



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **3 015 263**

⑮ Int. Cl.:

G01N 23/083 (2008.01)
G01N 33/02 (2006.01)
G01N 23/087 (2008.01)
G01N 23/18 (2008.01)

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑯ Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.04.2020 E 20172056 (2)**

⑯ Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.01.2025 EP 3734260**

⑮ Título: **Procedimiento y dispositivo para inspeccionar por rayos x productos, en particular, alimentos**

⑯ Prioridad:

03.05.2019 DE 102019111567

⑯ Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

30.04.2025

⑮ Titular/es:

**WIPOTEC GMBH (100.00%)
Adam-Hoffmann-Straße 26
67657 Kaiserslautern, DE**

⑯ Inventor/es:

**BUR, CHRISTIAN y
WICKERT, MARCO**

⑯ Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 3 015 263 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

Procedimiento y dispositivo para inspeccionar por rayos x productos, en particular, alimentos

5 La invención se refiere a un procedimiento y un dispositivo para inspeccionar por rayos X productos, en particular, alimentos.

10 Para la inspección de rayos X de productos en movimiento habitualmente se emplean detectores de líneas, que están provistos transversalmente a la dirección de movimiento de los productos que van a examinarse. En lugar de un movimiento del producto, todo el dispositivo para inspeccionar por rayos X o al menos el dispositivo detector de radiación de rayos X en cuestión también puede moverse con respecto al producto que va a examinarse. El producto que va a examinarse se escanea mediante el detector de líneas, que detecta la radiación por rayos X generada por una o varias fuentes de radiación de rayos X y los datos de imagen generados línea a línea se convierten en una imagen del producto que va a examinarse. Para generar la imagen pueden procesarse adecuadamente los datos de imagen. La imagen generada de este modo puede inspirarse mediante procesamiento de imagen. En particular, la imagen del producto que va a examinarse puede inspeccionarse para determinar si se presenta o se cumple una o varias características de producto especificadas. Por ejemplo, un alimento, como un trozo de carne, puede examinarse para determinar si en ella se encuentran cuerpos extraños no deseados, como astillas de hueso, virutas metálicas de máquinas de procesamiento, fragmentos de vidrio, plásticos, piedras o similares.

15 20 Para ello, se conoce la utilización de detectores de línea de integración espectral (detectores no espectrales), que detectan prácticamente todo el ancho del espectro de rayos X de la radiación de rayos X, que se genera por la fuente de radiación por rayos X en cuestión. Los detectores de líneas de este tipo presentan una resolución espacial comparativamente alta en el intervalo de, por ejemplo, 0,2 mm a través de un ancho de detector global de por ejemplo 200 a 800 mm o más. Los detectores de líneas pueden estar construidos a este respecto en forma de módulos, que pueden acoplarse en cada caso solo a huecos muy pequeños de solo pocos píxeles (por ejemplo, de uno a dos píxeles por borde de módulo) hasta alcanzar un ancho de escaneo deseado. Por consiguiente, con los detectores no espectrales de este tipo pueden detectarse también cuerpos extraños o contaminaciones muy pequeñas. Además, este tipo de detector no requiere ningún enfriamiento y puede fabricarse de manera rentable.

25 30 35 No obstante, los detectores no espectrales de este tipo a consecuencia de la integración espectral generan únicamente escalas de grises. Una escala de grises depende a este respecto de la atenuación de la radiación por rayos X durante el paso a través del producto que va a examinarse. A este respecto, la atenuación depende de nuevo del grosor del producto y las propiedades de material.

40 45 50 55 60 65 Este tipo de sensor es adecuado, en particular, para la detección de los cuerpos extraños más pequeños de intensa absorción, por ejemplo, de astillas de metal.

Una mejora del contraste de la imagen generada por detectores de líneas puede lograrse mediante el procedimiento de doble energía. A este respecto, se emplean dos detectores de líneas, cuyas imágenes de escaneo se superponen. Los detectores de líneas registran a este respecto diferentes rangos espectrales de la radiación por rayos X que pasa a través del producto. Esto se logra mediante el empleo al menos de un filtro de radiación por rayos X, que en la trayectoria de los rayos está dispuesto delante de uno de los detectores no espectrales. Sin embargo, tales filtros funcionan solo como filtro de paso alto y, además, no pueden fabricarse de manera suficientemente flexible en cuanto al borde de filtro deseado. Adicionalmente, amortiguan también la radiación por rayos X que va a detectarse en el rango espectral deseado. Debido al registro por separado de los diferentes rangos espectrales, las señales de imagen de los respectivos detectores de líneas contienen información diferente. Mediante una superposición ponderada (por ejemplo, la suma con signo correcto de los datos de imagen ponderados) se puede generar una imagen general, que en cuanto a la detectabilidad de determinados materiales de cuerpo extraño presenta un mejor contraste que una imagen de energía única. Sin embargo, con un filtro de radiación por rayos X fijo puede mejorarse el contraste solo para uno o varios materiales determinados. Por lo tanto, los procedimientos de doble energía en cuanto a su utilización son menos flexibles, dado que el filtro de radiación por rayos X, dependiendo del caso de aplicación, ha de seleccionarse adecuadamente.

Además, generalmente los rangos espectrales de la radiación por rayos X que se registran por ambos detectores de líneas se solapan, de manera que en cada una de las dos señales de imagen está incluida una parte de la misma información. Con ello, no puede lograrse ninguna mejora de contraste óptima.

Sin embargo, el procedimiento de doble energía permite ocultar zonas de producto de un producto que consta únicamente de dos materiales con una combinación adecuada de ambas señales de imagen. De este modo, por ejemplo, puede optimizarse el contraste en la zona de un cuerpo extraño, es decir, de un primer material, dentro del producto, es decir, de un segundo material. Sin embargo, esto se cumple solo para un producto esencialmente homogéneo a partir de un único material (o una combinación de materiales con propiedades de atenuación muy similares para la radiación por rayos X), en el que están contenidos cuerpos extraños de un material adicional (con propiedades de atenuación diferentes para la radiación por rayos X).

Asimismo, en los últimos años se han desarrollado detectores de líneas con resolución espectral, que también pueden acoplarse de manera modular. Sin embargo, los detectores de líneas espetrales de este tipo que permiten anchos de escaneo suficientemente grandes de 200 a 800 mm o más, actualmente solo están disponibles con una resolución espacial relativamente aproximada, es decir, con un tamaño de píxel relativamente grande, por ejemplo, de 0,8 mm.

5 Los detectores de líneas espetrales de este tipo son capaces de registrar todo el ancho espectral de la radiación por rayos X que va a detectarse, por ejemplo, en el intervalo de 20 keV a 160 keV. Estos detectores proporcionan para la resolución espectral una pluralidad de, por ejemplo, hasta 256 canales de energía. Por tanto, un detector de líneas espectral de este tipo permite generar un número de imágenes parciales correspondiente al número de canales de energía.

10 Hasta ahora, este tipo de detectores de línea se han utilizado principalmente para la detección de determinados materiales (por ejemplo, el documento EP 2 588 892 B1), en donde, para ello, el espectro de energía determinado para un producto se normaliza mediante el espectro de energía de una imagen de campo plano, es decir, el espectro que detecta el detector en ausencia de un producto. El logaritmo natural del espectro normalizado de este modo corresponde a este respecto al producto del coeficiente de absorción dependiente de la energía para el producto multiplicado por el grosor del producto. El curso espectral determinado de este modo para un producto desconocido del coeficiente de absorción dependiente de energía puede compararse con los datos de producto conocidos. De este modo, es posible identificar el material de un producto desconocido.

20 En la industria alimentaria con frecuencia existe el problema de detectar contaminaciones de producto, es decir, cuerpos extraños no deseados en un producto deseado. Si los productos que van a examinarse presentan fluctuaciones en el grosor, entonces los procedimientos conocidos no suministran información segura sobre si las fluctuaciones de la escala de grises en una imagen que se genera por uno o varios detectores sin resolución espectral se generan mediante fluctuaciones del grosor del producto que va a examinarse, sin la presencia de un cuerpo extraño que va a detectarse o mediante el material de un cuerpo extraño, que presenta una absorción diferente para la radiación por rayos X.

30 Además, los procedimientos y dispositivos conocidos para la inspección de rayos X de productos con frecuencia suministran solo imágenes de escala de grises (esto se aplica también a procedimientos de doble energía) que no presentan el contraste suficiente.

35 En el documento US 2018/0214113 A1 se describe un procedimiento y un dispositivo, por lo que se compensa la influencia de la atenuación de materiales dependiente de la energía en una imagen de rayos X detectada (en particular, la influencia del endurecimiento de haz (*beam hardening*)), que se genera mediante el registro de la radiación por rayos X que pasa a través de un producto que va a examinarse de una fuente de radiación de rayos X de banda ancha. Para ello, se emplea un detector con resolución espectral, cuyos datos de los recipientes individuales se corrigen con datos de corrección. Esto da como resultado una imagen más exacta o más correcta menos falsificada por la influencia de la atenuación dependiente de la energía.

40 El documento US 2012/0213331 A1 describe un procedimiento de exploración con emisores de microondas que constan de matrices de microondas y receptores de microondas alineados de manera correspondiente. La matriz de microondas emite radiación de microondas dirigida de manera controlada en dirección de un objeto que va a examinarse. El objeto que va a examinarse absorbe la radiación dependiendo de su contenido de metal. La absorción de la radiación de microondas puede utilizarse para generar una medición del contenido en metal. La medición puede emplearse de nuevo para calcular al menos una parte del volumen y de la forma del objeto que va a verificarse. El valor medido puede compararse con una pluralidad de amenazas predefinidas. Este sistema se emplea preferiblemente en combinación con otras tecnologías de diagnóstico, como p.ej. la tecnología de radiación por rayos X. Para detectar las amenazas de las imágenes generadas, se emplean, entre otras, redes neuronales.

50 Finalmente, el documento EP 2 405 260 A1 describe un procedimiento y un dispositivo para la inspección de rayos X de objetos exenta de destrucción, para lo que se emplea una fuente de rayos X de banda ancha y un detector de rayos X con resolución espectral. Las imágenes de los canales de energía individuales se combinan para formar una representación, de manera que se produzca un buen contraste. Sin embargo, el documento EP 2 405 260 A1 no revela cómo debe realizarse la combinación de las imágenes individuales para lograr un buen contraste. Las imágenes de los canales de energía individuales se evalúan mediante procedimientos estadísticos o también procedimientos de aprendizaje automático, en donde en cada imagen se forman grupos, los denominados “*blobs*”, que designan regiones con la misma atenuación. Estos *blobs* pueden desplazarse hacia las imágenes de los distintos canales de energía unos hacia otros y mostrar diferencias en su tamaño o forma. De los *blobs* de los distintos canales de energía pueden formarse los denominados “*superblobs*”, que representan una característica en función de la cual mediante una comparación con la característica correspondiente de materiales adecuados puede realizarse una detección de material.

65 Partiendo de este estado de la técnica, la invención se basa en el objetivo de crear un procedimiento para la inspección de rayos X de productos, en particular, de alimentos, que mejore adicionalmente la detección de cuerpos extraños en un producto. Por lo demás, la invención se basa en el objetivo de crear un dispositivo para realizar el procedimiento.

La invención consigue este objetivo con las características de las reivindicaciones 1 o 9. Otras formas de realización resultan de las reivindicaciones dependientes.

- 5 La invención parte del conocimiento de que un detector de radiación de rayos X con resolución espectral puede emplearse ventajosamente, para detectar cuerpos extraños en un producto, cuando los datos espetrales se combinan de manera adecuada. Además, a partir de los datos detectados, puede obtenerse información sobre el grosor de productos cuando se conoce el tipo del producto, por ejemplo, de un alimento, como la carne con porcentaje de carne y de grasa.
- 10 Según el procedimiento de acuerdo con la invención, se define al menos un tipo de producto, que comprende productos que constan de al menos un primer y un segundo componente, que presentan diferentes coeficientes de absorción para la radiación de rayos X. Aplicaciones en la industria alimenticia pueden ser en este sentido trozos de carne que presentan los componentes carne, grasa y huesos. En este caso, generalmente es deseable averiguar la presencia de huesos y su tamaño y posición. Además, con frecuencia existe el deseo de estimar al menos el porcentaje de carne y grasa. Sin embargo, en la industria alimentaria el tipo de producto también puede ser otros productos discrecionales, que deben examinarse en cuanto a propiedades similares. Por ejemplo, puede examinarse la presencia de cuerpos extraños, como virutas de acero o partículas de plástico. Por supuesto, no solo se pueden examinar piezas sueltas, sino también cualquier tipo de producto, incluso productos a granel como cereales, harina o similares de manera correspondiente.
- 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60
- El producto que va a examinarse, que pertenece al al menos un tipo de producto se irradia según la invención con una radiación por rayos X con un ancho espectral especificado y la radiación por rayos X que pasa a través del producto se detecta mediante el detector de radiación de rayos X con resolución espectral. El detector de radiación de rayos X presenta un número especificado de píxeles, en el que la radiación por rayos X se detecta con resolución espectral. A este respecto, los cuantos de radiación de rayos X para la resolución espectral, dependiendo de su energía se asocian a un número especificado de canales de energía. De este modo, el detector de radiación de rayos X genera datos de imagen, que para cada píxel incluyen valores espetrales para la selección de o todos los canales de energía y/o valores espetrales de suma para uno o varios grupos de canales de energía adyacentes.
- Según la invención, se determina al menos una regla de representación para procesar los datos de imagen para formar una imagen global para el al menos un tipo de producto, en donde cada regla de representación está configurada de manera que todos los valores espetrales y valores espetrales de suma se representan en un valor de imagen global de un punto de imagen de la imagen global, en donde una regla de representación se asocia en cada caso a todos los píxeles o grupos predeterminados de uno o varios píxeles. La variante según la cual una regla de representación se asocia no a todos los píxeles, sino solo a un grupo de píxeles siempre es de interés, cuando el detector de radiación por rayos X presenta diferentes sensibilidades. Generalmente un detector de radiación por rayos X con resolución espectral de este tipo presenta cristales que sirven para detectar los cuantos de radiación de rayos X. Estos cristales generalmente no pueden fabricarse con una extensión geométrica que corresponde a la superficie de detector o longitud de detector deseadas, de manera que en una combinación de varios de estos cristales para formar un detector de radiación por rayos X han de compensarse diferentes sensibilidades de los cristales.
- En este punto, cabe señalar que el detector de radiación por rayos X puede estar configurado como detector de líneas o como detector plano. Dado que en la industria alimenticia existe a menudo la necesidad de examinar productos en movimiento a través de un ancho de hasta 800 mm o más, generalmente se emplean detectores de líneas, ya que los detectores planos con un ancho de este tipo serían muy caros.
- Según la invención, la una o las varias reglas de representación se determinan de manera que en la imagen global de un producto del al menos un tipo de producto uno o varios componentes con respecto a un componente de referencia experimenta un aumento de contraste en comparación con una imagen de escala de grises, que se generaría mediante la simple adición de todos o de una selección de valores espetrales y de todos o de una selección de valores espetrales de suma para formar puntos de imagen global. En otras palabras, la evaluación espectral empleando una regla de representación adecuada permite una mejora de la detectabilidad de zonas de producto con otras propiedades de material en cada caso con respecto al uso de detectores de radiación de rayos X sin resolución espectral, que generan solo una imagen de escala de grises simple.
- Según una forma de realización preferida de la invención, la al menos una regla de representación representa un clasificador, que asocia los al menos dos componentes a clases especificadas. A este respecto, cada clase se designa mediante un valor objetivo numérico. Por ejemplo, en una pieza de carne compuesta por carne o huesos, el hueso puede considerarse como no deseado (y equipararse a un cuerpo extraño no deseado) y el porcentaje de carne puede considerarse como deseado.
- El clasificador puede ser a este respecto, en particular, una red neuronal artificial o una máquina de vector de soporte (*Support Vector Machine*).
- Según la invención, la al menos una regla de representación se determina de manera que a cada valor espectral o cada valor espectral de suma está asociado un coeficiente de representación y porque la imagen global del producto

que va a examinarse se genera al multiplicarse cada valor espectral y cada valor espectral de suma con el coeficiente de representación asociado y al sumarse estos productos. Mientras las variantes antes explicadas presuponen un aprendizaje vigilado del clasificador, esta variante también permite un aprendizaje no vigilado.

5 Esta variante permite la generación ventajosa de una imagen de doble energía o imagen de energía múltiple, cuando esta regla de representación lineal se determina de manera que a partir de los datos de imagen se genera una imagen de doble energía o imagen de energía múltiple, al multiplicarse los valores espectrales de al menos dos grupos de canales de energía adyacentes seleccionados o valores espectrales de suma correspondientes por en cada caso un factor de ponderación constante y añadirse estos productos.

10 A este respecto, el detector de radiación de rayos X con resolución espectral ofrece la posibilidad de seleccionar libremente los rangos espectrales que se emplean para generar la imagen de doble energía. A este respecto, tanto el ancho de los rangos espectrales como su longitud puede seleccionarse de manera discrecional. Además, un único conjunto de datos de imagen (es decir, la imagen de un producto que va a examinarse) con un único proceso de detección puede evaluarse también varias veces, en particular, empleando distintas reglas de representación, es decir, distintos rangos espectrales que se combinan para formar una imagen de doble energía. Por consiguiente, pueden generarse imágenes globales, que están optimizadas en cuanto a la detección de determinados materiales, en particular, de cuerpos extraños de determinados materiales (por ejemplo, acero, plástico, huesos o similares).

15 20 Según una forma de realización adicional, la al menos una regla de representación puede determinarse, de manera que los grupos de canales de energía adyacentes no se solapen espectralmente o que el detector de radiación de rayos X se hace funcionar o se controla, de manera que la señal de imagen solo contenga valores espectrales para grupos de canales de energía que no se solapan o incluye ya valores espectrales de suma para grupos de canales de energía que no se solapan. Por consiguiente, puede generarse una imagen de doble energía que se genera mediante la combinación de rangos espectrales totalmente disjuntos. Por ello, frente a las imágenes de doble energía que se generan con detectores de radiación por rayos X habituales sin resolución espectral, puede generarse un contraste mejorado entre zonas de imagen, que corresponden a zonas de producto, que en una dirección de penetración de radiación presentan diferentes combinaciones de material.

25 30 35 Según la invención, la al menos una regla de representación se determina mediante un procedimiento de aprendizaje automático, en donde en un modo de aprendizaje una multitud de productos de entrenamiento que consta en cada caso de uno de los componentes y presenta diferentes grosos, mediante el detector de radiación de rayos X con resolución espectral, y en donde para determinar cada regla de representación los valores espectrales o valores espectrales de suma de todos los píxeles o grupos de píxeles adyacentes o una selección de los mismos, que se detectan para los productos de entrenamiento se emplean como características de la regla de representación y se emplean valores de clase especificados como valores objetivo de la regla de representación, en donde el valor de clase para todos los productos de entrenamiento que se componen del mismo componente es idéntico.

40 Esta variante determina las propiedades de la al menos una regla de representación, de tal manera que se genera una imagen global, que se forma mediante clasificación y, por consiguiente, puede interpretarse como imagen de puntuación.

45 Según una forma de realización adicional, en lugar de valores espectrales o valores espectrales de suma detectados, que se obtienen para un producto de entrenamiento de un componente con un material conocido, pueden emplearse datos de simulación, en donde los datos de simulación comprenden productos de valores previamente conocidos para el coeficiente de atenuación de masa dependiente de la energía (el coeficiente de absorción es igual al coeficiente de atenuación de masa por la densidad del material) y grosos seleccionados adecuadamente.

50 55 Este modo de proceder es adecuado, en particular, cuando se pretende detectar cuerpos extraños en un producto, que está hecho de un material conocido, como acero o ciertos plásticos y cuando ya se dispone de datos sobre el coeficiente de absorción dependiente de la energía para este material, ya sea almacenados en el propio dispositivo de inspección o en una base de datos externa. Por lo tanto, en esta variante para el material en cuestión ha de determinarse el coeficiente de absorción en los lugares (o en las zonas respectivas) de los canales de energía del detector de radiación de rayos X. Los valores en cuestión han de multiplicarse en cada caso por un grosor supuesto del material. Un valor de este tipo corresponde al valor que detectaría el detector de radiación de rayos X al atravesar un material de este tipo con respecto a la imagen de campo plano respectiva.

60 Para el grosor de los productos de entrenamiento y también para el grosor para generar los datos de simulación se emplean preferiblemente valores que cubren el rango que cabe esperar en la práctica en la verificación de los productos del tipo de producto en cuestión.

65 Según una forma de realización de la invención, pueden definirse varios tipos de producto, en donde cada tipo de producto comprende productos que constan en cada caso del mismo primer y al menos un segundo componente, que presentan diferentes coeficientes de absorción para la radiación por rayos X. De este modo, empleando los mismos datos de imagen de un producto que va a examinarse, pueden generarse imágenes globales, donde para generar cada imagen global se emplea una regla de representación para otro tipo de producto en cada caso.

A continuación, la invención se explica con más detalle haciendo referencia al dibujo. En el dibujo muestran:

- 5 La figura 1 una representación esquemática de una forma de realización de un dispositivo para la inspección de productos con un detector de líneas con resolución espectral;
- 10 la figura 2 un espectro de energía a modo de ejemplo que se ha generado mediante un píxel de un detector de líneas con resolución espectral;
- 15 la figura 3 un perfil de ponderación para la ponderación de los canales de energía de un espectro de energía según la figura 2 para generar una imagen de doble energía;
- 20 la figura 4 un perfil de ponderación para la ponderación de los canales de energía de un espectro de energía según la figura 2 para generar una imagen de puntuación;
- 25 la figura 5 una imagen de escala de grises de doble energía de productos y cuerpos extraños que se solapan de un primer y un segundo material (figura 5a), así como una primera imagen de puntuación, que está optimizada para hacer visible los cuerpos extraños del primer material (figura 5b) y una segunda imagen de puntuación, que está optimizada para hacer visible los cuerpos extraños del segundo material (figura 5c); y
- 30 la figura 6 una tabla para explicar el procedimiento de evaluación para los datos de imagen.
- 35 La figura 1 muestra una representación esquemática de una primera forma de realización de un dispositivo 100 para inspeccionar por rayos X productos 102, en particular, alimentos con un dispositivo 104 de generación de radiación con al menos una fuente 106 de radiación de rayos X con un dispositivo 108 detector de radiación de rayos X y con un detector 114 de radiación de rayos X con resolución espectral, que está configurado como detector de líneas.
- 40 La fuente 106 de radiación de rayos X genera un rayo X 116 en forma de abanico, que presenta un plano medio, que es perpendicular a una dirección B de movimiento en la que se mueven los productos 102 que van a examinarse mediante el rayo X 116. El rayo X 116 presenta en el plano E de movimiento un ángulo de apertura, que está configurado de manera que el producto 102 que va a examinarse se irradia en todo su ancho por el rayo X 116. Para el movimiento del producto 102, puede estar previsto un dispositivo de transporte (no representado), por ejemplo, una cinta transportadora.
- 45 El detector 114 de líneas comprende una línea 122 de detector, que puede presentar una resolución espacial discreta, es decir, un tamaño de píxeles de, por ejemplo, 0,8 mm. La línea 122 de detector está prevista a este respecto aproximadamente en el centro sobre un soporte 126, que puede soportar disipadores de calor y otros componentes. Los disipadores de calor pueden formar también el soporte 126.
- 50 El detector 114 de líneas puede estar previsto, como se muestra en la figura 1, en una carcasa 128, que puede estar configurada como carcasa de protección contra la radiación. La carcasa 128 en su lado superior, es decir, el lado dirigido hacia la fuente 106 de radiación de rayos X presenta una abertura 130 que permite la penetración del rayo X 116 en la carcasa en dirección a la línea 122 de píxel del detector 114 de líneas.
- 55 En lugar de un único detector 114 de líneas con resolución espectral, también pueden estar previstos dos o más detectores de líneas con resolución espectral. Esto puede ser ventajoso cuando los detectores de líneas sin resolución espectral están configurados en cada caso para registrar un ancho espectral máximo diferente. Por ejemplo, uno de los detectores de líneas de resolución espectral puede presentar un ancho espectral de como máximo 20 keV a 160 keV con una resolución espectral de 256 canales de energía y otro detector de líneas de resolución espectral puede presentar un ancho espectral de como máximo 20 keV a 80 keV, también en el caso de una resolución de 256 canales de energía. Por consiguiente, el otro detector de líneas de resolución espectral presenta una resolución espectral dos veces mayor que el primer detector de líneas de resolución espectral.
- 60 El detector 114 de líneas genera una señal de datos de imagen, que se alimenta a una unidad 132 de evaluación y de control. La unidad 132 de evaluación y de control puede presentar una unidad 134 de registro de datos y una unidad 136 de procesamiento de imágenes. A la unidad 134 de registro de datos se alimenta la señal de datos de imagen del detector 114 de líneas. La unidad 136 de procesamiento de imágenes está configurada para el procesamiento y análisis de los datos de imagen. La unidad 134 de registro de datos también puede estar configurada de manera que controla el detector 114 de líneas de manera adecuada, en particular, en cuanto a momentos de exploración. Para ello, la unidad 134 de registro de datos puede alimentar al detector de líneas una señal de sincronización, en donde el registro de datos de imagen puede realizarse mediante el detector de líneas de manera sincronizada con la señal de sincronización.
- 65 La unidad 136 de procesamiento de imágenes puede procesar los datos de imagen registrados por el detector 114 de líneas de la siguiente manera.

La figura 2 muestra a modo de ejemplo los datos de imagen que se suministran por el detector 114 de líneas de resolución espectral para un píxel determinado. En este sentido, todo el intervalo de energía registrado, por ejemplo, de 20 keV a 80 keV, se divide en un número determinado de canales de energía, en donde cada canal de energía presenta un ancho espectral (habitualmente constante) determinado, que resulta del ancho de todo el rango espectral registrado dividido por el número de canales de energía, por ejemplo, 128 o 256 canales de energía. El detector 114 de líneas suministra para cada canal de energía un valor espectral, que en la figura 5 se designa con "recuentos", ya que un detector de líneas con resolución espectral de este tipo cuenta por regla general fotones individuales y asocia los fotones registrados, dependiendo de su energía, a un canal de energía determinado. El curso representado en la figura 5 corresponde a una imagen de campo plano típica, que se genera por el detector 114 de líneas sin la presencia de un producto en la trayectoria de los rayos del rayo X 116. Este espectro se modifica de manera característica cuando un producto de un material determinado o de una combinación de material determinada se sitúa en la trayectoria de los rayos de la radiación de rayos X que se detecta mediante el píxel.

Los valores espectrales se transfieren como datos de imagen con la señal de datos de imagen a la unidad 136 de evaluación y de control. La unidad 136 de evaluación y de control puede evaluar estos datos de imagen de maneras distintas.

Por ejemplo, puede utilizarse la capacidad de una resolución espectral del detector 114 de líneas para generar una imagen de doble energía. Para ello, la unidad 136 de evaluación y de control puede efectuar píxel por píxel una ponderación discrecional de los valores espectrales. Una ponderación de este tipo puede provocarse asociando a cada canal de energía individual un factor que se multiplica por el valor espectral respectivo. Por ello, también puede lograrse una limitación precisa del espectro, cuando a los canales de energía seleccionados se asocia el factor cero.

La figura 3 muestra un perfil de ponderación, que presenta para cada canal de energía un factor de ponderación independiente. Este perfil prevé para un número de canales de energía en la zona inferior de todo el espectro y en la zona superior del espectro en cada caso una ponderación constante, por ejemplo, con un factor 1 en el rango espectral inferior y con un factor -R en el rango espectral superior. Todos los demás canales de energía se ponderan con el factor 0. Los valores espectrales ponderados de este modo de los canales de energía pueden añadirse para generar un valor espectral de suma, por lo que resulta una imagen de doble energía.

Como ya se ha explicado antes, el detector 114 de líneas con resolución espectral también puede estar configurado de manera que este preseleccione qué canales de energía en el marco de una señal de datos de imagen se transmiten a la unidad 136 de evaluación y de control. Por ejemplo, el detector 114 de líneas puede ajustarse manualmente o mediante la unidad 136 de evaluación y de control, de manera que emite solo determinados canales de energía como señal de datos de imagen. El detector 114 de líneas también puede estar configurado de manera que emite ya integrados los canales de energía seleccionados, es decir, suma los valores espectrales de los canales de energía seleccionados. En este caso, para la unidad 136 de evaluación y de control se produce una complejidad menor para el procesamiento de los datos de imagen del detector 114 de líneas.

Por consiguiente, el detector 114 de líneas sin resolución espectral permite generar una imagen de doble energía empleando un espectro flexible. Este puede fijarse mediante la evaluación sencilla de la señal de datos de imagen del detector 114 de líneas o el detector 114 de líneas se controla de manera que ya suministra datos de imagen correspondientes limitados espectralmente o incluso valores espectrales de suma (ver arriba).

El espectro del detector 114 de líneas con resolución espectral puede variar a este respecto, de manera que determinadas características de producto de un producto que va a examinarse pueden detectarse mejor en la imagen de doble energía, por ejemplo, con un contraste más alto.

La evaluación de los datos de imagen obtenidos mediante un único escaneo también puede realizarse de manera que se realizan varias evaluaciones. En particular, pueden generarse diferentes imágenes de doble energía empleando datos de imagen ponderados de distinta manera del detector 114 de líneas con resolución espectral. Por ejemplo, el espectro de los datos de imagen del detector 114 de líneas puede seleccionarse en una evaluación (por ejemplo, mediante una ponderación correspondiente), de manera que pueden detectarse cuerpos extraños de un material determinado, por ejemplo, acero, con alto contraste. En una evaluación adicional, el espectro de los datos de imagen del detector 114 de líneas puede seleccionarse de otra manera, por ejemplo, para generar una imagen de doble energía, en la que pueden detectarse cuerpos extraños de otro material, por ejemplo, polietileno con alto contraste.

A continuación, se explica cómo la información completa que está incluida en los datos de imagen espectrales puede emplearse mediante una valoración de imagen ventajosa.

Para ello, inicialmente se pasa por una fase de aprendizaje, para lo cual la unidad de evaluación y de control puede trasladarse a un modo de aprendizaje. En la fase de aprendizaje se determina al menos una regla de representación, que representa todos o una selección de valores espectrales y valores espectrales de suma en un valor de imagen global de un punto de imagen de la imagen global o que representa todos o una selección de valores espectrales y valores espectrales de suma en un valor de imagen global de un punto de imagen de la imagen global, que representa un valor para el grosor global de un componente del producto irradiado en dirección de irradiación.

Por ejemplo, en la fase de aprendizaje, los píxeles individuales de las imágenes de producto tomadas pueden disponerse con sus 256 canales de energía asociados en forma de una tabla, como se representa en la figura 6. A este respecto, los píxeles forman las líneas, denominadas observaciones. Los canales de energía de cada pixel forman las columnas y se denominan características.

A cada fila de la tabla y, por tanto, a cada pixel se le asocia un valor Y de clase (valor objetivo). Este dependiendo de la aplicación, en el caso de una optimización de contraste, puede ser un nombre de clase discreto o un número de identificación de clase, o en el caso de una determinación de grosor de capa un valor de grosor de capa, por ejemplo, el grosor de capa en mm. Con ello, en la fase de aprendizaje se conocen las características y los valores de clase y se debe determinar una regla de representación.

En el caso de una optimización de contraste para productos que van a examinarse, que pueden presentar una contaminación con cuerpos extraños, para el proceso de aprendizaje pueden tomarse varias imágenes de un primer componente (producto no contaminado), preferiblemente, con distintos grosores. A los píxeles de estas imágenes se les asocia un valor de clase, p.ej. "producto". Además, se toman imágenes de otros componentes, que presentan un coeficiente de absorción distinto del primer componente. También a estos píxeles se les asigna un valor de clase, p.ej. "contaminación". Ambos registros de datos se resumen en una tabla, como se representa en la figura 6, que incluye en consecuencia al menos dos valores Y de clase distintos.

Según una forma de realización adicional, para el aprendizaje solo puede detectarse el componente 1 mediante el detector de radiación por rayos X. Para el al menos un componente adicional pueden guardarse datos de medición o también de simulación en la máquina y utilizarse para crear una tabla según la figura 6.

Los datos de simulación de los coeficientes de atenuación de masa dependientes de la energía (coeficientes de atenuación de masa = coeficiente de absorción dividido por la densidad) de todos los elementos del sistema de periodo están disponibles en las bases de datos. A partir de estos puede determinarse el coeficiente de atenuación de masa dependiente de la energía de moléculas y, con ello, también de combinaciones de material.

Estos datos pueden reservarse en la máquina y utilizarse junto con datos medidos reales para determinar la regla de representación. Para el aprendizaje en tales casos únicamente ha de detectarse (escanearse) el producto no contaminado (componente 1) con el detector de radiación por rayos X y contaminaciones potenciales (es decir, otros componentes) se alimentan como líneas adicionales a través de datos de simulación de la tabla de características. Para ello, el coeficiente de atenuación de masa de una contaminación potencial (normalmente hierro, acero fino, plásticos, vidrio) se multiplica por una densidad media de la contaminación a una temperatura de servicio, así como por varios grosores realistas, para generar de este modo artificialmente las propiedades de absorción de las contaminaciones. En este modo de proceder es ventajoso que un usuario únicamente tenga que escanear un número suficiente de productos (preferiblemente con una sección transversal de sus propiedades) de su línea de producción para el proceso de aprendizaje, es decir, tenga que generar mediante el detector de radiación de rayos X valores espectrales correspondientes, dado que los datos de cuerpo extraño necesarios (datos de contaminación) ya se presentan en la máquina o se generan mediante datos de simulación.

Tras obtener los datos de aprendizaje se busca una regla de representación, que en el caso de la mejora de contraste, transforma las características basándose en su valor Y de clase en otra forma de exposición, en particular, una así llamada imagen de puntuación. La imagen de puntuación presenta propiedades mejoradas con respecto a las imágenes sin procesar. Sin embargo, la regla de representación puede realizar también directamente una clasificación.

Una propiedad mejorada en este contexto es por ejemplo la distancia de los valores de imagen global de un primer componente (p.ej. yogur) con respecto a al menos un componente adicional (p.ej. contaminación de vidrio) en el marco de esta descripción también denominado contraste. El objetivo es representar más claramente el componente (de contaminación) adicional en la imagen transformada, es decir, con más contraste con respecto al primer componente. En el caso ideal, uno de los componentes (generalmente el primer componente) se oculta de manera que solo sean visibles todos los demás componentes.

A través del valor de clase en la tabla según la figura 6 puede controlarse qué componentes deben ocultarse, ya que la regla de representación basándose en los distintos valores de clase efectúa una maximización de la distancia entre clases. Varios componentes distintos pueden resumirse en un valor de clase.

Para ello, según una variante especial a cada canal de energía está asociado un coeficiente c de representación (factor de ponderación). Los productos formados de este modo se suman, es decir, se forma con ello una combinación lineal de las características.

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= c_1 \cdot \text{canal}1_1 + c_2 \cdot \text{canal}2_1 + \dots + c_{256} \cdot \text{canal}256_1 \\
 Y_2 &= c_1 \cdot \text{canal}1_2 + c_2 \cdot \text{canal}2_2 + \dots + c_{256} \cdot \text{canal}256_2 \\
 &\vdots \\
 Y_B &= c_1 \cdot \text{canal}1_B + c_2 \cdot \text{canal}2_B + \dots + c_{256} \cdot \text{canal}256_B
 \end{aligned}$$

Para determinar los coeficientes c de representación pueden aplicarse procedimientos del ámbito de la estadística multivariante, por ejemplo, un análisis de correlación o discriminante.

- 5 En la fase de aprendizaje se determinan coeficientes c de representación, que en la fase de producción subsiguiente se utilizan para el cálculo de las imágenes de puntuación (valores de resultado). En la fase de producción se toman imágenes y las características generadas de este modo (es decir, valores espectrales de los canales de energía) se calculan con los coeficientes c de representación, por lo que se determinan nuevos valores Y de clase (valores de resultado), las denominadas puntuaciones. En la imagen de puntuación, el contraste, es decir, la distancia de los 10 valores de imagen global, entre los componentes individuales con respecto a la imagen sin procesar aumenta claramente. Un procesamiento de imágenes aguas abajo puede diferenciar en la imagen de puntuación de manera claramente más sencilla (más segura y con mayor sensibilidad) los componentes individuales. En particular, esto es ventajoso para una detección de cuerpos extraños, ya que la detección de errores se reduce y también se detectan 15 de manera fiable pequeñas contaminaciones o de débil absorción.
- 15 La figura 5 muestra una comparación de una imagen de escala de grises representada en la figura 5a, que puede ser una imagen de doble energía, con dos imágenes de puntuación que pueden detectar claramente dos contaminaciones de distinto tipo (de diferentes materiales), que pueden detectarse débilmente también en la imagen de nivel de grises (figura 5b y figura 5c). Por tanto, en este caso, se han utilizado dos reglas de representación distintas en paralelo, para 20 identificar contaminaciones de distintos tipos.
- 25 En una forma de realización adicional, la regla de representación se interpreta como clasificador, que en la fase de producción asocia a cada píxel una clase. La fase de aprendizaje sirve ahora para entrenar el clasificador. Para ello, de manera análoga a la transformación descrita anteriormente, se utiliza la tabla según la figura 6. Como clasificador puede utilizarse por ejemplo una máquina de vector de soporte (SVM). Esta busca un hiperplano, que separa de la mejor manera ambas clases una de otra, es decir, el primer y un componente adicional, que se describen mediante 30 las características (valores espectrales de los canales de energía). En el caso más sencillo, un hiperplano es una recta que separa ambos grupos uno del otro. Si las clases no pueden separarse linealmente, las características se trasladan a un espacio de mayor dimensión en el que pueden separarse linealmente. Esta línea de separación en un espacio de dimensión superior se denomina hiperplano.
- 35 En el caso de un clasificador, la regla de representación no es ninguna transformación de los canales de energía en un nuevo valor de imagen (puntuación, score), que ha de seguir analizándose en el sentido más estricto, sino que asigna a cada píxel (observación) directamente una pertenencia a una clase (valor de resultado).
- 40 En una forma de realización adicional se utiliza una red neuronal artificial (ANN por sus siglas en inglés). Esta puede utilizar los coeficientes de representación como factores previos de los valores espectrales y/o valores espectrales de suma y, con ello, realizar una transformación como la combinación lineal antes esbozada-, o la ANN representa directamente el clasificador, que en la fase de producción asigna a cada píxel (observación) un valor de clase.
- 45 En una forma de realización adicional, una transformación de los canales de energía en una imagen de puntuación se realiza con ayuda del análisis de factores, en particular, también el análisis de componente principal. Este efectúa una transformación de las características (canales de energía) basándose en la varianza contenida en el juego de datos, sin tener en cuenta los valores de clase conocidos en el proceso de aprendizaje.
- 50 Además de los valores espectrales y/o valores espectrales de suma individuales de los canales de energía que se interpretan como características, también son concebibles combinaciones discrecionales de los canales de energía entre sí y/o con ellos mismos. De este modo, puede ser ventajoso que por ejemplo se cuadren canales de energía y, con ello, se generen 256 características adicionales. También es concebible una combinación de características entre sí, los denominados términos mixtos. En la ecuación anterior, los canales no aparecen exclusivamente de manera lineal, sino en un orden discrecional. La regla de representación en sí misma sigue siendo lineal, donde los datos de entrada se procesan previamente. Esto es particularmente ventajoso, cuando las clases no pueden separarse linealmente, pero se pretende una transformación mediante una combinación lineal, como se ha esbozado anteriormente.
- 55 En el caso de la determinación de grosor de capa, el proceso de aprendizaje se realiza con frecuencia con (al menos) dos materiales de referencia. A este respecto, el grosor de capa de un primer componente varía en caso de un grosor de capa constante de otro componente y, a continuación, a la inversa. Para cada configuración en materiales de referencia, los grosores de capa de los dos componentes se conocen y se emplean como valor Y de clase en la tabla según la figura 6. En una forma de realización ventajosa, para cada componente incluido en el producto se determina 60 un modelo separado. Para ello, para cada componente se confecciona una propia tabla, como se representa en la figura 6. De la relación de los grosores de capa puede determinarse una relación del primer componente con respecto al otro componente. En este sentido, un ejemplo en la práctica es la determinación del porcentaje de grasa en la carne, que a menudo se indica como valor de magro químico (*chemical lean value*, valor CL). Tras crear la tabla de características según la figura 6, se busca de nuevo una regla de representación que asigne los valores espectrales y/o valores espectrales de suma de los canales de energía a un grosor de capa de al menos uno de los componentes.
- 65

200 dispositivo detector de radiación de rayos X

B dirección de movimiento

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para inspeccionar por rayos X productos de un tipo de producto especificado, en particular, alimentos,
- 5 (a)en el que al menos se define un tipo de producto que comprende productos (102), que constan de al menos un primer y un segundo componente, que presentan diferentes coeficientes de absorción para la radiación de rayos X,
- 10 (b)en el que un producto (102) que va a examinarse, que pertenece al al menos un tipo de producto se irradia con una radiación de rayos X con un ancho espectral especificado,
- 15 (c)en el que la radiación de rayos X que pasa a través del producto (102) se detecta mediante un detector (200) de radiación de rayos X con resolución espectral, que presenta un número especificado de píxeles y detecta la radiación de rayos X en cada píxel de manera espectralmente resuelta discretamente, en donde el detector (200) de radiación de rayos X asocia los cuantos de radiación de rayos X para la resolución espectral, dependiendo de su energía, un número especificado de canales de energía y genera datos de imagen, que para cada píxel contienen valores espectrales para una selección o todos los canales de energía y/o valores espectrales de suma para uno o varios grupos de canales de energía adyacentes, y
- 20 (d)en el que para procesar los datos de imagen para formar una imagen global para el al menos un tipo de producto se determina al menos una regla de representación, en donde cada regla de representación está configurada de manera que todos o una selección de valores espectrales y valores espectrales de suma se representan en un valor de imagen global de un punto de imagen de la imagen global, en donde una regla de representación se asocia en cada caso a todos los píxeles o grupos predeterminados de uno o varios píxeles, y
- 25 (e)en donde la una o varias reglas de representación se determinan de manera que en la imagen global de un producto (102) del al menos un tipo de producto se logra una mejora de la detectabilidad de zonas de producto con otras propiedades de material en cada caso con respecto al uso de detectores de radiación de rayos X sin resolución espectral, que generan solo una imagen de escala de grises sencilla,
- 30 **caracterizado por que**
- (f)la al menos una regla de representación se determina como combinación lineal, al estar asociado a cada valor espectral o cada valor espectral de suma un coeficiente de representación, y por que la imagen global del producto (102) que va a examinarse se genera al multiplicarse cada valor espectral y cada valor espectral de suma con el coeficiente de representación asociado y al sumarse estos productos, y
- 35 (g)**por que** la al menos una regla de representación para el al menos un tipo de producto para mejorar el contraste se determina mediante un procedimiento de aprendizaje automático,
- (i)en donde en un modo de aprendizaje se detecta una multitud de productos de entrenamiento, que constan en cada caso de uno de los componentes y presentan diferentes grosores mediante el detector (200) de radiación de rayos X con resolución espectral,
- 40 (ii)en donde para la determinación de cada regla de representación
- 45 (1)los valores espectrales o valores espectrales de suma de todos o de una selección de píxeles o grupos de píxeles adyacentes que se detectan para los productos de entrenamiento, se emplean como características de la regla de representación,
- (2)se emplean valores de clase especificados como valores objetivo de la regla de representación, en donde el valor de clase para todos los productos de entrenamiento que constan del mismo componente es idéntico, y
- 50 (3)se determina la regla de representación en forma de la combinación lineal de todos o una selección de valores espectrales y/o valores espectrales de suma.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** la al menos una regla de representación representa un clasificador, que asocia los al menos dos componentes a clases especificadas.
- 55 3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** la regla de representación se determina con ayuda de procedimientos de análisis multivariados, en particular, del análisis de correlación y del análisis discriminante.
- 60 4. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado por que** el clasificador es una red neuronal artificial o es una máquina de vector de soporte.
- 65 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la al menos una regla de representación se determina de manera que, a partir de los datos de imagen, se genera una imagen de doble energía o imagen de energía múltiple al multiplicarse los valores espectrales de al menos dos grupos de canales de energía adyacentes seleccionados o valores espectrales de suma correspondientes en cada caso con un factor de ponderación constante y al añadirse estos productos.

6. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado por que** la al menos una regla de representación se determina de manera que los grupos de canales de energía adyacentes no se solapan espectralmente o porque el detector de radiación de rayos X se hace funcionar o se controla de manera que la señal de imagen solo incluye valores espectrales para grupos de canales de energía que no se solapan o incluye ya valores espectrales de suma para grupos de energía que no se solapan.
- 5 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** en lugar de valores espectrales o valores espectrales de suma detectados, que se obtienen para un producto de entrenamiento de un componente con un material conocido se emplean datos de simulación, en donde los datos de simulación comprenden productos de valores previamente conocidos para el coeficiente de absorción dependiente de energía y grosores seleccionados adecuadamente.
- 10 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** se definen varios tipos de producto, en donde cada tipo de producto comprende productos que constan en cada caso del mismo primer y al menos un segundo componente, que presentan diferentes coeficientes de absorción para la radiación de rayos X, y por que empleando los mismos datos de imagen de un producto que va a examinarse se generan varias imágenes globales, en donde para generar cada imagen global se emplea una regla de representación para otro tipo de producto en cada caso.
- 15 9. Dispositivo para inspeccionar por rayos X productos de un tipo de producto especificado, en particular, alimentos,
- 20 (a)con un dispositivo (104) de generación de radiación con al menos una fuente (106) de radiación de rayos X para generar radiación de rayos X con un ancho espectral especificado,
- 25 (b)con un detector (108) de radiación de rayos X con resolución espectral que presenta un número especificado de píxeles y detecta la radiación de rayos X que pasa a través de un producto (102) que va a examinarse en cada píxel de manera espectralmente resuelta discretamente, en donde el detector (108) de radiación de rayos X asocia los cuantos de radiación de rayos X para la resolución espectral, dependiendo de su energía, a un número especificado de canales de energía y genera datos de imagen, que incluyen para cada píxel valores espectrales para una selección o todos los canales de energía y/o valores espectrales de suma para uno o varios grupos de canales de energía adyacentes, y con una unidad (132) de evaluación y de control a la que están alimentados los datos de imagen generados por el detector (108) de radiación de rayos X,
- 30 **caracterizado por que**
- 35 (c)la unidad (132) de evaluación y de control está configurada para realizar el procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.
- 40 10. Dispositivo según la reivindicación 9, **caracterizado por que** la unidad (132) de evaluación y de control presenta una memoria o zona de memoria, en la que está almacenada la al menos una regla de representación para al menos un tipo de producto, en particular, una pluralidad de tipos de producto.

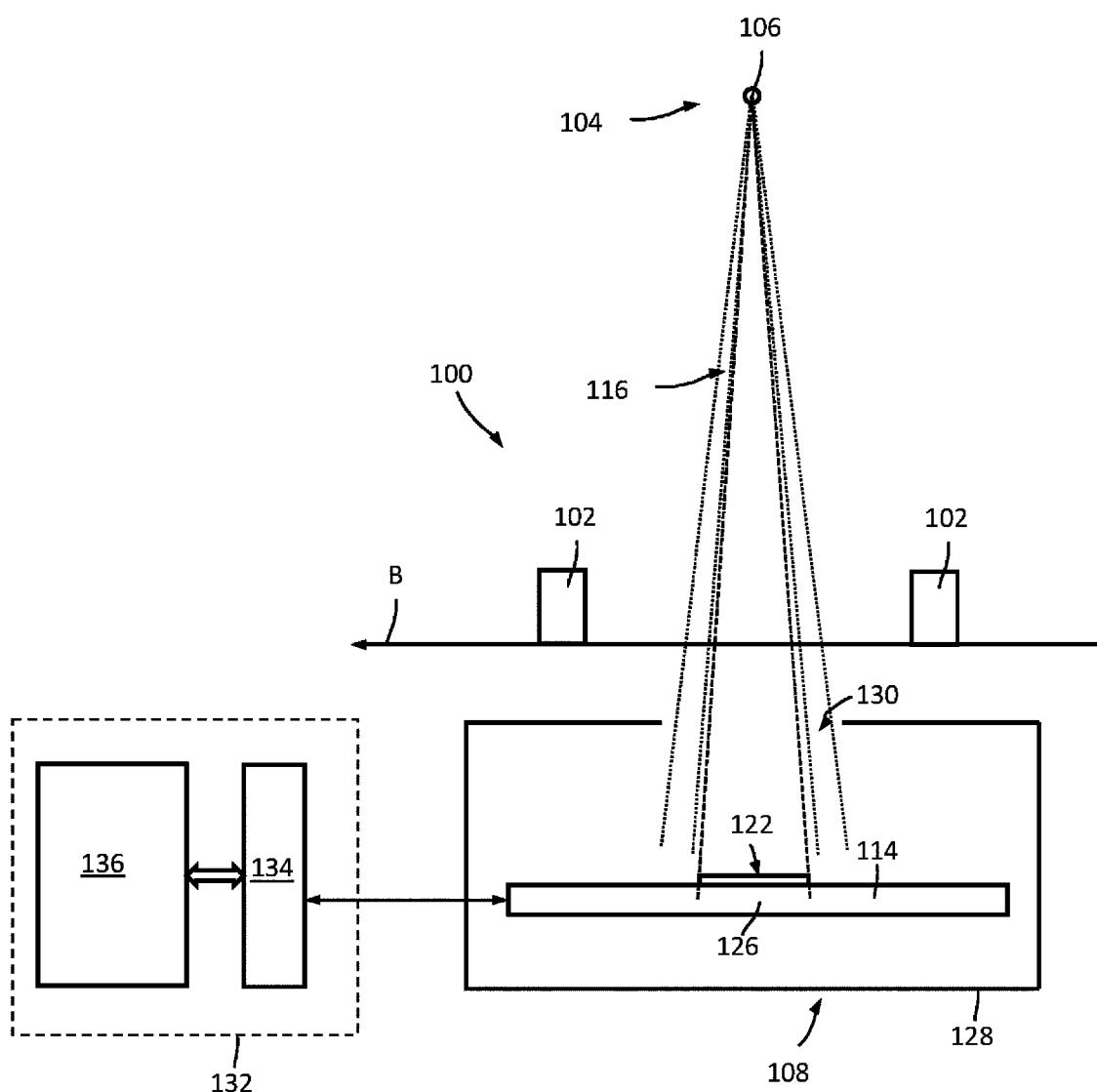


Figura 1

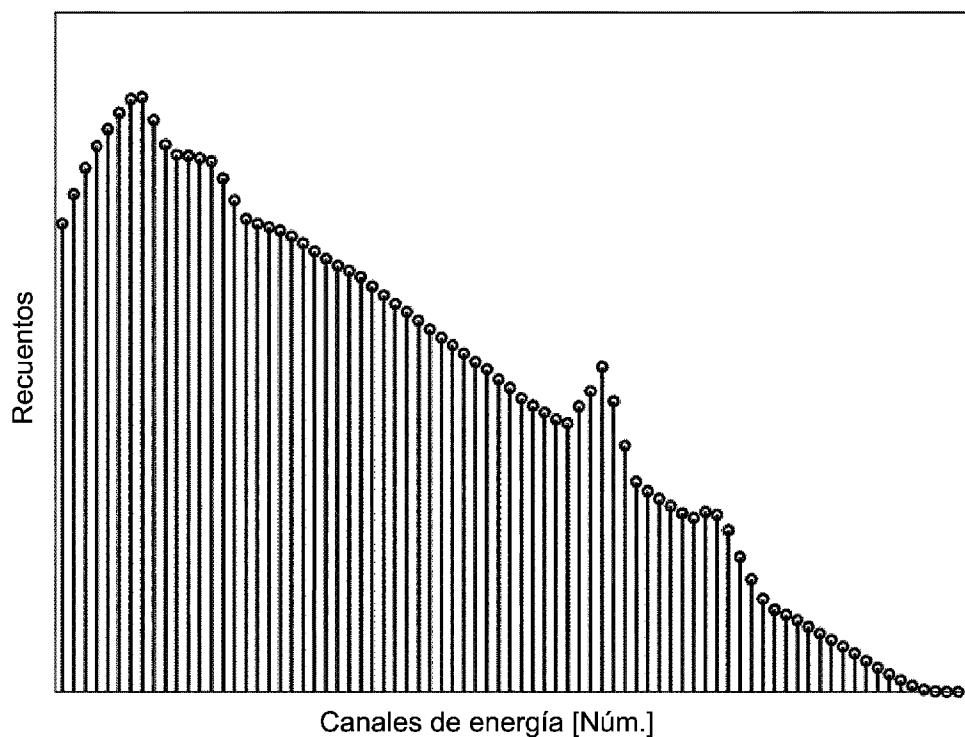


Figura 2

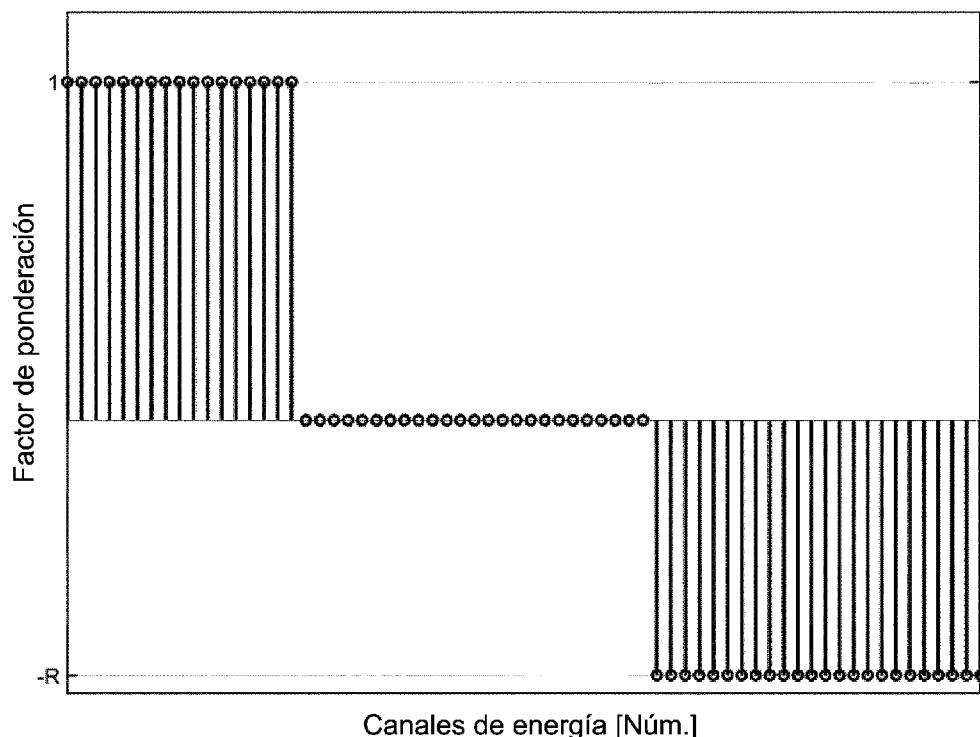


Figura 3

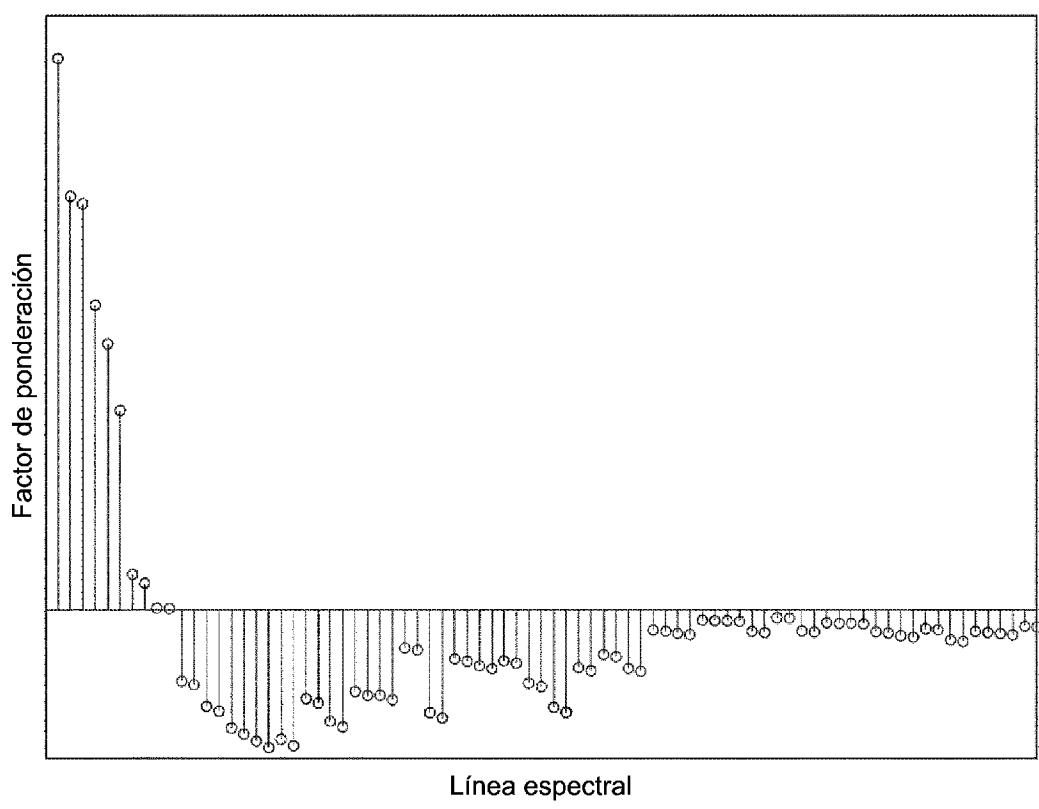


Figura 4

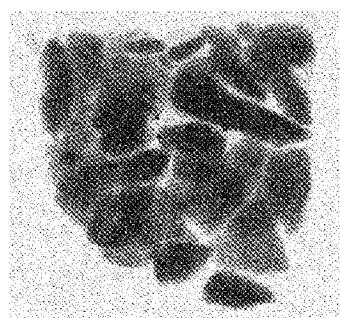


Figura 5a

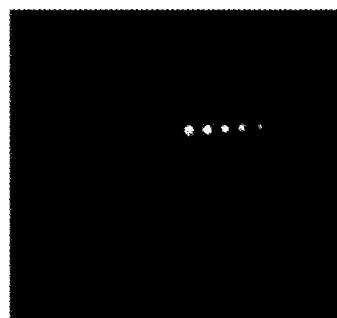


Figura 5b

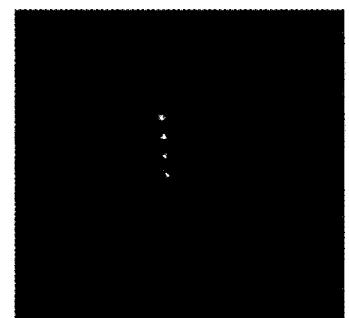


Figura 5c

	Canal1	Canal2	Canal3	...	Canal256	Clase Y
<i>Imagen "Producto" 1</i>						Producto
<i>Imagen "Producto" 2</i>						Producto
<i>Imagen "Producto" 3</i>						Producto
...						Producto
<i>Imagen "Producto" P</i>						Producto
<i>Imagen "Contaminación" 1</i>						Contaminación
<i>Imagen "Contaminación" 2</i>						Contaminación
<i>Imagen "Contaminación" 3</i>						Contaminación
...						Contaminación
<i>Imagen "Contaminación" K</i>						Contaminación

Figura 6