

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 531 189**

21 Número de solicitud: 201300738

51 Int. Cl.:

A61B 3/10 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

22 Fecha de presentación:

05.08.2013

43 Fecha de publicación de la solicitud:

11.03.2015

Fecha de la concesión:

11.12.2015

45 Fecha de publicación de la concesión:

18.12.2015

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2014/070601

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE ALICANTE (100.0%)
Carretera San Vicente del Raspeig s/n
03690 San Vicente del Raspeig (Alicante) ES**

72 Inventor/es:

**RUIZ FERNÁNDEZ, Daniel;
SORIANO PAYÁ, Antonio y
GONZÁLEZ NÚÑEZ DE ARENAS, Lorena**

54 Título: **Procedimiento de cuantificación de la opacidad ocular de una lente intraocular**

57 Resumen:

Procedimiento de cuantificación de la opacidad ocular de una lente intraocular.

El grado de opacificación de la cápsula posterior se determina, en la mayoría de los casos, de forma subjetiva mediante la valoración de un especialista que observa el estado de la cápsula situada detrás del cristalino y la visión descrita por el mismo paciente. En esta invención se presenta un procedimiento para detectar las células que se pueden generar entre la cápsula posterior (envoltura del cristalino) y una lente intraocular, pudiendo, de esta forma, cuantificar la opacificación producida. Este procedimiento de cuantificación del grado de opacidad en la lente intraocular incorpora varias etapas que dotan de un elevado grado de automatismo al procedimiento: se detecta automáticamente el área de interés, se detectan zonas que pueden falsear el análisis para no incluirlas en la cuantificación, se detectan las células consecuencia de la opacidad en la lente y, finalmente, se cuantifica la superficie de la lente que presenta un problema de opacidad.

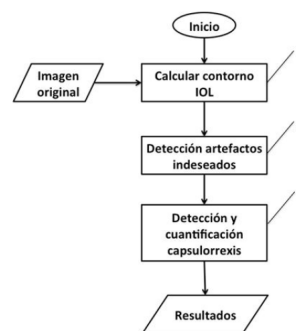


FIGURA 1

ES 2 531 189 B2

DESCRIPCIÓN

PROCEDIMIENTO DE CUANTIFICACIÓN DE LA OPACIDAD OCULAR DE UNA LENTE INTRAOCULAR

5

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un procedimiento de cuantificación del grado de opacidad ocular de una lente intraocular. El procedimiento propuesto para la cuantificación está formado por varias etapas que se aplican a una imagen de la zona ocular donde pueda existir opacidad.

ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR

La invención aborda un problema importante en el ámbito de la oftalmología ya que la determinación del grado de opacidad de una lente intraocular en la cápsula posterior puede conllevar la necesidad de una cirugía para intercambiar la lente por otra nueva. Si la lente se intercambia con un grado de opacidad bajo, puede estar sometiéndose al paciente a una cirugía innecesaria. En cambio, si el grado de opacidad es alto y no se sustituye la lente, el paciente verá reducida su visión como consecuencia de esta opacidad. Por tanto, la cuantificación de forma objetiva del grado de opacidad en una lente intraocular, es un aspecto sumamente importante relacionado con la calidad de visión de un paciente con una lente intraocular.

El problema de la cuantificación de la opacidad de la cápsula posterior se ha abordado en distintos trabajos aplicando diferentes técnicas computacionales. Entre dichos trabajos o estudios, se encuentran soluciones como la que se plantea en [M. R. Tetz, G. U. Auffarth, M. Sperker, M. Blum and H. E. Völcker. Photographic image analysis system of posterior capsule opacification. Journal of cataract and refractive surgery, Vol 23, Edition 10, 1997, pp 1515–1520], una solución comercial que calcula el grado de opacificación teniendo en cuenta los distintos grados de opacidad existentes. Otro sistema similar al anterior y que se utiliza para obtener el grado de opacificación es el que se presenta en [L. Bender, D. J. Spalton, B. Uyanonvara, J. Boyce, C. Heatley, R. Jose and J. Khan, “POCOman: New system for quantifying posterior capsule opacification”. Journal of Cataract and Refractive Surgery, Vol 30, Edition 10, 2004, pp 2058 – 2063]. En ambos sistemas es necesario una interacción con el especialista para que éste dirija la detección de las zonas de opacificación, pudiéndose perder objetividad en la cuantificación. El procedimiento que se propone en esta invención es totalmente automático proporcionando una cuantificación

totalmente objetiva, con independencia del especialista.

Hay otros proyectos relacionados como [Huiqi Li; Joo Hwee Lim; Jiang Liu; Wong, D. W
K; Yongfeng Foo; Ying Sun; Tien Yin Wong, "Automatic detection of posterior subcapsular
5 cataract opacity for cataract screening," Engineering in Medicine and Biology Society
(EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE , vol., no., pp.5359,5362, Aug.
31 2010-Sept. 4 2010], donde el sistema es automático pero detecta opacidad en el
cristalino (origen de las cataratas) utilizando características como iluminación,
localización o tamaño de la catarata. La diferencia fundamental con la opacidad
10 procedente de una lente intraocular es que en esta última crecen células y éstas son las
que se deben detectar, no áreas como en el caso de las cataratas.

Existen otros trabajos que dotan de mayor automatismo a la evaluación de la opacidad en
la cápsula posterior. En [N. Werghi, R. Sammouda and F. AlKirbi, "An unsupervised
15 learning approach based on a hopfield-like network for assessing posterior capsule
opacification". Pattern Analysis and Applications, Vol 13, 2010, pp 383–396] se muestra
un método basado en aprendizaje no supervisado mediante la red neuronal de Hopfield
para dividir el espacio a analizar en regiones según el color que presente cada uno de los
píxeles pertenecientes a la misma. El grado de opacidad se determina a partir del número
20 de regiones encontradas, siendo este número de regiones directamente proporcional al
grado de opacificación, así se divide la imagen en grupos de píxeles dependiendo de la
rugosidad que se genera en la superficie de la lente intraocular. La extracción del número
de regiones involucra una etapa de pre-procesamiento de la imagen donde se calcula
una parte circular en el centro de la lente intraocular, la cual será la zona a analizar. Se
25 implementa un algoritmo para clasificar los píxeles dependiendo de su color y formar
agrupaciones, a partir de los cuales se calcula el número de regiones mencionado. El
método que utiliza para agrupar los píxeles es una técnica de clustering estándar K-
means, que trabaja con regiones o conjuntos de píxeles.

30 En [M. Pourshahabi, H. Pourreza, O. Findl, R. Daneshvar and W. Buehl, "CPCO:
Contourlet Based PCO Quantification System". IEEE International Conference of Soft
Computing and Pattern Recognition, Malacca, 2009, pp 409–413] se expone la resolución
del problema de cuantificación de la opacidad de la cápsula posterior utilizando la
transformada de Contourket. Para determinar la región de interés, esto es, el área
35 perteneciente a la cápsula posterior, se aplica una transformación del espacio de color a
la imagen, del sistema RGB al sistema YCbCr. La imagen resultante se convierte en una

imagen binaria aplicando el método de Otsu y teniendo en cuenta la componente Cr. De esta forma, se obtiene el área de la cápsula posterior donde se encuentra la lente. La transformada de Contourlet se utiliza para hallar los contornos y la extracción de características. La imagen se divide en 64 regiones iguales donde se obtiene el vector de características para cada una de ellas. Este vector de características se utiliza para clasificar la imagen en uno de los cuatro grados de opacificación de la cápsula posterior que se determinan. Cada uno de estos vectores se compara con una base de datos entrenada previamente calculando la distancia Euclídea. Para establecer el grado final de opacificación en toda el área se asigna un coeficiente a cada una de las 64 regiones indicadas anteriormente, realizando una media ponderada.

Resulta conveniente a la luz de lo anteriormente expuesto, buscar un procedimiento que facilite a los especialistas una cuantificación objetiva del grado de opacidad ocular que pueden presentar las lentes intraoculares. Un alto nivel de automatismo se hace imprescindible para conseguir la mínima interacción con el especialista y, de esta forma, lograr reducir la subjetividad.

EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

La presente invención permite superar inconvenientes en los aspectos que se enumeran a continuación:

- Subjetividad en los criterios de valoración de la opacidad.
- Exactitud en el área de la lente que sufre opacidad al trabajar con elementos mínimos (v.g. células) en lugar de regiones de mayor tamaño.
- Incorporación en el tratamiento de elementos externos a la causa de la opacidad que pueden condicionar el resultado final (v.g. brillos).
- Problemas en la precisión de los métodos de cuantificación al utilizar un único método que puede ser muy apropiado para un tipo de imágenes pero poco apropiado para otro tipo.

Las ventajas que incorpora el procedimiento de cuantificación de la opacidad de la cápsula posterior que aquí se presenta son varias. En primer lugar se trata de un procedimiento integral que permite analizar cualquier tipo de imagen ya que es el propio procedimiento el que selecciona de manera automática la región de interés y los píxeles que van a ser analizados, además de incorporar tratamiento de elementos externos que pueden condicionar el resultado final. Por otro lado, se analiza directamente el origen de la opacidad en la lente intraocular, es decir, las células que crecen en la lente, mejorando

de este modo la precisión. Finalmente, se ofrece, siempre de forma automática y sin interacción con el especialista, superando el problema de la subjetividad, una cuantificación del grado de opacidad distribuida por sectores, para que sea el especialista el que evalúe si es necesario un tratamiento.

5

El procedimiento propuesto comprende tres etapas principales, que a partir de la imagen original a analizar obtiene el porcentaje de superficie ocupada distribuido por sectores.

La primera etapa consiste en el cálculo del contorno de la lente intraocular para, de esta forma, seleccionar el área de la imagen en la que se va a trabajar. La restricción de la región de interés a aquella que queda englobada por el contorno de la lente intraocular viene impuesta porque el crecimiento de las células que van a dificultar la visión se va a restringir al área ocupada por la lente. Con el objetivo de minimizar la interacción con el usuario, se detecta de forma automática el contorno de la lente, utilizando para ello la transformada de Hough para circunferencias. Para disminuir el coste computacional de esta transformada, se utiliza la transformada rápida de Hough para circunferencias.

Una vez acotada el área de trabajo se procede a la segunda etapa con la detección de artefactos indeseados procedentes de la captura de la imagen. La mayoría de artefactos son difíciles de eliminar y, si se eliminan, se corre el riesgo de introducir información no presente en la imagen original que puede alterar la cuantificación final. Por tanto, con esta etapa, se pretende localizar las zonas con artefactos en la imagen para no considerar en las etapas siguientes los píxeles que formen parte de estas zonas no deseables. En esta etapa se utilizan tres técnicas combinadas para la detección de los píxeles que no van a ser analizados. Las tres técnicas utilizadas son la aplicación del método de Otsu a la imagen en escala de grises, la aplicación del método de Otsu a la imagen transformada al modelo de color HSV y una umbralización de las componentes S y V en el modelo HSV.

La tercera etapa, dedicada a la detección y cuantificación de capsulorrexis o capsulorresis, consiste en detectar el contorno de las células de la lente causantes de la opacificación. Para esta operación se utilizan diferentes técnicas para la detección de bordes que buscan aquellos puntos donde se produce una variación de la intensidad. En el procedimiento propuesto se aplican tanto técnicas de gradiente (por ejemplo el operador de Sobel y el operador de Prewitt) como operadores de segundo orden o laplacianos (por ejemplo, operador Canny, operador LoG-Laplacian of Gaussian). Una

vez obtenidos los contornos de las células se procede a su relleno para poder cuantificar el área ocupada por las células. Para realizar este relleno se aplican diferentes operadores morfológicos combinados con la transformada de Hough.

- 5 Finalmente, para proporcionar al especialista una cuantificación de la opacidad que pueda interpretar, se divide el área analizada en regiones concéntricas y se calcula el porcentaje de ocupación de la superficie.

Resumiendo, la presente invención se refiere por tanto a un procedimiento para
10 cuantificar el grado de opacidad de una lente intraocular a partir de una imagen de la cápsula posterior, analizando la superficie ocupada por células que hayan crecido sobre una lente intraocular.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

- 15 FIGURA 1: Diagrama de flujo del procedimiento de la invención. Representa las etapas del procedimiento para mostrar los resultados de la cuantificación de la opacificación de la cápsula posterior ante una entrada de datos.

FIGURA 2: Diagrama de flujo de la etapa correspondiente al cálculo del contorno de la
20 lente intraocular.

FIGURA 3: Diagrama de flujo de la etapa correspondiente a la detección de artefactos indeseados.

- 25 FIGURA 4: Diagrama de flujo de la etapa de detección y cuantificación, capsulorrexis que calcula los píxeles de la imagen que pertenecen a la zona afectada de la cápsula posterior donde se encuentra la lente intraocular.

EXPOSICIÓN DETALLADA DE MODOS DE REALIZACIÓN

- 30 La invención hace referencia a un procedimiento que obtiene el porcentaje de opacificación de la cápsula posterior a partir de la combinación de diferentes técnicas de procesamiento de imágenes sobre una muestra. Esta muestra se referencia como una imagen proporcionada por una cámara digital de aumento donde debe aparecer el fondo de ojo con la lente intraocular situada en la cápsula posterior del ojo.

35

Como se ha dicho anteriormente, el procedimiento propuesto está formado por tres etapas principales, recibe la imagen a analizar y genera el porcentaje de superficie ocupada distribuido por sectores.

- 5 La primera etapa utilizada tiene como objetivo el cálculo del contorno de la lente intraocular 1 automáticamente. Para ello, a partir de la imagen original 100 se obtiene otra imagen con la transformación en escala de grises 4 de la original. A continuación se realiza una umbralización mediante Otsu 5 y se aplica el detector de bordes de Sobel 6, con el que se obtiene una imagen binaria. A esta imagen binaria se le aplica la transformada de Hough 7 para circunferencias. Para disminuir el coste computacional de esta transformada, se utiliza la transformada rápida de Hough para circunferencias. A la transformada de Hough se le indica la mínima distancia entre circunferencias para que se consideren diferentes, los radios entre los que queremos que se realice la búsqueda, entre otros. Se utiliza un sistema de votación y de todas las circunferencias que se obtienen mediante esta transformada, se obtiene aquella que más votos ha obtenido. Con este cálculo se crea una máscara que permite obviar cálculos en áreas que no pertenecen a la zona a analizar, la zona donde se encuentra la lente intraocular, obteniendo una imagen con el contorno de la lente intraocular definido 101.
- 10
- 15
- 20 Después de acotar el área de trabajo, se procede a la segunda etapa con la detección de artefactos indeseados 2 procedentes de la captura de la imagen (por ejemplo, brillos como consecuencia del uso del flash). Debido a la forma de obtener las muestras, es posible encontrar áreas de la imagen con determinados brillos que se consideran un artefacto indeseado y que obstaculiza el cálculo final. Para detectar los píxeles referentes a dichas zonas se lleva a cabo una etapa para detección de artefactos indeseados 2 y para ello se combinan tres técnicas: dos transformaciones y una umbralización. En primer lugar se realizan dos transformaciones a la imagen original 100: transformación en escala de grises 8 y transformación al modelo de color HSV 9. Con la transformación en escala de grises 8 se aplica una umbralización según el método de Otsu 10 para obtener un umbral que determina cuándo los píxeles se consideran pertenecientes a áreas de artefactos indeseados y cuándo no. Con la transformación al modelo de color HSV 9 se aplica una umbralización según el método de Otsu con la componente H 11 por una parte, y se realiza una umbralización mediante la combinación 12 de las componentes S y V. Tras la obtención de estos tres resultados parciales correspondientes a imágenes binarias, se aplica una ponderación 13 sobre cada una, en función de la precisión de
- 25
- 30
- 35

cada técnica, para obtener como resultado otra imagen binaria con artefactos detectados 102, donde se refleja el conjunto de píxeles que pertenecen al área de flash.

La tercera etapa que se realiza es la detección y cuantificación de capsulorrexis 3. En
5 este paso se aplica de nuevo una umbralización según el método de Otsu 14, pero
teniendo en cuenta el cálculo anterior de los píxeles que pertenecen a áreas donde
aparecen artefactos indeseados. De esta forma, el nuevo umbral calculado se utiliza para
la aplicación de diferentes métodos de detección de bordes. Entre los métodos utilizados
10 para este fin se encuentran el método de Canny 15, el cálculo de la Laplaciana sobre la
Gaussiana 16, el método de Sobel 17, el método de Prewitt 18 y la aplicación del filtro
Gaussiano isotrópico 19. Una vez se han detectado dichos bordes y se han obtenido las
imágenes binarias correspondientes como resultados parciales, se realiza una
ponderación 20 dependiendo de la precisión de cada gradiente, y cada pixel será
15 considerado borde si supera un determinado porcentaje en la ponderación. Así, se
obtendrá como resultado una imagen binaria donde se resaltan los contornos de las
células que provocan opacificación. Después, tras obtener la imagen binaria con los
bordes detectados, se aplican operadores morfológicos 21 para definir las células.
Primero se aplica la operación de cierre y, posteriormente, la operación de dilatación para
rellenar células pequeñas (pequeños agujeros y bahías). Por otra parte, se aplica de
20 nuevo la transformada de Hough 22 teniendo en cuenta los píxeles que no pertenecen a
artefactos indeseados. En este caso, la transformada de Hough calcula aquellas
circunferencias que superan un determinado porcentaje de probabilidad de ser
circunferencia. Se determina un rango de radios pequeños para la detección de las
circunferencias en relación al tamaño de la imagen. El objetivo de aplicar esta
25 transformada es la combinación 23 del resultado obtenido por dicha transformada con el
resultado obtenido al aplicar los operadores morfológicos, y así aquellos píxeles,
marcados en la dilatación como zona afectada, que no queden dentro de ninguna
circunferencia serán descartados como parte de la zona afectada.

30 La última etapa es calcular el porcentaje del área afectada 25. Para ello, teniendo en
cuenta el contorno de la lente intraocular calculado al principio, que determina la
localización de la misma, se realiza una división en circunferencias concéntricas de esa
área 24. Para cada una de las áreas calculadas, se realiza una cuantificación de los
píxeles detectados como parte de la opacificación y se establece una relación entre
35 éstos y el total de todos los píxeles que forman el área para obtener el porcentaje de
opacidad final 103.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de cuantificación de la opacidad ocular de una lente intraocular, comprendiendo el procedimiento:
- 5 - recibir una imagen a analizar (100);
- generar un porcentaje de superficie ocupada (25) distribuido por sectores;
- analizar la superficie ocupada por células que hayan crecido sobre la lente intraocular, **caracterizado por que** comprende:
- 10 - un cálculo del contorno de la lente intraocular (1) que comprende una transformada de Hough para circunferencias;
- una detección de artefactos indeseados (2) procedentes de una captura de imagen;
- una detección y cuantificación de capsulorresis (3);
- generar un grado de opacidad (103) de la lente intraocular.
- 15 2. Procedimiento de cuantificación de la opacidad ocular de una lente intraocular según la reivindicación 1, donde el cálculo del contorno de la lente intraocular (1) comprende:
- una transformación en escala de grises (4) de la imagen a analizar (100) para obtener una imagen en escala de grises;
- una umbralización mediante Otsu (5) de la imagen en escala de grises para obtener
- 20 una imagen umbralizada;
- una detección de bordes de Sobel (6) de la imagen umbralizada para obtener una imagen binaria;
- una transformada rápida de Hough (7) para circunferencias de la imagen binaria.
- 25 3. Procedimiento de cuantificación de la opacidad ocular de una lente intraocular según la reivindicación 1, donde la detección de artefactos indeseados (2) comprende:
- una transformación en escala de grises (8) de la imagen a analizar (100) para obtener una imagen en escala de grises;
- una umbralización con método de Otsu (10) de la imagen en escala de grises para
- 30 obtener un umbral que determina cuándo se consideran píxeles pertenecientes a áreas de artefactos indeseados y cuándo no;
- una transformación a un modelo de color HSV (9) de la imagen a analizar (100) para obtener componentes H, S y V;
- una umbralización con método de Otsu (11) de la componente H;
- 35 - una umbralización mediante combinación (12) de las componentes S y V;

- una ponderación (13) de las tres umbralizaciones (10, 11, 12) para generar una imagen binaria con artefactos detectados (102).

5 4. Procedimiento de cuantificación de la opacidad ocular de una lente intraocular según la reivindicación 3, donde la detección y cuantificación de capsulorresis (3) se lleva a cabo mediante técnicas de detección de bordes de células que buscan puntos de variación de intensidad y técnicas de relleno para poder cuantificar el área ocupada por las células.

10 5. Procedimiento de cuantificación de la opacidad ocular de una lente intraocular según la reivindicación 4, donde la detección y cuantificación de capsulorresis (3) comprende:

- una umbralización con el método de Otsu (14) a partir de la imagen a analizar (100) y de la imagen binaria con artefactos detectados (102);

15 - una detección de bordes a partir del umbral generado en la umbralización con el método de Otsu (14), comprendiendo la detección de bordes:

un método de Canny (15);

un cálculo de la Laplaciana sobre la Gaussiana (16);

un método de Sobel (17);

un método de Prewitt (18);

20 una aplicación de un filtro Gaussiano isotrópico (19);

- una ponderación (20) de las detecciones de borde (15-19) para obtener una imagen binaria con los bordes detectados;

- una aplicación de operadores morfológicos (21) a la imagen binaria con los bordes detectados para definir células;

25 - una transformada de Hough (22) a partir del umbral generado en la umbralización con el método de Otsu (14), teniendo en cuenta píxeles que no pertenecen a artefactos indeseados;

- una combinación (23) de un resultado obtenido por la transformada de Hough (22) con un resultado obtenido de la aplicación de operadores morfológicos (21) para generar

30 un cálculo final de porcentaje de área afectada (25).

6. Procedimiento de cuantificación de la opacidad ocular de una lente intraocular según la reivindicación 5, donde la aplicación de operadores morfológicos (21) comprende: una operación de cierre seguida de una operación de dilatación para rellenar células
35 pequeñas.

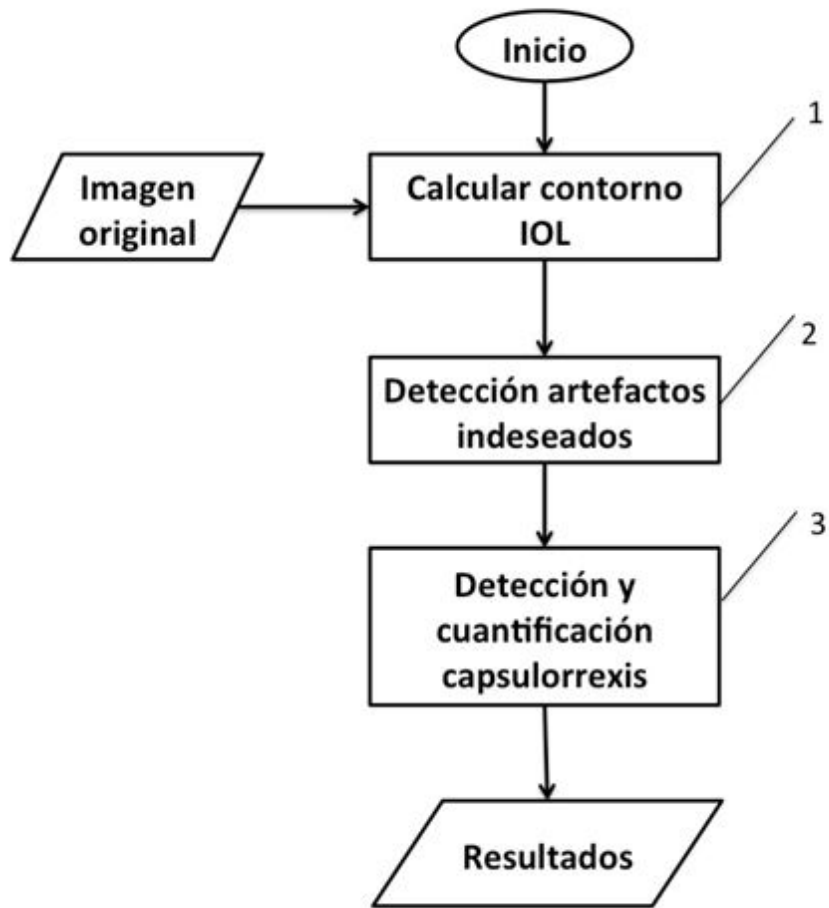


FIGURA 1

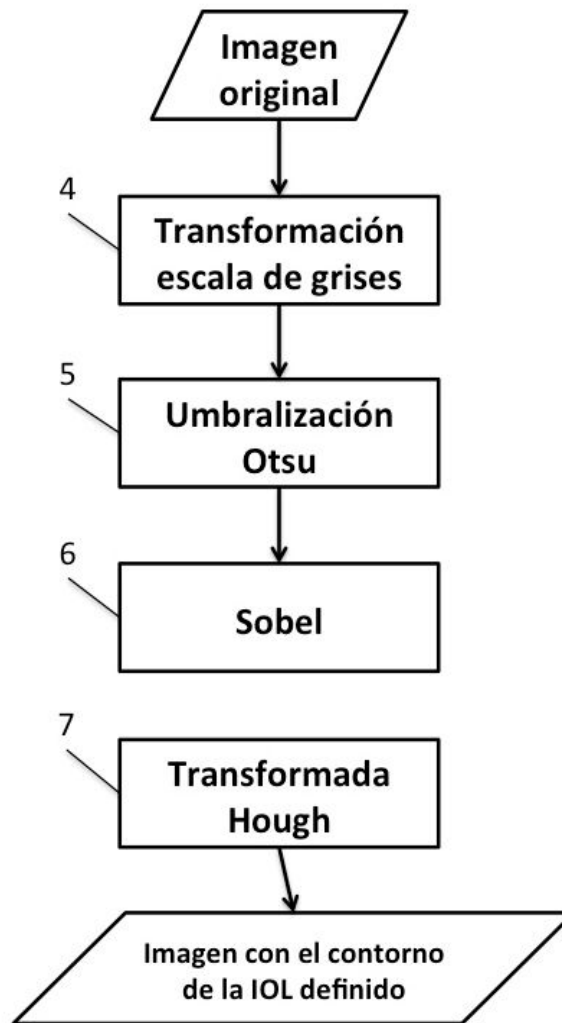


FIGURA 2

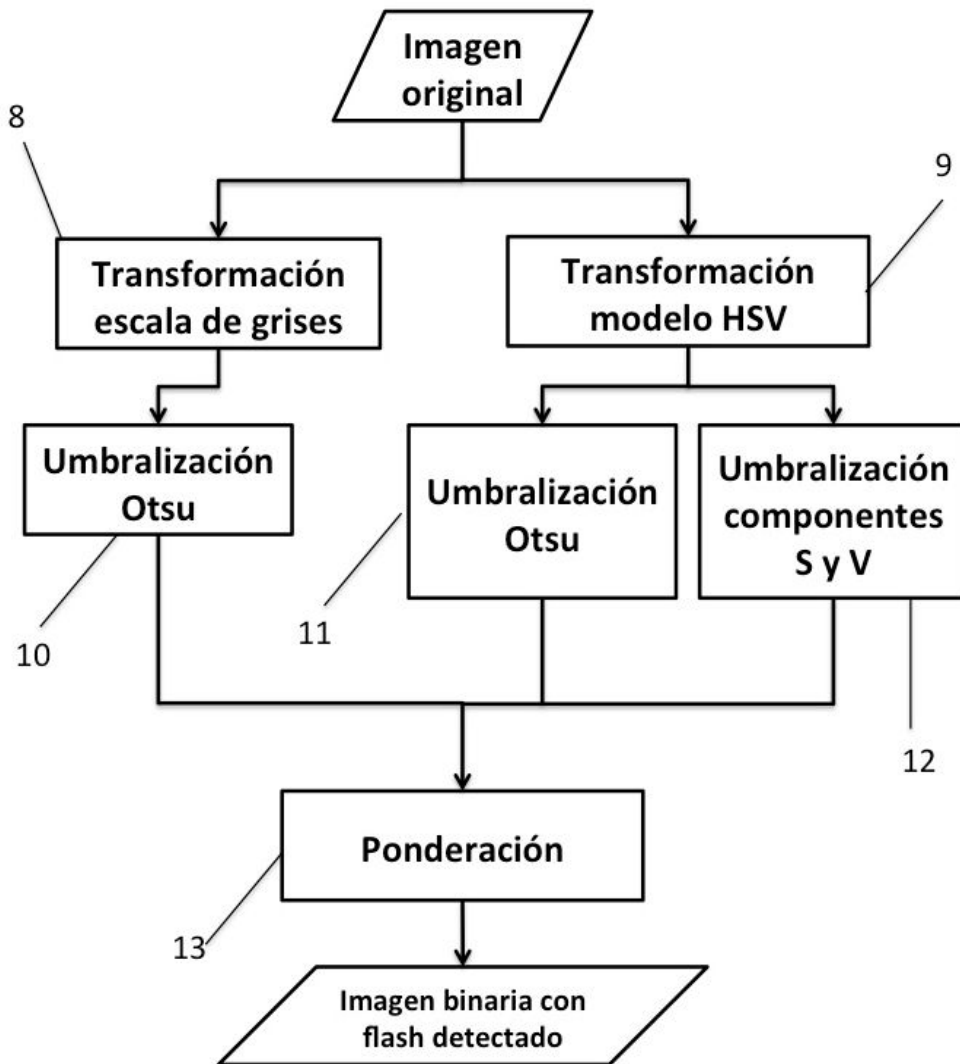


FIGURA 3

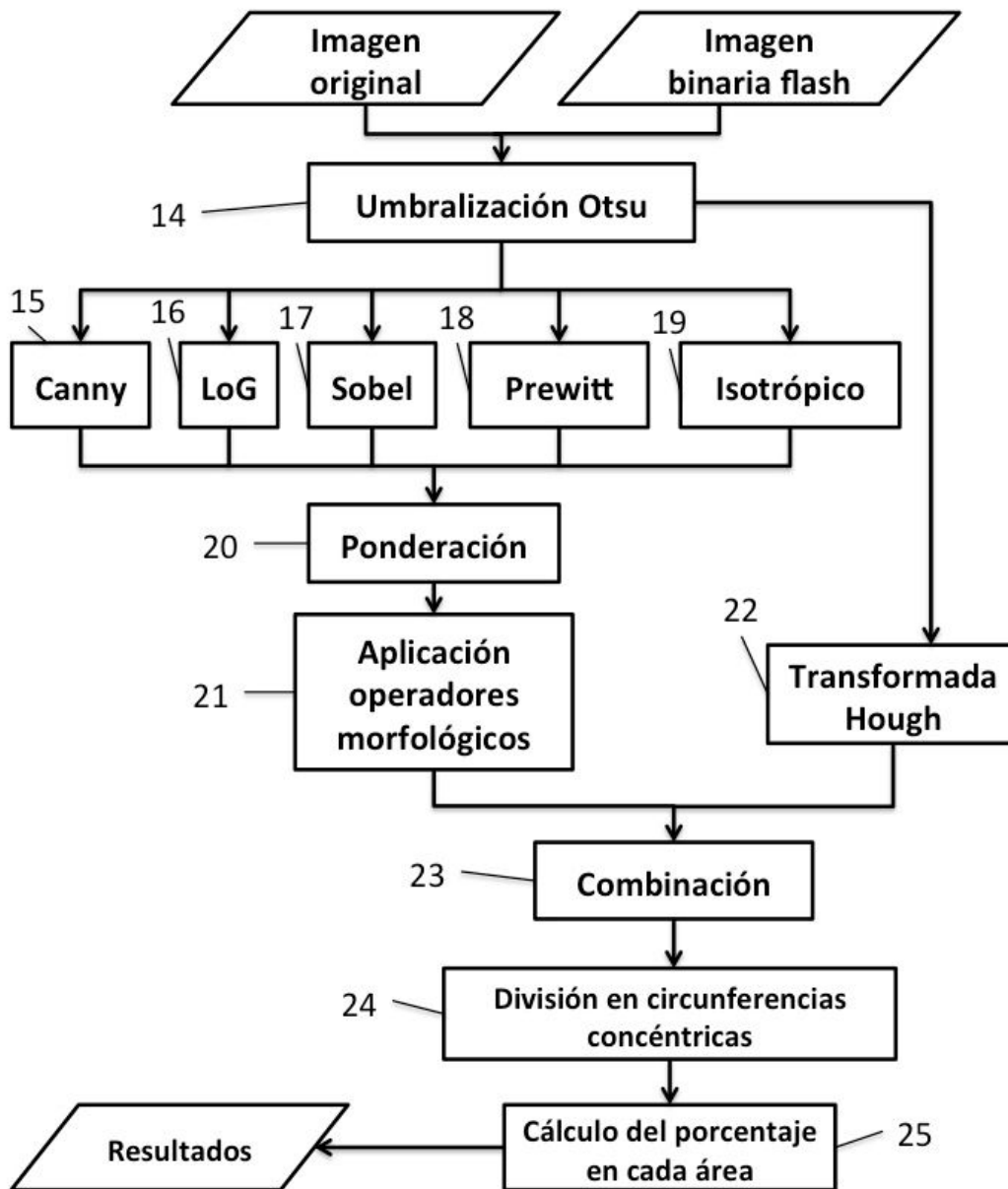


FIGURA 4