

**EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS BASADAS EN
PATRONES DEL IRIS HUMANO**

Carlos Fernando Díaz Meza

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGIENERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

Bucaramanga, Enero 2008

**EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS BASADAS EN
PATRONES DEL IRIS HUMANO**

Carlos Fernando Díaz Meza

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico

Director:

Dr. Yezid Torres Moreno

Co-director:

MI(c).Ing. Omar Javier Tíjaro Rojas

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGIENERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

Bucaramanga, Enero 2008

DEDICATORIA

A Dios, ente universal y máxima expresión de la ciencia

A mi madre Graciela y a mi padre Alirio

A mis hermanos Cristhian y Sandra

A mi familia

A mis amigos

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios, por hacer posible este plan.

Un especial agradecimiento al director PhD. Yezid Torres Moreno y al codirector MI(c).Ing. Omar Javier Tíjaro Rojas, por su tiempo y conocimientos que hicieron factible el desarrollo del presente proyecto. Al grupo de óptica y tratamiento de señales GOTS en general por compartir sus ideas y propuestas destinadas al progreso de este trabajo.

TITULO: EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS BASADAS EN PATRONES DEL IRIS HUMANO

AUTOR: Carlos Fernando Díaz Meza

Palabras claves: *Biometría, Iris, Matlab 7.2, Extracción de características, PSR, Procesamiento digital de imágenes.*

Resumen

El presente proyecto es el primer trabajo realizado en la Universidad Industrial de Santander, basado en la biometría del iris humano a partir del procesamiento digital de imágenes oculares. Los registros gráficos a procesar fueron suministrados a través de una base de datos otorgada por la casa de ciencias y automatización china (CASIA) y posteriormente seleccionados con criterios de calidad en cuanto a iluminación y ruido.

El desarrollo del algoritmo de extracción de características biométricas se realizó en la plataforma de software Matlab 7.2 y consta de tres partes esenciales:

- **Segmentación:** Consiste en ubicar y separar tejido pigmentado del iris. Lo cual implica extraer la pupila, el contorno circular de la esclerótica y los párpados por medio de máscaras binarias, que permiten discriminar lo que es y no es información dentro de la señal bidimensional.
- **Normalización:** Es un proceso de transformación de coordenadas rectangulares a polares, el cual permite convertir la imagen segmentada de un área circular, en un nuevo registro gráfico de forma rectangular donde el iris se desenrolla en una cinta.
- **Extracción de características biométricas y codificación:** En esta etapa se filtra la imagen normalizada por medio de un kernel de Gabor-wavelet bidimensional y posteriormente se cuantifican sus cualidades a través del promedio de desviación absoluta, generando un conjunto de datos en forma de matriz con los patrones del iris. Luego, este último registro matricial se binariza mediante un umbral para crear una firma digital propia de cada usuario.

Por otra parte el presente trabajo también expone los estudios realizados con el índice de correlación PSR, cociente altura del pico a tamaño del lóbulo lateral, para evaluar la calidad de la respuesta a la secuencia digital propia del usuario, mas no con fines de clasificación de una identidad.

TRABAJO DE GRADO

FACULTAD DE DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES. PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA. DIRECTOR: Dr. YEZID TORRES MORENO

CODIRECTOR: Ing. OMAR JAVIER TÍJARO ROJAS

TITLE: FEATURE EXTRACTION BIOMETRIC BASED ON PATTERNS OF HUMAN'S IRIS

Author: Carlos Fernando Díaz Meza

Keywords: *Biometry, Iris, Matlab 7.2, Feature extraction, PSR, Digital images processing.*

SUMMARY:

The present project is the first work made in the Universidad Industrial de Santander, based on the biometry of the human's iris from the digital ocular images processing. The graphical registries to process were provided through a data base granted by the house of sciences and Chinese automatization (CASIA) and later selected with criteria of quality as far as illumination and noise.

The development of the algorithm based feature extraction biometric, was made in the platform of software Matlab 7,2 and consists of three essential parts:

- **Segmentation:** It consists of locating and separating pigmented weave of the iris. Which implies to extract the pupil, the circular contour of the esclerótica and the eyelids with binary masks, that allow to discriminate what is and is not information within the bidimensional signal.
- **Normalization:** It is a process of transformation of rectangular to polar coordinates, which allows to turn the segmented image of a circular area, in a new graphical registry of rectangular form where the iris is unrolled in a tape.
- **Feature extraction biometric and codification:** In this stage the standardized image is filtered with a kernel Gabor-wavelet 2D, and later their qualities through the average of absolute deviation are quantified, generating a data set in form of matrix with the patterns of the iris. Soon, this last matrix registry is transformed into code binary by with a threshold to create an own digital company/signature of each user.

Moreover the present work also exposes the studies made with the index of correlation PSR, quotient height of the tip to size of the lateral lobe, to evaluate the quality of the answer to the own digital sequence of the user, but not with aims to classificate an identity.

DEGREE PROJECT
FACULTY OF OF ENGINEERINGS ELECTRICAL, ELECTRONIC AND
TELECOMMUNICATIONS. PROGRAM OF ELECTRONIC ENGINEERING. DIRECTOR: Dr
YEZID TORRES MORENO
CODIRECTOR: Ing. OMAR JAVIER TÌJARO ROJAS

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	
1.1 Marco teórico	1
1.1.1 Que es la biometría	1
1.1.2 Proceso de identificación en sistemas biométricos	2
1.1.3 Proceso de verificación en sistemas biométricos	2
1.1.4 El iris	2
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA GENERAL	3
2.1 Módulo de adquisición	3
2.2 Módulo de extracción de características biométricas del iris	5
2.2 Módulo de codificación y comparación de los usuarios	6
3. TRATAMIENTO DE LA IMAGEN.	7
3.1 Plataforma del software	7
3.2 Base de datos	7
3.2.1 Calidad de la imagen	8
3.2.2 Iluminación del registro	8
3.2.3 Costos	8
3.3 Segmentación	10
3.3.1 Segmentación de la pupila	10
3.3.2 Segmentación del iris	13
3.3.3 Segmentación de los párpados	16
3.4 Normalización del iris	17
3.5 Filtrado de Gabor Wavelet 2D	19
3.6 Codificación	21
4. RESULTADOS	22
4.1 Comparación de las firmas digitales obtenidas del procesamiento de distintas imágenes de un mismo globo ocular de un usuario determinado.	28
4.2 Comparación de las firmas digitales obtenidas del procesamiento de distintas imágenes de los dos globos oculares de un personaje y de otros usuarios	35
4.3 Comparación de las firmas digitales obtenidas del procesamiento de distintas imágenes sintéticas rotadas entre -30 y 30 grados, adquiridas a partir de un único registro seleccionado.	40
4.4 Comparación de las firmas digitales obtenidas del procesamiento de imágenes sintéticas escaladas, adquiridas a partir de un único registro seleccionado.	46
4.5 Tiempo de operación.	48
5. OBSERVACIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
5.1 Observaciones y conclusiones	49
5.2 Recomendaciones	57
BIBLIOGRAFÍA	76

Índice de Figuras

Figura 1-1, Globo Ocular	2
Figura 2-1, Cámara IG-H100 producto de Irisguard Inc	4
Figura 2-2, Cámara Oki irispass H de OKI.	4
Figura 2-3, Iris normalizado.	5
Figura 3-1, Cámara NIR de CASIA.	9
Figura 3-2, CASIA V3.0-interval.	9
Figura 3-3, CASIA V3.0-lamp.	9
Figura 3-4, CASIA V3.0-twins.	9
Figura 3-5, Distribución del contraste.	10
Figura 3-6, Histograma del registro ocular.	11
Figura 3-7, Imagen binarizada.	12
Figura 3-8, Pupila segmentada.	13
Figura 3-9, Contorno del iris procesado en filtro Gaussiano.	14
Figura 3-10, Imagen procesada bajo operador Canny.	14
Figura 3-11, Región de interés extraída por la máscara binaria.	15
Figura 3-12, Contorno del iris.	15
Figura 3-13, Párpado localizado.	16
Figura 3-14, Párpado Segmentado y excluido de la región de interés.	17
Figura 3-15, Transformación de coordenadas.	18
Figura 3-16, Ecuaciones de transformación	18
Figura 3-17, Iris normalizado (1).	18
Figura 3-18, Ecuación Gabor wavelet 2D.	19
Figura 3-19, Componentes.	19
Figura 3-20, Visualización parte real de un filtro Gabor 2D a 45° .	20
Figura 3-21, Imagen filtrada a 45° , parte real.	20
Figura 3-22, Promedio de desviación absoluta.	21
Figura 3-23, Codificación de los patrones correspondientes al iris de la figura 3-2.	21
Figura 4-1, Imagen de contorno circular completo.	23
Figura 4-2, Imagen de contorno circular incompleto.	23
Figura 4-3, Imagen normalizada de la figura 4-1.	23
Figura 4-4, Imagen normalizada de la figura 4-2.	23
Figura 4-5, Visualización parte real de un filtro Gabor 2D a 45° .	24
Figura 4-6, Visualización parte real de un filtro Gabor 2D a -45° .	24
Figura 4-7, Visualización parte real de un filtro Gabor 2D a 90° .	25
Figura 4-8, Matriz de características biométricas a 45° de la figura 4-1.	25

Figura 4-9, Matriz de características biométricas a 45° de la figura 4-2.	25
Figura 4-10, Secuencia digital del usuario presentado en la figura 4-1	26
Figura 4-11, Secuencia digital del usuario presentado en la figura 4-2.	27
Figura 4-12, Correlación en 2D entre las firmas de las figuras 4-10 y 4-11.	28
Figura 4-13, Pico de correlación de la figura 4-12.	29
Figura 4-14, Área base de la correlación.	30
Figura 4-15, Correlación 2D entre firmas de dos globos oculares distintos de un mismo usuario.	35
Figura 4-16, Pico de correlación figura 4-15.	36
Figura 4-17, Correlación 2D entre firmas de dos globos oculares distintos de un diferente usuario.	36
Figura 4-18, Pico de correlación figura 4-17.	37
Figura 4-19, Imagen sintética 0 grados de la figura 3-2.	40
Figura 4-20, Imagen sintética 30 grados de la figura 3-2.	40
Figura 4-21, Imagen sintética -30 grados de la figura 3-2.	40
Figura 4-22, Correlación de una imagen sintética entre 0 y 10 grados de rotación.	41
Figura 4-23, Pico de correlación de una imagen sintética entre 0 y 10 grados de rotación.	41
Figura 4-24, Pico de correlación entre la imagen de -30 y -20 grados de rotación	42
Figura 4-25, Pico de correlación entre la imagen de -30 y -10 grados de rotación.	42
Figura 4-26 Pico de correlación entre la imagen de -30 y 20 grados de rotación.	42
Figura 4-27, Pico de correlación entre la imagen de -30 y 30 grados de rotación	42
Figura 4-28, Escala uno.	46
Figura 4-29, Escala dos.	46
Figura 4-30, Escala tres.	46
Figura 4-31, Escala cuatro.	46
Figura 4-32, Correlación entre firmas de escala uno y dos.	47
Figura 4-33, Correlación entre firmas de escala uno y tres.	47
Figura 4-34, Correlación entre firmas de escala uno y cuatro.	47
Figura 4-35, Correlación entre firmas de escala dos y cuatro.	47
Figura 5-1, Segmentación rectangular de párpados.	49
Figura 5-2, Segmentación parabólica de párpados.	49
Figura 5-3, No concentricidad del iris respecto de la pupila.	50
Figura 5-4, Periferia real no circular de la figura 5-3.	50
Figura 5-5, Imagen segmentada de la figura 5-3 concatenada con una matriz nula.	51

Figura 5-6, Imágenes. Original y ecualizada de la figura 5-3.	52
Figura 5-7, Filtrado de la señal con una máscara de Gabor 2D con orientación de 0 grados de la figura 5-6.	53
Figura 5-8, Filtrado de la señal con una máscara Gabor 2D con orientación de 45 grados de la figura 5-6.	53
Figura 5-9, Filtrado de la señal con una máscara Gabor 2D con orientación de -45 grados de la figura 5-6.	54
Figura 5-10, Filtrado al doble de frecuencia de la figura 5-6.	54

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla A-1. Índice PSR para globo ocular 1	31
Tabla A-2. Índice PSR para globo ocular 2	32
Tabla A-3. Índice PSR para globo ocular 3	32
Tabla A-4. Índice PSR para globo ocular 4	33
Tabla A-5. Índice PSR para globo ocular 5	33
Tabla A-6. Índice PSR para globo ocular 6	34
Tabla B-1. PSR de distintas firmas digitales [parte 1]	38
Tabla B-1. PSR de distintas firmas digitales [parte 2]	39
Tabla C-1. Índice PSR de firmas digitales rotadas.	44
Tabla C-2. Posición del pico de correlación y cuantificación de su traslación.	45
Tabla D-1 Índice PSR de códigos digitales de un mismo globo ocular escalado en una imagen sintética.	48

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Diversos eventos en el proceso de segmentación

Anexo B. Código de programación del sistema de extracción de características biométricas basadas en patrones del iris humano.

Anexo C. Código de programación del PSR.

Anexo D. Transformada de Hough.

Capítulo 1

Introducción

Diariamente, el ser humano promedio identifica su entorno a través de formas, texturas, colores y diversos patrones que le ayudan no solo a orientarse, si no a ubicarse como sujeto dentro de un determinado tiempo, espacio, grupo y sociedad.

Este ejercicio de reconocimiento general, lo realiza el hombre como individuo constante e inconscientemente, en los personajes que frecuentan su ambiente por medio de la métrica de los rasgos biológicos que perciben sus sentidos. Esto le permite dimensionar su forma como ser vivo, identificar su familia, amigos, competidores y ser distinguido como un ser único e irreplicable por medio de sus características físicas. Sin embargo, su fisonomía, geometría de la mano, huella dactilar, retina e iris, también son consideradas estructuras anatómicas que proporcionan señales con cualidades únicas y particulares, óptimas para una clasificación.

La investigación e implementación de procesos para la identificación se hacen necesarios en un factor social tan importante como lo es la seguridad. La prioridad actual de mantener la confianza, orden y organización colectiva en aeropuertos, terminales, laboratorios, bancos entre otros sitios, provoca que las autoridades no escatimen esfuerzos y se preocupen por reconocer en el menor tiempo posible, sujetos que puedan amenazar la tranquilidad del entorno. Por ello, la biometría ha ganado un amplio terreno en sus aplicaciones de verificación y reconocimiento ya que son rápidas, no traumáticas y de una elevada tasa inequívoca en sus resultados.

El iris es un tejido pigmentado que posee la misma dinámica del ojo, se encuentra siempre visible desde el exterior y tiene patrones particulares como estrías, surcos, anillos y texturas. Aporta un potencial en la verificación biométrica debido a que no cambia a lo largo de la vida, los datos que suministra pueden ser capturados por métodos no invasivos como es el registro de una imagen, proporciona más de 240 grados de libertad en la información y su intento de falsificación es demasiado perjudicial para la visión además de ser un procedimiento costoso[4].

Sistemas de clasificación de identidad basados en características del iris humano se encuentran funcionando en sitios como el *Bank of America*, departamento de inmigración en *United Arab Emirates*, refugios de la alta comisión de las Naciones Unidas (Pakistán), en el *G & D Data Processing Center of the Munich*, en el ministerio para la defensa nacional de Viena, en el

la comisión de las Naciones Unidas (Pakistán), en el *G & D Data Processing Center of the Munich*, en el ministerio para la defensa nacional de Viena, en el aeropuerto de *Schiphol* (Holanda), en líneas como *Virgin Atlantic* y *British Airways* [2].

Empresas como *LG*, *PANASONIC*, *SAGEM*, *OKI*, entre otras, se encuentran desarrollando hardware en cuanto a cámaras en tecnologías CMOS y CCD, *boards* para digitalización de *frames*, unidades de control de identificación y enrutadores y/o *switchs*, para interconectar plataformas basadas en patrones biométricos del iris en red[3].

Universidades y empresas como *University of Cambridge*, *Iridian Technologies*, *Securimetrics Inc*, *Irisguard Inc* y otras, continúan investigando y trabajando en el software encargado de procesar, extraer, codificar y comparar las características de los registros del iris descrito en la referencia [1].

El presente trabajo de grado soporta el primer eslabón en la investigación sobre la biometría del iris a partir del procesamiento digital de imágenes en la *Universidad Industrial de Santander*, por parte del grupo de óptica y tratamiento de señales (*GOTS*). Se basa únicamente en el desarrollo de un proceso de extracción de características biométricas del iris, mas no en un sistema de identificación o verificación automatizado. Sin embargo, se plantean expectativas a futuro para implementar un dispositivo completo de reconocimiento, además de proponer nuevas técnicas de adquisición y procesamiento que posiblemente permitan aumentar el rendimiento actual de las aplicaciones que explotan este tipo de propiedades.

1.1 Marco teórico

1.1.1 Qué es la biometría

La biometría es el estudio sistemático de la variabilidad de los caracteres biológicos o expresiones físicas[5], que se pueden cuantizar en medidas o en parámetros tan exactos que un desarrollo computacional los puede distinguir. Por ejemplo: la altura, el peso, los patrones de la voz, las firmas termográficas, las texturas del iris, la huella dactilar y la geometría de la mano, entre otros, son atributos que pueden ser sensados y cuantificados en un determinado valor, con el potencial de convertirse en información única relevante para un proceso electrónico o informático establecido.

1.1.2 Proceso de identificación en sistemas biométricos

La identificación o reconocimiento consiste en distinguir la identidad de un individuo en particular de la de los demás usuarios de un sistema. Este primero no declara quien es, para ello se extraen sus características biométricas y se comparan con la de los demás sujetos registrados en la base de datos de la estructura.

1.1.3 Proceso de verificación en sistemas biométricos

En un proceso de verificación el individuo declara su identidad y el sistema es el encargado de averiguar si es quien dice ser. Este último extrae las características biométricas del individuo y las compara con las almacenadas digitalmente en la base de datos de la estructura.

1.1.4 El iris

El esbozo ocular del ojo humano comienza a formarse aproximadamente en la tercera semana de la fase embrionaria y culmina en la octava. De ahí en adelante seguirá madurando su estructura hasta el noveno mes de gestación. Durante este tiempo se forma un tejido con células pigmentadas y músculos dilatadores llamado iris. Este presenta una apertura en su parte central, llamada pupila y forma las barreras entre las cámaras anterior y posterior del globo ocular, por tanto se encuentra situado entre la cornea y el cristalino [1].

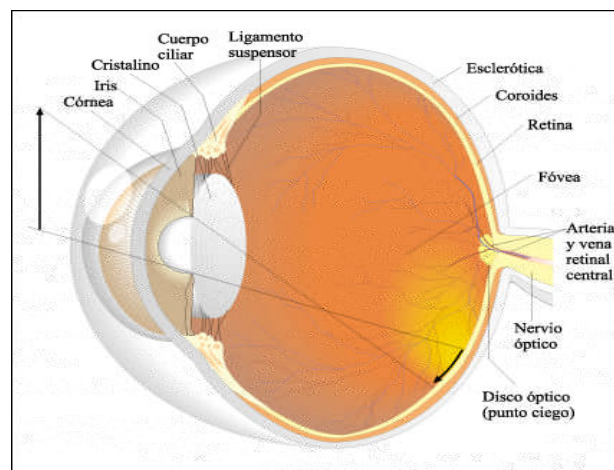


Figura 1-1. Globo Ocular

Fuente :

www.educa.aragob.es/iescarin/depart/biogeo/varios/BiologiaCurtis/Seccion%207/48-7.jpg

Capítulo 2

Descripción del sistema general

El proceso de extracción de características biométricas basadas en patrones del iris humano, es una de las etapas necesarias para la construcción de un dispositivo de identificación y verificación. Por lo general, son tres módulos que componen todo un sistema de clasificación de este estilo.

- Módulo de adquisición de las imágenes del iris.
- Módulo de extracción de características biométricas del iris.
- Módulo de codificación y comparación de los usuarios.

Sin embargo cada una de estas secciones contienen hardware y software especializado para la captura y procesamiento de los registros.

2.1 Módulo de adquisición

Esta área es la encargada de capturar de forma no invasiva los registros correspondientes a los patrones que expresa el iris. Por lo general consta de una cámara NIR de alta resolución, con fuentes de iluminación incorporadas y adecuadas que no molestan al usuario en el momento de obtener las imágenes. Se enlaza al módulo de extracción de características a través de protocolos y puertos USB 1.0, 2.0 o RS232, para un PC o un sistema embebido que sirva como plataforma para el posterior procesamiento de la información. Sin embargo, diversos estudios de investigación de universidades latinoamericanas, han montado el módulo de adquisición con cámaras CCD de mediana resolución, con una puesta en escena determinada y propicia para que el usuario pueda ser registrado.

A nivel comercial empresas como: *OKI, IRISGUARD. INC, LG, PANASONIC, BIOMETRICS. INC* entre otras, son las pioneras en la elaboración y montaje de sensores para este tipo de sistemas.

Algunos dispositivos utilizados en el mercado pueden ser apreciados en las figuras 2-1, 2-2.

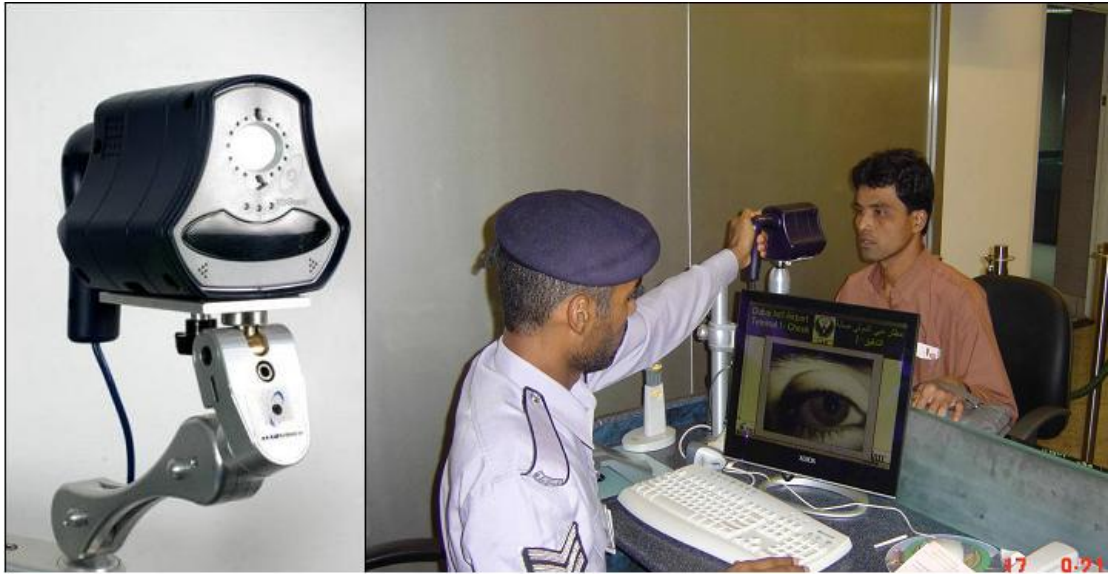


Figura 2-1 Cámara IG-H100 producto de Irisguard Inc
Fuente : Irisguard Inc, IG-H100 Iris camera Manual, September, 2005



Figura 2-2 Cámara Oki irispass H de OKI.
Fuente: www.oki.com/iris

2.2 Módulo de extracción de características biométricas del iris

Una vez se han adquirido los registros oculares del usuario, estos se trasladan al siguiente módulo con el fin de extraer las características biométricas del iris. Este procesamiento generalmente lo realiza un PC o un sistema embebido diseñado para tal fin.

En este módulo se realiza el tratamiento digital de la imagen o señal bidimensional que fue capturada. Consta de tres subdivisiones, las cuales son la temática de este trabajo de grado y se trataran con mas detalle en capítulos posteriores. Sin embargo a manera de una descripción breve, estos se clasifican en las siguientes etapas.

- Etapa de pre-procesamiento de la señal

Desde una perspectiva general se acondiciona la imagen, se segmenta el objeto de interés, en este caso el iris del resto de la región ocular, descartando la pupila y los párpados que son considerados ruido.

- Etapa de normalización

Corresponde al traslado de las coordenadas $I(x,y)$ de la imagen segmentada a un espacio $I(p, \theta)$, esto con el fin de organizar la información y facilitar el procesamiento de la siguiente sección.

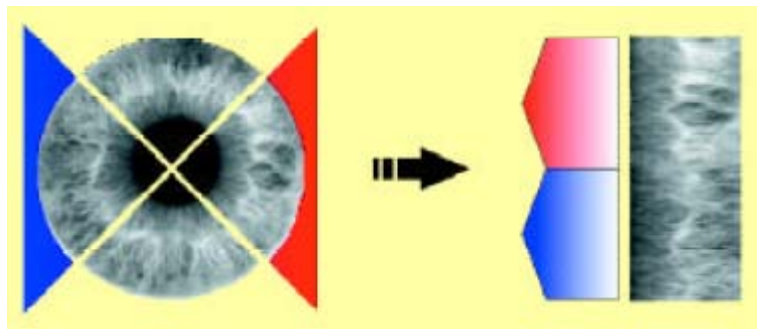


Figura 2-3 Iris normalizado
Fuente [4]

- Etapa de filtrado

Una vez normalizado el iris, la nueva imagen es procesada con filtros *Gabor* 2D, que resaltan las características linealmente independientes del usuario, dando como resultado dos registros que al ser procesados suministran la secuencia digital del iris.

2.3 Módulo de codificación y comparación de los usuarios

En esta sección se hace efectiva la cuantización de las características extraídas por medio de los filtros Gabor 2D, se asigna un código digital a la firma que proporciona el iris y se procede a buscar dicha secuencia en la base de datos de la estructura, para realizar el efectivo reconocimiento o verificación de identidad.

Estos procesos de comparación se realizan con métodos de correlación entre firmas, formulación de distancias euclidianas o distancias de hamming. Esto con el fin de determinar las diferencias o similitudes que existen entre un código y otro, además de manifestar la decisión que le permite o no el acceso del usuario al sistema.

Capítulo 3

Tratamiento de la imagen

El procesamiento digital de los registros oculares, permite cuantificar los patrones linealmente independientes del usuario. No obstante, son varias fases por las cuales debe pasar la imagen del iris, antes de obtener un resultado significativo, en cuanto a la separación y distinción de las cualidades biométricas del individuo.

El presente trabajo de grado aborda todo este desarrollo de la siguiente manera

- Plataforma de software
- Base de datos
- Segmentación
- Normalización
- Filtrado

3.1 Plataforma de software

El sistema de extracción de características biométricas, fue desarrollado bajo la plataforma MATLAB 7.2; este es un software académico de altas prestaciones, su funcionamiento basado en vectores y matrices le proporcionan la versatilidad para manejar matemática discreta y simbólica, *Simulink*, diseño de interfaces y otras aplicaciones. Su entorno de programación es sencillo y sus herramientas especializadas o *Toolboxes*, facilitan un alto desempeño en la aplicación propuesta, tal como:

- Toolbox de Procesamiento digital de imágenes

Permite realizar operaciones básicas para el procesamiento digital de registros gráficos y fundamentales para el sistema tales como segmentación, filtrado con distintas máscaras y operadores morfológicos, dilatación, apertura y cierre entre otras funciones.

3.2 Base de datos

Como se mencionó anteriormente, el módulo de extracción de características necesita de una sección anterior llamada módulo de adquisición. Sin embargo, el solo hecho de obtener un hardware especializado para la captura de las imágenes, acarrea costos en cuanto a los dispositivos y licencias de software.

Debido a esto, se realizó una selección de base de datos de registros oculares que cumpliera requisitos en cuanto a calidad, iluminación y costos.

3.2.1 Calidad de la imagen

Se considera una imagen de óptima calidad, aquel registro ocular cuyo radio del iris, posee una resolución espacial mayor o igual a 70 y menor a 125 píxeles, no debe estar sesgada por ningún reflejo de la iluminación en la región de interés, debe tener 256 niveles de grises y el objeto de importancia debe estar presente significativamente en no menos de un 50% del total de la información suministrada.

3.2.2 Iluminación del registro

Una adecuada iluminación, facilita el proceso de separación del iris del resto de la imagen, ya que distribuye de forma eficiente los niveles de grises ampliando el contraste, definiendo los bordes y por ende las formas y texturas que existen dentro del registro.

3.2.3 Costos

Realizar una base de registros oculares no es sencillo, primero se debe conseguir el dispositivo que menos moleste al sujeto sensado y luego se deben buscar las personas suficientes que tengan la disposición para ser registradas. Por todo este trabajo tanto electrónico como humano, generalmente el conjunto de imágenes agrupadas y más aún, adecuadas para el reconocimiento del iris, tienen un costo determinado.

Es por esto que la obtención de una base de datos gratuita y adecuada, es una labor algo tediosa pero no imposible, debido a que existen algunos grupos y universidades a nivel mundial, que las brindan con ciertos requerimientos y para fines de investigación.

Una vez aclarado los criterios para la base de datos a trabajar, se selecciono la categoría de imágenes correspondientes a *CASIA- iris image database V3.0 subset Interval*, otorgada por el *Instituto de Automatización de la Academia de Ciencias China (CASIA)* y capturada con una cámara tipo NIR desarrollada por ellos mismos.

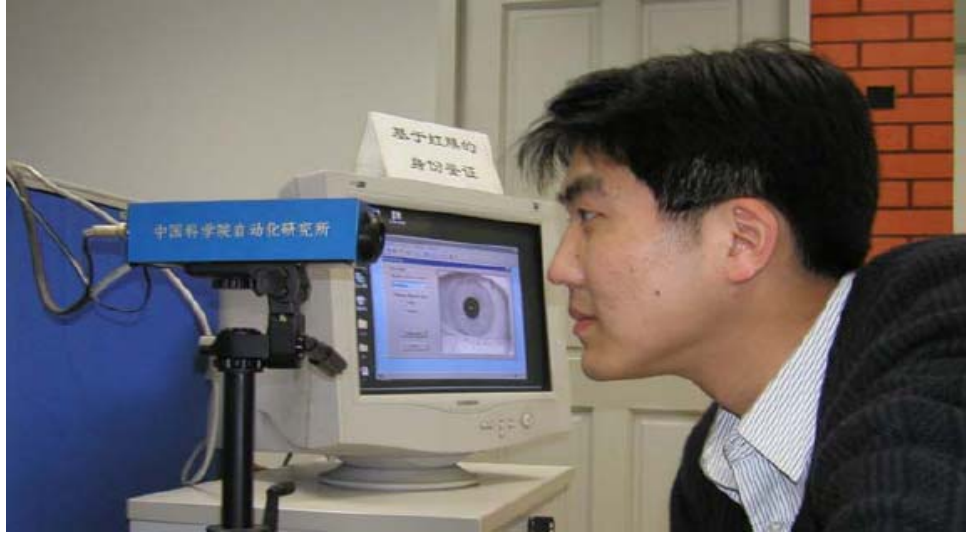


Figura 3-1 Cámara NIR de CASIA
Fuente Manual [25]

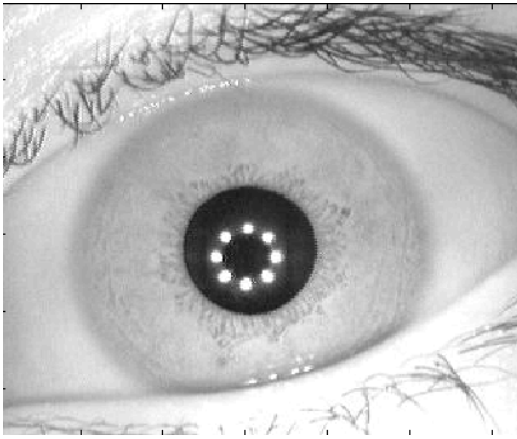


Figura 3-2 CASIA V3.0-interval
Fuente [25]



Figura 3-3 CASIA V3.0-lamp
Fuente [25]

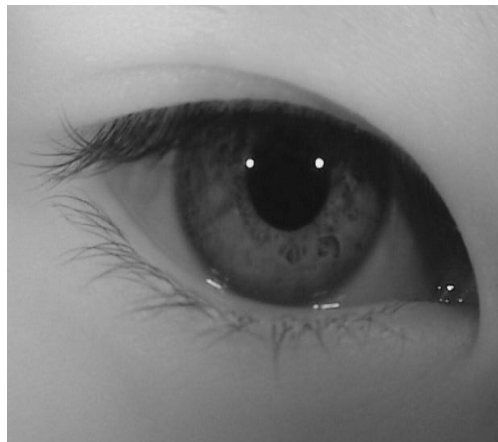


Figura 3-4 CASIA V3.0-twins
Fuente [25]

3.3 Segmentación

La segmentación es el proceso en el cual la imagen se divide en sus partes constituyentes [6]; es decir, consiste en la separación de los objetos o regiones de interés que se encuentran dentro del registro gráfico y en el respectivo posterior descarte de los elementos que no contribuyen en cuánto a información relevante o son considerados como ruido.

En este caso el área a segmentar dentro de la imagen ocular, es el tejido pigmentado llamado iris. No obstante existen diversos tratamientos preliminares, antes de lograr dicho objetivo.

3.3.1 Segmentación de la pupila

La frontera interior del iris se encuentra trazada por el contorno de la pupila. Por ello es de suma importancia descartar este último espacio ocular, no sólo por que permite describir la periferia de la región, si no por que también excluye un elemento que no brinda información y sitúa un punto de referencia central dentro de dicha área que sirve como dato para un posterior procesamiento.

El primer aspecto de la imagen ocular a procesar es su histograma. Los registros gráficos de la Base de datos *CASIA IRISV3-interval*, poseen un patrón característico de tres picos de frecuencia máxima en la distribución de su contraste.

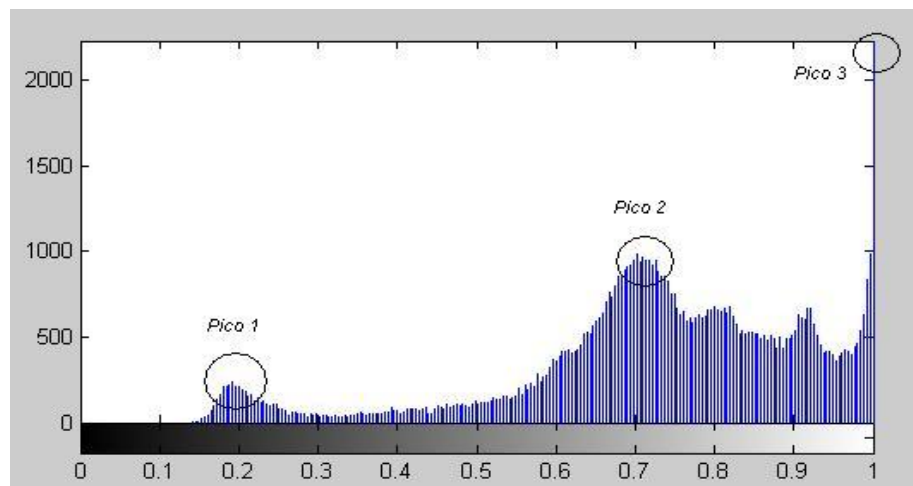


Figura 3-5 Distribución del contraste

Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

En el primer pico del histograma se encuentran las regiones oscuras, tales como cejas, pestañas, algunos surcos del tejido pigmentado y la pupila. La segunda sección corresponde a los niveles de intensidad localizados en el iris y la tercera protuberancia de la distribución del contraste, pertenece a los párpados y reflejos de la iluminación que quedan registrados.

Debido a que la pupila es una de las regiones más oscuras pero no la única, su segmentación se realiza por medio de un umbral ubicado en las vecindades inmediatas al primer pico de frecuencia máxima. Esto se realiza localizando la primera cima del histograma y estableciendo el siguiente cambio de concavidad que permite determinar el nivel de gris óptimo para la binarización.

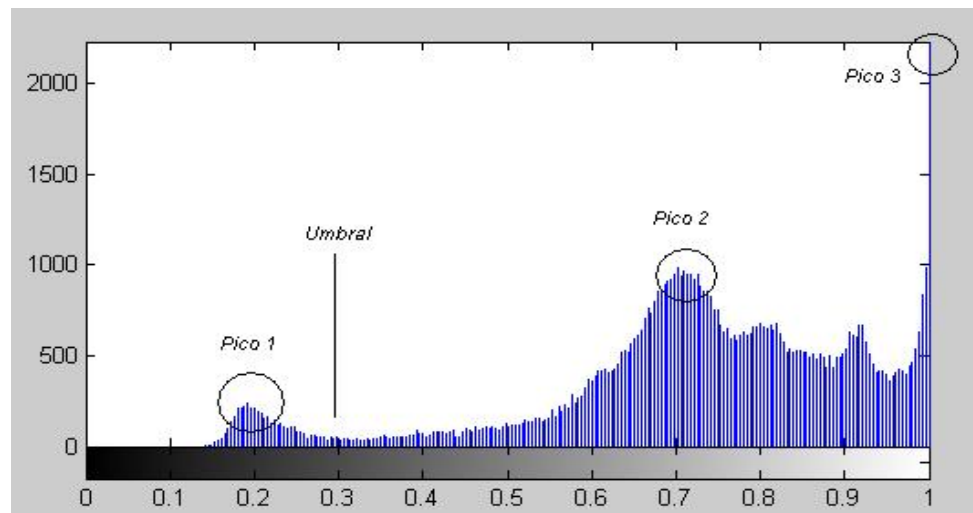


Figura 3-6 Histograma del registro ocular

Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

Como resultado de la umbralización se obtiene un registro de tipo lógico

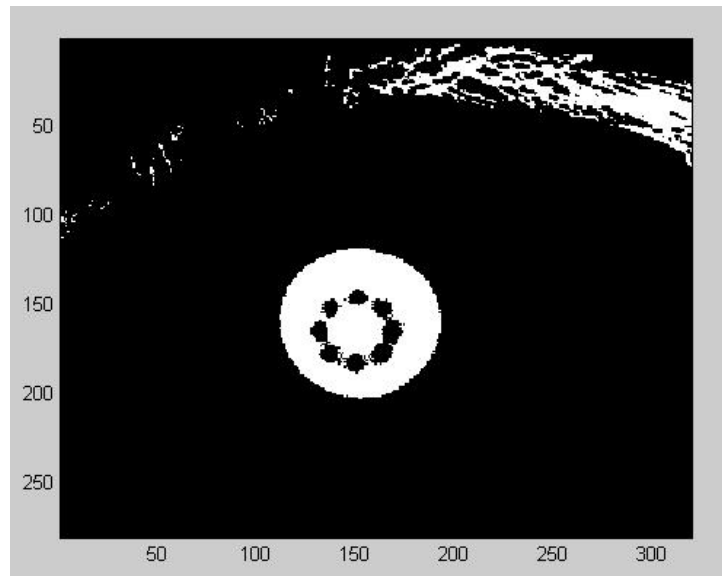


Figura 3-7 Imagen binarizada

Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

El siguiente paso es discriminar por medio de operadores morfológicos los residuos presentes en el registro que no hacen parte del área de la pupila. La distorsión de la información de la imagen, es corregida posteriormente al multiplicar un kernel de tipo binario, que realza los bordes y mantiene constante el verdadero tamaño de la región de interés.

En síntesis, para segmentar la pupila se extraen 2 máscaras binarias. La primera se obtiene a partir de la umbralización del nivel de intensidad de gris determinado según el procesamiento del histograma de la imagen. Posteriormente se elimina el ruido por medio de aperturas y operaciones de conectividad inmersas en un proceso debidamente diseñado, que además separa el objeto más grande del nuevo registro binario, el cual corresponde a la pupila.

El segundo kernel se extrae por medio de un detector de bordes, el cual delimita el contorno real de la pupila. La multiplicación entre las 2 máscaras elimina los cambios bruscos que no corresponden a los bordes del objeto de interés tales como pestañas o surcos además de suprimir el sesgo que añade el operador morfológico.

El resultado final consiste en la localización del centro y la separación de la pupila del resto de la imagen.

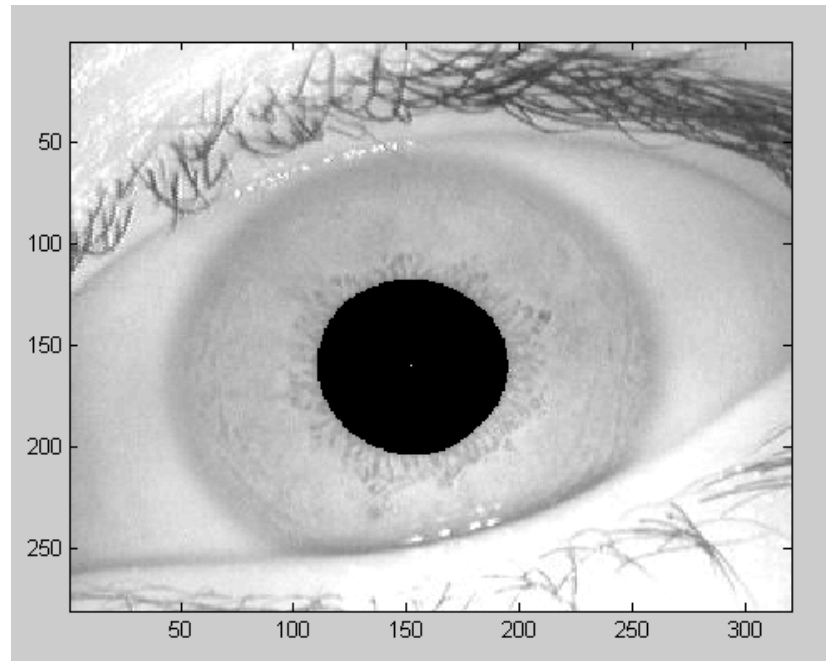


Figura 3-8 Pupila segmentada

Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

El sistema de extracción de características segmenta la pupila según el estudio referenciado en [7], sin embargo cabe resaltar, que no es el único método que realiza de una manera eficiente esta operación. Las investigaciones citadas en [8] y [9] entre otras, son un breve ejemplo de lo mencionado anteriormente.

3.3.2 Segmentación del iris

Una vez ubicado el trazo inferior del tejido pigmentado de interés, se procesa la imagen ocular con el fin de establecer la periferia superior del iris y separarlo. Esto se realiza por medio de la transformada de Hough circular, aplicada a una máscara binaria que lleva como información los bordes del registro gráfico, tal como cita uno de los estudios realizados en [14].

A partir del centroide de la pupila, el sistema itera hasta encontrar el contorno marcado por las fronteras entre la esclerótica y el iris, determinando el radio y verdadero centro del círculo definido por estos límites para formar una máscara y apartar el área objetivo.

En síntesis, la imagen con la pupila segmentada es procesada por una serie de filtros gaussianos y un operador tipo Canny, con el fin de resaltar el contorno del registro gráfico y facilitar la tarea de la transformada de Hough (representada en el anexo D), la cual genera una área circular de tipo binario del mismo tamaño que funciona como una máscara para la imagen original.

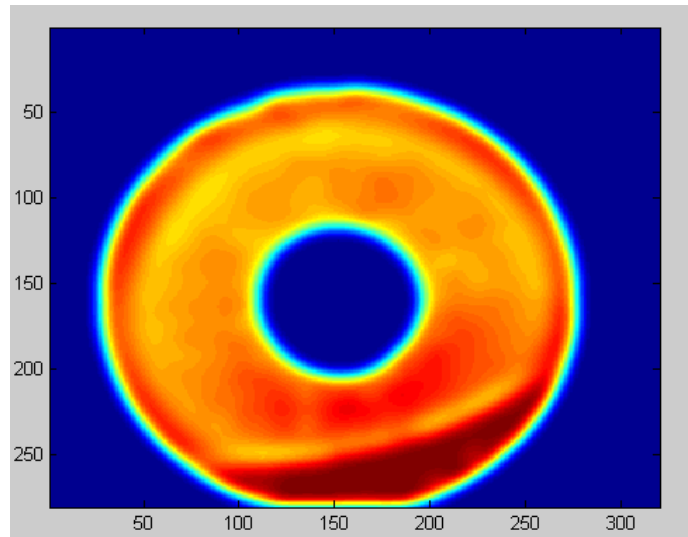


Figura 3-9 Contorno del iris procesado en filtro Gaussiano.
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

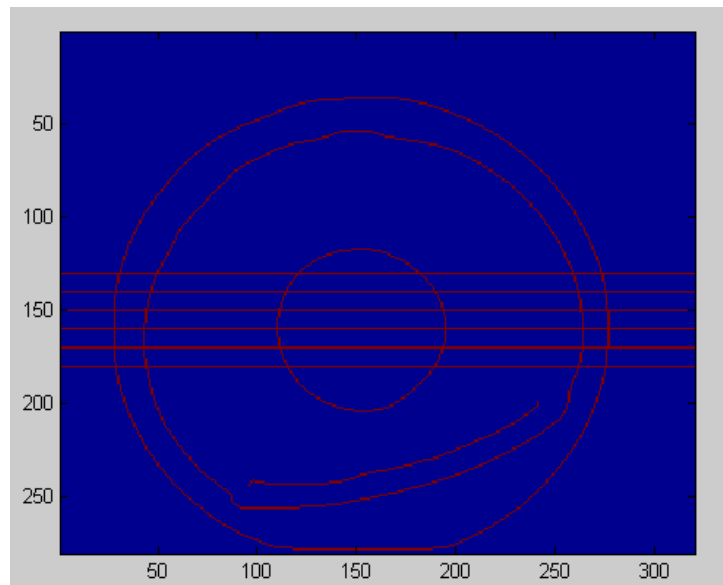


Figura 3-10 Imagen procesada bajo operador Canny
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

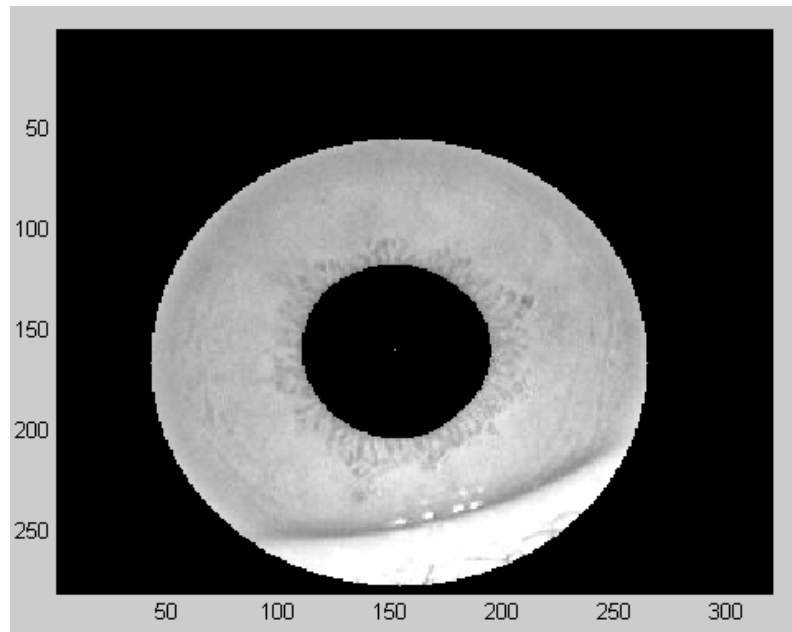


Figura 3-11 Región de interés extraída por la máscara binaria
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

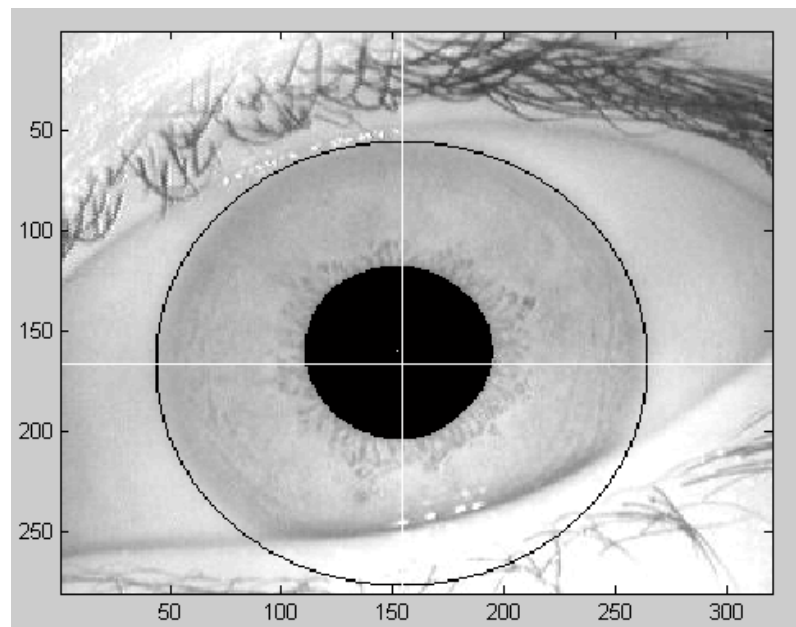


Figura 3-12 Contorno del iris.
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

Cabe destacar que los óptimos resultados del proceso de segmentación, están ligados a imágenes de buena calidad y aquellos registros gráficos que no poseen una elevada tasa de ruido como pestañas o párpados, que se encuentren a menos de 40 píxeles del borde de la pupila, lo cual garantiza también, que exista la suficiente información para la extracción de características biométricas.

3.3.3 Segmentación de los párpados

Aunque se haya segmentado la región circular que ocupa el iris, esto no quiere decir que este lista la información para el procesamiento siguiente, ya que pueden existir párpados dentro de la circunferencia haciendo que se diezmen los datos de interés y deban ser ignorados. Por ello es de suma importancia sensarlos y excluirlos de la nueva imagen apreciada en la figura 3-11.

Este procedimiento se realiza por medio de detectores de bordes tipo Canny, localizando los puntos que forman el trazo de los párpados y aproximando estos contornos a una parábola, la cual es determinada por los píxeles sensados con anterioridad.

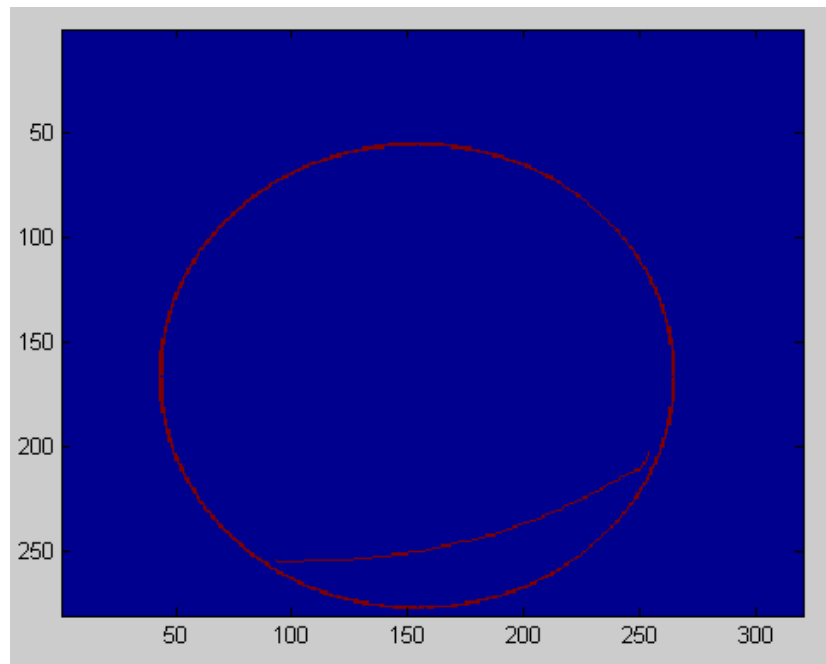


Figura 3-13 Párpado localizado

Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

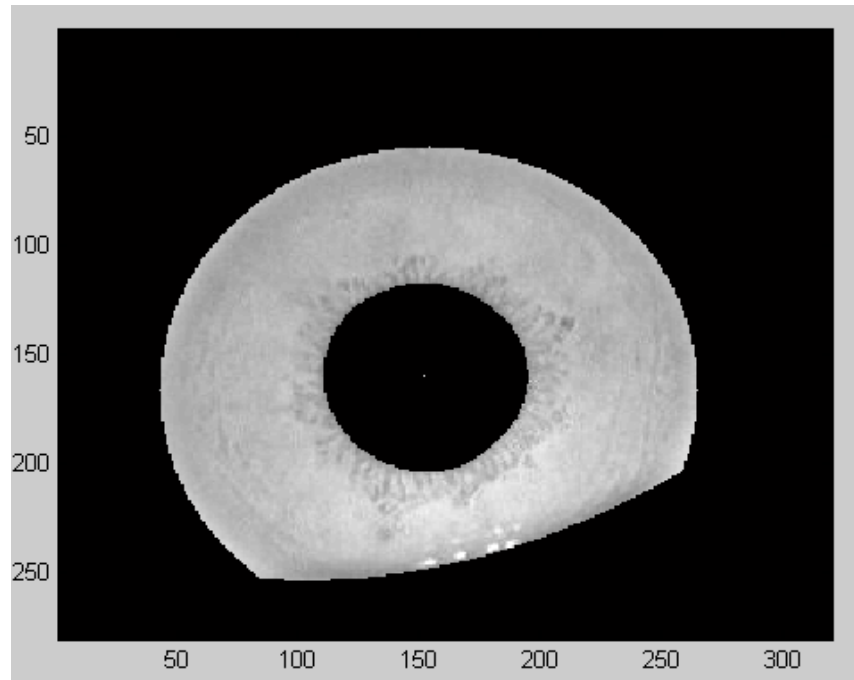


Figura 3-14 Párpado Segmentado y excluido de la región de interés
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

Cabe destacar también que el sistema busca sensor y excluir los párpados superior e inferior dentro de la imagen ocular, independiente de que estén presentes dentro o fuera del contorno circular del iris (a manera de ejemplo el párpado superior de la figura 3-12 se encuentra por fuera del semicírculo que representa el objeto de interés, sin embargo se realiza su respectiva máscara binaria con el fin de segmentar dicho párpado).

El sistema de extracción de características biométricas segmenta los párpados según el método planteado en las referencias [10] y [11]. No obstante cabe destacar, la existencia de otras formas de abordar esta problemática como son las citadas en [12],[13] y [14], entre otras.

3.4 Normalización del iris

Se define normalización del iris como el proceso en el cual, la imagen o señal bidimensional se traslada de un espacio en coordenadas cartesianas a uno dependiente de valores circulares. En síntesis es una transformación de coordenadas que permite desenrollar en una cinta, la textura que representa el tejido pigmentado de interés.

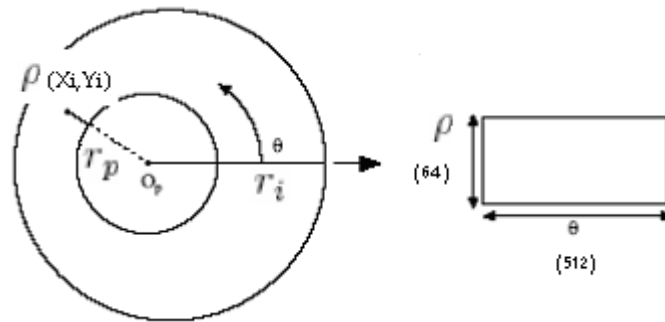


Figura 3-15 Transformación de coordenadas
Fuente [8]

Esta transformación de coordenadas se basa según las ecuaciones

$$\begin{aligned}x(\rho, \theta) &= (1 - \rho) \times x_p(\theta) + \rho \times x_i(\theta), \\y(\rho, \theta) &= (1 - \rho) \times y_p(\theta) + \rho \times y_i(\theta),\end{aligned}$$

Donde

$$\begin{aligned}x_p(\theta) &= x_{p0}(\theta) + r_p \times \cos(\theta), \\y_p(\theta) &= y_{p0}(\theta) + r_p \times \sin(\theta), \\x_i(\theta) &= x_{i0}(\theta) + r_i \times \cos(\theta), \\y_i(\theta) &= y_{i0}(\theta) + r_i \times \sin(\theta).\end{aligned}$$

Figura 3-16 Ecuaciones de transformación
Fuente [14]

Como resultado se obtiene.

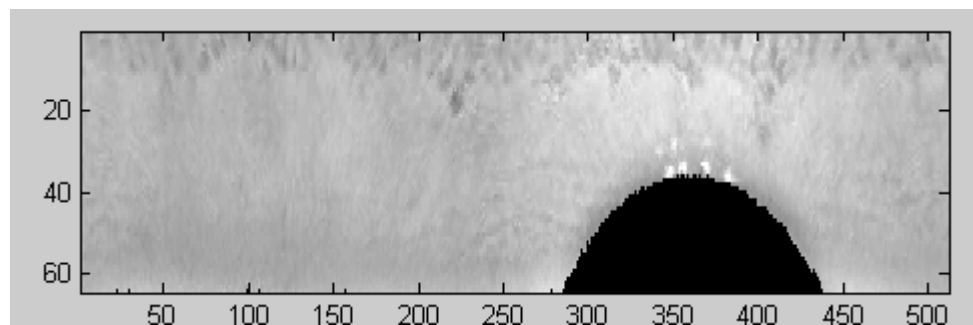


Figura 3-17 Iris normalizado
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

Este procedimiento se realiza por medio de la asociación de los métodos referenciados en [14], [15] y [16].

3.5 Filtrado Gabor wavelet 2D

Un filtro Gabor wavelet 2D, es una onda senoidal modulada por una distribución Gaussiana que se representa en un espacio de dos dimensiones. Es de estructura numérica compleja y se modela por medio de parámetros de frecuencia (f), dirección (θ o lo que equivale también a $\text{Tg}^{-1}(u/v)$) y varianza (σ).

Este Operador Gabor se define como $G(x,y)$

$$G(x, y) = g(x, y) \exp(-2\pi j(u.x + v.y)),$$

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left\{-\left[\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right]\right\}, j = \sqrt{-1}.$$

Figura 3-18 Ecuación Gabor wavelet 2D
Fuente [26]

Y se descompone según su parte par e impar correspondientes a $G_e(x,y)$ y $G_o(x,y)$.

$$G_e(x, y) = g(x, y) \cos(2\pi f(x \cos \theta + y \sin \theta)),$$

$$G_o(x, y) = g(x, y) \sin(2\pi f(x \cos \theta + y \sin \theta)),$$

Figura 3-19 Componentes
Fuente [26]

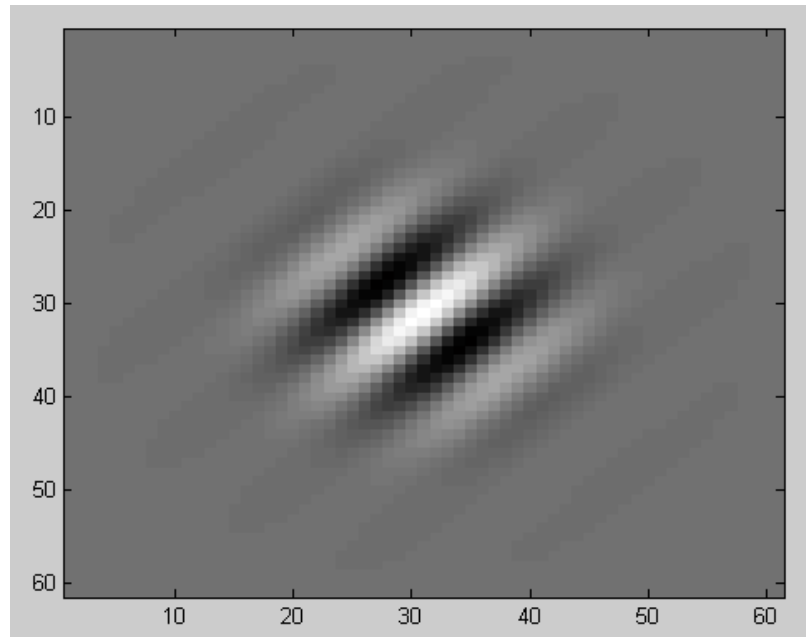


Figura 3-20 Visualización parte real de un filtro Gabor 2D a 45° .
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

El registro normalizado del iris, pasa por una operación de convolución con las máscaras correspondientes a la parte real e imaginaria del filtro de Gabor 2D. Como resultado se obtienen 2 imágenes que realzan los cambios de la textura según la orientación y frecuencia de este.

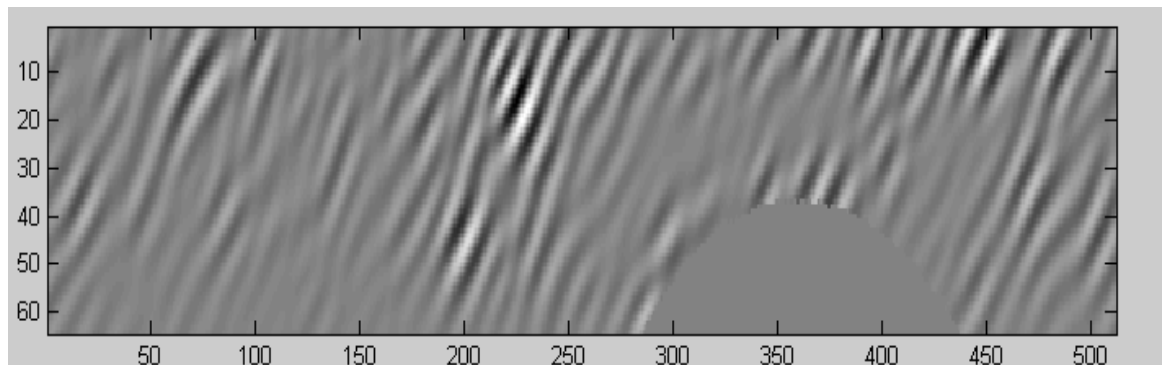


Figura 3-21 Imagen filtrada a 45° , parte real.
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

Al resaltar los cambios particulares del iris normalizado a distintos ángulos, se procede a binarizar, cuantizar y codificar el registro para extraer su respectiva firma digital. Lo cual ya hace parte del módulo de codificación.

Cabe resaltar que el sistema de extracción de características biométricas realiza el procedimiento de filtrado con base en la extrapolación de los estudios referenciados en [17], [18], [19] y [20]. No obstante existen otros métodos que abordan el tema, citados en [21], [22] y [23] entre otros.

3.6 Codificación

Dentro del proceso de codificación, se extrae una matriz característica que cuantiza las cualidades de la textura del iris en direcciones de -45 , 45 y 90 grados. Realiza una operación denominada, promedio de desviación absoluta, en subdivisiones de 4 por 4 píxeles de la imagen normalizada.

$$V = \frac{1}{N} \left(\sum |f(x, y) - m| \right)$$

Figura 3-22 Promedio de desviación absoluta
Fuente [24]

Donde N es la cantidad de los píxeles de la región, en este caso 16, $f(x,y)$ la imagen de la sección objetivo y m es la media de esta última.

Esto da como resultado un arreglo de 16 por 128 cuadrículas, por cada filtro aplicado, posteriormente se procede a binarizar este registro, umbralizando la imagen a partir de la media, para luego concatenar todos los resultados en un código binario.

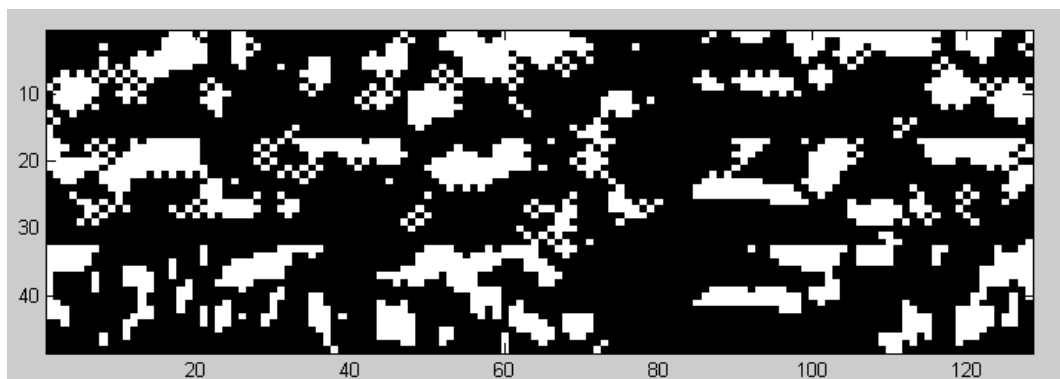


Figura 3-23 Codificación de los patrones correspondientes al iris de la figura 3-2.
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

El proceso de cuantización y codificación se baso en la asociación de los métodos expuestos en [17], [23] y [24] respectivamente.

Capítulo 4

Resultados

Los resultados alrededor del sistema de extracción de características biométricas, se sostienen en el porcentaje del procesamiento exitoso de cada una de sus fases, tales como segmentación, normalización, filtrado y codificación de la señal bidimensional.

El primer resultado se basa en la segmentación exitosa del iris del resto de la imagen, sin embargo se debe aislar la pupila, el contorno circular que producen los límites de la esclerótica y los párpados para que el proceso total se considere óptimo.

Cabe destacar que si alguna de estas tres etapas del preprocesado de la señal mencionadas anteriormente fallan, la separación del objeto de interés no será completada de manera adecuada y por ende los resultados estarán sesgados. ya que todo el sistema se encuentra programado para operar de forma secuencial, es decir; una etapa tras otra y la siguiente dependiente de los resultados de la anterior.

Durante la evaluación del algoritmo completo de segmentación, se obtuvo un porcentaje del 91% de éxito en el proceso de aislar el objeto de interés (incluyendo la separación de la pupila, del iris y de los párpados), sobre el total de las imágenes de la base de datos, excluyendo los registros de que no cumplen con requisitos de calidad mencionados anteriormente.

Para apreciar diversos resultados de cada uno de los procesos de segmentación se le sugiere al lector remitirse al anexo 1.

El siguiente resultado se basa en la normalización del iris o en el estiramiento del mismo como una señal rectangular. Este proceso tiene un 100% de éxito cuando la señal se segmenta y aún cuando la circunferencia que delimita la esclerótica no se encuentra completa tal como se aprecia en las figuras 4-2 y 4-4 .

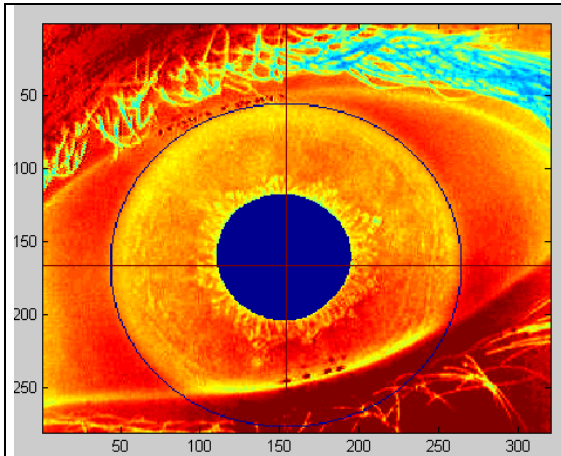


Figura 4-1 Imagen de contorno circular completo.
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

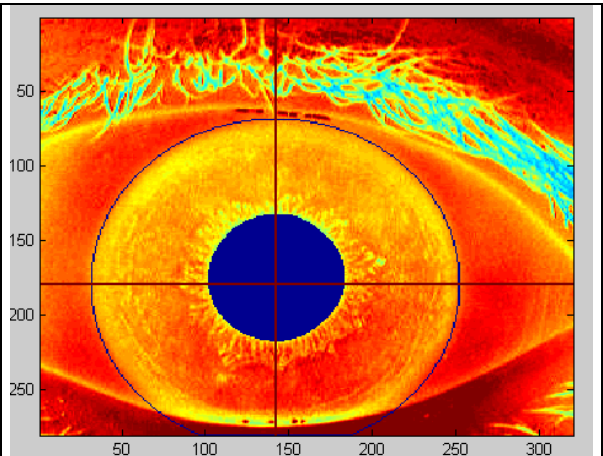


Figura 4-2 Imagen de contorno circular incompleto.
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

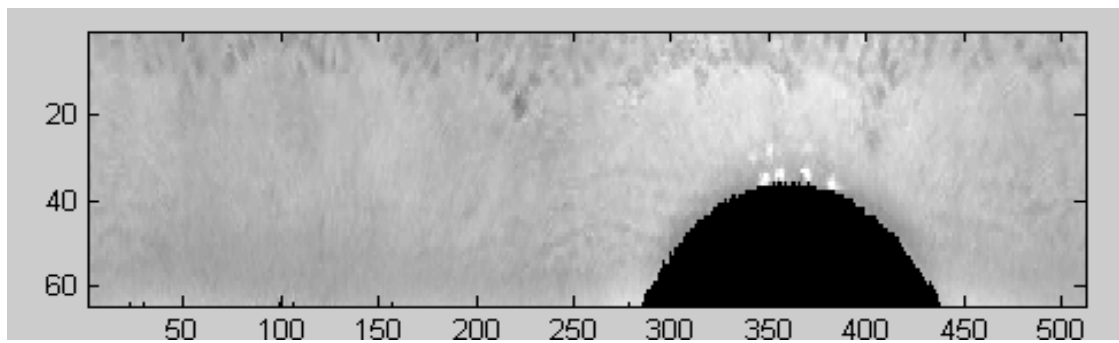


Figura 4-3 Imagen normalizada de la figura 4-1.
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

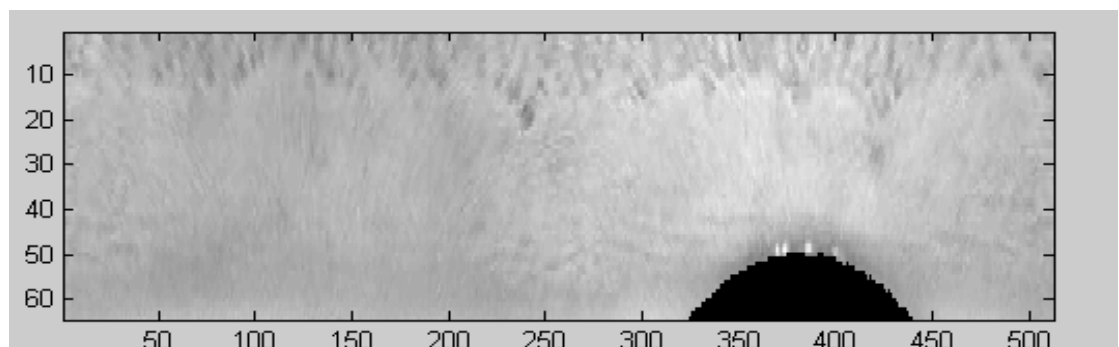


Figura 4-4 Imagen normalizada de la figura 4-2.
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

La etapa de filtrado se realiza de una manera eficiente, siempre y cuando los dos procesos anteriores se lleven a cabo de forma adecuada. La extracción de características del iris en forma matricial (Figura 4-8 y 4-9), se realiza cuando a la imagen normalizada filtrada por las máscaras Gabor 2D en orientaciones de 45, -45 y 90 grados, se aplica al promedio de desviación absoluta para obtener los patrones significativos y linealmente independientes que caracterizan al individuo registrado.

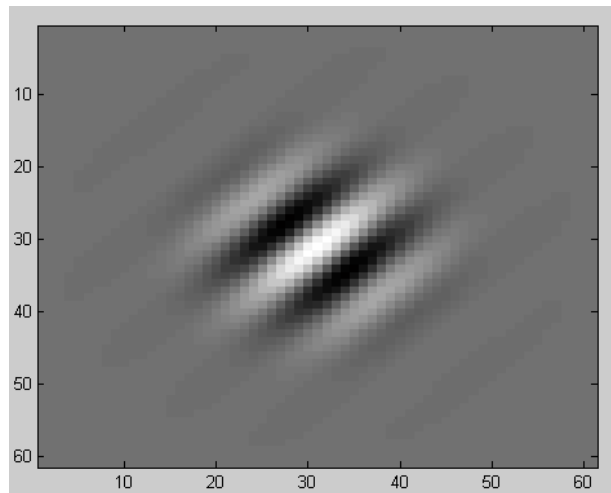


Figura 4-5 Visualización parte real de un filtro Gabor 2D a 45°.
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

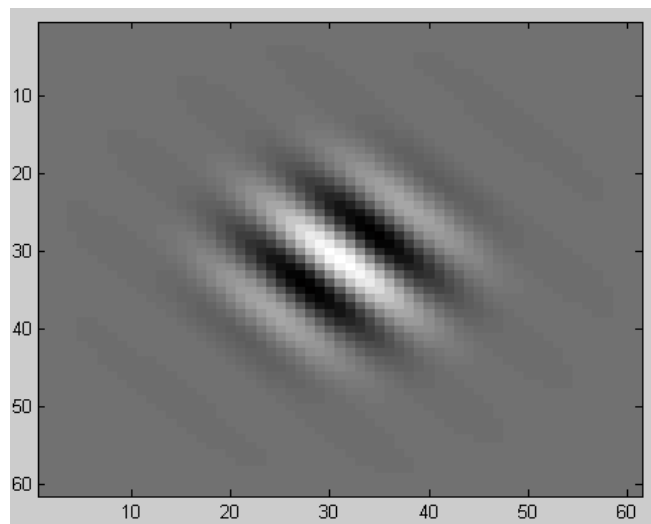


Figura 4-6 Visualización parte real de un filtro Gabor 2D a -45°.
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

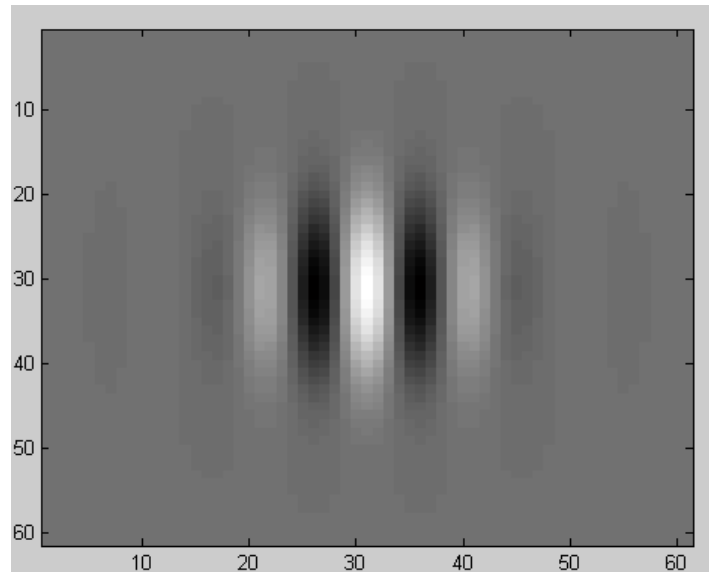


Figura 4-7 Visualización parte real de un filtro Gabor 2D a 90° .
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

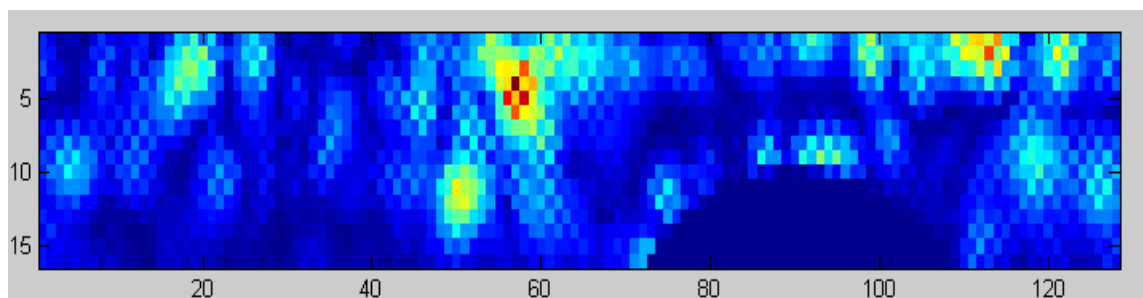


Figura 4-8 Matriz de características biométricas a 45° de la figura 4-1
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

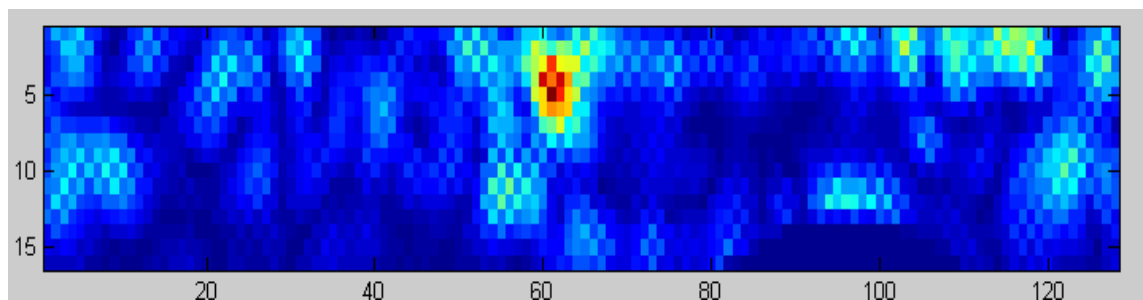


Figura 4-9 Matriz de características biométricas a 45° de la figura 4-2.
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

En la codificación se binarizan las cualidades únicas del usuario en una secuencia digital, en este proceso se umbraliza la matriz de rasgos biométricos de distintos grados de orientación (figura 4-8 o 4-9), calculando la media de sus filas y sus columnas por separado, de esta manera se le asigna la magnitud de cero a los píxeles del registro matricial que se encuentren por debajo del valor de la media, y uno a los que se encuentran por encima de dicha cantidad.

Posteriormente se generan dos máscaras producto de la binarización de la matriz de rasgos característicos a partir de las dos medias aritméticas y se realiza una operación lógica "and" entre ellas, obteniendo como resultado un código binario característico del individuo.

Como se mencionó anteriormente, se generan tres matrices de rasgos característicos obtenidas a partir de los filtros de Gabor 2D con distintas orientaciones, en consecuencia se producen tres códigos que se concatenan para formar una firma que caracteriza al usuario.

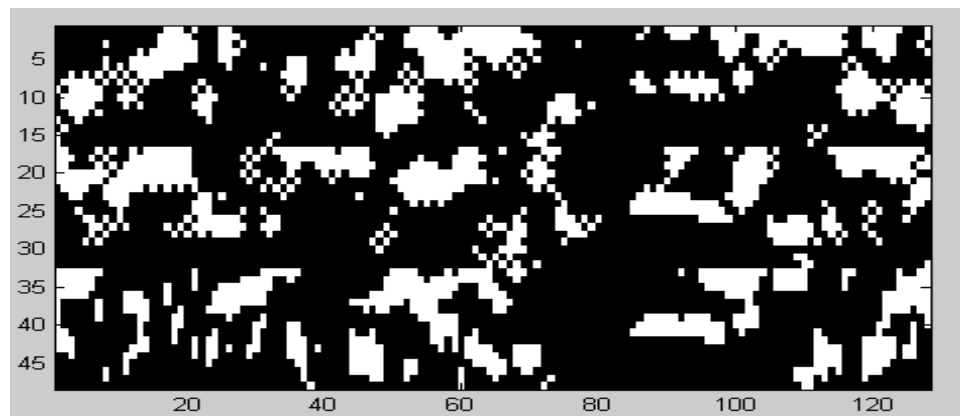


Figura 4-10 Secuencia digital del usuario presentado en la figura 4-1
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

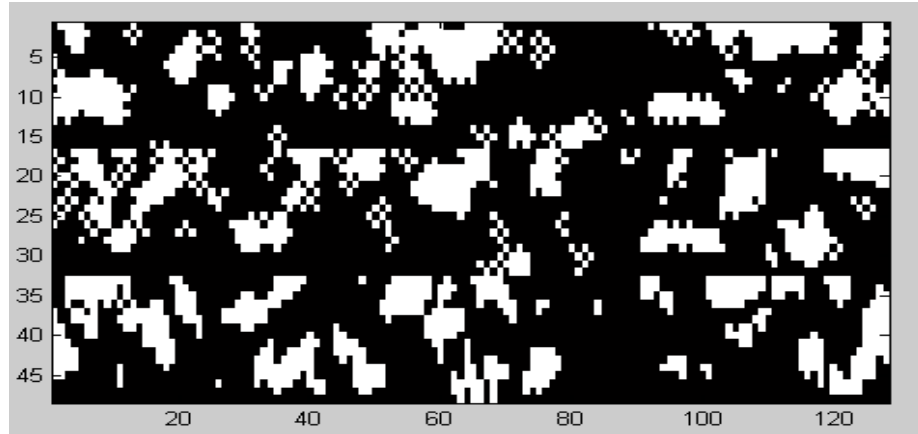


Figura 4-11 Secuencia digital del usuario presentado en la figura 4-2
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

El proceso de codificación se evalúa mediante un parámetro de correlación denominado PSR (Peak to Side lobe Ratio), que sirve para determinar el grado de variación y similitud entre las distintas firmas digitales arrojadas por el sistema, ya sean del mismo personaje o no.

Los estudios realizados con el PSR se enfocaron en:

- 4.1 Comparación de las firmas digitales obtenidas del procesamiento de distintas imágenes de un mismo globo ocular de un usuario determinado.
- 4.2 Comparación de las firmas digitales obtenidas del procesamiento de distintas imágenes de los dos globos oculares de un personaje y de otros usuarios .
- 4.3 Comparación de firmas digitales obtenidas del procesamiento de imágenes sintéticas rotadas entre -30 y 30 grados, adquiridas a partir de un único registro seleccionado.
- 4.4 Comparación de firmas digitales obtenidas del procesamiento de imágenes sintéticas escaladas, adquiridas a partir de un único registro seleccionado.

4.1 Comparación de las firmas digitales obtenidas del procesamiento de distintas imágenes de un mismo globo ocular de un usuario determinado.

Para determinar cierto grado de similitud entre los resultados o secuencias digitales arrojados por el sistema de extracción de características biométricas, se realizó el experimento de correlacionar todas las firmas digitales de un mismo globo ocular registrado varias veces en la misma sesión.

La correlación en 2D de las firmas, arroja como resultado un registro matricial que debe ser interpretado visualmente o mediante un índice o parámetro de dicha operación. Esto lleva a preguntar, ¿cómo se debe analizar el resultado de la correlación? .

Pues bien es de esperarse que cuando 2 firmas digitales con un alto grado de similitud se correlacionen, exista dentro del registro que da como resultado esta operación, un pico con un valor de magnitud bastante alto en comparación al resto de la imagen. Por otra parte si las dos señales bidimensionales (ósea las firmas) tienen un bajo grado de similitud, de la correlación se obtendrá un pico que no es significativamente de gran valor comparado con el resto de la imagen.

Este proceso de evaluación del código, se realizó total y parcialmente; es decir se realizó con las firmas digitales de distinta orientación concatenadas y con las secuencias digitales de diferente orientación por separado respectivamente.

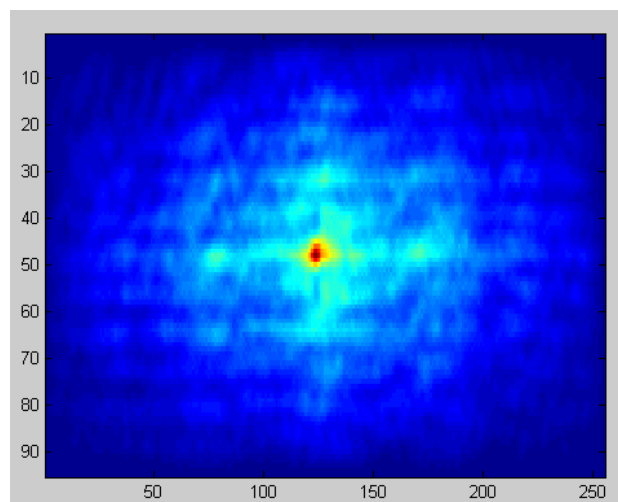


Figura 4-12 Correlación en 2D entre las firmas de las figuras 4-10 y 4-11
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

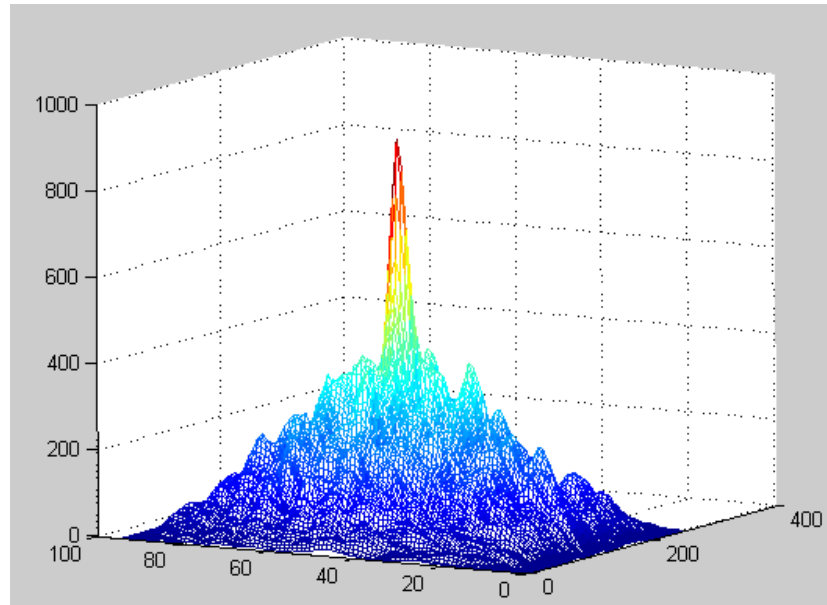


Figura 4-13 Pico de correlación de la figura 4-12

Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

Para cuantificar lo mencionado anteriormente se aplicó el PSR al registro de correlación de las dos secuencias digitales apreciado en las figuras 4-12 y 4-13, el cual se define como:

$$\text{PSR} = \frac{|\text{Peak}| - \text{Mean}}{\text{Std}}$$

Capítulo 4, Ecuación 1

Donde

Peak es la magnitud o valor que tiene el pico de correlación.

Mean es la media aritmética de la región base de la correlación

Std es la desviación estándar de la región base de la correlación

Se define a la región base como aquel área circular en forma de arandela que se encuentra por debajo del pico de correlación (sin contar este último), la cual se encuentra en este caso, a una distancia radial que se manifiesta entre los 5 y 10 píxeles desde el origen (considerando el origen la posición donde se encuentra la magnitud del pico).

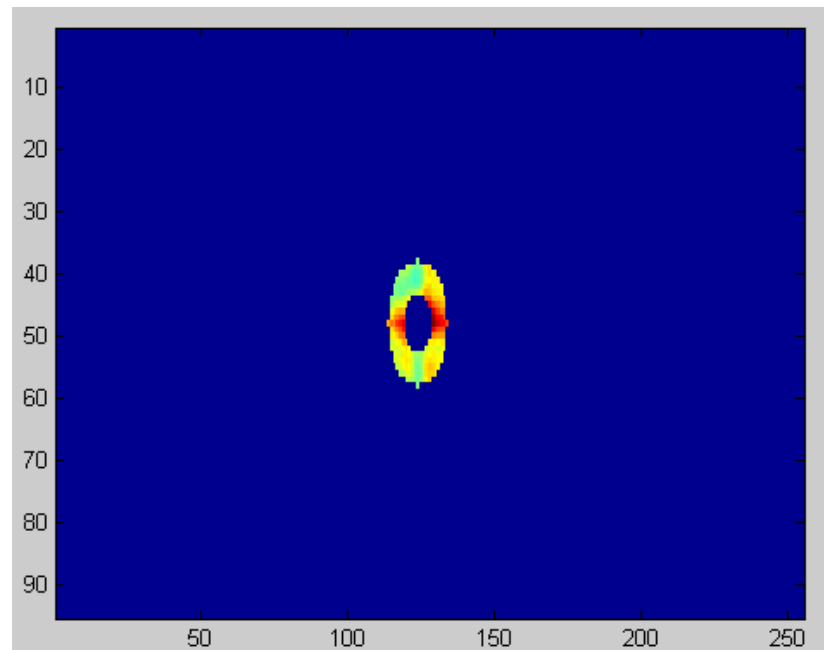


Figura 4-14 Área base de la correlación

Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

Los resultados del PSR de las firmas digitales obtenidas a partir del procesamiento de distintas imágenes de un mismo globo ocular, se pueden visualizar de la tabla A-1 a la A-6, los cuales son significativamente apreciables en el momento de validar el código para este tipo de registros.

Índice PSR de firmas digitales de un mismo globo ocular registrado en distintas imágenes

Tabla A-1. Índice PSR para globo ocular 1

(Globo ocular 1)	Código 1	Código 2	Código 3	Código 4	Código 5	Código 6	Código 7	Código 8	Código 9	Código 10
Código 1	13.88	7.00	9.19	10.03	7.15	6.79	7.38	5.94	7.14	9.31
Código 2	7.00	16.78	8.13	10.46	8.51	7.96	9.35	7.25	10.19	9.19
Código 3	9.19	8.13	25.22	10.93	11.99	10.24	12.10	9.78	13.77	10.78
Código 4	10.03	10.46	10.93	23.52	9.03	10.29	9.04	7.16	10.66	11.04
Código 5	7.15	8.51	11.99	9.03	17.12	9.49	10.23	8.25	12.90	9.32
Código 6	6.79	7.96	10.24	10.29	9.49	14.38	10.35	9.65	12.19	8.32
Código 7	7.38	9.35	12.10	9.04	10.23	10.35	20.40	10.24	16.80	10.40
Código 8	5.94	7.25	9.78	7.16	8.25	9.65	10.24	15.59	12.99	7.80
Código 9	7.14	10.19	13.77	10.66	12.90	12.19	16.80	12.99	29.44	12.04
Código 10	9.31	9.19	10.78	11.04	9.32	8.32	10.40	7.80	12.04	17.33

Tabla A-2. Índice PSR para globo ocular 2

(Globo ocular 2)	Código 1	Código 2	Código 4	Código 5	Código 6	Código 7	Código 8	Código 9	Código 10
Código 1	13.59	5.62	8.61	6.43	7.30	5.75	6.94	7.89	6.89
Código 2	5.62	10.56	6.48	5.92	6.95	5.23	7.01	7.04	6.57
Código 4	8.61	6.48	17.16	8.59	8.76	6.20	8.43	9.06	8.78
Código 5	6.43	5.92	8.59	12.72	8.42	6.24	7.67	7.39	6.75
Código 6	7.30	6.95	8.76	8.42	19.58	6.15	9.38	10.61	9.91
Código 7	5.75	5.23	6.20	6.24	6.15	17.01	5.15	5.30	5.06
Código 8	6.94	7.01	8.43	7.67	9.38	5.15	19.24	10.41	9.26
Código 9	7.89	7.04	9.06	7.39	10.61	5.30	10.41	15.88	9.74
Código 10	6.89	6.57	8.78	6.75	9.91	5.06	9.26	9.74	15.58

Se omitió el registro 3 por no cumplir con requisitos de calidad

Tabla A-3. Índice PSR para globo ocular 3

(Globo ocular 3)	Código 1	Código 2	Código 3	Código 4	Código 5	Código 6	Código 7	Código 8
Código 1	9.63	5.15	5.49	5.98	5.13	3.86	5.08	5.59
Código 2	5.15	9.18	5.55	5.91	5.16	3.66	5.17	5.93
Código 3	5.49	5.55	9.08	5.47	5.53	3.64	4.78	6.21
Código 4	5.98	5.91	5.47	11.16	6.31	4.43	5.37	6.63
Código 5	5.13	5.16	5.53	6.31	9.80	3.65	4.81	5.91
Código 6	3.86	3.66	3.64	4.43	3.65	11.13	5.18	3.70
Código 7	5.08	5.17	4.78	5.37	4.81	5.18	10.82	5.40
Código 8	5.59	5.93	6.21	6.63	5.91	3.70	5.40	12.46

Tabla A-4. Índice PSR para globo ocular 4

(Globo ocular 4)	Código 1	Código 2	Código 3	Código 4	Código 5	Código 6	Código 7
Código 1	15.04	7.62	5.75	6.43	9.58	6.91	5.69
Código 2	7.62	13.98	6.31	7.00	7.20	8.17	6.47
Código 3	5.75	6.31	14.15	6.37	6.67	6.62	7.81
Código 4	6.43	7.00	6.37	12.15	7.46	7.07	6.23
Código 5	9.58	7.20	6.67	7.46	13.38	7.50	6.34
Código 6	6.91	8.17	6.62	7.07	7.50	13.03	6.63
Código 7	5.69	6.47	7.81	6.23	6.34	6.63	17.01

Tabla A-5. Índice PSR para globo ocular 5

(Globo ocular 5)	Código 1	Código 2	Código 3	Código 4	Código 5	Código 6	Código 7	Código 8	Código 9	Código 10
Código 1	12.30	5.94	5.57	6.37	6.72	6.12	5.86	5.94	6.74	7.27
Código 2	5.94	12.90	5.56	6.85	7.27	5.98	7.08	6.30	7.22	7.54
Código 3	5.57	5.56	13.44	7.13	7.05	7.64	5.28	4.38	6.13	5.09
Código 4	6.37	6.85	7.13	13.45	7.74	6.73	6.24	5.38	7.62	5.90
Código 5	6.72	7.27	7.05	7.74	13.64	7.22	7.44	6.37	8.15	6.88
Código 6	6.12	5.98	7.64	6.73	7.22	11.75	5.73	4.75	5.88	5.53
Código 7	5.86	7.08	5.28	6.24	7.44	5.73	10.99	6.12	7.59	6.62
Código 8	5.94	6.30	4.38	5.38	6.37	4.75	6.12	11.01	5.87	6.91
Código 9	6.74	7.22	6.13	7.62	8.15	5.88	7.59	5.87	13.40	6.99
Código 10	7.27	7.54	5.09	5.90	6.88	5.53	6.62	6.91	6.99	12.05

Tabla A-6. Índice PSR para globo ocular 6

(Globo ocular 6)	Código 1	Código 2	Código 3	Código 4	Código 5	Código 6	Código 7	Código 8	Código 9	Código 10
Código 1	11.55	6.19	7.70	6.21	6.47	6.24	6.53	5.87	6.71	5.51
Código 2	6.19	12.37	7.58	7.25	6.55	6.90	6.86	7.00	7.59	6.591
Código 3	7.70	7.58	11.76	6.81	6.50	6.90	6.54	7.26	6.69	6.64
Código 4	6.21	7.25	6.81	10.94	6.38	7.50	6.45	6.26	6.61	6.36
Código 5	6.47	6.55	6.50	6.38	11.57	6.57	6.28	5.83	6.29	5.92
Código 6	6.24	6.90	6.90	7.50	6.57	10.98	6.37	6.14	6.49	6.73
Código 7	6.53	6.86	6.54	6.45	6.28	6.37	10.48	7.15	7.24	7.03
Código 8	5.87	7.00	7.26	6.26	5.83	6.14	7.15	11.15	6.98	6.89
Código 9	6.71	7.59	6.69	6.61	6.29	6.49	7.24	6.98	12.43	6.37
Código 10	5.51	6.591	6.64	6.36	5.92	6.73	7.03	6.89	6.37	11.30

4.2 Comparación de las firmas digitales obtenidas del procesamiento de distintas imágenes de los dos globos oculares de un personaje y de otros usuarios.

La correlación de las secuencias digitales obtenidas a partir de imágenes de los dos globos oculares de un personaje y de otros registros no asociados al mismo usuario, arrojo como resultado un PSR bajo, debido a la poca magnitud del pico con respecto al área base que rodea a este ultimo, determinando así el poco grado de similitud que existe entre las firmas.

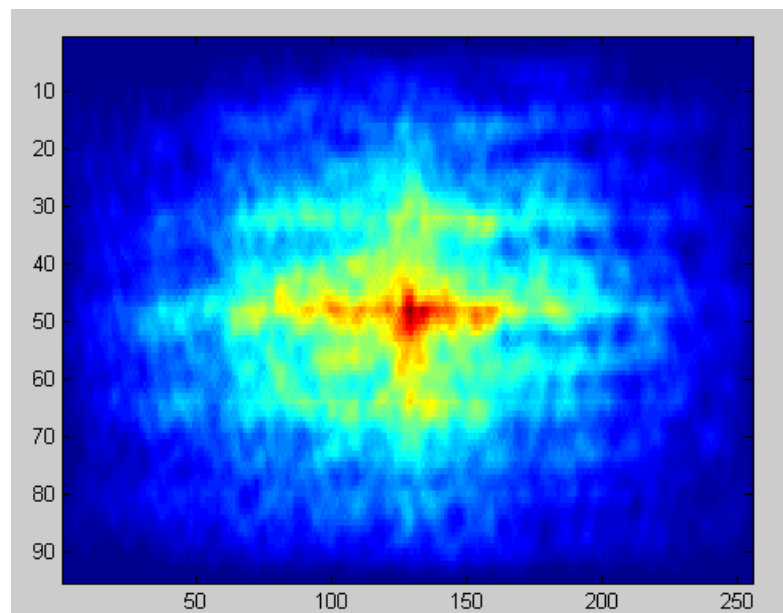


Figura 4-15 Correlación 2D entre firmas de dos globos oculares distintos de un mismo usuario

Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

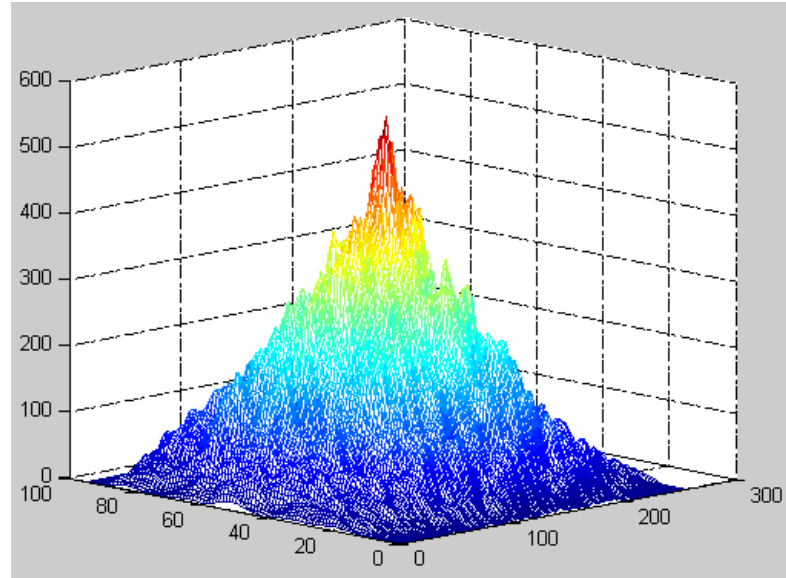


Figura 4-16 Pico de correlación figura 4-15

Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

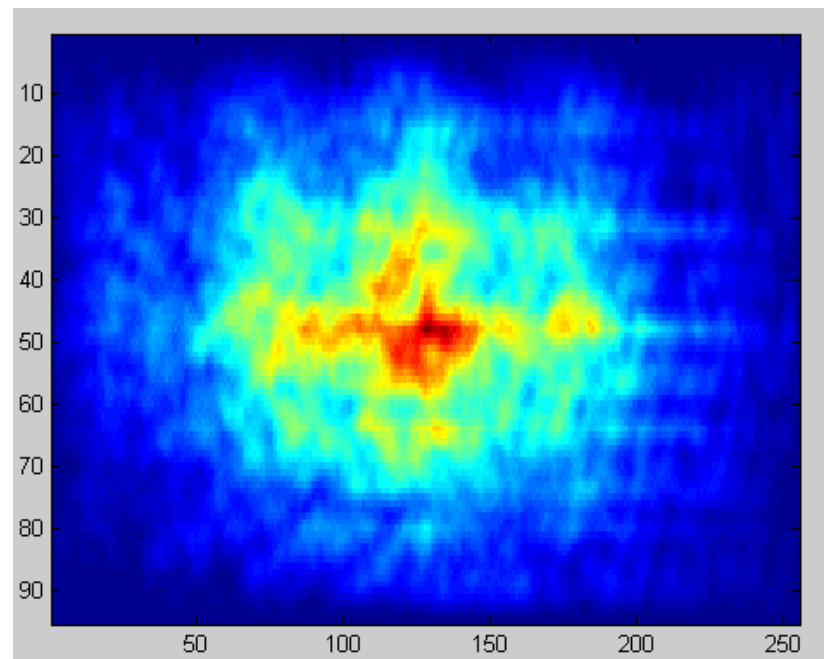


Figura 4-17 Correlación 2D entre firmas de dos globos oculares distintos de un diferente usuario

Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

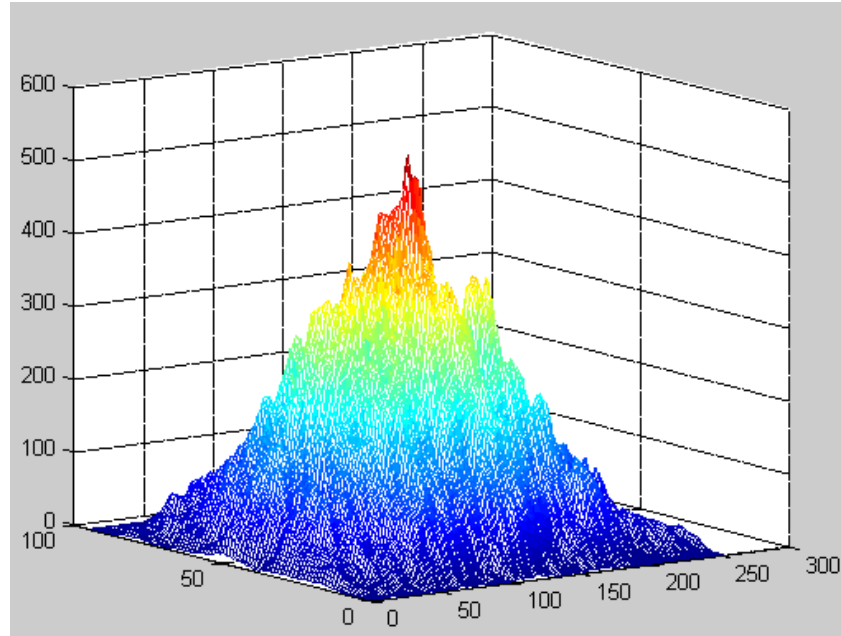


Figura 4-18 Pico de correlación figura 4-17

Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

Los resultados del PSR de las firmas digitales obtenidas a partir procesamiento de distintas imágenes de diversos globos oculares, se pueden visualizar en la tabla B-1, los cuales son significativamente apreciables en el momento de validar el código.

Índice PSR de firmas digitales de distintos globos oculares registrados

Tabla B-1. PSR de distintas firmas digitales [parte 1]

	Código 1	Código 2	Código 3	Código 4	Código 5	Código 6	Código 7	Código 8	Código 9	Código 10
Código 1	15.41	2.85	2.60	2.39	2.88	2.55	2.43	2.47	3.78	2.58
Código 2	2.85	9.28	3.84	2.48	2.66	2.63	3.04	2.57	3.06	2.32
Código 3	2.60	3.84	25.22	3.41	3.72	3.77	3.20	3.60	3.95	3.27
Código 4	2.39	2.48	3.41	17.16	2.34	2.68	3.16	2.68	2.85	3.09
Código 5	2.88	2.66	3.72	2.34	12.51	2.43	2.25	2.80	2.80	2.52
Código 6	2.55	2.63	3.77	2.68	2.43	12.63	3.86	2.57	3.12	3.52
Código 7	2.43	3.04	3.20	3.16	2.25	3.86	14.14	3.08	3.36	3.18
Código 8	2.47	2.57	3.60	2.68	2.80	2.57	3.08	16.52	3.13	2.85
Código 9	3.78	3.06	3.95	2.85	2.80	3.12	3.36	3.13	12.80	2.88
Código 10	2.58	2.32	3.27	3.09	2.52	3.52	3.18	2.85	2.88	14.08
Código 11	2.95	2.78	3.64	2.78	2.66	2.58	3.82	2.26	2.88	2.48
Código 12	3.05	3.69	4.41	3.09	3.00	2.59	4.20	2.39	2.62	2.92
Código 13	3.10	2.72	4.14	2.69	3.00	3.39	2.83	3.12	3.86	2.51
Código 14	2.83	2.71	3.32	2.78	2.59	2.76	3.08	3.22	3.69	2.59
Código 15	3.29	2.99	3.17	2.83	2.70	2.82	2.78	3.58	2.93	3.18
Código 16	3.10	2.95	3.54	3.08	2.40	2.72	2.48	2.65	2.97	2.50
Código 17	2.58	2.88	2.88	2.94	2.35	2.5	2.82	2.28	3.06	1.93
Código 18	2.90	3.29	3.26	2.73	2.36	2.70	3.31	2.79	2.90	3.01
Código 19	2.29	2.39	3.24	3.44	2.97	2.22	3.45	2.67	2.67	2.45
Código 20	2.50	2.61	3.40	2.44	2.32	2.94	2.87	2.94	2.66	2.50

Tabla B-1: PSR de distintas firmas digitales [parte 2]

	Código 11	Código 12	Código 13	Código 14	Código 15	Código 16	Código 17	Código 18	Código 19	Código 20
Código 1	2.95	3.05	3.10	2.83	3.29	3.10	2.58	2.90	2.29	2.50
Código 2	2.78	3.69	2.72	2.71	2.99	2.95	2.88	3.29	2.39	2.61
Código 3	3.64	4.41	4.14	3.32	3.17	3.54	2.88	3.26	3.24	3.40
Código 4	2.78	3.09	2.69	2.78	2.83	3.08	2.94	2.73	3.44	2.44
Código 5	2.66	3.00	3.00	2.59	2.70	2.40	2.35	2.36	2.97	2.32
Código 6	2.58	2.59	3.39	2.76	2.82	2.72	2.5	2.70	2.22	2.94
Código 7	3.82	4.20	2.83	3.08	2.78	2.48	2.82	3.31	3.45	2.87
Código 8	2.26	2.39	3.12	3.22	3.58	2.65	2.28	2.79	2.67	2.94
Código 9	2.88	2.62	3.86	3.69	2.93	2.97	3.06	2.90	2.67	2.66
Código 10	2.48	2.92	2.51	2.59	3.18	2.50	1.93	3.01	2.45	2.50
Código 11	9.00	2.38	2.56	2.70	2.78	2.68	3.20	2.01	2.65	2.19
Código 12	2.38	12.46	3.56	2.71	2.64	3.28	3.16	3.91	2.57	2.53
Código 13	2.56	3.56	15.43	2.76	2.72	3.99	3.00	2.96	2.88	3.38
Código 14	2.70	2.71	2.76	13.73	2.60	2.78	2.65	3.34	2.64	2.74
Código 15	2.78	2.64	2.72	2.60	13.98	3.35	2.57	2.75	3.01	2.72
Código 16	2.68	3.28	3.99	2.78	3.35	13.08	3.39	2.66	2.60	2.67
Código 17	3.20	3.16	3.00	2.65	2.57	3.39	10.78	2.27	2.92	2.68
Código 18	2.01	3.91	2.96	3.34	2.75	2.66	2.27	13.42	2.60	2.91
Código 19	2.65	2.57	2.88	2.64	3.01	2.60	2.92	2.60	11.00	2.61
Código 20	2.19	2.53	3.38	2.74	2.72	2.67	2.68	2.91	2.61	10.46

4.3 Comparación de las firmas digitales obtenidas del procesamiento de distintas imágenes sintéticas rotadas entre -30 y 30 grados, adquiridas a partir de un único registro seleccionado.

La imagen sintética fue creada a partir de un registro original seleccionado según los criterios de calidad mencionados anteriormente, este último fue ploteado, cortado, rotado su contorno circular de iris y posteriormente, fue escaneado a 75 puntos por pulgada con un paso de 10 grados de giro.

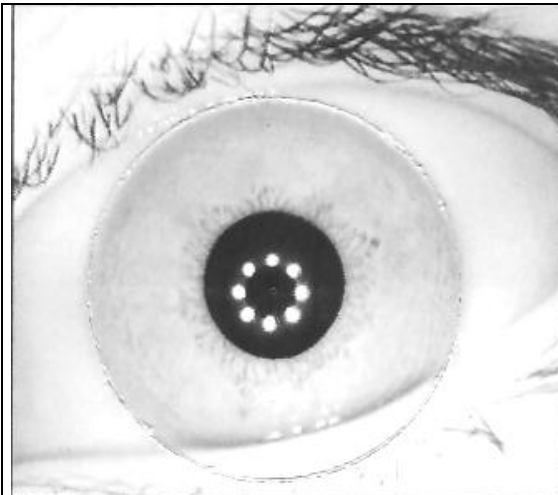


Figura 4-19 Imagen sintética 0 grados de la figura 3-2
Fuente Autor

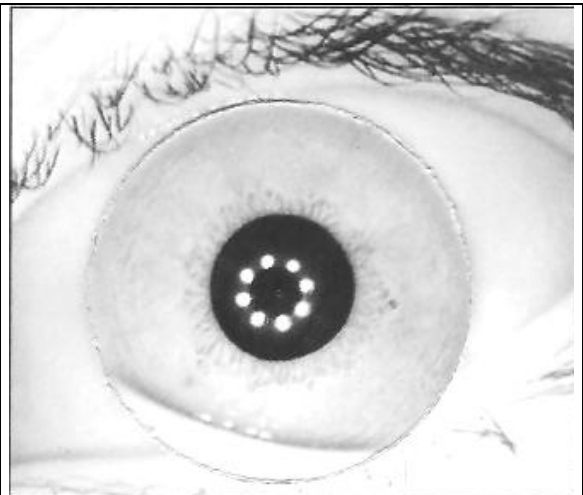


Figura 4-20 Imagen sintética 30 grados de la figura 3-2
Fuente Autor

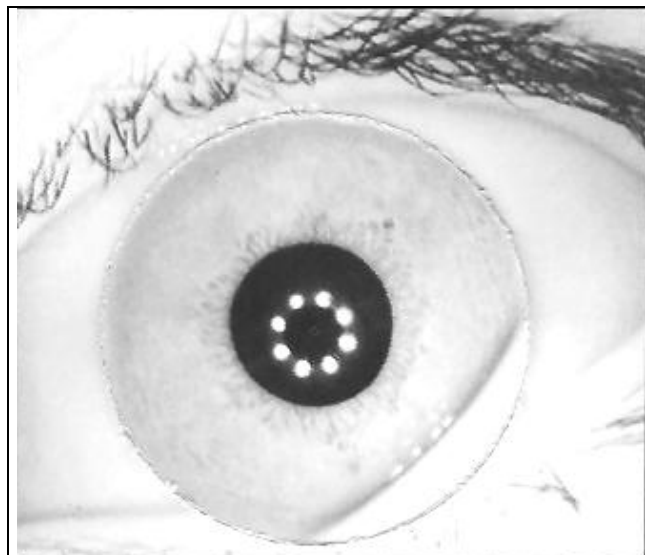


Figura 4-21 Imagen sintética -30 grados de la figura 3-2
Fuente Autor

Como resultado visual de la correlación de la imagen sintética se obtuvo:

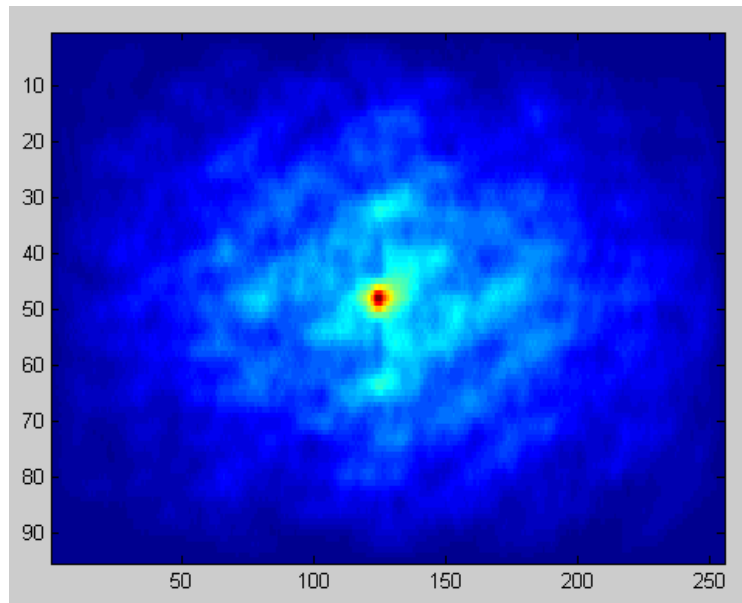


Figura 4-22 Correlación de una imagen sintética entre 0 y 10 grados de rotación
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

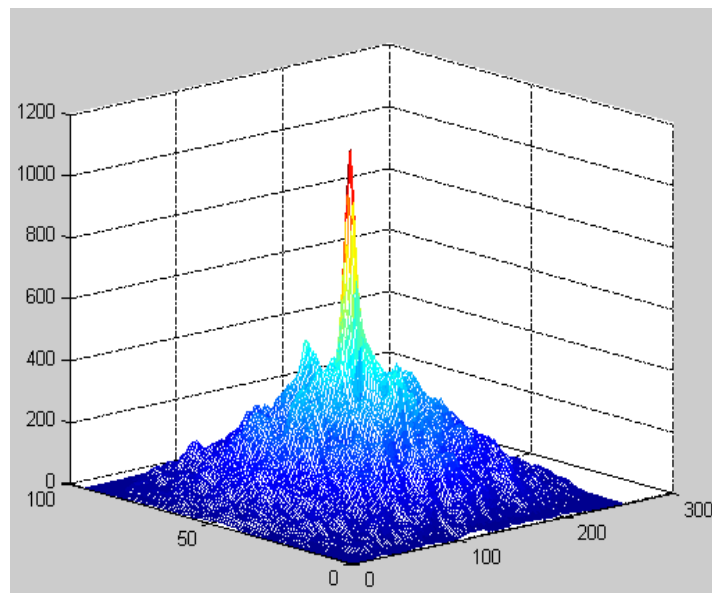


Figura 4-23 Pico de correlación de una imagen sintética entre 0 y 10 grados de rotación
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

Los resultados del PSR debido a la rotación de la imagen, se encontraron entre el rango de valores que se consideran asociados a señales con un alto grado de similitud, tal como se muestra en la tabla C-1.

Por otra parte, se hizo evidente la relación que tiene la traslación del pico de correlación con respecto al giro de la imagen original, tal como se cuantifica en la tabla C-2 y se visualiza en las figuras 4-24, 4-25, 4-26 y 4-27.

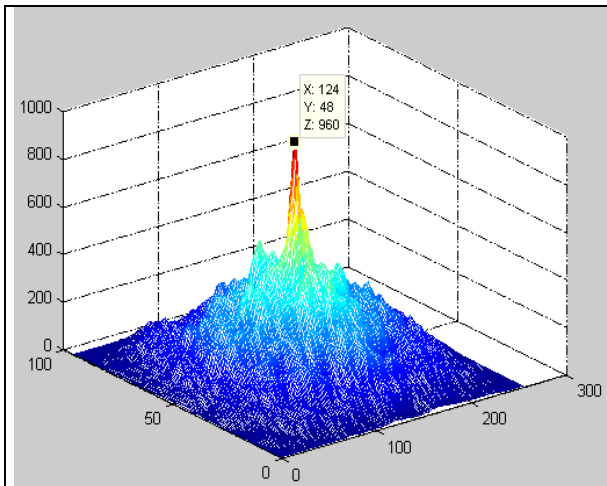


Figura 4-24 Pico de correlación entre la imagen de -30 y -20 grados de rotación
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

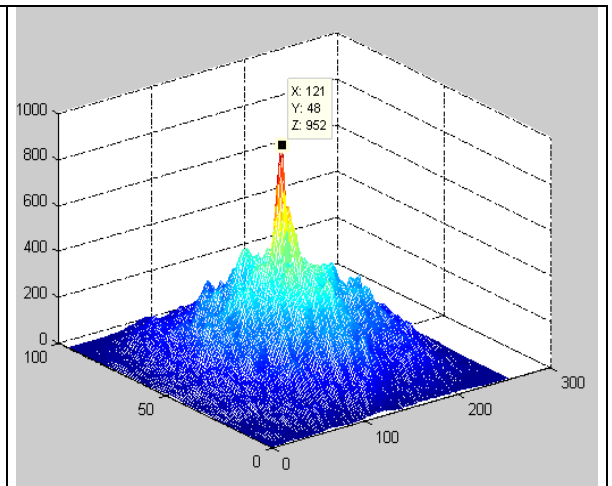


Figura 4-25 Pico de correlación entre la imagen de -30 y -10 grados de rotación
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

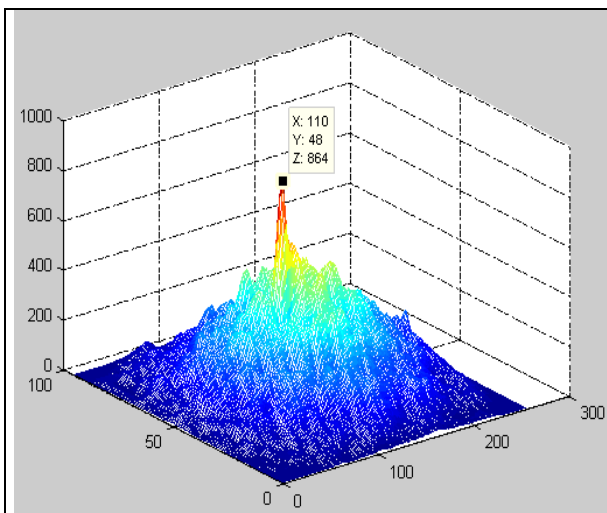


Figura 4-26 Pico de correlación entre la imagen de -30 y 20 grados de rotación
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

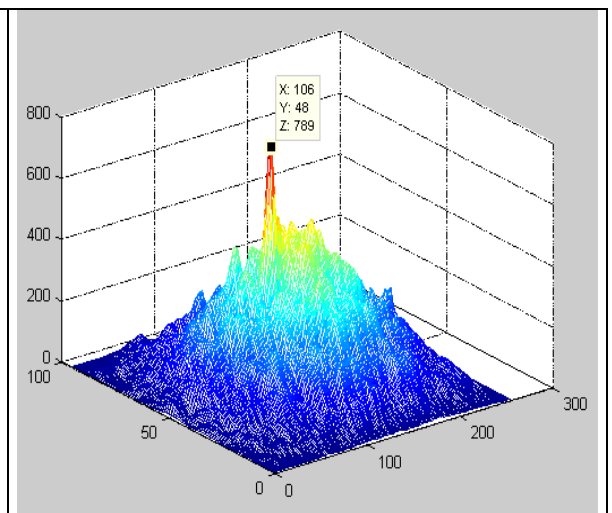


Figura 4-27 Pico de correlación entre la imagen de -30 y 30 grados de rotación
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

Cabe resaltar, que dichas imágenes tomaron como referencia la rotación del contorno del iris a -30 grados de la imagen original (figura 4-21).

Índice PSR de firmas digitales de un mismo globo ocular rotado entre -30 y 30 grados.

Tabla C-1. Índice PSR de firmas digitales rotadas

	Código Imagen -30 grados	Código Imagen -20 grados	Código Imagen -10 grados	Código Imagen 0 grados	Código Imagen 10 grados
Código Imagen -30 grados	16.43	6.38	6.48	6.71	6.13
Código Imagen -20 grados	6.38	19.12	9.24	7.29	7.21
Código Imagen -10 grados	6.48	9.24	20.53	10.48	7.42
Código Imagen 0 grados	6.71	7.29	10.48	19.59	8.87
Código Imagen 10 grados	6.13	7.21	7.42	8.87	18.49
Código Imagen 20 grados	6.09	7.56	7.07	8.04	9.54
Código Imagen 30 grados	6.03	7.45	6.75	8.00	8.16

	Código Imagen 20 grados	Código Imagen 30 grados
Código Imagen -30 grados	6.09	6.03
Código Imagen -20 grados	7.56	7.45
Código Imagen -10 grados	7.07	6.75
Código Imagen 0 grados	8.04	8.00
Código Imagen 10 grados	9.54	8.16
Código Imagen 20 grados	19.50	10.10
Código Imagen 30 grados	10.10	19.74

Tabla C-2 Posición del pico de correlación y cuantificación de su traslación, debida a las distintas rotaciones del registro original

	Código Imagen -30 grados	Código Imagen -20 grados	Código Imagen -10 grados	Código Imagen 0 grados	Código Imagen 10 grados
Código Imagen -30 grados	X=128 Y=48 T=0 T1=0	X=125 Y=48 T=-3 T1=-3	X=121 Y=48 T=-7 T1=-4	X=117 Y=48 T=-11 T1=-4	X=114 Y=48 T=-14 T1=-3
Código Imagen -20 grados	X=131 Y=48 T=+4 T1=+4	X=128 Y=48 T=0 T1=0	X=125 Y=48 T=-3 T1=-3	X=121 Y=48 T=-7 T1=-4	X=118 Y=48 T=-10 T1=-3
Código Imagen -10 grados	X=135 Y=48 T=+7 T1=+4	X=131 Y=48 T=+3 T1=+3	X=128 Y=48 T=0 T1=0	X=124 Y=48 T=-4 T1=-4	X=121 Y=48 T=-7 T1=-3
Código Imagen 0 grados	X=139 Y=48 T=+11 T1=+4	X=135 Y=48 T=+7 T1=+3	X=132 Y=48 T=+4 T1=+4	X=128 Y=48 T=0 T1=0	X=125 Y=48 T=-3 T1=-3
Código Imagen 10 grados	X=142 Y=48 T=+14 T1=+4	X=138 Y=48 T=+10 T1=+3	X=135 Y=48 T=+7 T1=+4	X=131 Y=48 T=+3 T1=+3	X=128 Y=48 T=0 T1=0
Código Imagen 20 grados	X=146 Y=48 T=+18 T1=+4	X=142 Y=48 T=+14 T1=+3	X=139 Y=48 T=+11 T1=+4	X=135 Y=48 T=+7 T1=+3	X=132 Y=48 T=+4 T1=+4
Código Imagen 30 grados	X=150 Y=48 T=+22 T1=+4	X=146 Y=48 T=+18 T1=+3	X=143 Y=48 T=+15 T1=+4	X=139 Y=48 T=+11 T1=+4	X=135 Y=48 T=+7 T1=+3

	Código Imagen 20 grados	Código Imagen 30 grados
Código Imagen -30 grados	X=110 Y=48 T=-18 T1=-4	X=106 Y=48 T=-22 T1=-4
Código Imagen -20 grados	X=114 Y=48 T=-14 T1=-4	X=110 Y=48 T=-18 T1=-4
Código Imagen -10 grados	X=117 Y=48 T=-11 T1=-4	X=113 Y=48 T=-15 T1=-4
Código Imagen 0 grados	X=121 Y=48 T=-7 T1=-4	X=117 Y=48 T=-11 T1=-4
Código Imagen 10 grados	X=124 Y=48 T=-4 T1=-4	X=121 Y=48 T=-7 T1=-3
Código Imagen 20 grados	X=128 Y=48 T=0 T1=0	X=124 Y=48 T=-4 T1=-4
Código Imagen 30 grados	X=132 Y=48 T=+4 T1=+4	X=128 Y=48 T=0 T1=0

X. indica la posición horizontal del pico de correlación T. Indica la traslación del pico con respecto al origen
 Y. indica la posición vertical del pico de correlación T1. Indica traslación del pico con respecto a su posición anterior

Se le sugiere al lector tomar como referencia la posición cero del pico de correlación (es decir T=0), con el fin de interpretar los resultados de traslación.

4.4 Comparación de las firmas digitales obtenidas del procesamiento de imágenes sintéticas escaladas, adquiridas a partir de un único registro seleccionado.

La imagen sintética escalada, fue creada a partir de un registro original seleccionado con los criterios de calidad mencionados anteriormente. Este último fue ploteado y registrado de nuevo con una cámara CCD de alta resolución con un enfoque constante a 4 distancias diferentes.

Como resultado del anterior proceso se obtienen 4 imágenes sintéticas de un mismo globo ocular, pero escaladas debido a la traslación controlada del registro ploteado con respecto al sensor.

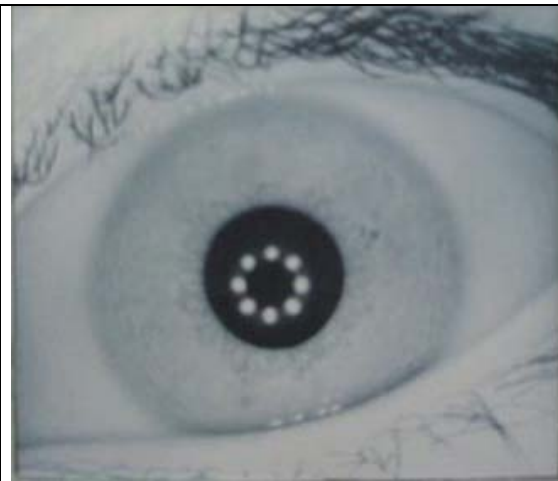


Figura 4-28 Escala uno
Fuente Autor

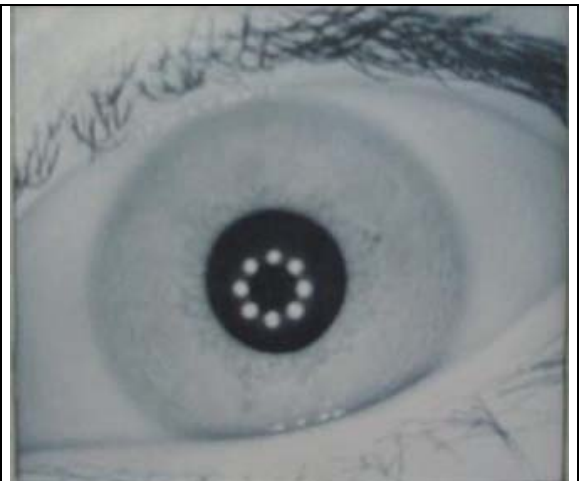


Figura 4-29 Escala dos
Fuente Autor

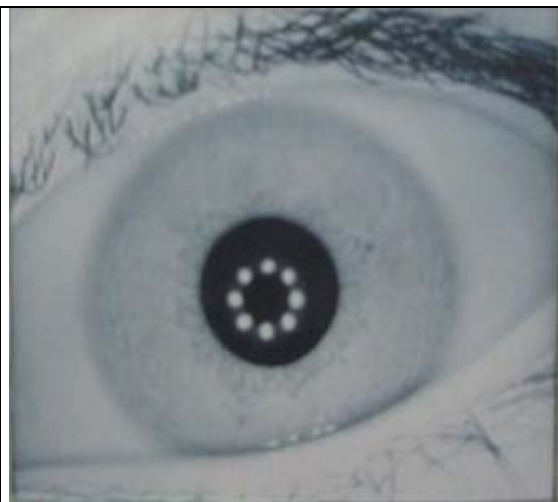


Figura 4-30 Escala tres
Fuente Autor

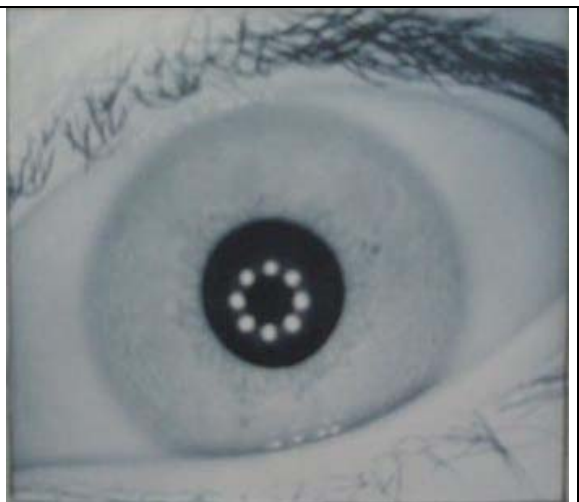


Figura 4-31 Escala cuatro
Fuente Autor

Una vez procesado los registros sintéticos escalados, la calidad de sus respectivas firmas digitales, es evaluada mediante los resultados visuales de la correlación y su índice PSR, el cual se encuentra cuantificado en la tabla D-1.

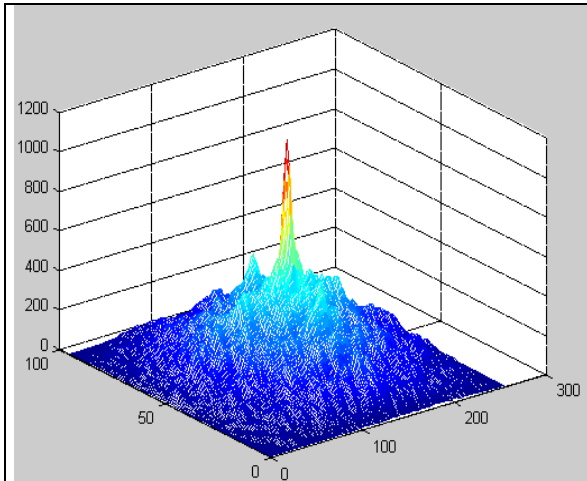


Figura 4-32 Correlación entre firmas de escala uno y dos
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

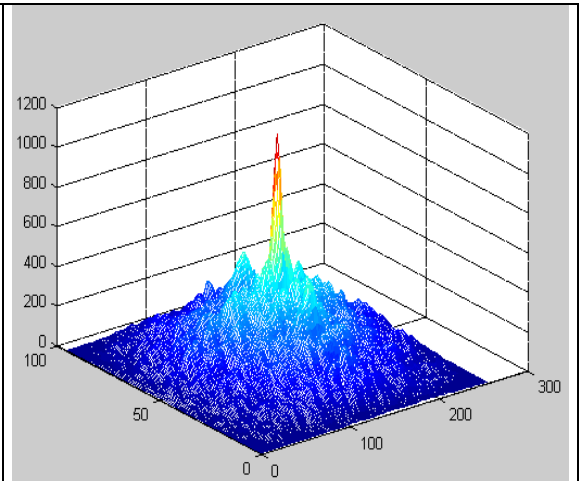


Figura 4-33 Correlación entre firmas de escala uno y tres
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

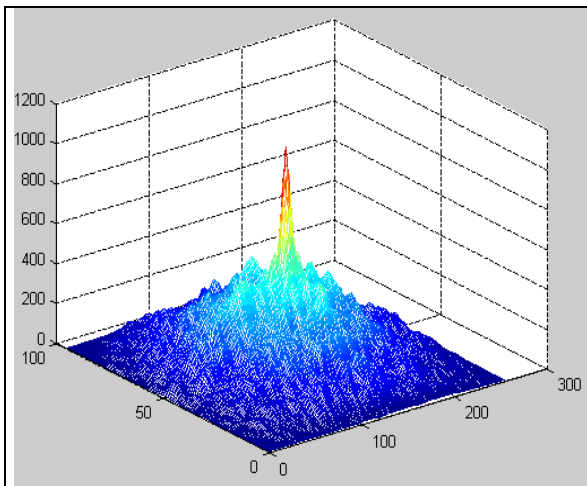


Figura 4-34 Correlación entre firmas de escala uno y cuatro
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

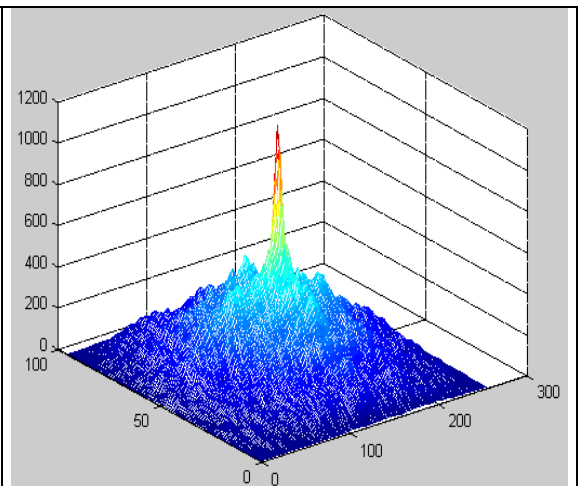


Figura 4-35 Correlación entre firmas de escala dos y cuatro
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

Como se aprecia, los resultados visuales de la correlación y los cuantificados mediante el PSR, se encuentran dentro del rango de valores que se consideran asociados a imágenes que poseen un alto grado de similitud.

Índice PSR de firmas digitales de un mismo globo ocular escalado

Tabla D-1. Índice PSR de códigos digitales de un mismo globo ocular escalado en una imagen sintética.

	Código Escala 1	Código Escala 2	Código Escala 3	Código Escala 4
Código Escala 1	20.96	10.1	10.21	10.62
Código Escala 2	10.1	17.50	12.06	10.80
Código Escala 3	10.21	12.06	17.32	12.04
Código Escala 4	10.62	10.80	12.04	23.49

4.5 Tiempo de operación.

El tiempo de operación del sistema de extracción de características biométricas, se puede considerar como un parámetro de calidad que indica el rendimiento del código programado. Evaluando así, la eficiencia y rapidez de respuesta del algoritmo cuando este es operado en distintas máquinas que poseen diversas cualidades en cuanto a una alta velocidad de procesamiento, un trabajo eficiente del sistema operativo, una capacidad de memoria optima y por ende un sostenimiento de la plataforma.

Dicho tiempo, se evalúa desde el momento en que se llama el registro ocular de la carpeta de la base de datos, hasta que se binariza y se imprime la matriz de rasgos codificada. Este lapso de operación es aproximadamente de 55 segundos una vez operado el sistema de resultados y sirve como información para analizar y evaluar a futuro las mejoras en el proceso computacional, que puede tener el presente algoritmo, además de distinguir la configuración de la maquina en la cual se desempeña mejor.

Capítulo 5

Observaciones, Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Observaciones y conclusiones

- El desarrollar una máscara parabólica de tipo binario, con el fin de segmentar los párpados que se encuentran suprimiendo alguna sección del objeto de interés, genera un valor agregado en el procesado de la señal bidimensional. Esto se debe en primera instancia, a que la segmentación de los párpados del contorno circular del iris, permite la separación de los 360 grados que ofrece la textura del objeto, además de la explotación de la mayor cantidad de información posible presente en la imagen.

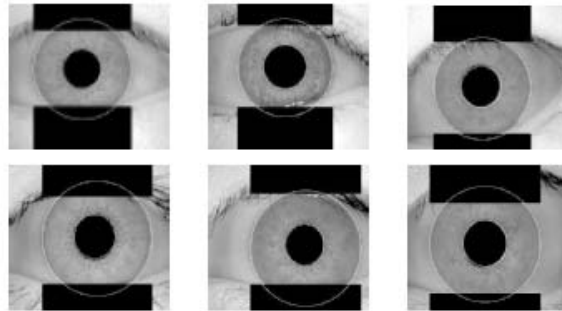


Figura 5-1 Segmentación rectangular de párpados
Fuente [13]

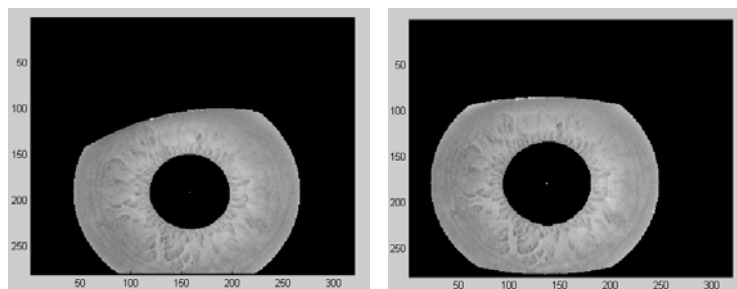


Figura 5-2 Segmentación parabólica de párpados
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

Por otra parte, si se extrae la totalidad de la periferia, el proceso de normalización genera una cinta representativa del iris completo, suministrando de esta manera uno de los primeros requisitos para que el sistema sea invariante a la rotación.

- El proceso de segmentación, proporcionó resultados que permitieron corroborar visualmente el comportamiento morfológico del globo ocular, entre ellos; se encuentra la dilatación asimétrica de la pupila causada por el control muscular y la no concentricidad de la periferia de ésta con respecto al radio superior del iris

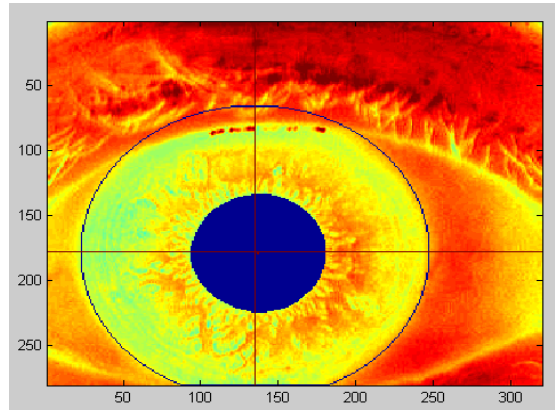


Figura 5-3 No concentricidad del iris respecto de la pupila
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

También se pudo apreciar la diferencia entre un margen completamente circular y el verdadero contorno de la pupila que suministra la imagen. Debido a esto, se considera eficiente dicho proceso de segmentación, ya que separa este objeto según su trazo real y no por medio de una circunferencia perfecta, la cual es su forma aproximada.

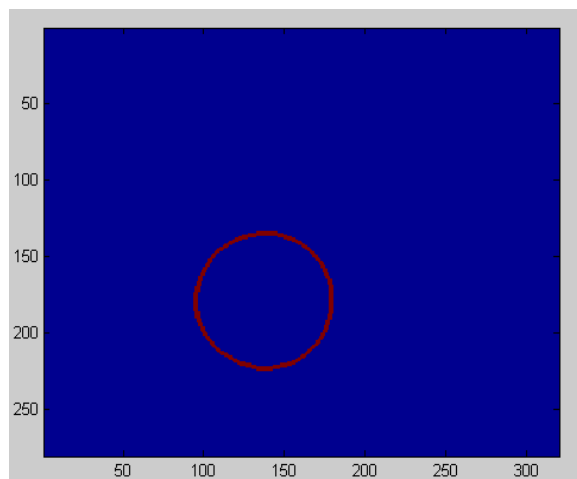


Figura 5-4 Periferia real no circular de la figura 5-3
Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano.

- El proceso de normalización de la señal, sirve para generar una imagen de dimensiones rectangulares únicas independiente del tamaño del iris del usuario, en este caso no importa el radio del contorno circular del tejido, el nuevo registro ubica la información en un área de 64 por 512 píxeles, sin importar la no concentricidad que posee la pupila con respecto al trazo superior que delimita la esclerótica.
- Con el fin de evitar alguna modificación significativa en la información, debido a la transformación de coordenadas que se efectúa en la normalización, tal como el estiramiento de los patrones del tejido causados por la variabilidad del radio del iris, se concatena una matriz nula a la imagen resultante del proceso de segmentación, para dejar el diámetro de la circunferencia exterior del objeto de interés constante y así poder tratar aún los registros cuyos contornos circulares de la esclerótica no se encuentran completos dentro del registro original tal como se aprecia en las figuras 4-2 y 4-40.

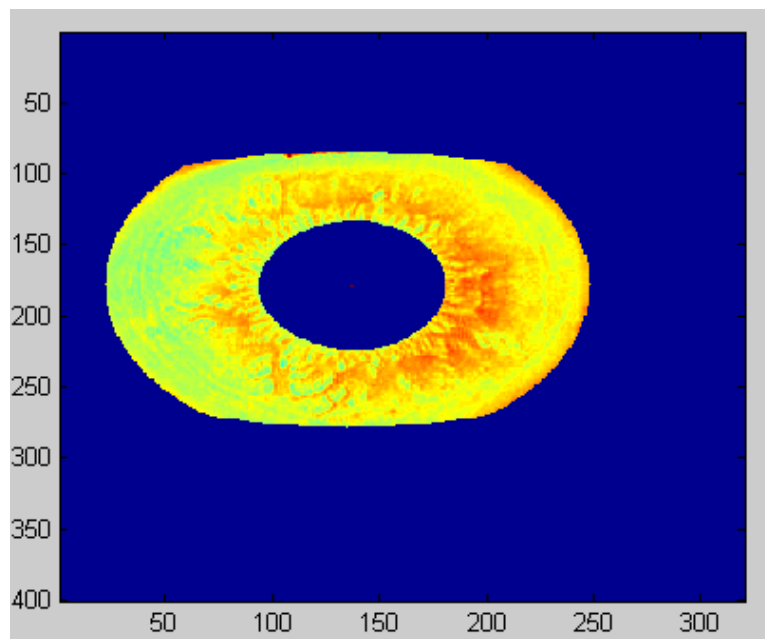


Figura 5-5 Imagen segmentada de la figura 5-3 concatenada con una matriz nula

Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano

- Igualar el histograma de la imagen normalizada, permite distribuir los niveles de grises presentes en el registro, aumentando el contraste local y por ende acentuando de esta manera los detalles y patrones significativos del tejido a trabajar.

En síntesis, dicho tratamiento del histograma del registro, se puede considerar como un preprocesado de la señal antes del filtrado, el cual es fundamental para la elaboración de la matriz extracción de las características.

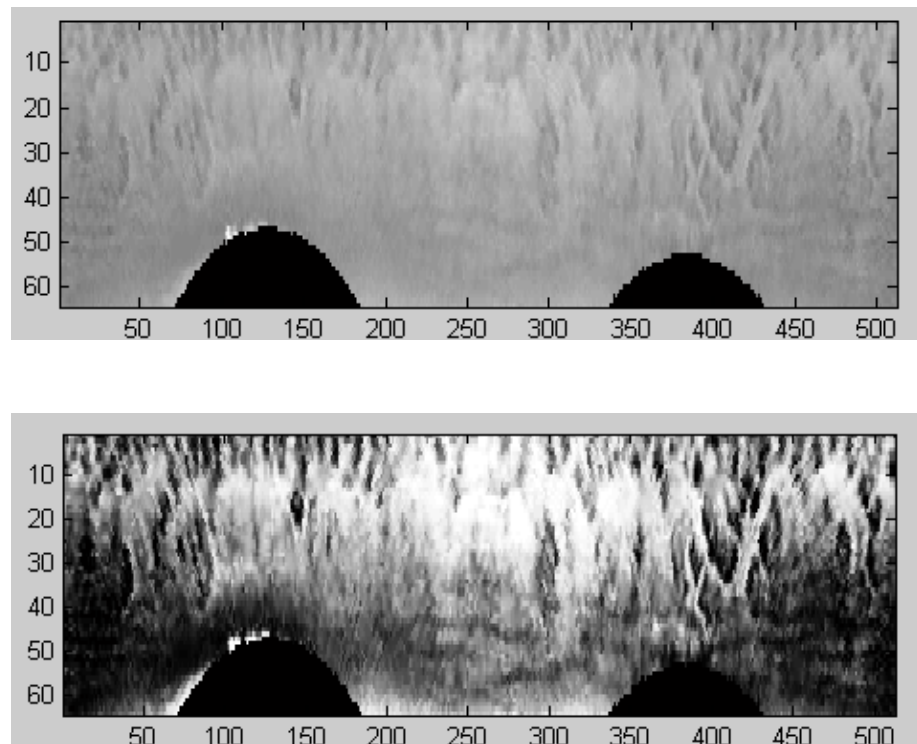


Figura 5-6 Imágenes, Original e igualada en el histograma de la figura 5-3.

Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano

- Se hizo evidente la relación que tiene la traslación del pico de correlación con respecto al giro de la imagen original, es decir, debido al proceso de normalización que tiene el sistema, cualquier tipo de rotación que exista en el iris del registro original, se observará como un movimiento lateral del tejido en la señal bidimensional normalizada, en coordenadas polares rectangulares. dicha traslación es cuantificada en la tabla D-2 del anexo D y oscila entre valores de distancia casi proporcionales.

- En la etapa de filtrado no se aplicó la máscara de Gabor 2D en la orientación de 0 grados, debido los efectos de doble borde horizontales que se generan a causa de los cambios bruscos de intensidad, presentes en las cercanías de los semicírculos de los párpados segmentados, dicho efecto distorsiona en gran medida la información cercana a estas zonas, tal y como se indica en la figura siguiente.

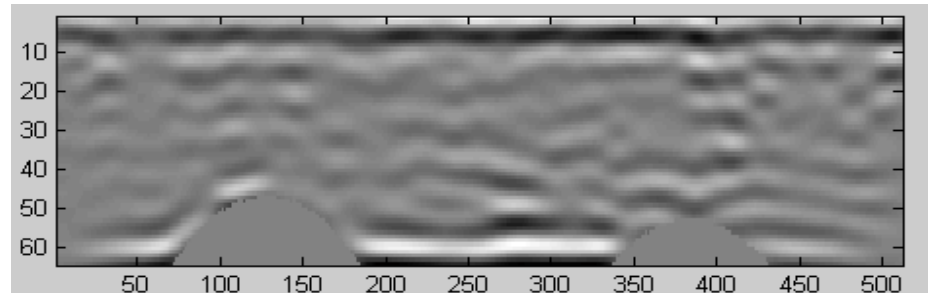


Figura 5-7 Filtrado de la señal con una máscara de Gabor 2D con orientación de 0 grados de la figura 5-6.

Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano

- La orientación, frecuencia y varianza de las máscaras de los filtros de Gabor 2D, son parámetros determinantes llegado el momento de extraer los diversos patrones característicos del usuario.

La orientación le indica al sistema, que direcciones se van a discriminar y cuales se van a considerar significativas dentro de la textura normalizada del iris.

En los resultados esto se puede apreciar como los rasgos que resaltan en un único sentido.

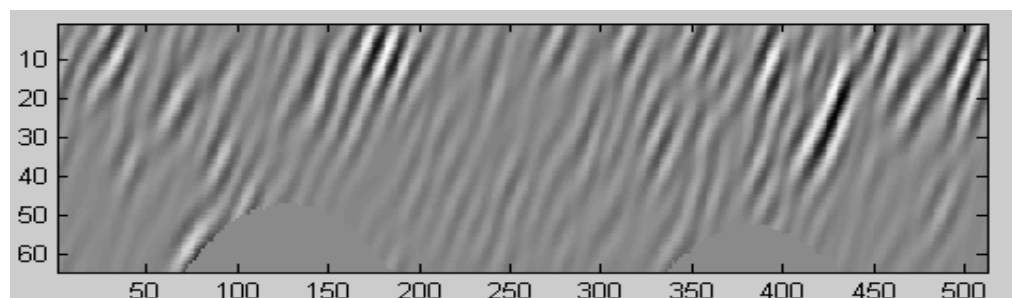


Figura 5-8 Filtrado de la señal con una máscara Gabor 2D con orientación de 45 grados de la figura 5-6.

Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano

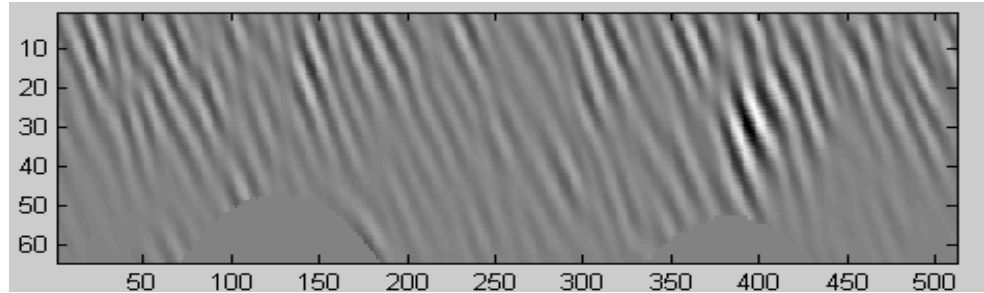


Figura 5-9 Filtrado de la señal con una máscara Gabor 2D con orientación de -45 grados de la figura 5-6.

Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano

La frecuencia es uno de los parámetros más sensibles dentro de la etapa de filtrado, esta indica con qué periodicidad van a resaltar los cambios significativos propios de la imagen.

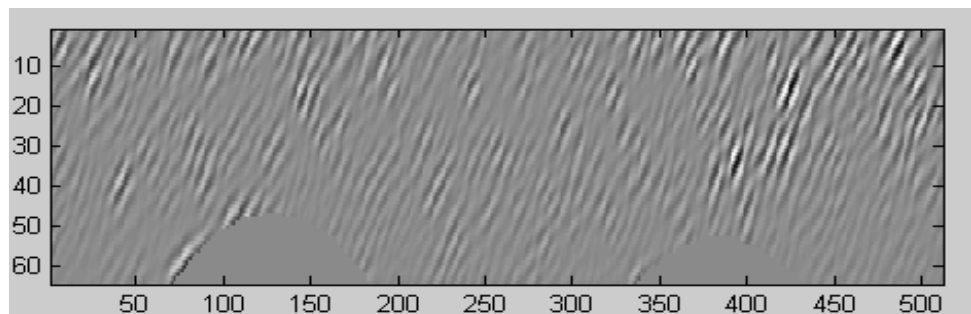


Figura 5-10 Filtrado al doble de frecuencia de la figura 5-6.

Fuente : Sistema extracción de características basadas en patrones del iris humano

Ahora, el cambio de cualquiera de estos parámetros afecta de manera trascendental la matriz de rasgos característicos. Una modificación significativa en la frecuencia altera bruscamente la sensibilidad del algoritmo, si la frecuencia es baja lo vuelve demasiado robusto y todos los rasgos que extrae deben ser entonces muy pronunciados, en caso contrario si es alta, cualquier ínfimo cambio de intensidad que ocurra en la imagen será resaltado.

En síntesis; la etapa de filtrado del algoritmo de extracción de características, se deja abierta en todas estas variables, con el fin de adaptarse a las necesidades de la sección de adaptación o comparación, en vistas al acoplamiento ya a un sistema global de identificación o verificación biométrica.

Cabe resaltar, que con el objetivo de analizar los resultados del algoritmo se tomaron las anteriores cantidades según diversas publicaciones existentes sobre esta temática y posteriormente a prueba y error, se logró cuantificar de manera óptima un rango empírico para estas variables, el cual oscila entre un intervalo de 0.5 a 0.8 para la varianza, y de 0.1 a 0.2 para la frecuencia.

- La dimensión de la matriz de rasgos característicos se generó a partir de la relación que existe entre el tamaño y el número de casillas en la cual se dividió la imagen filtrada.

Cada casilla en este caso, consta de un área de 4 por 4 píxeles, la cual es posteriormente aplicada al promedio de desviación absoluta para cuantificar la matriz de cualidades biométricas. Sin embargo este tamaño también afecta de manera razonable el registro de características.

Esto posee implicaciones de beneficio-costos, ya que si se aumenta el área de la casilla, se puede compactar más la información logrando reducir el tamaño de la firma digital, sin embargo esto conlleva a tomar más píxeles de distintos valores en la región y si la frecuencia de filtrado no está acorde con respecto al grosor de esta sección, entonces se produce una muy baja o muy alta tasa de variabilidad de intensidades en espacio muy pequeño, lo cual perjudica en el momento de establecer un umbral para el proceso de codificación.

- Existen distintas maneras para expresar la secuencia digital de características biométricas del usuario. En este caso se utilizó un registro matricial para efectos de visualización (figura 3-23), pero se puede expresar como un registro vectorial en diversas bases, por ejemplo un código hexa, octal o binario.

Por otra parte, el sólo hecho de segmentar los párpados permite generar una firma de tres estados diferentes, logrando así diferenciar lo que es la ausencia de información, de lo que se considera como los datos que se encuentran por debajo del umbral discriminatorio en la matriz de rasgos característicos.

- El sistema de extracción de características biométricas produce una firma digital que posee un tamaño de 6144 bytes de información, si se compara este valor con el de la imagen segmentada el cual es de 262144 bytes, se logra apreciar la notable compresión de los datos sobresalientes característicos del usuario. Esto permite cuantificar también, un factor de calidad en la respuesta que proporciona el algoritmo, en cuanto a la

eficiencia con la cual este comprime la suficiente información para clasificar un personaje en la etapa de adaptación.

- Desde un punto de vista general, se tiende a creer que un sistema de extracción de características biométricas, suministra una firma digital única para un usuario sin importar cuantas veces lo registren. En realidad si esto fuese cierto, no se necesitaría de complejos algoritmos de comparación como distancias Euclidianas o de Hamming, para dar algún tipo de sentencia de reconocimiento o de verificación.

Lo que en realidad sucede es que para todo registro diferente (sin importar que sea del mismo globo ocular), el sistema suministra una firma digital diferente, lo que la hace clasificatoria de un usuario, son los patrones codificados inmersos en la imagen los cuales, pueden estar trasladados en cualquier dirección y es competencia de la etapa de adaptación cuantificar por medio de su algoritmo algún tipo de clasificación o de verificación. En resumen se trata de un problema estadístico, donde cada registro corresponde a una realización particular.

- Los resultados de la correlación de las secuencias digitales y los cuantificados mediante el PSR, se utilizan para interpretar el grado de similitud de las firmas producidas por el sistema de extracción de características biométricas. Más no se considera como un parámetro clasificatorio de verificación o de identificación. Esta medida se cuantificó con el fin de evaluar la calidad de respuesta que suministra el algoritmo, frente a las diversas condiciones que se pueden presentar en la captura del registro de los usuarios.
- Se cuantificaron las cantidades que indican semejanzas entre los códigos. En este caso el 80 % de los distintos valores capturados en las tablas del anexo B del PSR son mayores a 6 y son correlaciones que se hicieron entre firmas del mismo usuario. En caso contrario el 90% de los datos que se encuentran en la tabla del anexo C, están por debajo de 4 y representan esta última operación efectuada entre firmas de distintos personajes.
- Se confrontaron los resultados del PSR con la teoría morfológica del iris, permitiendo corroborar el alto grado de independencia que tienen los dos globos oculares de un mismo usuario. La aleatoriedad de ambos tejidos suministra patrones completamente diferentes que posteriormente son codificados y correlacionados entre si, arrojando un PSR distintivo de señales con poca similitud.

Sin embargo, es valioso destacar que empresas como *Panasonic* y *Oki* diseñaron un sistema de identificación para explotar dicha característica, el cual consta de dos sensores que capturan simultáneamente los dos globos oculares del usuario, aumentando la selectividad y disminuyendo la tasa de falsa aceptación.

- El tiempo de operación del sistema varia según las cualidades de cada equipo donde el algoritmo es ejecutado, ya que a mayores prestaciones de la máquina mayor velocidad de procesamiento y acceso a memoria.

Por otra parte como se mencionó con anterioridad, el tiempo de respuesta del sistema es de 55 segundos en un equipo de 256 Mbytes de RAM y un procesador de 2,8 GHz . Este lapso no incluye el proceso de evaluación mediante PSR.

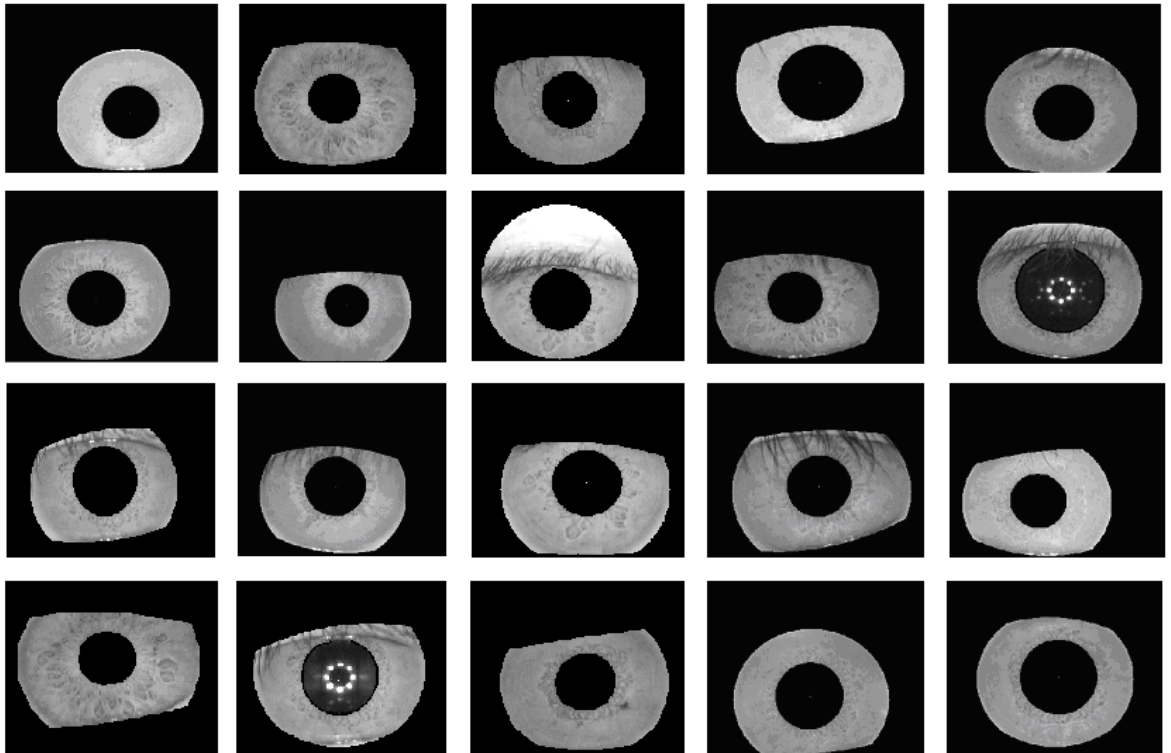
5.2 Recomendaciones

- Se sugiere realizar estudios y comparaciones entre los distintos métodos de segmentación, normalización, filtrado y codificación inmersos en la temática y expuestos en la academia. Esto con el fin de evaluar los desempeños y determinar las ventajas y desventajas que proporcionan cada uno, en su respectivo campo.
- Antes de trasladar el código del sistema de extracción de características biométricas al módulo de adaptación, se recomienda montar una etapa de procesado para la firma digital, con el objetivo de encriptar la información de la secuencia y volver mas selectivo al proceso de identificación.

Anexos

Anexo A

Diversos eventos en el proceso de segmentación



Anexo B

Código de programación del sistema de extracción de características biométricas basadas en patrones del iris humano

```

clear all
imag1=double(imread('S1045R08.jpg'))/255;
%imag1=double(imread('1_75a-30.jpg'))/255;
%imag1= double(rgb2gray(imag1));
%imag1=double(imread('010_2_1.bmp'))/255;
figure(1),imagesc(imag1);
imag4=imag1;
imag2=imag4;
%imag2=rgb2gray(imag1);
figure(2),imagesc(imag2);
tam=size(imag2);
imag3=imag2;
figure(3),imhist(imag2);
[cul,ex1]=imhist(imag2);
% cul= columna que dice la cantidad de veces que se repite la
intensidad
% ex1= columna que dice la intensidad
[cont1]=find(ex1 '< 0.3'); %determina la cantidad de niveles de grises
que existen por debajo de este umbral

vec1=cul(1:length(cont1))';
contal=1;
for k=3:length(vec1)-2
    if vec1(k)-vec1(k-1)>=0 & vec1(k)-vec1(k-2)>=0
        if vec1(k)-vec1(k+1)>=0 & vec1(k)-vec1(k+2)>=0
            pos1(contal)=k;
            contal = contal + 1;
        end
    end
end
medial=mean(vec1);
vec3=vec1(pos1);
gon=1;
for i=1:length(vec3)
    if vec3(i)>medial
        pos21(gon)=max(find(vec1==vec3(i)));
        gon=gon+1;
    end
end
posmod=min(pos21);
modal=vec1(min(pos21));%moda

var1=var(ex1(1:length(cont1)));

[fil,col,val]=find(imag2<ex1(posmod+35)+1*sqrt(var1));
fil=fil';
col=col';
val=val';
for i=1:length(col);
    imag3(fil(i),col(i))=0;
end
figure(4), imagesc(imag3);
for i=1:tam(1) %y

```

```

    for j=1:tam(2) %x
        if imag3(i,j)>0
            imag3(i,j)=0;

            else
                imag3(i,j)=1;
            end
        end
    end
end

figure(5), imagesc(imag3);
imag3(:,1:40)=0;
imag3(1:30,:)=0;
imag3(:,300:320)=0;
imag3(260:280,:)=0;
imag5 = imfill(imag3,'holes');%quito huecos
figure(6), imagesc(imag5);
imag6=(~imag5).*imag1;
figure(7), imagesc(imag6);
imag7 = bwareaopen(imag5,1000);

for i=2:tam(1)-1 %y
    for j=2:tam(2)-1 %x
        if imag7(i,j)==1
            if imag2(i,j)>0.4
                imag2(i,j)=0;
            end
        end
    end
end

figure(8),imagesc(imag7);
figure(9),imagesc(~imag7.*imag1);

SE = strel('disk',5,8);
SE1 = strel('disk',10,8);
imag12 = imerode(imag7,SE,'same');
imag13 = imdilate(imag12,SE1,'same');
[B,L,N,A] = bwboundaries(imag13,'noholes');
imag14=imag13;
u=1;
while N>1
    imag14 = bwareaopen(imag14,u*500);
    [B,L,N,A] = bwboundaries(imag14,'noholes');
    u=u+1;
end
figure(10),imagesc(imag12);
imag16=~imag14.*imag1;
figure(11),imagesc(imag13);
figure(12),imagesc(imag14);
figure(13),imagesc(imag16);

figure(14),imagesc(imag2)

gx=5.*[1 1 1; 0 0 0; -1 -1 -1];
gy=5.*[1 0 -1;1 0 -1;1 0 -1];
gtot=abs(gx)+abs(gy);
imag17=filter2(gtot,imag1);

```

```

figure(18),imagesc(imag17)
level = graythresh(imag17);
imag18= edge(imag17, 'canny',0.3);
imag18=imag18.*imag14;
imag18 = bwareaopen(imag18,100);
figure(19),imagesc(imag18)
SE2 = strel('disk',1);
imag18 = imdilate(imag18,SE2);
figure(19),imagesc(imag18)
imag19 = imfill(imag18,'holes');
cent = regionprops(double(imag19),'Centroid');
cent1=double(uint16(cent.Centroid));
imag19 = bwareaopen(imag19,100);
imag20=~imag19.*imag4;
imag20(cent1(2),cent1(1))=1;

figure(20),imagesc(imag19)
figure(21),imagesc(imag20)
[cu2,ex2]=imhist(imag20);
figure(23), imhist(imag20);
imag22=imag20;
imag22(cent1(2),:)=1;
imag22(:,cent1(1))=1;
figure(24), imagesc(imag22);
h2 = fspecial('disk',4);
do=filter2(h2,imag20);
imag23= edge(do, 'canny');
imag23(276:280,:)=0;
imag23(:,1:7)=0;
imag23(1:10,:)=0;
imag23(:,314:320)=0;
figure(25),imagesc(imag23);
imag24 = bwareaopen(imag23,100);
imag24(cent1(2),cent1(1))=1;
imag24_1=imag24;
imag24(cent1(2),:)=1;
imag24(:,cent1(1))=1;

imag24_1 = imfill(imag24_1,'holes');
imag24_1 = bwareaopen(imag24_1,1000);

figure(26),imagesc(imag24_1);
figure(26),imagesc(imag24);
for i=1:tam(1)
    for j=1:tam(2)
        circ=sqrt((j-cent1(1)).^2+(i-cent1(2)).^2);
        if circ<125
            imag24_1(i,j)=1;
        else
            imag24_1(i,j)=0;
        end
    end
end

figure(27),imagesc(imag24_1);
imag25=imag24_1.*(imag20);
figure(27),imagesc(imag25)
imag25=medfilt2(imag25,[5 5]);

```

```

a=1;
a1=1;
a2=1;
a3=1;
a4=1;
a5=1;
for i=1:6
    h2 = fspecial('disk',i);
    dol=filter2(h2,imag25);
    hl = fspecial('gaussian',[9 9],50);
    dol=filter2(hl,dol);
    figure(28),imagesc(dol);
    imag26= edge(dol,'canny');
    [pos2]=find(imag26(cent1(2),:)==1);
    [pos3]=find(imag26(cent1(2)-30,:)==1);
    %[pos4]=find(imag26(cent1(2)+30,:)==1);
    [pos5]=find(imag26(cent1(2)-20,:)==1);
    [pos6]=find(imag26(cent1(2)+20,:)==1);
    [pos7]=find(imag26(cent1(2)-10,:)==1);
    [pos8]=find(imag26(cent1(2)+10,:)==1);
    [pos9]=find(imag26(1:cent1(2),cent1(1))==1);
    cort_parsup(i)=pos9(length(pos9)-1);
    band1=~zeros(1,6);
    band2=~zeros(1,6);
    crit_izq=[pos3(2) pos5(2) pos7(2) pos2(2) pos8(2) pos6(2)];
    crit_der=[pos3(length(pos3)-1) pos5(length(pos5)-1)
    pos7(length(pos7)-1) pos2(length(pos2)-1) pos8(length(pos8)-1)
    pos6(length(pos6)-1)];
    [posa]=find(crit_izq<median(crit_izq)-10
|crit_izq>median(crit_izq)+10);
    [posb]=find(crit_der<median(crit_der)-10
|crit_der>median(crit_der)+10);
    band1(posa)=0;
    band2(posb)=0;
    if band1(1)==1 & band2(1)==1
        cort_izq(a3)=pos3(2);
        cort_dere(a3)=pos3(length(pos3)-1);
        a3=a3+1;
    end
    if band1(2)==1 & band2(2)==1
        cort_izq_2(a)=pos5(2);
        cort_dere_2(a)=pos5(length(pos5)-1);
        a=a+1;
    end
    if band1(3)==1 & band2(3)==1
        cort_izq_4(a1)=pos7(2);
        cort_dere_4(a1)=pos7(length(pos7)-1);
        a1=a1+1;
    end
    if band1(4)==1 & band2(4)==1
        cort_izq_0(a2)=pos2(2);
        cort_dere_0(a2)=pos2(length(pos2)-1);
        a2=a2+1;
    end
    if band1(5)==1 & band2(5)==1
        cort_izq_5(a4)=pos8(2);
        cort_dere_5(a4)=pos8(length(pos8)-1);
        a4=a4+1;
    end
end

```

```

if band1(6)==1 & band2(6)==1
    cort_izq_3(a5)=pos6(2);
    cort_dere_3(a5)=pos6(length(pos6)-1);
    a5=a5+1;
end
end

imag26(cent1(2)-30,:)=1;
imag26(cent1(2)-20,:)=1;
imag26(cent1(2)-10,:)=1;
imag26(cent1(2),:)=1;
imag26(cent1(2)+10,:)=1;
imag26(cent1(2)+20,:)=1;
figure(29),imagesc(imag26)
if a3>2
u1=find( mean(cort_izq)-std(cort_izq)<=cort_izq & cort_izq <=
mean(cort_izq)+std(cort_izq));
u2=find(mean(cort_dere)-std(cort_dere)<=cort_dere & cort_dere<=
mean(cort_dere)+std(cort_dere));
[dat01,frec1]=moda(cort_izq(u1));%-30
[dat02,frec2]=moda(cort_dere(u2));%-30
end
if a>2
u5=find( mean(cort_izq_2)-std(cort_izq_2)<=cort_izq_2 & cort_izq_2<=
mean(cort_izq_2)+std(cort_izq_2));
u6=find(mean(cort_dere_2)-std(cort_dere_2)<=cort_dere_2 &
cort_dere_2<= mean(cort_dere_2)+std(cort_dere_2));
[dat05,frec5]=moda(cort_izq_2(u5));%-20
[dat06,frec6]=moda(cort_dere_2(u6));%-20
end
if a5>2
u7=find( mean(cort_izq_3)-std(cort_izq_3)<=cort_izq_3 & cort_izq_3<=
mean(cort_izq_3)+std(cort_izq_3));
u8=find(mean(cort_dere_3)-std(cort_dere_3)<=cort_dere_3 &
cort_dere_3<= mean(cort_dere_3)+std(cort_dere_3));
[dat07,frec7]=moda(cort_izq_3(u7));%+20
[dat08,frec8]=moda(cort_dere_3(u8));%+20
end
if a2>2
u9=find( mean(cort_izq_0)-std(cort_izq_0)<=cort_izq_0 & cort_izq_0<=
mean(cort_izq_0)+std(cort_izq_0));
u10=find(mean(cort_dere_0)-std(cort_dere_0)<=cort_dere_0 &
cort_dere_0<= mean(cort_dere_0)+std(cort_dere_0));
[dat09,frec9]=moda(cort_izq_0(u9));%0
[dat10,frec10]=moda(cort_dere_0(u10));%0
end
if a1>2
u11=find( mean(cort_izq_4)-std(cort_izq_4)<=cort_izq_4 & cort_izq_4<=
mean(cort_izq_4)+std(cort_izq_4));
u12=find(mean(cort_dere_4)-std(cort_dere_4)<=cort_dere_4 &
cort_dere_4<= mean(cort_dere_4)+std(cort_dere_4));
[dat011,frec11]=moda(cort_izq_4(u11));%-10
[dat012,frec12]=moda(cort_dere_4(u12));%-10
end
if a4>2
u13=find( mean(cort_izq_5)-std(cort_izq_5)<=cort_izq_5 & cort_izq_5<=
mean(cort_izq_5)+std(cort_izq_5));
u14=find(mean(cort_dere_5)-std(cort_dere_5)<=cort_dere_5 &
cort_dere_5<= mean(cort_dere_5)+std(cort_dere_5));

```

```

[datol3,frec13]=moda(cort_izq_5(u13));%+10
[datol4,frec14]=moda(cort_dere_5(u14));%+10
end
if a>2 & a5>2
cent_cir2=rref([-2*dato5+2*dato8) (2*(cent1(2)+20)-2*(cent1(2)-20))
(-dato5^2 -(cent1(2)-20)^2+dato8^2+(cent1(2)+20)^2); (-
2*dato7+2*dato6) (-2*(cent1(2)+20)+2*(cent1(2)-20)) (-dato7^2-
(cent1(2)+20)^2+dato6^2+((cent1(2)-20)^2))]);
cent_cirx(1)=(cent_cir2(1,3));
cent_ciry(1)=(cent_cir2(2,3));
end
if a5>2 & a3>2
cent_cir3=rref([-2*datol1+2*dato8) (2*(cent1(2)+20)-2*(cent1(2)-30))
(-datol1^2 -(cent1(2)-30)^2+dato8^2+(cent1(2)+20)^2); (-
2*dato7+2*dato2) (-2*(cent1(2)+20)+2*(cent1(2)-30)) (-dato7^2-
(cent1(2)+20)^2+dato2^2+((cent1(2)-30)^2))]);
cent_cirx(2)=(cent_cir3(1,3));
cent_ciry(2)=(cent_cir3(2,3));
end
if a2>2 & a3>2
cent_cir5=rref([-2*datol1+2*datol10) (2*(cent1(2))-2*(cent1(2)-30)) (-
datol1^2 -(cent1(2)-30)^2+datol10^2+(cent1(2))^2); (-2*dato9+2*dato2) (-
2*(cent1(2))+2*(cent1(2)-30)) (-dato9^2-
(cent1(2)+0)^2+dato2^2+((cent1(2)-30)^2))]);
cent_cirx(3)=(cent_cir5(1,3));
cent_ciry(3)=(cent_cir5(2,3));
end
if a>2 & a2>2
cent_cir7=rref([-2*dato5+2*datol10) (2*(cent1(2))-2*(cent1(2)-20)) (-
dato5^2 -(cent1(2)-20)^2+datol10^2+(cent1(2))^2); (-2*dato9+2*dato6) (-
2*(cent1(2))+2*(cent1(2)-20)) (-dato9^2-
(cent1(2)+0)^2+dato6^2+((cent1(2)-20)^2))]);
cent_cirx(4)=(cent_cir7(1,3));
cent_ciry(4)=(cent_cir7(2,3));
end
if a5>2 & a2>2
cent_cir8=rref([-2*dato7+2*datol10) (2*(cent1(2))-2*(cent1(2)+20)) (-
dato7^2 -(cent1(2)+20)^2+datol10^2+(cent1(2))^2); (-2*dato9+2*dato8) (-
2*(cent1(2))+2*(cent1(2)+20)) (-dato9^2-
(cent1(2)+0)^2+dato8^2+((cent1(2)+20)^2))]);
cent_cirx(5)=(cent_cir8(1,3));
cent_ciry(5)=(cent_cir8(2,3));
end
if a1>2 & a4>2
cent_cir9=rref([-2*datol11+2*datol14) (2*(cent1(2)+10)-2*(cent1(2)-10))
(-datol11^2 -(cent1(2)-10)^2+datol14^2+(cent1(2)+10)^2); (-
2*datol13+2*datol12) (-2*(cent1(2)+10)+2*(cent1(2)-10)) (-datol13^2-
(cent1(2)+10)^2+datol12^2+((cent1(2)-10)^2))]);
cent_cirx(6)=(cent_cir9(1,3));
cent_ciry(6)=(cent_cir9(2,3));
end
if a1>2 & a5>2
cent_cir10=rref([-2*datol11+2*dato8) (2*(cent1(2)+20)-2*(cent1(2)-10))
(-datol11^2 -(cent1(2)-10)^2+dato8^2+(cent1(2)+20)^2); (-
2*dato7+2*datol12) (-2*(cent1(2)+20)+2*(cent1(2)-10)) (-dato7^2-
(cent1(2)+20)^2+dato12^2+((cent1(2)-10)^2))]);
cent_cirx(7)=(cent_cir10(1,3));
cent_ciry(7)=(cent_cir10(2,3));
end

```

```

if a4>2 & a>2
cent_cir11=rref([-2*datol3+2*datol6) (2*(cent1(2)-20)-2*(cent1(2)+10))
(-datol3^2 -(cent1(2)+10)^2+datol6^2+(cent1(2)-20)^2); (-
2*datol5+2*datol4) (-2*(cent1(2)-20)+2*(cent1(2)+10)) (-datol5^2-
(cent1(2)-20)^2+datol4^2+((cent1(2)+10)^2))]);
cent_cirx(8)=(cent_cir11(1,3));
cent_ciry(8)=(cent_cir11(2,3));
end
if a3>2 & a4>2
cent_cir12=rref([-2*datol1+2*datol4) (2*(cent1(2)+10)-2*(cent1(2)-30))
(-datol1^2 -(cent1(2)-30)^2+datol4^2+(cent1(2)+10)^2); (-
2*datol3+2*datol2) (-2*(cent1(2)+10)+2*(cent1(2)-30)) (-datol3^2-
(cent1(2)+10)^2+datol2^2+((cent1(2)-30)^2))]);
cent_cirx(9)=(cent_cir12(1,3));
cent_ciry(9)=(cent_cir12(2,3));
end

cent_cirx=cent_cirx(find(cent_cirx>0));
cent_ciry=cent_ciry(find(cent_ciry>0));

cent_cirx=double(uint16(cent_cirx));
cent_ciry=double(uint16(cent_ciry));
[cent_cirxtot,frec_cirx]=moda(cent_cirx);
[cent_cirytot,frec_ciry]=moda(cent_ciry);

cent_cirx_t=cent_cirxtot;
cent_ciry_t=cent_cirytot;

if a>2
rad_ir_(1)=sqrt((dato5-cent_cirx_t)^2+((cent1(2)-20)-cent_ciry_t)^2);
end
if a3>2
rad_ir_(2)=sqrt((datol1-cent_cirx_t)^2+((cent1(2)-30)-cent_ciry_t)^2);
end
if a5>2
rad_ir_(3)=sqrt((dato7-cent_cirx_t)^2+((cent1(2)+20)-cent_ciry_t)^2);
end
if a2>2
rad_ir_(4)=sqrt((dato9-cent_cirx_t)^2+((cent1(2)-0)-cent_ciry_t)^2);
end
if a>12
rad_ir_(5)=sqrt((datol11-cent_cirx_t)^2+((cent1(2)-10)-cent_ciry_t)^2);
end
if a4>2
rad_ir_(6)=sqrt((datol13-cent_cirx_t)^2+((cent1(2)+10)-cent_ciry_t)^2);
end
if a5>2
rad_ir_(8)=sqrt((dato8-cent_cirx_t)^2+((cent1(2)+20)-cent_ciry_t)^2);
end
if a>2
rad_ir_(9)=sqrt((dato6-cent_cirx_t)^2+((cent1(2)-20)-cent_ciry_t)^2);
end
if a2>2
rad_ir_(10)=sqrt((datol10-cent_cirx_t)^2+((cent1(2)-0)-cent_ciry_t)^2);
end
if a4>2
rad_ir_(11)=sqrt((datol14-cent_cirx_t)^2+((cent1(2)+10)-
cent_ciry_t)^2);
end
end

```

```

if a3>2
rad_ir_(12)=sqrt((dato2-cent_cirx_t)^2+((cent1(2)-30)-cent_ciry_t)^2);
end
rad_ir_=rad_ir_(find(rad_ir_>0));
[rad_ir,frec_rad]=moda(uint16(rad_ir_));
cent2(1)=cent_cirx_t;
cent2(2)=cent_ciry_t;
for i=1:tam(1)
    for j=1:tam(2)
        circ=sqrt((j-cent2(1)).^2+(i-cent2(2)).^2);
        if circ<=rad_ir
            imag24(i,j)=1;
        else
            imag24(i,j)=0;
        end
    end
end
imag27=imag24.*imag20;
imag28= bwmorph(imag24,'remove');
imag29=~imag28.*imag20;
cent2=double(uint16(cent2));
imag29(cent2(2),:)=1;
imag29(:,cent2(1))=1;
imag29_1=imag29.*(imag24_1);
figure(30),imagesc(imag27);
figure(31),imagesc(imag29);
imag30=bwmorph(imag24,'remove');
imag30a=bwmorph(imag19,'remove');
[fil30,col30]=find(imag30==1);
[diam_pup]=find(imag30a(cent1(2),:)==1);
for i=1:length(fil30)
    angu(i)=atan2((fil30(i)-cent2(2)),(col30(i)-cent2(1)));
    rad_ir1(i)=(sqrt((col30(i)-cent2(1)).^2+(fil30(i)-cent2(2)).^2));
end
rad_pup=double(uint16((diam_pup(2)-diam_pup(1))/2)+4);
rad_ir=double(rad_ir);
imag31=imag27;
imag31(:,:)=0;
imag33=histeq(imag4);
figure(35),imagesc(imag33)
SE1 = strel('disk',20,8);
imag13 = imdilate(imag12,SE1,'same');
%-- sensado parapado inf
    imag34=filter2(h1,imag27);
    imag34=5*imag27-imag34;
figure(42),imagesc(edge(imag34,'canny',0.2));
imag36=bwareaopen((edge(imag34,'canny',0.2).*(~imag19))|imag28,50);
imag36=bwareaopen(imag36.*~imag13,50);
[fil1]=find(imag36(cent2(2):tam(1),cent2(1))==1);
[fil2]=find(imag36(cent2(2):tam(1),cent2(1)+25)==1);
[fil3]=find(imag36(cent2(2):tam(1),cent2(1)-25)==1);
[fil4]=find(imag36(cent2(2):tam(1),cent2(1)+40)==1);
[fil5]=find(imag36(cent2(2):tam(1),cent2(1)-40)==1);
[fil6]=find(imag36(cent2(2):tam(1),cent2(1)+60)==1);
[fil7]=find(imag36(cent2(2):tam(1),cent2(1)-60)==1);
imag37=imag36;
imag36(:,:)=0;
imag38=imag36;
imag36(fil1(1)+cent2(2),cent2(1))=1;

```

```

imag36(fil2(1)+cent2(2),cent2(1)+25)=1;
imag36(fil3(1)+cent2(2),cent2(1)-25)=1;
imag36(fil4(1)+cent2(2),cent2(1)+40)=1;
imag36(fil5(1)+cent2(2),cent2(1)-40)=1;
imag36(fil6(1)+cent2(2),cent2(1)+60)=1;
imag36(fil7(1)+cent2(2),cent2(1)-60)=1;
if length(fill1)<=1
    fill1=fil2;
end
figure(36),imagesc(imag37)
if fill1(1)+cent2(2)==fil6(1)+cent2(2) &
    fil6(1)+cent2(2)==fil7(1)+cent2(2)
    imag38(fill1(1)+cent2(2)-1:tam(1),:)=1;
    imag38=~imag38;
else
w1=sym('w1');
w2=sym('w2');
w3=sym('w3');
ec1=char(((fil7(1)+cent2(2))-w1)-w2*((cent2(1)-60)-w3).^2);
ec2=char(((fil6(1)+cent2(2))-w1)-w2*((cent2(1)+60)-w3).^2);
ec3=char(((fill1(1)+cent2(2))-w1)-w2*((cent2(1))-w3).^2);
m=solve(ec1,ec2,ec3);
w1=double(m.w1);
w2=double(m.w2);
w3=double(m.w3);
for i=1:tam(1)
    for j=1:tam(2)
        if i<=w2*(j-w3).^2+(w1-3);
            imag38(i,j)=1;
        else
            imag38(i,j)=0;
        end
    end
end
end
figure(37),imagesc(imag38)
%--sensado parpado sup
[fil,col]=find(imag33<=0.4);
for i=1:length(fil)
    imag31(fil(i),col(i))=1;
end
[fill1]=find(imag31(:,cent2(1))==1);
[filla]=find(imag31(:,cent2(1)-2)==1);
[fillb]=find(imag31(:,cent2(1)+2)==1);
[fil2]=find(imag31(:,50)==1);
[fil2a]=find(imag31(:,48)==1);
[fil2b]=find(imag31(:,52)==1);
[fil6]=find(imag31(:,250)==1);
[fil6a]=find(imag31(:,248)==1);
[fil6b]=find(imag31(:,252)==1);
imag31(:,:)=0;

imag31(fill1(1),cent2(1))=1;
imag31(filla(1),cent2(1)-2)=1;
imag31(fillb(1),cent2(1)+2)=1;
imag31(fil2(1),50)=1;
imag31(fil2a(1),48)=1;
imag31(fil2b(1),52)=1;
imag31(fil6(1),250)=1;

```

```

imag31(fil6a(1),248)=1;
imag31(fil6b(1),252)=1;
figure(38),imagesc(imag31)
fil2(1)=mean([fil2b(1) fil2(1) fil2a(1)]);
fil6(1)=mean([fil6b(1) fil6(1) fil6a(1)]);
fill(1)=mean([fillb(1) fill(1) filla(1)]);
w1=sym('w1');
w2=sym('w2');
w3=sym('w3');
ec1=char(((fil2(1))-w1)-w2*((50-w3).^2);
ec2=char(((fil6(1))-w1)-w2*((250-w3).^2);
ec3=char(((fill(1))-w1)-w2*((cent2(1))-w3).^2);
m=solve(ec1,ec2,ec3);
w1=double(m.w1);
w2=double(m.w2);
w3=double(m.w3);
imag41=edge(imag27,'canny',0.1).*~imag13|imag30a;
imag41=bwareaopen(imag41,15);
[pos]=find(imag41(1:cent1(2),cent1(1))==1);
[pos1]=find(imag28(1:cent1(2),cent1(1))==1);
[pos2]=find(imag41(1:cent1(2),cent1(1)+2)==1);
[pos3]=find(imag41(1:cent1(2),cent1(1)-2)==1);
if length(pos)>1
cor_parp=uint16(mean([pos(length(pos)-1) pos2(length(pos2)-1)
pos3(length(pos3)-1)]));
else
cor_parp=uint16(mean([pos(length(pos)) pos2(length(pos2))
pos3(length(pos3))]));
end
if abs(cor_parp-pos1)<=6
cor_parp=cor_parp-20;
end
for i=1:tam(1)
for j=1:tam(2)
if i<=w2*(j-w3).^2+cor_parp+3
imag39(i,j)=1;
else
imag39(i,j)=0;
end
end
end
figure(39),imagesc(imag39)
imag40=imag27.*imag38.*(~imag39);
figure(40),imagesc(imag40)
imag39_1a= vertcat(imag40,zeros(120,tam(2)));
figure(41),imagesc(imag39_1a)
%Normalización
paso_rho=0:1/double(rad_ir-rad_pup):1;
for i=1:512
for j=1:64
ang=-pi+2*pi*i/512;
if i<=256
angul=angu(find(angul<=0));
rad_irla=rad_ir1(find(angul<=0));
angula=abs(abs(angul)-abs(ang));
[pos]=find(angula==min(angula));
x=uint16((cent1(1)+rad_pup*cos(ang))+((cent2(1)+(rad_ir-
2)*cos(ang))-(cent1(1)+rad_pup*cos(ang)))*j/64);

```

```

        y=uint16((cent1(2)+rad_pup*sin(ang))+((cent2(2)+(rad_ir-
2)*sin(ang))-(cent1(2)+rad_pup*sin(ang)))*j/64);
        imag27a(j,i)=imag39_la(y,x);
        else
            angul=angu(find(angul>0));
            rad_irla=rad_irl(find(angul>0));
            angula=abs(abs(angul)-abs(ang));
            [pos]=find(angula==min(angula));
            x=uint16((cent1(1)+rad_pup*cos(ang))+((cent2(1)+(rad_ir-
2)*cos(ang))-(cent1(1)+rad_pup*cos(ang)))*j/64);
            y=uint16((cent1(2)+rad_pup*sin(ang))+((cent2(2)+(rad_ir-
2)*sin(ang))-(cent1(2)+rad_pup*sin(ang)))*j/64);
            imag27a(j,i)=imag39_la(y,x);
        end

    end

end
figure(42),imagesc(imag27a);
clear j
imag27b=~zeros(64,512);
[fil,col]=find(imag27a<=0.1);
for i=1:length(fil)
    imag27b(fil(i),col(i))=0;
end
figure(43),imagesc(imag27b)
a2=1;
thet1=[pi/4 -pi/4 pi/2];
%Filtrado y codificación
while a2<=length(thet1)
    gama=0.5;
    f=0.2;
    a=61;
    b=61;
    thet=thet1(a2);
    for i=1:a
        for k=1:b

gau=(f.^2/(pi.*gama))*exp(-(f.^2*(((i-(a/2+0.5))*cos(thet)+(k-
(b/2+0.5))*sin(thet)).^2+(-(i-(a/2+0.5))*sin(thet)+(k-
(b/2+0.5))*cos(thet)).^2)))*exp(j*2*pi*f*(((i-(a/2+0.5))*cos(thet)+(k-
(b/2+0.5))*sin(thet))));
gabor_1=gau;
matgabo(i,k)=gabor_1;
        end
    end
end
figure(44),imagesc(abs(matgabo))
figure(45),imagesc(real(matgabo))
figure(46),imagesc(imag(matgabo))
ma=real(matgabo);
ma1=imag(matgabo);
imag44=histeq(imag27a);
imag45=filter2(ma,imag44).*imag27b;
imag46=filter2(ma1,imag44).*imag27b;
figure(47),imagesc(imag44)
figure(48),imagesc(imag45)
figure(49),imagesc(imag46)
imag48=double(~zeros(64,512));
imag49=double(~zeros(64,512));
for i=1:128

```

```

fil1=imag45(1:4,(i-1)*4+1:i*4);
code(1,i)=(1/16)*sum(sum(abs(fil1-mean(mean(imag45)))));

fil2=imag45(5:8,(i-1)*4+1:i*4);
code(2,i)=(1/16)*sum(sum(abs(fil2-mean(mean(imag45)))));

fil3=imag45(9:12,(i-1)*4+1:i*4);
code(3,i)=(1/16)*sum(sum(abs(fil3-mean(mean(imag45)))));

fil4=imag45(13:16,(i-1)*4+1:i*4);
code(4,i)=(1/16)*sum(sum(abs(fil4-mean(mean(imag45)))));

fil5=imag45(17:20,(i-1)*4+1:i*4);
code(5,i)=(1/16)*sum(sum(abs(fil5-mean(mean(imag45)))));

fil6=imag45(21:24,(i-1)*4+1:i*4);
code(6,i)=(1/16)*sum(sum(abs(fil6-mean(mean(imag45)))));

fil7=imag45(25:28,(i-1)*4+1:i*4);
code(7,i)=(1/16)*sum(sum(abs(fil7-mean(mean(imag45)))));

fil8=imag45(29:32,(i-1)*4+1:i*4);
code(8,i)=(1/16)*sum(sum(abs(fil8-mean(mean(imag45)))));

fil9=imag45(33:36,(i-1)*4+1:i*4);
code(9,i)=(1/16)*sum(sum(abs(fil9-mean(mean(imag45)))));

fil10=imag45(37:40,(i-1)*4+1:i*4);
code(10,i)=(1/16)*sum(sum(abs(fil10-mean(mean(imag45)))));

fil11=imag45(41:44,(i-1)*4+1:i*4);
code(11,i)=(1/16)*sum(sum(abs(fil11-mean(mean(imag45)))));

fil12=imag45(45:48,(i-1)*4+1:i*4);
code(12,i)=(1/16)*sum(sum(abs(fil12-mean(mean(imag45)))));

fil13=imag45(49:52,(i-1)*4+1:i*4);
code(13,i)=(1/16)*sum(sum(abs(fil13-mean(mean(imag45)))));

fil14=imag45(53:56,(i-1)*4+1:i*4);
code(14,i)=(1/16)*sum(sum(abs(fil14-mean(mean(imag45)))));

fil15=imag45(57:60,(i-1)*4+1:i*4);
code(15,i)=(1/16)*sum(sum(abs(fil15-mean(mean(imag45)))));

fil16=imag45(61:64,(i-1)*4+1:i*4);
code(16,i)=(1/16)*sum(sum(abs(fil16-mean(mean(imag45)))));
end
code1=code;
code2=zeros(16,128);
figure(56),imagesc(code1)
a1=mean(code');
a3=mean(code);
code2a=code2;

```

```
for i=1:16

    [fil,col]=find(code(i,:)>=a1(i));

    for k=1:length(fil)
        code2(i,col(k))=1;
    end

end

for i=1:128

    [fil,col]=find(code(:,i)>=a3(i));

    for k=1:length(fil)
        code2a(fil(k),i)=1;
    end

end

code3=code2a&code2;
if a2==1
    code4=code3;
else
    code4=vertcat(code4,code3);
end
a2=a2+1;
end
code4=double(code4);
figure(59),imagesc(code4)
```

Anexo C

Código de programación del PSR

```

%Psr
R=xcorr2(codes4,codes4);
figure(1),imagesc(R)
figure(2),mesh(R),grid on
[filu, colu]=find(R==max(max(R)));
ta=size(R);
for i=1:ta(1)
    for j=1:ta(2)
        circ=sqrt((j-colu(1)).^2+(i-filu(1)).^2);
        if circ<=10 & circ>=5
            imag2(i,j)=1;
        else
            imag2(i,j)=0;
        end
    end
end
[filapic, colupic]=find(R==max(max(R)))
imag3=imag2.*R;
figure(3),imagesc(imag3)
[filu, colu]=find(imag3>0);
for i=1:length(filu)
    regis1(i)=imag3(filu(i), colu(i));
end
med=mean(regis1);
desv=std(regis1);
pic=max(max(R));
%figure(4),mesh(imag3)
PSR=(pic-med)/desv

```

Anexo D

Transformada de Hough

La transformada de Hough es un método matemático aplicado al procesamiento digital de imágenes, con el fin de localizar objetos de periferias o formas geométricas, que se pueden aproximar mediante una expresión algebraica.

El proceso que realiza el sistema de extracción de características biométricas para separar el contorno circular del iris, consiste inicialmente en multiplicar el registro original con una circunferencia binaria de 125 píxeles. Posteriormente a la nueva imagen se le aplican una serie de filtros gaussianos y detectores de bordes tipo Canny, que resaltan los cambios bruscos provocados por el margen existente entre la esclerótica y el objeto de interés.

Una vez resaltada la periferia del iris, esta se localiza según la ecuación

$$(X-X_0)^2 + (Y-Y_0)^2 = R^2$$

Anexo D, Ecuación 1

Donde

X y Y son datos que proporciona el contorno de la circunferencia del iris. X_0 , Y_0 y R son variables y corresponden al centro y radio de la circunferencia del iris.

Debido a que la anterior ecuación es cuadrática y de 3 incógnitas se necesita por lo menos 2 ecuaciones más con el fin de obtener una solución matemática. Para esto se requiere de 6 datos adicionales, los cuales son sensados en el momento de localizar la periferia del iris, tal como se aprecia en la figura 3-10.

Se obtienen en total 12 datos cuando se localiza el borde de un iris (osea X y Y de la ecuación 1 del presente anexo), y posteriormente se procede a igualar las distintas expresiones con la información recolectada tal como se aprecia a continuación.

$$\begin{aligned}(X_1-X_0)^2 + (Y_1-Y_0)^2 &= (X_4-X_0)^2 + (Y_4-Y_0)^2 \\(X_2-X_0)^2 + (Y_2-Y_0)^2 &= (X_5-X_0)^2 + (Y_5-Y_0)^2 \\(X_3-X_0)^2 + (Y_3-Y_0)^2 &= (X_8-X_0)^2 + (Y_8-Y_0)^2\end{aligned}$$

Anexo D, Conjunto de ecuaciones 2

Ahora, con la cantidad de datos recolectados el sistema genera un gran número de ecuaciones, que por medio de distintas combinaciones de estas producen un resultado que converge a una única solución en radio y centro de la circunferencia.

Bibliografía

- [1] J.G. Daugman, "How iris recognition works," IEEE Transactions On Circuits And Systems For Video Technology, vol.14,no. 1, pp. 21-30, January 2004
- [2] Byometrics Systems AG, www.byometric.com
- [3] LG, "Iris access 3000. Hardware manual", Version 2.02, February 24 2006.
- [4] R. Sánchez Reillo, "El iris ocular como parámetro para la identificación biométrica.", Grupo universitario de tarjeta inteligente, Departamento de tecnología fotónica, Universidad Politécnica de Madrid, España, Septiembre 2000.
- [5] Diccionario enciclopédico Océano, Edición 1987.
- [6] R. C. González and R. E. Woods, Tratamiento Digital de imágenes. Wilmington, Delaware: Addison-Wesley / Diaz de Santo, 1996.
- [7] P. Lili and X. Mei, "The algortihm of iris image preprocessing", University of electronic science and techonlogy of China.
- [8] GuangZhu Xu, ZaiFeng Zhang and YiDe Ma, "Automatic iris segmentation based in local areas", The 18th International Conference on Pattern Recognition IEEE, Lanzhou University, 2006.
- [9] E.M Avarcheh and H.R Tizhoosh, "Iris segmentation: Detecting pupil, limbus and eyelids", Department of systems Design Engineering University of Waterloo, Ontario, Canada, 2006.
- [10] Jiali Cui, Yunhong Wang, Tieniu Tan, Li Ma and Zhenan Sun, " A Fast and Robust Iris Localization Method Based on Texture Segmentation", Center for Biometric Authentication and Testing, National Laboratory of Pattern Recognition, Institute of Automation Chinese Academy of Sciences.
- [11] A. Basit, M. Y. Javed and M. A. Anjum, " Eyelid Detection in Localized Iris Images", Department of Computer Engineering, College of Electrical and Mechanical Engineering, National University of Sciences and Technology, Peshawar Road, Pakistan, November 2006.

- [12] Abdol Hossein Fathi, Fardin Abdali Mohammadit and Mohammad Taghi Manzuri, "The Eyelids Distance Detection in Gray Scale Images", Faculty of Computer Engineering Sharif University of Technology, Tehran, Iran, 2006.
- [13] Peng-Fei Zhang and Qiu-Ming Li, "Research on iris image preprocessing algorithm", Department of Automation Measurement and Control, Harbin Institute of Technology, China, August, 2005.
- [14] Ehsan M. Arvacheh, "A Study of Segmentation and Normalization for Iris Recognition Systems", thesis requirement for the degree of Master of Applied Science in Systems Design Engineering, University of Waterloo, Ontario, Canada, 2006.
- [15] E. O. Gamarra, R. Oviedo Frasson y G. Kemper Vásquez, "Biometría óptica de iris", Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, Lima, Perú.
- [16] Roger F. Larico Chavez, Yuzo Iano y Vicente B. Sablón, "Process of Recognition of Human Iris: Fast Segmentation of the Iris", Electrical Engineering and Computation Faculty, University of Campinas, São Paulo Brazil, 2006.
- [17] Güray Gürkan and Aydın Akan, "Texture analysis based iris recognition", School of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Istanbul University, Turkey, 2006.
- [18] Xurong Li and Mei Xie, "A Novel Algorithm Of Human Iris Recognition", College of Electronic Engineering, University of electronic Science and Technology of China, Chengdu, China, 2005.
- [19] Hao Meng and Cuiping Xu, "Iris Recognition Algorithms Based on Gabor Wavelet Transforms", teaching group, Automation College, Harbin Engineering University, Harbin, China, 2006.
- [20] Zhenan Sun, Tieniu Tan and Yunhong Wang, "Robust Encoding of Local Ordinal Measures: A General Framework of Iris Recognition", Center for Biometrics Authentication and Testing National Laboratory of Pattern Recognition, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China.
- [21] Donald M. Monro, Soumyadip Rakshit and Dexin Zhang, "DCT-Based Iris Recognition", IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, Vol. 29, No 4, April, 2007.

- [22] L. Masek, "Recognition of Human Iris Patterns for Biometric identification", School of Computer Science and Software Engineering, The University of Western Australia, 2007.
- [23] A. Seif, R e ail, M. Saeb and N. Amdy, " Iris identification based on log Gabor filtering", College on engineering technology, Arab academy for science and technology, Alexandria, 2004.
- [24] Li Ma, Yunhong Wang and Tieniu Tan, "Iris Recognition Using Circular Symmetric Filters", National Laboratory of Pattern Recognition, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China.
- [25] The Center for Biometrics and Security Research, CASIA iris image database,
<http://www.sinobiometrics.com>.
- [26] R Bremananth and A. Chitra, "New methodology for a person identification system", Department of Computer Science & Engineering, PSG College of Technology, Coimbatore, India, January 2006.

