para clasificar el material de acuerdo con un estándar predeterminado. Por ejemplo, de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la fluorescencia de rayos X detectada en un material de aleación de aluminio (por ejemplo, una pieza de chatarra de aleación de aluminio) se puede utilizar para asignar una clasificación de aleación de aluminio al material (incluso de acuerdo con las clasificaciones de aleación de aluminio designadas por la Aluminum Association).

Dentro de la espectroscopia de fluorescencia de rayos X, el uso de rayos X característicos emitidos bajo excitación proporciona un método para la identificación de elementos y sus cantidades relativas presentes en diferentes materiales. La energía de los rayos X emitidos depende del número atómico de los elementos fluorescentes. A continuación, se utilizan detectores de resolución de energía para detectar los diferentes niveles de energía en los que los rayos X emiten fluorescencia y generar una señal de rayos X a partir de los rayos X detectados. Esta señal de rayos X se puede usar para construir un espectro de energía de los rayos X detectados y, a partir de la información, se puede identificar el elemento o elementos que produjeron los rayos X. Los rayos X fluorescentes se emiten isotópicamente desde un elemento irradiado, y la radiación detectada depende del ángulo sólido subtendido por el detector y de cualquier absorción de esta radiación antes de que la radiación llegue al detector. Cuanto menor sea la energía de un rayo X, menor será la distancia que recorrerá antes de ser absorbido por el aire. Por lo tanto, al detectar rayos X, la cantidad de rayos X detectados es una función de la cantidad de rayos X emitidos, el nivel de energía de los rayos X emitidos, los rayos X emitidos absorbidos en el medio de transmisión (por ejemplo, aire y/o un entorno no aspirado, o un entorno aspirado), los ángulos entre los rayos X detectados y el detector, y la distancia entre el detector y el material irradiado.

Estos rayos X hacen que cada pieza de material emita rayos X fluorescentes a diversos niveles de energía, dependiendo de los elementos contenidos en la pieza. Se detectan los rayos X fluorescentes y, a continuación, se clasifica la pieza de material con base en los rayos X fluorescentes y se clasifica de acuerdo con esta clasificación.

Los elementos o materiales con números atómicos bajos (tales como los presentes en las aleaciones de aluminio) no se prestan bien para el análisis de fluorescencia de rayos X, ya que los fotones de rayos X que emiten fluorescencia a partir de materiales de número atómico tan bajo tienen un bajo rendimiento y son de baja energía (~ 1-2 keV). Debido a que son de baja energía, se absorben fácilmente en el aire antes de llegar al sistema de detección. Este método también, por la naturaleza del sistema de detección, requiere un intervalo de tiempo significativo para construir y analizar información espectral para cada pieza de material analizado. En consecuencia, los sistemas que funcionan de acuerdo con este método están limitados en la tasa de producción de materiales. Para tasas de rendimiento altas, se desea tener un sistema de análisis de acción más rápida para procesar materiales más rápido y en mayores volúmenes. Como se describirá en el presente documento, las realizaciones de la presente invención pueden clasificar las aleaciones de aluminio entre sí a una tasa de rendimiento alta.

A continuación se describen realizaciones de la presente invención para clasificar piezas de chatarra de aleación metálica (también denominadas "piezas de chatarra de aleación metálica"), incluyendo piezas de chatarra de aleación de aluminio.

Los sistemas de clasificación de materiales descritos en el presente documento de acuerdo con las realizaciones de la presente invención reciben una mezcla heterogénea de una pluralidad de piezas de chatarra de aleación metálica, en los que al menos una pieza de chatarra de aleación metálica dentro de esta mezcla heterogénea incluye una composición de elementos (por ejemplo, una aleación de aluminio) diferente de una o más piezas de chatarra de aleaciones metálicas, y el sistema de clasificación está configurado para clasificar esta pieza de chatarra de aleación metálica en un grupo separado de otras piezas de chatarra de aleaciones metálicas.

Las realizaciones de la presente invención se describirán en el presente documento como la clasificación de piezas de chatarra de aleaciones metálicas en dichos grupos separados depositando físicamente (por ejemplo, expulsando) las piezas de chatarra de aleaciones metálicas en receptáculos o contenedores separados en función de agrupaciones definidas por el usuario (por ejemplo, clasificaciones de aleaciones metálicas). Como ejemplo, dentro de las realizaciones de la presente invención, las piezas de chatarra de aleaciones metálicas se pueden clasificar en contenedores separados para separar las piezas de chatarra metálica compuestas de una composición o composiciones de aleación metálica en particular, de otras piezas de chatarra de aleación metálica compuestas de una composición de aleación metálica diferente. Además, las realizaciones de la presente invención pueden clasificar piezas de chatarra de aleación de aluminio en contenedores separados, de modo que sustancialmente todas las piezas de chatarra de aleación de aluminio que tengan una composición que se encuentre dentro de una de las series de aleaciones de aluminio publicadas por la Aluminum Association se clasifiquen en un solo contenedor (por ejemplo, ejemplo, un contenedor puede corresponder a una o más series de aleación de aluminio particulares (por ejemplo, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000)).

Además, como se describirá en el presente documento, las realizaciones de la presente invención pueden configurarse para clasificar piezas de chatarra de aleación de aluminio en contenedores separados en función de una clasificación de su composición de aleación, incluso si tales composiciones de aleación pertenecen a la misma serie de la Aluminum Association. Como resultado, el sistema de clasificación de acuerdo con las realizaciones de la presente invención puede catalogar y clasificar piezas de chatarra de aleación de aluminio que tienen composiciones que las clasificarían todas en una sola serie de aleación de aluminio (por ejemplo, la serie 5000 o la serie 6000) en contenedores separados en función de su composición de aleación de aluminio. Por ejemplo, las realizaciones de la presente invención pueden catalogar y clasificar en contenedores separados piezas de chatarra de aleación de aluminio clasificadas como aleación de aluminio 5086 separadas de las piezas de chatarra de aleación de aluminio clasificadas como aleación de aluminio 5022. Tal capacidad para separar piezas de chatarra de aleación de aluminio entre sí dentro de una serie particular de aleación de aluminio nunca se había logrado antes en la técnica anterior.

Cabe señalar que los materiales que se van a clasificar pueden tener tamaños y formas irregulares. Por ejemplo, con respecto a la clasificación de Zorba y Twitch, dicho material puede haber pasado previamente por algún tipo de mecanismo de trituración que corta la chatarra en piezas de forma y tamaño irregulares, que luego se alimentan al sistema transportador.

La FIG. 1 ilustra un ejemplo de un sistema 100 de clasificación de materiales configurado de acuerdo con realizaciones de la presente invención. Se implementa un sistema 103 transportador para transportar uno o más flujos de piezas 101 de chatarra de aleación metálica a través del sistema 100 de clasificación para que cada una de las piezas 101 de chatarra de aleación metálica individual pueda rastrearse, catalogar y clasificarse en grupos deseados predeterminados. Dicho sistema 103 transportador puede implementarse con una o más cintas transportadoras sobre las que se desplazan las piezas 101 de chatarra de aleación metálica, típicamente a una velocidad constante predeterminada. Sin embargo, las realizaciones de la presente invención pueden implementarse con otros tipos de sistemas transportadores, incluyendo un sistema en el que las piezas de chatarra de aleación metálica caen libremente a través de los diversos componentes del sistema de clasificación. En lo sucesivo, el sistema 103 transportador se denominará simplemente cinta 103 transportadora.

Además, aunque la FIG. 1 ilustra un flujo único de piezas 101 de chatarra de aleación metálica en una cinta 103 transportadora, se pueden implementar realizaciones de la presente invención en las que hay una pluralidad de dichos flujos de piezas de chatarra de aleación metálica que pasan por los diversos componentes del sistema 100 de

clasificación en paralelos entre sí. Por ejemplo, como se describirá más adelante en el presente documento (por ejemplo, véase la FIG. 3), las piezas de chatarra de aleación metálica pueden distribuirse en dos o más flujos individuales paralelos que se desplazan en una sola cinta transportadora o en un conjunto de cintas transportadoras paralelas. Como tal, las realizaciones de la presente invención son capaces de rastrear, clasificar y separar simultáneamente una pluralidad de dichos flujos paralelos que se desplazan de piezas de chatarra de aleación metálica.

Se puede utilizar algún tipo de mecanismo de alimentación adecuado para alimentar las piezas 101 de chatarra de aleación metálica en la cinta 103 transportadora, por lo que la cinta 103 transportadora transporta las piezas 101 de chatarra de aleación metálica a través de diversos componentes dentro del sistema 100 de clasificación. Dentro de las realizaciones de la presente invención, la cinta 103 transportadora es operada para desplazarse a una velocidad predeterminada por un motor 104 de cinta transportadora. Esta velocidad predeterminada puede ser programable y ajustable por el usuario de cualquier manera conocida. La monitorización de la velocidad predeterminada de la cinta 103 transportadora se puede realizar alternativamente con un detector 105 de posición. Dentro de las realizaciones de la presente invención, el control del motor 104 de cinta transportadora y/o el detector 105 de posición puede ser realizado por un sistema 108 de control de automatización. Tal sistema 108 de control de automatización puede operarse bajo el control de un sistema 107 informático, o las funciones para realizar el control de automatización pueden implementarse en software dentro del sistema 107 informático.

La cinta 103 transportadora puede ser una cinta transportadora sin fin convencional que emplee un motor 104 de accionamiento convencional adecuado para mover la cinta transportadora a velocidades predeterminadas. El detector 105 de posición puede ser un codificador convencional, conectado operativamente a la cinta 103 transportadora y al sistema 108 de control de automatización, para proporcionar información continua correspondiente al movimiento de la cinta 103 transportadora. Por lo tanto, como se describirá más adelante en el presente documento, a través de la utilización de los controles para el motor 104 de cinta transportadora y el sistema 108 de control de automatización (e incluyendo alternativamente el detector 105 de posición), a medida que cada una de las piezas 101 de chatarra de aleación metálica se desplaza en la cinta 103 transportadora, se identifican, luego se pueden rastrear por ubicación y tiempo para que los diversos componentes del sistema 100 de clasificación se puedan activar/desactivar a medida que cada pieza 101 de chatarra de aleación metálica pasa por su proximidad. Como resultado, el sistema 108 de control de automatización puede rastrear la posición de cada una de las piezas 101 de chatarra de aleación metálica mientras se desplazan a lo largo de la cinta 103 transportadora.

Después de que la cinta 103 transportadora reciba las piezas 101 de chatarra de aleación metálica, se pueden colocar en uno o más flujos individuales (es decir, en fila única). Esto puede ser realizado por un aislador 106 activo o pasivo. Además, como se describe en el presente documento, el sistema 100 de clasificación puede configurarse para posicionar mecánicamente cada una de las piezas 101 de chatarra de aleación metálica dentro de un flujo individual a una distancia relativamente constante entre sí.

Un ejemplo de un aislador 206 pasivo se ilustra en la FIG. 2, que muestra esquemáticamente cómo las varillas o barras 210...217 de alineación estática alinean las piezas 201 de chatarra de aleación metálica individuales en uno o más flujos individuales en una cinta transportadora. Aunque el ejemplo de la FIG. 2 no es limitante, ilustra cómo las piezas 201 de chatarra de aleación metálica pueden separarse en cuatro flujos 202...205 individuales separados de piezas 201 de chatarra de aleación metálica en una cinta 207 transportadora. Dentro de las realizaciones de la presente invención, una única cinta transportadora puede transportar una pluralidad de flujos individuales, o se puede utilizar una pluralidad de cintas transportadoras accionadas individualmente, en las que cada una de las cintas transportadoras transporta uno de los flujos individuales separados (por ejemplo, 202... 205) de piezas 201 de chatarra de aleación metálica.

Haciendo referencia de nuevo a la FIG. 1, las realizaciones de la presente invención pueden utilizar un dispositivo 111 de medición de distancia y, opcionalmente, un sistema 110 de visión como un medio para comenzar a rastrear cada una de las piezas 101 de chatarra de aleación metálica a medida que se desplazan sobre la cinta 103 transportadora. El sistema 110 de visión puede utilizar una o más cámaras 109 fijas o de acción en vivo para observar la posición (es decir, la ubicación y el tiempo) de cada una de las piezas 101 de chatarra de aleación metálica en la cinta 103 transportadora móvil. Dicho sistema 110 de visión puede configurarse además para realizar ciertos tipos de identificación de todas o una porción de las piezas 101 de chatarra de aleación metálica. Por ejemplo, dicho sistema 110 de visión puede utilizarse para adquirir información adicional sobre cada una de las piezas 101 de chatarra de aleación metálica, incluyendo información que el sistema 120 de fluorescencia de rayos X ("XRF") no puede recopilar por sí solo. Por ejemplo, el sistema 110 de visión puede configurarse para recopilar información sobre el color, el tamaño, la forma y/o la uniformidad de las piezas 101 de chatarra de aleación metálica, lo que puede ayudar en la identificación de las composiciones de dichas piezas 101 de chatarra de aleación metálica. Además, dicho sistema 110 de visión puede configurarse para identificar cuáles de las piezas 101 de chatarra de aleación metálica no son del tipo que debe clasificar el sistema 100 de clasificación y enviar una señal para rechazar dichas piezas antes de que lleguen al sistema 120 XRF. En tal configuración, tales piezas 101 identificadas pueden ser expulsadas utilizando uno de los mecanismos que se describen a continuación para mover físicamente piezas de chatarra de aleación metálica clasificadas a contenedores individuales. Alternativamente, tanto el sistema 110 de visión como el sistema 120 XRF se pueden usar para clasificar las piezas 101 de chatarra de aleación metálica con un mayor grado de confiabilidad.

que el que pueden realizar los sistemas de visión o XRF solos. Esto puede incluir la clasificación de diversas aleaciones metálicas (por ejemplo, aluminio) entre sí.

Se utiliza y configura un dispositivo 111 de medición de distancia y un sistema 112 de control para medir los tamaños y/o formas de cada una de las piezas 101 de chatarra de aleación metálica a medida que pasan cerca del dispositivo 111 de medición de distancia, junto con la posición (es decir, ubicación y temporización) de cada una de las piezas 101 de chatarra de aleación metálica en la cinta 103 transportadora móvil. Una operación ejemplar de tal dispositivo 111 de medición de distancia y sistema 112 de control se describe en el presente documento con respecto a la FIG. 5. Dicho dispositivo 111 de medición de distancia puede implementarse con un sistema de luz láser bien conocido, que mide continuamente la distancia que recorre la luz láser antes de volver a reflejarse en un detector del sistema de luz láser. Como tal, cuando cada una de las piezas 101 de chatarra de aleación metálica pasa cerca del dispositivo 111, envía una señal al sistema 112 de control del dispositivo de medición de distancia que indica tales mediciones de distancia. Por lo tanto, dicha señal puede representar sustancialmente una serie intermitente de pulsos en los que la línea de base de la señal se produce como resultado de una medición de la distancia entre el dispositivo 111 de medición de distancia y la cinta 103 transportadora durante aquellos momentos en los que no se encuentra una pieza de chatarra en la proximidad del dispositivo 111, mientras que cada pulso proporciona una medición de la distancia entre el dispositivo 111 de medición de distancia y una pieza 101 de chatarra de aleación metálica que pasa por la cinta 103 transportadora. Dado que las piezas 101 de chatarra de aleación metálica pueden tener formas irregulares, tal señal de pulso también puede tener ocasionalmente una altura irregular. Sin embargo, cada señal de pulso generada por el dispositivo 111 de medición de distancia proporciona la altura de las porciones de cada una de las piezas 101 de chatarra de aleación metálica a medida que pasan por la cinta 103 transportadora. La longitud de cada uno de dichos pulsos también proporciona una medida de la longitud de cada una de las piezas 101 de chatarra de aleación metálica medida a lo largo de una línea sustancialmente paralela a la dirección de desplazamiento de la cinta 103 transportadora. Es esta medida de longitud (correspondiente a la marca de tiempo del bloque 506 de proceso de la FIG. 5) (y, alternativamente, las mediciones de altura) que se puede utilizar dentro de las realizaciones de la presente invención para determinar cuándo activar y desactivar la adquisición de la fluorescencia detectada (es decir, el espectro XRF) de cada una de las piezas 101 de chatarra de aleación metálica por el sistema 120 XRF.

El sistema 120 XRF está configurado para identificar la composición, o composiciones relativas, de cada una de las piezas 101 de chatarra de aleación metálica cuando pasan cerca del sistema 120 XRF. Una operación ejemplar de tal sistema 120 XRF se describe en el presente documento con respecto a la FIG. 6. El sistema 120 XRF incluye una fuente 121 de rayos X, que puede ser alimentada por una fuente 122 de energía de rayos X.

Dentro de las realizaciones de la presente invención, la fuente 121 de rayos X puede incluir cualquier tubo de rayos X comercialmente disponible o fuentes de rayos X comercialmente disponibles que utilicen isótopos radiactivos. Aunque dichas fuentes con base en isótopos normalmente no producen rayos X a la intensidad que puede producir un tubo de rayos X comercialmente disponible, las realizaciones de la presente invención son capaces de clasificar suficientemente las aleaciones metálicas, incluyendo las aleaciones de aluminio (incluso dentro de la misma serie de aleación de aluminio) para clasificar en contenedores separados, utilizando tales fuentes con base en isótopos. Dado que cuando una fuente de rayos X produce rayos X menos intensos, se emiten menos rayos X fluorescentes de las piezas de chatarra de aleación metálica, el sistema de clasificación puede estar preprogramado para disminuir la velocidad de la cinta transportadora para permitir que uno o más detectores detecten rayos X fluorescentes de las piezas de chatarra de aleación metálica durante un período de tiempo más largo de modo que se pueda determinar un espectro XRF con una imagen lo suficientemente fuerte, es decir, un patrón espectral reconocible.

Como se describirá aquí con respecto a las FIGS. 9-13, la fuente de rayos X puede incluir un tubo de fluorescencia de rayos X en línea ("IL-XRF"). Dicho tubo IL-XRF puede incluir una fuente de rayos X separada dedicada a una o más de los flujos individuales de piezas de chatarra de aleación metálica transportadas. Asimismo, se pueden implementar uno o más detectores XRF para detectar rayos X fluorescentes de piezas de chatarra de aleación metálica dentro de cada uno de los flujos individuales.

A medida que cada pieza 101 de chatarra de aleación metálica pasa cerca de la fuente 121 de rayos X, se irradia con rayos X de la fuente 121 de rayos X, lo que da como resultado un espectro de fluorescencia de rayos X que emana de la pieza 101 de chatarra de aleación metálica irradiada. Uno o más detectores 124 XRF (por ejemplo, véase la FIG. 16) están posicionados y configurados para detectar la fluorescencia de rayos X emanada de la pieza 101 de chatarra de aleación metálica. El uno o más detectores 124 y la electrónica 125 de detección asociada capturan este espectro XRF recibido para realizar el procesamiento de la señal y producir información digitalizada que representa el espectro XRF capturado, que luego se analiza de acuerdo con las realizaciones de la presente invención para identificar/clasificar cada una de las piezas 101 de chatarra de aleación metálica (por ejemplo, véanse las FIGS. 7 y 22). Esta clasificación, que puede realizarse dentro del sistema 107 informático, puede luego ser utilizada por el sistema 108 de control de automatización para activar uno de los N ($N \geq 1$) dispositivos 126...129 de clasificación para clasificar (por ejemplo, expulsar) las piezas 101 de chatarra de aleación metálica en uno o más N ($N \geq 1$) contenedores 136...139 de clasificación de acuerdo con las clasificaciones determinadas (por ejemplo, véase la FIG. 8). Cuatro dispositivos 126...129 de clasificación y cuatro contenedores 136...139 de clasificación asociados con los dispositivos de clasificación se ilustran en la FIG. 1 como meramente un ejemplo no limitativo.

Los dispositivos de clasificación pueden incluir cualquier mecanismo bien conocido para expulsar las piezas de chatarra de aleación metálica del sistema de cinta transportadora a la pluralidad de contenedores de clasificación. Por ejemplo, un dispositivo de clasificación puede utilizar chorros de aire, con cada uno de los chorros de aire asignados a una o más de las clasificaciones. Cuando uno de los chorros de aire (por ejemplo, 127) recibe una señal del sistema 108 de control de automatización, ese chorro de aire emite una flujo de aire que hace que una pieza 101 de chatarra de aleación metálica sea expulsada de la cinta 103 transportadora a un contenedor de clasificación (por ejemplo, 137) correspondiente a ese chorro de aire. Se pueden usar válvulas de aire de alta velocidad de Mac Industries, por ejemplo, para suministrar a los chorros de aire presión de aire configurada para expulsar las piezas 101 de chatarra de aleación metálica de la cinta 103 transportadora.

Aunque el ejemplo ilustrado en la FIG. 1 usa chorros de aire para expulsar las piezas de chatarra de aleación metálica, se pueden usar otros mecanismos para expulsar las piezas de chatarra de aleación metálica, tal como retirar robóticamente las piezas de chatarra de aleación metálica de la cinta transportadora, empujar las piezas de chatarra de aleación metálica de la cinta transportadora (por ejemplo, con émbolos de tipo pincel), o provocando una abertura (por ejemplo, una trampilla) en la cinta 103 transportadora de la que puede caer una pieza de chatarra de aleación metálica. Como ejemplo, la FIG. 3 muestra una realización ejemplar en la que se utilizan émbolos para expulsar las piezas de chatarra de aleación metálica de una cinta transportadora.

Además de los N contenedores 136...139 de clasificación en los que se expulsan las piezas 101 de chatarra de aleación metálica, el sistema 100 también puede incluir un receptáculo o contenedor 140 que recibe las piezas 101 de chatarra de aleación metálica no expulsadas de la cinta 103 transportadora en cualquiera de los contenedores 136...139 de clasificación antes mencionados. Por ejemplo, una pieza 101 de chatarra de aleación metálica no puede expulsarse de la cinta 103 transportadora a uno de los N contenedores 136...139 de clasificación cuando no se determina la clasificación de la pieza 101 de chatarra de aleación metálica (o simplemente porque los dispositivos de clasificación fallaron en expulsar adecuadamente una pieza). Por lo tanto, el contenedor 140 puede servir como receptáculo por defecto en el que se vierten piezas de chatarra de aleación metálica no clasificadas. Alternativamente, el contenedor 140 puede usarse para recibir una o más clasificaciones de piezas de chatarra de aleación metálica que deliberadamente no han sido asignadas a ninguno de los contenedores 136...139 de clasificación N.

Dependiendo de la variedad de clasificaciones de piezas de chatarra de aleación metálica deseadas, se pueden asignar múltiples clasificaciones a un solo dispositivo de clasificación y un contenedor de clasificación asociado. En otras palabras, no es necesario que haya una correlación de uno a uno entre las clasificaciones y los contenedores de clasificación. Por ejemplo, el usuario puede desear clasificar ciertas clasificaciones de aleaciones metálicas (por ejemplo, aleaciones de aluminio) en el mismo contenedor de clasificación. Para lograr esta clasificación, cuando una pieza 101 de chatarra de aleación metálica se clasifica como una aleación metálica que cae en un grupo predeterminado de clasificaciones de aleación metálica, el mismo dispositivo de clasificación puede activarse para clasificarlas en el mismo contenedor de clasificación. Tal clasificación de combinación puede aplicarse para producir cualquier combinación deseada de piezas de chatarra de aleación metálica clasificadas y distribución de elementos. El mapeo de clasificaciones puede ser programado por el usuario (por ejemplo, utilizando el algoritmo de clasificación (por ejemplo, véanse las FIGS. 7 y 22) operado por el sistema 107 informático) para producir tales combinaciones deseadas. Además, las clasificaciones de piezas de chatarra de aleaciones metálicas son definibles por el usuario y no se limitan a ninguna clasificación conocida particular de piezas de chatarra de aleaciones metálicas.

Aunque la cinta 103 transportadora puede estar hecha de algún tipo de material cauchutado, la intensidad de los rayos X generados por la fuente 121 de rayos X puede hacer que incluso los elementos presentes en la cinta 103 transportadora emitan rayos X fluorescentes. Como resultado, dentro de las realizaciones de la presente invención, la cinta 103 transportadora puede estar hecha de un material que no emite rayos X fluorescentes a niveles de energía que caen dentro de un intervalo del espectro de energía que se detecta, interfiriendo así con el espectro de energía detectado. Los niveles de energía de los rayos X fluorescentes dependen de los niveles de energía a los que los elementos presentes en las piezas 101 de chatarra de aleación metálica emiten fluorescencia. Los niveles de energía a los que un elemento emite fluorescencia son proporcionales a su número atómico. Por ejemplo, los elementos de números atómicos bajos emiten rayos X fluorescentes a niveles de energía más bajos. Por lo tanto, los materiales para la cinta 103 transportadora pueden elegirse de modo que la cinta 103 incluya elementos de ciertos números atómicos que no emiten rayos X fluorescentes dentro de un cierto intervalo de energía.

Dentro de las realizaciones de la presente invención, la fuente 121 de rayos X puede ubicarse por encima del área de detección (es decir, por encima de la cinta 103 transportadora); sin embargo, las realizaciones de la presente invención pueden ubicar la fuente 121 de rayos X y/o los detectores 124 en otras posiciones que todavía producen espectros XRF detectados aceptables. Además, la electrónica 125 del detector puede incluir amplificadores bien conocidos para amplificar uno o más de los niveles de energía recibidos de los rayos X fluorescentes, por lo que dichos niveles de energía amplificados se procesan dentro de la electrónica 125 del detector para normalizarse con otros niveles de energía no igualmente amplificado.

Las señales que representan el espectro XFR detectado pueden convertirse en un histograma de energía discreto tal como por canal (es decir, elemento), como se describe más adelante en el presente documento. Dicho proceso de conversión puede implementarse dentro del sistema 123 de control de rayos X o el sistema 107 informático. Dentro de las realizaciones de la presente invención, dicho sistema 123 de control de rayos X o sistema 107 informático puede

incluir un módulo de adquisición de espectro disponible comercialmente, tal como la tarjeta de adquisición Amptech MCA 5000 disponible comercialmente y software programado para operar la tarjeta. Tal módulo de adquisición de espectro u otro software implementado dentro del sistema 100 de clasificación puede configurarse para implementar una pluralidad de canales para dispersar rayos X en un espectro de energía discreto (es decir, histograma) con tal pluralidad de niveles de energía, por lo que cada nivel de energía corresponde a un elemento que el sistema 100 de clasificación ha sido configurado para detectar. El sistema 100 puede configurarse para que haya suficientes canales correspondientes a ciertos elementos dentro de la tabla periódica química, que son importantes para distinguir entre diferentes aleaciones metálicas (por ejemplo, aluminio). Los recuentos de energía para cada nivel de energía pueden almacenarse en un registro de almacenamiento de recopilación separado. A continuación, el sistema 107 informático lee cada registro de recopilación para determinar el número de cuentas para cada nivel de energía durante el intervalo de recopilación y construye el histograma de energía. Como se describirá con más detalle en el presente documento, un algoritmo de clasificación configurado de acuerdo con las realizaciones de la presente invención puede utilizar este histograma recopilado de niveles de energía para clasificar cada una de las piezas 101 de chatarra de aleación metálica (por ejemplo, véanse las FIGS. 7, 17-22, 24-29 y 32-33).

La cinta 103 transportadora puede incluir un transportador circular (no mostrado) para que las piezas de chatarra de aleaciones metálicas no clasificadas se devuelvan al principio del sistema 100 de clasificación para ser individualizadas por el separador 106 y pasar de nuevo por el sistema 100. Además, debido a que el sistema 100 puede rastrear específicamente cada pieza 101 de chatarra de aleación metálica a medida que se desplaza en el sistema 103 transportador, se puede implementar algún tipo de dispositivo de clasificación (por ejemplo, 129) para expulsar una pieza 101 de chatarra de aleación metálica que el sistema 100 no ha podido clasificar después de un número predeterminado de ciclos a través del sistema 100 de clasificación (o la pieza 101 de chatarra de aleación metálica se recoge en el contenedor 140).

Dentro de las realizaciones de la presente invención, la cinta 103 transportadora se puede dividir en múltiples cintas configuradas en serie, como, por ejemplo, dos cintas, en las que una primera cinta transporta las piezas de chatarra de aleación metálica que pasan por el sistema XRF, y una segunda cinta transporta las piezas de chatarra de aleación metálica del sistema XRF a los dispositivos de clasificación. Además, una segunda cinta transportadora de este tipo puede estar a una altura inferior a la de la primera cinta transportadora, de modo que las piezas de chatarra de aleación metálica caigan desde la primera cinta sobre la segunda cinta.

Con referencia ahora a la FIG. 3, se ilustran realizaciones ejemplares adicionales de la presente invención en las que se representan diversos aspectos alternativos y opcionales de un sistema 300 de clasificación. Cabe señalar que un experto en la técnica podría configurar un sistema de clasificación similar a los ilustrados en las FIGS. 1 o 3, o un sistema de clasificación diferente que combina diversos aspectos y componentes de cada uno de estos dos sistemas de clasificación ejemplares representados.

Haciendo referencia a la FIG. 3, las piezas 301 de chatarra de aleación metálica se depositan en un sistema transportador, por ejemplo, a través de una rampa o tobogán 302, de modo que las piezas 301 de chatarra de aleación metálica aterricen en una cinta 303 transportadora alimentadora que se desplaza en la dirección indicada. Para que las piezas de chatarra de aleación metálica se muevan en un flujo único dentro de la proximidad del sistema XRF, las piezas 301 de chatarra de aleación metálica pueden separarse y luego colocarse en una línea. Un primer paso opcional puede incluir el uso de un mecanismo, tal como un tambor o un vibrador (no mostrado), para separar piezas individuales de una colección de piezas. Los aspectos de la presente divulgación pueden incluir el uso de un sistema transportador de cinta múltiple (por ejemplo, 2 o más) con puertas (por ejemplo, neumáticas) y sensores (por ejemplo, electrónicos) para alinear las piezas de chatarra de aleación metálica en uno o más flujos para la clasificación de aleaciones. Por ejemplo, un aislador pasivo (por ejemplo, varillas o barras de alineación estática) 306 (o uno similar al aislador 206 de la FIG. 2) puede utilizarse para forzar las piezas 301 de chatarra de aleación metálica en uno o más flujos individuales en la cinta 303 transportadora alimentadora. Un sistema 381 de visión o reconocimiento óptico puede implementarse opcionalmente para comenzar la identificación, seguimiento y/o clasificación de las piezas 301 de chatarra de aleación metálica, como se ha descrito en el presente documento con respecto al sistema 110 de visión de la FIG. 1.

A medida que el flujo individual de piezas 301 de chatarra de aleación metálica viaja más abajo (corriente abajo) de la cinta 303 transportadora, entonces puede ser empujado por un mecanismo robótico (tal como N ($N \geq 1$) émbolos 351...354 de tipo pincel de pintura accionados neumáticamente) sobre otra cinta transportadora (o una pluralidad de cintas transportadoras) 380 para formar N ($N \geq 1$) flujos individuales de piezas 301 de chatarra de aleación metálica para viajar a lo largo de la segunda cinta 380 transportadora. Con fines ilustrativos de realizaciones de la presente invención, en la FIG. 3 se ilustra un ejemplo no limitativo de cuatro flujos individuales. Se puede colocar un receptáculo 341 colector al final de la primera cinta 303 transportadora para recoger cualquier pieza 301 de chatarra de aleación metálica que no se expulse en la segunda cinta 380 transportadora. Alternativamente, la primera cinta 303 transportadora puede ser una cinta transportadora circular (no se muestra) por lo que dichas piezas 301 de chatarra de aleación metálica se devuelven al comienzo de la primera cinta 303 transportadora para ser individualizadas nuevamente por el dispositivo 306 de singularización. Como se discute en el presente documento con respecto a la FIG. 1, una o ambas cintas 303, 380 transportadoras pueden estar motorizadas por un motor de cinta transportadora (por ejemplo, véase la FIG. 1) para funcionar a una o más velocidades predeterminadas controladas por el sistema 300 de clasificación. Además, cada una de estas una o más cintas 303, 380 transportadoras también pueden

configurarse para incluir un detector de posición (por ejemplo, véase la FIG. 1) para ayudar en el seguimiento de cada una de las piezas 301 de chatarra de aleación metálica a medida que se desplazan a lo largo del segundo sistema 380 de cinta transportadora.

En consecuencia, cada pieza 301 puede ser rastreada por un proceso, tal como implementado dentro de un sistema informático, con el uso del sistema 381 de visión y/o el sistema 310 de visión, u otros detectores (no mostrados). Por ejemplo, se pueden usar diferentes tipos de detectores o sensores para detectar la ubicación de cada pieza 301 en las cintas 303, 380 transportadoras (por ejemplo, UV, IR, láser, sonido). Cada pieza 301 puede ser detectada para asignar una ubicación de esa pieza 301 para un tiempo dado. Sobre la base de esa medición de tiempo/ubicación, el resto de los procesos realizados a lo largo del sistema transportador se calculan para que las diferentes acciones de los diferentes componentes en el sistema 300 de clasificación tengan lugar en el momento adecuado. Por ejemplo, en la cinta 380 transportadora, puede haber sensores que se colocan al comienzo de la cinta 380 transportadora para rastrear el tiempo y la ubicación de cada pieza 301. El sistema 300 entonces anticipa cuando cada pieza llegará al sistema 310 de visión. De esta manera, el proceso de seguimiento puede relacionar la información de visión con esa pieza 301 única. A continuación, la información de visión se añade a esa pieza 301 y se determina el tiempo para el análisis 320 XRF. Después de que la pieza 301 abandona la región 320 de análisis XRF, el proceso de seguimiento puede entonces asociar la información XRF perteneciente a la pieza a la información de visión. El sistema 300 puede entonces identificar la pieza 301 y luego decidir qué neumático 391... 398 usar para empujar (expulsar) la pieza 301 de la cinta 380 transportadora. El sistema 300 sabe cuándo expulsar cada pieza 301 porque el sistema 300 ha seguido esta pieza 301 tanto en ubicación como en tiempo. Como tal, el proceso de clasificación utiliza el seguimiento para mantener la ubicación y la identidad única de cada pieza 301 a lo largo de todas las etapas del proceso de clasificación.

A medida que las N corrientes individuales de piezas 301 de chatarra de aleación metálica comienzan a desplazarse en la segunda cinta 380 transportadora, se puede utilizar un mecanismo 360 de compuerta opcional operado mecánicamente para espaciar uniformemente las piezas 301 de chatarra de aleación metálica entre sí dentro de cada una de las corrientes individuales. Opcionalmente, el sistema 310 de reconocimiento óptico o de visión se puede utilizar para ayudar en dicho proceso de separación y/o para identificar, rastrear y/o clasificar cada una de las piezas 301 de chatarra de aleación metálica dentro de cada uno de los flujos individuales, como se describe en el presente documento. Obsérvese que las realizaciones de la presente invención no requieren que la pluralidad de flujos individuales tenga las piezas 301 de chatarra de aleación metálica separadas uniformemente entre sí dentro de cada flujo.

Cada uno de los flujos individuales de piezas 301 de chatarra de aleación metálica pasa luego dentro de la proximidad del sistema 320 XRF. Se pueden implementar una o más fuentes de rayos X como se describe en el presente documento para irradiar cada una de las piezas 301 de chatarra de aleación metálica dentro de cada uno de los flujos individuales. En realizaciones de la presente invención, cada flujo individual de piezas 301 de chatarra de aleación metálica puede ser irradiado por una fuente de rayos X controlada por separado. Como se describirá en el presente documento con respecto a las FIGS. 9-13, la fuente de rayos X puede incluir un tubo de fluorescencia de rayos X en línea ("IL-XRF"). Tal tubo IL-XRF puede incluir una fuente de rayos X separada dedicada para cada uno de los flujos individuales de piezas de chatarra de aleación metálica transportadas, o puede utilizar M ($M \geq 1$) fuentes de rayos X para irradiar los N flujos. Asimismo, se pueden implementar uno o más detectores XRF para detectar rayos X fluorescentes de piezas de chatarra de aleación metálica dentro de cada uno de los flujos individuales. La electrónica del detector (por ejemplo, véase la FIG. 1) puede acoplarse a cada uno de estos detectores XRF para recibir las señales correspondientes a la fluorescencia de rayos X detectada de cada una de las piezas 301 de chatarra de aleación metálica, que luego se transmiten de la manera descrita en el presente documento a un módulo de procesamiento XRF y/o un sistema informático (por ejemplo, véase la FIG. 1) implementando un módulo de clasificación para clasificar cada una de las piezas 301 de chatarra de aleación metálica dentro de cada uno de los flujos individuales (por ejemplo, véanse las FIGS. 7 y 22).

En realizaciones de la presente invención, se pueden configurar N ($N \geq 1$) dispositivos de clasificación (por ejemplo, véase la FIG. 8) para expulsar piezas 301 de chatarra de aleación metálica clasificadas en contenedores de clasificación correspondientes de la cinta 380 transportadora. Nuevamente, se puede utilizar cualquier tipo de dispositivo de clasificación bien conocido (por ejemplo, chorros de aire, émbolos tipo pincel, pistones robóticos o neumáticos, etc.). En el ejemplo no limitativo de la FIG. 3, N dispositivos 391...394 de clasificación se pueden utilizar para expulsar piezas 301 de chatarra de aleación metálica clasificada en contenedores 356...359 de clasificación correspondientes de las dos corrientes individuales exteriores mientras que las corrientes individuales que se encuentran dentro de la porción central de la cinta 380 transportadora continúan desplazándose a lo largo de la cinta 380 transportadora hasta N dispositivos 395...398 de clasificación adicionales donde las piezas 301 de chatarra de aleación metálica que se desplazan a lo largo de estos flujos individuales internos se expulsan a los contenedores 336...339 de clasificación correspondientes de acuerdo con su clasificación determinada por el algoritmo de clasificación.

Dentro de las realizaciones de la presente invención, cualquier pieza 301 de chatarra de aleación metálica que no sea expulsada de la cinta 380 transportadora por estos dos conjuntos de dispositivos de clasificación puede ser luego recolectada por el receptáculo 340, o puede ser devuelta para su procesamiento a través de otro ciclo a través del sistema de clasificación ya sea desplazándose a lo largo de un sistema transportador circular (no mostrado) o

moviendo físicamente el receptáculo 340 al comienzo del sistema 300 de clasificación para la distribución de dichas piezas 301 de chatarra de aleación metálica en la primera cinta 303 transportadora.

Debe apreciarse que las realizaciones de la presente invención pueden implementarse de modo que cualquier número de N ($N \geq 1$) flujos individuales de piezas 301 de chatarra de aleación metálica puedan clasificarse mediante un sistema 300 de clasificación de este tipo. Por ejemplo, si se van a separar cuatro aleaciones, es posible que se requieran cuatro dispositivos de clasificación para empujar cada aleación a uno de los cuatro contenedores. Para aumentar la tasa de separación, se pueden utilizar múltiples filas de dispositivos de clasificación. Por ejemplo, si se usaran cuatro filas de dispositivos de clasificación, con cuatro dispositivos de clasificación por línea, se colocarían 16 dispositivos de clasificación en total sobre la cinta 380 transportadora para clasificar cuatro aleaciones en 16 contenedores en total. Las líneas individuales podrían colocarse paralelas entre sí y seguir un patrón secuencial para clasificar las piezas 301, donde las dos líneas exteriores se clasifican primero y luego se clasifican las siguientes líneas interiores. Este método para usar líneas múltiples para clasificar no se limita a cuatro líneas, sino que puede aumentar a un número mayor de líneas.

La FIG. 4 ilustra un diagrama de flujo que representa realizaciones ejemplares de un proceso 400 de clasificación de piezas de chatarra de aleaciones metálicas de acuerdo con realizaciones de la presente invención. El proceso 400 puede configurarse para operar dentro de cualquiera de las realizaciones de la presente invención descritas en el presente documento, incluyendo el sistema 100 de clasificación de la FIG. 1 y el sistema 300 de clasificación de la FIG. 3. La operación del proceso 400 se puede realizar mediante hardware y/o software, incluyendo dentro de un sistema informático (por ejemplo, el sistema 3400 informático de la FIG. 34) que controla el sistema de clasificación (por ejemplo, el sistema 107 informático de la FIG. 1). En el bloque 401 de proceso, las piezas de chatarra de aleación metálica pueden manipularse en uno o más flujos individuales en una cinta transportadora. A continuación, en el bloque 402 de proceso, las piezas de chatarra de aleación metálica pueden transportarse a lo largo de la cinta transportadora cerca de un dispositivo de medición de distancia y/o un sistema de visión para determinar el tamaño y/o la forma de las piezas de chatarra de aleación metálica (por ejemplo, véase la FIG. 5). En el bloque 403 de proceso, cuando una pieza de chatarra de aleación metálica se ha desplazado en la proximidad del sistema XRF, la pieza de chatarra de aleación metálica se irradia con rayos X. La exposición a los rayos X de la fuente de rayos X hace que la pieza de chatarra de aleación metálica emita fluorescencia de rayos X a diversos niveles de energía, lo que produce un espectro XRF, cuyos recuentos dependen de los diversos elementos presentes en la pieza de chatarra de aleación metálica. En el bloque 404 de proceso, este espectro de fluorescencia XRF es detectado por uno o más detectores de rayos X (por ejemplo, véase la FIG. 6). En el bloque 405 de proceso, para cada pieza de chatarra de aleación metálica, la aleación metálica se identifica/clasifica con base en el espectro XRF detectado (por ejemplo, véanse las FIGS. 7 y 22).

A continuación, en el bloque 406 de proceso, se activa un dispositivo de clasificación correspondiente a la clasificación o clasificaciones de la pieza de chatarra de aleación metálica (por ejemplo, véase la FIG. 8). Entre el momento en que se irradia la pieza de chatarra de aleación metálica y el momento en que se activó el dispositivo de clasificación, la pieza de chatarra de aleación metálica se ha movido desde la proximidad del sistema XRF hasta una ubicación corriente abajo en la cinta transportadora, a una tasa de transporte de la cinta transportadora. En realizaciones de la presente invención, la activación del dispositivo de clasificación está sincronizada de tal manera que cuando la pieza de chatarra de aleación metálica pasa por el dispositivo de clasificación asignado a la clasificación de la pieza de chatarra de aleación metálica, el dispositivo de clasificación se activa y la pieza de chatarra de aleación metálica se expulsa de la cinta transportadora a su contenedor de clasificación asociado. Dentro de las realizaciones de la presente invención, la activación de un dispositivo de clasificación puede ser sincronizada por un detector de posición respectivo que detecta cuando una pieza de chatarra de aleación metálica pasa por delante del dispositivo de clasificación y envía una señal para habilitar la activación del dispositivo de clasificación. En el paso 407, el contenedor de clasificación correspondiente al dispositivo de clasificación que se activó recibe la pieza de chatarra de aleación metálica expulsada.

Como se ha descrito en el presente documento, las realizaciones de la presente invención utilizan uno o más detectores (por ejemplo, véanse los detectores 124 de la FIG. 1) para detectar los rayos X fluorescentes de las piezas de chatarra de aleación metálica irradiadas. Se puede utilizar cualquier detector de rayos X disponible comercialmente bien conocido. Además, se pueden implementar dos o más detectores de este tipo, cada uno de los cuales detecta rayos X fluorescentes para el mismo número de elementos que se van a detectar dentro de las piezas de chatarra de aleación metálica. Alternativamente, como se ilustra en la representación ejemplar de la FIG. 16, uno de los detectores puede configurarse para detectar rayos X fluorescentes para uno o más elementos predeterminados mientras que otro detector está configurado para detectar rayos X fluorescentes para otros elementos. El ejemplo representado esquemáticamente en la FIG. 16 muestra uno de los detectores configurado para detectar rayos X fluorescentes para los elementos silicio, aluminio y magnesio, mientras que el otro detector está configurado para detectar rayos X fluorescentes para los elementos titanio, cromo, manganeso, hierro, cobalto, níquel, cobre y zinc. Sin embargo, las realizaciones de la presente invención no deben limitarse a la configuración particular ilustrada en la FIG. 16. Dentro de las realizaciones de la presente invención, los detectores de rayos X pueden utilizar un colimador (no mostrado) en el que una abertura del colimador está configurada de tal manera que el detector recibe directamente rayos X fluorescentes de la pieza de chatarra de aleación metálica mientras que los rayos X extraños incluyéndolos rayos X irradiados desde la fuente de rayos X y los rayos X incidentales de otros objetos dentro de las proximidades de los

detectores son inhibidos por el colimador para que no lleguen a los detectores, lo que reduce la detección de estos rayos X extraños.

Haciendo referencia a continuación a la FIG. 5, se ilustra un diagrama de flujo de un ejemplo de sistema y proceso 500 para determinar los tamaños y/o formas aproximados de cada pieza de chatarra de aleación metálica. Tal sistema y proceso 500 pueden implementarse dentro de un dispositivo de medición de distancia y, donde esté disponible, cualquiera de los sistemas de reconocimiento óptico/de visión descritos en el presente documento, tal como el dispositivo de medición de distancia ilustrado en la FIG. 1. En el bloque 501 de proceso, el dispositivo de medición de distancia se puede inicializar en $n=0$ en la que n representa una condición en la que aún no se ha medido la primera pieza de chatarra de aleación metálica que se transportará a lo largo del sistema transportador. Como se describió anteriormente, tal dispositivo de medición de distancia puede establecer una señal de línea de base que representa la distancia entre el dispositivo de medición de distancia y la cinta transportadora en ausencia de cualquier presencia de un objeto (es decir, una pieza de chatarra de aleación metálica) transportado allí. En el bloque 502 de proceso, el dispositivo de medición de distancia produce una medición de distancia continua, o sustancialmente continua. El bloque 503 de proceso representa una decisión dentro del dispositivo de medición de distancia si la distancia detectada ha cambiado para ser mayor que una cantidad de umbral predeterminada. Recuérdese que una vez que se ha iniciado un sistema de clasificación, en algún momento, una pieza de chatarra de aleación metálica viajará a lo largo del sistema transportador lo suficientemente cerca del dispositivo de medición de distancia como para ser detectada por el mecanismo empleado por el cual se miden las distancias. En realizaciones de la presente invención, esto puede ocurrir cuando una pieza de chatarra de aleación metálica en movimiento pasa dentro de la línea de una luz láser utilizada para medir distancias. Una vez que el dispositivo de medición de distancia (por ejemplo, una luz láser) comienza a detectar un objeto, tal como un trozo de chatarra de aleación metálica, la distancia medida por el dispositivo de medición de distancia cambiará desde su valor de referencia. El dispositivo de medición de distancia puede estar predeterminado para detectar únicamente la presencia de una pieza de chatarra de aleación metálica que pasa dentro de su proximidad si la altura de cualquier parte de la pieza de chatarra de aleación metálica es mayor que el valor de distancia umbral predeterminado. La FIG. 5 muestra un ejemplo en el que dicho valor umbral es 0.15 (por ejemplo, representando 0.15 mm), aunque las realizaciones de la presente invención no deben limitarse a ningún valor particular.

El sistema y el proceso 500 continuarán (es decir, repetirán los bloques 502-503 de proceso) midiendo la distancia actual siempre que no se haya alcanzado este valor de distancia umbral. Una vez que se ha detectado una altura medida mayor que el valor umbral, el proceso pasará al bloque 504 de proceso para registrar que se ha detectado un objeto que pasa cerca del dispositivo de medición de distancia en el sistema transportador. Posteriormente, en el bloque 505 de proceso, la variable n puede incrementarse para indicar al sistema de clasificación que se ha detectado otro objeto en el sistema transportador. Esta variable n se puede utilizar para ayudar con el seguimiento de cada una de las piezas de chatarra de aleación metálica dentro de cada flujo. En el bloque 506 de proceso, se registra una marca de tiempo para el objeto detectado, que puede ser utilizada por el sistema de clasificación para rastrear la ubicación específica y el tiempo de una pieza de chatarra de aleación metálica detectada a medida que viaja en el sistema transportador, mientras que también representa una longitud de la pieza de chatarra de aleación metálica detectada. En el bloque 507 de proceso, esta marca de tiempo registrada puede utilizarse para determinar cuándo activar (comenzar) y desactivar (detener) la adquisición de un espectro de fluorescencia de rayos X de una pieza de chatarra de aleación metálica asociada con la marca de tiempo. Los tiempos de inicio y finalización del sello de tiempo pueden corresponder a la señal de pulso antes mencionada producida por el dispositivo de medición de distancia. En el bloque 508 de proceso, esta marca de tiempo junto con la altura registrada de la pieza de chatarra de aleación metálica puede registrarse dentro de una tabla utilizada por el sistema de clasificación para realizar un seguimiento de cada una de las piezas de chatarra de aleación metálica y su clasificación resultante por el sistema XRF.

Posteriormente, en el bloque 509 de proceso, se envían señales al sistema XRF que indican el período de tiempo en el que activar/desactivar la adquisición de un espectro de fluorescencia de rayos X de la pieza de chatarra de aleación metálica, que puede incluir los tiempos de inicio y finalización correspondientes a la longitud de la pieza de chatarra de aleación metálica determinada por el dispositivo de medición de distancia. Las realizaciones de la presente invención son capaces de realizar tal tarea debido a la marca de tiempo y la velocidad predeterminada conocida del sistema transportador recibida del dispositivo de medición de distancia que indica cuándo un borde delantero de la pieza de chatarra de aleación metálica pasará por el haz de rayos X de la fuente de rayos X, y cuando el borde posterior de la pieza de chatarra de aleación metálica pase a partir de entonces por el haz de rayos X.

El sistema y el proceso 500 para medir la distancia de cada una de las piezas de chatarra de aleación metálica que se desplazan a lo largo del sistema transportador se repiten luego para cada pieza de chatarra de aleación metálica que pasa.

Haciendo referencia a continuación a la FIG. 6, se ilustra un sistema y un proceso 600 para adquirir un espectro de fluorescencia de rayos X de cada una de las piezas de chatarra de aleación metálica de acuerdo con realizaciones de la presente invención. Tal sistema y proceso 600 pueden implementarse dentro de cualquiera de los sistemas XRF descritos en el presente documento. En la puesta en marcha del sistema de clasificación, el sistema XRF puede inicializarse en el bloque 601 de proceso, lo que puede incluir el encendido de la fuente de rayos X. Las señales antes mencionadas generadas por el bloque 509 de proceso de la FIG. 5 pueden entonces recibirse de forma sustancialmente continua. Dado que el sistema de clasificación puede configurarse para coordinar la temporización (por ejemplo, de la

marca de tiempo mencionada anteriormente y los temporizadores de inicio y parada de XRF) generada por el dispositivo de medición de distancia con la temporización del sistema XRF (utilizando la velocidad predeterminada del sistema transportador) estas señales pueden entonces ser utilizadas por el sistema XRF para la activación y desactivación de la adquisición de señales fluorescentes para la clasificación de cada una de las piezas de chatarra de aleación metálica.

A medida que el sistema XRF recibe las señales 509 de temporización, determinará si una hora de inicio XRF en las señales es igual a la hora actual. En otras palabras, el sistema de clasificación ha determinado a partir del dispositivo de medición de distancia el tiempo en el que la pieza de chatarra de aleación metálica previamente detectada pasará cerca de la ubicación objetivo a lo largo del sistema transportador al que se dirige el haz de rayos X desde la fuente de rayos X. El sistema XRF continuará esperando (reciclando a través del bloque 602 de proceso) hasta que haya determinado que se espera que la pieza de chatarra de aleación metálica previamente detectada pase la ubicación objetivo del haz de rayos X. En el bloque 603 de proceso, cuando el tiempo de inicio de XRF es igual al tiempo actual, el sistema XRF registra el espectro XRF detectado (por ejemplo, los recuentos para cada canal (correspondientes a un elemento)) de los rayos X fluorescentes, lo que representa los recuentos de energía por canal totales detectados por el detector en el momento justo antes de que el haz de rayos X comience a irradiar el borde delantero de la pieza de chatarra de aleación metálica. Esto continuará (reciclando a través de los bloques 602...604 de proceso) hasta que se determine que el tiempo de parada de XRF es igual al tiempo actual. Por lo tanto, los recuentos por canal se acumulan mientras el haz de rayos X irradia la pieza de chatarra de aleación metálica. Una vez que esto ha ocurrido, en el bloque 605 de proceso, se registra un segundo espectro XRF (por ejemplo, final), que representa los recuentos totales finales por canal para la pieza de chatarra de aleación metálica. Al igual que con la hora de inicio de XRF, cuando el sistema de clasificación ha determinado que se espera que el borde posterior de la pieza de chatarra de aleación metálica pase por el haz de rayos X, se detiene la acumulación de recuentos del detector.

Dentro de las realizaciones de la presente invención, puede ser importante adquirir y analizar solo los espectros XRF de las piezas de chatarra de aleación metálica, y no cualquier XRF emitido desde la cinta transportadora, ya que dichas cintas transportadoras pueden contener ciertos porcentajes de los elementos que son importantes, para distinguir entre las composiciones de los diversos desechos de aleaciones metálicas. Dichos elementos pueden estar presentes en la cinta desde el momento de su fabricación. Más particularmente, dado que las aleaciones de aluminio tienen elementos de baja energía, la fluorescencia de la cinta transportadora puede impedir que el sistema de clasificación distinga entre ciertas aleaciones de aluminio. Además, en las realizaciones de la presente invención, los recuentos por canal adquiridos para cada pieza de chatarra de aleación metálica se acumulan en el sistema como recuentos totales en ejecución para una pluralidad de piezas de chatarra irradiadas, y no se restablecen para cada pieza de chatarra, con el fin de ahorrar en el tiempo de procesamiento por parte del sistema. Como resultado, puede ser importante dentro de ciertas realizaciones de la presente invención adquirir espectros XRF solo durante períodos de tiempo definidos por los tiempos de inicio y finalización de XRF mencionados anteriormente.

En el bloque 606 de proceso, se determinan los recuentos totales para cada canal para la pieza de chatarra de aleación metálica según lo determinado por los tiempos de inicio y parada de XRF (por ejemplo, restando los recuentos totales adquiridos en el tiempo de inicio de XRF de los recuentos totales adquiridos en el tiempo de parada de XRF), que luego se guardan en un archivo (por ejemplo, un archivo de texto) en el bloque 607 de proceso. En el bloque 608 de proceso, el sistema XRF luego envía este archivo de datos guardado al sistema de clasificación para el análisis y clasificación de la pieza de chatarra de aleación metálica.

Alternativamente, el sistema y el proceso 600 pueden utilizarse para calibrar el sistema, incluyendo la entrada de datos relacionados con materiales de referencia estándar y sus clasificaciones, que luego se utilizan para identificar/clasificar piezas de chatarra desconocidas.

Haciendo referencia a continuación a la FIG. 7, se ilustra un sistema y proceso 700 para la clasificación de las piezas de chatarra de aleación metálica en función del espectro XRF detectado resultante del sistema y proceso 600 descrito anteriormente con respecto a la FIG. 6. El sistema y el proceso 700 pueden implementarse con respecto a cualquiera de las realizaciones del sistema de clasificación descritas en el presente documento. En el bloque 701 de proceso, se reciben los datos del espectro XRF (que representan los recuentos totales acumulados para cada canal perteneciente a la pieza de chatarra de aleación metálica irradiada) (por ejemplo, del bloque 608 de proceso). En el bloque 702 de proceso, se detectan los picos (por ejemplo, los recuentos por canal) del espectro, y luego en el bloque 703 de proceso, se analizan para asociarlos con sus diversos elementos detectados dentro de la pieza de chatarra de aleación metálica. En el bloque 704 de proceso, la entrada de la tabla antes mencionada correspondiente a la pieza de chatarra de aleación metálica se puede completar con los elementos determinados y sus respectivos recuentos, que luego se ingresan en el bloque 705 de proceso en un algoritmo de clasificación de aleación, tal como se describe con más detalle en el presente documento (por ejemplo, véanse las FIGS. 17-22, 25-29 y 32-33).

En el bloque 706 de proceso, el sistema y el proceso 700 determinan si se conoce la composición de la pieza de chatarra de aleación metálica como resultado de la implementación del algoritmo de clasificación de aleación. Si se desconoce la clasificación de la pieza de chatarra de aleación metálica, o si no hay datos suficientes para determinar que se detectó una muestra, estos pueden registrarse en una tabla (bloques 707 y 708 de proceso, respectivamente). Si la clasificación de piezas de chatarra de aleación metálica ha sido determinada por un algoritmo de clasificación de aleación, entonces en el bloque 709 de proceso la clasificación puede registrarse en una tabla correspondiente a la

pieza de chatarra de aleación metálica; la clasificación puede incluir un número de serie de aleación particular correspondiente a la clasificación determinada. En el bloque 710 de proceso, un dispositivo de clasificación (por ejemplo, chorro de aire, émbolo, émbolo tipo pincel, etc.) colocado a lo largo de la corriente individual en la que viaja la pieza de chatarra de aleación metálica, y asociado con la clasificación de aleación determinada, se identifica a lo largo con el período de tiempo durante el cual la pieza de chatarra de aleación metálica pasará por este dispositivo de clasificación. En el bloque 711 de proceso, las señales que pertenecen al período de tiempo identificado se envían al dispositivo de clasificación particular (o a un dispositivo que controla el dispositivo de clasificación (por ejemplo, véase el sistema 108 de control de automatización de la FIG. 1)).

Haciendo referencia a continuación a la FIG. 8, se ilustra un sistema y proceso 800 para la activación de cada uno de los dispositivos de clasificación para expulsar una pieza clasificada de chatarra de aleación metálica en un contenedor de clasificación. Tal sistema y proceso 800 pueden implementarse dentro del sistema 108 de control de automatización descrito previamente con respecto a la FIG. 1, o dentro de un sistema informático general (por ejemplo, el sistema 107 informático) que controla el sistema de clasificación. En el bloque 801 de proceso, se recibe la señal antes mencionada generada en el bloque 711 de proceso de la FIG. 7. En el bloque 802 de proceso, se determina si el tiempo asociado con esta señal es igual al tiempo actual. Al igual que con el tiempo descrito anteriormente para la activación y desactivación del sistema XRF para cada una de las piezas de chatarra de aleación metálica que pasan a lo largo del sistema transportador, el sistema y el proceso 800 determinan si el tiempo asociado con la pieza de chatarra de aleación metálica clasificada corresponde al tiempo esperado en el que la pieza de chatarra de aleación metálica clasificada pasa cerca del dispositivo de clasificación particular (por ejemplo, chorro de aire, émbolo neumático, émbolo tipo pincel, etc.) asociado con la clasificación correspondiente a la pieza de chatarra de aleación metálica clasificada. Si las señales de temporización no se corresponden, en el bloque 803 de proceso se determina si la señal es mayor que el tiempo actual. En caso afirmativo, el sistema puede devolver una señal de error. En tal caso, es posible que el sistema no pueda expulsar la pieza en el contenedor apropiado. Una vez que el sistema y el proceso 800 determinan que una pieza clasificada de chatarra de aleación metálica está pasando cerca de un dispositivo de clasificación asociado con esa clasificación, activará ese dispositivo de clasificación en el bloque 805 de proceso para expulsar la pieza de chatarra de aleación metálica clasificada en el contenedor de clasificación asociado con esa clasificación. Esto se puede realizar activando un émbolo neumático, un émbolo tipo pincel, un chorro de aire, etc. En el bloque 806 de proceso, se desactiva entonces el dispositivo de clasificación seleccionado.

Haciendo referencia a las FIGS. 9-13, las realizaciones de la presente invención pueden configurarse para utilizar un nuevo sistema de fluorescencia de rayos X en línea ("IL-XRF"), tal como el sistema 120 XRF de la FIG. 1 y el sistema 320 XRF de la FIG. 3. Dicho sistema IL-XRF utiliza un tubo 900 de rayos X lineal novedoso, que puede configurarse con N ($N \geq 1$) fuentes de rayos X separadas, en el que el tubo 900 de rayos X lineal está configurado de modo que cada una de las N fuentes de rayos X irradian por separado piezas de chatarra de aleación metálica que se desplazan a lo largo de uno o más de los flujos individuales. Por ejemplo, con referencia a las FIGS. 3 y 9, si el tubo 900 de rayos X lineal se utilizara en el sistema 320 XRF, podría configurarse y colocarse sobre la cinta 380 transportadora para que la fuente 910 de rayos X irradie piezas de chatarra de aleación metálica que se desplazan en el flujo individual más a la izquierda iniciado por el émbolo 351, la fuente 911 de rayos X irradiaría piezas de chatarra de aleación metálica que se desplazan en el segundo desde el flujo individual más a la izquierda iniciado por el émbolo 352, la fuente 912 de rayos X irradiaría piezas de chatarra de aleación metálica que se desplazan en el tercero desde el flujo individual más a la izquierda iniciado por el émbolo 353, y la fuente 913 de rayos X irradiaría piezas de chatarra de aleación metálica que se desplazan en el flujo más a la derecha iniciado por el émbolo 354. Aunque el tubo 900 de rayos X lineal se describe en el presente documento con cuatro fuentes de rayos X, dicho tubo de rayos X lineal puede configurarse con cualquier número N ($N \geq 1$) de dichas fuentes de rayos X.

Además, el tubo 900 de rayos X lineal puede configurarse de modo que cualquiera de sus fuentes de rayos X separadas irradie piezas de chatarra de aleación metálica que se desplazan en múltiples flujos paralelos. Nótese que un tubo de rayos X lineal similar al tubo 900 de rayos X lineal, pero que tenga cualquier otro número N de fuentes de rayos X dispuestas en línea puede utilizarse en cualquier sistema de clasificación como se describe en el presente documento, o en cualquier otro sistema de clasificación conocido en la técnica, o aún por desarrollar. Tal sistema IL-XRF proporciona un tubo de rayos X lineal que tiene múltiples fuentes en lugar de una operable a una potencia relativamente baja, lo que reduce significativamente el coste y los requisitos de energía en comparación con tener que utilizar múltiples fuentes de rayos X alimentadas por separado para clasificar múltiples flujos de materiales.

Haciendo referencia a las FIGS. 9-12, un tubo 900 de rayos X lineal incluye un ensamblaje 960 de ánodo, N materiales 990 de cátodo y un ensamblaje 939 de rejilla, colocado dentro de un paquete 901 de vacío.

El ensamblaje 960 de ánodo puede estar compuesto por una barra conductora (por ejemplo, de cobre) unida mecánicamente a un paso 921 de alimentación de alto voltaje. Esta barra puede abarcar sustancialmente una longitud del tubo 901 de rayos X. Alternativamente, el ensamblaje 960 de ánodo puede ser una pluralidad (por ejemplo, N) de barras conductoras separadas conectadas en serie. Se pueden añadir diferentes recubrimientos diferentes a la barra 960 de cobre, incluyendo molibdeno, tungsteno, plata o cualquier metal. Este metal o combinaciones de metales pueden luego soldarse sobre la barra 960 de cobre para proporcionar una capa que generará el espectro de rayos X deseado. Diferentes metales generarán diferentes espectros de salida del tubo de rayos X. Además de la soldadura fuerte, estos metales pueden unirse mecánicamente a la barra 960. La barra 960 también puede estar compuesta por cualquier metal que no sea cobre. El paso 921 de alimentación de alto voltaje transfiere un alto voltaje desde el entorno

externo (por ejemplo, véase la fuente 122 de alimentación de rayos X de la FIG. 1) del tubo de rayos X hasta interior del tubo 100 de rayos X. El ánodo 960 y todos los materiales con los que entra en contacto pueden mantenerse a este alto voltaje (por ejemplo, 0-50 kV).

Un propósito del material 990 del cátodo (véase recuadro) es emitir electrones. El material 990 del cátodo puede estar hecho de tungsteno, pero también puede ser tungsteno toriado, un cátodo de óxido, un cátodo frío o cualquier emisor de electrones. Los filamentos de tungsteno se pueden enrollar en forma de espiral para aumentar la densidad de emisión de electrones para el volumen de la sección en espiral de la forma del filamento. Los dos extremos del filamento 990 pueden mantenerse a un voltaje de CC, por ejemplo, 0-15 voltios con respecto a tierra. La aplicación del voltaje de CC hace que los filamentos 990 se calienten a una temperatura muy alta. Cuando la temperatura es lo suficientemente alta, se liberan electrones (haz-e) de los filamentos 990. Un solo cátodo 990 produce un haz de electrones (haz-e) que luego se enfoca en una sección del ensamblaje 960 de ánodo. El tubo 900 de rayos X lineal puede utilizar una matriz de N ($N \geq 1$) cátodos 990 dispuestos linealmente para producir múltiples haces de electrones (haces-e), que impactan en el ánodo 960 en diferentes secciones a lo largo del ensamblaje 960 de ánodo. Los cátodos pueden estar conectados a uno o más pasos 920 de alimentación que transfieren un voltaje desde el exterior del tubo 900 de rayos X hasta los filamentos 990 dentro del tubo 900 de rayos X. Como se ilustra en las FIGS. 9-10, un tubo 900 de rayos X lineal que tiene N fuentes de rayos X puede controlar por separado la activación y desactivación de cada una de las N fuentes de rayos X conectando cada uno de los N filamentos 990 de cátodo a un paso 920 de alimentación separado.

Cada rejilla 940...943 dentro del ensamblaje 939 de rejilla puede ser un bloque conductor (por ejemplo, cobre), que funciona para aislar cada uno de los N haces de electrones (haces-e) a lo largo de caminos específicos dentro del tubo 900 de rayos X. Sin la rejilla, los electrones podrían dispersarse por todo el interior del tubo 900 de rayos X provocando arcos y/o fallas prematuras del tubo 900 de rayos X. Los electrones que no se emiten a lo largo del camino previsto hacia el ánodo 960 se recogen en el conjunto de rejilla donde se eliminan eléctricamente a través del circuito de rejilla. Haciendo referencia a las FIGS. 10-12, cada una de las rejillas 940...943 puede configurarse para mantener un voltaje usado para controlar el flujo de electrones a través de una abertura 1101 en la rejilla. Cambiar el voltaje de un valor negativo a un valor relativamente más positivo enfocará el haz de electrones a una forma deseada a medida que el haz-e viaja al ánodo 960. Cada rejilla también puede tener forma para tener superficies curvas, que funcionan para generar una distribución de campo eléctrico uniforme para mitigar el estrés de alto voltaje, ayudando así a prevenir arcos y fallas prematuras del tubo 900 de rayos X. Cada rejilla también puede tener una multitud de pasos de alimentación para permitir que las barras conductoras (por ejemplo, cobre) de diferentes voltajes pasen a través del ensamblaje 939 de rejilla. Se pueden sujetar aisladores (por ejemplo, hechos de cerámica) a cada rejilla para aislar estas barras de cobre. Todo el ensamblaje 939 de rejilla puede ser desmontable, lo que permite el cambio de un filamento 990 cuando es necesario reemplazarlo.

Los aisladores (p. ej., hechos de cerámica) 971...975 se pueden usar como separadores de alto voltaje. Estos separadores 971...975 pueden estar espaciados entre las rejillas 940...943 y entre el ensamblaje 960 de ánodo y el ensamblaje 939 de cátodo. Los aisladores 971...975 se pueden utilizar para mantener mecánicamente el ensamblaje 960 de ánodo en su lugar y también sirven para separar el alto voltaje de los bajos voltajes. Estos aisladores 971...975 también pueden tener cortes especiales (no mostrados) para aumentar la rata de conducción de vacío dentro del paquete de tubos.

Un paquete de vacío desmontable configurado para implementar una fuente de rayos X lineal puede incluir un tubo 901 de vidrio, juntas tóricas, bridas 902, 903, una válvula 922 de vacío con compuerta, una bomba turbo (no mostrada) y una bomba áspera (no mostrada). La bomba áspera y la bomba turbo generan un vacío en el tubo a un alto vacío. El tubo 901 de vidrio largo contiene los componentes de rayos X. El paquete 901 de vacío puede ser desmontable (por ejemplo, quitando una de las bridas 902, 903) para permitir que se reemplacen los componentes del tubo de rayos X (por ejemplo, cuando hayan llegado al final de su vida útil). Las bridas y las juntas tóricas se pueden usar para crear un sello de vacío reutilizable.

El tubo 900 de rayos X lineal puede incluir un sistema de refrigeración integrado (por ejemplo, agua) (no mostrado). Por ejemplo, el agua puede pasar a través de un paso 1220 de alimentación al paquete 901 de vacío y a una cavidad dentro del ánodo 960. También puede haber un paso de alimentación de agua (no mostrado) para enfriar agua en el ensamblaje de rejilla para enfriar los cátodos.

Como se muestra en la FIG. 12, el tubo 901 de rayos X lineal puede incluir además un colimador 1210 asociado con cada una de las fuentes de rayos X. El colimador 1210 puede tener una abertura que apunta a un área de detección donde se va a irradiar una pieza de chatarra de aleación metálica en particular. Como se usa en el presente documento, un "colimador" es un dispositivo que tiene una abertura que limita la transmisión de rayos X de un haz de rayos X de manera que los rayos X se mueven en la misma dirección o casi en la misma. Dentro de las realizaciones de la presente invención, dichos colimadores pueden fabricarse a partir de una serie de placas metálicas paralelas poco espaciadas que se utilizan para dirigir el haz de rayos X. Estos rayos X directos e incidentales se denominan en el presente documento ruido de fondo. El ruido de fondo puede incluir rayos X fluorescentes o reflejados por objetos que no sean piezas de chatarra de aleación metálica, incluyendo las superficies interiores de una cámara de dispositivo de rayos X, la cinta transportadora o cualquier otro objeto que se encuentre cerca del sistema XRF. Tal ruido de fondo puede ser causado por los rayos X irradiantes y los rayos X fluorescentes que impactan en otros objetos en las

proximidades de los detectores y provocan una fluorescencia secundaria. Dentro de las realizaciones de la presente invención, la elección de la resolución de un espectro XRF puede ser una función de la resolución deseada y la capacidad de resolución de uno o más detectores de rayos X. La óptica de rayos X (no mostrada) puede usarse para enfocar un haz de rayos X primario divergente en un haz convergente. La óptica de rayos X puede adoptar la forma de cristales, capilares, plásticos, metales o vidrio. El efecto de la óptica puede reducir la cantidad de energía que necesita el tubo de rayos X y también aumentar la tasa de recuentos del espectro visto por el detector. En general, esto puede reducir el tiempo de análisis para la medición XRF.

Como se representa en las FIGS. 13-14, el tubo 900 de rayos X lineal emite un flujo de radiación lineal fuera del tubo 901, que luego se puede utilizar para irradiar a lo largo de una línea generalmente transversal a la dirección de desplazamiento del sistema transportador. Las fuentes 1401 de rayos X convencionales tienen un punto en su ánodo que coincide con el tamaño del haz de electrones. Como se representa en las FIGS. 14-15, el tubo 900 de rayos X lineal se distingue de una fuente 1401 de rayos X tradicional por tener la capacidad de generar radiación de forma lineal y no cónica. La generación de flujo de rayos X depende del tamaño de este punto del haz de electrones. El tubo 900 de rayos X lineal de acuerdo con aspectos de la presente descripción tiene N puntos de haz de electrones dispuestos en una matriz lineal y, por lo tanto, produce un flujo de rayos X dirigido con un componente lineal.

Una fuente 1401 de rayos X estándar solo emite radiación cónica y no puede proporcionar radiación lineal. El coste de un tubo 900 de rayos X lineal es mucho menor que el coste de un número equivalente de fuentes 1401 de rayos X estándar, que serían necesarias para entregar la radiación lineal equivalente del tubo 900 de rayos X lineal (como se muestra en la FIG. 14). Por ejemplo, en comparación con un tubo 900 de rayos X lineal con diez cátodos en una matriz lineal, se necesitarían diez fuentes 1401 de rayos X estándar para generar una dosis de radiación equivalente. El coste de diez fuentes de rayos X estándar es al menos diez veces el costo de un tubo 900 de rayos X lineal.

La tasa de atenuación de los rayos X es proporcional al inverso del cuadrado de la distancia entre la fuente de rayos X y la muestra. En otras palabras, la intensidad de la radiación disminuye exponencialmente a medida que se desplaza por el aire. Para que una fuente 1401 de rayos X estándar con un haz de rayos X cónico cubra una gran área de radiación, el nivel de potencia debe ser muy alto. Como se representa en las FIG. 15, un dispositivo 900 de rayos X lineal configurado de acuerdo con los aspectos de la presente divulgación, debido a que se puede colocar más cerca de la muestra, no sufre tanta atenuación del aire como lo hace una fuente 1401 de rayos X estándar. Para que una fuente 1401 de rayos X estándar cubra el mismo nivel de radiación que un tubo 900 de rayos X lineal, tendría que generar una cantidad de energía exponencialmente mayor. Obsérvese que, en las realizaciones de la presente invención, excepto por un vacío creado en las inmediaciones del tubo 900 de rayos X, los rayos X emitidos se desplazan a través del aire ambiente hacia las piezas de chatarra de aleación metálica.

Las fuentes 1401 de rayos X actuales utilizan un ánodo de tungsteno y normalmente funcionan a 160 kV y 6 kW de potencia. Requieren esta potencia exponencialmente mayor porque no se pueden colocar cerca de la muestra y aun así mantener un área de cobertura suficientemente grande (véase la FIG. 15). Cuando un tubo 900 de rayos X lineal configurado de acuerdo con los aspectos de la presente divulgación se coloca más cerca de la muestra, puede funcionar a una potencia más baja (por ejemplo, 15 kV y 15 vatios) porque hay menos atenuación de la radiación a través del aire.

Las fuentes 1401 de rayos X estándar con forma de haz cónico cuya radiación cubre un área grande funcionan a 160 kV para minimizar la atenuación del haz de radiación primario a través del aire. La radiación primaria golpea la muestra y se dispersa de nuevo en el detector. La radiación dispersa que ingresa al detector varía de 0 a 160 kV y llena el detector con tantos recuentos que el detector se satura. El detector, cuando está saturado, no puede detectar con precisión cantidades más pequeñas de fotones (tal como dentro de las aleaciones de aluminio). Cuando el detector está saturado, el detector no cuenta los fotones de fluorescencia característicos que se generan a partir de la muestra. Por lo tanto, si el haz primario funciona a 160 kV, el detector no podrá recoger la fluorescencia característica de la muestra de forma satisfactoria para clasificar el material.

Para ver una radiación característica para elementos más livianos tal como los que se encuentran dentro de las aleaciones de aluminio (que generalmente tienen menos de 10 kV), se debe usar un voltaje del tubo de rayos X mucho más bajo que 160 kV. Los inventores han determinado que se puede utilizar un voltaje de aproximadamente 12 kV - 15 kV para excitar una pieza de aleación de aluminio y medir posteriormente los fotones fluorescentes característicos en el detector para clasificar con éxito las aleaciones de aluminio.

Como se ha señalado, la radiación de rayos X se atenúa en el aire. Además, la radiación de rayos X se atenúa en el aire en función de su nivel de energía. Por lo tanto, un fotón con una energía de 1 keV se absorberá en el aire en menos de 0.25 pulgadas. Un fotón con una energía de 20 keV se desplazará varios pies antes de ser absorbido por el aire. La fluorescencia de rayos X de varias aleaciones metálicas (por ejemplo, aleaciones de aluminio) cubre un intervalo de aproximadamente 1.4 kV - 10 keV. Esto significa que los fotones de menor energía se atenuarán a una tasa más rápida que los fotones de mayor energía. Por ejemplo, si una aleación metálica (por ejemplo, una aleación de aluminio) tiene magnesio y zinc, emitirá fotones de magnesio con una energía de 1.25 keV y fotones de zinc con una energía de 8.6 keV. Si el detector de fluorescencia se coloca a aproximadamente 0.1 pulgadas de la muestra (por ejemplo, una pieza de chatarra de aleación metálica), se detectarán los fotones de magnesio y zinc. Sin embargo, si el detector se coloca más lejos (por ejemplo, aproximadamente 2 pulgadas) de la muestra, los fotones de magnesio

no se detectarán porque habrán sido absorbidos por el aire intermedio. Solo se detectarán los fotones de zinc. Sin embargo, si el detector se coloca a aproximadamente 0.2 pulgadas del detector, la misma aleación metálica produciría la misma fluorescencia, pero el detector mediría menos magnesio y la misma cantidad de zinc.

Dentro de aspectos alternativos de la presente divulgación, para tener en cuenta la atenuación de los fotones en el aire, el detector (por ejemplo, los detectores 124 o todo el sistema 120 de rayos X de la FIG. 1) se puede mover automáticamente en relación (es decir, más cerca y más lejos) de la muestra, midiendo y recuperando la distancia entre la muestra y el detector. Con base en la distancia entre la muestra y el detector, los aspectos de la presente divulgación (que pueden implementarse dentro de un proceso operado por ordenador) calcularían la atenuación para cada energía para cada tipo de aleación. Luego, un proceso determinaría el espectro XRF original de la muestra, menos la atenuación del aire. Este nuevo espectro XRF podría entonces utilizarse como entrada en un algoritmo de clasificación (por ejemplo, véanse las FIGS. 7 y 22) para clasificar la aleación.

Dentro de la electrónica del detector (por ejemplo, la electrónica 125 del detector de la FIG. 1), se puede utilizar un análisis de fluorescencia de rayos X de dispersión de longitud de onda ("WD-XRF") o un análisis de fluorescencia de rayos X de dispersión de energía ("ED-XRF"). WD-XRF se puede utilizar para determinar simultáneamente las concentraciones elementales de una muestra. Los detectores WD-XRF utilizan cristales y difracción de Bragg para dividir la radiación de fluorescencia de la muestra en diferentes caminos. La ubicación de cada ruta está determinada por la energía de la fluorescencia. Debido a que la fluorescencia se divide en un haz de abanico donde cada ubicación en el haz corresponde a un nivel de energía único, se pueden usar detectores de bajo coste para detectar esta fluorescencia dependiente de la ubicación. Por ejemplo, se podría usar una matriz lineal de un contador de pulsos, detectores SiPN o MPPC en lugar de detectores SDD, SiLi o Ge. El uso de contadores de pulsos o diodos SiPN es menos costoso y reduce el coste total del sistema de detección.

WD-XRF difiere del análisis de fluorescencia de rayos X de dispersión de energía ("ED-XRF") por el uso de detectores. Los sistemas ED-XRF utilizan un único detector que funciona en un modo de dispersión de energía. Los detectores ED, como el SiLi y el SDD, detectan todas las energías de la radiación fluorescente y luego las separan electrónicamente en contenedores para generar el espectro.

Se pueden usar monocromadores, filtros y ópticas en un sistema XRF configurado de acuerdo con realizaciones de la presente invención para mejorar la relación señal-ruido ("SNR") o pico-fondo ("P/B"). El haz primario de radiación que sale del tubo de rayos X es policromático y divergente. La naturaleza policromática del haz de rayos X primario incluye radiación Bremsstrahlung, que contribuye al fondo del espectro, reduciendo la calidad del espectro. A medida que se reduce este valor de fondo, aumenta la relación P/B, lo que permite producir un espectro de alta calidad más deseable. Además, la divergencia del haz primario provoca menos radiación primaria dirigida al objetivo. Esto no es deseable debido a que la cantidad de fluorescencia generada es proporcional a la cantidad de radiación primaria que incide sobre el objetivo. Aumentar la cantidad de radiación primaria hacia el objetivo aumenta la radiación fluorescente y aumenta el pico en la relación P/B, lo que da como resultado un espectro más deseable y de mayor calidad.

Se pueden usar monocromadores para filtrar el haz primario a un intervalo de energía deseado, reduciendo la Bremsstrahlung generada en el tubo de rayos X. La reducción de Bremsstrahlung dará como resultado la reducción del fondo del espectro, lo que producirá una mayor relación P/B. Los monocromadores pueden adoptar muchas formas, tal como un espejo multicapa, un cristal o un filtro. Un filtro puede ser un solo elemento, o una combinación de elementos, a través del cual pasa el haz primario.

Las realizaciones de la presente divulgación se ilustran adicionalmente mediante los siguientes ejemplos, que se exponen para ilustrar el objeto de la presente divulgación y no deben interpretarse como limitativos.

Como se ha explicado anteriormente, la fluorescencia de rayos X ("XRF") es la emisión de rayos X "secundarios" (o fluorescentes) característicos de un material que ha sido excitado al irradiarlo con rayos X o rayos gamma. XRF se basa en el principio de que los átomos individuales, cuando son excitados por una fuente de energía externa, emiten fotones de rayos X de una energía o longitud de onda característica. Contando el número de fotones de cada energía emitida por una muestra, los elementos presentes en la muestra pueden identificarse y cuantificarse. Luego, el recuento de estos fotones se realiza sobre una base de elemento por elemento. Como se usa en el presente documento, el término "recuentos" se refiere al número de fotones contados para cada elemento, representando el número de recuentos las cantidades relativas en peso de cada uno de los elementos dentro del material irradiado.

Con XRF, el análisis cuantitativo es posible ya que el área del pico neto para un elemento en un espectro XRF adquirido es directamente proporcional a la masa de la muestra. Por ejemplo, para un espectro XRF adquirido de una muestra (por ejemplo, una pieza de chatarra de una aleación metálica), si un pico de aluminio con un área de 10,000 recuentos representa 10 gramos de aluminio, entonces un pico de 20,000 recuentos representaría 20 gramos de aluminio, y un pico de 30,000 recuentos representaría 30 gramos de aluminio. Esta metodología lineal se puede utilizar para determinar cuantitativamente tanto el tipo como la cantidad de diversos elementos en una muestra.

Los espectros XRF utilizados en los siguientes ejemplos se obtuvieron de la irradiación de muestras reales de tales aleaciones de aluminio con las clasificaciones de aleación de aluminio indicadas. Las muestras de tales aleaciones de aluminio se pueden obtener comercialmente de diversas empresas de aluminio tal como ALCOA. Dichos materiales

estándar se venden con una hoja de certificación que muestra la composición elemental en forma de porcentaje. Alternativamente, dicho espectro XRF de aleaciones de aluminio de referencia estándar se puede obtener comercialmente de empresas de aluminio tal como ALCOA.

Los aspectos de la presente divulgación difieren de las metodologías cuantitativas tradicionales porque no buscan determinar la relación cuantitativa lineal para determinar la masa. La relación cualitativa sigue presente para poder determinar los elementos que están presentes en la muestra. Sin embargo, el efecto de matriz provocado por grandes masas a granel de muestras no permite el uso preciso de métodos cuantitativos lineales. Los efectos de la matriz son, sin embargo, consistentes y no un evento aleatorio. Por lo tanto, todas las aleaciones de un tipo particular producirán espectros casi idénticos según lo definido por su composición elemental. Los aspectos de la presente divulgación definen el espectro de una aleación tal como una firma. Cada aleación tiene una firma única, que se utiliza en aspectos de la presente divulgación para identificar/clasificar aleaciones metálicas. Por ejemplo, tres aleaciones de aluminio diferentes, tal como las aleaciones de aluminio 2024, 3003 y 5051, tienen tres espectros únicos. Pero todas las aleaciones para 5051 tienen espectros casi idénticos.

Con respecto a las aleaciones de aluminio, XRF tiene la capacidad de medir cada elemento (por ejemplo, cualquier combinación deseada de Si, Al, Fe, Cu, Mn, Mg, Cr, Ni, An, Ti, Ag y B) en cada una de estas aleaciones. XRF es una forma cualitativa y cuantitativa de espectroscopia; por lo tanto, los espectros generados por XRF se correlacionan directamente con las composiciones químicas elementales definidas por la Aluminum Association mencionada anteriormente. Luego se puede calibrar un sistema para medir la concentración elemental de una muestra de aleación de aluminio desconocida. Una vez que el sistema calcula la concentración de cada elemento, puede comparar esos datos con un conjunto estándar o de referencia para identificar/clasificar la aleación de aluminio desconocida de la muestra.

Por ejemplo, según lo define la Aluminum Association, los límites de composición química permisibles publicados para las clasificaciones de aleación de aluminio 6013, 6002 y 6061 se muestran en la FIG. 23. La FIG. 24 muestra los espectros XRF para las clasificaciones de aleación de aluminio 6013 (espectro izquierdo), 6022 (espectro central) y 6061 (espectro derecho). El espectro de la izquierda ilustrado en la FIG. 24 muestra los datos XRF sin procesar detectados a partir de una muestra de una aleación de aluminio 6013. El espectro central ilustrado en la FIG. 24 muestra los datos XRF sin procesar detectados a partir de una muestra de una aleación de aluminio 6022. El espectro de la derecha ilustrado en la FIG. 24 muestra los datos XRF sin procesar detectados a partir de una muestra de una aleación de aluminio 6061. Estos espectros se colocan uno al lado del otro para una rápida comparación de sus respectivos espectros. Cada una de estas aleaciones contiene los elementos de aleación Si, Fe, Cu, Mn, Mg, Cr, Zn y Ti; sin embargo, los espectros resaltan claramente diferentes alturas de pico para cada uno de estos elementos. Estas alturas de los picos se correlacionan directamente con las concentraciones elementales en la aleación; cuanto mayor sea el pico, mayor será la concentración de elementos en la aleación.

Haciendo referencia a las FIG. 23, se puede ver que las concentraciones de hierro para las aleaciones de aluminio 6013, 6022 y 6061 son 0,5, 0,05-0,20 y 0,7, respectivamente. La aleación de aluminio 6022 tiene la menor cantidad de hierro, la aleación de aluminio 6061 tiene la mayor cantidad de hierro y la aleación de aluminio 6013 está en el medio. Las concentraciones de cada elemento en la publicación de la Aluminum Association se pueden observar fácil y directamente mediante los espectros XRF de la FIG. 24. Por ejemplo, mirando de cerca los espectros de la FIG. 24, el tamaño del pico de hierro se correlaciona directamente con los valores de concentración definidos por la Aluminum Association. Así como la Aluminum Association ha definido un conjunto único de datos para definir cada aleación, XRF se puede usar para medir ese conjunto único de datos a través de la espectroscopia.

Con referencia al espectro de la izquierda en la FIG. 24 de la aleación de aluminio ("Al") 6013, se muestran picos para elementos de aleación tales como Al, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu y Zn. Los canales en los que se ubican estos picos dentro del espectro corresponden a los niveles de energía XRF detectados (recuentos netos) para cada uno de estos elementos. Este espectro XRF contiene picos y un fondo. Los picos son los que contienen la valiosa información del espectro. El área de pico neto para cada canal es un número que es igual a los recuentos de pico menos los recuentos de fondo (denominados en el presente documento "recuentos netos" o "recuentos de pico netos"). Por lo tanto, el área neta del pico de un pico transmite información cuantitativa sobre la concentración de ese elemento de aleación en la muestra. Cuanto mayor sea el pico, más de ese elemento se encuentra en la muestra; cuanto más pequeño es el pico, menos de ese elemento se encuentra en la muestra. Además, la ubicación del pico contiene información cualitativa sobre qué elemento se encuentra en la muestra. Por ejemplo, en el espectro izquierdo de la FIG. 24, el pico en el canal 370 corresponde a un nivel de energía de 6,4 keV; por lo tanto, ese pico representa la fluorescencia detectada del hierro en la muestra. Por lo tanto, el espectro XRF contiene información cualitativa y cuantitativa sobre la muestra, por lo que es útil en la identificación/clasificación de aleaciones.

La Tabla 1 muestra los recuentos de picos netos determinados a partir del espectro XRF izquierdo de la FIG. 24. Uno puede ver fácilmente las correlaciones entre el tamaño del pico y los recuentos netos de picos.

Tabla 1	
Aleación de aluminio 6013	Recuentos netos
Mg	0
Al	20960
Si	0
Ti	272
Cr	0
Mn	5006
Fe	5998
Cu	18561
Zn	28

Se pueden utilizar diversas técnicas y metodologías para intentar identificar/clasificar materiales, tales como aleaciones de aluminio, para su implementación en un sistema de clasificación, tales como los descritos en el presente documento. Lo siguiente proporciona un ejemplo del uso de un método de producto punto para clasificar materiales, que luego se compara con las técnicas de identificación/clasificación utilizadas dentro de las realizaciones de la presente invención.

El producto punto se ha utilizado ampliamente en geometría con respecto al análisis vectorial. En la definición del producto punto, lo que es importante tener en cuenta es que el resultado es un solo escalar. En otras palabras, el resultado suele ser un valor entero o decimal, tal como 27 o 36.53.

Los datos contenidos en la Tabla 1, que es un resumen de la información útil de un espectro XRF ejemplar de un material, es una matriz unidimensional, que también puede denominarse vector. En este ejemplo, la Tabla 1 proporciona los recuentos netos de aleación de aluminio 6013.

Haciendo referencia a las FIG. 25, un primer paso del método del producto punto es colocar los datos cuantitativos del espectro XRF de un material desconocido en una matriz unidimensional (un vector) de los recuentos de picos netos. Haciendo referencia a las FIG. 26, un segundo paso del método del producto punto es normalizar ese vector (por ejemplo, calculando una relación de cada uno de los recuentos netos a una raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los recuentos netos). Un tercer paso del método del producto punto es calcular el producto punto del vector normalizado a partir del material desconocido con un vector de material de referencia estándar, que también se ha normalizado. Si el resultado del producto punto es 1, entonces los materiales son los mismos. Si el producto punto está por debajo de un valor de umbral menor que 1 pero cercano a este, entonces el material desconocido es un material diferente al material de referencia estándar.

Tabla 2

Vector normalizado de material desconocido	Vector normalizado de aleación A1 6013	Componentes multiplicados
0.003096171	0.003096171	9.58628E-06
0.72106393	0.72106393	0.519933191
0.002786554	0.002786554	7.76488E-06
0.009357318	0.009357318	8.75594E-05

Vector normalizado de material desconocido	Vector normalizado de aleación A1 6013	Componentes multiplicados
0	0	0
0.172215937	0.172215937	0.029658329
0.206342627	0.206342627	0.04257728
0.63853376	0.63853376	0.407725362
0.000963253	0.000963253	9.27857E-07
	Producto punto	1

El producto punto es la suma de los componentes multiplicados de cada elemento de la matriz. Como se muestra en la Tabla 2, en este ejemplo, la suma de los componentes multiplicados es igual a 1. Si se tratara de un análisis de materiales, y el primer espectro fuera de una muestra desconocida y el segundo espectro fuera de la aleación de aluminio 6013, la conclusión sería que la muestra desconocida es la aleación de aluminio 6013.

5

Haciendo referencia a la Tabla 3, cuando se calcula el producto punto entre las aleaciones de aluminio 6013 y 6022, el resultado es 0.79.

Tabla 3

Vector normalizado de aleación Al 6013	Vector normalizado de aleación Al 6022	Componentes multiplicados
0.003096171	0.00273983	8.48298E-06
0.72106393	0.986658319	0.711443725
0.002786554	0.004338064	1.20882E-05
0.009357318	0.004155408	3.88835E-05
0	0	0
0.172215937	0.051874108	0.008933548
0.206342627	0.140735916	0.029039819
0.63853376	0.060184925	0.038430106
0.000963253	0.01849385	1.78143E-05
	Producto punto	0.79

10 Haciendo referencia a la Tabla 4, cuando se calcula el producto punto entre las aleaciones de aluminio 6013 y 6061, el resultado es 0.81.

Tabla 4

Vector normalizado de aleación Al 6013	Vector normalizado de aleación Al 6061	Componentes multiplicados
0.003096171	0.003375856	1.04522E-05
0.72106393	0.830723021	0.599004406
0.002786554	0.00225057	6.27134E-06
0.009357318	0.323819562	0.003030083
0	0.084546426	0
0.172215937	0.091523194	0.015761753
0.206342627	0.397638269	0.082049725
0.63853376	0.174794296	0.111612059
0.000963253	0.0288073	2.77487E-05
	Producto punto	0.81

Por lo tanto, considérese un ejemplo en el que la muestra desconocida que se va a identificar resulta ser la aleación de aluminio 6013. Usando el método del producto punto, si una muestra desconocida se comparara con los tres vectores de referencia para las aleaciones de aluminio 6013, 6022 y 6061, y si se eligiera un valor umbral de 0.9, entonces se podría identificar la aleación de aluminio desconocida como aleación de aluminio 6013 y ninguna de las aleaciones de aluminio 6022 y 6013.

Cuanto mayores sean las diferencias entre las muestras, mejor será el método del producto punto para usar en la separación de materiales, razón por la cual el método del producto punto es capaz de distinguir entre materiales significativamente diferentes, tal como entre latón, acero inoxidable y aluminio. Sin embargo, este método es problemático cuando se trata de la identificación de aleaciones, como se puede ver en el ejemplo anterior como el producto punto para comparar las aleaciones de aluminio 6013 y 6022 (es decir, 0.79) y el producto punto para comparar las aleaciones de aluminio 6013 y 6061 (es decir, 0.81) son muy similares en número. Esto se debe a que se pierde información espectral muy relevante en el cálculo del producto punto.

Por ejemplo, considere una tarea ejemplar de tratar de identificar la aleación de aluminio 5086 separada de las aleaciones de aluminio 5182, 5052 y 5754. Los productos puntos para cada una de estas comparaciones de aleaciones se muestran en las FIGS. 30-31. Los recuentos netos para cada una de estas aleaciones de aluminio se muestran en las FIGS. 32. Los vectores normalizados para cada una de estas aleaciones de aluminio se determinaron calculando una relación de cada uno de los recuentos netos con la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los recuentos netos.

Haciendo referencia a las FIG. 30, cuando se calcula el producto punto entre los vectores normalizados de las aleaciones de aluminio 5086 y 5086, el resultado es 1. Haciendo referencia a las FIG. 30, cuando se calcula el producto punto entre los vectores normalizados de las aleaciones de aluminio 5086 y 5052, el resultado es 0.95. Haciendo referencia a las FIG. 31, cuando se calcula el producto punto entre los vectores normalizados de las aleaciones de aluminio 5086 y 5182, el resultado es 0.996. Haciendo referencia a las FIG. 31, cuando se calcula el producto punto entre los vectores normalizados de las aleaciones de aluminio 5086 y 5454, el resultado es 0.981.

Como puede verse, todos estos productos punto están muy cerca uno del otro. Estos productos punto están tan cerca uno del otro que están dentro de los márgenes de error de las mediciones XRF para sistemas XRF. Por lo tanto, el método del producto punto no se puede usar de manera confiable para distinguir entre aleaciones de aluminio individuales, especialmente aquellas dentro de una serie particular de aleaciones de aluminio. El método del producto punto falla porque este método se basa en un valor singular del producto punto y no utiliza la información espectral de alta calidad que se conserva.

Por el contrario, las realizaciones de la presente invención utilizan una técnica de firma de composición elemental ("ECS"), que conserva la información espectral del espectro y luego usa la información espectral normalizada para compararla con referencias estándar normalizadas. Los datos espectrales no se convierten en un vector y no se realiza un método de producto punto. Como resultado, la técnica ECS da cuenta de los datos cualitativos y cuantitativos, además de los errores, en las mediciones de fluorescencia XRF.

Dentro de la técnica ECS, de acuerdo con realizaciones de la presente invención, los datos del espectro XRF sin procesar se adquieren de una muestra irradiada (por ejemplo, un trozo de chatarra de aleación metálica). Luego, se determinan las áreas de los picos netos para cada elemento del espectro. Luego, las áreas de los picos netos se normalizan para generar un ECS para esa muestra (por ejemplo, dividiendo cada uno de los recuentos netos de cada elemento por la suma de todos los recuentos netos). El ECS resultante es una tabla de números utilizada para identificar/clasificar la muestra. El ECS cuantifica las concentraciones elementales de la muestra irradiada, que es independiente de la forma, el tamaño y la distancia de la muestra del detector XRF. De esta manera, las formas y distancias irregulares de las muestras, tal como las piezas de chatarra de aleaciones metálicas, seguirán arrojando resultados cuantificados que se pueden usar para identificar/clasificar la muestra (por ejemplo, el tipo de aleación). Por ejemplo, con respecto a la identificación/clasificación de las aleaciones de aluminio, el ECS define una propiedad única para cada aleación de aluminio, que existe independientemente del tamaño, la forma y la distancia de la aleación de aluminio. Además, el ECS es una medida directa de las concentraciones elementales de cada aleación de aluminio definidas por la Aluminum Association, lo que valida el uso del ECS para la identificación/clasificación de aleaciones de aluminio.

Las FIGS. 27-29 proporcionan un ejemplo de una operación de un algoritmo de identificación/clasificación de aleaciones que utiliza una técnica ECS, configurado de acuerdo con realizaciones de la presente invención. En primer lugar, se adquieren los datos del espectro XRF sin procesar de una muestra irradiada desconocida (por ejemplo, una pieza de chatarra de aleación metálica) utilizando un sistema XRF y se determinan los recuentos netos para cada uno de los canales elementales. Estos recuentos netos se convierten en un ECS para la muestra irradiada desconocida, que es una matriz unidimensional. Con fines ilustrativos, supóngase que la muestra irradiada desconocida está compuesta por una aleación de aluminio 6013. Los datos del espectro XRF sin procesar y el ECS en este ejemplo se muestran en la FIG. 27. A continuación, se normaliza el ECS de la muestra irradiada desconocida, como se muestra en la FIG. 28. En este ejemplo, el ECS se normaliza dividiendo cada uno de los recuentos netos de cada elemento por la suma de todos los recuentos netos. Sin embargo, las realizaciones de la presente invención pueden normalizar el ECS para las muestras desconocidas y las referencias estándar tomando la relación de los recuentos netos de cada elemento con el recuento neto de aluminio dentro de la muestra desconocida o las referencias estándar, como puede ser el caso.

A continuación, con referencia a la FIG. 29, el ECS normalizado de la muestra desconocida (por ejemplo, pieza de chatarra de aleación metálica) se compara con uno o más ECS de referencia estándar normalizados, cada uno perteneciente a una aleación metálica de referencia estándar, que tienen intervalos incorporados para error en la medición XRF. En este ejemplo, uno de los ECS de referencia estándar pertenece a la aleación de aluminio 6013, mientras que el otro ECS de referencia estándar pertenece a la aleación de aluminio 6022. Si el ECS de la muestra desconocida cae dentro de los intervalos ECS de una de las aleaciones metálicas de referencia estándar, entonces la muestra desconocida puede identificarse/clasificarse. Si el ECS de la muestra desconocida cae fuera de los intervalos ECS definidos de una aleación metálica de referencia estándar en particular, entonces la pieza de chatarra de aleación metálica desconocida es de una aleación diferente a esa aleación metálica de referencia estándar en particular.

En la FIG. 29, el ECS normalizado de la muestra desconocida está a la izquierda y se compara con los ECS de referencia estándar normalizados para las aleaciones de aluminio 6013 y 6022. La comparación muestra claramente que la muestra desconocida es la aleación de aluminio 6013 y no la aleación de aluminio 6022 con base en su contenido de aluminio y cobre. Por lo tanto, se muestra claramente que la técnica ECS tiene éxito en la identificación de aleaciones porque conserva los datos cuantitativos y cualitativos.

Para la comparación de la técnica ECS con el método del producto punto discutido previamente con respecto a las FIGS. 30-31, considérese exactamente el mismo conjunto de datos de espectros XRF para las aleaciones de aluminio 5052, 5086, 5182 y 5454. Utilizando estos espectros XRF, el siguiente ejemplo utilizará la técnica ECS para determinar aleaciones. La FIG. 32 muestra las cuatro aleaciones de aluminio 5052, 5086, 5182 y 5454 y sus respectivos valores ECS (por ejemplo, los recuentos netos normalizados determinando la relación de cada recuento neto con la suma de todos los recuentos netos de esa aleación).

Como se indica en el presente documento, una diferencia entre la técnica ECS y el método del producto punto es que, en lugar de usar un valor para identificar las aleaciones, la técnica ECS usa la información individual de todos los elementos de aleación para determinar la aleación, que en este ejemplo son Mg, Si, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu y Zn. Con base en los conjuntos de datos en la FIG. 32, un algoritmo de identificación/clasificación, tal como se describe en el presente documento con respecto a las FIGS. 7 y 22, puede separar estas aleaciones que están dentro de los errores de medición XRF. Las medidas de error para cada uno de los valores ECS para estas aleaciones de aluminio ejemplares se muestran en la FIG. 33. Las medidas de error asociadas con los diversos ECS de referencia estándar divulgados en el presente documento pueden ser definidas por el usuario para cada uno de los elementos dentro de un ECS particular. Dado que los sistemas XRF típicos tienen errores inherentes en la medición tan altos como más o menos

10-15 %, y los mejores sistemas XRF afirman tener un error de más o menos 5 %, dichas medidas de error se pueden utilizar para determinar las medidas de error para cada uno de los valores ECS utilizados dentro de las realizaciones de la presente invención.

5 Como resultado de la utilización de todo el espectro XRF como conjunto de datos mediante la técnica ECS, las diferencias entre los valores ECS para estas cuatro aleaciones se pueden ver fácilmente. Por ejemplo, la aleación de aluminio 5052 es la única aleación con un valor de Cr de 0.09 ± 0.02 , que es mucho mayor que los valores de Cr de las otras tres aleaciones. Además, la aleación de aluminio 5454 es la única aleación con un valor de Mn de 0.28 ± 0.02 , que es mucho mayor que las otras tres aleaciones. Y la aleación de aluminio 5086 tiene un valor de cobre de 0.04 ± 0.01 , mientras que la aleación de aluminio 5182 tiene un valor de cobre de 0.00 ± 0.01 .

10 Por lo tanto, un algoritmo de clasificación de identificación/clasificación, que puede implementarse dentro de cualquiera de las realizaciones de la presente invención, para identificar/clasificar una aleación de aluminio de una pieza de chatarra de aleación metálica desconocida en función de los valores ECS mencionados anteriormente para las aleaciones de aluminio 5052, 5086, 5182 y 5454 se pueden configurar para realizar las siguientes determinaciones:

15 (a) Para una pieza de chatarra de aleación metálica desconocida, si su valor ECS determinado para Cr está entre 0,07 y 0,11, entonces la pieza de chatarra de aleación metálica desconocida puede identificarse/clasificarse como aleación de aluminio 5052;

(b) Para una pieza de chatarra de aleación metálica desconocida, si su valor ECS determinado para Mn está entre 0.26 y 0.30, entonces la pieza de chatarra de aleación metálica desconocida se puede identificar/clasificar como aleación de aluminio 5454.

20 (c) Para una pieza de chatarra de aleación metálica desconocida, si su valor ECS determinado para Cr no está entre 0.07 y 0.11, y su valor ECS determinado para Mn no está entre 0.26 y 0.30, pero su valor ECS determinado para Cu está entre 0.03 y 0.05, entonces la pieza de chatarra de aleación metálica desconocida se puede identificar/clasificar como aleación de aluminio 5086, de lo contrario, la pieza de chatarra de aleación metálica desconocida se puede identificar/clasificar como aleación de aluminio 5182.

25 Además, las técnicas de normalización antes mencionadas para producir los valores ECS se pueden mejorar para agregar sensibilidad y discriminación a los sistemas y métodos de clasificación descritos en el presente documento.

Haciendo referencia a continuación a la FIGS. 17-22, se describe un sistema y proceso, configurado de acuerdo con realizaciones de la presente invención, para clasificar materiales (por ejemplo, piezas de chatarra de aleaciones metálicas, tal como aleaciones de aluminio) utilizando fluorescencia de rayos X. Cualquiera de las realizaciones de los sistemas de clasificación (por ejemplo, el sistema 100 de clasificación y el sistema 300 de clasificación) descritos en el presente documento pueden configurarse para utilizar el sistema y el proceso 2200 de la FIG. 22 para clasificar los materiales (por ejemplo, piezas de chatarra de aleaciones metálicas) para clasificarlos en contenedores separados con base en las clasificaciones determinadas por el sistema y el proceso 2200. Además, los sistemas de clasificación de materiales distintos de los descritos en el presente documento, incluyendo los bien conocidos en la técnica y los que aún no se han desarrollado, pueden configurarse para utilizar el sistema y el proceso 2200 de la FIG. 22 con el fin de clasificar los materiales para clasificarlos en contenedores separados con base en las clasificaciones determinadas por el sistema y el proceso 2200. El sistema y el proceso 2200 pueden utilizarse dentro del bloque 405 de proceso de la FIG. 4 y/o el bloque 706 de proceso de la FIG. 7.

40 El sistema y el proceso 2200 están configurados para determinar áreas pico netas para proporcionar los recuentos netos utilizados para producir los valores ECS para muestras desconocidas (por ejemplo, piezas de chatarra de aleaciones metálicas irradiadas como se describe en el presente documento) y los valores ECS para materiales de referencia estándar (por ejemplo, aleaciones de aluminio estándar de referencia, incluyendo las correspondientes a las clasificaciones publicadas por la Aluminium Association).

45 En el bloque 2201 de proceso, los datos del espectro XRF sin procesar pertenecientes a un material irradiado (por ejemplo, una pieza de chatarra de aleación metálica) se reciben de los detectores XRF. La FIG. 17 ilustra un gráfico ejemplar de dicho espectro XRF. En el bloque de proceso 2202, la raíz cuadrada de los datos de espectro XRF sin procesar puede generarse para disminuir el tiempo de procesamiento necesario para cálculos adicionales (por ejemplo, los siguientes bloques de proceso). En el bloque 2203 de proceso, se aplica un filtro de suavizado, tal como un filtro Savitsky-Golay o un método de mínimos cuadrados, a los datos del bloque 2202 de proceso. Haciendo referencia a las FIG. 18, dicho filtro de suavizado traza una curva suave de los datos de espectro XRF sin procesar (o la raíz cuadrada de los datos de espectro XRF sin procesar producidos en el bloque 2202 de proceso). En la FIG. 18, los datos del espectro XRF sin procesar se etiquetan como 1801, mientras que el espectro suavizado se etiqueta como 1802. En el bloque 2204 de proceso, los picos se eliminan utilizando fórmulas matemáticas de promedios móviles para estimar los recuentos de fondo. Haciendo referencia a las FIG. 19, se representa una parte del espectro XRF total para mostrar el espectro XRF original etiquetado como 1901, el espectro suavizado etiquetado como 1902 y el fondo estimado etiquetado como 1903. En el bloque 2205 de proceso, el fondo estimado se resta luego del espectro suavizado para generar un espectro que solo incluye las áreas de pico neto. En la FIG. 20, los datos de espectro sin procesar se etiquetan como 2001, mientras que el espectro final que muestra las áreas de picos netos producidos se

etiqueta como 2002. En el bloque 2206 de proceso, estos recuentos finales de espectro pueden elevarse al cuadrado para que correspondan a sus valores originales (dado que los datos originales pueden haber tenido sus raíces cuadradas calculadas en el bloque 2202 de proceso). En el bloque 2207 de proceso, se toma la derivada de este espectro para localizar y determinar los centros y bordes de los picos para determinar las anchuras de los picos con el fin de determinar con precisión los recuentos netos del área de los picos. En la FIG. 21, la primera derivada está etiquetada como 2101. Los recuentos de áreas de picos netos se calculan luego con base en las anchuras de los picos, tal como se describe con respecto a la FIG. 27. En el bloque 2208 de proceso, los recuentos normalizados para cada elemento se utilizan luego para determinar los valores ECS para el material, tal como se describe con respecto a la FIG. 28. En el bloque 2209 de proceso, los valores ECS se comparan luego con los valores ECS para uno o más materiales de referencia estándar, tal como se describe con respecto a las FIGS. 29 y 33. En el bloque 2210 de proceso, el material se identifica/clasifica luego con base en los resultados de las comparaciones de los ECS.

Como se ha descrito en el presente documento, las realizaciones de la presente invención pueden implementarse para realizar las diversas funciones descritas para identificar, rastrear, clasificar y seleccionar materiales, tales como piezas de chatarra de aleaciones metálicas. Dichas funcionalidades pueden implementarse dentro del hardware y/o software, tal como dentro de uno o más sistemas de procesamiento de datos (por ejemplo, el sistema 3400 de procesamiento de datos de la FIG. 34), tal como el sistema 107 informático y/o el sistema 108 de control de automatización señalado anteriormente. Sin embargo, las funcionalidades descritas en el presente documento no deben limitarse a la implementación en ninguna plataforma de hardware/software en particular.

El diagrama de flujo y los diagramas de bloques de las figuras ilustran la arquitectura, la funcionalidad y el funcionamiento de posibles implementaciones de sistemas y métodos de acuerdo con diversas realizaciones de la presente invención. En algunas implementaciones, las funciones anotadas en los bloques pueden ocurrir fuera del orden anotado en las figuras. Por ejemplo, dos bloques mostrados en sucesión pueden, de hecho, ejecutarse sustancialmente al mismo tiempo, o los bloques a veces pueden ejecutarse en el orden inverso, dependiendo de la funcionalidad implicada.

Además, el sistema de clasificación y el proceso de la presente divulgación también pueden incluir una red neuronal mediante la cual el sistema y el proceso son capaces de aprender la identificación/clasificación de materiales para luego agrupar materiales desconocidos escaneados por un sistema XRF en grupos predefinidos.

Los módulos implementados en el software para su ejecución por diversos tipos de procesadores pueden, por ejemplo, incluir uno o más bloques físicos o lógicos de instrucciones informáticas que pueden, por ejemplo, organizarse como un objeto, procedimiento o función. Sin embargo, los ejecutables de un módulo identificado no necesitan estar físicamente ubicados juntos, sino que pueden incluir instrucciones dispares almacenadas en diferentes ubicaciones que, cuando se unen lógicamente, incluyen el módulo y logran el propósito establecido para el módulo. De hecho, un módulo de código ejecutable puede ser una sola instrucción o muchas instrucciones, e incluso puede estar distribuido en varios segmentos de código diferentes, entre diferentes programas y en varios dispositivos de memoria. De manera similar, los datos operativos pueden identificarse e ilustrarse en el presente documento dentro de módulos, y pueden incorporarse en cualquier forma adecuada y organizarse dentro de cualquier tipo adecuado de estructura de datos. Los datos operativos se pueden recopilar como un solo conjunto de datos o se pueden distribuir en diferentes ubicaciones, incluyendo en diferentes dispositivos de almacenamiento. Los datos pueden proporcionar señales electrónicas en un sistema o red.

Estas instrucciones de programa pueden proporcionarse a un procesador y/o controlador de un ordenador de propósito general, ordenador de propósito especial u otro aparato de procesamiento de datos programable (por ejemplo, controlador) para producir una máquina, de modo que las instrucciones, que se ejecutan a través del procesador del ordenador u otro aparato de procesamiento de datos programable, crean medios para implementar las funciones/actos especificados en el diagrama de flujo y/o el bloque o bloques del diagrama de bloques.

También se observará que cada bloque de los diagramas de bloques y/o las ilustraciones de los diagramas de flujo, y las combinaciones de bloques en los diagramas de bloques y/o las ilustraciones de los diagramas de flujo, pueden implementarse mediante sistemas con base en hardware de propósito especial que realizan las funciones o actos especificados, o combinaciones de hardware de propósito especial e instrucciones de ordenador. Por ejemplo, un módulo puede implementarse como un circuito de hardware que incluye circuitos VLSI personalizados o conjuntos de puertas, semiconductores listos para usar como chips lógicos, transistores, controladores u otros componentes discretos. Un módulo también puede implementarse en dispositivos de hardware programables tales como matrices de puertas programables en campo, lógica de matriz programable, dispositivos lógicos programables o similares.

El código de programa informático, es decir, las instrucciones, para llevar a cabo operaciones para aspectos de la presente invención se pueden escribir en cualquier combinación de uno o más lenguajes de programación, incluyendo un lenguaje de programación orientado a objetos tal como Java, Smalltalk, C o similares y lenguajes de programación de procedimientos convencionales, tales como el lenguaje de programación "C" o lenguajes de programación similares. El código del programa puede ejecutarse completamente en el ordenador del usuario, en parte en el ordenador del usuario, como un paquete de software independiente, en parte en el ordenador del usuario y en parte en un ordenador remoto o completamente en el ordenador o servidor remoto. En el último escenario, el ordenador remoto puede conectarse al ordenador del usuario a través de cualquier tipo de red, incluyendo una red de área local

("LAN") o una red de área amplia ("WAN"), o la conexión puede realizarse a un ordenador externo (por ejemplo, a través de Internet utilizando un proveedor de servicios de Internet).

Estas instrucciones de programa también pueden almacenarse en un medio de almacenamiento legible por ordenador que puede dirigir un ordenador, otro aparato de procesamiento de datos programable, controlador u otros dispositivos para que funcionen de una manera particular, de modo que las instrucciones almacenadas en el medio legible por ordenador produzcan un artículo de fabricación, incluyendo las instrucciones que implementan la función/acción especificada en el diagrama de flujo y/o el bloque o bloques del diagrama de bloques.

Las instrucciones del programa también pueden cargarse en un ordenador, otro aparato de procesamiento de datos programable, controlador u otros dispositivos para hacer que se realice una serie de pasos operativos en el ordenador, otro aparato programable u otros dispositivos para producir un proceso implementado por ordenador de tal manera que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador u otro aparato programable proporcionan procesos para implementar las funciones/actos especificados en el diagrama de flujo y/o el bloque o bloques del diagrama de bloques.

Se pueden incluir una o más bases de datos en un servidor para almacenar y proporcionar acceso a los datos para las diversas implementaciones. Un experto en la técnica también apreciará que, por razones de seguridad, cualquier base de datos, sistema o componente de la presente invención puede incluir cualquier combinación de bases de datos o componentes en una única ubicación o en múltiples ubicaciones, en el que cada base de datos o sistema puede incluir cualquiera de diversas funciones de seguridad adecuadas, tales como cortafuegos, códigos de acceso, cifrado, descifrado y similares. La base de datos puede ser cualquier tipo de base de datos, como relacional, jerárquica, orientada a objetos y/o similares. Los productos de base de datos comunes que se pueden utilizar para implementar las bases de datos incluyen DB2 de IBM, cualquiera de los productos de base de datos disponibles de Oracle Corporation, Microsoft Access de Microsoft Corporation o cualquier otro producto de base de datos. La base de datos puede organizarse de cualquier manera adecuada, incluyendo como tablas de datos o tablas de consulta.

La asociación de ciertos datos (por ejemplo, para cada una de las piezas de chatarra de aleación metálica procesadas por un sistema de clasificación descrito en el presente documento) se puede lograr a través de cualquier técnica de asociación de datos conocida y practicada en la técnica. Por ejemplo, la asociación puede realizarse de forma manual o automática. Las técnicas de asociación automática pueden incluir, por ejemplo, una búsqueda en una base de datos, una combinación de una base de datos, GREP, AGREP, SQL y/o similares. El paso de asociación puede lograrse mediante una función de combinación de base de datos, por ejemplo, usando un campo clave en cada una de las tablas de datos del fabricante y del minorista. Un campo clave divide la base de datos de acuerdo con la clase de objetos de alto nivel definida por el campo clave. Por ejemplo, una cierta clase puede designarse como un campo clave tanto en la primera tabla de datos como en la segunda tabla de datos, y las dos tablas de datos pueden fusionarse luego sobre la base de los datos de clase en el campo clave. En estas realizaciones, los datos correspondientes al campo clave en cada una de las tablas de datos combinados son preferiblemente los mismos. Sin embargo, las tablas de datos que tienen datos similares, aunque no idénticos, en los campos clave también se pueden fusionar utilizando AGREP, por ejemplo.

En el presente documento se hace referencia a "configurar" un dispositivo, o un dispositivo configurado para realizar alguna función. Debe entenderse que esto puede incluir seleccionar bloques lógicos predefinidos y asociarlos lógicamente, de modo que proporcionen funciones lógicas particulares, que incluyen funciones de supervisión o control. También puede incluir la programación de la lógica con base en software de ordenador del dispositivo de control actualizado, el cableado de componentes de hardware discretos o una combinación de cualquiera o todos los anteriores.

Con referencia ahora a la FIG. 34, se representa un diagrama de bloques que ilustra un sistema 3400 de procesamiento de datos ("ordenador") en el que pueden implementarse aspectos de realizaciones de la invención. El sistema 107 informático de la FIG. 1 y/o un sistema informático para su utilización en el sistema 300 de clasificación de la FIG. 3 puede configurarse de manera similar al sistema 3400 informático. El sistema 3400 informático puede emplear una arquitectura de bus local de interconexión de componentes periféricos ("PCI"). Aunque el ejemplo ilustrado emplea un bus PCI, se pueden usar otras arquitecturas de bus tales como el puerto de gráficos acelerado ("AGP") y la arquitectura estándar de la industria ("ISA"), entre otras. El procesador 3415, la memoria 3420 volátil y la memoria 3435 no volátil pueden conectarse al bus 3405 local PCI a través del puente PCI (no mostrado). El puente PCI también puede incluir un controlador de memoria integrado y memoria caché para el procesador 3415. Las conexiones adicionales al bus 3405 local PCI se pueden realizar a través de la interconexión directa de componentes o a través de tarjetas complementarias. En el ejemplo ilustrado, un adaptador 3425 de comunicación (por ejemplo, red (LAN)), un adaptador 3430 de I/O (por ejemplo, bus de anfitrión de interfaz de sistema informático pequeño ("SCSI")) y una interfaz de bus de expansión (no mostrada) pueden conectarse al bus 3405 local PCI mediante una conexión directa de componentes. Un adaptador de audio (no mostrado), un adaptador de gráficos (no mostrado) y un adaptador 3416 de pantalla (acoplado a una pantalla 3440) se pueden conectar al bus 3405 local PCI (por ejemplo, mediante placas complementarias insertadas en ranuras de expansión).

El adaptador 3412 de interfaz de usuario proporciona una conexión para un teclado 3413 y un ratón 3414, módem (no mostrado) y memoria adicional (no mostrada). El adaptador 3430 de I/O proporciona una conexión para una unidad 3431 de disco duro, una unidad 3432 de cinta y una unidad de CD-ROM (no mostrada).

Un sistema operativo puede ejecutarse en el procesador 3415 y usarse para coordinar y proporcionar control de diversos componentes dentro del sistema 3400 informático. En la FIG. 34, el sistema operativo puede ser un sistema operativo comercialmente disponible. Un sistema de programación orientado a objetos tal como Java puede ejecutarse junto con el sistema operativo y proporcionar llamadas al sistema operativo desde programas Java o programas que se ejecutan en el sistema 3400. Las instrucciones para el sistema operativo, el sistema operativo orientado a objetos y los programas se pueden ubicar en dispositivos 3435 de almacenamiento de memoria no volátil, tal como una unidad 3431 de disco duro, y se pueden cargar en la memoria 3420 volátil para que las ejecute el procesador 3415.

Los expertos en la técnica apreciarán que el hardware de la FIG. 34 puede variar dependiendo de la implementación. Se puede usar otro hardware interno o dispositivos periféricos, tal como flash ROM (o memoria no volátil equivalente) o unidades de disco óptico y similares, además del hardware representado en la FIG. 34. Además, los procesos de la presente invención se pueden aplicar a un sistema informático multiprocesador.

Como otro ejemplo, el sistema 3400 informático puede ser un sistema independiente configurado para arrancar sin depender de algún tipo de interfaz de comunicación de red, ya sea que el sistema 3400 informático incluya o no algún tipo de interfaz de comunicación de red. Como ejemplo adicional, el sistema 3400 informático puede ser un controlador incorporado, que está configurado con ROM y/o ROM flash que proporciona memoria no volátil que almacena archivos del sistema operativo o datos generados por el usuario.

El ejemplo representado en la FIG. 34 y los ejemplos descritos anteriormente no implican limitaciones arquitectónicas. Además, una forma de programa informático de la presente invención puede residir en cualquier medio de almacenamiento legible por ordenador (es decir, disquete, disco compacto, disco duro, cinta, ROM, RAM, etc.) utilizado por un sistema informático. (Los términos "ordenador", "sistema", "sistema informático" y "sistema de procesamiento de datos" se pueden usar indistintamente en el presente documento).

Si bien esta memoria descriptiva contiene muchos detalles, estos no deben interpretarse como limitaciones en el alcance de la invención o de lo que se puede reivindicar, sino más bien como descripciones de características específicas de implementaciones particulares de la invención. Los encabezados del presente documento pueden no tener la intención de limitar la invención, las realizaciones de la invención u otros asuntos divulgados bajo los encabezados.

En el presente documento, el término "o" puede tener la intención de ser inclusivo, donde "A o B" incluye A o B y también incluye tanto A como B. Tal como se usa en el presente documento, el término "y/o" cuando se usa en el contexto de un listado de entidades, se refiere a las entidades que están presentes solas o en combinación. Así, por ejemplo, la frase "A, B, C y/o D" incluye A, B, C y D individualmente, pero también incluye todas y cada una de las combinaciones y subcombinaciones de A, B, C y D.

Tal como se usan en el presente documento, las formas singulares "un", "una" y "el/la" pueden tener la intención de incluir también las formas plurales, a menos que el contexto indique claramente lo contrario.

Tal como se usa en el presente documento con respecto a una propiedad o circunstancia identificada, "sustancialmente" se refiere a un grado de desviación que es lo suficientemente pequeño como para no restar valor medible a la propiedad o circunstancia identificada. El grado exacto de desviación permisible puede depender en algunos casos del contexto específico. Como se usa en el presente documento, "importancia" o "significativo" se refiere a un análisis estadístico de la probabilidad de que exista una asociación no aleatoria entre dos o más entidades. Para determinar si una relación es o no "significativa" o tiene "importancia", se pueden realizar manipulaciones estadísticas de los datos para calcular una probabilidad, expresada como un "valor p". Los valores de p que caen por debajo de un punto de corte definido por el usuario se consideran significativos. En algunas realizaciones, un valor p inferior o igual a 0.05, en algunas realizaciones inferior a 0.01, en algunas realizaciones inferior a 0.005 y en algunas realizaciones inferior a 0.001, se consideran significativos. En consecuencia, un valor p mayor o igual a 0.05 se considera no significativo.

Como se usa en el presente documento, "adyacente" se refiere a la proximidad de dos estructuras o elementos. En particular, los elementos que se identifican como "adyacentes" pueden ser colindantes o conectados. Dichos elementos también pueden estar cerca o próximos entre sí sin necesariamente contactarse entre sí. En algunos casos, el grado exacto de proximidad puede depender del contexto específico.

Como se usa en el presente documento, una pluralidad de artículos, elementos estructurales, elementos compositivos y/o materiales pueden presentarse en una lista común por conveniencia. Sin embargo, estas listas deben interpretarse como si cada miembro de la lista estuviera identificado individualmente como un miembro único e independiente. Por lo tanto, ningún miembro individual de dicha lista debe interpretarse como un equivalente de facto de cualquier otro miembro de la misma lista con base únicamente en su presentación en un grupo común sin indicaciones en contrario.

Las concentraciones, cantidades y otros datos numéricos pueden presentarse en el presente documento en un formato de intervalo. Debe entenderse que dicho formato de intervalo se usa simplemente por conveniencia y brevedad y debe interpretarse de manera flexible para incluir no solo los valores numéricos enumerados explícitamente como los límites del intervalo, sino también para incluir todos los valores numéricos individuales o subintervalos incluidos dentro de ese intervalo como si cada valor numérico y subintervalo se recitara explícitamente. Por ejemplo, un intervalo numérico de

aproximadamente 1 a aproximadamente 4.5 debe interpretarse para incluir no solo los límites enumerados explícitamente de 1 a aproximadamente 4.5, sino también números individuales tales como 2, 3, 4 y subintervalos como 1 a 3, 2 a 4, etc. El mismo principio se aplica a los intervalos que indican un solo valor numérico, tal como "menos de aproximadamente 4,5", que debe interpretarse para incluir todos los valores e intervalos mencionados anteriormente. Además, tal interpretación debe aplicarse independientemente de la amplitud del intervalo o de la característica que se describe.

A menos que se defina de otro modo, todos los términos técnicos y científicos (tal como los acrónimos utilizados para los elementos químicos dentro de la tabla periódica) utilizados en el presente documento tienen el mismo significado que comúnmente entienden los expertos en la técnica a la que pertenece el objeto de la presente divulgación. Aunque cualquier método, dispositivo y material similar o equivalente a los descritos en el presente documento puede usarse en la práctica o ensayo del objeto de la presente invención, ahora se describen métodos, dispositivos y materiales representativos.

A menos que se indique lo contrario, todos los números que expresan cantidades de ingredientes, condiciones de reacción, etc. utilizados en la memoria descriptiva y las reivindicaciones deben entenderse modificados en todos los casos por el término "aproximadamente". En consecuencia, a menos que se indique lo contrario, los parámetros numéricos establecidos en esta memoria descriptiva y las reivindicaciones adjuntas son aproximaciones que pueden variar dependiendo de las propiedades deseadas que se pretende obtener con el objeto de la presente divulgación.

Como se usa en el presente documento, el término "aproximadamente", cuando se refiere a un valor o a una cantidad de masa, peso, tiempo, volumen, concentración o porcentaje, pretende abarcar variaciones de ± 20 % en algunas realizaciones, ± 10 % en algunas realizaciones, en algunas realizaciones ± 5 %, en algunas realizaciones ± 1 %, en algunas realizaciones $\pm 0,5$ % y en algunas realizaciones $\pm 0,1$ % de la cantidad especificada, ya que tales variaciones son apropiadas para realizar el método divulgado.

REIVINDICACIONES

1. Un método para clasificar una pluralidad de piezas (101) de aleación metálica en al menos una primera colección clasificada de piezas (101) de aleación metálica que tiene una primera composición de aleación metálica y una segunda colección clasificada de piezas (101) de aleación metálica que tiene una segunda composición de aleación metálica diferente de la composición de la primera aleación metálica, comprendiendo el método:
 - 5 transportar la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica en una cinta (103) transportadora a una velocidad predeterminada;
 - determinar una longitud aproximada de cada una de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica a lo largo de una línea sustancialmente paralela a una dirección de desplazamiento de la cinta (103) transportadora, en la que
 - 10 determinar la longitud aproximada de cada una de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica comprende medir la longitud aproximada de cada una de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica a medida que se desplazan a una velocidad predeterminada pasando por un dispositivo (111) de medición de distancia, en el que el dispositivo (111) de medición de distancia utiliza una fuente de luz para determinar la longitud aproximada de cada una de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica;
 - 15 exponer la pluralidad de piezas de aleación metálica a rayos X emitidos por una fuente (121) de rayos X de un sistema (120) de fluorescencia de rayos X, XRF, y detectar, mediante el sistema (120) XRF, señales de fluorescencia de rayos X emitidas por la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica en respuesta a los rayos X emitidos por la fuente (121) de rayos X;
 - 20 en el que el sistema (120) XRF está configurado para medir un espectro XRF emitido desde una particular de cada una de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica solo durante un período de tiempo determinado en función de la longitud aproximada medida para la particular de cada una de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica, en el que el período de tiempo se determina en función de la longitud aproximada medida de la particular de cada una de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica y la velocidad predeterminada de modo que solo el espectro XRF emitido por la particular de cada una de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica se mide y no desde un
 - 25 entorno que rodea a la particular de cada una de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica;
 - clasificar una primera de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica como que tiene la primera composición de aleación metálica y clasificar una segunda de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica como que tiene la segunda composición de aleación metálica, en el que las composiciones de aleación metálica de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica se clasifican como un resultado de la fluorescencia de rayos X adquirida detectada de cada una de la pluralidad de piezas de aleación metálica utilizando el sistema (120) XRF; y
 - 30 clasificar la primera de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica de la segunda de las piezas (101) de aleación metálica en respuesta a (1) clasificar la primera de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica como que tiene la primera composición de aleación metálica, y (2) clasificar la segunda de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica como que tiene la segunda composición de aleación metálica.
 - 35 2. El método como se cita en la reivindicación 1, en el que uno o más detectores (124) de rayos X del sistema (120) XRF adquieren el espectro XRF que comprende recuentos de energía para una pluralidad de canales de rayos X fluorescentes por cada una de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica a medida que se desplazan dentro de la proximidad del haz de rayos X emitido desde el sistema (120) XRF, en el que cada una de la pluralidad de canales representa un elemento diferente dentro de cada una de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica,
 - 40 en el que los recuentos de energía para cada uno de la pluralidad de canales se acumulan como recuentos de energía total acumulados para la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica, en el que los recuentos de energía para cada uno de la pluralidad de canales para la particular de cada una de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica se determina restando los recuentos acumulados de energía total acumulada recibidos por el detector (124) de rayos X para piezas (101) de aleación metálica escaneadas previamente de los recuentos acumulados de energía total
 - 45 acumulada recibidos por el detector (124) de rayos X para la particular de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica en uno por base de canal.
 3. El método como se cita en la reivindicación 2, que comprende, además:
 - normalizar un área de pico neto de cada uno de los recuentos de energía para cada uno de la pluralidad de canales para generar una firma de composición elemental para la primera de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica;
 - 50 y
 - comparar la firma de composición elemental para la primera de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica en una base de elemento por elemento con una o más firmas de composición elemental conocidas, en el que la una o más firmas de composición elemental conocidas corresponden cada una a un diferente composición de aleación de aluminio.
 - 55 4. El método como se cita en la reivindicación 3, en el que la primera de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica se clasifica como que tiene la primera composición de aleación metálica cuando la composición elemental

firma para la primera de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica coincide sustancialmente con la firma de composición elemental conocida correspondiente a la primera composición de aleación metálica.

5. El método como se cita en la reivindicación 3 o 4, en el que el área del pico neto se determina mediante:

aplicar un filtro de suavizado al espectro XRF para producir un gráfico de curva suave del espectro XRF;

5 eliminando los picos del gráfico de curva suave del espectro XRF para estimar los recuentos de energía de fondo del espectro XRF; y

restar los recuentos de energía de fondo estimados del gráfico de curva suave del espectro XRF para obtener los recuentos de energía finales para cada uno de la pluralidad de canales.

10 6. El método como se cita en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sistema (120) XRF comprende fuentes (910-913) de rayos X primera y segunda activadas por separado alineadas linealmente dentro de un único tubo (900) de rayos X, en el que la primera fuente (910-913) de rayos X está configurada para emitir rayos X hacia una primera línea individual de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica, y en el que la segunda fuente (910-913) de rayos X está configurada para emitir rayos X hacia una segunda línea individual de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica, en el que las líneas individuales primera y segunda de las piezas (101) de aleación metálica se desplazan sustancialmente paralelas entre sí.

15 7. El método como se cita en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las piezas (101) de aleación metálica son piezas de chatarra de aleación de aluminio, en el que la primera composición de aleación metálica es una primera composición de aleación de aluminio, en el que la segunda composición de aleación metálica es una segunda composición de aleación de aluminio, y en el que la primera y la segunda composición de aleación de aluminio son de diferentes composiciones de aleación de aluminio.

8. Un sistema (100) para la clasificación de aleaciones metálicas que comprende:

20 un sistema (103) transportador configurado para separar una pluralidad de piezas (101) de aleación metálica recibidas en flujos individuales primero y segundo paralelos de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica, cada una de las cuales se desplaza a una velocidad predeterminada, en el que la primera y la segunda de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica contienen diferentes aleaciones de aluminio;

30 un dispositivo (111) de medición de distancia configurado para determinar una longitud aproximada para cada uno de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica dentro de los flujos individuales primero y segundo paralelos a lo largo de una línea sustancialmente paralela a una dirección de desplazamiento del flujo individual respectivo, utilizando el dispositivo (111) de medición de distancia una fuente de luz para determinar la longitud aproximada de cada una de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica;

un sistema (120) XRF configurado para emitir rayos X desde una fuente (121) de rayos X hacia cada una de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica dentro de los flujos individuales primero y segundo paralelos y para detectar señales de fluorescencia de rayos X emitidas por la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica en respuesta a los rayos X emitidos por la fuente (121) de rayos X;

35 el sistema (120) XRF configurado para determinar espectros XRF separados para cada uno de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica dentro de los flujos individuales primero y segundo paralelos solo durante períodos de tiempo determinados en función de las longitudes aproximadas y las velocidades relativas predeterminadas de cada uno de los flujos individuales primero y segundo paralelos de modo que solo se mida el espectro XRF emitido desde una pieza (101) de aleación metálica respectiva y no desde un entorno que rodea la pieza (101) de aleación metálica respectiva;

40 circuitos (107) configurados para producir una pluralidad de espectros de recuentos netos por canal para una pluralidad de canales, cada uno de los cuales corresponde a un elemento químico, en el que cada una de la pluralidad de espectros pertenece a una de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica;

45 circuitos (107) configurados para normalizar cada uno de los recuentos netos para generar una firma de composición elemental para cada uno de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica;

50 circuitos (107) configurados para comparar cada una de las firmas de composición elemental generadas con una o más firmas de composición elemental conocidas, en el que una o más firmas de composición elemental conocidas corresponden cada una a una de una pluralidad de diferentes composiciones de aleación metálica de referencia estándar, con el fin de clasificar cada una de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica como correspondiente a al menos una de la pluralidad de diferentes composiciones de aleación metálica de referencia estándar, en el que cada una de la pluralidad de diferentes composiciones de aleación metálica de referencia estándar corresponde a diferentes composiciones de aleación de aluminio de referencia estándar; y

un dispositivo (126-129) clasificador configurado para clasificar la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica en una pluralidad de receptáculos (136-139) en función de su composición de aleación metálica clasificada, en el que el

dispositivo (126-129) clasificador es configurado de manera que (1) un primero de la pluralidad de receptáculos (136-139) corresponde a un primero de la pluralidad de diferentes composiciones de aleación de aluminio de referencia estándar, y (2) un segundo de la pluralidad de receptáculos (136-139) corresponde a una segunda de la pluralidad de diferentes composiciones de aleación de aluminio de referencia estándar, y en el que el dispositivo (126-129) de clasificación está configurado para clasificar la primera de las piezas (101) de aleación de aluminio en el primero de la pluralidad de receptáculos (136-139) y la segunda de las piezas (101) de aleación de aluminio en el segundo de la pluralidad de receptáculos (136-139).

9. El sistema (100) como se cita en la reivindicación 8, en el que la pluralidad de diferentes composiciones de aleación metálica de referencia estándar se encuentra dentro de una misma serie de aleación de aluminio.

10. El sistema (100) como se cita en la reivindicación 8 o 9, en el que el sistema (120) XRF comprende fuentes (910-913) primera y segunda de rayos X activados por separado alineados linealmente dentro de un solo tubo (900) de rayos X, en el que la primera fuente (910-913) de rayos X está configurada para emitir rayos X hacia el primer flujo único paralelo de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica, y en el que la segunda fuente (910-913) de rayos X está configurada para emitir rayos x hacia el segundo flujo individual paralelo de la pluralidad de piezas (101) de aleación metálica.

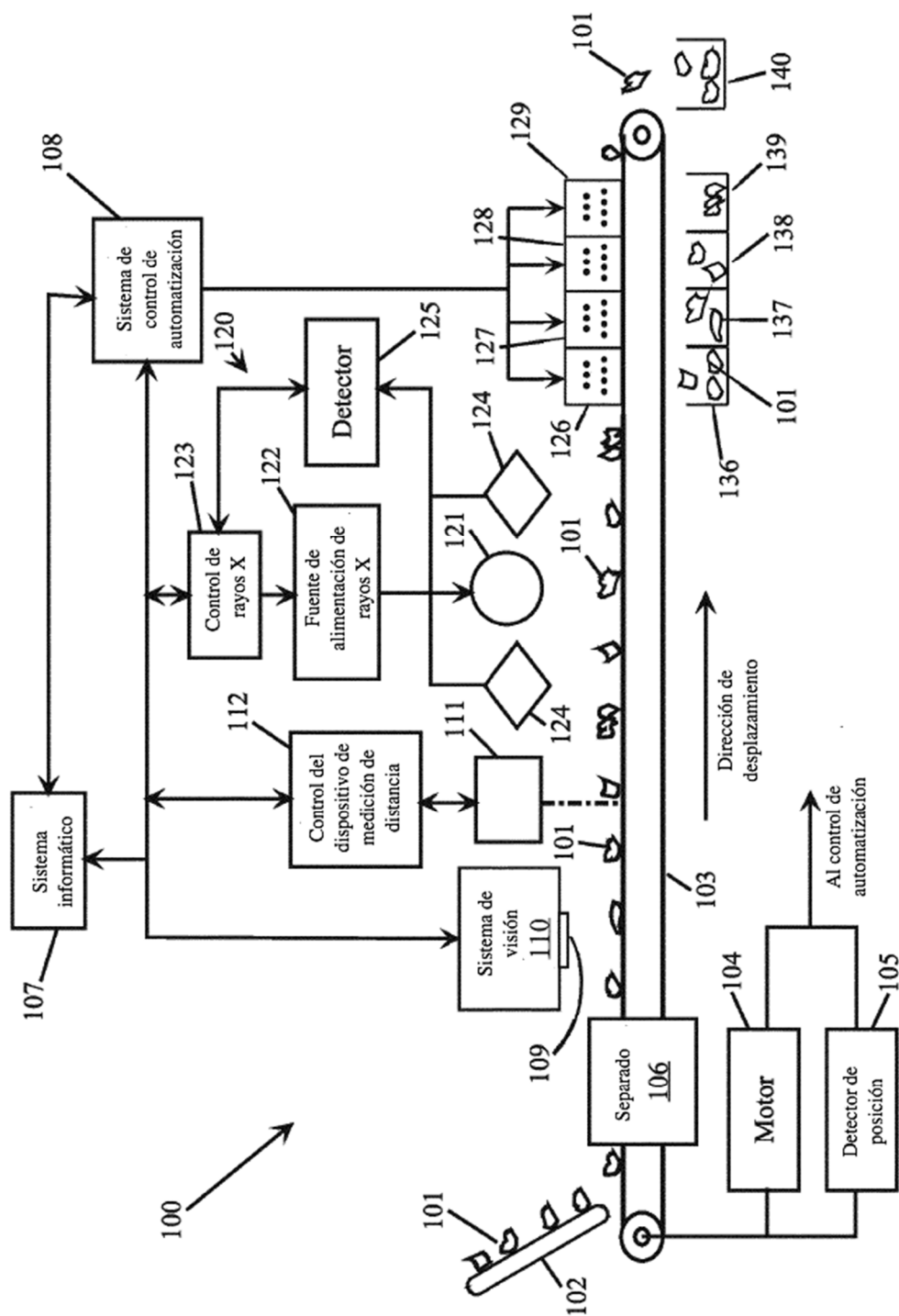


FIG. 1

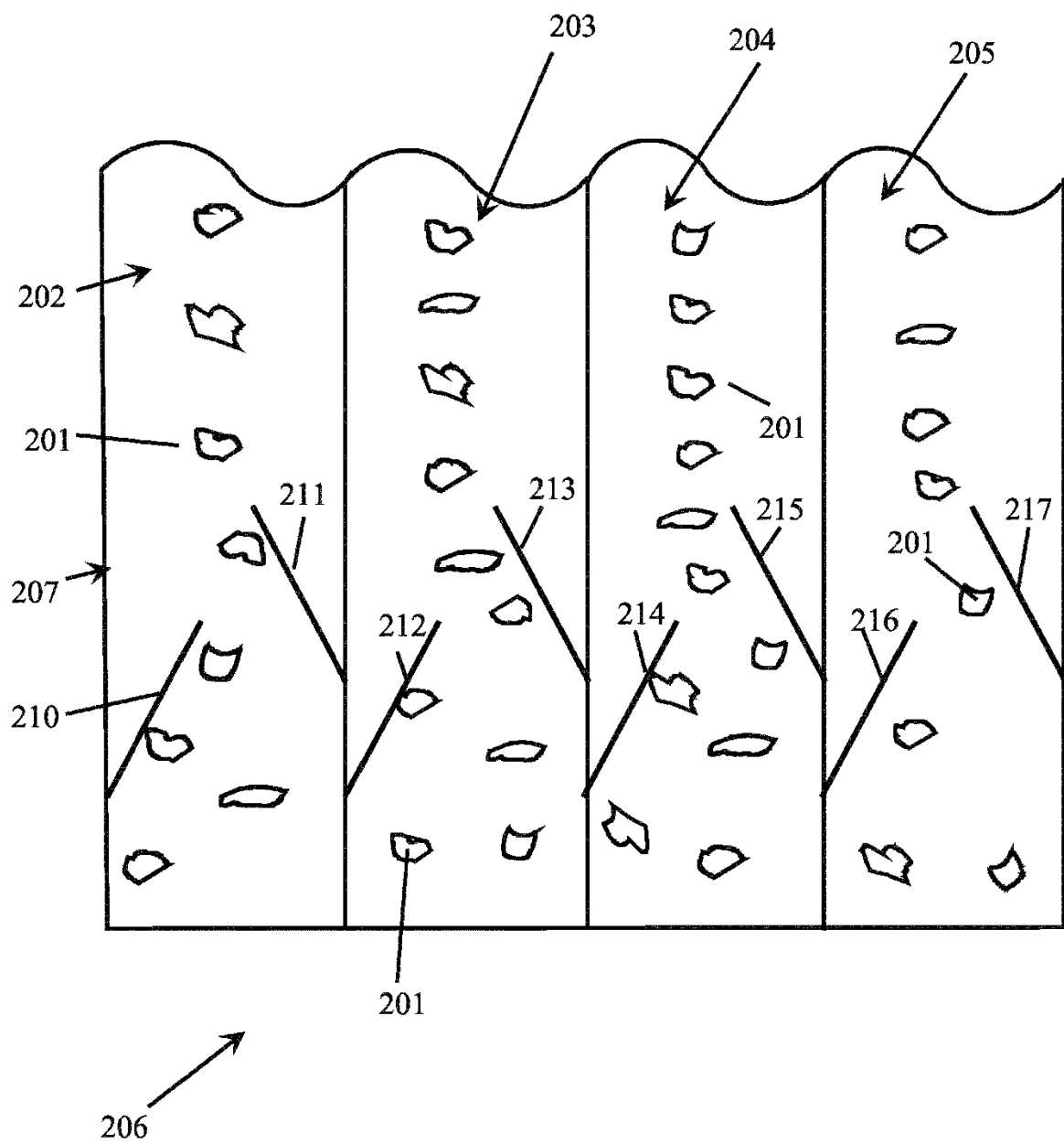


FIG. 2

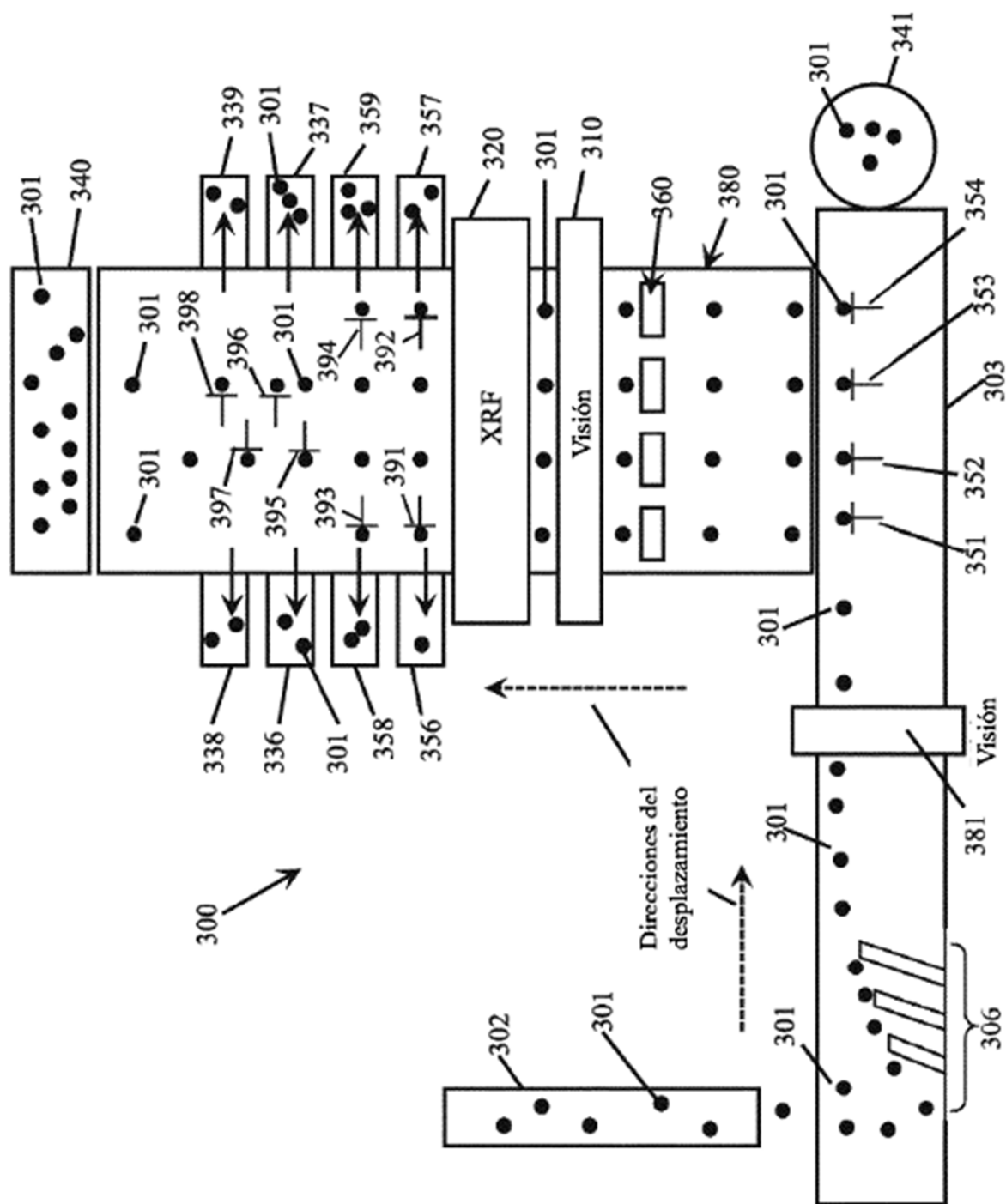


FIG. 3

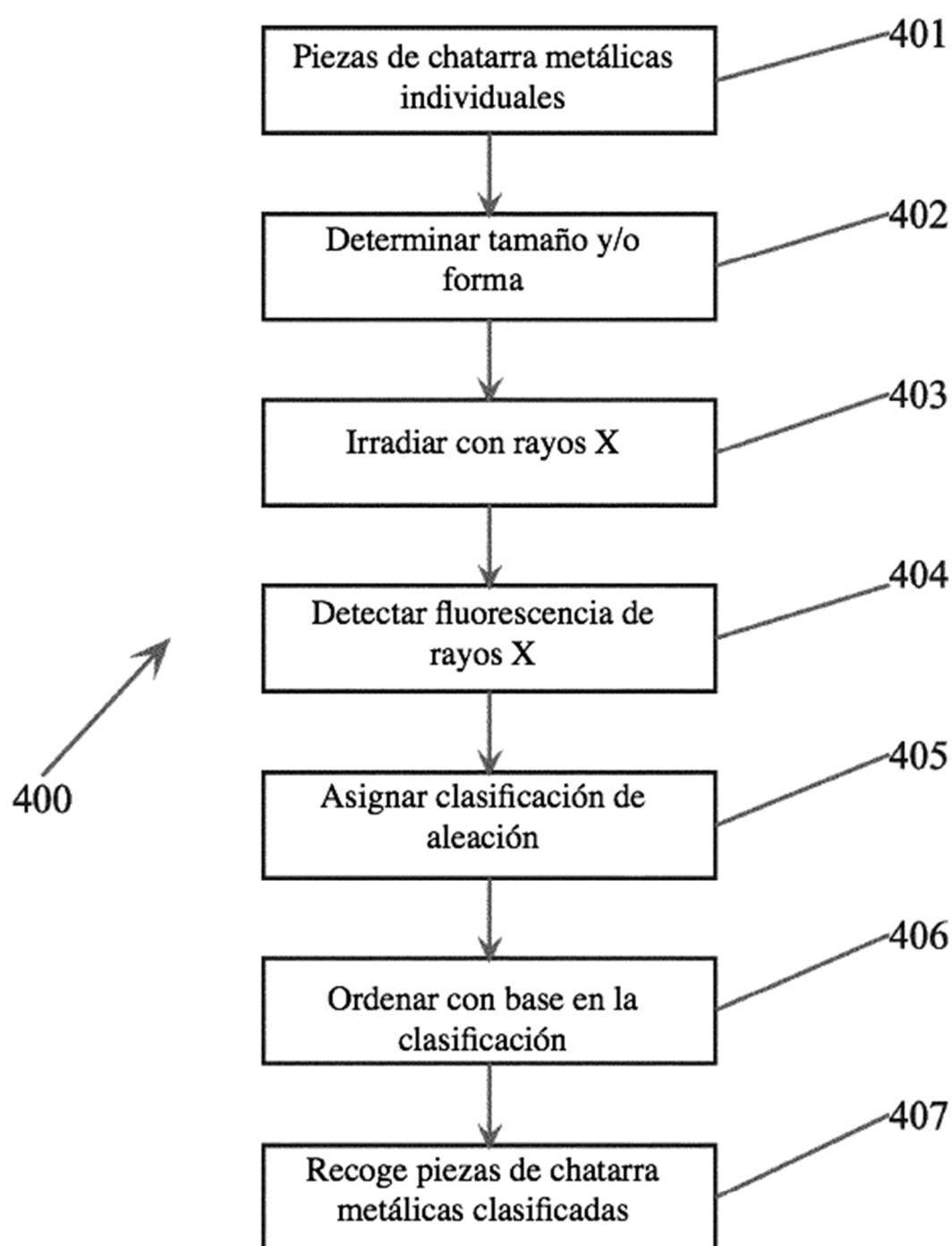


FIG. 4

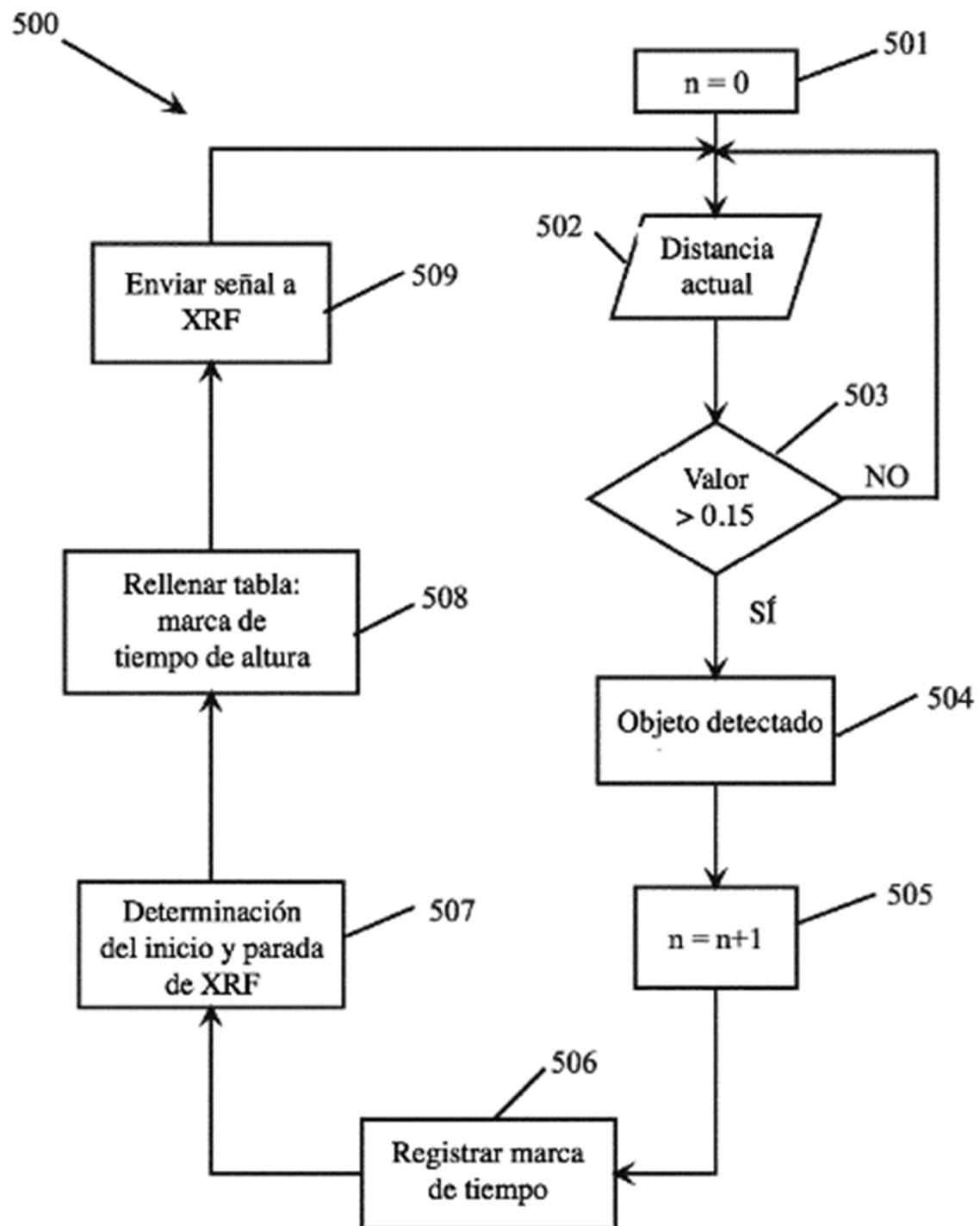


FIG. 5

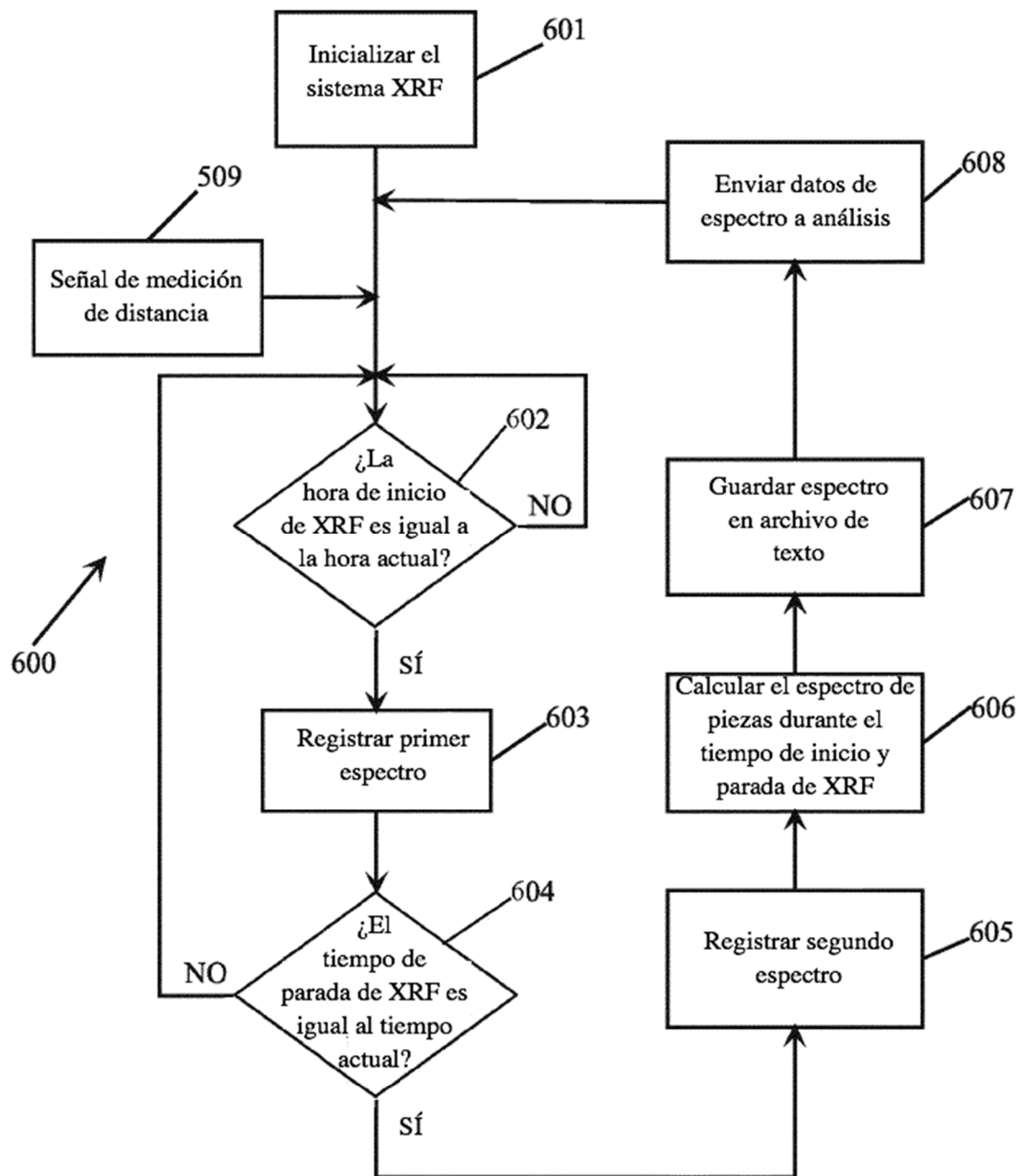


FIG. 6

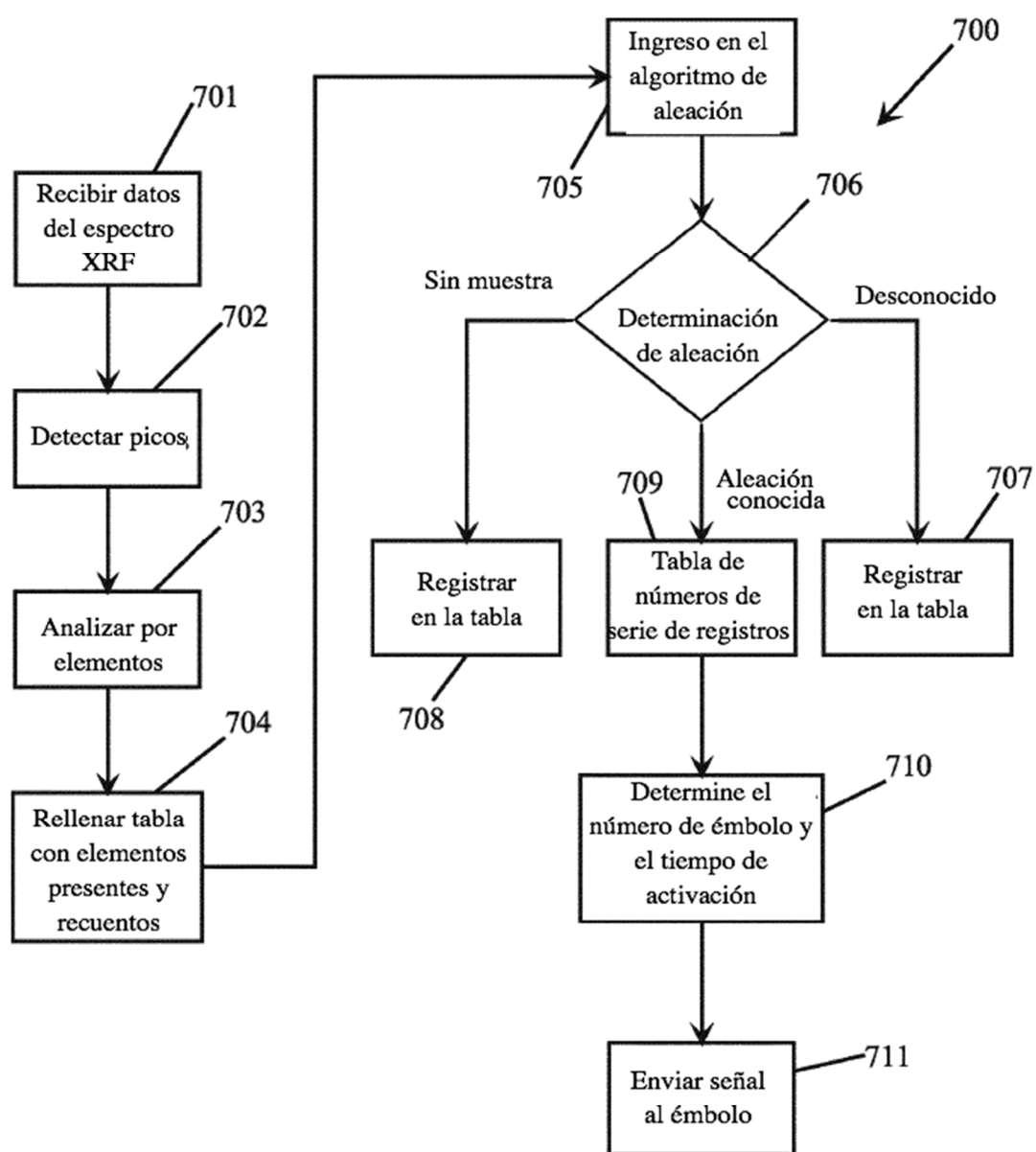


FIG. 7

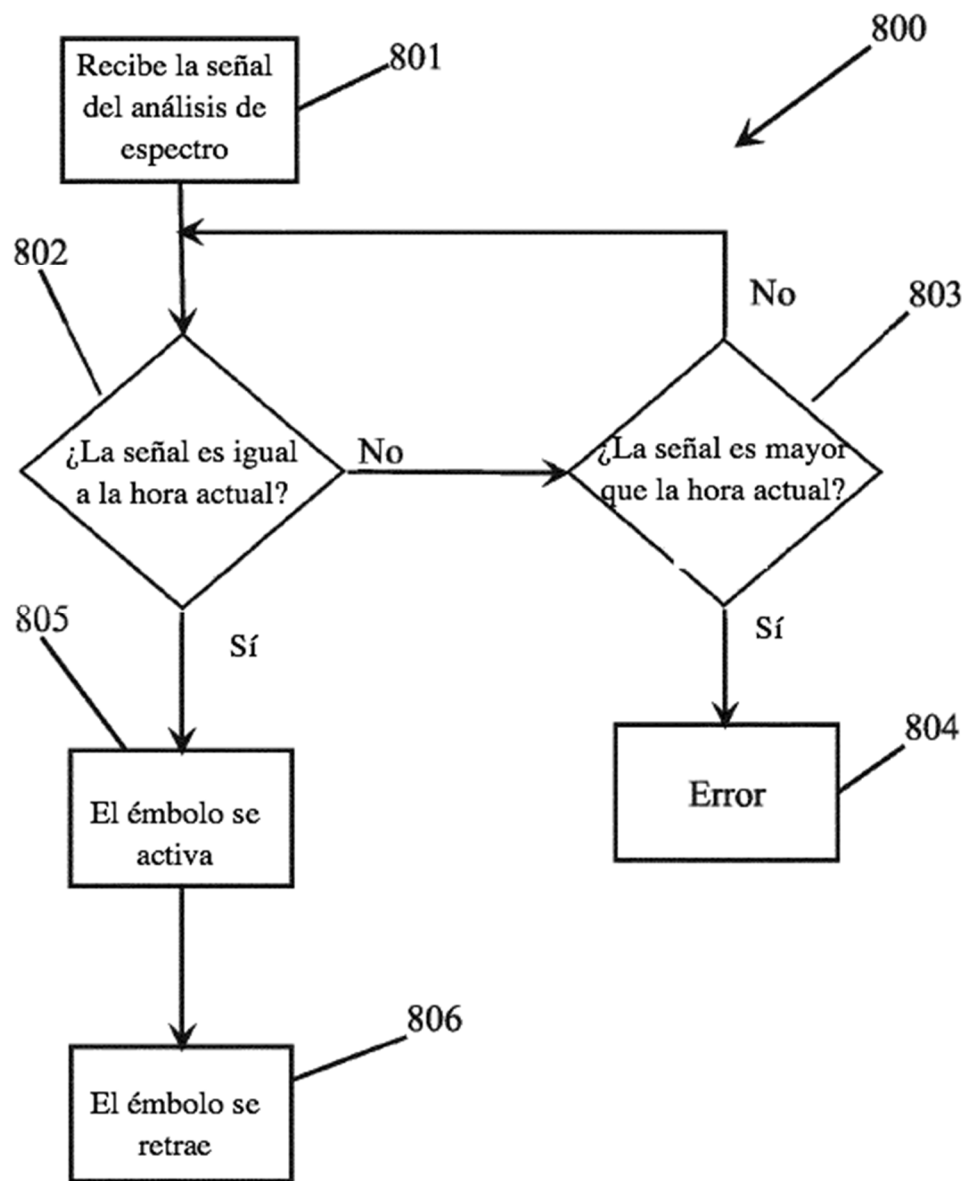


FIG. 8

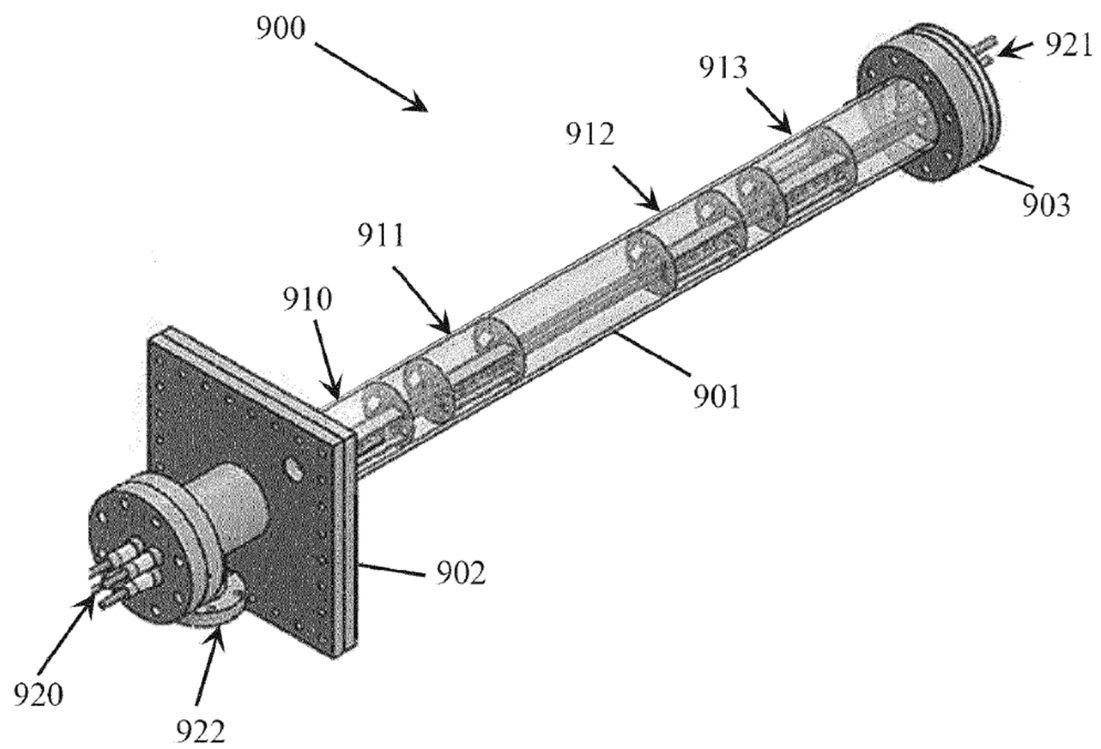


FIG. 9

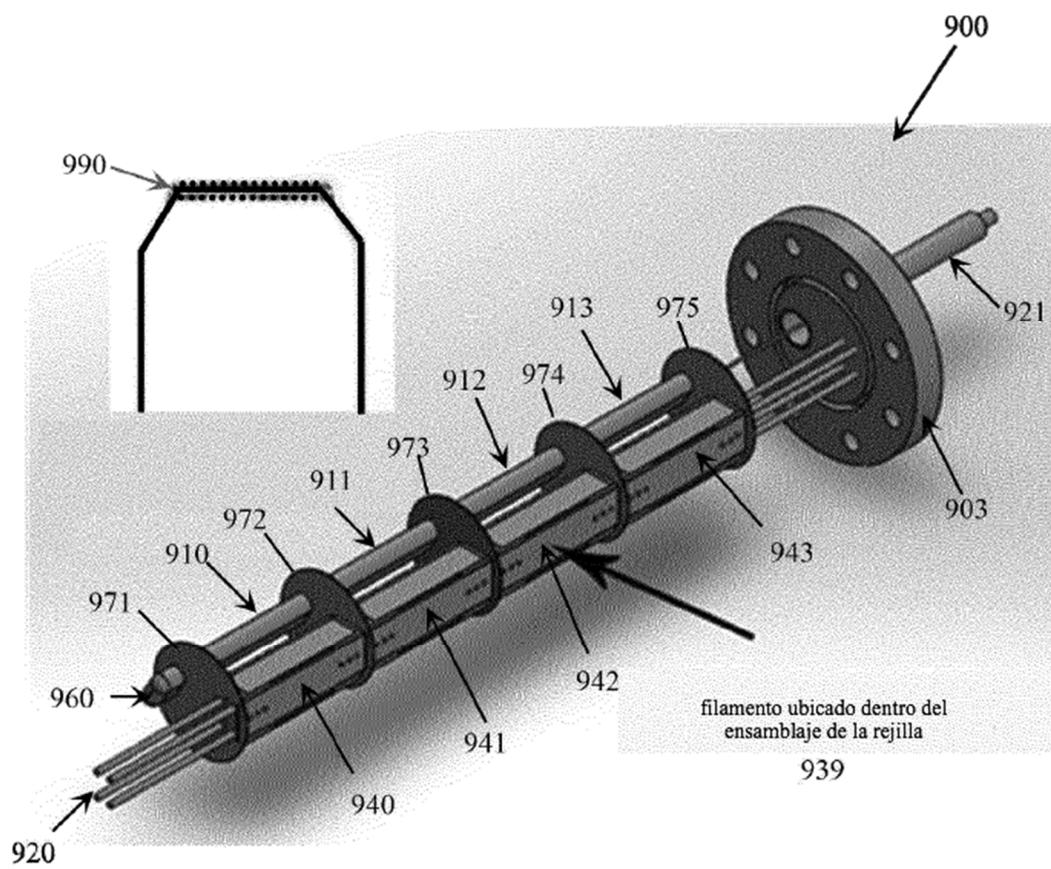


FIG. 10

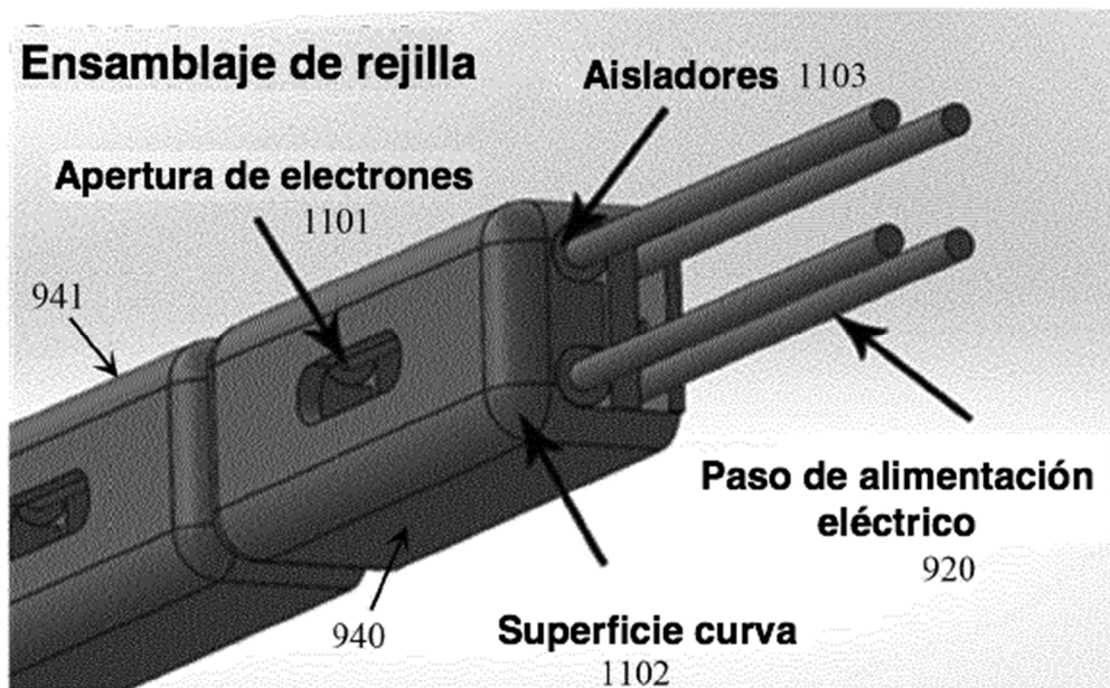


FIG. 11

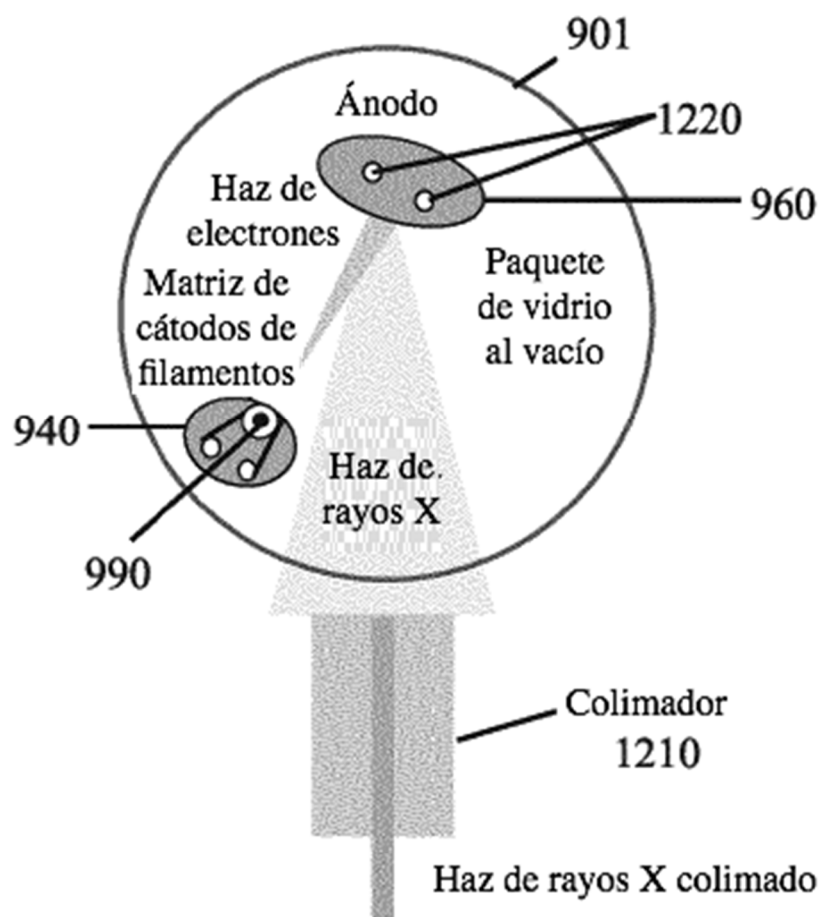


FIG. 12

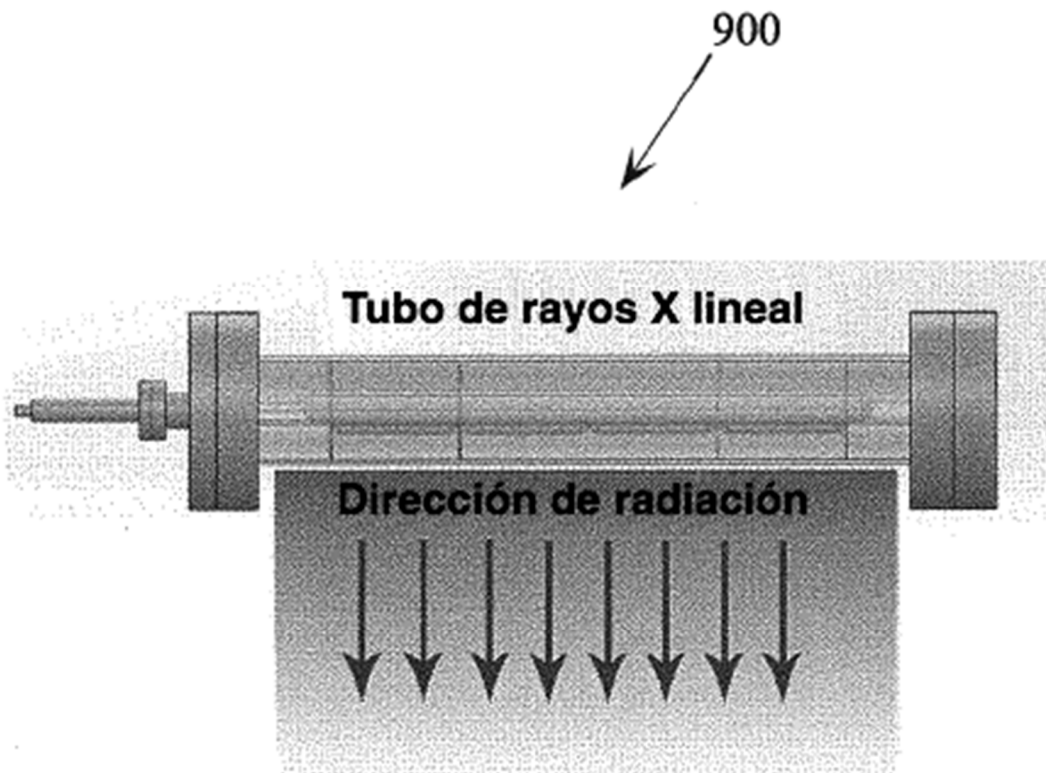


FIG. 13

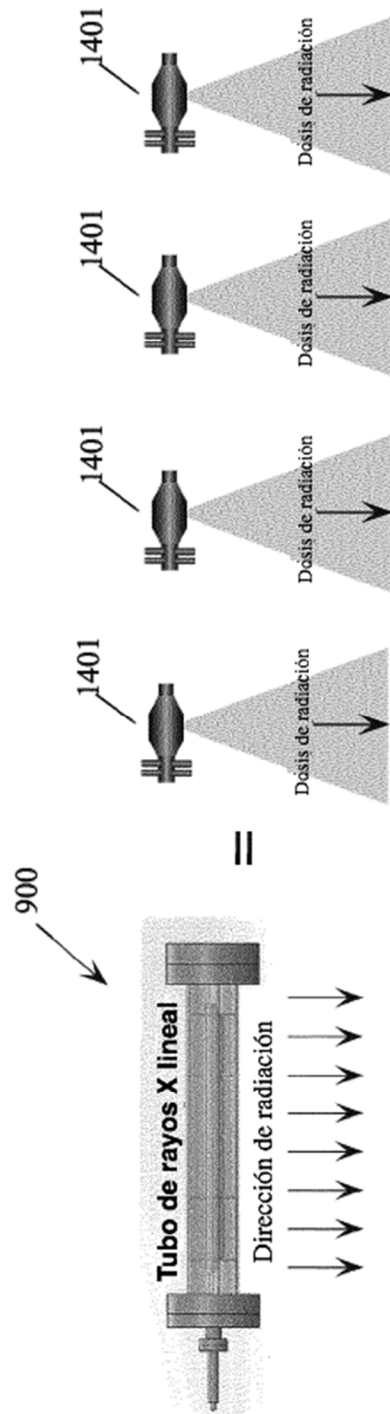


FIG. 14

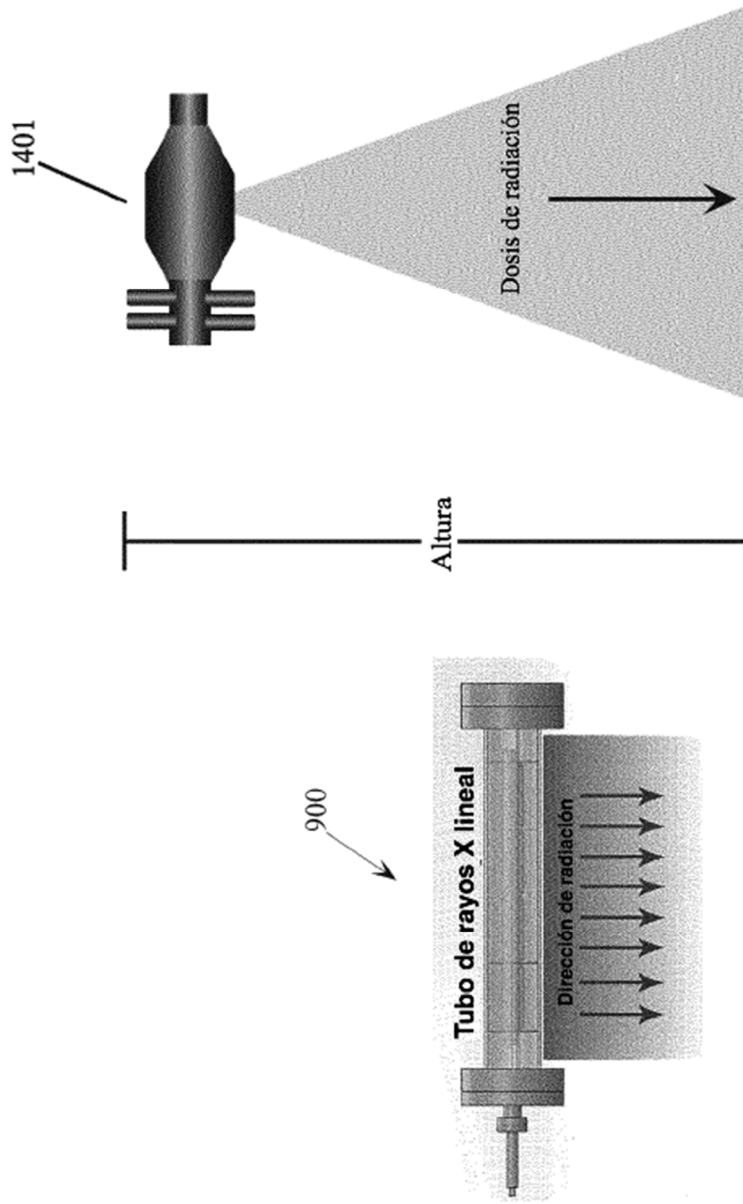


FIG. 15

NO A ESCALA

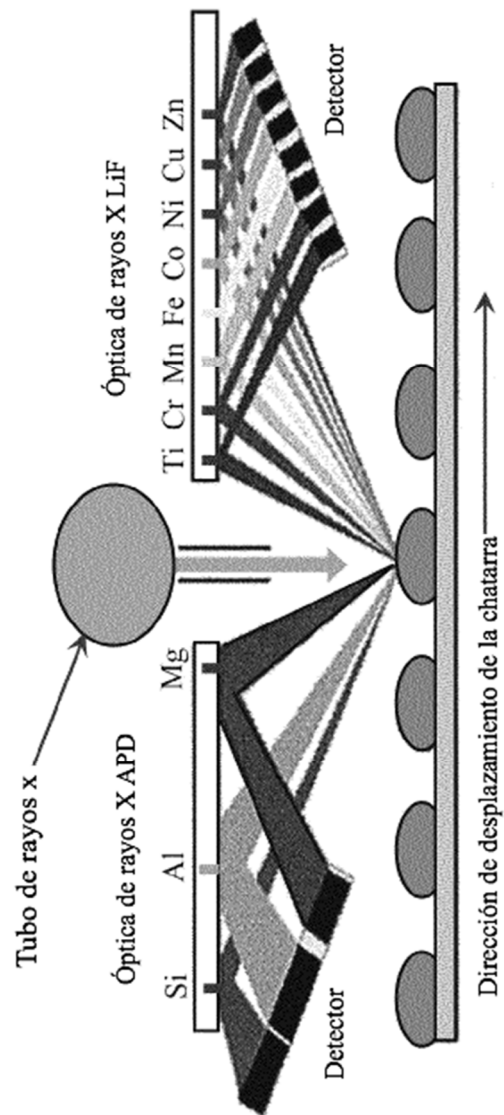


FIG. 16

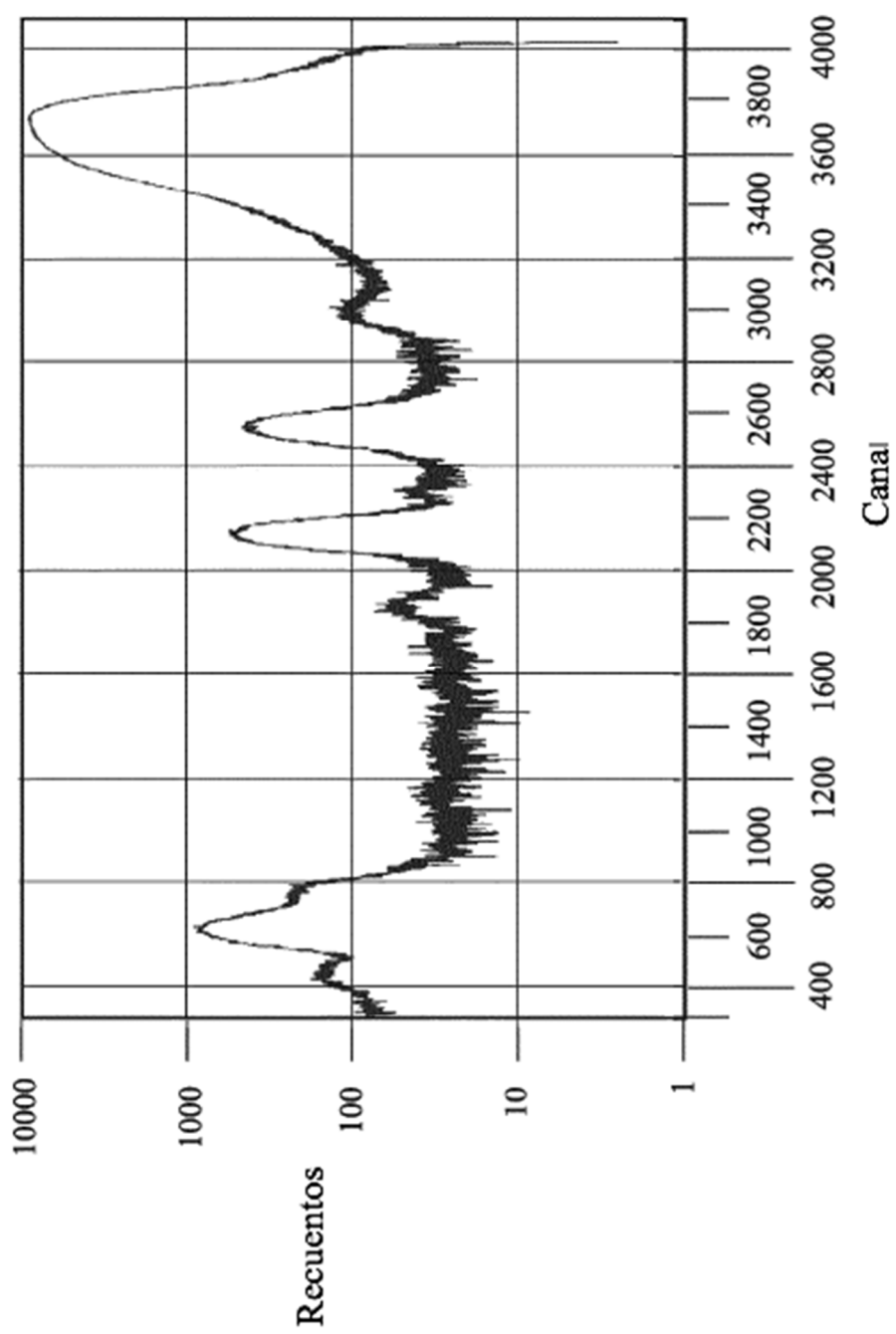


FIG. 17

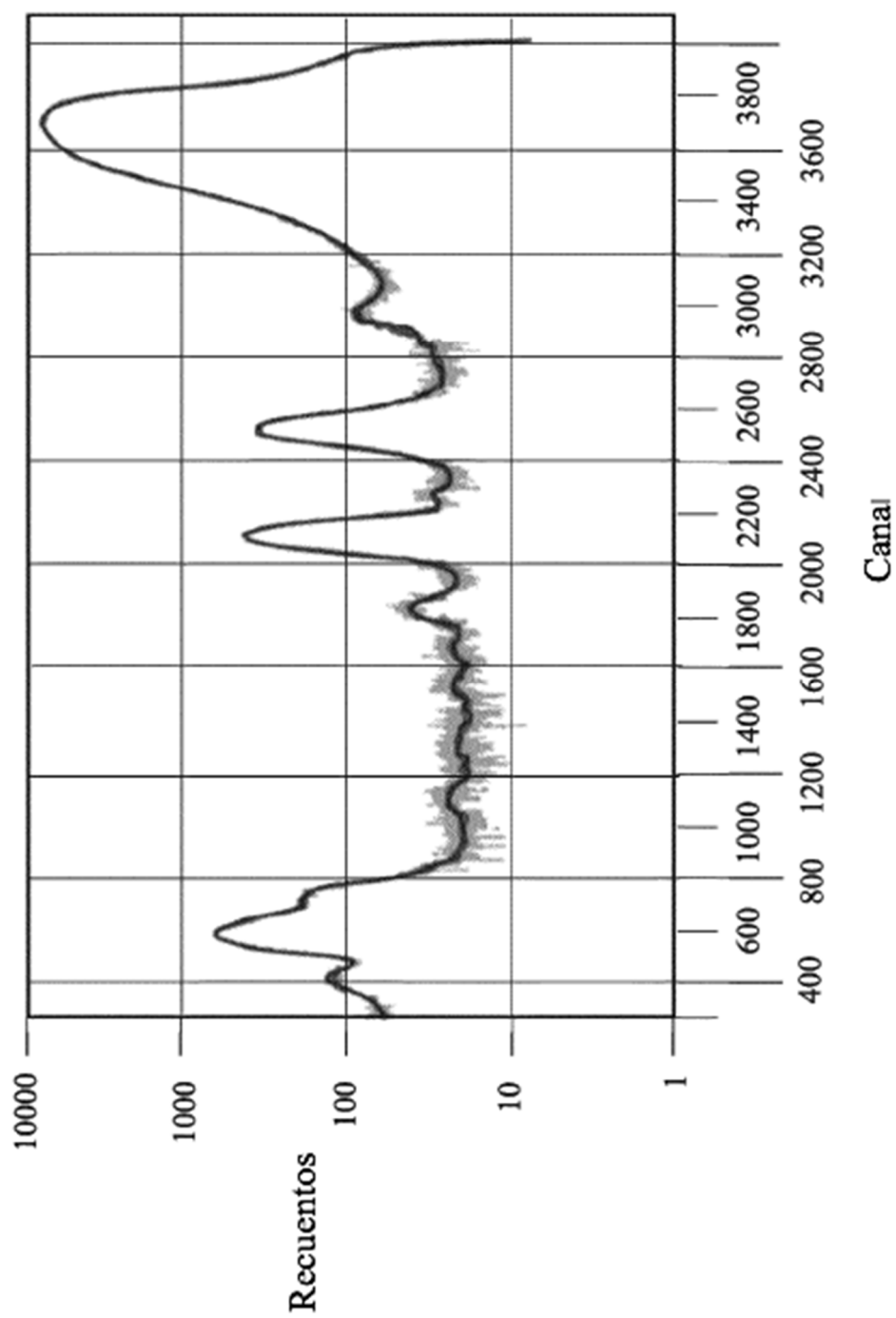


FIG. 18

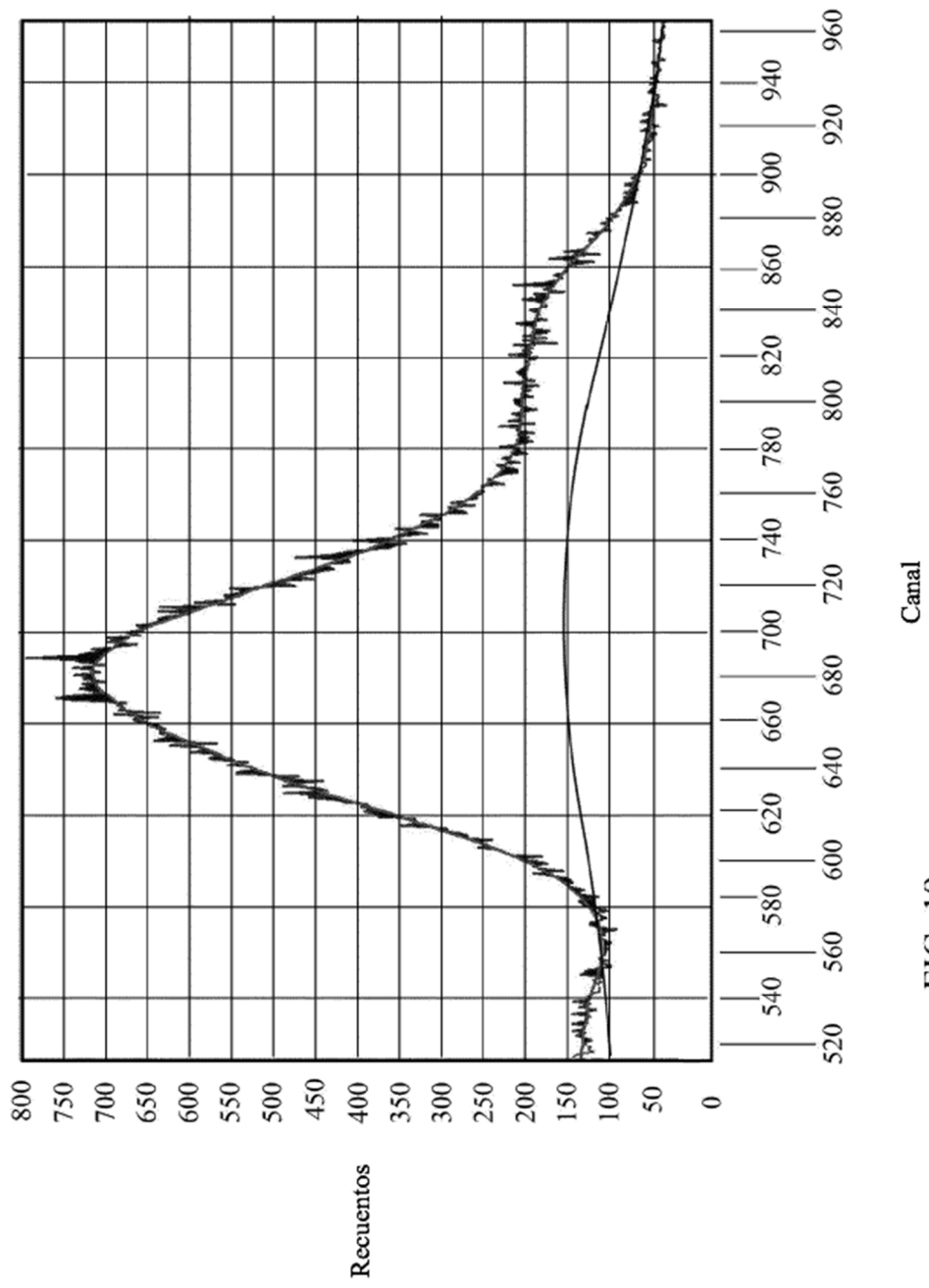


FIG. 19

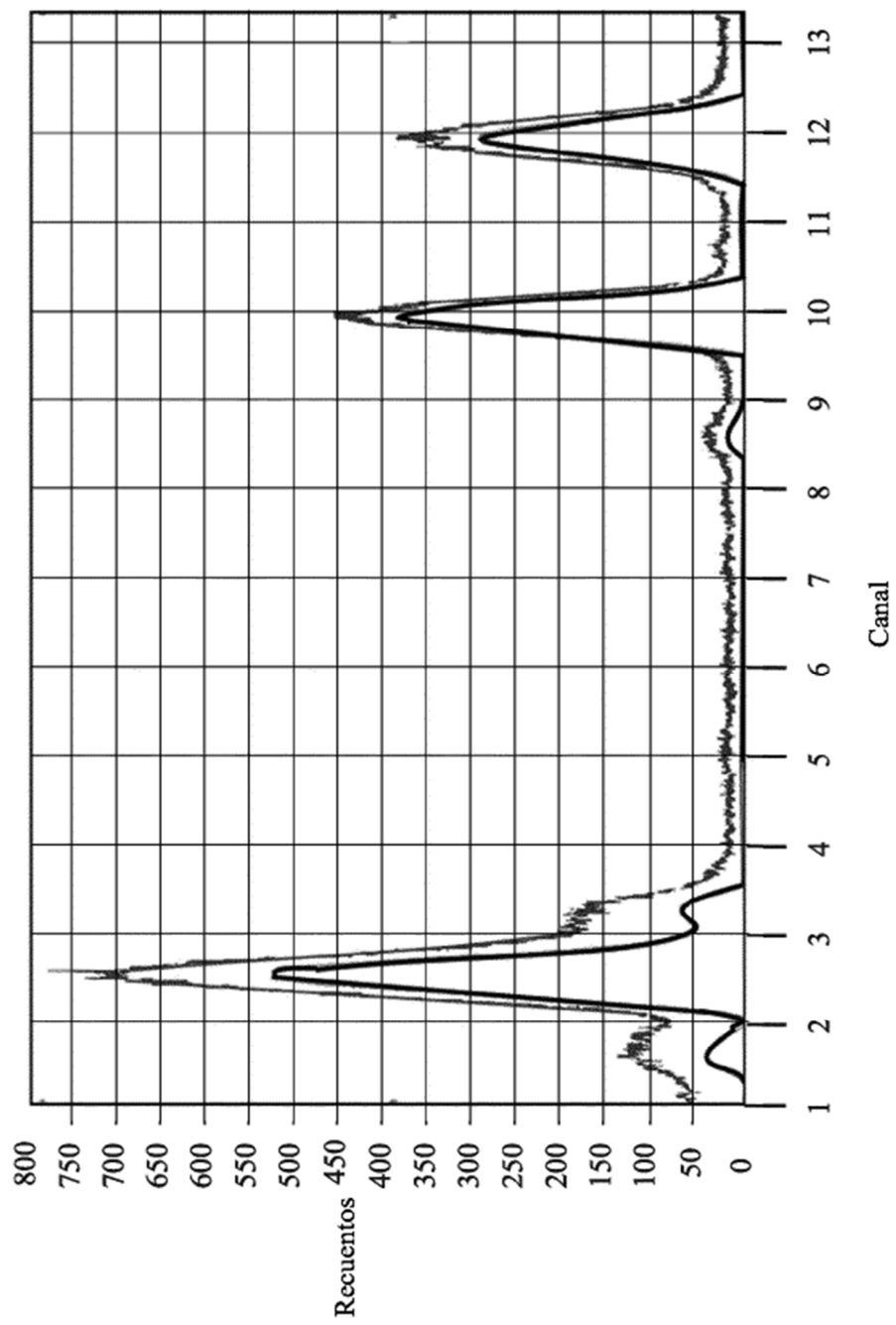


FIG. 20

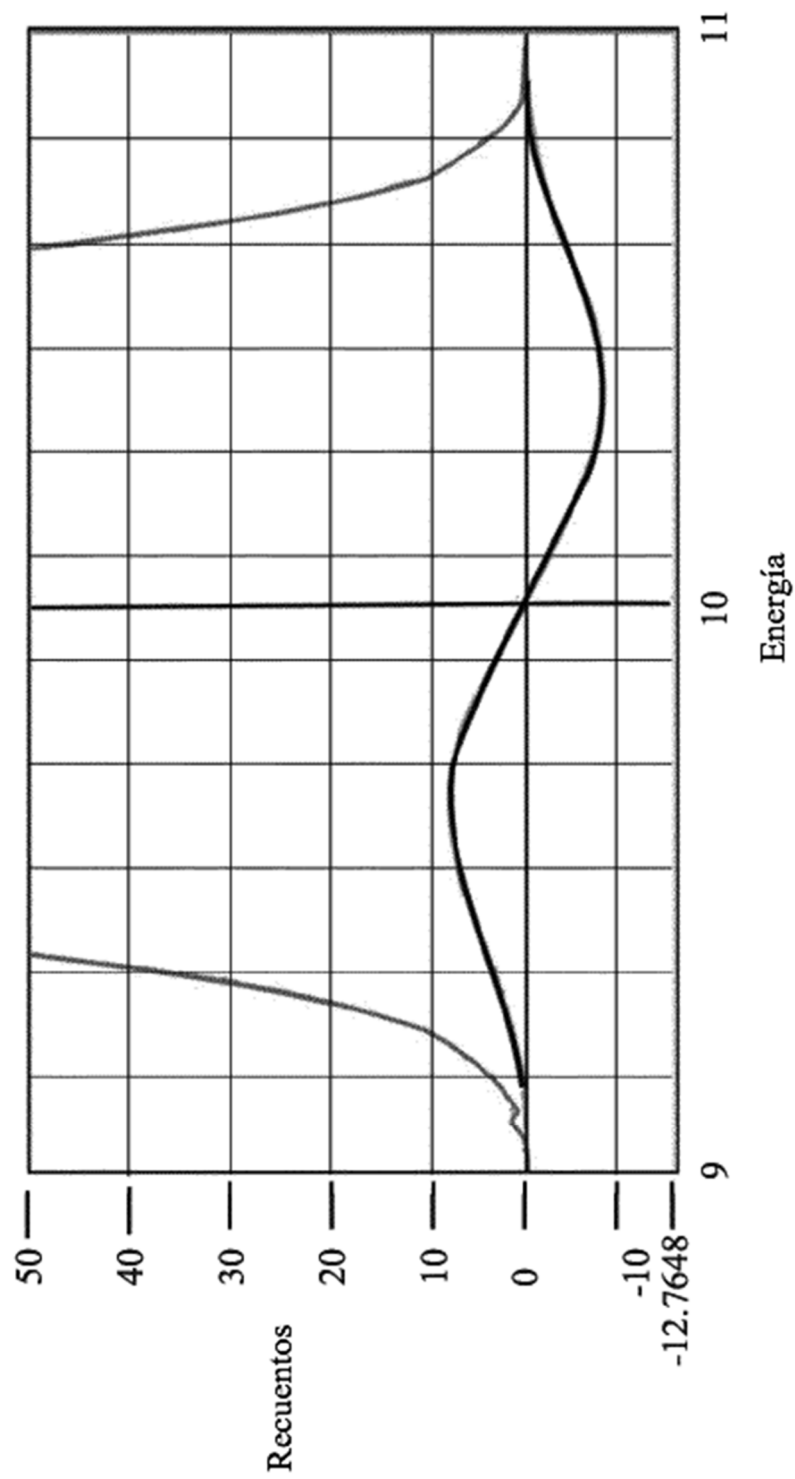


FIG. 21

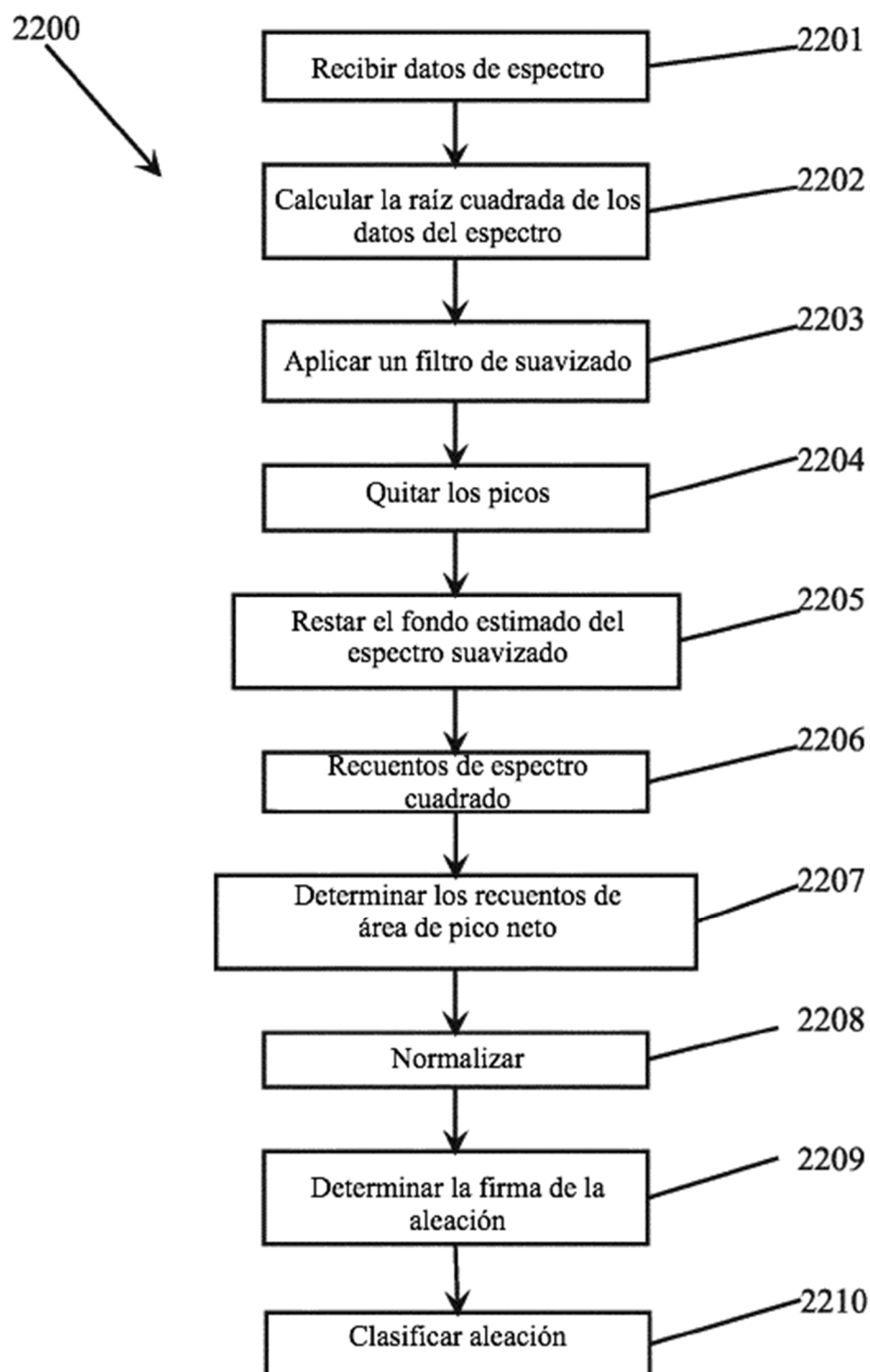


FIG. 22

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ag	B	Otros		Resto de Al
												Cada	Total	
6013	0.6-1.0	0.5	0.6-1.1	0.20-0.8	0.8-1.2	0.1	...	0.25	0.1	...	...	0.05	0.15	Resto
6022	0.8-1.5	0.05-0.2	0.01-0.11	0.02-0.10	0.45-0.7	0.1	...	0.25	0.15	0.25	0.15	0.05	0.15	Resto
6061	0.4-0.8	0.7	0.15-0.4	0.15	0.8-1.2	0.04-0.35	...	0.25	0.15	0.25	0.15	0.05	0.15	Resto

FIG. 23

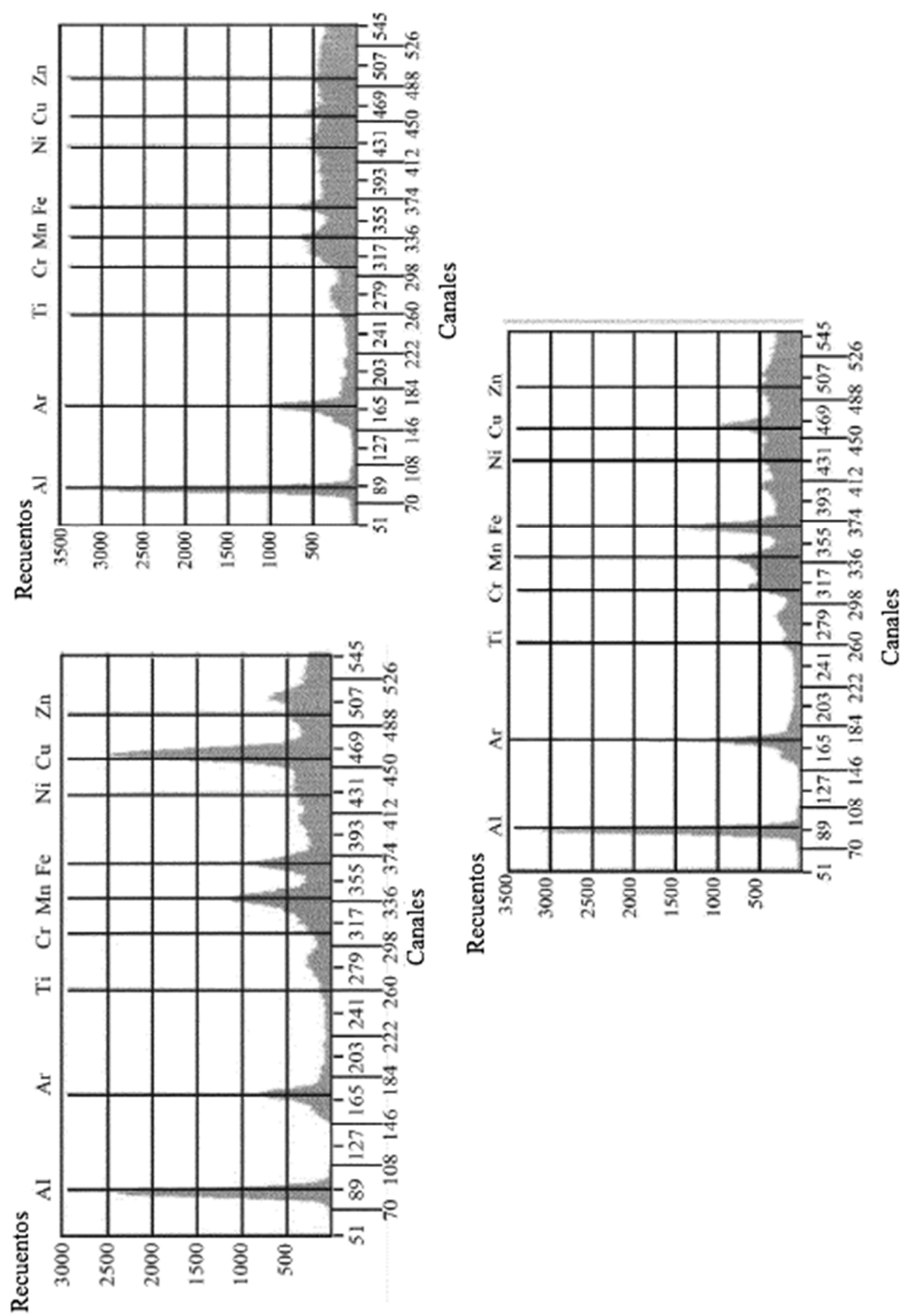


FIG. 24

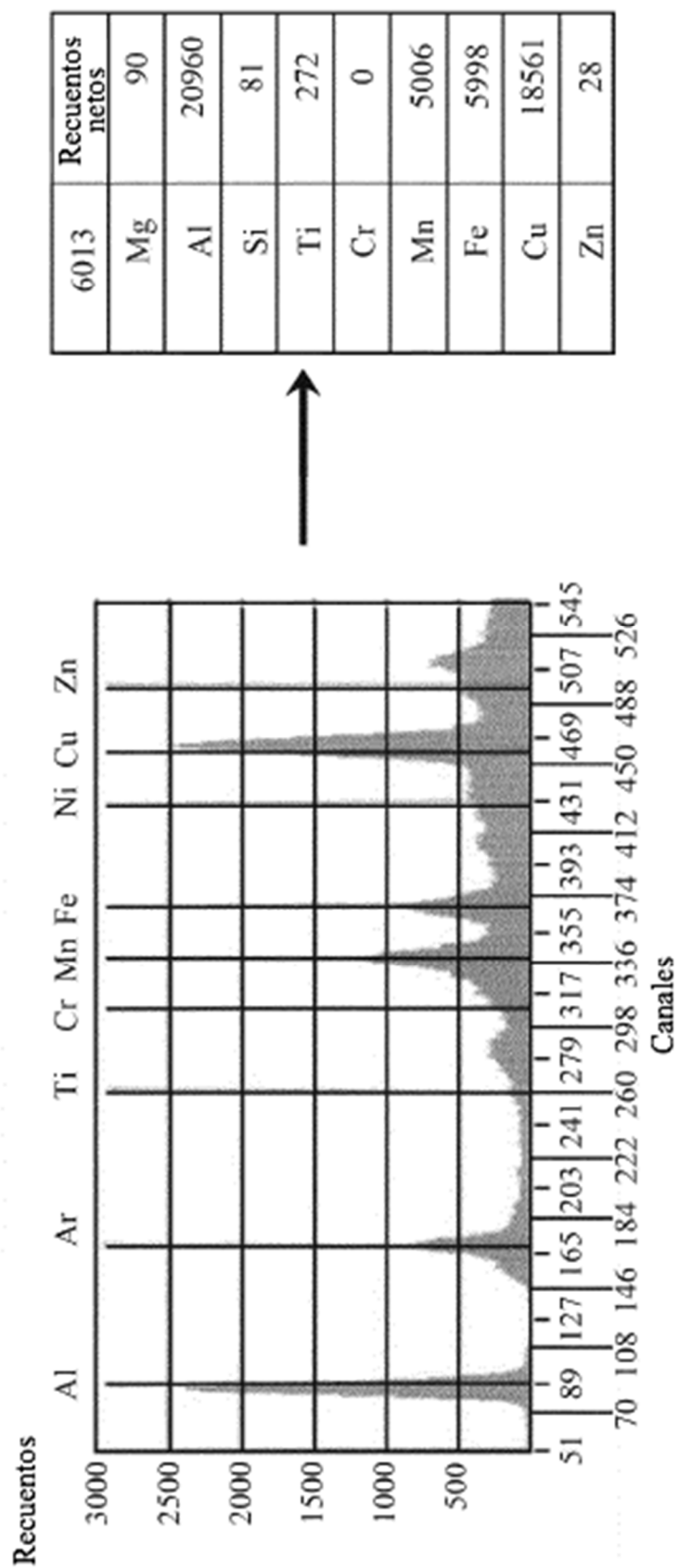


FIG. 25

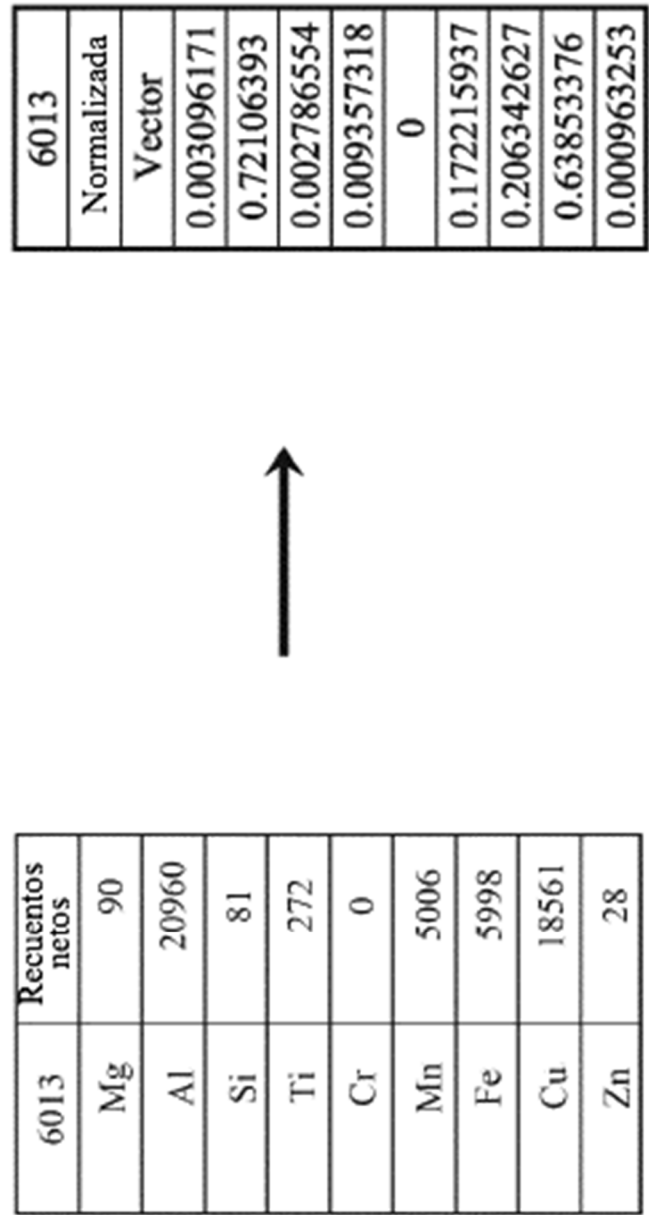


FIG. 26

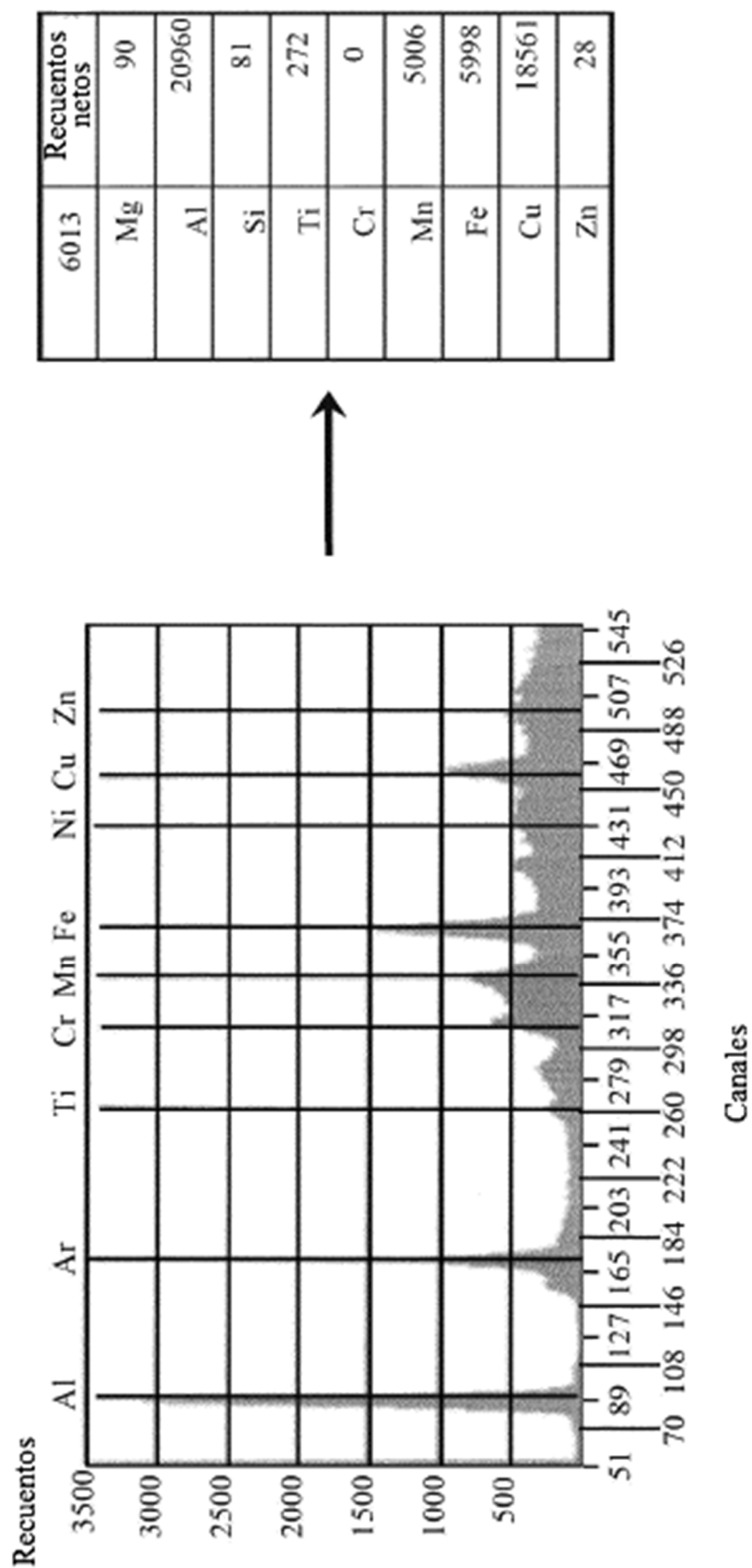


FIG. 27

6013	Recuentos netos	6013	ECS
Mg	90	Mg	0.00
Al	20960	Al	0.41
Si	81	Si	0.00
Ti	272	Ti	0.01
Cr	0	Cr	0.00
Mn	5006	Mn	0.10
Fe	5998	Fe	0.12
Cu	18561	Cu	0.36
Zn	28	Zn	0.00



FIG. 28

Muestra	6013			
	Firma ECS			
	ECS		Error	
Mg	0.00	+ -	0.03	
Al	0.40	+ -	0.05	
Si	0.00	+ -	0.03	
Ti	0.01	+ -	0.03	
Cr	0.00	+ -	0.03	
Mn	0.09	+ -	0.05	
Fe	0.11	+ -	0.05	
Cu	0.35	+ -	0.05	
Zn	0.00	+ -	0	

	6022			
	Firma ECS			
	ECS		Error	
Mg	0.00	+ -	0.03	
Al	0.78	+ -	0.05	
Si	0.00	+ -	0.03	
Ti	0.00	+ -	0.03	
Cr	0.00	+ -	0.03	
Mn	0.04	+ -	0.05	
Fe	0.11	+ -	0.05	
Cu	0.05	+ -	0.05	
Zn	0.01	+ -	0	

FIG. 29

5086 Vector normalizado	5086 Vector normalizado	Componentes multiplicados
0.002319058	0.002319058	5.37803E-06
0.892558928	0.892558928	0.79666144
0.000649336	0.000649336	4.21637E-07
0	0	0
0.035296058	0.035296058	0.001245812
0.33116144	0.33116144	0.109667899
0.287841442	0.287841442	0.082852696
0.075369375	0.075369375	0.005680543
0.062336271	0.062336271	0.003885811
Producto punto		1

5086 Vector normalizado	5052 Vector normalizado	Componentes multiplicados
0.002319058	0	0
0.892558928	0.968282127	0.864248857
0.000649336	0	0
0	0.002808847	0
0.035296058	0.127122989	0.00448694
0.33116144	0.069133885	0.022894477
0.287841442	0.200968489	0.05784706
0.075369375	0	0
0.062336271	0.033071911	0.00206158
Producto punto		0.951538914

FIG. 30

5086 Vector normalizado	5182 Vector normalizado	Componentes multiplicados
0.002319058	0	0
0.892558928	0.910268527	0.8124683
0.000649336	0.00142185	9.23259E-07
0	0	0
0.035296058	0	0
0.33116144	0.306171753	0.101392278
0.287841442	0.271241632	0.078074582
0.075369375	0.007109251	0.00053582
0.062336271	0.06304101	0.003964842
Producto punto		0.996436747

5086 Vector normalizado	5454 Vector normalizado	Componentes multiplicados
0.002319058	0.011960463	2.76075E-6
0.892558928	0.806218084	0.719597149
0.000649336	0.004899213	3.18124E-6
0	0.00293037	0
0.035296058	0.020466804	0.000722398
0.33116144	0.489097091	0.161970097
0.287841442	0.328064094	0.094430442
0.075369375	0.028937405	0.002180994
0.062336271	0.043360321	0.002702921
Producto punto		0.981609942

FIG. 31

5052			5086			5182			5454		
5052	Recuentos netos	ECS	5086	Recuentos netos	ECS	5182	Recuentos netos	ECS	5454	Recuentos netos	ECS
Mg	0	0.00	Mg	50	0.00	Mg	0	0.00	Mg	26	0.00
Al	21373	0.69	Al	19244	0.53	Al	19206	0.58	Al	17608	0.47
Si	0	0.00	Si	14	0.00	Si	30	0.00	Si	107	0.00
Ti	62	0.00	Ti	0	0.00	Ti	0	0.00	Ti	64	0.00
Cr	2806	0.09	Cr	761	0.02	Cr	0	0.00	Cr	447	0.01
Mn	1526	0.05	Mn	7140	0.20	Mn	6460	0.20	Mn	10682	0.28
Fe	4436	0.14	Fe	6206	0.17	Fe	5723	0.17	Fe	7165	0.19
Cu	0	0.00	Cu	1625	0.04	Cu	150	0.00	Cu	632	0.02
Zn	730	0.02	Zn	1344	0.04	Zn	1342	0.04	Zn	947	0.03

FIG. 32

ECS 5052			ECS 5086			ECS 5182			ECS 5454		
	Valor	Error		Valor	Error		Valor	Error		Valor	Error
Mg	0.00	± 0.02	Mg	0.00	± 0.02	Mg	0.00	± 0.02	Mg	0.00	± 0.02
Al	0.69	± 0.02	Al	0.53	± 0.02	Al	0.58	± 0.02	Al	0.47	± 0.02
Si	0.00	± 0.02	Si	0.00	± 0.02	Si	0.00	± 0.02	Si	0.00	± 0.02
Ti	0.00	± 0.02	Ti	0.00	± 0.02	Ti	0.00	± 0.02	Ti	0.00	± 0.02
Cr	0.09	± 0.02	Cr	0.02	± 0.02	Cr	0.00	± 0.02	Cr	0.01	± 0.02
Mn	0.05	± 0.02	Mn	0.20	± 0.02	Mn	0.20	± 0.02	Mn	0.28	± 0.02
Fe	0.14	± 0.02	Fe	0.17	± 0.02	Fe	0.17	± 0.02	Fe	0.19	± 0.02
Cu	0.00	± 0.01	Cu	0.04	± 0.01	Cu	0.00	± 0.01	Cu	0.02	± 0.01
Zn	0.02	± 0.02	Zn	0.04	± 0.02	Zn	0.04	± 0.02	Zn	0.03	± 0.02

FIG. 33

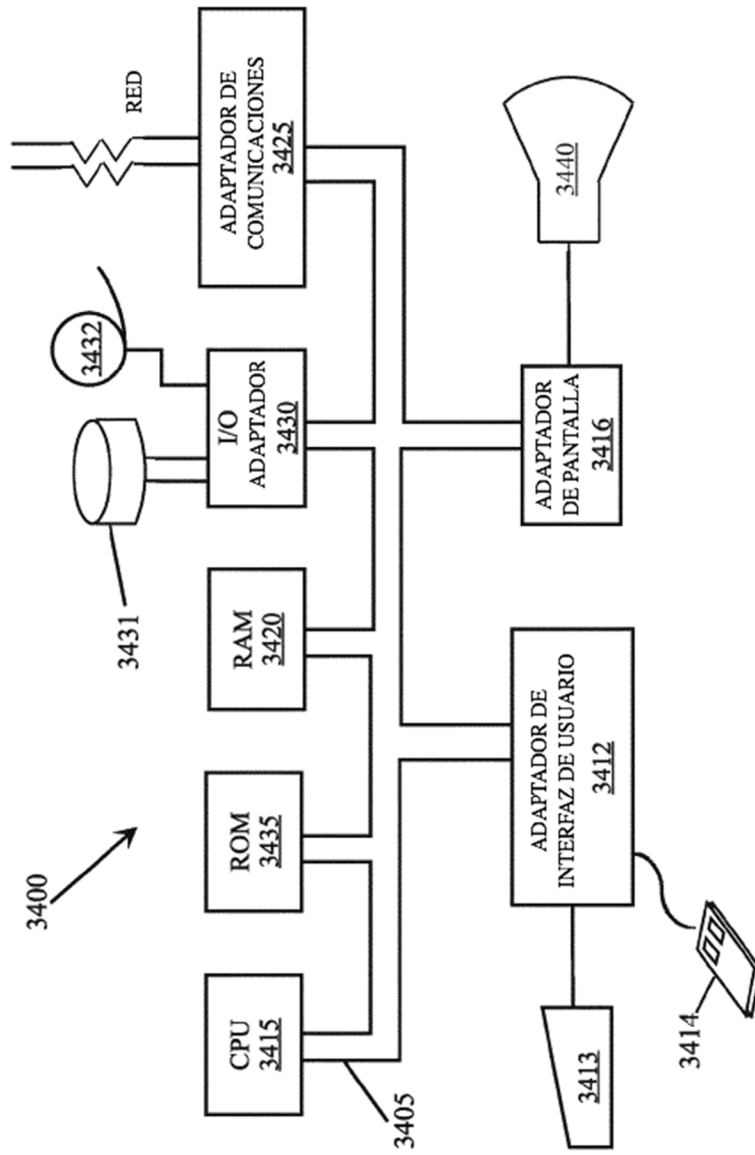


FIG. 34