



Escuela Superior
de Ingenieros

Universidad de Sevilla

Escuela Superior de Ingenieros

Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones

PROYECTO FIN DE CARRERA

Cálculo de la relación excavación-disco
para el diagnóstico precoz de Glaucoma.

Realizado por: Manuel Mestre Moreno
Titulación: Ingeniero de Telecomunicación
Tutora del Proyecto: Irene Fondón García
Octubre, 2012

Agradecimientos

Quisiera aprovechar esta oportunidad para agradecer a todas esas personas que me han apoyado tanto durante este tiempo.

En primer lugar, y como no podía ser de otra forma, agradecer a mis padres todo su apoyo, tanto en los momentos malos como en los menos malos, donde nunca me han fallado, además de darme la oportunidad de estudiar en España y Brasil, con todo el esfuerzo que eso ha supuesto. Son y serán siempre mis alas para volar.

Pero no hay motor sin carburante como no hay alas sin viento, y ellas son lo que me han empujado en todo momento, mis hermanas Alba y Rocío. Me han abierto los ojos cuando el camino no era recto, un camino que no siempre ha sido fácil, sin embargo su incondicional fe en mí ha estado siempre muy por encima de cualquier traba que haya encontrado.

Además, quisiera agradecer a Irene, mi tutora, por ofrecerme este proyecto que me permite culminar la carrera compaginada con la transición al mundo laboral, etapa de mi vida, en la que estoy afrontando nuevos retos. Su entrega, ilusión y su forma tan positiva de ver las cosas han sido la causante de todo lo bueno que haya surgido de él.

Por último, pero no por ello menos importante, a mis amigos y por supuesto a mi novia, cuyo amor y amistad me han arropado y comprendido en todo momento. Cada alegría que fue compartida, cada lágrima que fue secada y cada esfuerzo, fue recompensado con todo el amor que supo darme, por eso estaré eternamente agradecido pase lo que pase.

Gracias a todos.

ÍNDICE DE FIGURAS. - 5 -

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN. - 7 -

- 1.- CONTEXTO. - 7 -
- 2.- OBJETIVOS. - 8 -
- 3.- ESTRUCTURACIÓN DE LA MEMORIA. - 9 -

CAPÍTULO II: EL OJO HUMANO. - 10 -

- 1.- ANATOMÍA DEL OJO HUMANO. - 10 -
- 2.- ENFERMEDADES DE INTERÉS. - 12 -
 - 2.1.- RETINOPATÍA DIABÉTICA. - 12 -
 - 2.1.1.- LESIONES ASOCIADAS A LA RETINOPATÍA DIABÉTICA. - 12 -
 - 2.2.- GLAUCOMA. - 14 -
 - 2.2.1.- Tipos de glaucoma. - 15 -
 - 2.3.- DEGENERACIÓN MACULAR. - 16 -

CAPÍTULO III: DETECCIÓN DEL DISCO ÓPTICO. - 18 -

- 1.- MOTIVACIÓN. - 18 -
- 2.- ESTADO DEL ARTE. - 18 -
- 3.- ALGORITMO DE SEGMENTACIÓN DEL DISCO ÓPTICO. - 22 -
 - 3.1.- FASE I: OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN DE LA IMAGEN Y CENTRO DEL DISCO ÓPTICO - 23 -
 - 3.2.- FASE II: DETECCIÓN DE LOS VASOS SANGUÍNEOS MEDIANTE LA FUNCIÓN MENDONÇA Y POSTERIOR ELIMINACIÓN. - 27 -
 - 3.2.1.- Detección de los vasos sanguíneos mediante la función Mendonça. - 27 -
 - 3.2.2.- Mejora de los resultados obtenidos. - 29 -
 - 3.2.3.- Eliminación de los vasos sanguíneos. - 30 -
 - 3.3.- FASE III: CONSTRUCCIÓN DEL CONTORNO DEL DISCO ÓPTICO. - 31 -
 - 3.3.1.- Recolección de los puntos candidatos. - 31 -
 - 3.3.2.- Filtrado y reposicionamiento de los puntos de contorno atípicos. - 32 -
 - 3.3.3.- Obtención del contorno del disco mediante contornos activos. - 32 -
 - 3.3.4.- Dinamización de las variables necesarias para la obtención del contorno. - 34 -

CAPÍTULO IV: DETECCIÓN DE LA EXCAVACIÓN - 36 -

- 1.- MOTIVACIÓN. - 36 -
- 2.- ESTADO DEL ARTE. - 36 -
- 3.- ALGORITMO DE SEGMENTACIÓN DEL EXCAVACIÓN. - 37 -
 - 3.1.- FASE I: MÁSCARA DE LA APROXIMACIÓN CIRCULAR DEL DISCO ÓPTICO Y ELIMINACIÓN DE FALSOS CONTORNOS. - 38 -
 - 3.2.- FASE II: CONSTRUCCIÓN DEL CONTORNO DE LA EXCAVACIÓN. - 38 -
 - 3.2.1.- Distancia de color CIE 94. - 38 -

3.2.2.- Aproximación a una elipse.	- 40 -
3.2.3.- Relación de aspecto disco-excavación.	- 41 -
<u>CAPÍTULO V: RESULTADOS.</u>	- 42 -
1.- RESULTADOS DE LA DETECCIÓN DEL DISCO ÓPTICO Y EXCAVACIÓN.	- 42 -
2.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.	- 93 -
<u>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.</u>	- 99 -
1.- CONCLUSIONES.	- 99 -
2.- LÍNEAS FUTURAS.	- 99 -
<u>CAPÍTULO VII: BIBLIOGRAFÍA.</u>	- 100 -
REFERENCIAS EN INTERNET.	- 101 -

ÍNDICE DE FIGURAS.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

-7-

Figura 1.1: Espacio de color CIE L*a*b*.

CAPÍTULO II: EL OJO HUMANO.

-10-

Figura 2.1: Diagrama del ojo.

Figura 2.2: Retinografía que muestra la fovea, la mácula y el disco óptico.

Figura 2.3: Retinografía con signo de diabetes.

Figura 2.4: Retinopatía diabética en el caso: **(a)** RDNP. **(b)** RDP.

Figura 2.5: Imagen vista por una persona con glaucoma.

Figura 2.6: Diferentes relaciones disco-excavación.

Figura 2.7: Imagen vista por una persona con degeneración macular

CAPÍTULO III: DETECCIÓN DEL DISCO ÓPTICO.

-18-

Figura 3.1: Resultados de la transformada de Hough.

Figura 3.2: Orientación de los vasos sanguíneos de la retina.

Figura 3.3: **(a)** Imagen original. **(b)** Imagen sin red de vasos. **(c)** Zoom de b. **(d)** Resultado tras 20 iteraciones. **(e)** Resultado tras 100 iteraciones.

Figura 3.4: Diagrama del algoritmo propuesto para detectar el disco óptico.

Figura 3.5: Diferentes planos de color en escala de grises. Caso correcto.

Figura 3.6: Diferentes planos de color en escala de grises. Caso incorrecto.

Figura 3.7: **(a)** Imagen en escala de grises. **(b)** Promedio de la varianza.

Figura 3.8: **(a)** Imagen difuminada a partir de 15.a. **(b)** Histograma de la imagen difuminada con el umbral elegido para obtener la máscara. **(c)** Máscara binaria para acotar la búsqueda del centro. **(d)** Máscara binaria de falso centro.

Figura 3.9: Centro del disco óptico.

Figura 3.10: Diagrama de flujo del algoritmo.

Figura 3.11: Normalización del fondo de imagen.

Figura 3.12: Candidatos verticales y horizontales.

Figura 3.13: Normalización del fondo de imagen.

Figura 3.14: **(a)** Detección de los vasos sanguíneos mediante la función Mendonça del plano L. **(b)** Red de vasos final suma de **(a)** y del resultado de Mendonça del plano L equalizado.

Figura 3.15: Puntos candidatos del disco óptico.

Figura 3.16: **(a)** Inicialización de la Snake. **(b)** Progreso de la Snake hasta alcanzar el borde.

Figura 3.17: **(a)** Resultado del promedio de la varianza. **(b)** Máscara binaria con umbral del 22%.

Figura 3.18: **(a)** Resultado con correcto número de iteración Snake. **(b)** Resultado con incorrecto número de iteraciones.

Figura 4.1: (a) Excavación visible. (b) Excavación oculta por vasos sanguíneos.

Figura 4.2: Esquema de la segmentación de la excavación.

Figura 4.3: Máscara binaria del DO obtenido en la figura 3.30.a.

Figura 4.4: Recorte obtenido al aplicar la máscara binaria.

Figura 4.5: Distribución de color de la excavación.

Figura 4.6: (a) Disco óptico. (b) Píxeles etiquetados como los vasos sanguíneos. (c) Píxeles etiquetados como fondo de OD naranja oscuro. (d) Píxeles etiquetados como fondo del disco óptico naranja brillante. (e) Excavación segmentada.

Figura 4.7: Contorno aproximado de la excavación.

Figura 4.8: Resultado final de la segmentación del disco óptico y la excavación.

Figura 5.1: Relación de aspecto disco – excavación (K=1, J=2).

Figura 5.2: Relación de aspecto disco – excavación (K=2, J=2).

Figura 5.3: Relación de aspecto disco – excavación (K=3, J=2).