

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 642 824**

51 Int. Cl.:

G01N 33/34 (2006.01)

G01B 11/00 (2006.01)

G01N 21/00 (2006.01)

G06T 7/40 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.05.2014 PCT/FI2014/050344**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.11.2014 WO14181044**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.05.2014 E 14727574 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.07.2017 EP 2994748**

54 Título: **Método y disposición para detectar extremos libres de fibras en papel**

30 Prioridad:

10.05.2013 FI 20135483

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

20.11.2017

73 Titular/es:

**KEMIRA OYJ (100.0%)
Porkkalankatu 3
00180 Helsinki, FI**

72 Inventor/es:

**RAUNIO, JUKKA-PEKKA;
MÄKINEN, MIKKO;
SKOOG, HENRY y
CAMPBELL, CLAYTON**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 642 824 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método y disposición para detectar extremos libres de fibras en papel

La invención se refiere a un método y a una disposición para detectar extremos libres de fibras en papel de acuerdo con los preámbulos de las reivindicaciones independientes adjuntas.

5 Antecedentes de la técnica

Papel tisú es el nombre general para el papel higiénico, toallas de papel, pañuelos faciales, servilletas y otros productos de papel suave. El papel tisú es un producto laminar fabricado de manera continua a velocidades de hasta 25 m/s. La anchura de la banda de papel continuo fabricada en una máquina de papel tisú puede ser de hasta 6 metros y el espesor de la banda continua de papel es del orden de 50 μm . El papel tisú comprende una disposición aleatoria de fibras de madera y de partículas más pequeñas, tales como minerales y productos químicos. Los productos de tisú tienen mercados futuros prometedores debido a su materia prima sostenible y a la falta de materiales competidores. Por lo tanto, se prevé que la fabricación de material tisú continuará en ascenso, lo que a su vez aumenta la importancia financiera de la comprensión de los fenómenos que intervienen en el proceso de la fabricación de material tisú.

El tipo más común de máquina de tisú es la máquina de crepé seco en la que la lámina es secada sobre un cilindro de secado llamado "cilindro Yankee". Esto se debe a que la resistencia de la lámina de bajo peso no es suficiente para soportar la transferencia de la lámina entre cilindros de secado más pequeños. La lámina de tisú se adhiere al cilindro Yankee y luego se desprende de la superficie mediante una cuchilla. Como resultado de ello, una microestructura fuerte - pliegues de crepé - se genera en el material continuo. El desprendimiento, conocido como crepado ("creping"), genera una elevada suavidad y también comprime el material continuo de manera que puede ser transferido desde el cilindro Yankee a la bobina de papel sin la rotura del material continuo. El crepado controla la suavidad del papel tisú, pero la suavidad también se ve afectada de forma significativa por una combinación de productos químicos, agentes suavizantes, añadidos a la lámina de tisú, el contenido de humedad de la lámina en el proceso del crepado y diversos factores que intervienen en el funcionamiento de la máquina de tisú.

La suavidad es una de las principales propiedades del papel tisú. Si bien el proceso de la fabricación del material tisú es bastante conocido, el producto de tisú final tal vez no cumpla con la calidad de suavidad requerida por el usuario final. Una razón para un control de calidad por debajo del óptimo es la dificultad para medir la suavidad del papel tisú de manera fiable. La suavidad del tejido se puede dividir en suavidad de masa y suavidad de superficie. La suavidad de masa puede medirse de una manera bastante fiable midiendo el espesor y la elasticidad de la lámina. Sin embargo, la medición de la suavidad superficial no es directa. La suavidad del papel tisú suele estudiarse mediante ensayos de paneles de suavidad en las que la gente evalúa subjetivamente la suavidad del papel tisú. Además, se han desarrollado varios dispositivos de medición con la finalidad de lograr una correlación con los resultados de los ensayos de paneles de suavidad. Sin embargo, las mediciones instrumentales con frecuencia están en conflicto con los resultados de los ensayos de paneles. Esto se debe en parte a la incertidumbre de los factores que influyen sobre la sensación de suavidad subjetiva y en parte porque los dispositivos actuales miden las fuerzas, que no están en la misma escala de sensibilidad que la que el ser humano percibe.

Una deficiencia importante de los dispositivos actuales es que no detectan la ligera sensación superficial del tisú. Se ha sugerido que los dedos robóticos artificiales estudiados en aplicaciones médicas podrían aplicarse también en la medición de la suavidad superficial del papel tisú. Sin embargo, la aplicación en línea de un dispositivo de medición de este tipo no es actualmente realista. Pawlak et Elhammoumi [1] señalaron que la elevada sensación de suavidad se correlaciona con la cantidad de fibras que sobresalen desde la superficie del papel tisú. Además, en el mismo artículo se presentó un dispositivo medidor de laboratorio basado en la formación de imágenes para medir las fibras de papel tisú plegado. Sin embargo, el plegado del papel requiere dispositivos adicionales y tal medida en condiciones en línea en la máquina de papel sería más bien imposibles.

Objeto y compendio de la invención

45 Un objeto de esta invención es de minimizar o incluso eliminar las desventajas de la técnica anterior.

Un objeto es también proporcionar un método y una disposición con los que pueda detectarse en el papel la cantidad de extremos libres de fibras, en especial papel tisú.

Un objeto adicional de esta invención es proporcionar un método y una disposición que sean adecuados para medir la suavidad del papel tisú en línea.

50 Un objeto adicional de esta invención es proporcionar un método de medición planar basado en imágenes digitales que mida la cantidad de fibras libres sobre la superficie del papel, tal como papel tisú.

Estos objetos se logran con la invención que tiene las características que se presentan a continuación en las partes caracterizantes de las reivindicaciones independientes.

El método típico de acuerdo con la presente invención para detectar extremos libres de fibras en una superficie de

papel, comprende

- iluminar una superficie de una muestra diana, que comprende extremos libres de fibras, desde al menos dos direcciones una dirección cada vez, con al menos una fuente de luz,
- 5 - obtener para cada dirección de fuente de luz una imagen de reflectancia original para la superficie de muestra diana mediante un dispositivo formador de imágenes;
- estimar una normal a la superficie para cada píxel de imagen de la imagen de reflectancia original;
- reconstruir una imagen de reflectancia reconstruida a partir de las normales estimadas a la superficie; y
- comparar la imagen de reflectancia reconstruida y la imagen de reflectancia original correspondiente y construir una imagen de diferencia, en donde las diferencias representan objetos de sombra de los extremos libres de fibras en una superficie de papel.
- 10 Una disposición típica de acuerdo con la presente invención para detectar extremos libres de fibras presentes en papel, especialmente en calidades de papel tisú, comprende
 - un dispositivo formador de imágenes tal como una cámara de sistemas digitales, dispuesto a una distancia del portamuestras, para obtener imágenes de reflectancia originales de la superficie de una muestra diana;
 - 15 - al menos dos fuentes de luz, tales como LED, fijadas alrededor del dispositivo formador de imágenes, o una fuente de luz, que está fijada a un brazo de soporte, que está dispuesto para girar alrededor del dispositivo formador de imágenes, estando las al menos dos fuentes de luz o una fuente de luz dispuestas para iluminar la superficie de la muestra diana desde al menos dos direcciones una dirección cada vez,
 - una unidad de procesamiento de datos, que está dispuesta para
 - 20 - recibir imágenes de reflectancia originales obtenidas para cada dirección de fuente de luz del dispositivo formador de imágenes;
 - estimar una normal a la superficie para cada píxel de imagen de la imagen de reflectancia original;
 - reconstruir una imagen de reflectancia reconstruida a partir de las normales a la superficie estimadas; y
 - 25 - comparar la imagen de reflectancia reconstruida y la imagen de reflectancia original correspondiente y construir una imagen de diferencia, donde las diferencias representan objetos de sombra de los extremos libres de fibras en una superficie de papel.

Breve descripción de las figuras

- La Figura 1 muestra un ejemplo de la disposición formadora de imágenes,
- la Figura 2 muestra otro dibujo esquemático de la disposición formadora de imágenes,
- 30 la Figura 3 muestra un ejemplo de la disposición formadora de imágenes que comprende polarizadores,
- la Figura 4a muestra la superficie 3D de un papel tisú con las correcciones polinómica y cosSigma,
- la Figura 4b muestra la superficie 3D de un papel tisú sin las correcciones polinómica y cosSigma,
- la Figura 5a muestra una ampliación de la imagen de reflectancia original,
- la Figura 5b muestra una ampliación de la imagen reconstruida,
- 35 la Figura 5c muestra una ampliación de la imagen de diferencia entre las imágenes de reflectancia original y reconstruida,
- la Figura 5d muestra la ampliación de la imagen de diferencia procesada $O(x, y)$, que amplifica las sombras,
- la Figura 6a muestra la ampliación de la ubicación de la fibra oscura en medio de la imagen presentada en la imagen de reflectancia original en la Figura 5a,
- 40 la Figura 6b muestra la ampliación de la ubicación de la fibra oscura en el medio de la imagen presentada en la imagen de reflectancia reconstruida en la figura 5b,
- la Figura 6c muestra la ampliación de la ubicación de la fibra oscura en el medio de la imagen presentada en la imagen de diferencia en la Figura 5c,
- la Figura 7a muestra la imagen binaria de umbral,

la Figura 7b muestra la imagen binaria de la cual se han eliminado los objetos circulares;

la Figura 8 muestra dos superficies de papeles tisú doblados, el tisú de baño a la izquierda y la toalla de cocina a la derecha,

5 la Figura 9 muestra una ampliación del papel tisú plegado; el límite estimado de la superficie se ha dibujado a imagen con puntos blancos.

Descripción detallada de la invención

El método típico de acuerdo con la presente invención para detectar extremos libres de fibras presentes en una superficie de papel, comprende

- 10 - iluminar una superficie de una muestra diana, que comprende extremos libres de fibras, desde al menos dos direcciones una dirección cada vez, con al menos una fuente de luz,
- obtener para cada dirección de fuente de luz una imagen de reflectancia original para la superficie de la muestra diana, mediante un dispositivo formador de imágenes,
- estimar una normal a la superficie para cada píxel de imagen de la imagen de reflectancia original,
- reconstruir una imagen de reflectancia reconstruida a partir de las normales estimadas a la superficie, y
- 15 - comparar la imagen de reflectancia reconstruida y la imagen de reflectancia original correspondiente y construir una imagen de diferencia, donde las diferencias representan objetos de sombra de los extremos libres de las fibras en una superficie de papel.

Una disposición típica de acuerdo con la presente invención para detectar extremos libres de fibras en papel, especialmente en calidades de papel tisú, comprende

- 20 - un dispositivo formador de imágenes tal como una cámara de sistemas digitales, dispuesto a una distancia del portamuestras, para obtener imágenes de reflectancia originales de la superficie de una muestra diana;
- al menos dos fuentes de luz, tales como LED, fijadas alrededor del dispositivo formador de imágenes, o una fuente de luz, que está fijada a un brazo de soporte, que está dispuesto para girar alrededor del dispositivo formador de imágenes, estando las al menos dos fuentes de luz o la una fuente de luz dispuestas para iluminar la superficie de la muestra diana desde al menos dos direcciones una dirección cada la vez;
- 25 - una unidad de procesamiento de datos, que está dispuesta para
- recibir imágenes de reflectancia originales obtenidas para cada dirección de la fuente de luz del dispositivo formador de imágenes;
- estimar una normal a la superficie para cada píxel de imagen de la imagen de reflectancia original;
- 30 - reconstruir una imagen de reflectancia reconstruida a partir de las normales estimadas a la superficie; y
- comparar la imagen de reflectancia reconstruida con la imagen de reflectancia original correspondiente y construir una imagen de diferencia, donde las diferencias representan objetos de sombra de los extremos libres de las fibras en una superficie de papel.

35 Se ha descubierto ahora de manera sorprendente que los problemas existentes pueden resolverse mediante el método y disposición de acuerdo con la presente invención. En esta solicitud presentamos un método para la formación de imágenes que detecta las fibras que sobresalen de la superficie del papel tisú basado en las sombras de las fibras. Un extremo libre de una fibra produce una sombra en determinada localización en un papel que depende de los ángulos vertical y horizontal de la iluminación. Estas sombras se detectan para estimar la densidad de los extremos libres de las fibras sobre el papel. La superficie del papel tisú es rugosa y ondulada debido al proceso de crepado por

40 lo que las sombras de las fibras no pueden ser detectadas como tales a partir de las imágenes de reflectancia de la superficie del material tisú. El método de la detección de acuerdo con la presente invención utiliza un método estéreo fotométrico en el que se ilumina la muestra diana desde diferentes ángulos y se estiman las normales a la superficie de cada píxel de la imagen. Además, la ley de Lambert se aplica de manera inversa para reconstruir la imagen de reflectancia a partir de las normales estimadas a la superficie. Finalmente, se compara la diferencia entre la imagen de reflectancia reconstruida y la imagen de reflectancia original, y se detectan las sombras a partir de la imagen de

45 diferencia. El método presentado en esta solicitud puede implementarse en línea fácilmente. Los resultados de suavidad obtenidos son comparables con los resultados obtenidos mediante ensayos de suavidad con paneles con personas. Se ha observado que el método detecta las sombras y que el comportamiento imita los resultados medidos con un sistema de medición de referencia. La desviación estándar en el recuento de fibras en el método de formación

50 de imágenes es pequeña, lo que indica una buena repetibilidad de la medición.

De acuerdo con una realización de la invención, la muestra diana es un material continuo de papel en movimiento, preferiblemente un material continuo de tisú o similar, y el método se implementa en línea. El método de formación de imágenes de acuerdo con la presente invención no requiere ningún plegado adicional del papel y las imágenes pueden ser capturadas desde la parte superior de la superficie del papel en movimiento. Por lo tanto, mediante la utilización de cámaras de alta velocidad y de fuentes de luz rápidamente pulsantes, la disposición de medición puede utilizarse en aplicaciones en línea, por ejemplo en la máquina de papel en funcionamiento. Las aplicaciones en línea utilizan preferiblemente tiempos de exposición cortos, pulsos de luz cortos y una alineación muy precisa de las imágenes. De acuerdo con una realización de la invención, se cuenta el número de objetos de sombra y se cambian los parámetros de proceso de acuerdo con los resultados obtenidos.

De acuerdo con una realización preferida de la invención, se reconstruye una pluralidad de imágenes de reflectancia reconstruidas a partir de las normales estimadas a la superficie, cada una de las imágenes de reflectancia reconstruida se compara, por separado, con la correspondiente imagen de reflectancia original y se construyen imágenes de diferencia, en donde las diferencias representan objetos de sombra de los extremos libres de las fibras en una superficie del papel. Después de esto se calcula un valor promedio del número de objetos de sombra en las imágenes de diferencia. En la reconstrucción de las dos imágenes de diferencia se utilizan los ángulos horizontales de iluminación (0 y 180 grados), que son perpendiculares a la propagación del patrón de crepado de un material continuo de tisú. La utilización de dos imágenes de reflectancia mejora la precisión del método al reducir el número de objetos de sombra calculados erróneamente. Cuando se calcula el valor promedio, el número de objetos de sombra en las dos imágenes de diferencia se suma entre sí y el resultado se divide por dos para obtener el valor promedio. El promedio también disminuye la incertidumbre porque es posible que no todos los objetos de sombra sean objetos de sombra reales, sino algún otro tipo de objetos oscuros sobre la superficie de la muestra.

La disposición de medición de acuerdo con la presente invención comprende un dispositivo formador de imágenes, una fuente de luz y una unidad de procesamiento de datos. La disposición de medición puede ser, por ejemplo, un dispositivo de proceso o un dispositivo de laboratorio que comprende una cámara de sistemas digitales, una serie de LEDs y un ordenador con una memoria.

El dispositivo formador de imágenes puede ser cualquier cámara digital de elevada resolución adecuada, tal como una cámara CCD de elevada resolución, por ejemplo, una cámara de sistema digital con un sensor de 18 Mpix aps-c. Para las aplicaciones en línea se prefiere cualquier cámara digital adecuada de elevada resolución y elevada velocidad, tal como una cámara CCD de alta resolución. El dispositivo formador de imágenes está dispuesto por encima de la muestra diana, por ejemplo un material continuo de tisú en movimiento, y dispuesto para tomar instantáneas del material continuo. La distorsión geométrica y el viñeteado causados por el objetivo del dispositivo formador de imágenes son normalmente tan pequeños que no se requiere una calibración del dispositivo formador de imágenes.

La fuente de luz puede ser cualquier fuente de luz adecuada. Una fuente de luz preferible es un LED (del inglés light-emitting diode, diodo emisor de luz) porque es una fuente de luz rápida y económica, especialmente para aplicaciones industriales en línea. Por ejemplo, en aplicaciones en línea, se pueden disponer varias fuentes de luz, que son luces de destello LED, alrededor del dispositivo formador de imágenes, es decir, la cámara. El número de fuentes de luz puede ser de al menos cuatro, preferiblemente seis, más preferiblemente 12. Las fuentes de luz destellan una cada vez y se captura una imagen de reflectancia original de la muestra diana durante cada destello mediante el dispositivo formador de imágenes. Esto significa que el número de imágenes es el mismo que el número de fuentes de luz.

De acuerdo con una realización de la invención, la fuente de luz es un LED blanco. La luz blanca incluye partículas de fotones de todas las longitudes de onda posibles. El sensor del dispositivo de formación de imágenes comprende píxeles verdes, azules y rojos que son sensibles a cada color, respectivamente. Esto significa que los píxeles verdes del sensor recolectan fotones cuya longitud de onda corresponde al color verde, los píxeles azules del sensor recolectan fotones cuya longitud de onda corresponde al color azul y los píxeles rojos del sensor recolectan fotones cuya longitud de onda corresponde al color rojo. En la mayoría de los dispositivos digitales formadores de imágenes en color, tales como las cámaras digitales a color, los píxeles de color están dispuestos según la forma de matriz de Bayer. El sensor del dispositivo formador de imágenes comprende un grupo de matrices Bayer 2x2. El uso de luz blanca permite por lo tanto la utilización de todos los píxeles de color del dispositivo formador de imágenes y de la matriz de Bayer. En alguna realización es también posible utilizar una fuente de luz coloreada, por ejemplo, LED azul.

Un ejemplo de un dispositivo formador de imágenes adecuado es la cámara Canon 550D con el objetivo macro de Sigma de 105 mm. En este caso, el tamaño del sensor de imágenes es de 5184 x 3456 píxeles y en el método se aplica cada píxel de color de la matriz Bayer 2x2 (rojo, verde, verde y azul) porque el color del LED es blanco. Los valores de los píxeles se representan con 14 bits. El tamaño del área formadora de imagen es 21 x 14 mm, lo que corresponde a píxeles de 4,1 μm x 4,1 μm .

El origen de la disposición formadora de imágenes se establece en el punto central de la imagen sobre la superficie de la muestra diana. La distancia entre la fuente de luz y el origen, como también la distancia entre el dispositivo formador de imágenes y el origen de la disposición formadora de imágenes se mantienen preferiblemente constantes. La distancia puede elegirse libremente en función de la aplicación y de los requerimientos del proceso.

Un ejemplo de la disposición se muestra en la Figura 1. La distancia entre la fuente de luz 1 y el origen 2 de la disposición formadora de imágenes puede ser, por ejemplo, de 18,5 cm y la distancia entre el sensor 3 de CCD del dispositivo formador de imágenes 4 y el origen 2 puede ser de 12 cm. El ángulo vertical α entre la fuente de luz 1 y la normal a la superficie es de 30 grados. El ángulo horizontal entre la fuente de luz 1 y el eje x está marcado con θ en la Figura 1.

Otro ejemplo de la disposición se muestra en la Figura 2. La fuente de luz 1 está fijada a un brazo de soporte 5 que gira alrededor de la muestra diana 6. Por lo tanto, la muestra diana 6 situada en un portamuestras 7 puede iluminarse desde varios ángulos. Por ejemplo, la muestra 6 puede iluminarse desde 12 ángulos horizontales diferentes, lo que indica que el ángulo horizontal entre las ubicaciones de las fuentes de luz es de 30 grados ($\theta = 0, 30, 60, 90, \dots, 330$). Las imágenes de reflectancia se capturan desde cada ubicación. La Figura 2 muestra un dibujo esquemático del dispositivo de medición y del procedimiento de medición de acuerdo con una realización de la invención.

De acuerdo con una realización de la invención, un primer polarizador lineal está dispuesto en frente del dispositivo formador de imágenes y un segundo polarizador lineal está dispuesto en frente de la fuente de luz, estando los polarizadores lineales primero y segundo en una relación angular de 90 grados entre sí, y la orientación entre los polarizadores se mantiene constante durante la medición. Generalmente, las superficies pueden ser divididas aproximadamente entre superficies especulares y superficies difusas, en base a la reflexión de la diana. El método estéreo fotométrico supone que la reflexión de la diana es difusa. La superficie del papel es casi difusa. Sin embargo, las fibras de madera y los pigmentos minerales presentes en el papel pueden producir reflexiones especulares y distorsionar la estimación de las normales de la superficie. Por lo tanto, el efecto no deseado de la reflexión especular puede reducirse cruzando dos polarizadores lineales a 90 grados situados hacia la parte frontal de la fuente de luz, tal como un LED, y hacia la parte frontal del objeto del dispositivo formador de imágenes. La luz que pasa por el primer polarizador se bloquea en el segundo polarizador si la luz se refleja especularmente. Ambos polarizadores pueden estar fijados a brazos de soporte de manera tal que el primer polarizador en frente del objeto del dispositivo formador de imágenes esté girando y, por lo tanto, la orientación entre los polarizadores sea constante durante la medición. Un ejemplo de la disposición formadora de imágenes que comprende polarizadores se muestra en la Figura 3. El primer polarizador lineal 8 está dispuesto en frente del dispositivo formador de imágenes 4 y el segundo polarizador lineal 9 está dispuesto en frente de la fuente de luz 1. Los polarizadores 8, 9 están en un ángulo de 90 grados entre sí. Los polarizadores 8, 9 bloquean la luz que se refleja especularmente desde la superficie de la muestra diana 6. Las flechas muestran la polarización de la luz.

De acuerdo con una realización de la invención, el patrón de haz de la fuente de luz sobre la superficie de muestra diana se compensa utilizando un polinomio de segundo orden 2D ajustado con la imagen de reflectancia. La forma del patrón de haz de la fuente de luz, tal como un LED, sobre la superficie de muestra diana depende principalmente de la ubicación y del tipo de haz de la fuente de luz. La ubicación de la fuente de luz es conocida en la disposición de acuerdo con la invención. Sin embargo, el tipo de haz incluye incertidumbres y por lo tanto el haz central de la fuente de luz, tal como un LED, no está necesariamente situado en el medio de la muestra de papel diana. La intensidad de la luz reflejada desde la muestra diana disminuye en sentido cuadrático cuando la distancia desde el haz central de la fuente de luz aumenta. Por lo tanto, el patrón del haz de la fuente de luz sobre la superficie de la muestra diana se compensa con un polinomio de segundo orden 2D ajustado a la imagen de reflectancia. El problema del ajuste 2D puede definirse en forma de matriz de la siguiente manera

$$\begin{bmatrix} 1 & x & y & xy & x^2 & y^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b & c & d & e & f \end{bmatrix}^T = i \quad (1)$$

donde x e y son los vectores que contienen las coordenadas x e y de cada píxel de la imagen. El vector i contiene la intensidad de los píxeles de imagen de la imagen original. Los símbolos de a a f son los coeficientes de los términos polinómicos que se resuelven en el sentido de los mínimos cuadrados. El polinomio se ajusta a cada capa de color de la matriz de Bayer por separado.

De acuerdo con una realización de la invención, los valores de la intensidad del píxel se compensan calculando las distancias entre cada uno de los píxeles de imagen y la fuente de luz para obtener una matriz de resultados de compensación de las intensidades de los píxeles y multiplicando la imagen de reflectancia original punto por punto con la matriz de los resultados de la compensación de intensidades de los píxeles y dividiendo la imagen de reflectancia original punto por punto con el polinomio 2D.

La presente invención utiliza una denominada teoría estéreo fotométrica, que se describe más detalladamente a continuación. El cálculo de las normales a la superficie con la teoría estéreo fotométrico se basa en la variación del brillo de la superficie de la muestra diana. La teoría estéreo fotométrica supone que la luz que llega a la superficie de la muestra diana está colimada. Sin embargo, esto no es necesariamente el caso en la presente invención porque normalmente la distancia entre la fuente de luz y la muestra diana es pequeña y el tamaño físico de la fuente de luz es pequeño. Por lo tanto, la orientación del haz de luz que llega desde la fuente de luz varía sobre la superficie de la muestra diana. De acuerdo con una forma realización preferida de la invención, los valores de las intensidades de los píxeles se compensan calculando las distancias entre cada uno de los píxeles de la imagen original y la fuente de luz de manera de obtener una matriz de resultados de compensación. La posición z de la fuente de luz se divide con la

distancia como se indica a continuación:

$$\cos \text{Sigma} = \frac{z_{\text{light}}}{\sqrt{\sum (\mathbf{x}_{\text{light}} - \mathbf{x}_{\text{sample}})^2}} \quad (2)$$

donde z_{luz} es la ubicación z de la luz. El x_{luz} es el vector (x,y,z) que contiene las coordenadas de la fuente de luz. El x_{muestra} es el vector (x,y,1) que contiene las coordenadas de la muestra diana. El resultado de la compensación se denomina $\cos \text{Sigma}$, que es el coseno de los vectores. Después de obtener la matriz de los resultados de compensación, la imagen original se multiplica punto por punto con la matriz $\cos \text{Sigma}$, es decir, la matriz de los resultados de compensación, y se divide punto por punto con el polinomio 2D. Un ejemplo del efecto de las correcciones se puede ver claramente en las superficies 3D mostradas en las Figuras 4a y 4b, donde la Figura 4a muestra la superficie 3D de un papel tisú con las correcciones polinómica y $\cos \text{Sigma}$ y la Figura 4b muestra la misma superficie 3D de un papel tisú sin las correcciones polinómicas y de $\cos \text{Sigma}$.

En el método estéreo fotométrico se capturan dos o más imágenes desde una superficie iluminada desde diferentes direcciones. El método estéreo fotométrico estima las normales a la superficie de una superficie lambertiana. La superficie lambertiana (mate) se define como aquella en la que la intensidad reflejada es independiente de la dirección de observación. La ley de Lambert representa la intensidad del píxel i en el punto (x, y) como se indica a continuación

$$i = \rho E \mathbf{l}_{3 \times 1}^T \mathbf{n}_{3 \times 1} \quad (3)$$

donde ρ es el albedo de superficie que describe la reflectividad de una superficie, E es la intensidad de una fuente de luz, n es la normal unidad de la superficie e l es el vector unidad hacia la fuente de luz. En la configuración de medición \mathbf{l}^T es como sigue:

$$\mathbf{l}^T = \begin{bmatrix} \cos(\theta) \sin(\alpha) \\ \sin(\theta) \sin(\alpha) \\ \cos(\alpha) \end{bmatrix} \quad (4)$$

donde θ y α determinan la orientación de la fuente de luz. El vector l se calcula para cada píxel de imagen por separado porque la orientación del vector unidad hacia la fuente de luz depende de la ubicación del píxel. El $\rho E n$ puede resolverse a partir de la ecuación (3) porque el dispositivo formador de imágenes detecta y mide las intensidades de los píxeles (i) y la ubicación de la fuente de luz es conocida (l). Sin embargo, el albedo depende de la ubicación espacial, por lo que la normal unidad de la superficie no se resuelve. Tres direcciones de fuente de luz son suficientes para determinar la normal unidad y el albedo de la ecuación (1), pero la incertidumbre de la estimación puede disminuirse aumentando el número de direcciones de la fuente de luz. De acuerdo con una forma realización de la invención, la superficie de la muestra diana, que comprende tres extremos libres de las fibras, se ilumina desde al menos 6, preferiblemente al menos 8, más preferiblemente aún, al menos 10, incluso más preferiblemente al menos 12 direcciones. Por lo tanto, el número de direcciones de la fuente de luz es normalmente de al menos 6, preferiblemente de al menos 8, más preferiblemente de al menos 10, incluso más preferiblemente de al menos 12. Entonces la ley de Lambert puede representarse en forma de matriz como se indica a continuación

$$\mathbf{i}_{m \times 1} = \rho E \mathbf{L}_{m \times 3} \mathbf{n}_{3 \times 1} \quad (5)$$

donde m es el número de direcciones de la fuente de luz, i es el vector de intensidad de los píxeles para cada dirección de la fuente de luz, L es la matriz que consiste en 1x3 vectores unidad orientados hacia cada fuente de luz, y n es la normal unidad de la superficie. El problema está sobredeterminado por píxel individual con el número de direcciones de las fuentes de luz y la normal unidad escalada m (escalada por el albedo) y puede resolverse minimizando el cuadrado del error con pseudoinversa como

$$\rho E \mathbf{n} = \mathbf{m} = (\mathbf{L}^T \mathbf{L})^{-1} \mathbf{L}^T \mathbf{i} \quad (6)$$

La ecuación (6) se aplica para cada imagen de píxel por separado y esto da como resultado una unidad escalada normal para cada píxel.

Las intensidades de la reflexión de la superficie diana se reconstruyen mediante la utilización de normales unidad

escaladas y la ley de Lambert de la ecuación (5). Las intensidades de reflexión se restan de las intensidades de reflexión originales.

Por ejemplo, la Figura 5a muestra una pequeña porción de la imagen de reflectancia original, la Figura 5b muestra una imagen reconstruida del mismo área calculada mediante el método anteriormente descrito, y la Figura 5c muestra la imagen de diferencia entre las imágenes de reflectancia original y reconstruida. La media se elimina de las imágenes y la varianza se escala a la unidad antes de la resta. La variación espacial mayor que 0,3 mm se elimina de la imagen de diferencia mediante el filtro de paso alto 2D Bessel lineal. Puede verse en la figura 6a que la sombra causada por una fibra es extremadamente débil en la imagen de reflectancia original, pero que la imagen de diferencia de la Figura 6c revela la sombra más claramente. La fuente de luz está iluminando la muestra de papel tisú desde la dirección del borde inferior de la imagen ($\Theta = -90^\circ$). La distancia máxima entre la sombra y la fibra es $80 \mu\text{m}$ en la dirección $(\theta = -90^\circ)$, lo que indica que la diferencia de altura entre el extremo de la fibra y la superficie del papel tisú es $\tan(60^\circ) 80 \mu\text{m} \approx 140 \mu\text{m}$. Sin embargo, en la mayoría de los casos la fibra que causa la sombra es invisible a la cámara o difícil de detectar. Por lo tanto, normalmente, mediante el método se obtiene solamente el número de extremos libres de las fibras sobre la superficie, pero ni su orientación ni su altura.

Los objetos de sombra de los extremos libres de las fibras se detectan a partir de la imagen de diferencia. Los objetos de la sombra causados por los extremos libres de las fibras se ven como curvas oscuras débiles en la imagen de la diferencia. De acuerdo con una realización de la invención, los objetos de sombra se detectan en la imagen de diferencia usando métodos de filtrado y/o procesamiento que refuerzan los objetos de sombra de los extremos libres de las fibras sobre la superficie de un papel. Por ejemplo, la detección de objetos de sombra se basa en la detección de líneas sobre la imagen de diferencia. El método de la detección de líneas aplicado se denomina medias orientadas, en el que se calcula la media para cada ubicación de píxel y orientación de línea. Dicho filtrado/procesamiento refuerza las curvas y líneas causadas por las sombras y en una imagen resultante las sombras pueden ser vistas como curvas oscuras.

Las sombras causadas por las fibras pueden verse como sombras oscuras débiles en la imagen de diferencia. La detección de las sombras se basa en la detección de líneas en todas las orientaciones orientadas en la imagen. El ancho típico de las fibras de madera en el papel es normalmente de alrededor de $20 \mu\text{m}$. La longitud de las fibras en el papel varía normalmente de $200 \mu\text{m}$ a $1000 \mu\text{m}$. Sin embargo, la longitud de las sombras varía en función del ángulo y de la extensión del extremo libre de las fibras en la superficie de la muestra de papel que suele ser más corta que la longitud de la fibra. Por ello la anchura y la longitud de los objetos detectados de la imagen pueden establecerse a $16 \mu\text{m}$ y $100 \mu\text{m}$, respectivamente. El método de detección de líneas aplicado se denomina medias orientadas en el que se calcula la media para cada ubicación de píxel y orientación de línea. Sea $I(x, y)$ una función continua que representa las intensidades de imagen dadas en un dominio bidimensional. La media del objeto en la orientación Θ se denomina como sigue:

$$F(x_0, y_0, L, W, \theta) = \frac{1}{WL} \int_{-W/2-L/2}^{W/2} \int_{-L/2}^{L/2} I(x_0 + x \cos \theta - y \sin \theta, y_0 + x \sin \theta + y \cos \theta) dy dx \quad (7)$$

donde L es la longitud del objeto y W es la anchura del objeto. Se calcula la media para varias orientaciones del objeto. Las sombras son más oscuras que el resto de la variación en el papel y de esta manera se selecciona el valor de orientación mínimo para la imagen resultante. La media mínima para diversas orientaciones puede establecerse como se indica a continuación

$$O(x, y) = \min_{\theta \in [0, \pi]} (F(x, y, L, W, \bar{\theta})) \quad (8)$$

donde $O(x, y)$ es la imagen de diferencia procesada resultante presentada, por ejemplo en la Figura 5d. En dicha realización, los valores de W y de L se fijan en $16 \mu\text{m}$ y $100 \mu\text{m}$, respectivamente.

De acuerdo con una forma realización de la invención, los objetos de sombra pueden detectarse a partir de $O(x, y)$, es decir, la imagen de diferencia, por efecto de umbral. Esto comprende las etapas de calcular un histograma que muestra la distribución de los valores de los píxeles de la imagen de diferencia filtrada/procesada en la que se refuerzan los objetos de sombra, establecer un límite de umbral a un valor deseado y obtener una imagen de diferencia umbral, eliminar los objetos circulares de la imagen de diferencia en umbral usando algoritmos de ajuste de elipse, y aceptar de la imagen de diferencia umbral aquellos objetos de sombra de imagen de diferencia umbral cuya longitud es mayor que un límite de aceptación, y/o los objetos que tienen una excentricidad que supera un valor predeterminado, y/o los objetos cuyo eje principal se desvía a lo sumo 30 grados, 45 grados o 90 grados con respecto a la dirección de la fuente de luz. El límite de aceptación se basa, por ejemplo, en la longitud típica de las fibras de madera. El límite de umbral se ajusta a un valor deseado, por ejemplo, 0,2%. El límite de umbral puede seleccionarse basándose en el recuento de fibras del sistema de medición de referencia presentado a continuación. Un ejemplo de una imagen binaria de umbral, que se obtiene, se muestra en la Figura 7(a). A partir de la imagen binaria de umbral se

5 aceptan sólo los objetos cuya longitud es mayor que el límite de umbral, por ejemplo, 100 µm. Además, la forma del objeto sombra aceptado debería ser alargada. Por lo tanto, se calcula la longitud de los ejes menor y mayor de la elipse ajustada a cada objeto. Los algoritmos de ajuste de elipse se basan en la distribución normal 2D ajustada a los puntos de coordenadas. La matriz de covarianza (Σ) de la distribución normal 2D puede escribirse en términos de las desviaciones estándar σ_x y σ_y y de la correlación ρ entre las coordenadas x e y del objeto como se indica a continuación

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \rho\sigma_x\sigma_y \\ \rho\sigma_x\sigma_y & \sigma_y^2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

La excentricidad de la elipse correspondiente está dada por:

$$e = \left(\frac{2((\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + \rho^2\sigma_x^2\sigma_y^2)^{1/2}}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + ((\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + \rho^2\sigma_x^2\sigma_y^2)^{1/2}} \right)^{1/2} \quad (10)$$

10 En una realización de la invención, los objetos cuyo eje principal es al menos 5 veces más largo que su eje menor, es decir, aquellos que tienen una excentricidad mayor que $2\sqrt{6}/5$ se aceptan en la imagen binaria final, ejemplo de lo cual se muestra en la Figura 7b.

15 Los objetos detectados a partir de la imagen binaria final pueden no ser las sombras de las fibras, sino por ejemplo una variación de color en el papel o una reflexión no deseada de minerales y fibras. Por lo tanto, de acuerdo con una realización preferida de la invención, sólo se aceptan las sombras que se desvían como máximo de 30 grados con respecto a la dirección de la fuente de luz, es decir, el tamaño del cono es de 60 grados. Esto significa que la pendiente de la fibra que genera la sombra puede ser como máximo de 18 grados con respecto a la superficie normal de la muestra diana si el ángulo entre la pendiente y la dirección de la fuente de luz es de 90 grados. Es posible que la pendiente de la fibra sea mayor que 18 grados, lo que significa que la sombra se descarta del recuento. Sin embargo, si se ilumina la fibra desde la dirección opuesta a la pendiente de la fibra, la orientación de la sombra es la misma que la orientación de la fuente de luz. Por lo tanto, las sombras de las fibras se detectan desde las tres ubicaciones que abarcan todas las orientaciones posibles de las sombras, es decir, 3 x 60 grados de cono = 180 grados. Se suma el recuento de las sombras de tres imágenes y el resultado es la estimación de la densidad de las fibras. Los conos no se superponen porque de lo contrario la misma sombra podría ser contada dos veces, lo que distorsionaría el resultado.

25 De acuerdo con una realización, el método para detectar los extremos libres de las fibras de la superficie de un papel comprende:

- iluminar una superficie de una muestra diana, que comprende extremos libres de fibras, desde al menos cuatro direcciones, con al menos una fuente de luz;
- obtener una imagen de reflectancia original para la superficie de la muestra diana con un dispositivo de iluminación,
- 30 - estimar una normal de superficie para cada píxel de imagen de la imagen de reflectancia original,
- reconstruir una imagen de reflectancia reconstruida a partir de las normales de superficie estimadas;
- comparar la imagen de reflectancia reconstruida y la imagen de reflectancia original y construir una imagen de diferencia, en donde las diferencias representan objetos de sombra de los extremos libres de las fibras en una superficie de un papel.

35 De acuerdo con una realización, la disposición para detectar los extremos libres de las fibras en papel, en especial en calidades de papel tisú, comprende

- un dispositivo formador de imágenes tal como una cámara de sistemas digitales, dispuesto a una distancia desde el portamuestras, para detectar datos de imagen de reflectancia originales,
- al menos cuatro fuentes de luz, tales como LED, fijadas alrededor del dispositivo formador de imágenes, o una fuente de luz, que está fijada a un brazo de soporte, que está dispuesto para girar alrededor del dispositivo formador de imágenes;
- 40 - una unidad de procesamiento de datos, que está dispuesta para

- recibir datos de imagen de reflectancia originales del dispositivo formador de imágenes,
- estimar una normal de superficie para cada píxel de imagen de la imagen de reflectancia original,
- reconstruir una imagen de reflectancia reconstruida a partir de las normales de superficie estimadas, y
- comparar la imagen de reflectancia reconstruida con la imagen de reflectancia original y construir una imagen de diferencia, en donde las diferencias representan objetos de sombra de los extremos libres de las fibras en una superficie de papel.

Parte experimental

El rendimiento del método de la formación de imágenes presentado en esta solicitud se evalúa mediante una medición de referencia similar a la presentada por Pawlak y Elhammoumi [1].

La muestra de papel tisú se pliega sobre un borde y se captura la imagen del borde plegado del papel tisú con una cámara digital. La Figura 8 muestra dos superficies de papel tisú plegado, el tisú de baño a la izquierda y la toalla de cocina a la derecha. La anchura de la imagen es de 6 mm (2 x 3 mm) y la altura es de 1,6 mm. Las fibras largas que sobresalen desde la superficie pueden observarse claramente. El límite exacto de la superficie en la muestra de papel tisú es difícil de determinar. Por lo tanto, sólo se cuentan los extremos libres de las fibras que se extienden desde el supuesto límite superficial de papel tisú en más de 100 µm. El límite superficial se estima calculando la diferencia de vectores de píxeles en la dirección y para cada posición x. Se obtiene la diferencia máxima en la dirección y, y se calcula el valor medio a partir de los puntos de superficie adyacentes en la dirección x. La Figura 9 muestra un ejemplo del límite de superficie estimado superpuesto sobre la imagen de borde plegado. Las fibras cuya ubicación está por encima del límite de superficie estimado en más de 100 µm se consideran como extremos libres de fibras. La anchura del borde plegado es de aproximadamente 2 mm y esta anchura se utiliza para estimar la densidad de los extremos libres de fibras por área.

La alineación de las fibras detectadas mediante el método de referencia arriba descrito y las sombras detectadas mediante el método de la formación de imágenes de acuerdo con la presente invención es difícil porque la estimación de la ubicación exacta de las fibras en el método de la medición de referencia es incierta. Por lo tanto, se calcula la densidad de los extremos libres de fibra del papel por área y se comparan los resultados del método de referencia con el método de la formación de imágenes para tres calidades diferentes de tisú. La calidad 1 es papel toalla de cocina, la calidad 2 es servilleta de papel y la calidad 3 es papel tisú de baño. Los parámetros ajustables en el método de la formación de imágenes de acuerdo con la invención se eligen de manera que se minimice la diferencia entre las dos mediciones independientes. Los parámetros ajustables son: (1) la longitud de las sombras consideradas como sombras de los extremos libres de fibras, y; (2) el nivel del umbral en la conversión de la escala de grises a imagen binaria. Las muestras de tisú se cortan en la parte superior de una bobina de la máquina de modo que los procesos de repujado, impresión u otros procesos de conversión no afecten la estructura de las muestras de tisú. Las densidades de los extremos libres de las fibras en cada calidad se miden en 36 lugares con el método de referencia y en 12 lugares con el método de la formación de imágenes de acuerdo con la invención. Se cuentan las fibras desde el lado del papel tisú que ha estado en contacto con el cilindro Yankee. Los resultados se muestran en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1. Las desviaciones promedio y estándar de las densidades de extremos libres de fibras estimadas mediante el método de referencia en 36 puntos de medida por calidad y mediante el sistema de la formación de imágenes de acuerdo con la invención en 12 puntos de medición por calidad

	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Promedio _{ref}	24,7	26,7	82,4
Std. _{ref}	13,3	14,5	24,8
Promedio _{img}	36,3	40,1	64,5
Std. _{img}	6,1	5,4	2,7

Puede verse en la Tabla 1 que los resultados del método de la formación de imágenes de acuerdo con la invención siguen los resultados del método de referencia. Para la calidad 3 la cantidad de fibras es la más elevada, mientras que para las calidades 2 y 1 la cantidad de fibras es significativamente menor que para la calidad 3, y es la más pequeña para la calidad 1. Las magnitudes de la desviación estándar son significativamente menores en el método de acuerdo con la invención. La razón es el área de medición más grande en el novedoso método de la formación de imágenes, lo que disminuye la incertidumbre. Además, la magnitud de la desviación estándar es menor para el calidad 3, lo que podría explicarse con el procedimiento para fabricación material tisú, más estable, que en las calidades 1 y 2. Sin embargo, puede verse que el recuento de fibras del método de la formación de imágenes de acuerdo con la invención difiere de los resultados del método de referencia en cada tipo. La diferencia de recuento podría explicarse por el hecho que el método de la formación de imágenes cuenta las sombras de fibras cuya longitud es mayor de 100 µm mientras que el método de referencia cuenta las fibras que tienen una longitud desde el límite de superficie es superior

a 100 μm . Es posible que el ángulo de inclinación entre la superficie del papel y las fibras sea tan pequeño que el método de referencia no pueda detectar tales fibras aunque la sombra de las fibras pueda ser detectada con el método de la formación de imágenes de acuerdo con la invención.

5 El método del análisis de imagen de acuerdo con la invención tiene dos parámetros ajustables: la longitud de las sombras consideradas como sombras causadas por los extremos libres de las fibras, y el nivel de umbral cuando se convierte de la escala de grises a imagen binaria. El método de referencia se basa en una aproximación bastante grosera de la anchura del borde plegado, que es 2 mm, y considera que la altura de la fibra, como extremos libres de las fibras, es un parámetro ajustable. Por lo tanto, debido a los diversos parámetros inciertos, no es posible una calibración perfecta del novedoso método de la formación de imágenes en base al método de referencia.

10 REFERENCIAS

1. Pawlak, J. J., Elhammoumi, A.: Image Analysis Technique for the Characterization of Tissue Softness, In: International Paper Physics conference, Graz (2011)

REIVINDICACIONES

1. Un método para detectar los extremos libres de fibras presentes en una superficie de un papel, que comprende
 - iluminar la superficie de una muestra diana (6), que comprende extremos libres de fibras, desde al menos dos direcciones una dirección cada vez, con al menos una fuente de luz (1),

5 - obtener para cada dirección de fuente de luz una imagen de reflectancia original para la superficie de la muestra diana (6) mediante un dispositivo formador de imágenes (4),
 - estimar una normal a la superficie para cada píxel de imagen de la imagen de reflectancia original,
 - reconstruir una imagen de reflectancia reconstruida a partir de las normales estimadas a la superficie, y
 10 - comparar la imagen de reflectancia reconstruida y la imagen de reflectancia original correspondiente y construir una imagen de diferencia, en donde las diferencias representan objetos de sombra de los extremos libres de las fibras en una superficie de papel.

2. El método según la reivindicación 1, **caracterizado** por que se reconstruye una pluralidad de imágenes de reflectancia reconstruidas a partir de las normales de superficie estimadas,

15 - se compara cada imagen de reflectancia reconstruida con la correspondiente imagen de reflectancia original y se construyen imágenes de diferencia, en donde las diferencias representan objetos de sombra de los extremos libres de las fibras en una superficie de papel, y
 - se calcula un valor promedio del número de objetos de sombra en las imágenes de diferencia.

3. El método según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** por que la normal unidad de la superficie para cada píxel de imagen se estima minimizando el cuadrado de error con pseudo inversa como:

$$\mathbf{n} = \frac{(\mathbf{L}^T \mathbf{L})^{-1} \mathbf{L}^T \mathbf{i}}{\rho E}$$

20 donde **n** es la normal unidad de la superficie, ρ es el albedo de superficie que describe la reflectividad de la superficie, E es la intensidad de una fuente de luz (1), **L** es la matriz consistente en 1x3 vectores unidad orientadas hacia cada fuente de luz (1), e **i** es el vector de intensidad del píxel de imagen para cada dirección de fuente de luz.

4. El método según la reivindicación 3, **caracterizado** por que la imagen de reflectancia reconstruida se reconstruye calculando la intensidad de la reflexión para cada píxel de imagen a partir de la siguiente ecuación:

$$i = \rho E \mathbf{L}_{1 \times 3} \mathbf{n}_{3 \times 1}$$

5. El método según la reivindicación 1, **caracterizado** por compensar el patrón de haz de la fuente de luz (1) sobre la superficie de la muestra diana (6) utilizando un polinomio de segundo orden 2D ajustado a la imagen de reflectancia original.

30 6. El método según la reivindicación 1, **caracterizado** por que
 - se compensan los valores de las intensidades de los píxeles calculando las distancias entre cada uno de los píxeles de imagen y la fuente de luz para obtener una matriz de los resultados de compensación de las intensidades de los píxeles, y
 - se multiplica la imagen de reflectancia original punto por punto con la matriz de los resultados de compensación de las intensidades de los píxeles y se divide la imagen de reflectancia original punto por punto con un polinomio 2D.

7. El método según la reivindicación 1, **caracterizado** por detectar los objetos de sombra en la imagen de diferencia usando métodos de filtrado y/o procesamiento que refuerzan los objetos de sombra de los extremos libres de las fibras en una superficie de un papel.

8. El método según la reivindicación 7, **caracterizado** por que
 40 - se calcula un histograma que muestra la distribución de los valores de los píxeles de la imagen de diferencia filtrada/procesada en la que se refuerzan los objetos de sombra,
 - se fija un límite de umbral en un valor deseado y se obtiene una imagen de diferencia umbral,

- se eliminan objetos circulares de la imagen de diferencia umbral mediante la utilización de algoritmos de ajuste de elipse, y
 - se aceptan de los objetos de sombra de imagen de diferencia umbral aquellos cuya longitud es superior a un límite de aceptación, y/u objetos que tienen una excentricidad que supera un valor predeterminado, y/o objetos cuyo eje mayor se desvía como máximo 30 grados, 45 grados o 90 grados con respecto a la dirección de la fuente de luz (1).
- 5
9. El método según la reivindicación 1, **caracterizado** por que se ilumina la superficie de la muestra diana (6), que comprende extremos libres de fibras, desde al menos 6, preferiblemente al menos 8, más prefiblemente al menos 10, y en especial, al menos 12 direcciones.
10. El método según la reivindicación 1, **caracterizado** por que la muestra diana (6) consiste en un material continuo de papel en movimiento y porque el método se implementa en línea.
- 10
11. El método según la reivindicación 1, **caracterizado** por que se cuenta el número de objetos de sombra y se cambian los parámetros del proceso de acuerdo con el resultado obtenido.
12. El método según la reivindicación 1, **caracterizado** por que
- se dispone un primer polarizador lineal (8) en frente del dispositivo formador de imágenes (4) y un segundo polarizador lineal (9) en frente de la fuente de luz (1), estando los polarizadores lineales primero y segundo (8, 9) dispuestos en un ángulo de 90 grados en relación entre sí, y
 - se mantiene constante la orientación entre los polarizadores (8, 9) durante la medición.
- 15
13. Una disposición para detectar extremos libres de fibras en un papel, especialmente en calidades de papel tisú, que comprende:
- 20
- un dispositivo formador de imágenes (4), tal como una cámara de sistemas digitales, dispuesto a una distancia del portamuestras (7), para obtener imágenes de reflectancia originales de la superficie de una muestra diana (6),
- caracterizado** por que la disposición comprende
- al menos dos fuentes de luz (1), tales como LED, fijadas alrededor del dispositivo formador de imágenes (4), o una fuente de luz (1), que está fijada a un brazo de soporte (5), que está dispuesto para girar alrededor del dispositivo formador de imágenes (4), estando dispuestas las al menos dos fuentes de luz (1) o la una fuente de luz (1) para iluminar la superficie de la muestra diana (6) desde al menos dos direcciones una dirección cada vez,
 - una unidad de procesamiento de datos, que está dispuesta para
 - recibir imágenes de reflectancia originales obtenidas para cada dirección de fuente de luz desde el dispositivo formador de imágenes (4),
- 25
- 30
- estimar una normal a la superficie para cada píxel de imagen de la imagen de reflectancia original;
 - reconstruir una imagen de reflectancia reconstruida a partir de las normales de superficie estimadas, y
 - comparar la imagen de reflectancia reconstruida y la correspondiente imagen de referencia original y construir una imagen de diferencia, en donde las diferencias representan objetos de sombra de los extremos libres de las fibras en una superficie de un papel.
- 35

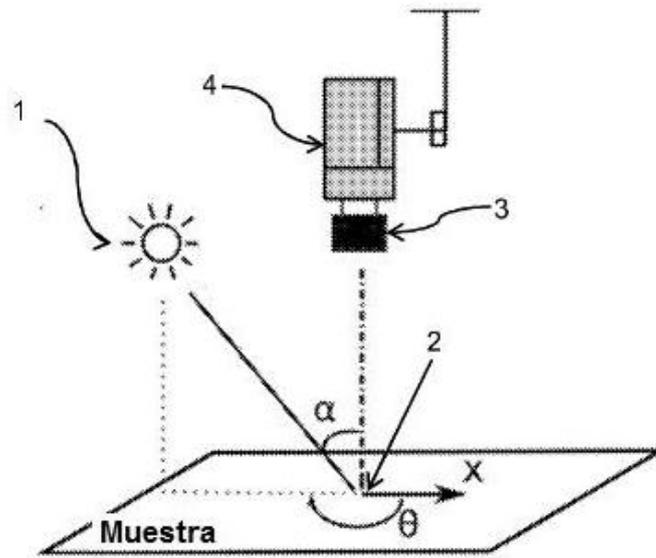


Figura 1

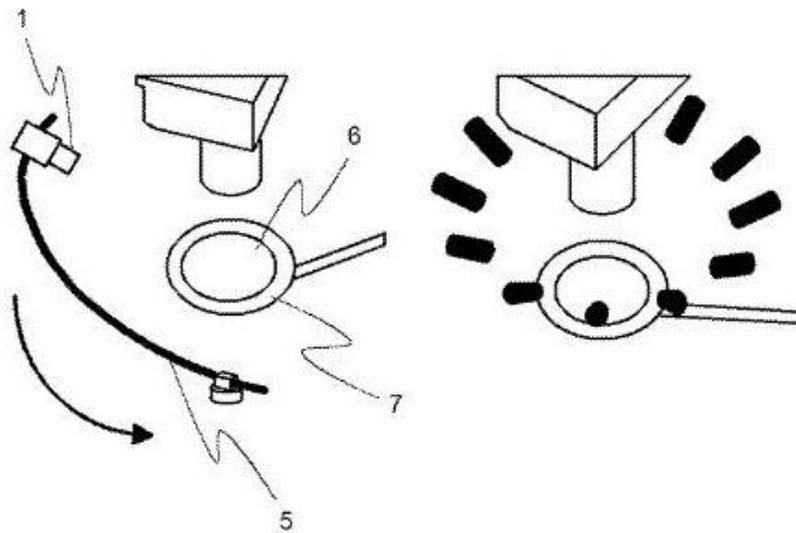


Figura 2

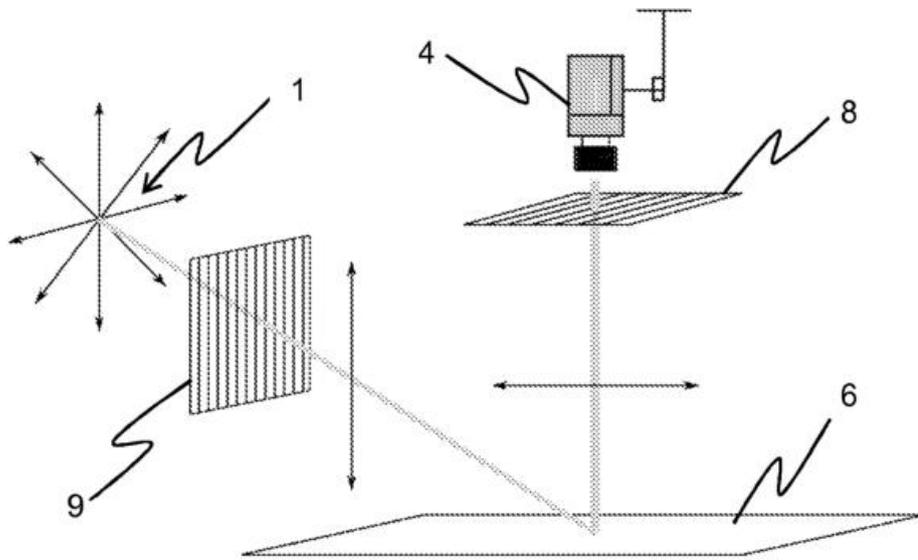


Figura 3

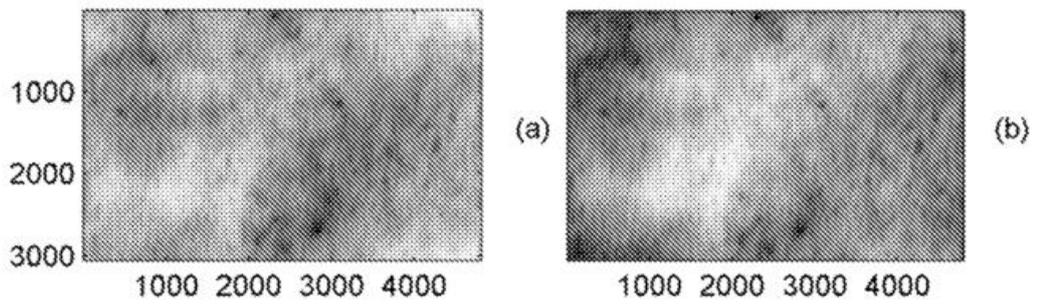


Figura 4

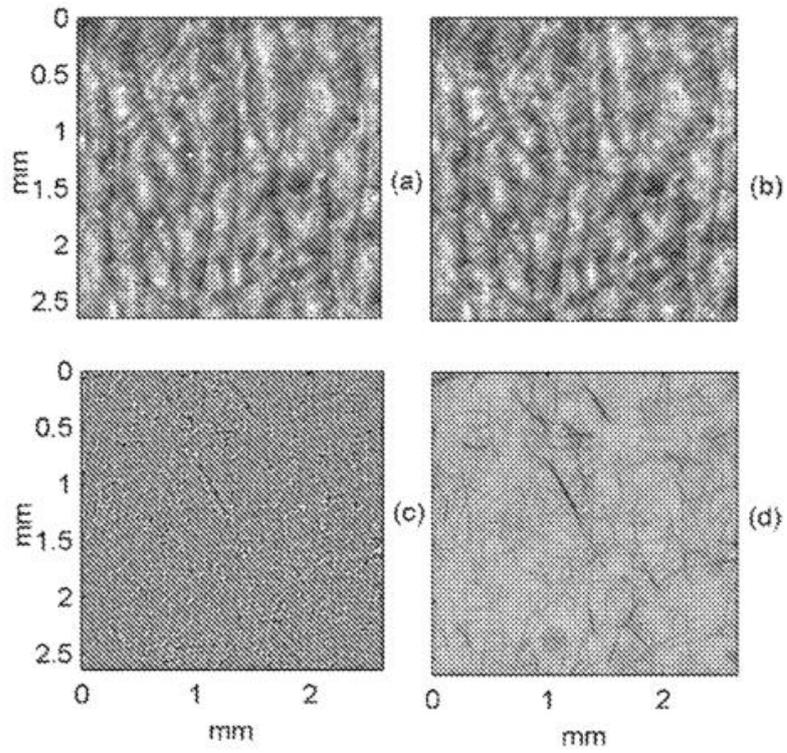


Figura 5

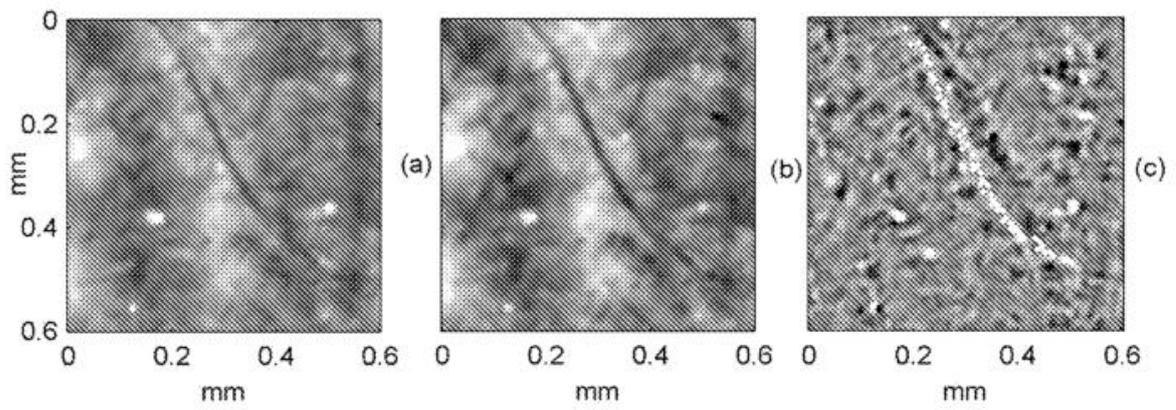


Figura 6

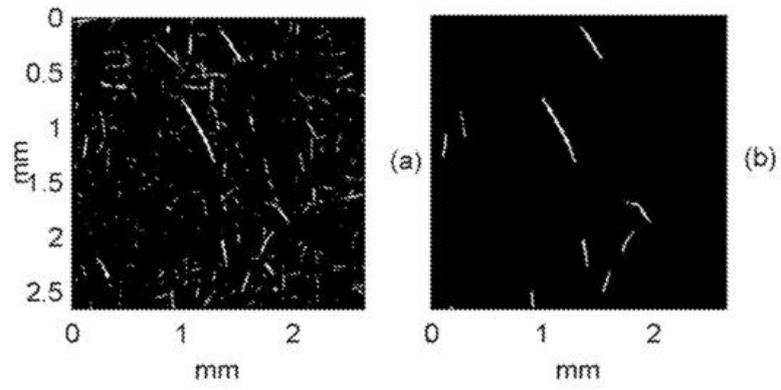


Figura 7

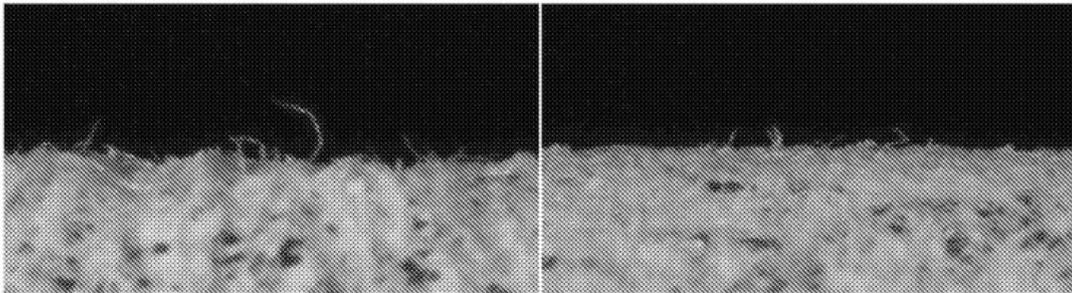


Figura 8

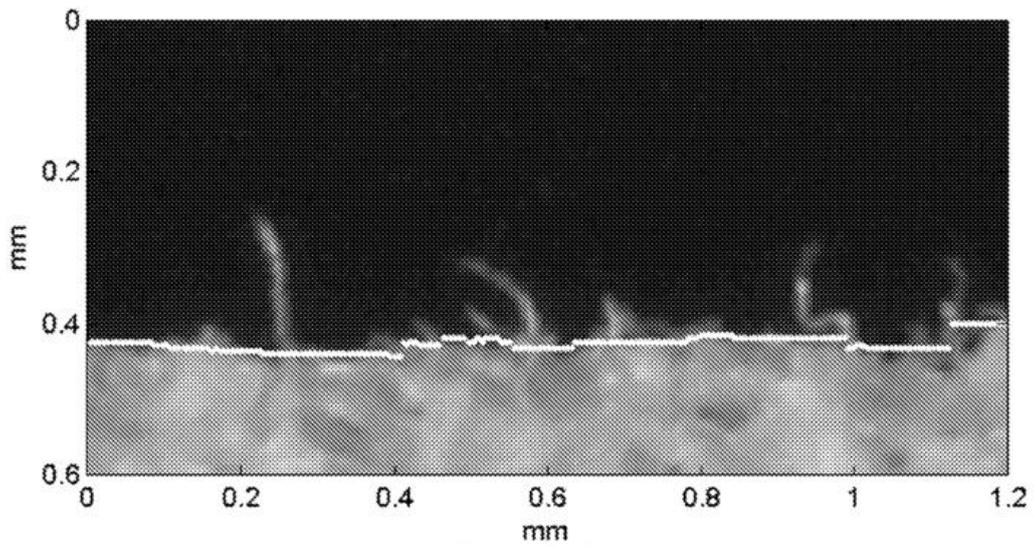


Figura 9