



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 347 687**

51 Int. Cl.:
G06K 9/00 (2006.01)
G06T 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06773867 .4**
96 Fecha de presentación : **23.06.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **2011057**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **07.01.2009**

54 Título: **Calidad y segmentación de la vista previa de una huella dactilar.**

30 Prioridad: **26.04.2006 US 795215 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
03.11.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
03.11.2010

73 Titular/es: **AWARE, Inc.**
40 Middlesex Turnpike,
Bedford, Massachusetts 01730-1432, US

72 Inventor/es: **Hills, L., Scott y**
Maurer, James, M.

74 Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

ES 2 347 687 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

Calidad y segmentación de la vista previa de una huella dactilar.

Antecedentes

Campo del invento

Este invento se refiere, en general, a la determinación de calidad y a la segmentación. Más específicamente, un aspecto ilustrativo del invento se refiere a la determinación de calidad y segmentación de información de imágenes biométricas, tal como información de imágenes de huellas dactilares, huellas de manos o huellas de pies.

Los dispositivos del tipo de escaneo en vivo proporcionan modos de funcionamiento en vista previa que sirven para ayudar al operador en la colocación del dedo y a mejorar la fidelidad de la imagen. Debido a la potencia de tratamiento, las restricciones de temporización y las necesidades de ancho de banda, estos dispositivos y sus métricas de calidad asociadas no son capaces de proporcionar una salida que pueda ser correlacionada con otras mediciones de calidad más sofisticadas utilizadas por aplicaciones de asociación o sistemas automáticos de identificación de huellas dactilares (AFIS), y sus motores de comparación asociados. Las limitaciones del hardware también contribuyen a las deficiencias en la capacidad de segmentar dinámicamente las huellas de las yemas de los dedos del resto de la estructura de la mano y a separar de las huellas de las yemas de los dedos el fondo de la imagen, tal como manchas, partículas, huellas latentes y similares.

Como sustituto, los dispositivos del tipo de escaneo en vivo utilizan para la segmentación métricas de calidad basadas en el contraste de la imagen y áreas de platina estáticas del escáner. Típicamente, las métricas de calidad de las huellas dactilares utilizadas dentro de las aplicaciones de asociación y de AFIS/comparación, no son adecuadas para esta posibilidad de vista previa debido a sus requisitos para la exploración a toda resolución de las imágenes de las huellas dactilares, típicamente a 500 ppi (puntos por pulgada) y 1000 ppi.

Sumario

Un aspecto ilustrativo del invento se refiere a esta carencia al proporcionar una técnica de detección del flujo de crestas independiente de la resolución. Se utiliza entonces un mapa del flujo de crestas para determinar la calidad de la huella dactilar mediante una combinación de intensidad del flujo de crestas, continuidad del flujo de crestas y contraste de imagen localizada. El mapa de flujo de crestas también puede utilizarse como base para la segmentación.

Otro aspecto ilustrativo del invento reside en un sistema basado en el flujo de crestas y en la metodología para la determinación de la calidad de las huellas dactilares, que son independientes de la resolución de la imagen, el tratamiento puede realizarse en tiempo real e incluye segmentación, tal como segmentación de las yemas de los dedos, proporcionando por tanto una valoración de la calidad de la imagen para las yemas de los dedos en forma individual con una imagen plana de cuatro dedos, de los dos pulgares o de toda la mano.

Por ejemplo, un aspecto ilustrativo tiene como objeto las aplicaciones de asociación utilizando dispositivos de escaneo en vivo de huellas dactilares que proporcionan datos de imagen en vista previa con baja

resolución, tales como datos de imagen que representan un dedo, una mano u otra información biométrica que incluye un flujo de crestas.

Aspectos del invento se refieren, además, a un módulo de calidad para huellas dactilares que reciba, desde uno o más dispositivos de escaneo imágenes que contengan crestas que, luego, pueden ser valoradas en cuanto a uno o más de los siguientes parámetros: calidad, lateralidad, análisis de información histórica y asignación de cajas circundantes.

Aspectos ilustrativos adicionales del invento se refieren a la determinación del flujo de crestas.

Otros aspectos ilustrativos del invento se refieren a la segmentación de una imagen de huella dactilar.

Aspectos ilustrativos adicionales del invento se refieren a la determinación de la calidad de una imagen de entrada, tal como una imagen de huella dactilar.

Todavía otros aspectos del invento se refieren a la modificación del proceso del flujo de crestas basándose en la resolución de la imagen.

Aún otros aspectos ilustrativos del invento se refieren a determinar y proporcionar realimentación basándose en una o más imágenes recibidas.

Todavía otros aspectos del invento se refieren a la identificación de una o más huellas de las yemas de los dedos y, si fuese necesario, al recorte de las yemas en un pliegue interdigital.

Aún otros aspectos del invento se refieren a la determinación y posicionamiento de una caja circundante en torno a la huella de una yema de dedo identificada.

Aspectos ilustrativos adicionales del invento se refieren a la determinación en tiempo real de la calidad de una huella dactilar en un dispositivo del tipo de escaneo en vivo.

Estas y otras características y ventajas de este invento se describen en, o resultarán evidentes a partir de, la siguiente descripción detallada de las realizaciones.

Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones del invento se describirán con detalle, con referencia a las siguientes figuras, en las que:

la fig. 1 muestra un sistema ilustrativo de determinación de la calidad de huellas dactilares de acuerdo con este invento;

la fig. 2 ilustra con mayor detalle el módulo de calidad de huellas dactilares de acuerdo con una realización ilustrativa del invento;

la fig. 3 esquematiza un método ilustrativo de determinación de la calidad de acuerdo con este invento;

la fig. 4 esquematiza un método ilustrativo para conseguir un flujo de crestas de acuerdo con este invento;

la fig. 5 esquematiza un método ilustrativo para llevar a cabo la segmentación de acuerdo con este invento;

la fig. 6 esquematiza un método ilustrativo más específico para llevar a cabo la segmentación de acuerdo con este invento;

la fig. 7 esquematiza un método ilustrativo de determinación de la calidad de acuerdo con este invento;

la fig. 8 esquematiza un método ilustrativo de modificación de un flujo de crestas basándose en la resolución, de acuerdo con este invento;

las figs. 9-16 ilustran imágenes escaneadas de cuatro dedos de una mano (excepto el pulgar) de distinta

calidad y de las instrucciones de realimentación ilustrativas asociadas con ellas;

la fig. 17 muestra una retícula de detección de flujo de crestas ilustrativa de acuerdo con este invento;

la fig. 18 muestra correlaciones ilustrativas de coeficientes de acuerdo con este invento;

la fig. 19 muestra un flujo de crestas medio, ilustrativo, de acuerdo con este invento;

la fig. 20 muestra un agrupamiento ilustrativo de conglomerados de acuerdo con este invento;

la fig. 21 muestra una huella dactilar segmentada ilustrativa de acuerdo con este invento;

la fig. 22 muestra la colocación de una retícula ilustrativa de acuerdo con este invento;

la fig. 23 muestra una segunda colocación de retícula ilustrativa de acuerdo con este invento;

las figs. 24-27 muestran sinusoides objetivo ilustrativas a distintas resoluciones de acuerdo con este invento;

la fig. 28 muestra los 80 coeficientes utilizados en la detección ilustrativa del flujo de crestas de acuerdo con este invento; y

la fig. 29 muestra los 80 coeficientes utilizados a cuatro resoluciones diferentes de la detección ilustrativa del flujo de crestas de acuerdo con este invento.

Descripción detallada

Los sistemas y los métodos de este invento que se ofrecen a modo de ejemplo, se describirán en relación con la segmentación y la calidad de una imagen. Sin embargo, a fin de evitar oscurecer innecesariamente el presente invento, la siguiente descripción omite estructuras y dispositivos bien conocidos que pueden mostrarse en forma de diagrama de bloques, que son de conocimiento general o que se resumen de otro modo. Con fines explicativos, se aportan numerosos detalles específicos con el fin de proporcionar una profunda comprensión del presente invento. Sin embargo, debe apreciarse que el presente invento puede ser llevado a la práctica en una diversidad de modos, más allá de los detalles específicos contenidos en este documento.

Además, si bien las realizaciones ilustrativas presentadas en este documento muestran los diversos componentes del sistema con la misma situación física, debe apreciarse que los diversos componentes del sistema pueden estar situados en partes distantes de una red distribuida, tal como una LAN y/o en Internet, o dentro de un sistema dedicado. Así, debe apreciarse que los componentes de este sistema pueden combinarse en uno o más dispositivos o situarse conjuntamente en un nodo particular de una red distribuida, tal como una red de comunicaciones. A partir de la siguiente descripción, y por razones de eficacia de cálculo, se apreciará que los componentes del sistema pueden estar dispuestos en cualquier lugar dentro de una red distribuida, sin por ello afectar al funcionamiento del sistema.

Además, debe apreciarse que los diversos enlaces que conectan los elementos, pueden ser enlaces cableados o inalámbricos, o cualquier combinación de los mismos, o cualesquiera otros elementos conocidos o que se desarrollen posteriormente y que sean capaces de suministrar y/o comunicar datos hacia y desde los elementos conectados. Estos enlaces, cableados o inalámbricos pueden ser, también, enlaces seguros y pueden ser capaces de transmitir información cifrada.

El término "módulo", tal como se utiliza en este documento, puede referirse a cualquier hardwa-

re, software o combinación de hardware y software, conocidos o que se desarrollen posteriormente y que sean capaces de poner en práctica la funcionalidad asociada con ese elemento. Asimismo, aunque el invento se describe en términos de realizaciones ilustrativas, debe apreciarse que aspectos individuales del invento pueden ser reivindicados por separado. Si bien la realización expuesta en este documento estará dirigida a la segmentación y la calidad de huellas dactilares, debe apreciarse también que los métodos y los sistemas funcionarán igualmente bien para cualquier tipo de imagen que incluya cualquier tipo de diseño, periódico o repetitivo, tal como un flujo de crestas, incluyendo imágenes de dedos, manos, pies o cualquier parte de los mismos, pero sin limitarse a ellas.

La figura 1 muestra una realización ilustrativa del sistema 1 para determinación de la calidad de huellas dactilares. El sistema 1 para determinación de la calidad de huellas dactilares comprende un módulo 100 de calidad de huellas dactilares que puede conectarse a uno o más de entre un escáner de platina plana o un escáner 15 automático para documentos, un escáner 20 para la mano completa y un escáner 25 para huellas dactilares individuales, un escáner 30 para los cuatro dedos de una mano (excepto el pulgar), un escáner 35 para una sola huella dactilar rodada, otros escáneres 40 ópticos o no ópticos, uno o más dispositivos 45 de realimentación de audio y de vídeo, una o más interconexiones 55 de usuario, un suministro 65 de datos demográficos y una memoria 60, pudiendo ser emitida como salida la información procedente del módulo 100 de calidad de huellas dactilares a través de la salida 50.

El módulo 100 de calidad de huellas dactilares recibe entradas procedentes de distintas fuentes. Por ejemplo, el escáner de platina plana o el escáner 15 automático para documentos, digitaliza la información en una tarjeta 10 de huella dactilar enviándose una imagen correspondiente al módulo 100 de calidad de huellas dactilares para su revisión. Los dispositivos del tipo de escaneo en vivo tales como el escáner 20 para la mano completa, que puede tomar una imagen escaneada de los cuatro dedos de una mano (excepto el pulgar), el escáner 25 para huellas dactilares individuales y el escáner 30 para los cuatro dedos de una mano (excepto el pulgar) capturan, también, información de la imagen correspondiente al escaneo de un flujo de crestas que contenga parte de la anatomía. De forma similar, el escáner 35 para huellas dactilares rodadas individuales introduce datos de imagen correspondientes a una huella rodada en el módulo 100 de calidad de huellas dactilares.

Además, o alternativamente, el módulo 100 de calidad de huellas dactilares puede recibir datos de imágenes procedentes de otros escáneres 40 ópticos o no ópticos, tales como de fuentes capacitivas, de ultrasonidos o, en general, de cualquier fuente capaz de enviar información de un flujo de crestas que contenga una imagen.

En general, la imagen de entrada o cualquiera de las imágenes de entrada puede ser tratada previamente, de manera opcional, para mejorar la detección del flujo de crestas. Por ejemplo, la o las imágenes de entrada pueden ser sometidas a tratamiento previo para ajustar el contraste, la definición o para muestreo. La o las imágenes también pueden ser tratadas previamente para mejorar su esqueletización.

En funcionamiento, el módulo 100 de calidad de

la huella dactilar recibe una imagen procedente de uno de los dispositivos de entrada y determina el flujo de crestas. Una vez se ha determinado el flujo de crestas, si puede determinarse, pueden identificarse regiones dentro de la imagen tales como un dedo, la yema de un dedo, un dedo del pie, una mano, una palma o, en general, cualesquiera región o regiones basándose, por ejemplo, en el entorno operativo particular del sistema 1.

A continuación, el módulo 100 de calidad de la huella dactilar lleva a cabo uno o más de los pasos de: determinar y puntuar la calidad de la imagen, asignar las cajas circundantes a las regiones identificadas, determinar la lateralidad de la imagen y realizar un análisis de información histórica sobre una serie de imágenes capturadas. Por ejemplo, las imágenes pueden ser recibidas en tiempo real en el módulo 100 de calidad de la huella dactilar. Una serie de imágenes pueden ser almacenadas con la cooperación de la memoria 60 de tal manera que el módulo 100 de calidad de la huella dactilar puede ejecutar un análisis sobre varias tramas de un escaneo y, así, por ejemplo, establecer información sobre la tendencia en relación con la calidad de las imágenes. Esta información sobre la tendencia puede utilizarse luego para ayudar a proporcionar realimentación de audio o de vídeo al propietario de una huella dactilar y/o utilizarse dinámicamente con predicción de cuando podría capturarse una “buena imagen”.

Dependiendo del resultado de uno o más de los pasos de determinación de la calidad, asignación de las cajas circundantes, determinación de lateralidad y análisis de información histórica, el módulo 100 de calidad de la huella dactilar puede proporcionar realimentación a través de uno o más del o de los dispositivos 45 de realimentación de audio y/o de vídeo y de la o de las interconexiones 55 de usuario. Por ejemplo, el o los dispositivos 45 de audio y/o de vídeo pueden utilizarse para proporcionar realimentación al propietario de la huella dactilar para indicar si un escaneo ha tenido éxito, si es necesario un movimiento del o de los dedos sobre la platina, si hay que apretar más o menos fuertemente, si hay que enderezar la mano o similar. La realimentación puede ser en audio y/o en vídeo y/o gráficamente, con señales de audio y/o en una multitud de lenguajes, según sea necesario basándose, por ejemplo, en el entorno operativo particular del sistema 1.

Además, el módulo 100 de calidad de la huella dactilar podría proporcionar realimentación a través de la interconexión 55 de usuario. Por ejemplo, la interconexión 55 de usuario puede ser utilizada por el operador del sistema, incluyendo la información de realimentación, por ejemplo, instrucciones que indiquen que es necesario limpiar la platina, que se ha presentado un problema en uno o en más de los dispositivos de escaneo, si se ha realizado un buen escaneo y tuvo éxito la captura de la información sobre la huella dactilar, del estado operativo del sistema o, en general, de cualquier información relacionada con el funcionamiento o información que esté siendo tratada por el módulo 100 de calidad de la huella dactilar.

La interconexión 55 de usuario, en cooperación con la fuente 65 de datos demográficos, permite también asociar uno o más de los datos demográficos, otros datos biométricos o, en general, cualquier información, con una o más imágenes recibidas desde los diversos dispositivos de escaneo. Esta información

puede incluir nombre, número de pasaporte, número de la Seguridad Social, información sobre la fecha y la hora en que se realizó el escaneo, información sobre la localización del escaneo o, en general, cualquier información que pudiera utilizarse, por ejemplo, para ayudar a identificar, clasificar, catalogar o marcar la imagen, pero sin limitarse a estos datos. Entonces, la imagen, con los metadatos demográficos, puede almacenarse, por ejemplo, en la memoria 60 o enviarse a través de la salida 50.

La salida 50 permite, por ejemplo, que el módulo de calidad de la huella dactilar envíe como salida una o más imágenes, con o sin metadatos demográficos, para permitir, por ejemplo, su impresión, tratamiento fuera de línea, identificación, análisis, comparación, archivado o, en general, su salida general para cualquier necesidad.

La figura 2 esquematiza con mayor detalle el módulo 100 de calidad de la huella dactilar. En particular, el módulo 100 de calidad de la huella dactilar comprende un módulo 110 de lateralidad, un módulo 120 de segmentación, un módulo 130 de muestreo, un dispositivo de tratamiento 140, un memoria 150 y un módulo 160 de E/S, un módulo 170 de comprobación de secuencia, un módulo 180 de determinación de la calidad, un módulo 190 de flujo de crestas, un módulo 195 de contraste y un módulo 197 de auto-captura, todos ellos interconectados mediante enlaces 5.

Como se describe en lo que sigue con mayor detalle, se presenta una metodología ilustrativa, no limitativa, que realiza la segmentación de las yemas de los dedos a partir de una imagen de la impresión de múltiples dedos.

Como se ha expuesto previamente, el proceso se inicia con la recepción de la imagen de una huella dactilar. Al recibirse la imagen, y con la cooperación del módulo 190 de flujo de crestas, se determinan la intensidad, la continuidad y el ángulo del flujo de crestas en, por ejemplo, cada píxel de la imagen de la huella dactilar. Alternativamente, o además, la intensidad, el ángulo y la continuidad pueden determinarse para posiciones predeterminadas dentro de la imagen, tal como a través de una retícula predeterminada. Si bien en lo que sigue se expondrá una metodología específica para el flujo de crestas, debe apreciarse que para la determinación del flujo de crestas puede utilizarse cualquier metodología que sea capaz de emitir como salida información que represente uno o más de los parámetros de intensidad, continuidad y ángulo del flujo de crestas en varios puntos dentro de la imagen recibida.

El módulo de segmentación 120 lleva a cabo las necesarias determinaciones para identificar las posiciones de las yemas de los dedos. Se cuenta con diversas metodologías que pueden utilizarse con fines de segmentación, siendo el único requisito, en general, una identificación precisa de la caja circundante para las partes de dedo.

El módulo 180 de determinación de la calidad utiliza la información sobre flujo de crestas y la información sobre segmentación para determinar una métrica de calidad basándose en un análisis sintáctico del área de la imagen de la huella dactilar para uno o más de los parámetros de contraste, intensidad del flujo de crestas y flujo de crestas local. Estos factores pueden combinarse para formar una puntuación de calidad para cada yema. Basándose en esta puntuación de calidad y en cooperación con el módulo 165 de de-

terminación de realimentación, puede determinarse la realimentación apropiada, si es necesario, y enviarse a un destino apropiado.

El módulo de muestreo 130 permite el muestreo ascendente o descendente de las imágenes recibidas. Por ejemplo, dependiendo de la resolución de la imagen recibida, puede ser ventajoso, desde un punto de vista de computación, muestrear la imagen en sentido ascendente o descendente.

El módulo 170 de comprobación de secuencia lleva a cabo una comprobación de secuencia de las imágenes de huellas dactilares recibidas. Una comprobación de secuencia típica verificaría que las imágenes correspondientes a escaneos individuales de huellas dactilares se reciben en un orden particular tal como, por ejemplo, empezando desde el dedo índice hacia el dedo meñique. Si se determina que se ha recibido el dedo meñique fuera de secuencia o que se ha generado equivocadamente la imagen de un dedo por duplicado, y en cooperación con el módulo 165 de realimentación, puede determinarse una realimentación apropiada y enviarse al destino apropiado.

El módulo 197 de auto-captura trabaja en conjunto con el módulo 180 de determinación de calidad y es capaz de determinar dinámicamente cuando se espera que una imagen cumpla una cierta métrica de calidad. Por ejemplo, y en conjunto con el análisis de información histórica, puede analizarse la información sobre la tendencia con fines de predicción acerca de cuando se espera que el sistema de calidad de la huella dactilar y, en particular, el módulo 100 de calidad de la huella dactilar, reciba un escaneo de "buena" calidad desde uno de los dispositivos de escaneo. Por ejemplo, si el propietario de una huella dactilar está presionando, inicialmente, demasiado ligeramente sobre la platina y la información sobre la tendencia indica que se ha producido un aumento continuo de la presión sobre la platina, habrá un punto ideal en el que debe capturarse la huella dactilar. Este módulo 197 de autocaptura sigue así esta información histórica y captura imágenes en un instante particular durante la secuencia de captura de imágenes.

La figura 3 es una gráfica de proceso que esquematiza un método ilustrativo de funcionamiento del sistema de calidad de la huella dactilar de acuerdo con este invento. En particular, el control se inicia en el paso S300 y continúa hasta el paso S310. En el paso S305 se recibe una imagen. A continuación, en el paso S310, se determina el flujo de crestas para la imagen recibida. Luego, en el paso S315 se establece una agrupación de flujos de crestas para la imagen recibida. El control continúa, luego, en el paso S320.

En el paso S320, se identifican una o más regiones de la imagen recibida. Estas regiones pueden incluir un dedo, la yema de un dedo, un dedo del pie, una mano, la palma de una mano o, en general, cualquier región para cuya identificación ha sido asignado el sistema de calidad de la huella dactilar, pero sin limitarse a ellos. El control continúa luego a uno o más de los pasos S325, S335, S340 y S345.

Más específicamente, en el paso S325 se determina la calidad de la imagen. Una vez determinada la calidad de la imagen, en el paso S330, se puede asignar una puntuación a la calidad, por ejemplo para cada yema del dedo. Luego, el control continúa al paso S350.

En el paso S335, se pueden asignar una o más cajas circundantes a la o las regiones identificadas, si-

tuándose las cajas circundantes en torno a las regiones identificadas. Más específicamente, las cajas circundantes identifican una región de interés de un dedo, una mano, una palma, una característica de un pie, etc., que tenga un interés particular para el sistema. Las cajas circundantes pueden determinarse utilizando uno o más datos de flujo de crestas, entradas de usuario u otros datos considerados aplicables por el sistema. La extensión exacta de la caja puede ser la región mínima de la característica de interés o de cualquier otra extensión requerida por el sistema.

En el paso S340, se lleva a cabo la determinación de la lateralidad. Esto permite que el sistema determine, por ejemplo, si en la imagen recibida se representa una mano izquierda o una mano derecha, o parte de las mismas. El control continúa luego al paso S350.

En el paso S345 puede realizarse un análisis de la información histórica. Como se ha descrito previamente, este análisis de la información histórica permite que el sistema siga dinámicamente la información sobre la tendencia relacionada con una pluralidad de imágenes recibidas y, por ejemplo, iniciar una acción particular basándose en una o más tendencias. El control continúa luego al paso S350.

En el paso S350 se realiza la determinación, basándose en cualquiera de los pasos precedentes, si debe proporcionarse una realimentación para uno o más usuarios del sistema y un propietario de la huella dactilar. Si se lleva a cabo la determinación de que se necesita una realimentación, el control continúa al paso S535, donde se proporciona esa realimentación. De otro modo, el control salta al paso S360, donde se lleva a cabo la determinación de si se necesita un escaneado adicional. Si es necesario un escaneado adicional, el control vuelve al paso S305. De otro modo, el control continúa al paso S365, en el que se almacenan la o las imágenes. El control continúa luego al paso S370, en donde finaliza la secuencia de control.

La metodología ilustrativa presentada en lo que antecede puede utilizarse de forma independiente de la resolución. Así, las diversas metodologías descritas en este documento pueden modificarse para aceptar datos de imágenes con diversas resoluciones siendo posible que las siguientes descripciones detalladas de cálculos de flujo de crestas específico, segmentación y calidad, trabajen con diversas versiones de la misma imagen de huella dactilar cuando la diferencia entre las versiones sea la resolución de la captura. El tratamiento de cada versión tiene como consecuencia detecciones similares, si no iguales, del flujo de crestas. Para facilitar el mantenimiento de la fidelidad del proceso, tanto los procesos de segmentación como las determinaciones de calidad seleccionados, deben adherirse a la invarianza de la resolución. Las metodologías de segmentación y de calidad descritas en este documento se presentarán de manera invariante en la resolución para soportar esta fidelidad.

La independencia de la resolución y el alto grado de correlación entre la salida de sub-resolución y la salida de resolución total, en todos los aspectos del tratamiento de segmentación del flujo de crestas y puntuación de la calidad, así como la capacidad para tratar esta información en tiempo real, son lo que permite la determinación de una realimentación rápida. Determinando en forma rápida la calidad basándose en el flujo de crestas y las posiciones de la yema de un dedo, el sistema de calidad de la huella dactilar es capaz de capitalizar dispositivos de captura de imáge-

nes que, con frecuencia, generan datos de vista previa de baja resolución.

La figura 4 esquematiza con mayor detalle un método ilustrativo para determinar el flujo de crestas. En particular, el control se inicia en S400 y continúa hasta el paso S410. En el paso S410, se selecciona una retícula de puntos. A continuación, en el paso S420, para cada punto de la retícula de imagen, se determinan los coeficientes de Fourier para una ventana secundaria en torno al punto de retícula para un número predeterminado de frecuencias a ángulos variables. Luego, en el paso S430, basándose en los resultados del paso de determinación en S420, se determina una agrupación de valores máximos de correlación a los que la frecuencia y el ángulo casan mejor con el flujo de crestas local de la ventana secundaria. El control continúa luego al paso S440.

En el paso S440, se determina el ángulo máximo del flujo de crestas (si existe) de las ventanas secundarias a partir del mapa de correlación. A continuación, en el paso S450, puede llevarse a cabo el promediado o el alisamiento opcionales del mapa de flujo de crestas en bruto. El control continúa luego al paso S460, en el que finaliza la secuencia de control.

La figura 5 ilustra una metodología de segmentación ilustrativa. En particular, el control se inicia en el paso S500 y continúa en el paso S505. En el paso S505 se reúnen en grupos las detecciones de flujos de crestas vecinos. A continuación, en el paso S510, se etiqueta cada grupo. Luego, en el paso S515 se descartan el o los pequeños cúmulos aislados. El control continúa luego al paso S520.

En el paso S520 se determina la orientación del o de los grandes cúmulos. A continuación, en el paso S525 se determina el ángulo de orientación dominante. Luego, en el paso S530 se reúnen en uno o más grupos de cúmulos de segmentos los cúmulos que pueden conectarse mediante un ángulo sospechado de orientación del segmento. El control continúa luego al paso S535.

En el paso S535, se eliminan cualesquiera conjuntos de grupos de cúmulos sin segmentos. A continuación, en el paso S540 se identifica como la yema el cúmulo final de cada grupo de cúmulos de segmentos. A continuación, en el paso S545 se realiza la determinación de si la yema identificada es demasiado larga. Si la yema identificada es demasiado larga, el control continúa al paso S550, en donde se recorta la yema, continuando el control al paso S555. De otro modo, si la yema identificada no es demasiado larga, el control salta al paso S555, donde se determina una caja circundante para cada yema. El control continúa luego al paso S560, en el que finaliza la secuencia de control.

La figura 6 esquematiza una metodología de segmentación específica para los dedos de acuerdo con una realización ilustrativa de este invento. El control se inicia en el paso S600 y continúa al paso S605. En el paso S605, las detecciones de flujo de crestas vecinas se reúnen en grupos. A continuación, en el paso S610, se etiqueta cada grupo. Luego, en el paso S615 pueden eliminarse cualesquiera cúmulos aislados pequeños. El control continúa entonces al paso S620.

En el paso S620 se determina la orientación para el o los cúmulos mayores. A continuación, en el paso S625, se determina el ángulo de orientación dominante. Este ángulo de orientación dominante puede

corresponder, por ejemplo, a la mano. La orientación para los cúmulos mayores corresponde, generalmente, a los cúmulos que representan partes de un dedo, tal como un nudillo. En el paso S630 se reúnen los grupos que pueden conectarse mediante el ángulo de orientación de un dedo. A continuación, en el paso S635 se eliminan cualesquiera grupos de cúmulos en los que no hay dedos. Luego, se identifica el cúmulo más superior de cada dedo como la yema del dedo. El control continúa luego en el paso S645.

En el paso S645 se realiza la determinación de si la yema del dedo identificada es demasiado larga. Si la yema del dedo es demasiado larga, el control continúa hasta el paso S650, donde se recorta la yema por el pliegue interdigital. El control continúa luego en el paso S655.

Si la yema identificada no es demasiado larga, el control salta al paso S655, donde se determina la caja circundante para cada yema. El control continúa luego en el paso S660, en el que finaliza la secuencia de control.

La fig. 7 esquematiza un método ilustrativo para la determinación de la calidad de la imagen de entrada, tal como una huella dactilar. El control se inicia en el paso S700 y continúa en el paso S705. En el paso S705 se identifican las detecciones de flujo de crestas y se las asocia con una huella dactilar objetivo basándose en la información recibida sobre la segmentación. A continuación, en el paso S710, y para cada detección, se ponen en práctica los pasos S715-725.

En el paso S715 se determina el contraste medio para las detecciones identificadas. A continuación, en el paso S720, se determinan los coeficientes máximos de Fourier para cada detección de flujo de crestas. Luego, en el paso S725, se determina el acuerdo del ángulo máximo entre cada detección de flujo de crestas y las vecinas. El control continúa entonces al paso S730.

En el paso S730 se combinan los resultados y se convierten en una puntuación de calidad. A continuación, en el paso S735, se realiza la determinación de si se han tratado todas las yemas de los dedos. Si se han tratado todas las yemas de los dedos, el control continúa al paso S750, en donde finaliza la secuencia de control. De otro modo, el control salta al paso S740.

En el paso S740 se selecciona la siguiente huella dactilar objetivo retornando el control al paso S705.

En una realización más específica, un primer paso de la determinación de la calidad consiste en la identificación de todas las detecciones de flujo de crestas que pertenecen a la yema de dedo objetivo. Esta información procede directamente del proceso de segmentación. Para cada yema de dedo se tratan todos los bloques identificados en cuanto a contraste de imagen, intensidad de detección, y acuerdo de ángulos. El contraste de imagen puede derivarse a partir del componente DC (componente continua) del análisis de Fourier. La diferencia entre el valor del bloque corriente y el fondo de la imagen puede ser la base de esta métrica. Cuando mayor sea la diferencia, mayor será el contraste y mayor la puntuación de calidad.

La segunda métrica es la intensidad relativa de la detección de picos. El valor del coeficiente de Fourier puede compararse con un valor ideal. Cuando más fuerte sea el coeficiente, más pronunciado será el flujo de crestas y mayor la puntuación de calidad.

La determinación final es el acuerdo local de los ángulos máximos detectados. Para cada bloque se comparan los ángulos detectados con los ángulos máximos vecinos. Si coinciden la mayoría de los ángulos, entonces la puntuación resultante de la calidad es elevada.

Estas tres métricas para medir la calidad pueden combinarse entonces para todos los bloques de flujo de crestas de las yemas de los dedos y se convierten en un valor significativo. Tal metodología de puntuación da como resultado una puntuación de 0 a 100 donde, por ejemplo, 100 representa la mejor imagen posible.

La figura 8 muestra un método ilustrativo para la determinación de flujos de crestas invariantes en resolución. El control se inicia en el paso S800 y continúa al paso S805. En el paso S805 se determina la separación de la retícula basándose en la resolución de la imagen de entrada. A continuación, en el paso S810, se ajustan la ventana de tratamiento y la frecuencia del coeficiente de Fourier. El control continúa entonces en el paso S815, en donde finaliza la secuencia de control.

Las figuras 9-16 representan varias secuencias de imágenes de vista previa que muestran, en la esquina superior izquierda, la imagen inicial y, como resultado de la realimentación, la captura final se muestra en la imagen inferior derecha. Más específicamente, en la fig. 9 la imagen inicial 910 se identifica como demasiado clara. En este punto, podría indicarse al propietario de la huella dactilar que apretase más fuertemente sobre la platina y, cuando el propietario de la huella dactilar presione más fuerte, en la captura 920 se consigue una buena captura de imagen. Como puede verse también en la figura, son las determinaciones preliminares de las cajas circundantes 930.

En la fig. 10, la imagen inicial 1010 es demasiado oscura. Así, se le proporciona al usuario realimentación para que, por ejemplo, presione menos fuertemente sobre el escáner, representándose la captura final buena en la imagen 1020.

En la fig. 11, la imagen inicial 1110 muestra que la mano derecha está girada en una orientación contraria al sentido de las agujas del reloj. Tras esta detección, el sistema de calidad de la huella dactilar puede proporcionar realimentación al propietario de la huella dactilar, pidiéndole que enderece su mano o que la oriente en una dirección más vertical. Este proceso dinámico de captura y realimentación continúa hasta que se consigue, por ejemplo, una buena captura 1120.

La fig. 12 ilustra una imagen inicial 1210 que ha sido identificada como parcialmente desplazada hacia la derecha del escáner. De nuevo, vigilando dinámicamente la posición de la mano, puede proporcionarse realimentación al propietario de la huella dactilar situándose la mano más centralmente hasta el punto de conseguir una buena captura 1220.

La fig. 13 ilustra una imagen inicial 1310 que muestra una mano que necesita ser centrada en la orientación vertical. Proporcionando realimentación al propietario de la huella dactilar se obtiene como consecuencia que la mano sea movida hacia el centro del dispositivo de escaneo con una captura final 1320 que muestra la mano situada más centralmente en el escáner.

La fig. 14 ilustra una imagen inicial 1410 en la que, debido a que los dedos están situados demasiado

cerca unos de otros, las cajas circundantes se solapan parcialmente. Mediante el uso de la realimentación, los dedos se separan más en la serie de capturas, hasta que se ilustra una buena captura en la captura 1420.

La fig. 15 ilustra una imagen inicial 1510 en la que los dedos están demasiado separados y, en realidad, están fuera del área de escaneado. Nuevamente, por ejemplo, gracias al uso de la realimentación, se pueden dar al propietario de la huella dactilar instrucciones para que junte más los dedos, ilustrándose en la figura una buena captura final 1520.

La fig. 16 ilustra una imagen inicial 1610 en la que la calidad de la captura es insuficiente debido al movimiento de la mano. A medida que la mano del usuario se mantiene más estable, puede verse en la captura 1620 una buena captura final.

A modo de ilustración, con referencia a una huella dactilar del mundo real y con referencia a la figura 17, en ella se muestra una determinación ilustrativa de flujo de crestas con relación a una huella dactilar de muestra. Sin embargo, debe apreciarse que también podrían utilizarse igualmente otros números de sinusoides en un número diferente de ángulos. La determinación comienza con el establecimiento de una retícula 1710 sobre la imagen, por ejemplo, en cada duodécima columna en cada duodécima fila. La retícula representa el punto central del análisis de la tendencia local para el flujo de crestas. Para cada punto 1710 de la retícula y la imagen puede analizarse, en cuanto al flujo de crestas, una pequeña ventana secundaria de la imagen. En cada posición de muestra, una pequeña ventana rectangular de datos de imagen se compara con, por ejemplo, cinco sinusoides de frecuencias específicas rotadas en, por ejemplo, dieciséis ángulos diferentes. Se calculan los coeficientes de Fourier para cada una de estas cinco frecuencias bajo dieciséis ángulos diferentes. El resultado de cada serie de comparaciones es una agrupación de ochenta coeficientes con un pico conseguido a una frecuencia y en un ángulo que case mejor con el flujo de crestas local. Esto puede verse en la figura 18, en la que los sinusoides en la parte 1810 tienen un pequeño valor de coeficiente cuando se le compara con la situación de la muestra, las sinusoides en la parte 1820 tienen un valor de coeficiente mayor que en la parte 1810, teniendo la parte 1830 un valor de coeficiente pequeño en comparación con la posición de la muestra.

Una vez que se han determinado los valores de correlación para todas las ventanas de la imagen de la huella dactilar, puede tratarse el mapa de correlación resultante para identificar el ángulo máximo del flujo de crestas (si existe) encontrado en cada ventana dentro de la imagen, produciendo así el mapa de flujo de crestas en bruto. Estos datos pueden analizarse, además, para eliminar cualesquiera singularidades y alisarse o promediarse para generar un mapa de flujo de crestas promedio como se ilustra en la fig. 19, con el flujo de crestas promedio resaltado por las diversas flechas 1910. Como se ve en la fig. 19, las flechas representan gráficamente el ángulo local máximo para el flujo de crestas, representando cada flecha el ángulo máximo identificado de los ochenta coeficientes para esa posición de la retícula.

Por ejemplo y con referencia a las figs. 20 y 21, la segmentación de las yemas de los dedos a partir de una impresión de múltiples dedos puede llevarse a cabo basándose en la siguiente secuencia de pasos ilustrativa:

agrupar todas las detecciones de flujo de crestas vecinas,

eliminar los pequeños cúmulos,

identificar el ángulo de orientación para cada cúmulo,

identificar el ángulo mediano de orientación para todos los cúmulos (el ángulo de orientación de la mano),

identificar todos los cúmulos que caen a lo largo de este ángulo y reunirlos en un dedo, seleccionar el cúmulo más alto para cada dedo como la yema del dedo, y realizar el tratamiento posterior de la yema del dedo para identificar la longitud exacta de la yema del dedo.

Con mayor detalle y con referencia a la figura 20, las detecciones 2010 de flujo de crestas se agrupan con detecciones vecinas que tienen un ángulo de orientación similar, representado por "2". Como se ve en la figura 20, hay dos cúmulos de detecciones de flujo de crestas que han sido identificados como "1" y "2" y etiquetados como tales.

Los pequeños cúmulos aislados, tales como el 2020, son eliminados o ignorados y los cúmulos más grandes son tratados para determinar la orientación del cúmulo. Se selecciona entonces el ángulo mediano de todos los cúmulos como el ángulo de orientación global para la mano. Se tratan entonces, de nuevo, los cúmulos para identificar los grupos que caen a lo largo del ángulo de orientación, reuniéndose aquellos cúmulos que caen en el ángulo de orientación de la mano en los dedos 2110, como se ve en la figura 21. Las detecciones de flujo de crestas agrupadas, en las que cada color representa un cúmulo separado, y los grupos de dedos se identifican entonces como cúmulos que se encuentran a lo largo de la línea 2020 del ángulo de orientación de la mano. Una vez realizadas las asociaciones dedo/cúmulo, puede tratarse cada grupo para identificar el cúmulo más superior como la yema del dedo, por ejemplo, 2030. En el caso de que la longitud de la yema del dedo viole la longitud natural de la yema de un dedo, se recorta el cúmulo por el pliegue interdigital.

Una ventaja ilustrativa que tiene recortar la yema del dedo, el dedo, la palma u otro dedo objetivo es aislar solamente el área de la imagen directamente asociada con la característica objetivo. Por ejemplo, las yemas de los dedos pueden recortarse por el pliegue interdigital para adaptar su longitud. Un método ilustrativo puede utilizar reglas antropomórficas para asociar la anchura del dedo a la longitud de la yema del dedo. Un segundo método ilustrativo puede realizar el análisis sintáctico del mapa de flujo de crestas para identificar la rotura del flujo de crestas comúnmente asociada con el pliegue interdigital.

Finalmente, el resultado es la identificación de todas las detecciones de flujo de crestas que formen la yema del dedo, así como la caja circundante del cúmulo de la yema del dedo. Como con los otros aspectos del invento, esto puede ponerse en práctica con independencia de la resolución de la imagen de entrada ya que la determinación del flujo de crestas aísla de la resolución las anteriores determinaciones.

Un ejemplo no limitativo se ilustra con referencia a las figs. 22-27. En particular, el establecimiento de la retícula dispuesta sobre la imagen, puede rela-

cionarse directamente con la resolución de la imagen de entrada de la imagen de la huella dactilar. A medida que disminuye la resolución, puede reducirse el espacio de la retícula, por ejemplo, en forma lineal. Si la separación a 500 ppi es de 12×12 píxeles, la separación a 250 ppi podría ser de 6×6 píxeles. Por ejemplo, comparando las figs. 22 y 23, aunque cambie la separación de los píxeles, la situación de los puntos de la retícula sigue siendo la misma, de tal modo que los puntos de la retícula siempre están en el mismo punto físico cuando cambia la resolución. Cuando la resolución baja de los 500 ppi, tanto la ventana de tratamiento como la frecuencia de los coeficientes de Fourier se reducen linealmente con respecto a la resolución objetivo. Por ejemplo, si la ventana de resolución completa es de 23×13 píxeles y soporta una senoide que incluye 3 ciclos en la longitud de 23 píxeles, la ventana de media resolución sería de 11×6 píxeles, con 3 ciclos en esos 11 píxeles.

Como se ve en las figs. 24-27, la fig. 24 es una representación de la senoide objetivo para la resolución original del 100%, de 500 ppi. La fig. 25 representa las sinusoides objetivo a una resolución del 80%, la fig. 26 a una resolución del 60% y la fig. 27 a una resolución del 50%, que es de 250 ppi.

La siguiente sección describe los productos de ensayo en el ínterin desarrollados como parte del proceso de diseño y de ejecución práctica del proceso del invento.

La fig. 28 es una representación de la correlación entre la imagen de la huella dactilar y las sinusoides objetivo (bajo diversos ángulos -eje vertical, y frecuencias- eje horizontal). Cada "celda" de la agrupación de imágenes representa la respuesta para el cálculo del flujo de crestas utilizando una senoide de frecuencia específica y presentada bajo un ángulo específico.

La primera columna de datos es el término DC - el valor medio de píxeles para la ventana muestreada. Para las restantes columnas, el brillo del píxel está relacionado con la fuerza del coeficiente, es decir, cuando más brillante sea el píxel, más fuerte será la correlación entre la ventana secundaria de la imagen y la senoide objetivo. Siguiendo cada columna, de arriba hacia abajo, existe una tendencia de los picos de brillo a medida que se desplazan en torno al centro de la huella dactilar que responde a la tendencia general del flujo de crestas de la huella dactilar.

La fig. 29 representa una extensión de esta imagen. Se presentan cuatro ejemplos separados de la misma imagen de entrada con cuatro resoluciones diferentes. La imagen de 500 ppi representa el resultado esperado de la línea de base y las tendencias (entre los ángulos y las frecuencias). Los resultados para los 250 ppi y los 170 ppi siguen, aproximadamente, las tendencias dentro de la imagen de 500 ppi. Los resultados a 125 ppi siguen las tendencias aproximadas pero existe una degradación debido al fallo de la resolución de 125 ppi para resolver por completo el flujo de crestas en un dedo medio.

Los métodos y los sistemas descritos pueden ser puestos en práctica en un dispositivo de tratamiento de imágenes, un dispositivo de tratamiento de huellas dactilares o similares, o en un ordenador para fines generales programado separado, dotado de capacidad para el tratamiento de imágenes. Además, los sistemas y los métodos de este invento pueden llevar-

se a la práctica en un ordenador separado para fines especiales, un microprocesador programado o un microcontrolador y uno o más elementos de circuito integrado periféricos, un ASIC u otro circuito integrado, un dispositivo de tratamiento de señales digitales, un circuito lógico o electrónico cableado tal como un circuito de elementos discretos, un dispositivo lógico programable, tal como un PLD, una PLA, una FPGA, una PAL o similar. En general, para la puesta en práctica del sistema de tratamiento de imágenes de acuerdo con este invento, puede utilizarse cualquier dispositivo capaz de incorporar en la práctica una máquina de estado que, a su vez, sea capaz de llevar a la práctica las gráficas de proceso ilustradas en este documento.

Además, los métodos descritos pueden incorporarse fácilmente en software utilizando entornos de desarrollo de software con objetos u orientado a objetos, que proporcionen un código fuente portátil que pueda ser utilizado en una diversidad de ordenadores o de plataformas de puestos de trabajo. Alternativamente, el sistema descrito puede ser puesto en práctica en forma parcial o completamente mediante hardware, utilizando circuitos lógicos estándar o un diseño VLSI. El que se utilice software o hardware para llevar a la práctica los sistemas de acuerdo con este invento depende de los requisitos de velocidad y/o eficacia del sistema, la función particular y los sistemas de software o de hardware particulares o de los sistemas de microprocesador o de microordenador que se utilicen. Sin embargo, los sistemas y los métodos ilustrados en este documento pueden incorporarse fácilmente en la práctica mediante hardware y/o software empleando cualesquiera estructuras, sistemas dispositivos y/o software conocidos por los expertos norma-

les en la técnica aplicable, o que se desarrollen posteriormente, a partir de la descripción funcional proporcionada en este documento y con un conocimiento básico general de las técnicas de tratamiento de imágenes y de los ordenadores.

Además, los métodos descritos pueden llevarse a la práctica fácilmente mediante software ejecutado en un ordenador programado para usos generales, un ordenador para fines especiales, un microprocesador o similar. En estos casos, los sistemas y los métodos de este invento pueden incorporarse en la práctica en la forma de un programa integrado en un ordenador personal, tal como un archivo de órdenes Java® o CGI, como un recurso residente en un servidor o un puesto de trabajo para gráficos, como una rutina integrada en un sistema dedicado de tratamiento de huellas dactilares, como un complemento o similar. El sistema también puede ser llevado a la práctica incorporando físicamente el sistema y el método en un sistema de software y/o de hardware, tal como los sistemas de hardware y de software de un dispositivo de tratamiento de imágenes.

Por tanto, es evidente que, de acuerdo con el presente invento, se han proporcionado sistemas y métodos para determinar la calidad de las huellas dactilares y la segmentación, que pueden ser particularmente útiles cuando se emplean con una o más imágenes de vista previa de huellas dactilares. Si bien este invento se ha descrito en conjunto con varias realizaciones, es evidente que muchas alternativas, modificaciones y variaciones serían o son evidentes para los expertos normales en las técnicas aplicables. En consecuencia, se pretende abarcar todas las citadas alternativas, modificaciones, equivalentes y variaciones que están dentro del alcance de este invento.

REIVINDICACIONES

1. Un método de segmentación para la segmentación de información de imágenes de huellas de una mano, que comprende:

reunir detecciones de flujos de crestas vecinas formando cúmulos;

eliminar los pequeños cúmulos aislados;

determinar una orientación para uno o más cúmulos mayores;

determinar un ángulo mediano de orientación para el o los cúmulos mayores como ángulo de orientación dominante para una mano; y

reunir el o los cúmulos mayores que caen a lo largo del ángulo de orientación dominante en uno o más dedos.

2. El método de la reivindicación 1, que comprende además eliminar cúmulos que no pertenecen a dedos.

3. El método de la reivindicación 1 o de la reivindicación 2, que comprende además identificar un cúmulo final para cada dedo como la yema de un dedo.

4. El método de la reivindicación 3, que comprende además la determinación de una caja circundante para cada yema de dedo.

5. Un sistema de segmentación para la segmentación de información sobre imágenes de la huella de

una mano, que comprende:

medios para reunir en cúmulos detecciones vecinas de flujo de crestas;

medios para eliminar los pequeños cúmulos aislados;

medios para determinar una orientación para uno o más cúmulos mayores;

medios para determinar un ángulo mediano de orientación para el o los cúmulos mayores como ángulo de orientación dominante para una mano; y

medios para reunir el o los cúmulos más grandes que caen a lo largo del ángulo de orientación dominante en uno o más dedos.

6. El sistema de la reivindicación 5, que comprende además medios para eliminar cúmulos que no pertenecen a dedos.

7. El sistema de la reivindicación 5 o de la reivindicación 6, que comprende además medios para identificar un grupo final de cada dedo como la yema del dedo.

8. El sistema de la reivindicación 7, que comprende además medios para determinar una caja circundante para cada yema de dedo.

9. Un medio legible por ordenador que tiene almacenadas en él, instrucciones para poner en práctica la funcionalidad del método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4.

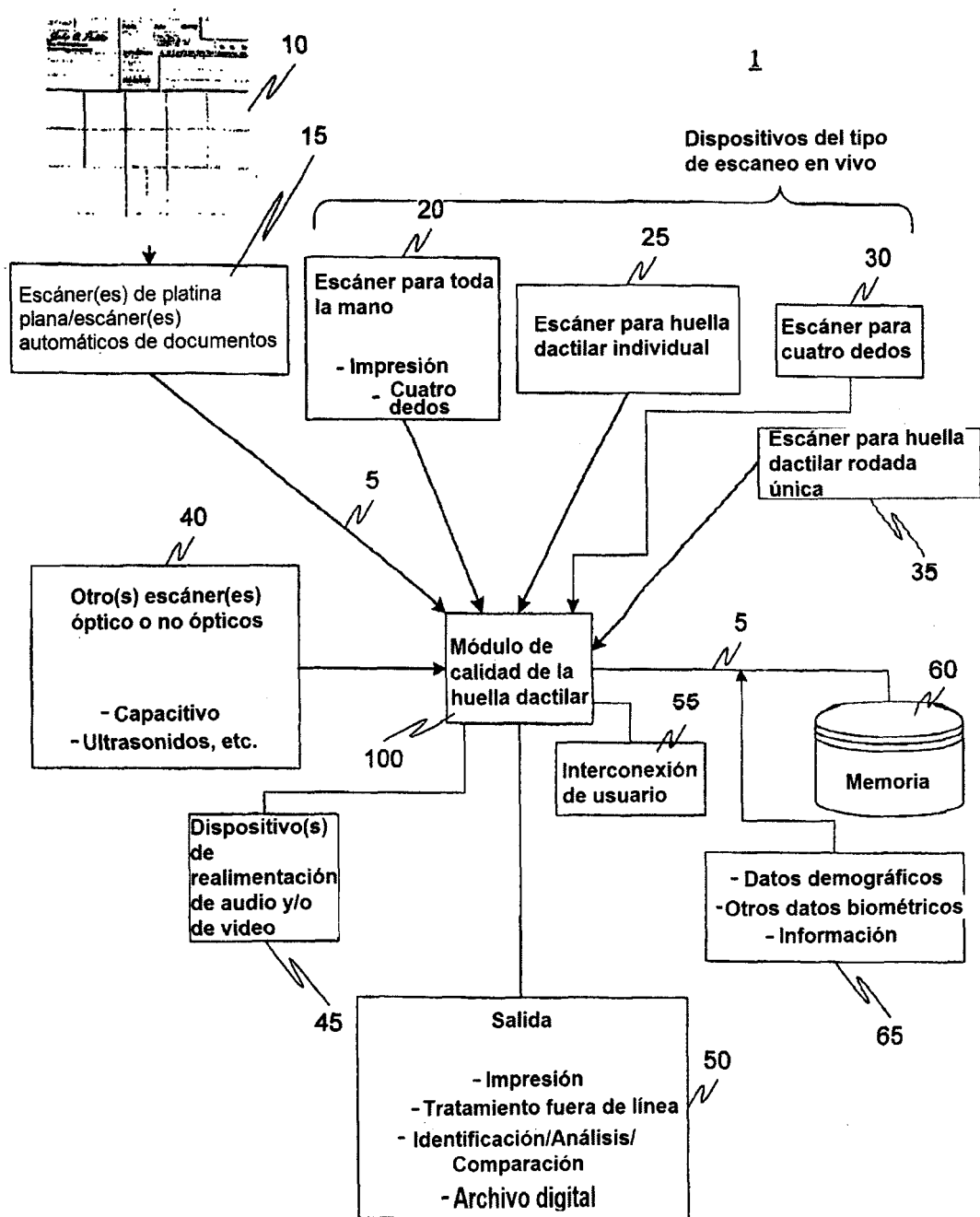


Fig. 1

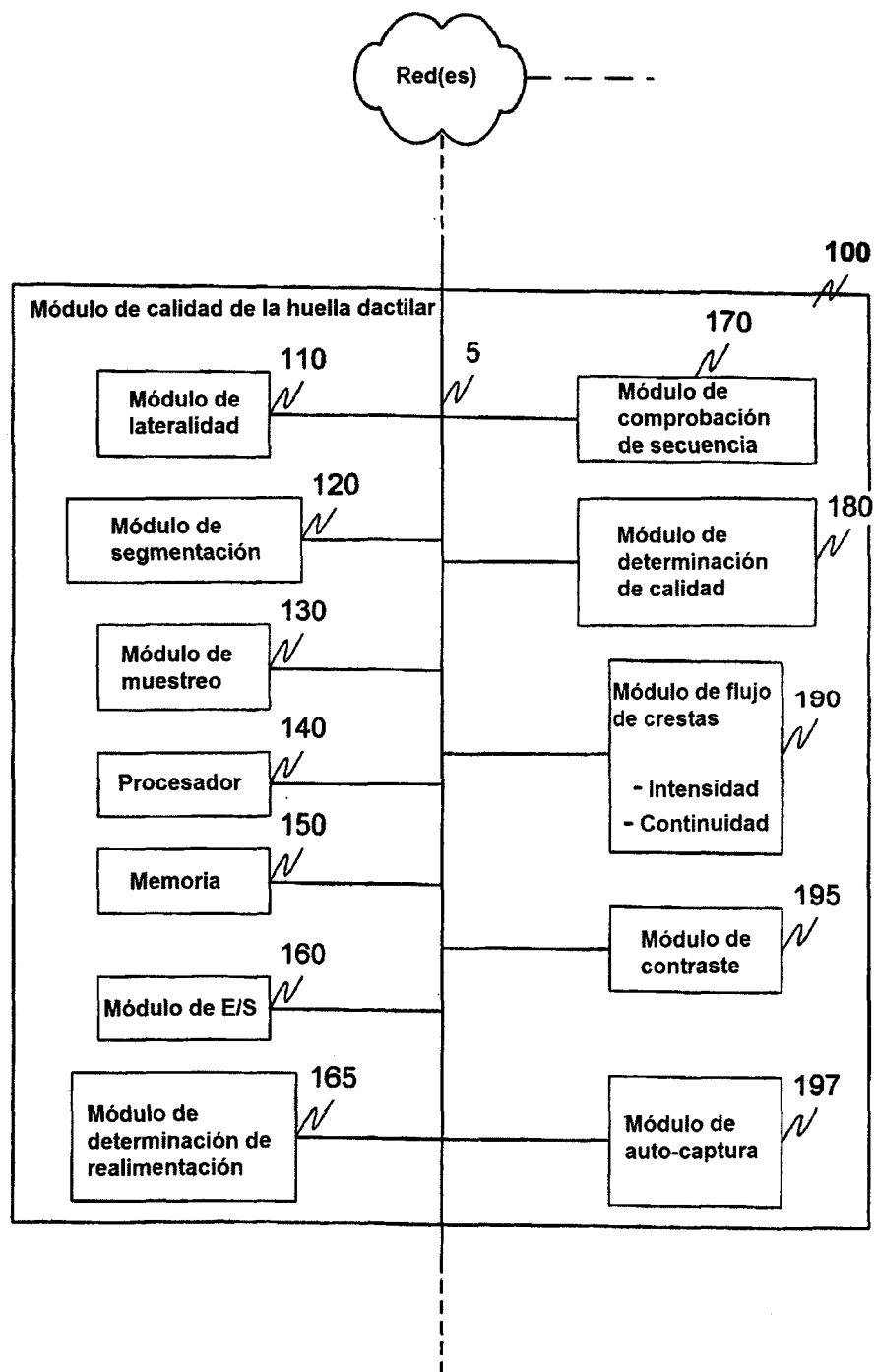


Fig. 2

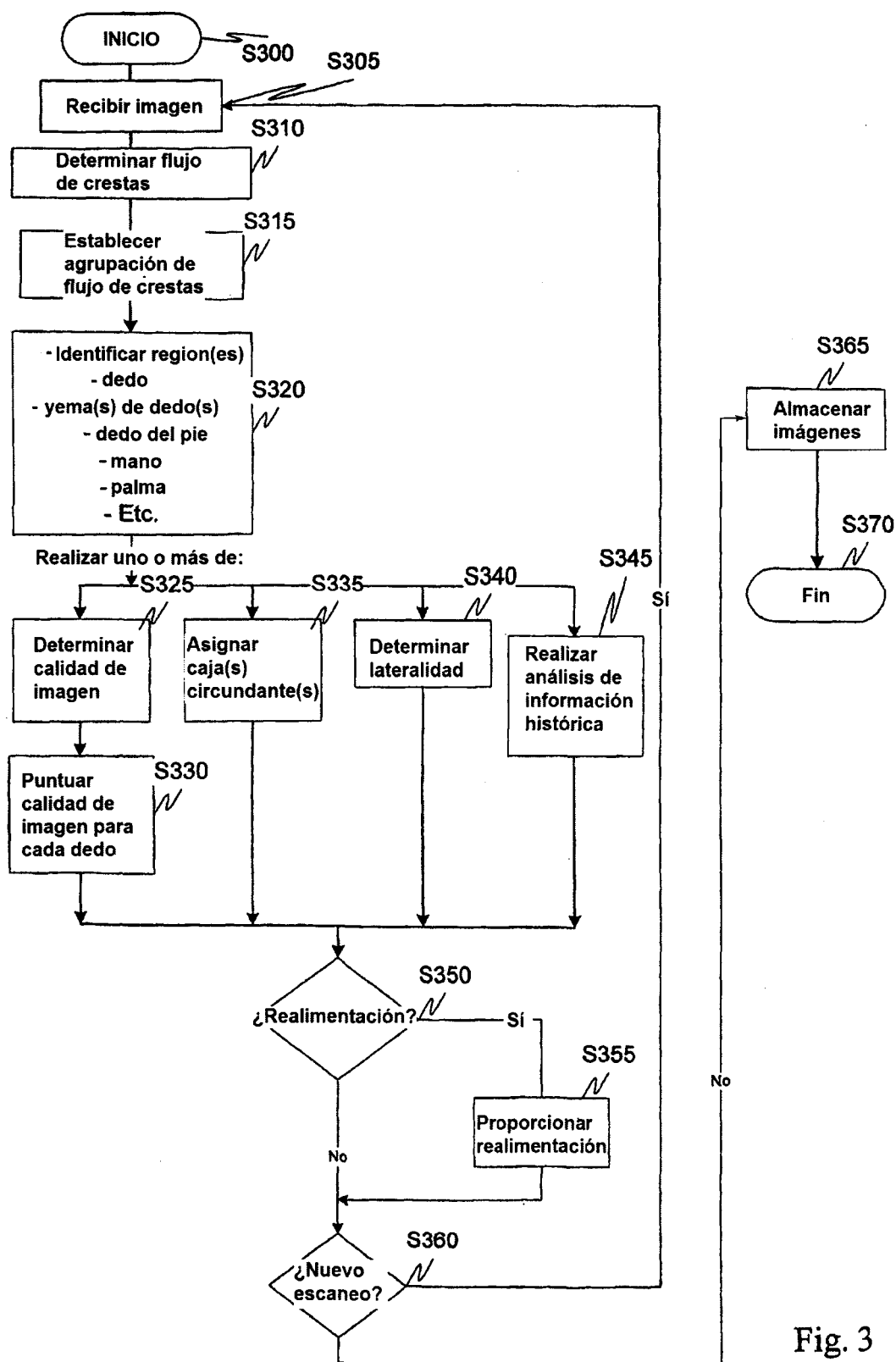


Fig. 3

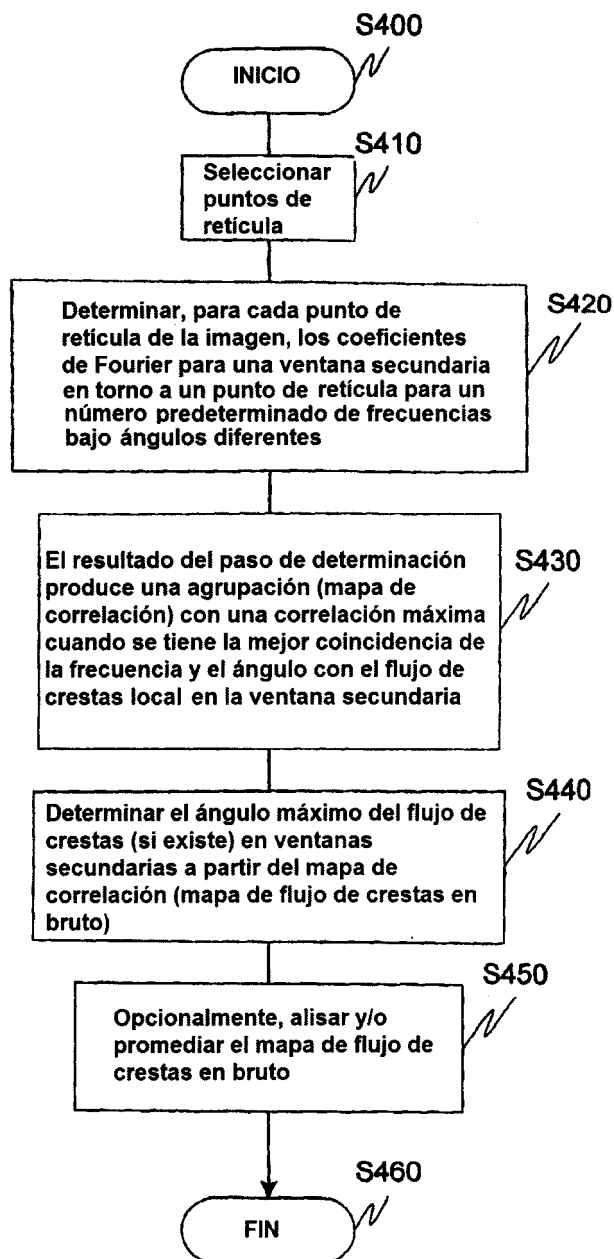


Fig. 4

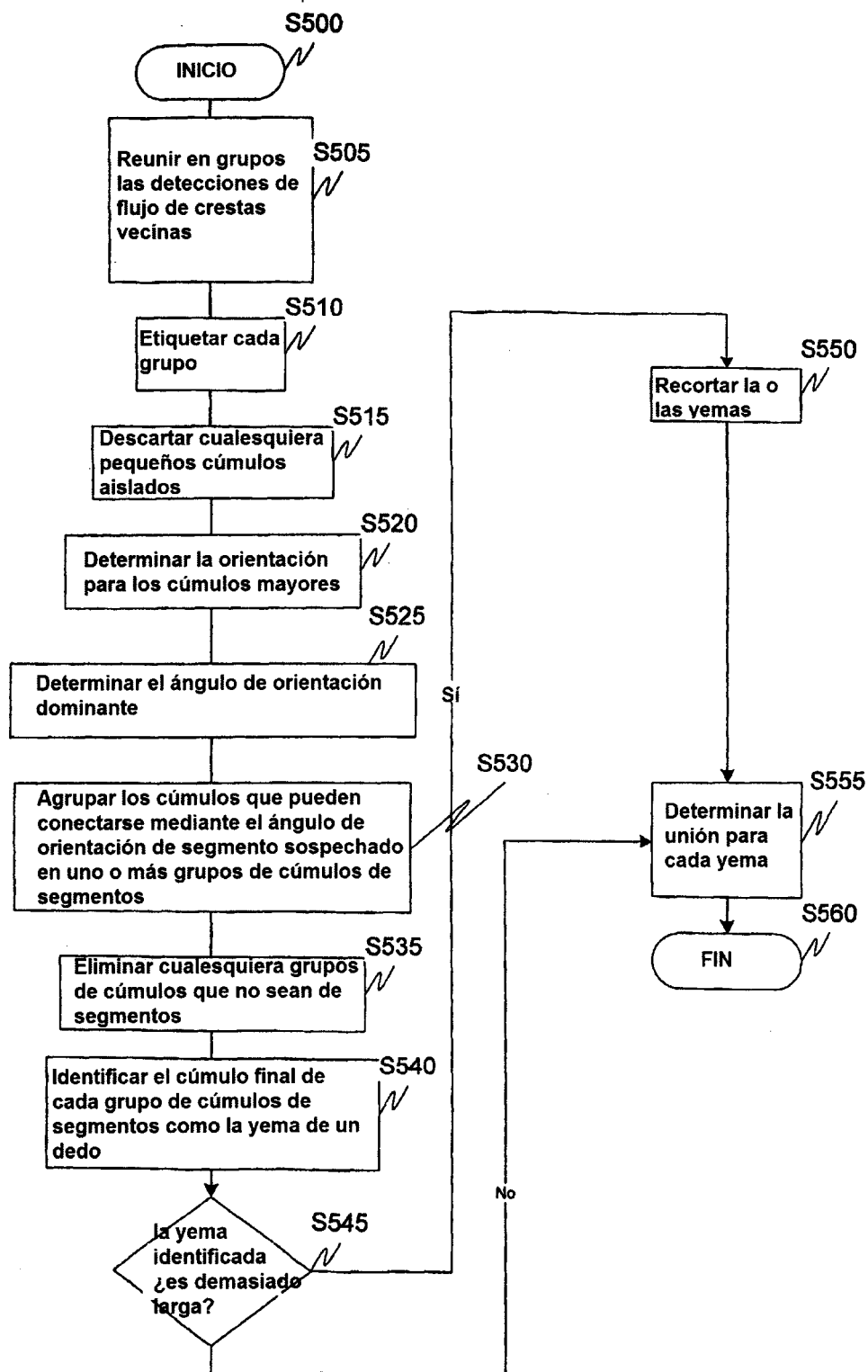


Fig. 5

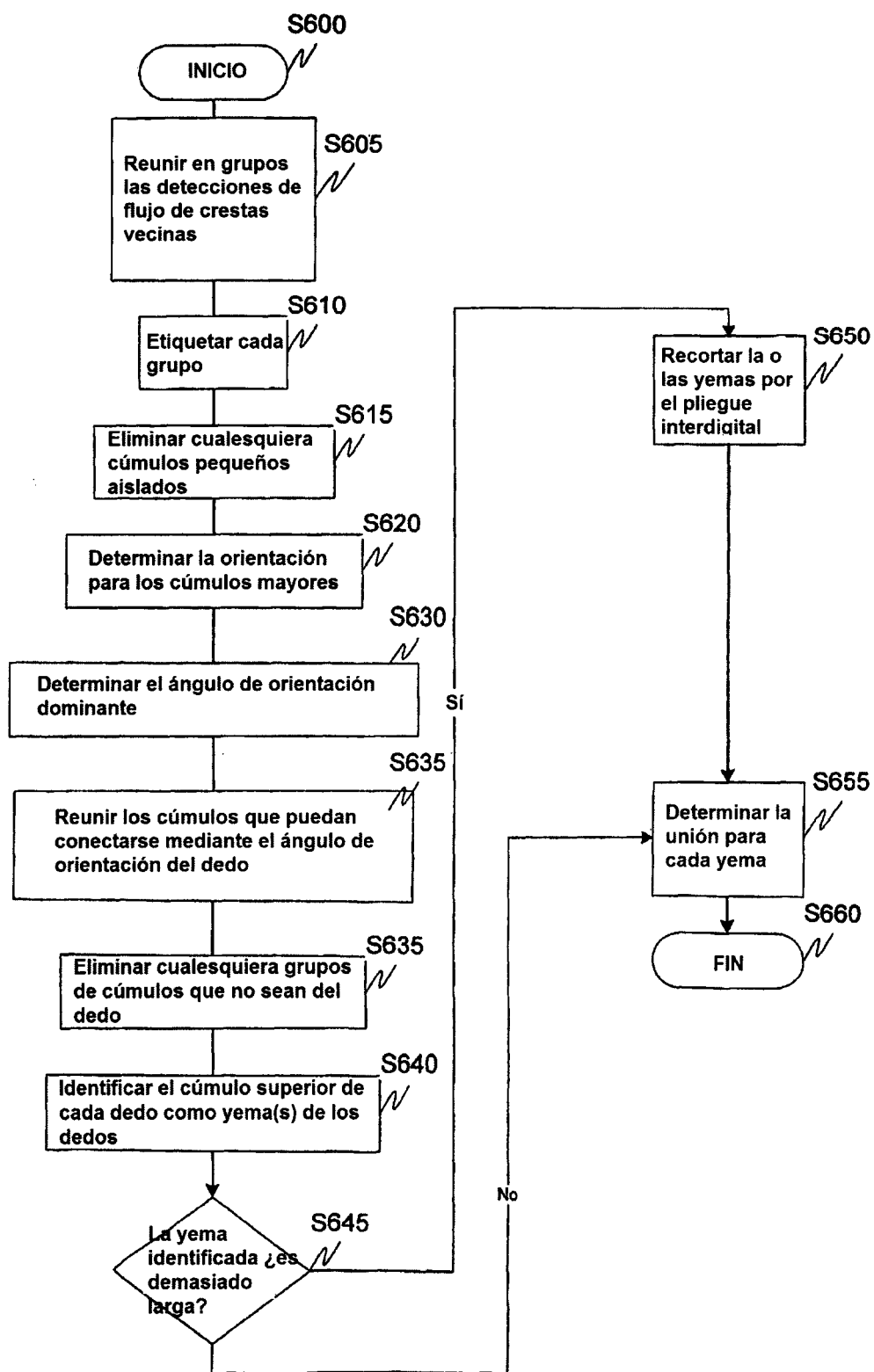


Fig. 6

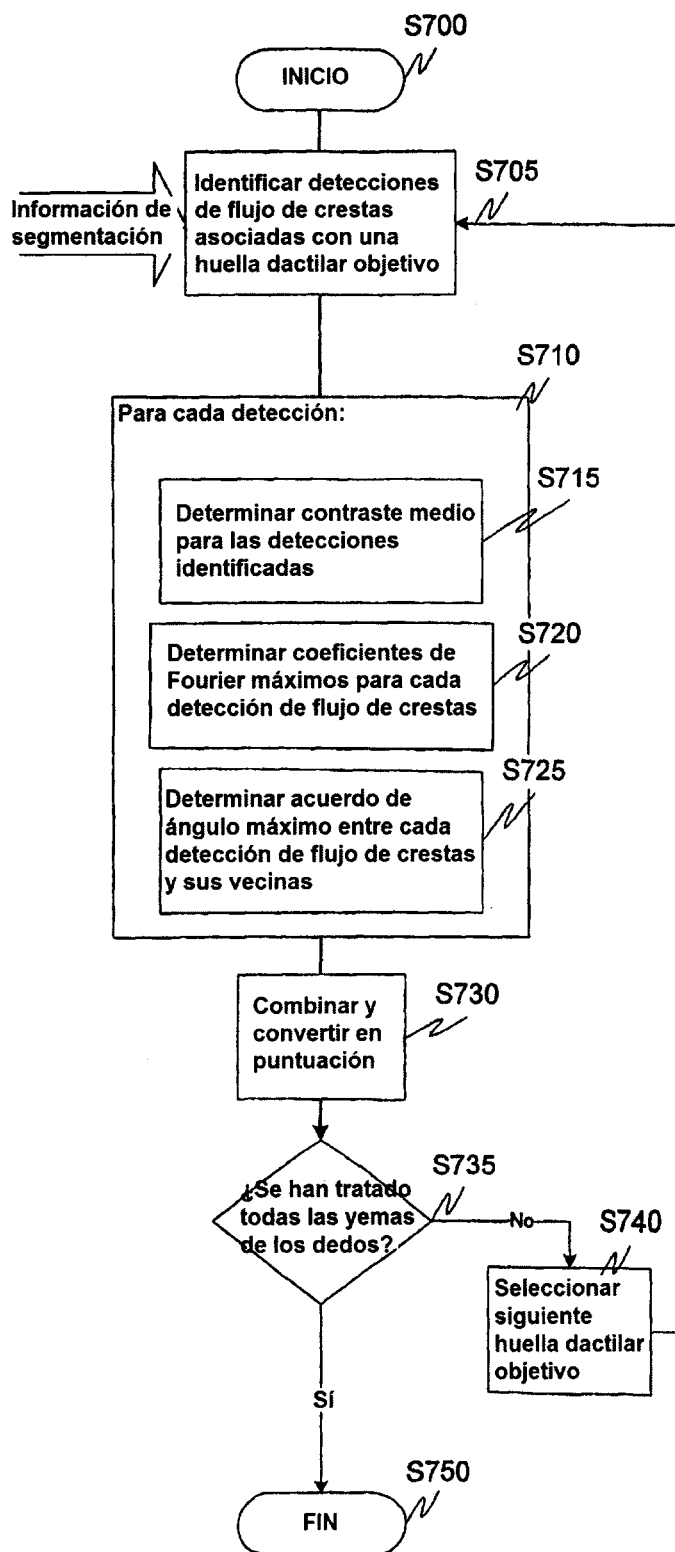


Fig. 7

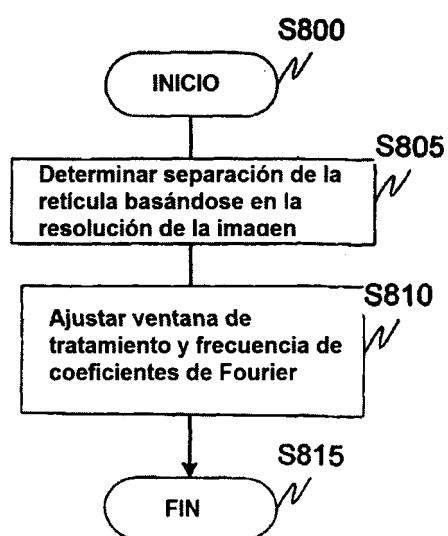


Fig. 8

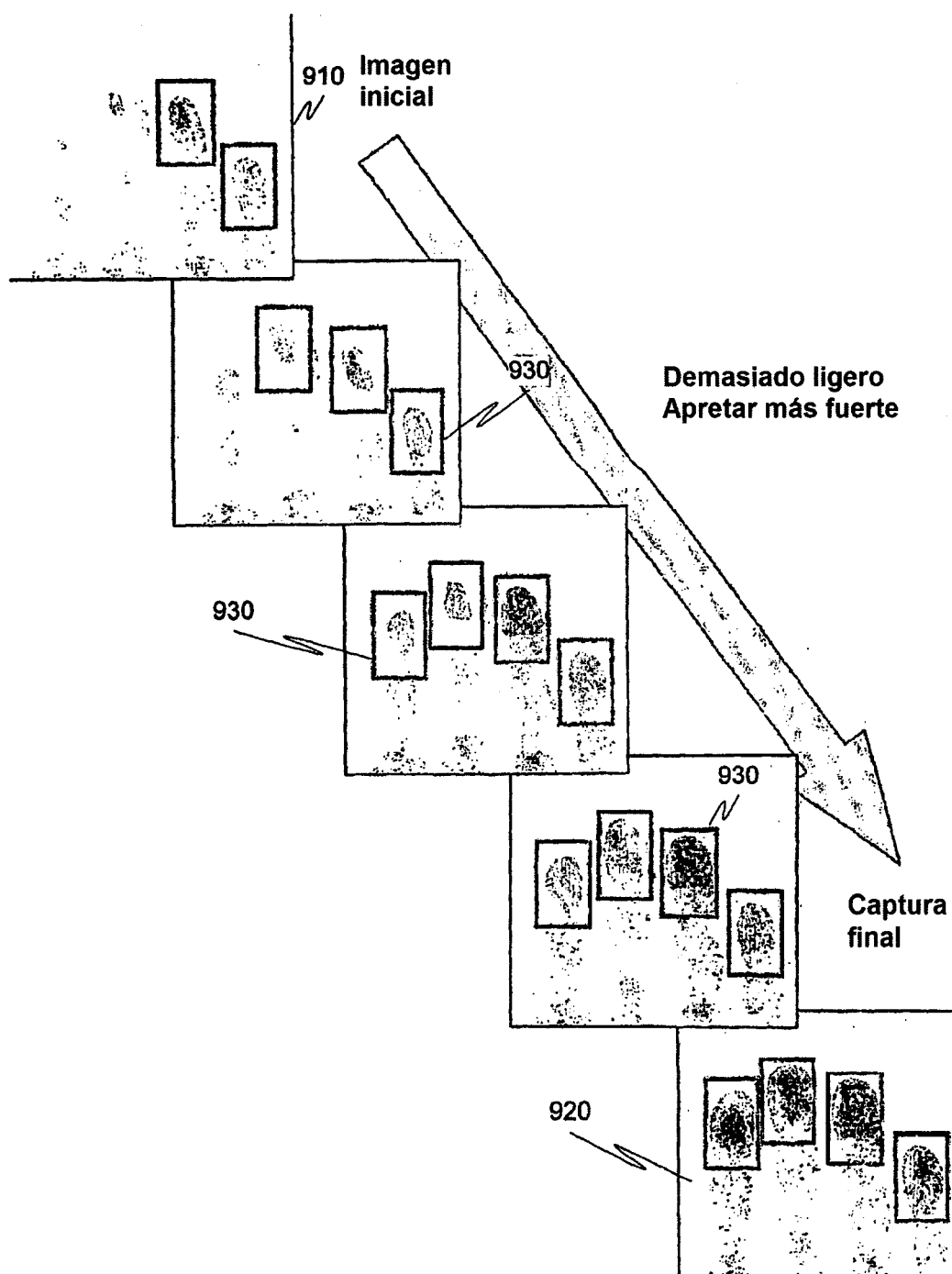


Fig. 9

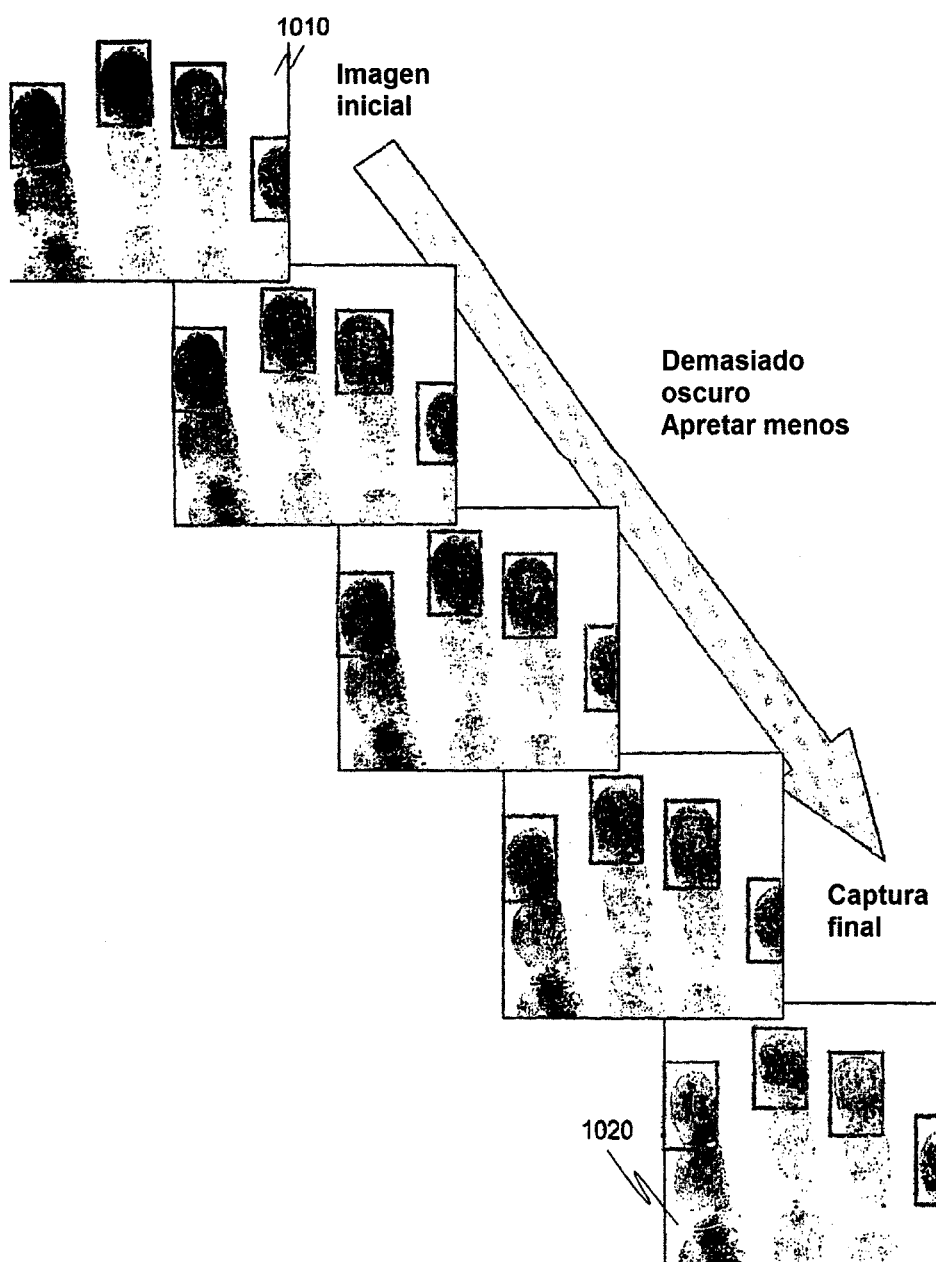


Fig. 10

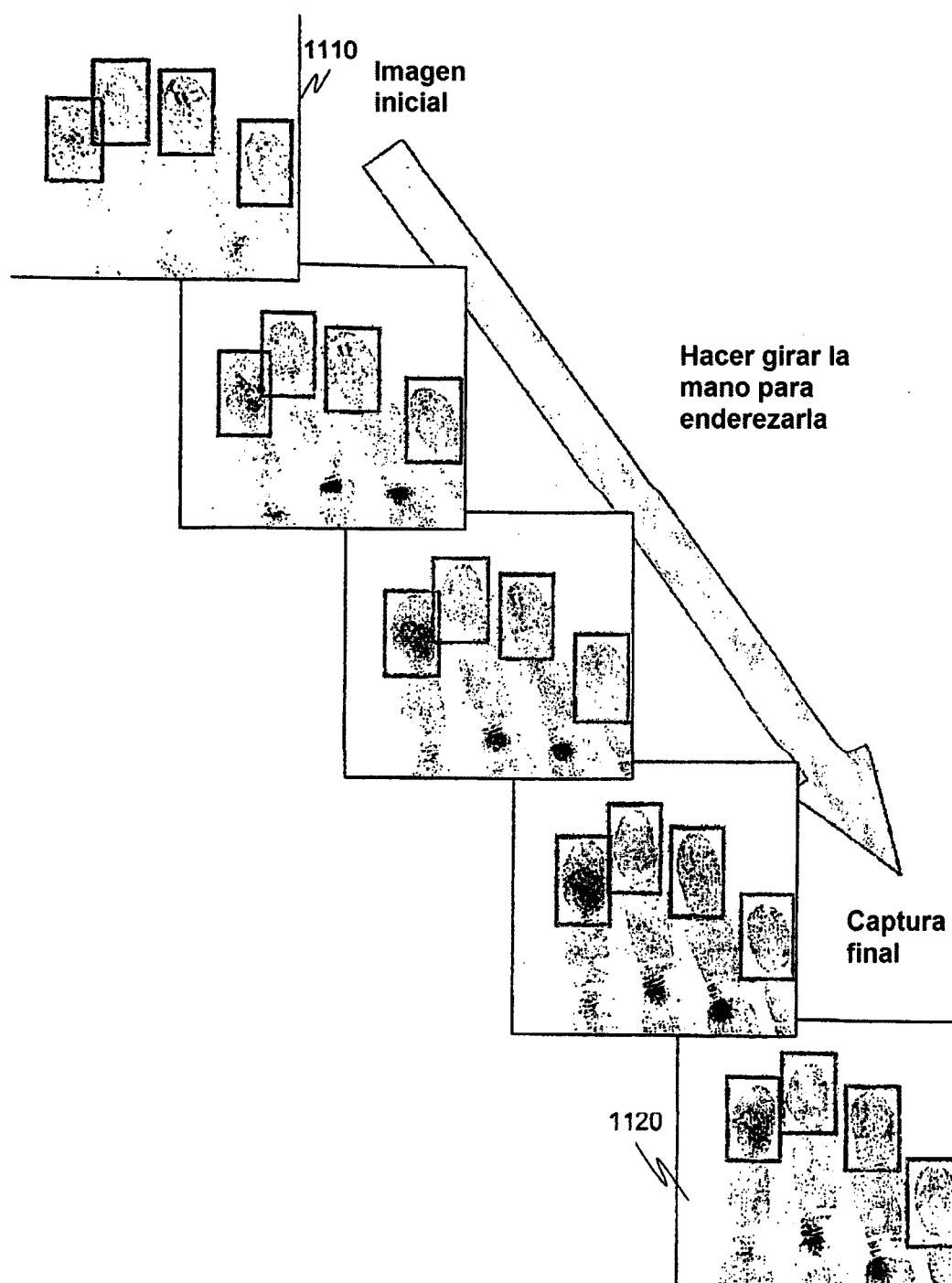


Fig. 11

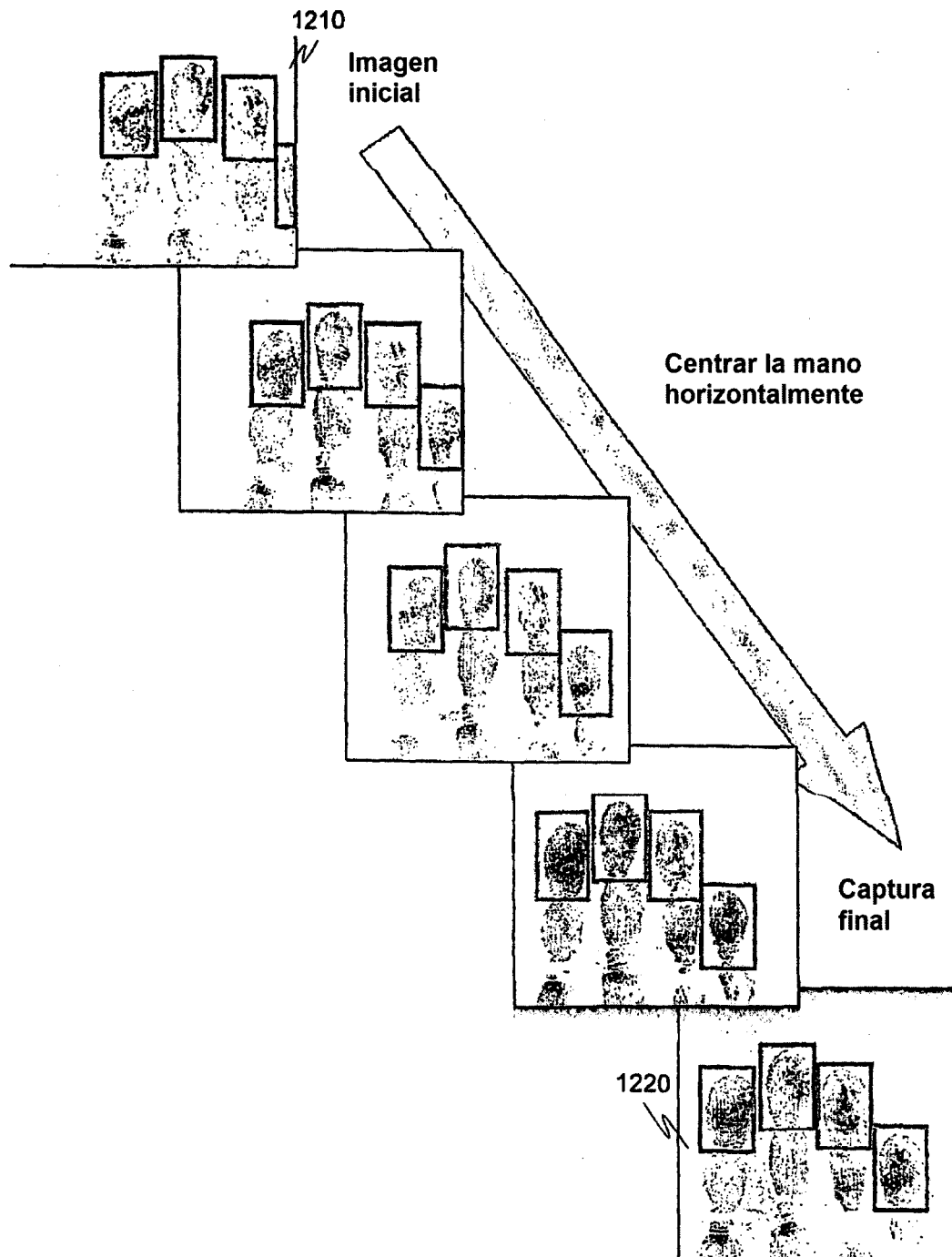


Fig. 12

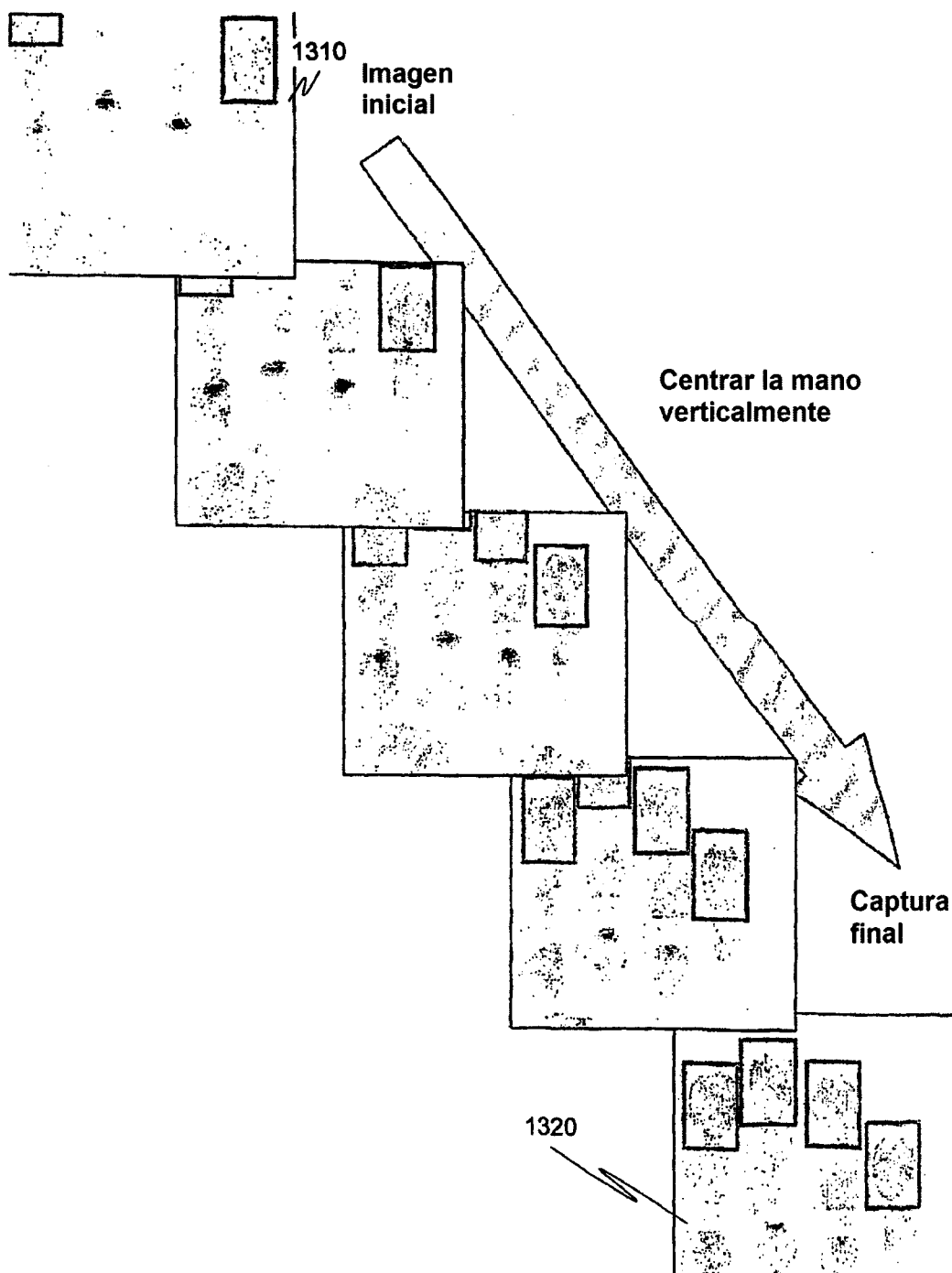


Fig. 13

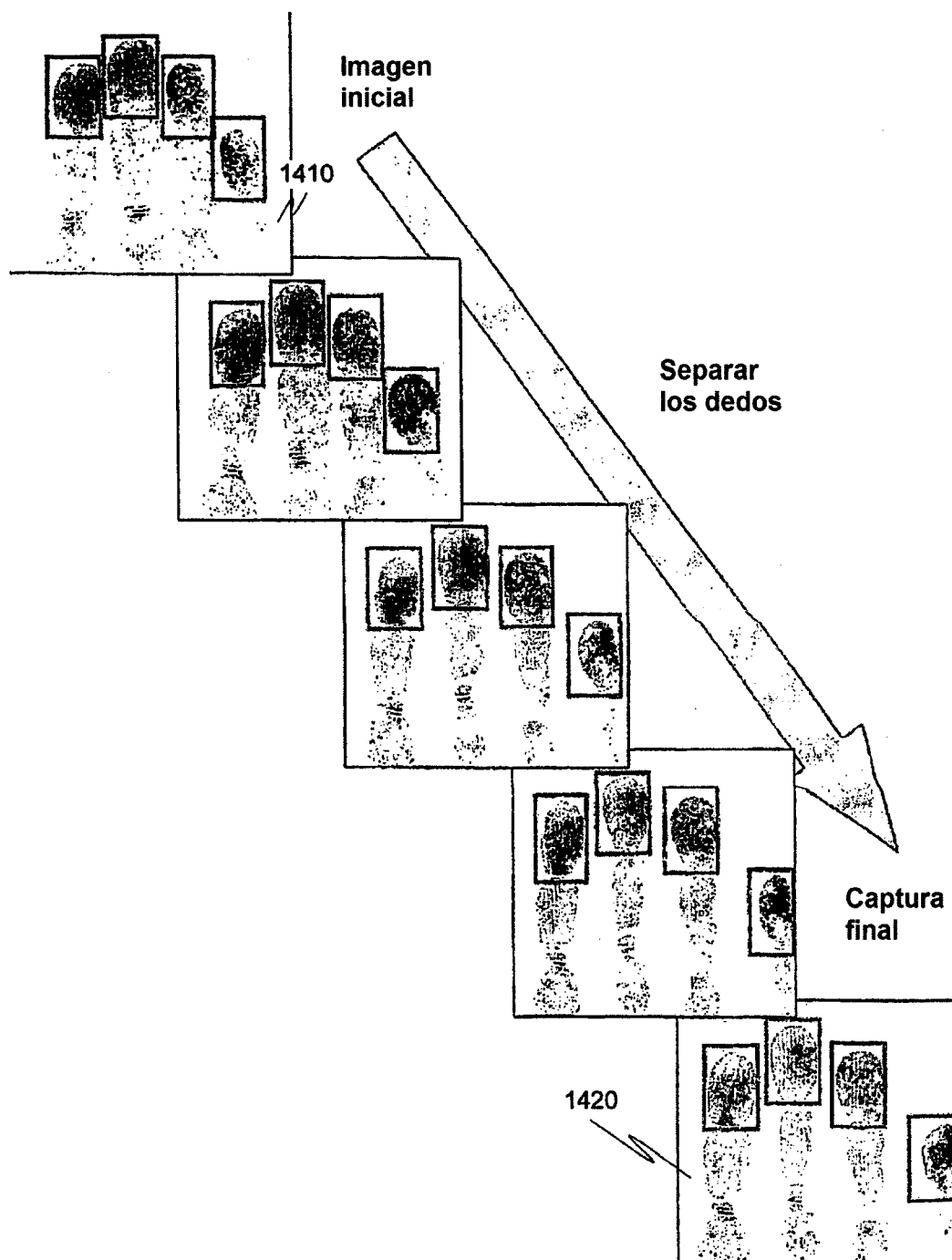


Fig. 14

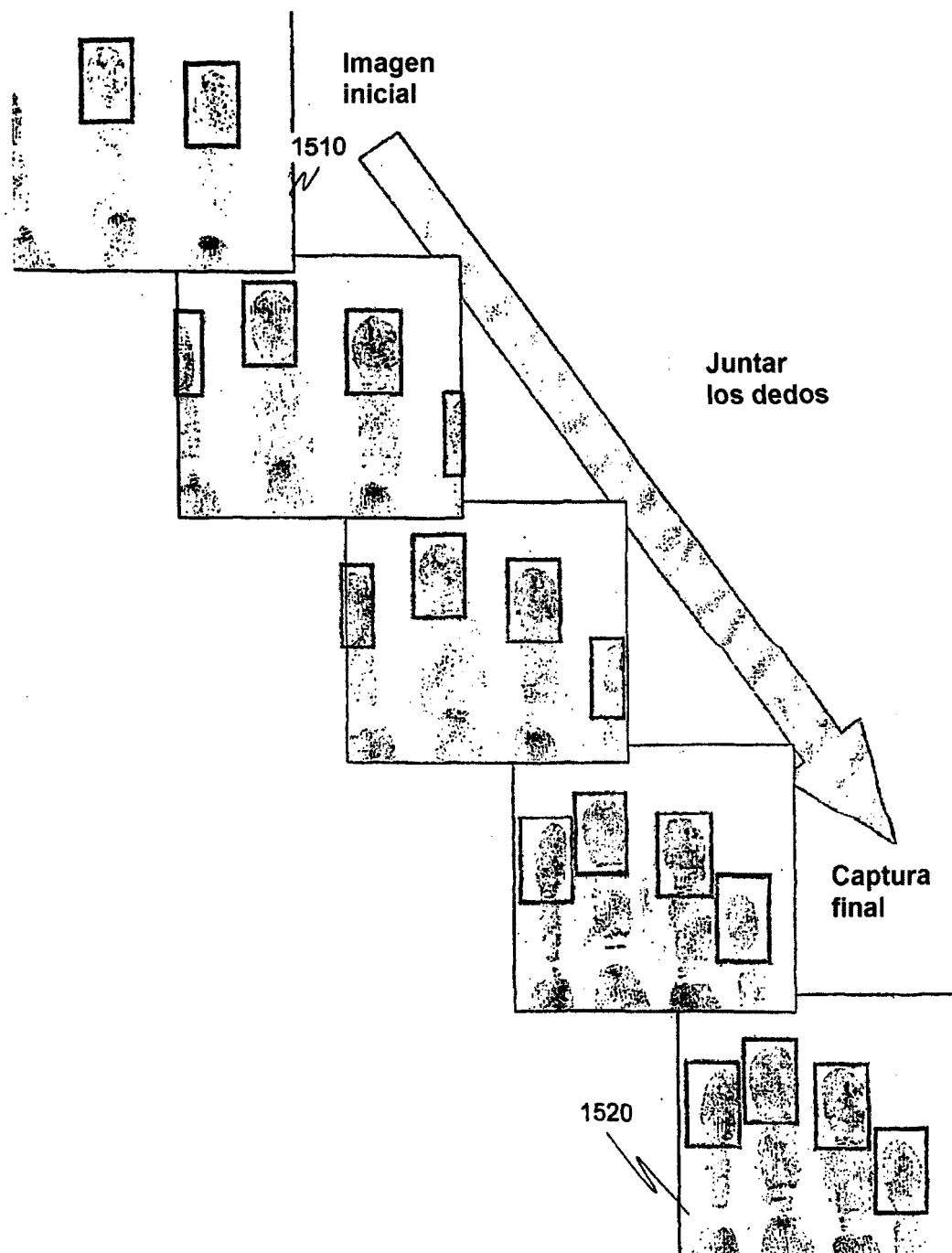


Fig. 15

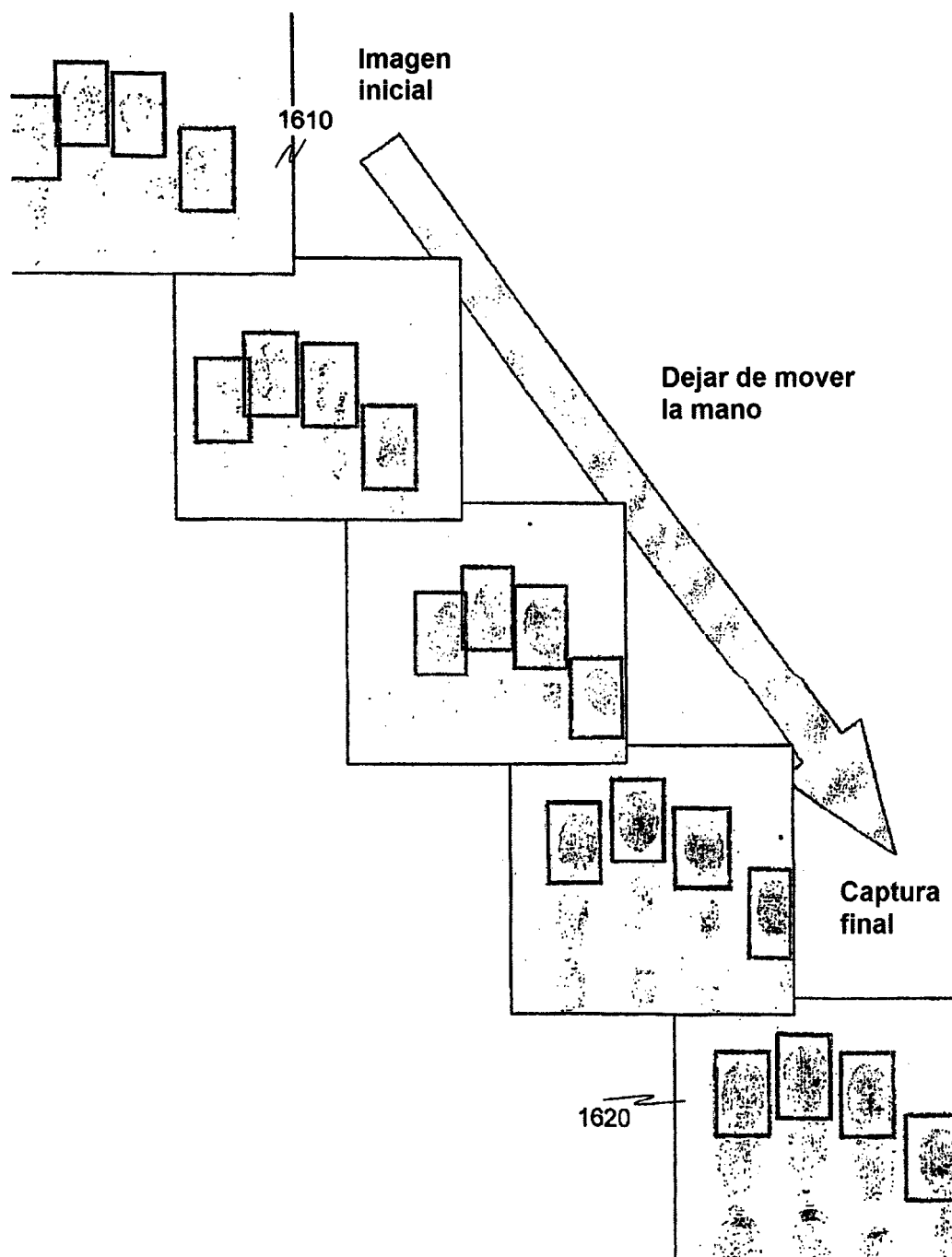
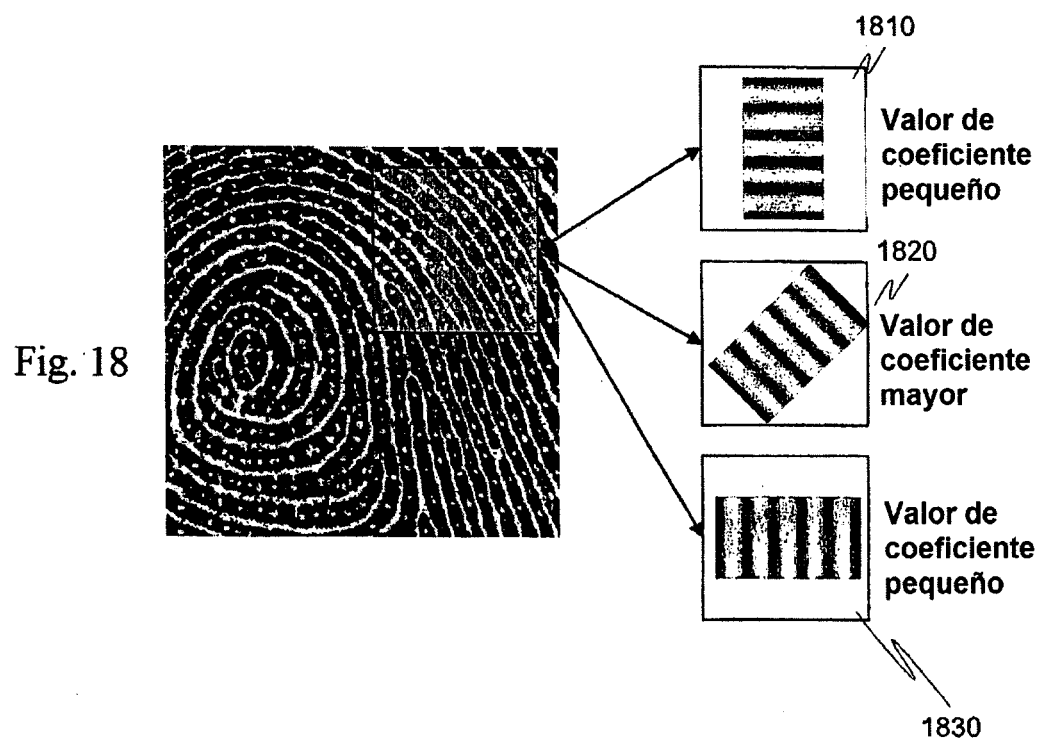
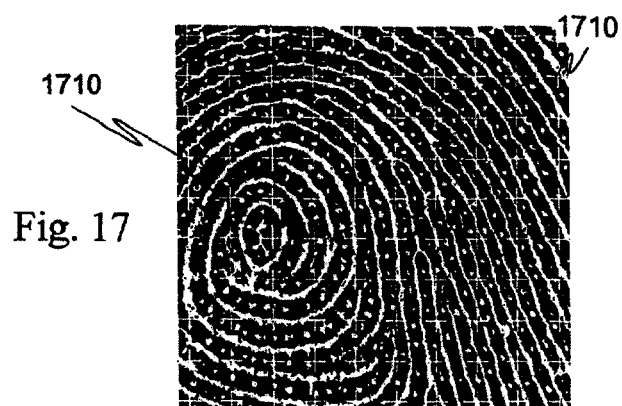


Fig. 16



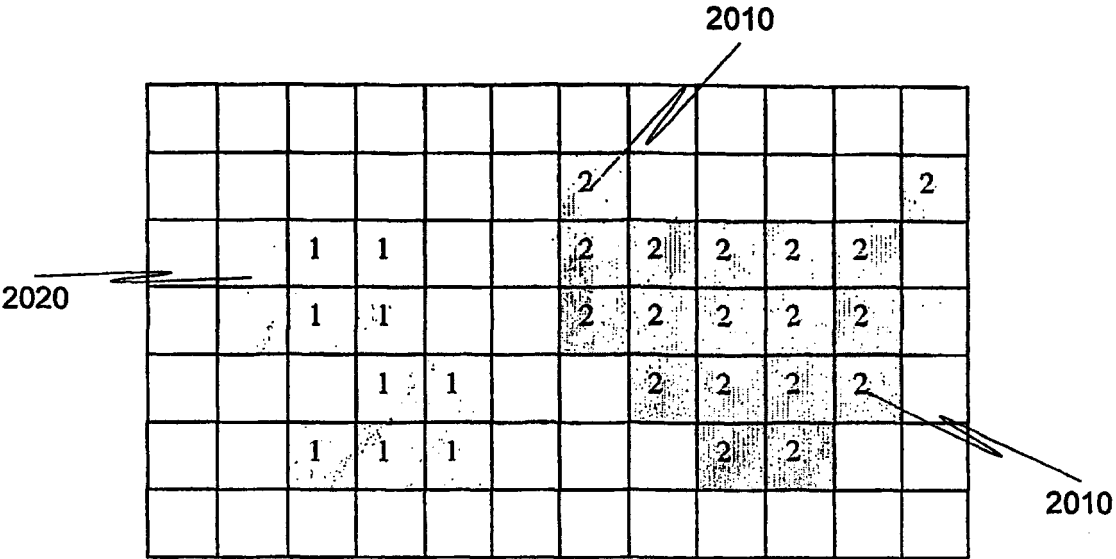


Fig. 20

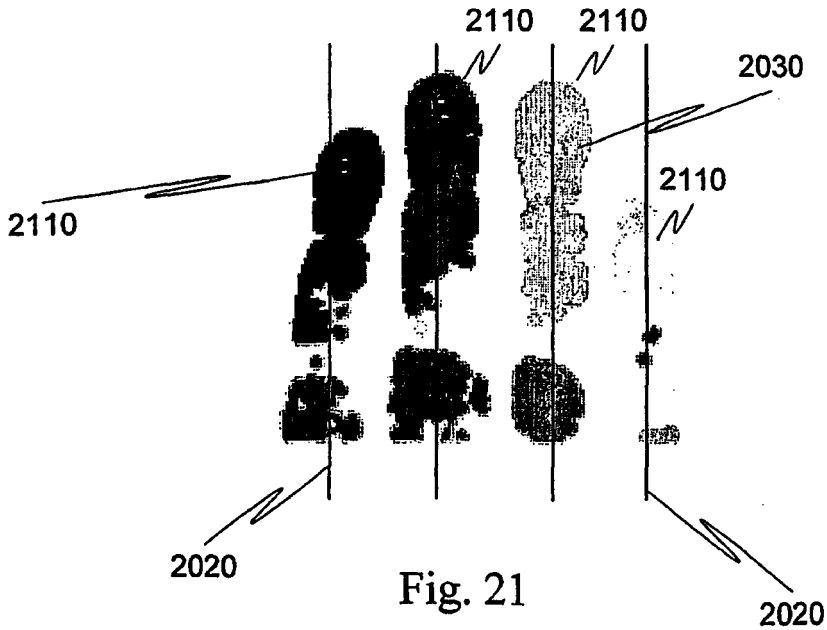


Fig. 21

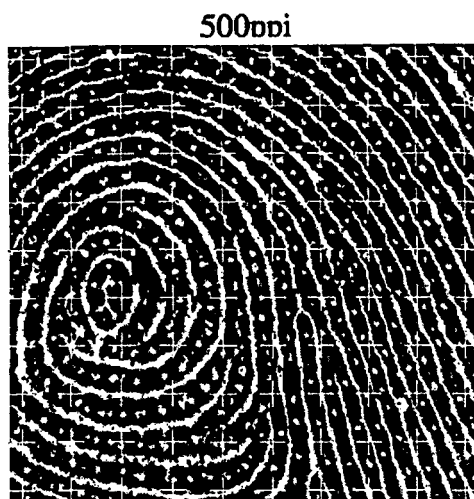


Fig. 22



Fig. 23

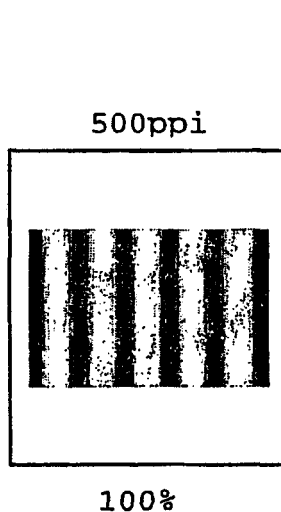


Fig. 24

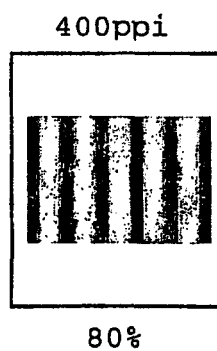


Fig. 25



Fig. 26



Fig. 27

Frecuencia
Baja frecuencia -> alta frecuencia

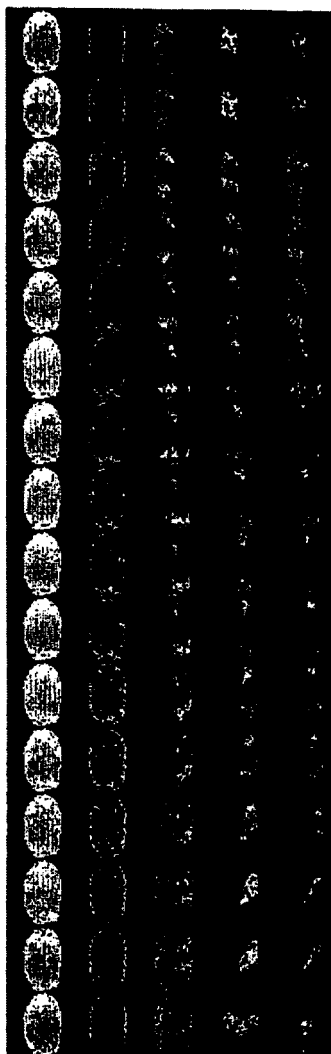


Figura E1 una representación de los 80 coeficientes utilizados en la detección del flujo de crestas. La primera columna representa la componente DC y la frecuencia de la sinusoide objetivo aumenta de izquierda a derecha. Cada fila representa una sinusoide presentada en uno de 16 ángulos.

Fig. 28

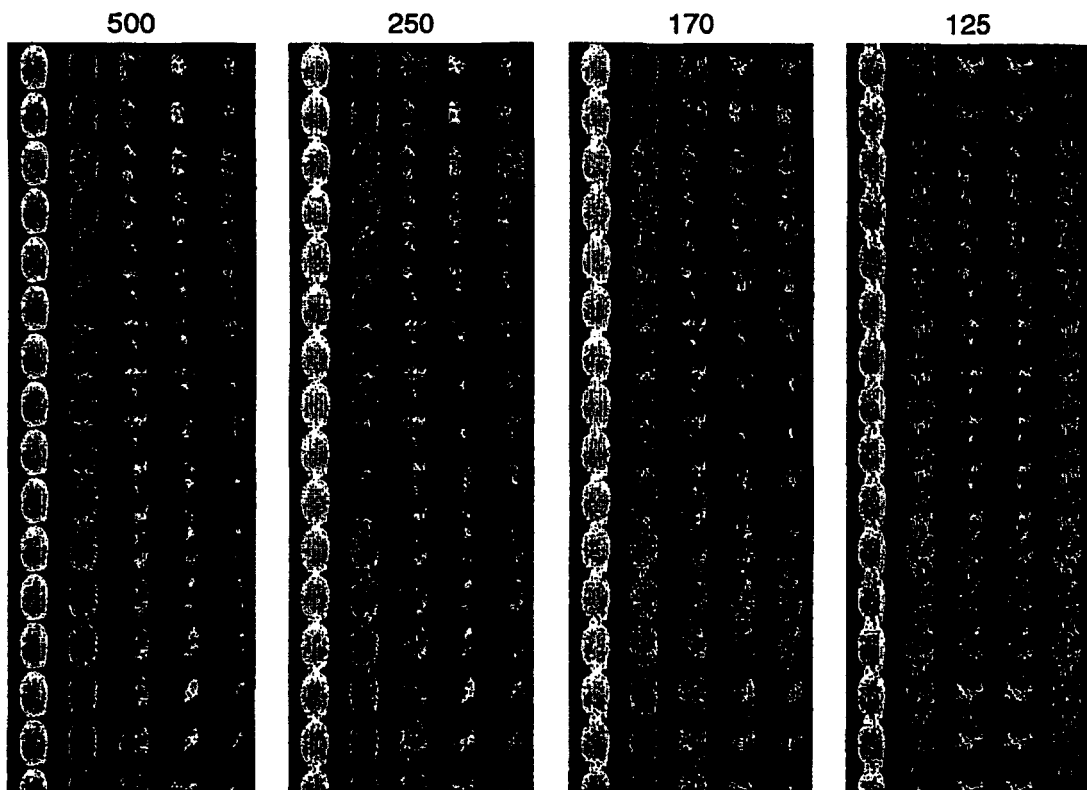


Fig. 29