



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

POSGRADO EN CIENCIA E INGENIERÍA  
DE LA COMPUTACIÓN

"PROPUESTA ALTERNA DEL  
RECONOCIMIENTO DEL IRIS USANDO  
PROCESAMIENTO MORFOLÓGICO  
BORROSO"

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
(COMPUTACIÓN)**

PRESENTA:

**VICENTE MAGAÑA GONZÁLEZ**

DIRECTOR DE TESIS: DR. ÁNGEL LÓPEZ GÓMEZ

MÉXICO, D.F.

2005



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: VICENTE MAGAÑA  
GONZALEZ

FECHA: 06/01/2005

FIRMA: Vicente Magaña

*A mi esposa Edith por su apoyo incansable.  
A mis hijos Vicente, Cyndel y Ángel por su comprensión.  
A mis papás Angelina y Fabián y mi hermano Fabián.  
Y a todos los que lo hicieron posible.*

*Vicente Magaña*

## **PRESENTACIÓN**

El presente trabajo se fundamenta en la verificación de la identidad de la persona a través de la imagen del iris del ojo, este tiene como base los trabajos realizados por Daugman [15], [16], [17], [18] al respecto, aquí se presenta una propuesta alterna a la desarrollada por el autor mencionado. En esta propuesta se maneja una metodología (hasta el momento no utilizada) para la verificación de la identidad de la persona a través del iris, ésta se basa en el uso de la morfología matemática y la morfología matemática difusa, de igual forma no se maneja la codificación usada por Daugman, sino que se propone un método alterno utilizando las ondeletas de Haar.

A continuación se hace una reseña del contenido del presente trabajo:

En el capítulo 1 se describe brevemente los antecedentes base del presente trabajo como son; los sistemas de identificación personal biométricos, el reconocimiento de la identidad de una persona a través de la imagen del iris, algunos aspectos generales de lógica difusa, morfología matemática, morfología matemática difusa y ondeletas.

En el capítulo 2 (Análisis y Codificación de la Imagen del Iris), se describe la propuesta alterna, ésta se constituye de; Alisamiento difuso de la imagen, Detección y extracción del límite interno, Detección y extracción del límite externo, Extracción del iris, Conversión de coordenadas polares a cartesianas, Corrección difusa de imagen, Extracción del código.

En el capítulo 3 (Análisis Experimental y Validación), se describe; un análisis experimental y de resultados.

### **CONTRIBUCIÓN ORIGINAL:**

Instrumentar una propuesta alterna al trabajo presentado por Daugman [15], [16], [17], [18] utilizando la generalización tanto de la morfología matemática como morfología matemática difusa y la aplicación de las ondeletas Haar en la codificación.

Proporcionar los algoritmos de verificación de la identidad de la persona a través de la imagen del iris. Proponiendo un sistema más abierto que el referido.

Exhibir las ventajas expresadas a la extensión de la morfología matemática en un dominio difuso, aplicado a la verificación de la identidad de la persona a través de la imagen del iris. Enfocado a la mejora de la imagen para su procesamiento como medida para identificar atributos y características particulares del iris.

El impacto de la investigación recae en el contraste entre el método tradicional o estándar y un análisis morfológico en un ámbito clásico y un punto de vista difuso,

así como el uso de ondeletas Haar en lugar de las ondeletas de Gabor, para la reducción de bits en la codificación.

# INDICE

Presentación	i
INDICE	iii
<b>CAPITULO 1 Antecedentes</b>	<b>1</b>
1.1 Sistemas de Identificación Personal Biométricos	2
1.1.1 Introducción	2
1.1.2 Arquitectura de un Sistema Seguridad Biométrico	2
1.1.3 Tipos de Sistemas de Seguridad Biométricos más Comunes	3
1.2 Reconocimiento de la Identidad de una Persona a Través de la Imagen del Iris	6
1.2.1 Aplicaciones	7
1.2.2 Ventaja y Desventajas	8
1.3 Trabajos Relacionados	9
1.4 Lógica Difusa	10
1.4.1 Reseña Histórica	10
1.4.2 Introducción a la Lógica Difusa	11
1.4.3 Conjuntos Difusos	12
1.4.4 Conceptos Básicos de Lógica Difusa	13
1.5 Morfología Matemática	13
1.5.1 Introducción a la Morfología Matemática	13
1.5.2 Operaciones Morfológicas	15
1.6 Introducción a la Morfología Matemática Difusa	16
1.6.1 Reseña Histórica	16
1.6.2 Procesamiento Difuso de la Imagen	17
1.6.3 Operaciones Morfológicas Difusas	17
1.7 Ondeletas	18
1.7.1 Reseña Histórica	18
1.7.2 Introducción a las Ondeletas	18
1.7.3 Bases de la Compresión de Imágenes	19
<b>CAPITULO 2 Análisis y Codificación de la Imagen del Iris</b>	<b>21</b>
2.1 Introducción	22
2.2 Descripción	22
2.2.1 Alisamiento Difuso de la Imagen	23
2.2.2 Detección y Extracción del Límite Interno	24
2.2.3 Detección y Extracción del Límite Externo	27
2.2.4 Extracción del Iris	28
2.2.5 Conversión de Coordenadas Polares a Cartesianas	29
2.2.6 Corrección Difusa de la Imagen	29
2.2.7 Extracción del Código	30

<b>CAPITULO 3 Análisis Experimental y Validación</b> .....	33
3.1 Análisis Experimental .....	34
3.2 Análisis de Resultados.....	42
3.2.1 Tiempo de Proceso.....	43
3.2.2 Validación.....	44
Conclusiones.....	51
Anexo 1 Definiciones.....	53
Anexo 2 Código Fuente.....	56
Referencias Bibliográficas.....	66

# CAPITULO 1

## Antecedentes

## **1.1 Sistemas de Identificación Personal Biométricos**

### **1.1.1 Introducción**

Los sistemas de seguridad para el acceso a edificios, cajeros, bases de datos, etc., en la actualidad han evolucionado a tal grado que es más confiable desarrollar sistemas de identificación personal biométricos que verifican las características que poseemos los seres humanos y que nos hacen únicos, en lugar de los sistemas de identificación personal tradicionales; códigos de acceso, tarjetas, credenciales ó cualquier otro sistema tradicional, que por su fragilidad es susceptible más fácilmente a ser violado [45].

Estas tecnologías, mejor conocidas como biométricas [33] (sistemas biométricos), hacen uso, como ya se mencionó en el párrafo anterior, del hecho de que cada persona tiene rasgos físicos únicos e irrepetibles y que estos pueden ser mensurables [30].

El cuerpo humano brinda características que pueden ser reconocibles unívocamente [23] en: las huellas digitales, la voz, la cara, los ojos y las manos.

Los sistemas de seguridad biométricos son más exactos [38]: que los sistemas de seguridad tradicionales, debido a que tienen su base en las características físicas reales de los usuarios, y no en lo que saben (contraseñas) o en lo que portan (tarjetas de identificación) [1]. Así el éxito de estas tecnologías, radica en el hecho de que son menos vulnerables al fraude, son estables a largo plazo, su facilidad de empleo su facilidad para ser portadas y no ser olvidadas, etc. [20].

El término seguridad " biométrica ", se refiere a la identificación, o a la verificación de la identidad de una persona usando una característica fisiológica principalmente [7].

### **1.1.2 Arquitectura de un Sistema Seguridad Biométrico**

Básicamente un sistema de seguridad biométrico esta constituido por cuatro subsistemas integrados de la siguiente forma: adquisición de datos, procesamiento, decisión y almacenamiento, la arquitectura de un sistema biométrico [51] [63] se puede observar en la figura 1.

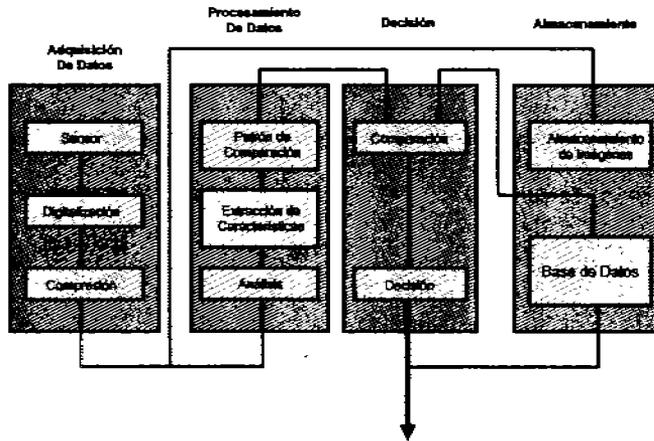


Figura 1. Arquitectura de un Sistema de Seguridad Biométrico

### 1.1.3 Tipos de Sistemas de Seguridad Biométricos más Comunes

Cada uno de los sistemas de seguridad biométricos utilizan una interfase propia para recopilar la información sobre la persona que necesita ser identificada. Un programa que procesa dicha información en un conjunto de datos, los cuales se comparan con los modelos de los usuarios que se han introducido previamente al sistema de seguridad biométrico. Si se encuentra una correspondencia con un elemento de la base de datos, se confirma la identidad de la persona y se concede el acceso [48].

Aunque en la actualidad se estudian un número mayor de sistemas de seguridad biométricos, como por ejemplo el ADN [27] y las feromonas, los siete sistemas de seguridad biométricos siguientes son los más comunes [38]:

- *Reconocimiento de la Identidad Personal a Través de la Imagen de la Retina;* Este sistema es el más seguro de todos, estos sistemas biométricos trabajan con la imagen de la retina, esta es, la capa de vasos sanguíneos situados en la parte posterior del ojo. A menudo la imagen retiniana es difícil de capturar. Lo único que se determina realmente es la imagen del modelo de los vasos sanguíneos, como este modelo es único en cada individuo, la identificación puede ser más exacta (ver figura 2).

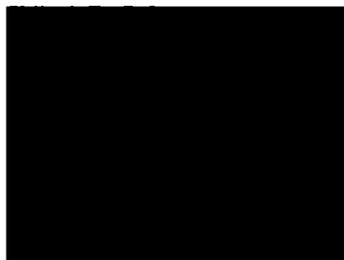


Figura 2. Imagen de la retina

- *Reconocimiento de la Identidad Personal a Través de la Imagen del Iris;* [14] Este

sistema de reconocimiento utiliza una cámara para capturar la textura del iris que puede ser observada fácilmente en el ojo y ser obtenida a una distancia no intrusiva y con una iluminación adecuada. Como punto siguiente se procesa la muestra del iris y posteriormente se compara contra patrones previamente almacenados (ver figura 3).



Figura 3. Imagen del ojo

- *Reconocimiento de la Identidad Personal a Través de la Imagen de la Huella Digital;* [9] Este sistema analiza y compara el conjunto único de un dedo (por lo general el pulgar) en sus modelos de pliegues y minucias (lugares en donde los pliegues del dedo se paran, bifurcan, o rompen). Comparándose con patrones previamente almacenadas (ver figura 4).



Figura 4. Imagen de una huella digital

- *Reconocimiento de la Identidad Personal a Través de la Imagen de la Cara;* Este sistema procesa las imágenes de rostros, que identifican modelos y lazos espaciales en caras. Algunos sistemas usan una proyección de la imagen en forma térmica para crear las correspondencias de los vasos sanguíneos subcutáneos (ver figura 5).



Figura 5. Imagen de la cara

- *Reconocimiento de la identidad personal a través de la imagen (Geometría) de la Mano [5] (o dedos de la mano);* Estos tipos de sistemas crean una imagen tridimensional de la mano (o de los dedos de la mano) y analizan la dimensión de las variables, las longitudes, las áreas, y las posiciones relativas de los dedos, nudillos, etc. (ver figura 6).



Figura 6. Imagen de la mano

- *Reconocimiento de la identidad personal a través (Autenticación) de la Voz; [40] [6].* Estos sistemas registran el discurso de una persona y analizan tonos e inflexiones del hablante. La exactitud puede ser afectada por variaciones normales causadas ya sea por enfermedad o fatiga o cambios de humor (ver figura 7).



Figura 7. Imagen del fonograma de la voz

- *Reconocimiento de la identidad personal a través de la imagen de la Firma*; En estos sistemas se analizan variables geométricas intrínsecas de la firma junto con presión de la pluma, velocidad, y los puntos donde la pluma se despega del papel (ver figura 8).

*Víctor Méndez*

Figura 8. Imagen de la firma

## 1.2 Reconocimiento de la Identidad de una Persona a Través de la Imagen del Iris

Como ya se mencionó cada ser humano es diferente, pues cada uno poseemos características que nos hacen ser únicos e irrepetibles, por lo general algunas de estas características son inalterables, de tal forma que haciendo uso de ellas, pueden ser determinantes en la identificación de la persona.

El iris, es un órgano interno en el ojo, detrás de la córnea y el humor acuoso, es visible externamente a cierta distancia. Está constituido por un tejido conjuntivo elástico, es estable a lo largo de toda la vida. Como puede observarse el iris es un órgano interno en el ojo y esta protegido por la cornea y la pupila, debido a lo cual es inmune a influencias del medio ambiente. En la figura 9 se muestra la anatomía del ojo y la ubicación del iris.

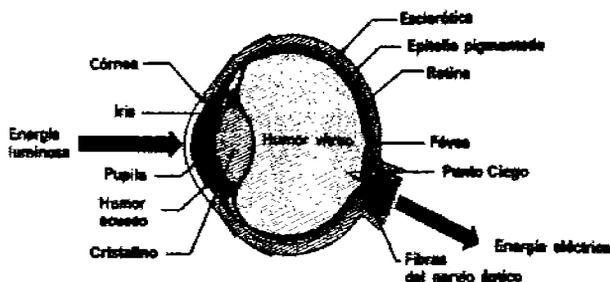


Figura 9. Anatomía del ojo

Una propiedad que el iris comparte junto con las huellas digitales es la morfología aleatoria de su estructura. No existe alteración genética en la expresión de este órgano más allá de su forma anatómica, fisiología, color y apariencia general. La textura del iris por sí misma es estocástica [2], en la figura 10 se muestran dos imágenes del iris.

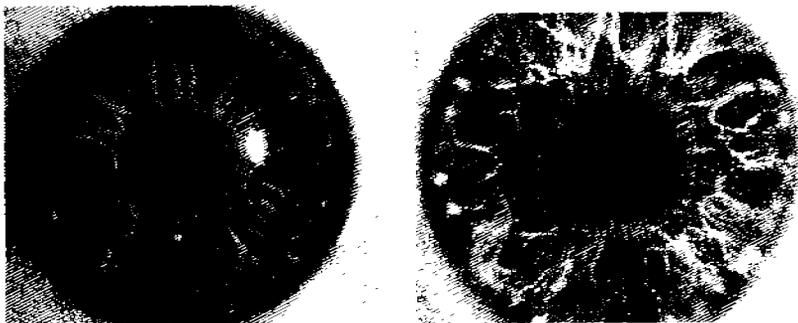


Figura 10. Comparación de imágenes del iris

El iris tiene ventajas adicionales sobre otras formas biométricas, estas son mencionadas a continuación [14]:

- La facilidad de registrar su imagen a cierta distancia, sin la necesidad de contacto físico o intrusivo.
- El alto nivel de aleatoriedad en su estructura, el cual permite una codificación con una densidad de información según se requiera.
- Es estable a lo largo del periodo de vida del individuo.
- Es un órgano interno y por tal motivo protegido naturalmente.

El propósito general del reconocimiento de la identidad de la persona a través del iris es el obtener en tiempo real y con alto grado de seguridad, la identidad de una persona; empleando un análisis matemático del patrón aleatorio que es visible dentro del ojo y construyendo con ello una codificación del iris (código del iris) [67].

### 1.2.1 Aplicaciones

Dependiendo de la aplicación, la comparación puede darse en dos formas:

- Una comparación booleana (es o no es).
- Una comparación que incluya un grado de pertenencia (difusa). Esta comparación puede tener aplicaciones tales como; seguridad en casos extremos, es decir cuando por algún siniestro el detector no puede dar acceso al personal de seguridad (por ejemplo en un caso de incendio, y por el humo o la luz intensa la comparación no sea del todo satisfactoria etc.), en este caso se puede dar el acceso al personal con solo indicar el grado de pertenencia necesario para su aplicación.

Las aplicaciones pueden ser múltiples y variadas, a continuación se enlistan algunas de ellas:

- Como código de acceso en Computadoras; usando el iris como una contraseña "viva".
- Control de acceso a datos importantes.

- Localización de personas.
- Como control en las fronteras; Usando el iris como pasaporte viviente.
- Como usuario telefónico sin dinero, ni tarjetas, ni números PIN.
- Como acceso seguro a cajeros automáticos.
- Control de acceso seguro (edificios, casas, oficinas, laboratorios etc.).
- Licencias de manejo, Credenciales del IFE, y otros documentos oficiales.
- Boletos para eventos, boletos de avión, etc.
- Autenticación de tarjetas de crédito.
- Encendido del automóvil y seguro anti-robo.
- Anti-terrorismo (seguridad en aeropuertos, trenes autobuses etc.).
- Seguridad financiera en transacciones (Electrónicas, bancarias, comerciales).
- Seguridad en Internet; control de acceso a información privilegiada.
- Medicina legal; certificados, desaparecidos, etc.
- Autenticación de derechohabientes y beneficiarios.
- Criptografía de la información.
- Y donde se necesite un mínimo de seguridad.

### **1.2.2 Ventaja y Desventajas**

A continuación se enuncian las ventajas y desventajas de este tipo de sistema seguridad biométrico.

#### Ventajas de la identificación por el iris

- Alta protección, por ser órgano interno del ojo.
- Externamente visible.
- Los patrones del iris poseen un alto grado de aleatoriedad.
- Entropía (cantidad de información por milímetro cuadrado).
- Únicos (en cada individuo).
- Morfogénesis prenatal (a los 7 meses de gestación).
- Estable a lo largo de la vida.
- El cambio del tamaño de la pupila es manejable.
- Patrón estable.
- La codificación y la decisión son manejables.

#### Desventajas de la identificación a través del iris

- Pequeña (1 cm).
- Móvil.
- Curvado, húmedo y con superficie reflejante.

- Vulnerable por la sombra de las pestañas y las reflexiones de luz.
- Parcialmente ocluido por los párpados, muchas veces caídos.
- Deformaciones no elásticas.
- La iluminación no debe ser visible o brillante.

### 1.3 Trabajos Relacionados

Los métodos básicos mas sobresalientes que existen hoy día para el reconocimiento a través del iris son los que se describen a continuación. Todos estos algoritmos se basan en imágenes en escala de grises, la información de color no se usa.

Los primeros tres autores (Daugman, Wildes, Boles) son de referencia obligada por su papel inicial como pioneros en el reconocimiento de la persona a través de la imagen del iris.

Daugman [15], [16], [17], [18]: quien se ha considerado uno de los iniciadores, presenta un sistema que se basa primeramente en: la adquisición de la imagen la cual realiza utilizando una lámpara frontal de halógeno y como elemento digital de captura una cámara CCD, obteniendo una imagen del ojo de 480 x 640 píxeles en escala de grises, para la detección del iris utiliza un operador integro-diferencial, la extracción de las características de la imagen del iris las realiza a través de una codificación de fase empleando ondeletas 2-D de Gabor. Daugman reporta un excelente rendimiento con diversas imágenes, pero omite detalles críticos de sus algoritmos patentados.

Wildes [67]: Describe un sistema computacionalmente muy complejo, para verificación personal basado en un reconocimiento automático del iris, el cual hace uso de una pirámide laplaciana con diferentes niveles de resolución.

Boles [11], [12]: Propone un algoritmo para la extracción de las características del iris usando el cruce por cero de la transformada de ondeletas dyadic a varios niveles de resolución calculadas sobre círculos concéntricos sobre el iris, y resulta en señales 1-D la cuales son comparadas con modelos característicos.

En el transcurso de la realización del presente trabajo se encontraron reportes de trabajos relacionados los cuales a continuación se mencionan:

En [2]: La adquisición de la imagen la realizan con una cámara CCD a 640 x 480 píxeles usando para ello dos lámparas laterales de halógeno de 50 w a una distancia de 12 centímetros del ojo y 8 centímetros de la cámara, la extracción del iris la realiza con un operador diferencial laplaciano, para el cambio de coordenadas cita a Daugman, para la extracción de características del iris mediante las ondeletas Haar obteniendo un código de 87 bits.

En [58]: La adquisición de imágenes la realiza con una cámara CCD a 320 x 240 píxeles usando dos lámparas laterales de halógeno de 50 watts a 320 mm del lente, no desglosa la forma de extracción del iris ni su cambio respectivo de coordenadas, la extracción de características del iris es mediante las ondeletas madre Haar obteniendo un vector de 87 bits de dimensión.

En [61]: La adquisición de imágenes la realiza con una cámara CCD a una resolución de 640 x 480 píxeles con una lámpara frontal, la extracción del iris la realizan usando la técnica de Daugman con un operador integro-diferencial, utilizan una conversión de sistemas coordenados de polar a cartesiano, La extracción de características del iris la realizan con ondeletas de Gabor en 2 dimensiones y como segundo punto en la

codificación utilizan lo que denominan el concepto de imagen analítica para la extracción pertinente de la textura del iris.

En esta tesis se propone un método alterno para el reconocimiento de la identidad personal a través de la imagen del iris cuya aportación básica es la utilización de la morfología matemática y la morfología matemática difusa que en ninguno de los casos, hasta la construcción del presente trabajo, ha sido usada, la adquisición de las imágenes se realiza con una cámara CCD a una resolución de 640 x 480 píxeles y con una lámpara frontal de halógeno de 50 watts, la extracción de la imagen del iris, como ya se mencionó, se realiza con operadores morfológicos y morfológicos difusos, y la extracción del código con ondeletas Haar.

## **1.4 Lógica Difusa**

### **1.4.1 Reseña Histórica**

Documentos básicos de la reseña [34], [29], [49].

La idea de lógica difusa (fuzzy) no es nueva, sus orígenes se remontan al 380 a.C., con Aristóteles el cual propone la existencia de grados de verdad o falsedad, y Platón trabajaba con grados de pertenencia.

En el siglo XVIII, en Inglaterra George Berkeley y David Hume descubrieron una lógica del sentido común, la cual basaba el razonamiento en el conocimiento que la gente adquiere de una forma común y vivencial gracias a sus interacciones con el mundo (su medio ambiente).

La corriente del pragmatismo fundada a principios de siglo pasado por Charles Sanders Peirce, fue la primera en considerar "vaguedades", más que falso o verdadero, como la forma de acercamiento al mundo y al razonamiento humano.

En este mismo siglo, Georg Cantor matemático alemán, inventa la teoría original de conjuntos clásicos ó booleanos ("unos" y "ceros").

A principios del siglo XX El filósofo y matemático de origen británico Bertrand Russell, introdujo la paradoja del conjunto, estudiando las vaguedades del lenguaje, llegó a la conclusión que la vaguedad es solo un grado entre verdadero y falso como sus dos extremos lógicos.

Ludwig Wittgenstein, filósofo austriaco, estudió las diferentes acepciones de una misma palabra. Esto fue debido a que en el lenguaje común y corriente ocurre frecuentemente que la misma palabra designe de modo y manera diferentes, o que dos palabras que designan de modo y manera diferentes se usen aparentemente del mismo modo en una proporción ó grado.

La primera lógica como tal que definía vaguedades fue desarrollada en 1920 por el filósofo polaco Jan Lukasiewicz, él visualizó los conjuntos con un posible grado de pertenencia con valores 0,  $\frac{1}{2}$  y 1 (lógica trivaluada), posteriormente los extendió a un número infinito de valores entre 0 y 1. Introduciendo una lógica multivaluada.

En 1965 un ingeniero iraní nacionalizado en USA, de nombre Lotfi A. Zadeh, en la Universidad de California en Berkeley a través de un artículo con el título: "Fuzzy Sets" (Conjuntos Difusos) en la revista "Information and Control" introduce una lógica infinito valorada caracterizando así el concepto de conjunto difuso y por extensión la lógica difusa [70]. En 1971, se publica el artículo, "Quantitative Fuzzy Semantics", en donde Zadeh introduce los elementos formales que componen el cuerpo de la lógica difusa y sus

aplicaciones tal como se conocen.

En 1974, el Británico Ebrahim Mandani, demuestra la aplicabilidad de la lógica difusa en el campo del control. Desarrollando el primer sistema de control difuso práctico (la regulación de un motor de vapor).

A fines de años los 70's, los ingenieros de origen danes Lauritz Peter Holmblaud y Jens-Jurgen Ostergaard desarrollan el primer sistema de control difuso comercial, en una planta de cemento. De igual manera los japoneses comienzan una explotación masiva de la lógica difusa. Sugeno, Togai, Bart Kosko y otros.

En 1986, Yamakawa, publica el artículo, "Fuzzy Controller hardware system". En el cual se describe el desarrollo de controladores difusos.

En 1987, se inaugura en Japón el subterráneo de Sendai, uno de los más grandes sistemas de control difuso creados por el ser humano. A partir de este momento se realiza un "boom" de aplicaciones difusas, sobre todo en Japón comercializándose multitud de productos basados en la lógica difusa.

#### 1.4.2 Introducción a la Lógica Difusa

La lógica borrosa o difusa (fuzzy) se basa en el concepto "todo es cuestión de grado", esto permite manejar información que sea vaga o de difícil especificación [68].

Los sistemas difusos, pueden ser utilizados en sistemas adaptativos o en sistemas expertos. En general la lógica difusa se aplica para modelar sistemas de control [31], sistemas continuos de ingeniería, física, biología, economía etc. con planteamientos lógicos que usan el razonamiento aproximado [72].

La lógica difusa tiene su fundamento en los conjuntos difusos y en un sistema de inferencia difuso basado en reglas donde los valores lingüísticos de la premisa y el consecuente están definidos por conjuntos difusos [53].

El desarrollo de la lógica difusa surge por la necesidad de un marco conceptual en el cual se puede tratar la incertidumbre no probabilística y la imprecisión del lenguaje [24].

Zadeh, destaca las características más notables de la lógica difusa las cuales son [42], [43], [44]:

- En lógica difusa todo es cuestión de grado.
- El razonamiento exacto es un caso límite del razonamiento aproximado.
- En la lógica difusa el conocimiento se interpreta como una colección de restricciones difusas sobre un conjunto de variables.
- En la lógica difusa la inferencia puede verse como la propagación de un conjunto de restricciones difusas.
- Un sistema difuso: resultado de la difusificación (fuzzification) de un sistema convencional clásico (crisp).
- Los sistemas difusos operan con conjuntos difusos en lugar de números.
- En esencia la representación de la información en sistemas difusos imita el mecanismo de razonamiento aproximado que realiza la mente humana.

Con la lógica difusa se pueden solucionar algunas de las debilidades de los sistemas expertos, especialmente cuando se encuentran problemas con incertidumbres. Esto se

debe a que los programas que se usan normalmente en las computadoras devuelven respuestas precisas (sí ó no), los programas que utilizan la lógica difusa pueden usar valores entre 0 y 1, de esta manera se parece mas a la lógica humana [50].

La principal habilidad de la lógica difusa es, como ya se dijo, la de manejar valores entre 0 y 1, la hace una herramienta útil para desarrollar aplicaciones en la toma de decisiones en los casos donde se cuenta con datos imprecisos o problemas que tienen más de una solución [46]. También se puede utilizar como una herramienta para corregir debilidades de algunas aplicaciones que utilizan otras formas de procesar datos [53].

La lógica difusa al igual que el pensamiento humano tiene la habilidad de manejar datos imprecisos y ambiguos.

En general, la lógica difusa proporciona definiciones de conjuntos que tienen límites difusos (fuzzy) en lugar de límites claros o nítidos (crisp) de la lógica de clásica. Estos conjuntos pueden traslaparse de modo que, para un valor específico de entrada, uno o más conjuntos asociados puede ser verdad hasta cierto grado al mismo tiempo [24], [49].

La lógica difusa tiene funciones de pertenencia que emulan conceptos humanos como "la temperatura es tibia"; esto es, condiciones que son percibidas con grados de pertenencia entre dos límites. Este concepto parece ser un elemento clave de la habilidad humana para resolver ciertos tipos de problemas complejos que han eludido en los métodos tradicionales de control [19].

### 1.4.3 Conjuntos Difusos.

La gran mayoría de los fenómenos con los cuales nos topamos en nuestro devenir cotidiano son imprecisos, es decir, que tienen implícito un grado de incertidumbre en su propia naturaleza. Así esta imprecisión puede estar asociada ya sea con su forma, su posición, su momento, su color, su textura, o incluso la misma semántica que lo describe etc., el mismo concepto puede tener diferentes grados de imprecisión en diferentes contextos o tiempos. Por ejemplo un día cálido en invierno no es exactamente el mismo día cálido en primavera o en verano u otoño. La definición exacta de la misma temperatura cuando se mueve de fría – templada – caliente o viceversa es imprecisa y lo que para uno es templado para otro puede ser caliente o frío por lo cual se hace necesario el concepto de grado. Este tipo de imprecisión es asociado continuamente a los fenómenos y es común en todos los campos de estudio y tiene un gran potencial para el desarrollo de aplicaciones relacionadas con: sociología, física, biología, finanzas, comercio, ingeniería, el estudio del clima, psicología, etc. [19], [50].

Un conjunto difuso  $A$  se define como una función de pertenencia que enlaza o empareja los elementos de un dominio o universo de discurso  $X$  con elementos del intervalo  $[0,1]$ :

$$A: X \rightarrow [0,1] \quad (1)$$

Cuanto más cerca esté  $A(x)$  del valor 1, mayor será la pertenencia del objeto  $x$  al conjunto  $A$ . Los valores de pertenencia varían entre 0 (no pertenece en absoluto) y 1 (pertenencia total).

Un conjunto difuso  $A$  puede representarse como un conjunto de pares de valores: Cada elemento  $x \in X$  con su grado de pertenencia a  $A$ .

$$A = \{ A(x)/x, x \in X \} \quad (2)$$

El conjunto difuso también puede representarse gráficamente como una función, especialmente cuando el universo de discurso  $X$  es continuo (no discreto). Donde las abscisas (eje  $x$ ) corresponden al universo de discurso  $X$  y las ordenadas (eje  $y$ )

corresponden a los grados de pertenencia en el intervalo  $[0,1]$ .

La gráfica del ejemplo siguiente (figura 11) muestra la relación de los elementos del universo de discurso (concepto de temperatura "alta") y su correspondiente grado de pertenencia.

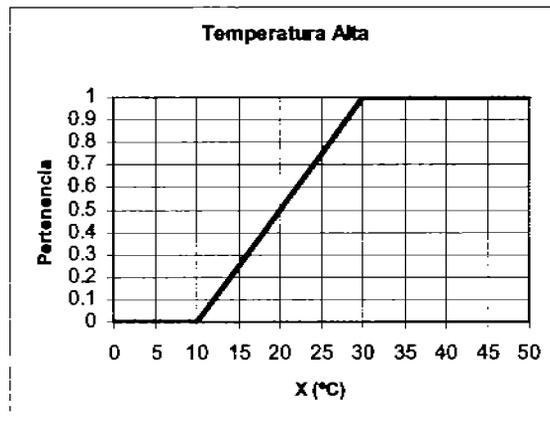


Figura 11. Ejemplo de Función de Pertenencia

#### 1.4.4 Conceptos Básicos de Lógica Difusa:

La idea fundamental de Zadeh es hacer que la gama de valores de pertenencia de un elemento a un conjunto dado pueda variar en el intervalo  $[0,1]$  en lugar de limitarse, como en los conjuntos tradicionales clásicos, a uno de dos valores del par  $\{0,1\}$  ó {Falso, Verdadero} [57], [21], [24].

Zadeh extendió los operadores de los conjuntos clásicos (operadores lógicos) a su nueva formulación, probando que la formulación así obtenida se extiende a la lógica clásica. Así a partir de la teoría de conjuntos difusos introdujo la lógica difusa como una extensión de las lógicas multivaluadas [68].

### 1.5 Morfología Matemática

Los conjuntos en morfología matemática representan las formas presentes en imágenes binarias o de niveles de gris [25].

#### 1.5.1 Introducción a la Morfología Matemática

La palabra morfología en la biología, indica la rama que se dedica al estudio de la forma y estructura de los animales y plantas. En el análisis de imágenes se usa la misma palabra en su acepción; morfología matemática, en el contexto de forma y estructura. La morfología matemática se desarrolló formalmente a finales de los años sesenta del siglo pasado y forma parte del análisis de imágenes. Sus precursores son Matheron [39] y Serra [55].

La morfología matemática se basa en la geometría y forma de los objetos, las operaciones morfológicas simplifican las imágenes y conservan las principales características de formas de los objetos. De igual manera se pueden formar composiciones de sus operadores que cuando actúan sobre formas complejas son capaces de descomponerlas en sus partes que tienen sentido en el análisis y separarlas

de las partes que le son extrañas. También un sistema de operadores de este tipo y su composición permite que las formas subyacentes sean identificadas y reconstruidas de una forma óptima a partir de sus formas distorsionadas y/o con ruido. De igual manera permite que cada forma se entienda en función de una descomposición siendo cada entidad de esa descomposición una forma simple apropiada [25].

Las operaciones morfológicas pueden simplificar los datos de la imagen, preservar las características esenciales y eliminar aspectos irrelevantes. Teniendo en cuenta que la identificación y descomposición de objetos, la extracción de rasgos, la localización de defectos están sumamente relacionados con las formas [4].

La morfología, constituye una parte intermedia de la secuencia del procesamiento de imágenes. En la primera fase, la imagen se digitaliza y se realiza un preprocesado con el uso de operadores de convolución y luego se segmenta para obtener una imagen binaria en la que se separan los objetos del fondo. Las operaciones morfológicas forman una segunda fase que opera sobre la forma de esos objetos. El último paso del procesamiento evalúa los resultados de la morfología.

La morfología matemática, aunque puede tener otros objetivos [66], básicamente se relaciona con los siguientes:

1. Pre-procesamiento de imágenes (supresión de ruido, simplificación de formas, etc.).
2. Destacar la estructura de los objetos (extraer el esqueleto, marcado de objetos, envolvente convexa, ampliación, reducción, etc.).
3. Descripción cualitativa de objetos (área, perímetro, etc).

El objetivo del análisis de la imagen es hacer transformaciones directamente sobre ella, para obtener información de las propiedades físicas de los objetos que están en imagen y que sean de mayor utilidad en los niveles del proceso posteriores. Los principales atributos que se consideran para el análisis de una imagen son: [56]

- Discontinuidades u orillas.
- Color.
- Textura.
- Gradiente y profundidad.

Antes de la obtención de estas características es necesario muchas veces mejorar la imagen para resaltar algunos aspectos deseados y eliminar los no deseados tales como el ruido. Aunque es un campo muy amplio en el procesamiento de imágenes se describen a continuación cuatro tipos de técnicas que son frecuentemente utilizadas en la etapa de preprocesamiento [25], [13].

- Operaciones puntuales.
- Segmentación.
- Binarización.
- Filtrado.

Operaciones puntuales

Una operación puntual transforma una imagen de entrada a una imagen de salida de forma que cada píxel de la imagen de salida sólo depende del correspondiente píxel de la imagen de entrada.

### Segmentación.

La segmentación es una operación utilizada en el análisis de la imagen y cuyo objetivo es distinguir los objetos. Requiere una serie de pasos de manipulación que generarán una nueva imagen. Esta serie de pasos se apoya en la binarización de la imagen.

### Binarización.

Esta operación es el proceso por el cual se lleva una imagen monocromática o cromática a una imagen binaria mediante la conversión de píxeles con un nivel de gris comprendido entre 0 y 255 para imágenes monocromáticas (entre 0 y 255 para la intensidad de cada color básico en una imagen cromática) en píxeles de valores 0 ó 1, para lo cual se fija una regla de binarización, la cual se basa en un intervalo crítico de tonos de gris, cuando se mueve dentro del intervalo los valores serán llevados a 1 de lo contrario a 0.

### Filtros.

La imagen capturada a menudo no suelen permitir una segmentación fácil. Por diferentes motivos, ya sea por ejemplo, la existencia de ruido de fondo, con lo cual se pueden confundir manchas con objetos, o por la existencia de márgenes difusos en los objetos, o por la existencia de contactos entre objetos. Debido a lo cual por lo general se hace necesario procesar la imagen mediante filtros antes de someterla a binarización. Este proceso se basa en la aplicación de operaciones aritméticas que producen cambios en la intensidad de luz en cada punto, en función del valor de los píxeles adyacentes, así, un filtro provocaría cambios dependientes del entorno de los puntos.

## 1.5.2 Operaciones Morfológicas

Las operaciones morfológicas primarias son la erosión y la dilatación. A partir de ellas se componen las operaciones de apertura y cerradura (algunos autores la designan como clausura). Estas operaciones son las que tienen una relación amplia con la representación de formas, la descomposición y la extracción de primitivas [25], [41].

### 1.5.2.1 Operaciones Primarias

#### La dilatación

La dilatación es la operación morfológica que combina dos vectores utilizando la suma. La dilatación fue usada por primera vez por Minkowski (suma de Minkowski). "Si  $A$  y  $B$  son conjuntos en un espacio bidimensional  $E^2$ , entonces la dilatación de  $A$  por  $B$  es el conjunto de todos los posibles vectores que son suma de pares de elementos, uno de  $A$  y otro de  $B$ " [13], [42].

La dilatación de  $A$  por  $B$  se denota por  $A \oplus B$  y se define como: [28]

$$A \oplus B = \{c \in E^n \mid c = a + b, a \in A \text{ y } b \in B\} \quad (3)$$

## Erosión

La erosión es la operación morfológica que combina dos conjuntos usando el concepto de inclusión. "Si  $A$  y  $B$  son conjuntos en el espacio euclídeo  $n$ -dimensional, entonces la erosión de  $A$  por  $B$  es el conjunto de todos los elementos  $x$  para los que  $x + b \in A$  para todo  $b \in B$ " (sustracción de Minkowski) [13], [42].

La erosión de  $A$  por  $B$  se nota  $A \ominus B$  y se define como: [28]

$$A \ominus B = \{x \in E^n \mid x + b \in A \text{ para todo } b \in B\} \quad (4)$$

### 1.5.2.2 Operaciones Secundarias

#### Apertura y Cerradura

La dilatación y la erosión usualmente se aplican por pares, ya sea la dilatación seguida por la erosión o al revés. El resultado de esta aplicación sucesiva de dilatación y erosión da como resultado una eliminación de detalles menores por el elemento estructural, sin distorsionar la forma global del objeto [13], [42].

La aplicación sucesiva de dilataciones y erosiones es idempotente. La importancia práctica de este resultado es que las transformaciones idempotentes forman un estado completo de los algoritmos del análisis de imágenes ya que las formas podrían ser descritas en términos de los elementos estructurales bajo los cuales pueden ser abiertos o cerrados y quedarse igual.

La apertura y la cerradura proporcionan los medios para seleccionar subformas y superformas de una forma compleja [13], [42].

La apertura de  $A$  por un elemento estructural  $K$  se denota  $A \circ K$ , se define como [28]:

$$A \circ K = (A \ominus K) \oplus K \quad (5)$$

La apertura de  $A$  por  $K$  es básicamente la erosión de  $A$  por  $K$ , seguida de la dilatación del resultado por  $K$ .

La cerradura de  $A$  por un elemento estructural  $K$  se denota  $A \bullet K$ , y define como [28]:

$$A \bullet K = (A \oplus K) \ominus K \quad (6)$$

La cerradura de  $A$  por  $K$  es básicamente la dilatación de  $A$  por  $K$ , seguido de la erosión del resultado por  $K$ .

## 1.6 Introducción a la Morfología Matemática Difusa.

La Morfología matemática tradicional ofrece muchas maneras para introducir los conceptos difusos dentro de sus definiciones [44]. La parte más prominente para hacer esto son las señales, las cuales son morfológicamente procesadas (usualmente gráficos representados como imágenes binarias, escala de grises, o color), los elementos estructurales usados para examinar la señal como un parámetro estructural y muchos de los conceptos de conjuntos dentro de las definiciones básicas de la morfología matemática (incluyendo el conjunto de operaciones como la adición de Minkowski, relaciones de orden parcial y jerárquica, supremo e ínfimo, etc.) [3].

### 1.6.1 Reseña Histórica

Zadeth en 1965, Introduce los Conjuntos Difusos y un año mas tarde (1966) el reconocimiento de patrones como interpolación de las funciones de membresía.

En 1969 Ruspini introduce el concepto de particionado difuso.

Prewitt introduce la primera aproximación hacia la comprensión difusa de la imagen.

Los primeros algoritmos de clustering difusos son introducidos por Dunn y Bezdek en 1973.

La aproximación difusa para el reconocimiento de voz es introducida hacia el año 1977 por Pal.

Rosenfeld por su parte en 1979 introduce la geometría difusa.

Entre los años 1980 y 1986 Pal y Rosenfeld introducen una extensión a la geometría difusa y nuevos métodos de realce y segmentación difusa.

En la década de los años 80's y 90's surgen autores como Dave, Krisnapuram, Bezdek, Russo, Bloch, Maitre, Di Gesu, Sinha, De Baets, y otros, que dan vida, propiamente, al procesamiento difuso de la imagen y las reglas básicas que la rigen. Se integran nuevos algoritmos de clustering y se sientan las bases de los filtros difusos.

En 1999 Kōpen y Franke dan una estructura formal a la morfología difusa.

### 1.6.2 Procesamiento Difuso de la Imagen

El procesamiento de la imagen construido a partir de métodos difusos en la década de los 80's y siguientes, es un compendio de todas las reglas, bajo las cuales, se representan y procesan las imágenes, subimágenes, segmentos, características, etc. como conjuntos difuso [8]. La representación y el procesado dependen de la técnica difusa seleccionada y del problema que se quiera resolver. El procesamiento difuso de la imagen, esta organizado en nueve áreas de conocimiento [35]:

- Geometría Difusa (métricas, topología, etc.).
- Mediciones Difusas (entropía, correlación, divergencia, etc.).
- Sistemas de Inferencia Difuso (difusificación, inferencias, dedifusificación, etc.).
- Agrupamiento Difuso (promediado c difuso, etc.).
- Morfología Matemática Difusa (erosión difusa, dilatación difusa, etc.).
- Teoría de Medición Difusa.
- Gramática Difusa.
- Combinaciones Difusas (redes neuronales difusas, algoritmos genéticos difusos, ondeletas difusas, etc.).
- Extensión de Métodos Clásicos.

Una de estas áreas del conocimiento es la morfología matemática difusa que es una extensión de la morfología matemática tradicional en la cual se usan conceptos de la teoría de conjuntos difusos [43].

### 1.6.3 Operaciones Morfológicas Difusas

Las operaciones morfológicas difusas primarias, al igual que en la morfología matemática

clásica son dos, la erosión difusa y la dilatación difusa.

Las ecuaciones de dilatación y de erosión difusas utilizadas en el trabajo son las propuestas por Bloch y Maître [3], [8], [35]:

*Dilatación difusa*

$$(g \oplus \mu)(x) = \sup_{y \in X} \min[g(x - y), \mu(y)] \quad (7)$$

*Erosión difusa*

$$(g \ominus \mu)(x) = \inf_{y \in X} \max[g_{\max} - g(x - y), \mu(y)] \quad (8)$$

Donde:  $g(x)$  es la imagen difusa,  $\mu(x)$  es el elemento estructural difuso,  $X$  dominio ( $R^n$ ) ó elemento del discurso y  $x, y$  son vectores de posición del píxel.

Las operaciones secundarias son la apertura difusa y la cerradura difusa, compuestas a partir de las operaciones primarias difusas.

## 1.7 Ondeletas

### 1.7.1 Reseña Histórica

Documentos básicos de la reseña [32], [62], [26].

En 1909 Alfred Haar, construyó el primer sistema ortonormal de funciones con soporte compacto, fundamento para la moderna teoría del ondeletas.

En 1940 Ricker acuña el término ondeletas (wavelets) proveniente del campo de la sismología, el cual sirve para describir el disturbio resultante de un impulso sísmico agudo o una carga explosiva.

En 1946, Dennis Gabor describe una base no-ortogonal de ondeletas con soporte no acotado, basado en funciones gaussianas trasladadas.

En 1982, Morlet demostró como las ondeletas sísmicas pueden ser descritas eficientemente con funciones matemáticas de Gabor.

Posteriormente, Grossman y Morlet demostraron cómo las señales arbitrarias pueden ser analizadas en términos de escalamientos y traslaciones de una función ondeleta madre.

En 1989 Stephane Mallat demostró cómo esta teoría se puede utilizar en el procesamiento de imágenes y en el análisis de señales.

### 1.7.2 Introducción a las Ondeletas

Jean Morlet (geofísico francés) al investigar un método para poder modelar la propagación del sonido a través de la corteza terrestre y como alternativa a la transformada de Fourier, descubrió un sistema basado en una función prototipo, la cual, cumpliendo con ciertos requerimientos matemáticos y mediante dos procesos denominados escalamiento y traslación [52] formaba un conjunto de bases que permitían representar las señales de propagación con la misma robustez y versatilidad que la transformada de Fourier pero sin sus limitaciones [26].

La simplicidad y eficiencia de esta nueva herramienta matemática fue reconocida rápidamente. Un matemático francés de nombre Yves Meyer descubrió que esta herramienta formaba bases ortonormales de espacios ocupados por funciones cuyo

cuadrado es integrable, es decir, correspondiente a funciones o señales cuyo contenido energético es finito [64]. De estos descubrimientos surgió una explosión de actividad en esta área, así, ingenieros e investigadores comenzaron a utilizar la nueva herramienta denominada transformada de ondeletas [26] para aplicaciones en diferentes campos tales como la astronomía, la acústica, la ingeniería nuclear, sobre todo en el área que la vio nacer, la detección de terremotos; de igual manera se aplicó en la compresión de imágenes, en el reconocimiento de voz, en la visión humana, en la neurofisiología, la óptica, la resonancia magnética, el radar, etc. [22].

El término "ondeleta" (wavelet) es proveniente del campo de la sismología, así fue bautizada por Ricker en 1940 para describir el disturbio resultante de un impulso sísmico agudo o una carga explosiva [32].

Definición: "Las ondeletas son funciones definidas en intervalos finitos que tienen un valor promedio de cero". Éstas se definen por medio de una o varias funciones de inicio o iniciales, llamadas ondeletas madre, y por un algoritmo para obtener el resto de las funciones que construirán la base a partir de las funciones madre [26].

Una ondeleta es una "pequeña onda" o una función localizable en el tiempo, que si se ve desde un punto de vista del análisis o procesamiento de señales o imágenes se puede considerar como una herramienta matemática útil para la representación de señales, en el análisis tiempo-frecuencia [37].

Las características propias de la transformada de ondeletas otorgan la posibilidad de representar señales en diferentes niveles de resolución [64].

Las ondeletas han sido aplicadas a distintas áreas del conocimiento científico, como son las matemáticas, la física y el procesamiento de señales y gráficas computarizadas. La aplicación evidente y tema del presente trabajo es la compresión de imágenes [60].

### **1.7.3 Bases de la compresión de imágenes**

El ojo humano capta una cantidad impresionante de datos cada segundo, muchos más de los que el cerebro puede procesar. El primer paso en el cerebro consiste en seleccionar y omitir la información menos importante. Esta compresión automática que se realiza en las redes neuronales que interconectan al ojo con el cerebro reduce el monto de información que llega al cerebro en un factor considerable, mucha de la información física representada en las señales de luz que llegan a los ojos no son necesarias para el cerebro. A partir de este hecho se justifica la idea de reducir la información contenida en una imagen para ahorrar espacio en su almacenamiento, o para su transmisión más eficiente [47].

La idea básica de la compresión de imágenes es la de usar la menor cantidad de bits posibles para representar la mayor cantidad de la información original. El uso de ondeletas permite que una señal sea concentrada en un pequeño subconjunto de coeficientes que al ser reconstruidas pueden ser fácilmente reconocidas por un ser humano [54].

Al codificar se guarda la información en una o más matrices con los datos que conforman a cada píxel en la posición adecuada, el problema de comprimir una imagen se reduce a un almacenamiento de la mayor información de esas matrices en el menor espacio posible. Para realizar esto, se utiliza la transformada ordenada con ondeletas de Haar [36].

La compresión basada en ondeletas de Haar es el método utilizado para la codificación de la imagen del iris debido a que ésta permite transformar una imagen de  $N \times M$ , en cuatro subimágenes donde cada una de éstas tiene una dimensión de la mitad de las dimensiones de la imagen original ( $\frac{1}{2} N \times \frac{1}{2} M$ ) [54], esto se puede observar en las imágenes de la figura 12, en el capítulo 2 se describe más detalladamente y aplicado a la compresión de imágenes del iris.



**Figura 12. a) Imagen Original b) Imagen Comprinida [67]**

## CAPITULO 2

### Análisis y Codificación de la Imagen del Iris

## **2.1 Introducción**

El propósito de la verificación de la identidad de la persona a través de la imagen del iris es obtener con un grado de seguridad aceptable, la identidad de una persona empleando para ello un análisis morfológico del patrón aleatorio que es visible dentro del ojo a cierta distancia. Como se mencionó, el iris es un órgano interno protegido (es decir inmune a influencias ambientales) con textura aleatoria, y estable, por lo que puede ser usado como una clave viva que no necesita ser recordada pero que siempre está presente.

Para el análisis de la estructura, primeramente se alisa la imagen utilizando filtros morfológicos difusos de apertura/cerradura, posteriormente se localizan los límites interno y externo del iris, las operaciones de detección de límites se llevan a cabo empleando operaciones de segmentación por umbral y operaciones morfológicas. En seguida se extrae el iris de la imagen, se convierte posteriormente de un sistema de coordenadas polar a uno cartesiano, ambos en forma bidimensional, en el cual se ubica el tejido del iris. Como paso siguiente se corrige la imagen utilizando lógica difusa, por último, aplicando las ondeletas de Haar a la imagen obtenida del iris, ésta se codifica en forma binaria, para su posterior aplicación.

El patrón detallado del iris es codificado en un código de 87 bits, el cual representa los detalles de la textura.

## **2.2 Descripción**

En el presente capítulo se describe el proceso que se configura para realizar "la propuesta alterna del reconocimiento del iris usando procesamiento morfológico borroso". El procesamiento consta básicamente de 7 subprocesos, los cuales son novedosos, ya que no han sido aplicados a este tipo de problema, ninguno de los trabajos relacionados utiliza la morfología para realizar el proceso, es cierto que existen temas y procesos comunes pero en esta investigación son tratados de diferente forma, como en el caso de ondeletas Haar [58] donde el autor solo lo menciona de una forma muy superflua sin ninguna descripción detallada del mismo.

A continuación se presenta el diagrama que describe el proceso desarrollado en la presente investigación. Con este proceso se puede obtener un código a partir de una fotografía digital del ojo de 640 x 480 píxeles, en escala de grises (en una gama de 0 a 255, a 8 bits), como puede observarse en el diagrama de la figura 13, éste consta de siete subprocesos:

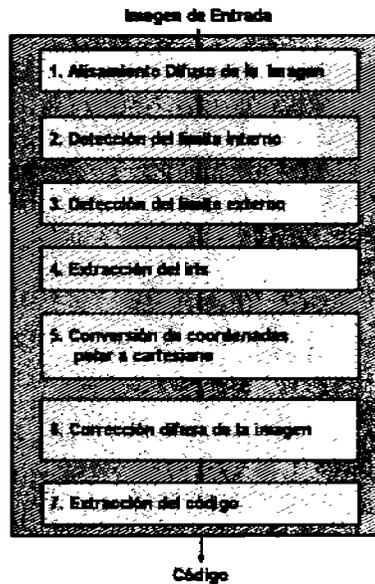


Figura 13. Diagrama a bloques del proceso

### 2.2.1 Alisamiento Difuso de la Imagen

El alisamiento difuso consiste básicamente en eliminar detalles, ya sean oscuros o claros, que de alguna manera dificultan la segmentación en regiones del ojo.

Para realizar este subproceso se utilizan las ecuaciones de la dilatación y de la erosión difusas propuestas por Bloch y Maître [3], [8].

A partir de estas dos operaciones se realiza la apertura y cerradura difusas, La apertura difusa es la combinación de la erosión difusa seguida de la dilatación difusa y la cerradura difusa es la combinación de la dilatación difusa seguida de la erosión difusa [35], esto se observa en la tabla 1.

Tipo de operación		Primero se aplica	Después se aplica
apertura		erosión	dilatación
cerradura		dilatación	erosión

Tabla 1. Composición de la Apertura y cerradura

Con la apertura difusa se alisan detalles claros en la imagen, y con la cerradura difusa se alisan los detalles más oscuros, con estas operaciones se pueden obtener formas dentro de una imagen.

El resultado de la aplicación del filtro difuso a la imagen del ojo (figura 14), se muestra en la figura 15, con el cual se obtiene un prealisamiento de la pupila que no tiene contra parte en los procesos conocidos que abordan este problema.

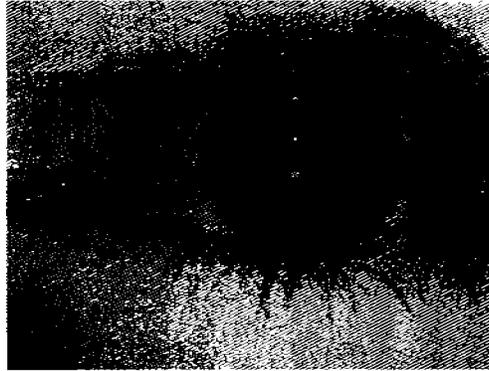


Figura 14. Foto digital del ojo (Imagen de Entrada)

### 2.2.2 Detección y Extracción del Límite Interno

En este subproceso se detectan las líneas con mayor número de píxeles tanto verticales como horizontales de la pupila, a partir de esto se localiza el píxel central, se homogeniza la pupila y se hace la extracción del límite interno, como a continuación se describe.

Una vez aplicado el alisamiento difuso, la imagen así obtenida continúa con el subproceso de detección y extracción del límite interno, este subproceso se divide en:

- Segmentación por umbral.
- Filtrado.
- Conteo.
- Homogenización.

**Segmentación por umbral;** Es la binarización de la imagen, destacando la parte más oscura de la misma, con este subproceso separamos la pupila del resto de la imagen. Como dato de entrada tenemos una imagen modificada del ojo, la cual fue obtenida del subproceso anterior, esta se muestra en la figura 15.

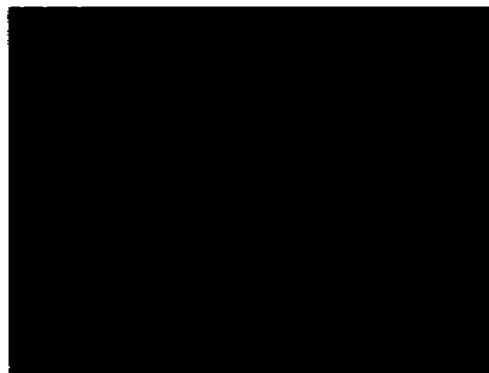


Figura 15. Imagen alisada (filtro difuso de apertura/cerradura)

La segmentación por umbral del ojo consiste en la división o separación en regiones con atributos similares, subdividiendo esta en sus partes constituyentes.

La imagen se puede describir como un conjunto de objetos luminosos sobre un fondo de cierta oscuridad, de esta manera los píxeles del objeto y del fondo tienen los niveles de gris agrupados en dos formas. Estas regiones se encuentran separadas por un borde o frontera entre ellas, con propiedades de nivel de gris relativamente distintas.

Se extraen las partes constituyentes y el fondo mediante la elección de un determinado umbral  $T$  que las aisle, en el presente trabajo, el umbral que mejor resultado dio es  $T=60$ .

La técnica es la siguiente; se particiona la imagen usando un umbral  $T$ . La imagen particionada  $G(x, y)$  se define como:

$$G(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{si } f(x, y) > T \\ 0 & \text{si } f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (9)$$

Así los píxeles etiquetados con 1 corresponden a los objetos, y los píxeles etiquetados con 0 corresponden al fondo. Se obtiene una imagen del ojo binarizada, la cual se muestra en la figura 16.

Como se observa en la figura 16, una vez aplicada la segmentación por umbral, la imagen segmentada por umbral presenta visiblemente en su parte interior puntos blancos, que en la realización del conteo son perjudiciales y por consiguiente se obtendrían resultados erróneos, de igual manera, se observa que contiene basura en su parte externa que de la misma forma alterarían el resultado (puntos negros en su rededor) por lo cual y para poder eliminar dichas imperfecciones es necesario aplicar un filtrado, para rellenar los huecos dentro de la circunferencia obtenida (en toda la pupila) y eliminar los puntos negros de la imagen en la parte externa de la pupila.



Figura 16. Imagen segmentada por umbral

**Filtrado;** A este proceso se le conoce como alisamiento morfológico. La forma de llevar a cabo esto, es realizar una apertura seguida de una cerradura, así el resultado de estas dos operaciones es suprimir o atenuar elementos extraños brillantes u oscuros.

El filtrado morfológico de apertura/cerradura (ver ecuaciones 5 y 6), el cual como ya se mencionó, realiza las tareas de eliminar basura externa (puntos negros fuera de la pupila) y rellenar el interior del círculo pupilar como puede observarse en la figura 17:

Como se indicó en el capítulo anterior, la apertura/cerradura son las combinaciones de erosión/dilatación, dilatación/erosión respectivamente. El objetivo de aplicar este filtro es el de simplificar la imagen, es decir, suavizarla.

El elemento estructural utilizado tiene un tamaño de 11, no es necesario su ajuste con

cada imagen ya que la iluminación durante la captura de las imágenes es la misma (ver capítulo 3 en el apartado denominado bloque 1 captura de imágenes del ojo).

La apertura y la cerradura proporcionan los medios para seleccionar subformas de una forma compleja. Como la imagen resultante de la pupila, que se muestra en la figura 17.



Figura 17. Imagen filtrada

**Conteo;** Una vez limpia la imagen de la pupila, la cual tiene una forma redonda, se aplica, el siguiente método que es exclusivo para este tipo de formas (redondas):

El primer paso para detectar la línea horizontal con mayor número de píxeles, se realiza de la siguiente manera:

- \* Se cuentan todos los píxeles negros en cada fila.
- \* Se obtiene la fila con mayor número de píxeles.
- \* Se obtienen la posición del primer píxel ( $x_{ini}$ ,  $y_{ini}$ ) en esa fila y del último píxel ( $x_{fin}$ ,  $y_{fin}$ ) dentro de la misma fila.
- \* Para obtener la posición del píxel central dentro de esta fila se aplica  $x_{cen} = (x_{ini} + x_{fin})/2$ .

De igual manera los pasos para detectar la línea vertical con mayor número de píxeles es muy semejante:

- \* Se cuentan todos los píxeles negros en cada columna.
- \* Se obtiene la columna con mayor número de píxeles.
- \* Se obtienen la posición del primer píxel ( $x_{ini}$ ,  $y_{ini}$ ) en esa columna y del último píxel ( $x_{fin}$ ,  $y_{fin}$ ) dentro de la misma columna.
- \* Para obtener la posición del píxel central dentro de esta columna se aplica  $y_{cen} = (y_{ini} + y_{fin})/2$ .

A partir de los valores centrales ( $x_{cen}$ ,  $y_{cen}$ ) se puede obtener efectivamente el centro de la pupila y por consecuencia se obtiene el radio de la misma.

**Homogenización;** Una vez obtenido el píxel central de la pupila y el radio de la misma mediante un filtro de relleno se homogeniza la pupila en la imagen inicial, con píxeles de color negro para dejarla preparada para el próximo paso del proceso, esto se observa en la figura 18.



Figura 18. Imagen con la pupila homogenizada

### 2.2.3 Detección y Extracción del Limite Externo

La tercera parte del procesamiento es la detección y extracción del límite externo, aquí se aplica, al igual que en la detección y extracción del límite interno, una segmentación por umbral, pero ahora para ubicar el iris, posteriormente se filtra, por ultimo se realiza un conteo, de esta forma se obtiene la siguiente subdivisión:

- Segmentación por umbral.
- Filtrado.
- Conteo.

**Segmentación por umbral;** Para obtener el límite externo se aplica primeramente una segmentación por umbral, el valor de  $T$  es diferente al utilizado para la obtención del límite interno, debido a que se necesita un umbral con el cual se incluya el iris, con esta segmentación por umbral se pueden determinar los contornos binarios más relevantes del ojo esto se observa en al figura 19.



Figura 19. Contornos binarios más relevantes del ojo

**Filtrado;** Como ocurría con la figura segmentada por umbral para la detección del límite interno, se aplica un filtrado para su preparación. El filtro que se aplica como en el caso anterior es un filtro de apertura/cerradura, el resultado del cual se muestra en la figura 20.



Figura 20. Imagen filtrada en apertura/cerradura

**Conteo;** Como se observa en la figura 20, la imagen no es totalmente redonda por lo cual el método de conteo utilizado para la detección del límite interno del iris (límite pupilar) no funciona.

Para extraer el límite externo de la pupila se usa un detector de bordes de los propuestos por González [25] con la máscara de la tabla 2:

$Z_5$	$Z_4$	$Z_3$
$Z_6$	$Z_1$	$Z_2$
$Z_7$	$Z_8$	$Z_9$

Tabla 2. Elemento estructural

Cuyos valores característicos son los siguientes:

$$z_1 = 8 \text{ y } z_2 = z_3 = z_4 = z_5 = z_6 = z_7 = z_8 = z_9 = 1$$

El primer paso es aplicar la máscara a cada píxel de la imagen para obtener el borde.

En el siguiente paso se promedian los píxeles del borde con respecto al centro pupilar

El valor obtenido se aplica para extraer el límite externo del iris.

### 2.2.4 Extracción del Iris

Una vez conocidos los valores de los límites interno y externo (radios y centro pupilar), estos se aplican a la imagen original en combinación con un filtro de homogenización en píxeles blancos para eliminar de la imagen todo en la parte interna y externa del iris dejando exclusivamente éste, que es el punto central de este trabajo. Este resultado se observa en la figura 21.

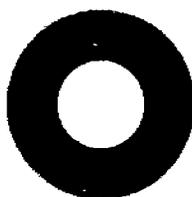


Figura 21. Extracción del iris

### 2.2.5 Conversión de Coordenadas Polares a Cartesianas

Debido a que el iris naturalmente se encuentra en forma circular, el siguiente paso es llevarlo a una forma rectangular para poder realizar la extracción del código de la imagen del iris. Para tal fin es necesario realizar un cambio de coordenadas llevarlo del sistema coordenado polar al cartesiano. Para establecer la relación entre estos sistemas coordenados, se hace coincidir el eje polar con el semieje positivo x y el polo con el origen. Así puesto que  $(x, y)$  están sobre una circunferencia de radio  $r$  (del centro de la pupila al extremo externo del iris), la circunferencia es positiva (sentido contrario a las manecillas del reloj), con un incremento del ángulo de 0.8 y aplicando las siguientes relaciones [59].

$$r^2 = x^2 + y^2 \quad (10)$$

$$x = r \cos \theta \quad (11)$$

$$y = r \operatorname{sen} \theta \quad (12)$$

obtenemos el cambio de coordenadas correspondiente con la imagen siguiente en forma rectangular (ver figura 22).



Figura 22. Imagen del Iris en Forma Rectangular

### 2.2.6 Corrección Difusa de Imagen

Para poder realizar la compresión de la imagen en el paso siguiente es necesario que el número de píxeles horizontales como verticales sean divisibles entre 16 (resultado de cuatro veces la compresión de la imagen  $2 \times 2 \times 2 \times 2$ ), el tamaño de la imagen más próxima a la imagen del iris obtenida en el paso anterior y con estas características es  $448 \times 48$ , para realizar la corrección se toman primeramente los píxeles verticales sobre la pupila (parte inferior de la imagen) con un grado de pertenencia cero y los píxeles más alejados (parte superior de la imagen) con un grado de pertenencia de uno, éstos píxeles tienen mas imperfecciones debido a las características inherentes del iris. Se toman todos los elementos (píxeles) con un grado de pertenencia menor al 0.7165 con lo cual obtenemos las características verticales deseadas. En el caso horizontal es diferente pues solo se

encuentra excedido en dos píxeles, Existe una perdida de píxeles verticales de aproximadamente el 28 % pero debido a la riqueza de la textura de la imagen del iris, esta perdida no afecta, ver la figura 23.



Figura 23. Imagen del iris estandarizada

### 2.2.7 Extracción del Código

Para poder codificar la imagen primero se comprime. Para comprimir se aplica la transformada de Haar la cual permite transformar una imagen de  $N \times M$ , en cuatro imágenes, cada una de las cuales tiene una dimensión que es la mitad de las dimensiones de la imagen original, es decir  $\frac{1}{2} N \times \frac{1}{2} M$ , la transformada de Haar es un método de compresión de imágenes, en el cual las imágenes originales son divididas en 4 subimágenes, como se observa en la figura 24.

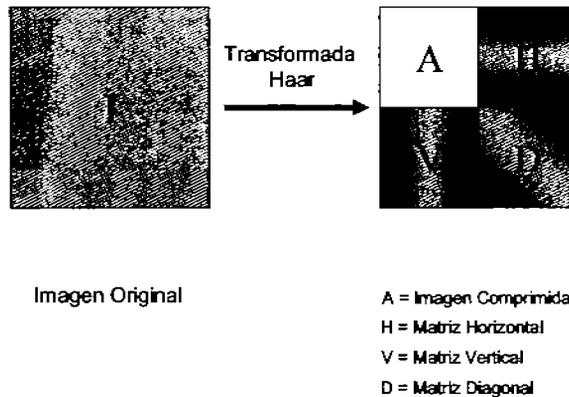


Figura 24. Método de compresión de imágenes

Esta operación se realiza usando las ecuaciones propuestas por Sánchez-Pérez-Nakano, y son las siguientes [54]:

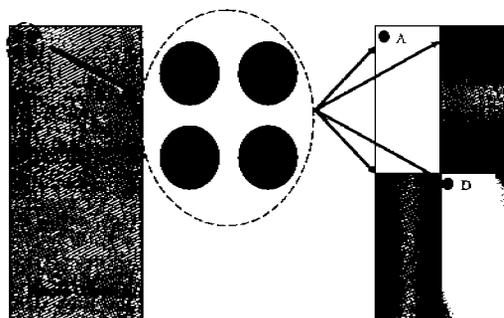
$$A = (a_1 + a_2 + a_3 + a_4) / 4 \quad (13)$$

$$H = (a_1 + a_2 - a_3 - a_4) / 4 \quad (14)$$

$$V = (a_1 - a_2 + a_3 - a_4) / 4 \quad (15)$$

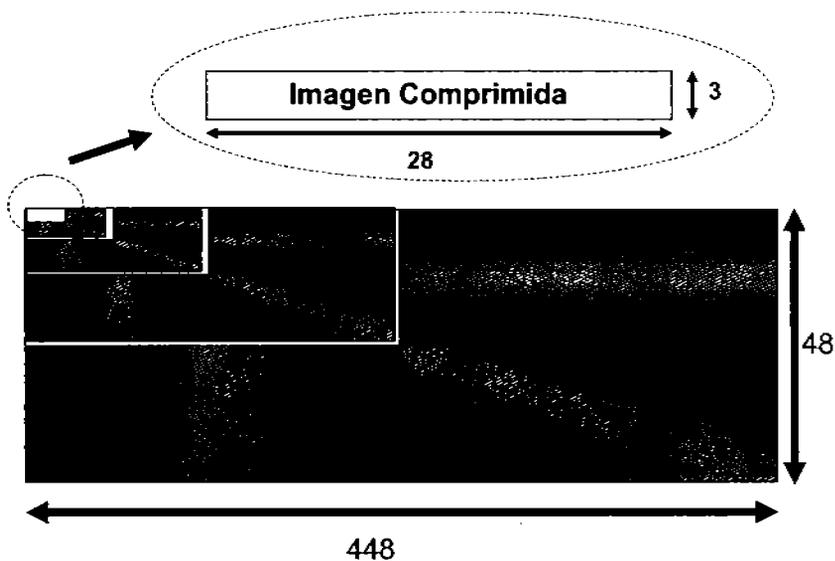
$$D = (a_1 + a_2 - a_3 + a_4) / 4 \quad (16)$$

Se toman grupos de cuatro píxeles, ventanas de  $2 \times 2$ , a cuyos elementos se aplica la ecuación correspondiente para obtener un píxel de la matriz ya sea comprimida o cualquiera de las matrices complementos (las otras tres), de esta manera se obtiene la imagen nueva comprimida, la matriz horizontal, vertical y diagonal. Esto permite obtener una compresión directa de 1 a 4, como se muestra en la figura 25.



**Figura 25. Método compresión de imágenes (continuación)**

La compresión se realiza 4 veces para obtener una imagen de 3 x 28 píxeles tal como se observa en al figura 26.



**Figura 26. Sub imágenes resultantes de la compresión**

En la tabla 3 se muestran los cuatro niveles de compresión que se aplicaron a la imagen y su respectiva imagen resultante.

Acción	Imagen resultante
Primera comprensión	
Segunda comprensión	
Tercera comprensión	
Cuarta comprensión	

**Tabla 3. Imágenes comprimidas**

Cada uno de los 84 valores de A4, tiene un valor real entre -1 y 1 al igual que los valores de D1, D2, D3. Para reducir el tiempo de cómputo y el espacio requerido para su manipulación y almacenamiento cuantizamos [58] cada valor en un valor binario, donde los valores positivos son 1 y los negativos son 0.

Blanco = 1

Negro = 0

Con lo cual obtenemos una imagen con puntos negros y blancos, en la imagen que se muestra a continuación estos puntos fueron multiplicados aproximadamente cincuenta veces en su forma vertical para poder ser visualizados en forma de código de barras, ver la figura 27.



**Figura 27. Imagen del código**

Por último se obtiene el código completo en forma binaria de los 87 bits del iris obtenidos en el proceso, esto se muestra a continuación en la tabla 4.



**Tabla 4. Código del iris en forma binaria**

En este capítulo se describió la metodología utilizada en este trabajo para el análisis y codificación de las imágenes del iris, en el capítulo 3 se realiza el análisis experimental y la validación.

## CAPITULO 3

### Análisis Experimental y Validación

### **3.1 Análisis Experimental**

En esta sección, se hace un análisis algorítmico descriptivo del sistema completo biométrico incluyendo la propuesta alterna del reconocimiento del iris usando procesamiento morfológico borroso (que es el tema fundamental del presente trabajo), el sistema consta de tres bloques fundamentales. El bloque de captura de la imagen del ojo, el bloque del procesamiento morfológico, y por último el bloque de aplicación.

#### **Bloque 1: Captura de Imágenes del Ojo.**

Como punto de partida dentro de la parte experimental, se capturaron las imágenes del ojo, para lo cual, se implementó un sistema propio de adquisición o captura de imágenes del ojo, para realizar tal proceso, se tomaron en consideración las siguientes características:

1. Calidad en la captura de la imagen del ojo.
2. Sin contacto físico.
3. Suficiente resolución y nitidez para soporte del reconocimiento.
4. Iluminación suficiente para un contraste adecuado.
5. Imagen del ojo centrada.
6. Eliminación en lo más posible del ruido.

Hardware para la captura de la imagen:

- Cámara Digital CCD de 2.1 Mega Píxeles.
- Lámpara de Halógeno de 50 Watts.
- Computadora Pentium 4 a 1 GHz.
- Tubo de Cartón ó Plástico Opaco de 5 cm de diámetro.

**Descripción:** Físicamente el bloque de adquisición de la imagen del ojo consta de una cámara CCD para la captura ubicada a 15 cm. del ojo del sujeto, la cámara CCD utilizada es una EPSON 850z con 2.1 Mega píxeles de resolución y con facilidad de macro, conectada a una computadora con la cual se realiza el respaldo y el procesamiento, la resolución de la imagen del ojo obtenida es de 640 x 480 píxeles en la escala de grises. Para la iluminación se utilizó una lámpara de halógeno ubicada a 20 cm. del ojo del sujeto, la lámpara tiene una potencia de 50 watts, Entre la cámara y el ojo del sujeto se dispuso un tramo de tubo de 15 cm con la cual se lograron minimizar los efectos del ruido de luz ambiente y fijar la distancia para obtener una imagen del ojo del mismo tamaño y con características semejantes, entre la lámpara de halógeno y el ojo del sujeto se dispuso el tramo de tubo restante (20 cm.) con lo cual se logró un contraste lo suficientemente adecuado para obtener una imagen con las características deseadas. Los tubos se unen en el extremo que va al ojo del sujeto. En la figura 28 se muestran los dispositivos utilizados y su disposición.

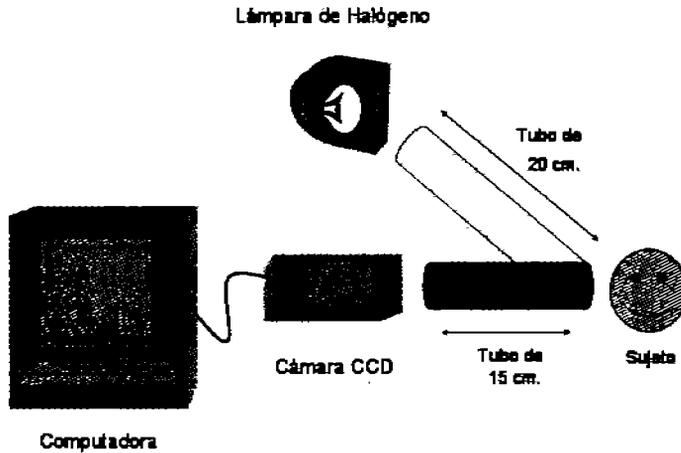


Figura 28. Captura de la imagen del ojo

## Bloque 2: Procesamiento Morfológico

En el capítulo anterior este bloque se describió detalladamente, tanto en su constitución como en su funcionamiento. En el presente capítulo se muestra su constitución general y funcionamiento experimental en siete diagramas constitutivos que exponen el total del proceso (los archivos .m que contienen los códigos para MatLab se muestran en el anexo 2), estos se enumeran a continuación y posteriormente se describen.

- Alisamiento Difuso de la Imagen del Ojo.
- Detección del Limite Interno.
- Detección del Limite Externo.
- Extracción del Iris.
- Conversión de Coordenadas.
- Corrección Difusa de la Imagen.
- Extracción del Código.

### Alisamiento Difuso de la Imagen del Ojo

El procesado de la imagen comienza con un alisamiento difuso de la misma, con esto se obtiene una imagen con menos detalles, pero con un mayor contraste entre las regiones de interés, básicamente entre la pupila y el resto del ojo. Logrando con ello una mayor eficiencia en el proceso y una mayor simplicidad en los códigos del procesamiento.

Esto se realiza en dos pasos, primeramente una dilatación difusa con la cual se alisan los detalles claros de la imagen y posteriormente una erosión difusa con la cual se alisan los detalles oscuros. Esta parte del programa es muy compleja por lo cual, se consume aproximadamente el 70% del tiempo total del procesamiento en este subproceso, para realizar este alisamiento se utilizaron las ecuaciones de dilatación difusa y erosión difusa propuestas por I. Bloch (ver ecuaciones 7 y 8). Esta constituido como se muestra en el

siguiente diagrama de flujo (figura 29).

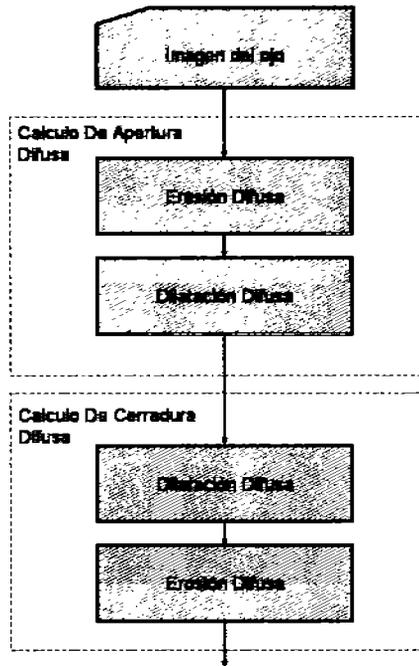


Figura 29. Diagrama de flujo del alisamiento difuso

#### Detección y Extracción del Iris

Una vez alisada la imagen, se detectan los límites, primero el límite que contiene la pupila, también se le conoce como límite interno, y el centro pupilar; posteriormente el límite que contiene el iris o límite externo. Utilizando el centro de la pupila y los límites tanto interno como externo, se extrae el iris de la figura original del ojo.

Primeramente se hace una segmentación por umbral para delimitar la pupila del resto del ojo, se aplica un filtro morfológico, para acentuar mas la pupila, se detecta la línea horizontal con mayor número de píxeles dentro de la pupila, posteriormente se detecta la línea vertical con mayor número de píxeles dentro de la misma pupila, a partir de estos valores se determina el centro de la misma, como lo muestra el diagrama de flujo siguiente (figura 30):

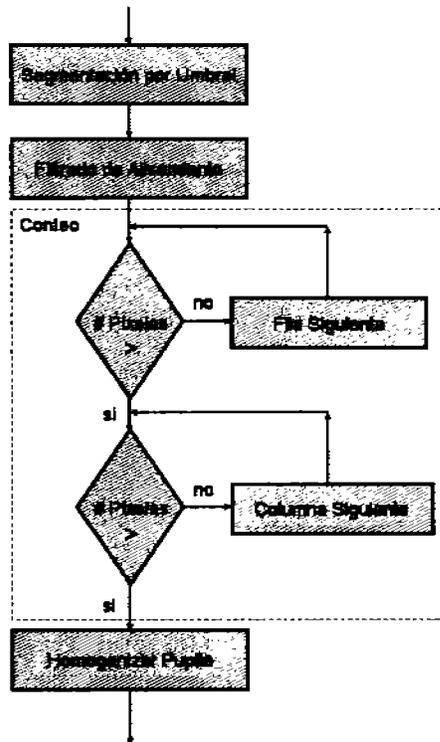


Figura 36. Detección del límite interno y homogenización de la pupila

#### Detección del Límite Externo

En la detección del límite externo se aplica una segmentación por umbral menos drástica que la efectuada en la extracción del límite interno, con esta segmentación se logra una conjunción del iris con la pupila, definiendo el contorno de ambas en contraparte con el resto del ojo, esta nueva figura posee algo de basura tanto en la parte interna (huecos blancos) como en la parte externa (puntos negros) la cual es eliminada con un filtrado de alisamiento. El conteo que se realiza en esta parte del proceso se basa en el método de extracción de bordes como ya se menciono. El diagrama de flujo de la detección del límite externo se muestra en la figura 31:

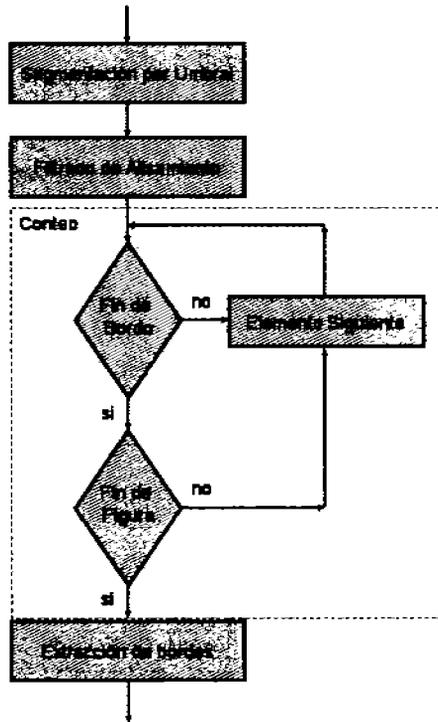


Figura 31. Detección del límite externo

Para continuar con nuestro proceso, en el siguiente diagrama se muestra (figura 32) la extracción del iris de la imagen original del ojo, éste consta básicamente de dos partes. La primera parte involucra la eliminación de la pupila dentro de la imagen del ojo, esto se logra mediante los valores obtenidos en los pasos anteriores, se toman en cuenta los valores máximos de la línea horizontal y de la línea vertical obtenidos para el límite interno y con ellos la pupila se reduce a píxeles blancos. La segunda parte involucra los valores obtenidos para la extracción del límite externo y del centro pupilar, con ello todos los elementos existentes fuera de la pupila son reducidos a píxeles blancos, de esta manera nuestro iris queda totalmente limpio y delimitado.

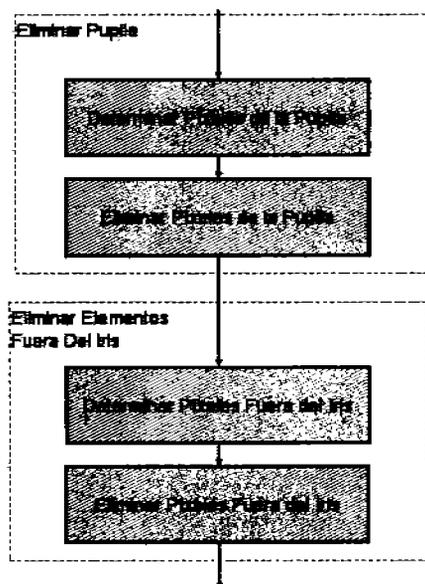


Figura 32. Extracción del iris

### Cambio de Coordenadas Polares a Cartesianas

Una vez extraído este (el iris) se presenta en forma circular, y para extraer el código con el método propuesto es necesario convertir esta forma circular a una forma rectangular, para lograr esto primeramente establecemos el inicio o punto de referencia inicial de la figura circular (centro de la pupila) y llevar a cabo su transformación. Seguidamente se establecen los valores del radio de la imagen y el ángulo, éste se mueve en sentido opuesto a las manecillas del reloj, posteriormente se aplican las ecuaciones de transformación para obtener una imagen rectangular, el diagrama a bloques que muestra dicho procedimiento puede observarse en la figura 33:

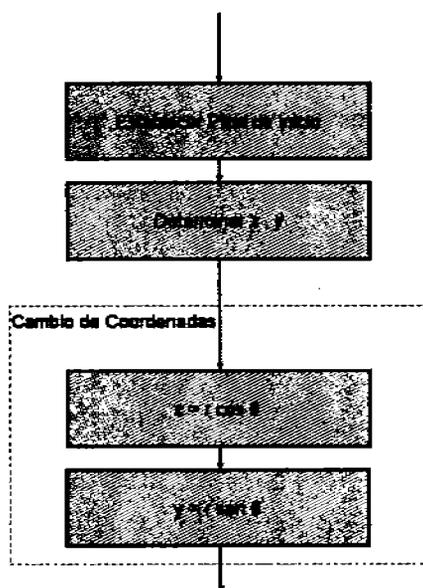


Figura 33. Cambio de coordenadas

### Corrección difusa

Una vez hecho el cambio de coordenadas, la imagen del iris resultante es de 60 x 450 píxeles, por lo cual es necesario estandarizarla para realizar la extracción, para lo cual se aplica el método de corrección difusa (apartado 2.2.6), el tamaño de la imagen resultante de la corrección difusa, es de 48 x 448 píxeles, con lo cual todas las imágenes se estandarizan a un tamaño apropiado para la extracción del código (figura 34).

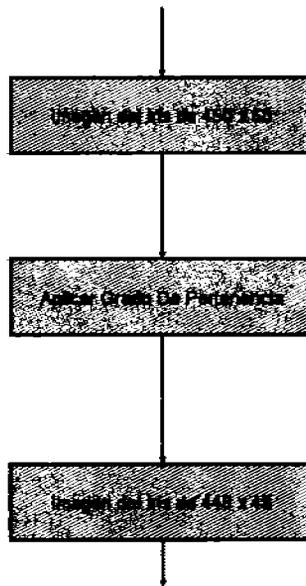


Figura 34. Corrección difusa

Extracción de código

El último paso del proceso es la extracción del código, éste se muestra en el diagrama de la figura siguiente. Como primer paso se comprime la imagen cuatro veces con lo cual se obtiene una imagen fina de 3 por 28 píxeles, con lo cual se obtienen de esta imagen un total de 84 píxeles los cuales son cuantizados para ser convertidos en valores de 0 ó 1 dependiendo de su valor original del píxel. Posteriormente las imágenes diagonales D1, D2, D3 se promedian y cuantizan para obtener 3 bits más, con lo cual llegamos a un código final binario de 87 bits. Lo descrito en este párrafo se muestra en el diagrama de la figura 35.

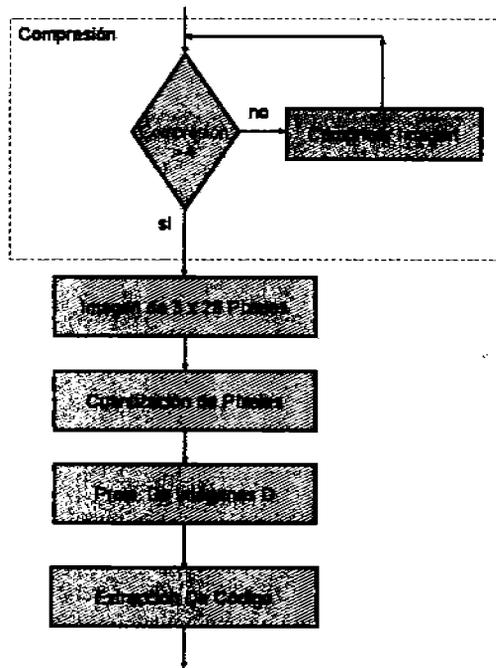


Figura 35. Extracción del código

### Bloque 3: Aplicación

Por ultimo se compara con otros patrones de 87 bits almacenados, esta comparación se realiza bit a bit. Dependiendo de esta comparación se detectará si el patrón del iris de la persona se encuentra o no dentro de la base de datos.

Una vez identificada o no la persona se tomaran las acciones correspondientes.

### 3.2 Análisis de Resultados

#### Sistema Utilizado:

Computadora Personal:

Hardware:

- Procesador Pentium 4 a 1 GH.
- Memoria RAM de 524 MB.
- Disco Duro de 60 GH.

Software:

- Windows XP
- MatLab 6.5

### 3.2.1 Tiempo de Proceso

El tiempo total de proceso es aproximadamente de 50 segundos, con los elementos antes mencionados, la distribución del tiempo de maquina se muestra en la tabla 5:

Sub Proceso	Tiempo maquina
Alisamiento Difuso de la Imagen del ojo	80 %
Detección del Limite Interno	06 %
Detección del Limite Externo	05 %
Extracción del Iris	01 %
Conversión de Coordenadas	02 %
Corrección Difusa de la Imagen	02 %
Extracción del Código	04 %

Tabla 5. Tiempo de maquina por subproceso.

### 3.2.2 Validación

#### Diferentes Individuos

A continuación se muestran los resultados más sobresalientes de procesar 10 imágenes del ojo de diez personas diferentes, los resultados mostrados son; la imagen capturada del ojo por individuo, la imagen obtenida del iris en forma rectangular (en coordenadas cartesianas), el código de barras correspondiente, y el código binario.

- Individuo 1:

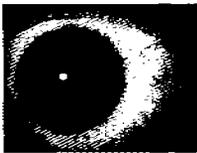
Imagen del ojo	Imagen del iris en forma rectangular
	
Código de barras	Código Binario
	1100111000000011011100000000110010011111011110000101010100111101000100001100001111010

Tabla 6. Imagen del ojo, del iris y código del individuo 1

- Individuo 2:

Imagen del ojo	Imagen del Iris en forma rectangular
	
Código de barras	Código Binario
	101001011101110001001100110111001111011010001101001100010101000010011111110011100001110

Tabla 7. Imagen del ojo, del iris y código del individuo 2

- Individuo 3:

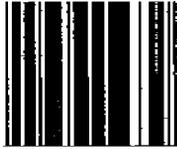
Imagen del ojo	Imagen del Iris en forma rectangular
	
Código de barras	Código Binario
	110110010110100011011001010101110110000010110100001100000101001111101111000100011011010

Tabla 8. Imagen del ojo, del iris y código del individuo 3

- Individuo 4:

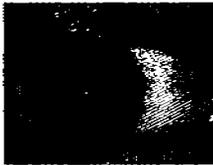
Imagen del ojo	Imagen del Iris en forma rectangular
	
Código de barras	Código Binario
	00110010011110100010001101001111111100011100110000010100000111010011101001001101101010

Tabla 9. Imagen del ojo, del iris y código del individuo 4

- Individuo 5:

Imagen del ojo	Imagen del iris en forma rectangular
	
Código de barras	Código Binario
	011011010000101011000111010100011000101001111010100000011111111000011100110110100010110

Tabla 10. Imagen del ojo, del iris y código del individuo 5

- Individuo 6:

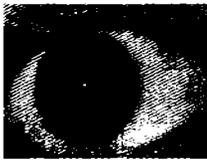
Imagen del ojo	Imagen del iris en forma rectangular
	
Código de barras	Código Binario
	001110010111000110111101000111000110010010001001100001010010001000111001000101111101110

Tabla 11. Imagen del ojo, del iris y código del individuo 6

- Individuo 7:

Imagen del ojo	Imagen del iris en forma rectangular
	
Código de barras	Código Binario
	1111101111101101001111001110001101000010001101110111011010111101000111101010010000010

Tabla 12. Imagen del ojo, del iris y código del individuo 7

- Individuo 8:

Imagen del ojo	Imagen del iris en forma rectangular
	
Código de barras	Código Binario
	<pre>00000000100001011000101000101010101110101000111001111001010000101100001100101101101</pre>

Tabla 13. Imagen del ojo, del iris y código del individuo 8

- Individuo 9:

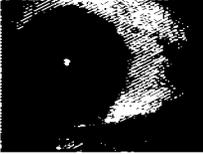
Imagen del ojo	Imagen del iris en forma rectangular
	
Código de barras	Código Binario
	<pre>101100011000000101000011100100000011111101011110000111011101000101011011000011011101101</pre>

Tabla 14. Imagen del ojo, del iris y código del individuo 9

- Individuo 10:

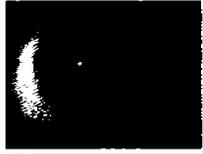
Imagen del ojo	Imagen del iris en forma rectangular
	
Código de barras	Código Binario
	<pre>101011110110010100010001011000110001001011000010110010111011110101010111001000011010</pre>

Tabla 15. Imagen del ojo, del iris y código del individuo 10

Como puede observarse en los resultados del proceso de las diez imágenes del ojo de diez personas diferentes se obtuvieron diez de diez, es decir un código diferente por persona.

**Diferentes Imágenes de un Individuo**

En este apartado se muestran los resultados de procesar 10 imágenes del ojo de una sola persona, los resultados mostrados son; la imagen capturada del ojo por individuo, la imagen obtenida del iris en forma rectangular (en coordenadas cartesianas), el código de barras correspondiente, y el código binario.

- Imagen 1:

Imagen del ojo	Imagen del iris en forma rectangular
	
Código de barras	Código Binario
	<p>11001110000000110111000000001100100111110111100001010101001111101000100001100001111010</p>

Tabla 16. Imagen 1 del ojo, del iris y código

- Imagen 2:

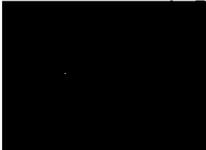
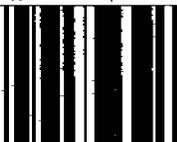
Imagen del ojo	Imagen del iris en forma rectangular
	
Código de barras	Código Binario
	<p>11001110000000110111000000001100100111110111100001010101001111101000100001100001111010</p>

Tabla 17. Imagen 2 del ojo, del iris y código

- Imagen 3:

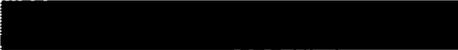
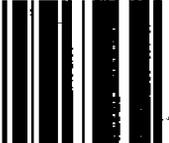
Imagen del ojo	Imagen del Iris en forma rectangular
	
Código de barras	Código Binario
	110011100000001101110000000001100100111110111100001010101001111101000100001100001111010

Tabla 18. Imagen 3 del ojo, del iris y código

- Imagen 4:

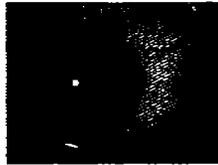
Imagen del ojo	Imagen del Iris en forma rectangular
	
Código de barras	Código Binario
	110011100000001101110000000001100100111110111100001010101001111101000100001100001111010

Tabla 19. Imagen 4 del ojo, del iris y código

- Imagen 5:

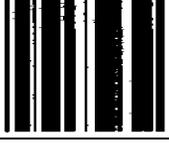
Imagen del ojo	Imagen del Iris en forma rectangular
	
Código de barras	Código Binario
	110011100000001101110000000001100100111110111100001010101001111101000100001100001111010

Tabla 20. Imagen 5 del ojo, del iris y código

- Imagen 6:

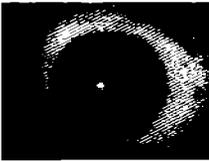
Imagen del ojo	Imagen del Iris en forma rectangular
	
Código de barras	Código Binario
	<pre data-bbox="412 492 1127 510">11001110000000110111000000001100100111110111100001010101001111101000100001111010</pre>

Tabla 21. Imagen 6 del ojo, del iris y código

- Imagen 7:

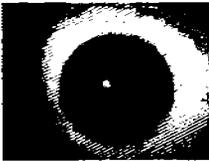
Imagen del ojo	Imagen del Iris en forma rectangular
	
Código de barras	Código Binario
	<pre data-bbox="412 973 1127 990">11001110000000110111000000001100100111110111100001010101001111101000100001111010</pre>

Tabla 22. Imagen 7 del ojo, del iris y código

- Imagen 8:

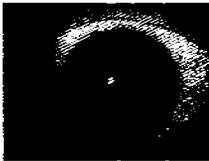
Imagen del ojo	Imagen del Iris en forma rectangular
	
Código de barras	Código Binario
	<pre data-bbox="412 1451 1127 1469">11001110000000110111000000001100100111110111100001010101001111101000100001111010</pre>

Tabla 23. Imagen 8 del ojo, del iris y código

- Imagen 9:

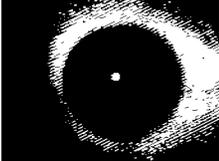
Imagen del ojo	Imagen del iris en forma rectangular
	
Código de barras	Código Binario
	<pre data-bbox="412 498 1123 516">11001110000000110111000000001100100111110111100001010101001111101000100001100001111010</pre>

Tabla 24. Imagen 9 del ojo, del iris y código

- Imagen 10:

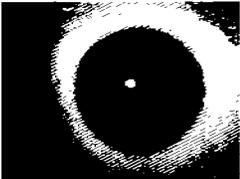
Imagen del ojo	Imagen del iris en forma rectangular
	
Código de barras	Código Binario
	<pre data-bbox="412 999 1123 1017">11001110000000110111000000001100100111110111100001010101001111101000100001100001111010</pre>

Tabla 25. Imagen 10 del ojo, del iris y código

Como puede observarse en los resultados anteriores, al procesar las diez imágenes del ojo de la misma persona se obtuvo uno de diez, es decir un código igual para las diez imágenes diferentes de la misma persona.

## CONCLUSIONES

El procesamiento alterno del reconocimiento de la persona a través del iris, desde su inicio al aplicar el alisamiento difuso de la imagen de entrada, hasta la separación del iris del resto del ojo, se aplicó morfología matemática tanto real como difusa, posterior a esto, un cambio de coordenadas de polar a cartesiano, y la extracción del código utilizando las ondeletas de Haar, que proporcionan como resultado un código de 87 bits; cada punto de este trabajo se trato de desarrollar de una manera explícita, para que cualquier persona interesada en el tema obtenga la información necesaria para su implementación, cosa que no sucede con el proyecto de referencia (Daugman), ya que este posee detalles ocultos, debido tal vez a problemas de patente.

En el transcurso del desarrollo y la implementación del trabajo se descubrieron otros trabajos relacionados (apartado 1.3) con el tema de investigación y ninguno de ellos utiliza la morfología, lo que hace al presente trabajo novedoso en este aspecto, existen temas comunes pero son tratados de diferente forma y en algunos casos no es muy claro su algoritmo, en el presente trabajo se trato de desarrollarlos más explícitamente.

Otro punto sobresaliente es la codificación del iris para lo cual Daugman utiliza ondeletas de Gabor con lo cual se obtiene un código de 266 bits, como el lo indica, el presente trabajo surgió con la filosofía de reducir el número de bits, ayudando tal vez a realizar una comparación mas rápida, ya que esta se realiza bit a bit, de la misma forma a obtener una base de datos más compacta. El código final obtenido con ondeletas de Haar es de 87 bits.

Otro aspecto para comentar es el relacionado con el procesamiento de las imágenes del iris de diez personas diferentes, en ningún caso el código obtenido se repitió, es decir se codifico diferentemente a cada individuo. En el caso de las diez imágenes del iris de un solo individuo, se obtuvo el mismo código para cada imagen procesada. Corroborando con lo anterior el desempeño de esta propuesta alterna.

A futuro me gustaría realizar un sistema de identificación personal biométrico automático, utilizando como eje el presente trabajo, para ello es necesario invertir tiempo y esfuerzo pero creo que valdría la pena.

# Anexo 1

## Definiciones

**ADN:** Ácido desoxirribonucleico.

**Apertura:** Operación morfológica que combina la erosión de la imagen seguida de la dilatación.

**Binarización:** Es una operación utilizada en el análisis de la imagen por la cual se lleva a una imagen cromática o monocromática a una imagen binaria.

**Biométrico:** Término que se refiere a la identificación, o a la verificación de la identidad de individuos usando una o varias características fisiológicas.

**CCD:** (Charge Coupled Device) Dispositivo de acoplamiento de carga.

**Cerradura:** Operación morfológica que combina la dilatación de la imagen seguida de la erosión.

**Clausura:** Cerradura.

**Comprensión:** Reducción de la información contenida en una imagen para ahorrar espacio en su almacenamiento, o para optimización en su transmisión.

**Dilatación:** Operación morfológica, que combina dos vectores utilizando el concepto de suma.

**Erosión:** Operación morfológica que combina dos vectores usando el concepto de inclusión.

**Filtro:** Proceso que se basa en la aplicación de operaciones que producen cambios en la intensidad de luz en cada punto, en función del valor de los píxeles adyacentes.

**Huella digital:** Pliegues y minucias que conforman la cara frontal de un dedo.

**Idempotente:** Todo elemento de un conjunto que es igual al resultado de componerlo con sí mismo.

**Imagen Capturada:** Imagen tomada con un dispositivo digital y almacenada.

**Iris:** Es un órgano interno en el ojo, detrás de la córnea y el humor acuoso, es visible externamente a cierta distancia, y constituido por un tejido conjuntivo elástico.

**Lógica Borrosa:** Lógica Difusa.

**Lógica Difusa:** Lógica infinito valuada.

**Lógica trivaluada:** Lógica con tres valores.

**Minucias:** Lugares en donde los pliegues del dedo se paran, bifurcan, o rompen.

**Morfología Matemática Difusa:** Morfología matemática real a la cual se aplico los conceptos de la lógica difusa.

**Morfología Matemática:** Área del análisis de imágenes que se dedica al estudio y representación de las formas presentes en imágenes.

**Morfología:** palabra que en la Biología, indica la rama que se dedica al estudio de la forma y estructura de los animales y plantas.

**Ondeletas ó Pequeñas Ondas:** son funciones definidas en intervalos finitos que tienen un valor promedio de cero.

**Ondeletas:** Wavelets.

***Píxel Adyacente:*** Píxeles que rodean al píxel principal o de trabajo.

***Retina:*** Capa de vasos sanguíneos situados en la parte posterior del ojo.

***Segmentación:*** Es una operación utilizada en el análisis de la imagen y cuyo objetivo es distinguir los objetos del fondo.

Anexo 2

Código Fuente

El presente código fuente consta de varios archivos \*.m para MatLab

```
(01)
clear, close all
clc

% Esta función realiza la umbralización
% Este programa funciona perfectamente con imágenes en
% escala de grises en RGB la figura final se puede triplicar

Ojo = imread('iriscodccc.bmp');
Ojo1 = imread('iriscodccc.gif');
%Ojo = rgb2gray(Ojo2);
% Segmentación por umbral para binarizar la imagen
t=60;
figure(1);
imshow(Ojo, gray(256));
size(Ojo);
[N,M] = size(Ojo);
ImUmb = zeros(N,M);
for i=1:N
    for j=1:M
        if (Ojo(i,j) > t)
            ImUmb(i,j) = 255;
        else
            ImUmb(i,j) = 1;
        end
    end
end

%figure(2);
%imshow(ImUmb, gray(256));
%imwrite(ImUmb, gray(256), 'ImagUmbral.jpeg');

%Aplicar un filtro morfológico binario
%de apertura cerradura para eliminar basura
SFaa = 'square'
W = 18;
se = strel(SFaa,W);

ImFil01 = imopen(ImUmb,se);
ImFilFin = imclose(ImFil01,se);

%Mostrar y grabar imagen resultante
figure(3);
imshow(ImFilFin, gray(256));
imwrite(ImFilFin, gray(256), 'borrarcom.jpeg');
% Leer, convertir a binario y mostrar imagen
Imagen = imread('borrarcom.jpeg');
ImFilBin = im2bw (Imagen);
%figure(1)
%imshow(Imagenin)

% Indicar tamaño de la imagen
size(ImFilBin);
[N,M] = size(ImFilBin)

% Indicar valores iniciales de variables para detectar
% número de píxeles horizontales
continib = 0;
x1h = 0;
y1h = 0;
y2h = 0;
xigu = 0;
x0 = 1;
y0 = 1;
```

```

yf = 0;
lh = lmFilBin;

% Proceso para detectar la linea horizontal con mayor
% numero de pixeles
for x=1:N

xinc = 0;
contfinh = 0;

for y=1:M
if (lh(x, y) == 0)
    xinc=xinc + 1;
    contfinh = xinc;
end
if (xinc == 1);
    x0 = x;
    y0 = y;
end
if (x>1 & y>1 & lh(x, y)==1 & lh(x, y-1)==0)
    yf = y - 1;
end
end
if (contfinh > continih & contfinh > 0)
    xigu = 0;
end
if (contfinh >= continih & contfinh > 0)
    if (contfinh == continih )
        xigu = xigu + 1;
    end
    continih = contfinh;
    x1h = x0;
    y1h = y0;
    y2h = yf;
end
end

% Datos de Salida Horizontales
continih
x1h
y1h
y2h
xigu = xigu
ycentro = round((y1h + y2h)/2)

% Indicar valores iniciales de variables para detectar
% numero de pixeles verticales
contfinv = 0;
x1v = 0;
x2v = 0;
y1v = 0;
y2v = 0;
yigu = 0;
x0 = 1;
y0 = 1;
xf = 0;
yf = 0;

% Proceso para detectar la linea vertical con mayor
% numero de pixeles
for y=1:M

yinc = 0;
contfinv = 0;

for x=1:N
if (lh(x, y) == 0)

```

```

    yinc=yinc + 1;
    continv = yinc;
end
if (yinc == 1 );
    x0 = x;
    y0 = y;
elseif (x>1 & y>1 & lh(x, y)==1 & lh(x-1, y)==0 )
    xf = x - 1;
end
end
if (continv > continv & continv > 0)
    yigu = 0;
end
if (continv >= continv & continv > 0)
    if (continv == continv)
        yigu = yigu + 1;
    end
    continv = continv;
    y1v = y0;
    x1v = x0;
    x2v = xf;

end
end

```

**% Datos de Salida Verticales**

```

continv
radio = continv/2
y1v
x1v
x2v
yigual = yigu
xcentro = round((x1v + x2v)/2)

```

**% Leer, convertir a binario y mostrar imagen**  
**%Imagen = imread('iriscodec.gif');**  
**%figure(1)**  
**%imshow(Imagen)**

**% Indicar tamaño de la imagen**  
**size(Ojo1);**  
**[N,M] = size(Ojo1)**  
**Ixy = Ojo1;**  
**radio2=radio^2;**  
**for x=1:N**  
   **for y=1:M**  
     **x2=(x-xcentro)^2;**  
     **y2=(y-ycentro)^2;**  
     **x2y2=x2 + y2;**  
     **if (x2y2 <= radio2)**  
       **Ixy(x, y) =0;**  
     **end**  
   **end**  
**end**  
**figure(3)**  
**imshow(Ixy)**  
**imwrite(Ixy, gray(256), 'Liminterno.jpeg');**

**(2)**  
**X = imread('Liminterno.jpeg');**  
**%t = input('umbral ? ');**  
**t=115;**

**figure(1);**

```

imshow(Ixy, gray(256));
size(Ixy);
[N,M] = size(Ixy);
Y = zeros(N,M);
for i=1:N
    for j=1:M
        if (Ixy(i,j) > t)
            Y(i,j) = 255;
        else
            Y(i,j) = 1;
        end
    end
end
figure(2);
imshow(Y, gray(256));
%imwrite(Y, gray(256), 'borrar.jpeg');
SFaa = 'square'
W = 11;
se = strel(SFaa,W);

I2 = imopen(Y,se);
figure(3);
imshow(I2, gray(256));
%imwrite(I2, gray(256), 'borrar.jpeg');

Imagen = imclose(I2,se);

%Imagenin = imread('borrarcom.jpeg');
%Imagen = im2bw (Imagenin);
%figure(1)
%imshow (Imagen)

%ImIn = double (Imagen);
%ESm = double (ES);

ImIn=Imagen;
size (Imagen);
[Nx,My] = size (Imagen);

        % ES = Elemento Estructural
        % ESxy = Elemento Estructural indexado
ES=[1 1 1; 1 8 1; 1 1 1]
X0=ES(2,2);
X1=ES(2,3);
X2=ES(1,3);
X3=ES(1,2);
X4=ES(1,1);
X5=ES(2,1);
X6=ES(3,1);
X7=ES(3,2);
X8=ES(3,3);
%ESm = [X4 X3 X2; X5 X0 X1; X6 X7 X8];

xc=round(xcentro);
x=xc;
yc=round(ycentro);
Co01=1;    %Co01 = Contador de coincidencias

for y=yc:1:My-1
    %ImIn = Imagen Inicial
    %Imxy = Imagen Indexada
Ia=ImIn(x,y);
Ib=ImIn(x,y+1);
Ic=ImIn(x-1,y+1);

```

```

id=ImIn(x-1,y);
ie=ImIn(x-1,y-1);
if=ImIn(x,y-1);
lg=ImIn(x+1,y-1);
lh=ImIn(x+1,y);
li=ImIn(x+1,y+1);
Imxy = [ie ld lc; lf Ia Ib; Ig lh li];

IaX0=Ia*X0;
IbX1=Ib*X1;
IcX2=Ic*X2;
IdX3=Id*X3;
IeX4=Ie*X4;
IfX5=If*X5;
IgX6=Ig*X6;
IhX7=Ih*X7;
IiX8=Ii*X8;

% SuVe = Suma de los Pixeles Vecinos
SuVe=IbX1+IcX2+IdX3+IeX4+IfX5+IgX6+IhX7+IiX8;

if SuVe==IaX0
    Co01=Co01+1;
else
    break
end
end

radiob=Co01%*2;
lxyfin01 = lxy;
radio2=radiob^2;
for x=1:Nx
    for y=1:My
        x2=(x-xcentro)^2;
        y2=(y-ycentro)^2;
        x2y2=x2 + y2;
        if (x2y2 <= radio2)
            lxyfin01(x, y) = 255;
        end
    end
end
figure(4)
imshow(lxyfin01)

lxyfin02 = lxyfin01;
radiob2=radiob^2;
for x=1:Nx
    for y=1:My
        x2=(x-xc)^2;
        y2=(y-yc)^2;
        x2y2=x2 + y2;
        if (x2y2 >= radiob2)
            lxyfin02(x, y) = 255;
        end
    end
end
figure(5)
imshow(lxyfin02)
imwrite(lxyfin02, gray(256), 'Limtotal.jpeg');

(3)
clc
Ojo = imread('iriscodex.gif');
figure(1);
imshow(Ojo, gray(256));
size(Ojo);
[N,M] = size(Ojo);
Im = double (Ojo);

```

```
Ipc = zeros(60,450);
```

```
rp=radio;      %radio de la pupila  
ri=radioi;    %radio del iris  
xp0=xcentro;  %x centro de la pupila  
xt0=xcentro;  %x centro del iris  
yp0=ycentro;  %y centro de la pupila  
yt0=ycentro;  %y centro del iris  
xpc=0;  
teta=0;  
t=0;
```

```
for rt=ri:-1:rp  
    xpc=xpc+1;  
    ypc=0; :  
    for te=629:-8:270 %se puede cambiar el largo dependiendo del angulo  
        teta=pi*te/180;  
        xt=xt0+rt*cos(teta);  
        xtt= round(xt);  
        yt=yt0+rt*sin(teta);  
        ytt= round(yt);  
        ypc=ypc+1;  
        Ipc(xpc,ypc)=lm(xtt,ytt);  
    end  
end  
figure(2)  
imshow(Ipc, gray(256))  
imwrite(Ipc, gray(256), 'polcart.bmp');
```

(4)

```
clc
```

```
Signal01=imread('polcart.bmp');  
figure(1);  
imshow(Signal01, gray(256));  
size(Signal01);  
[Nx,My] = size(Signal01);  
% It = zeros(Nx,My);  
% It = Signal;  
% I = double(It);
```

```
Wx=19;  
Wy=2;  
difuso=zeros(Wx,Wy);
```

```
IID = double(difuso);  
KIID = double(difuso);
```

```
for x=1:Nx-Wx  
    for y=1:My-Wy
```

```
        if (x<=Nx & y<=My);  
            Ixy=Signal01(x+Wx,y);
```

```
        end  
        IID(x,y)= Ixy;  
        KIID = IID;  
    end
```

```

end

figure(2);
imshow(KIID,gray(256));
imwrite(KIID,gray(256), 'difuso.bmp');

(5)
clc

Signal=imread('difuso.bmp');
%Signal = rgb2gray(Signala);
%Signal = ipc;

figure(1);
imshow(Signal, gray(256));
size(Signal);
[N,M] = size(Signal);
It = zeros(N,M);
It = Signal;
I = double(It);
% mientras se reduce la matriz a 48x448
% N1=N-12; M1=M-2;
% mientras se reduce la matriz a 48x448

N2=N/2; M2=M/2;
N4=N/4; M4=M/4;
N8=N/8; M8=M/8;
N16=N/16; M16=M/16;
NC=1; MC=84;
Codigo=zeros(NC,MC);

A1 = zeros(N2,M2); D1 = zeros(N2,M2);
A2 = zeros(N4,M4); D1 = zeros(N4,M4);
A3 = zeros(N8,M8); D1 = zeros(N8,M8);
A4 = zeros(N16,M16); D1 = zeros(N16,M16);

x1=1; y1=1;
xa1=0; xa2=0; xa3=0; xa4=0; xa5=0;
cod=0; yc5=0;
D1i=0; D2i=0; D3i=0; D4i=0;
D1ic=0; D2ic=0; D3ic=0; D4ic=0;
D1cod=0; D2cod=0; D3cod=0; D4cod=0;

for x1=1:2:N
    xa1=xa1+1; ya1=0;
    for y1=1:2:M
        if x1<N & y1<M
            A1i=(I(x1,y1)+I(x1,y1+1))+I(x1+1,y1)+I(x1+1,y1+1))/4;
            D1i=(I(x1,y1)-I(x1,y1+1))-I(x1+1,y1)+I(x1+1,y1+1))/4;
            end
            ya1=ya1+1;
            A1(xa1,ya1) = A1i;
            D1(xa1,ya1) = D1i;
            D1ic=D1ic+D1i;
            end
        end
        D1cod=D1ic/5376);

figure(2);
imshow(A1, gray(256));
imwrite(A1, gray(256), 'HH1.bmp');

for x2=1:2:N2
    xa2=xa2+1; ya2=0;

```

```

for y2=1:2:M2
if x2<N2 & y2<M2
    A2=(A1(x2,y2)+A1(x2,y2+1)+A1(x2+1,y2)+A1(x2+1,y2+1))/4;
    D2i=(A1(x2,y2)-A1(x2,y2+1)-A1(x2+1,y2)+A1(x2+1,y2+1))/4;
end
ya2=ya2+1;
A2(xa2,ya2) = A2i;
D2(xa2,ya2) = D2i;
D2ic=D2ic+D2i;
end
end
D2cod=D2ic/(1344);

```

```

figure(3);
imshow(A2, gray(256));
imwrite(A2, gray(256), 'HH2.bmp');

```

```

for x3=1:2:N4
    xa3=xa3+1; ya3=0;
    for y3=1:2:M4
    if x3<N4 & y3<M4
        A3=(A2(x3,y3)+A2(x3,y3+1)+A2(x3+1,y3)+A2(x3+1,y3+1))/4;
        D3i=(A2(x3,y3)-A2(x3,y3+1)-A2(x3+1,y3)+A2(x3+1,y3+1))/4;
    end
    ya3=ya3+1;
    A3(xa3,ya3) = A3i;
    D3(xa3,ya3) = D3i;
    D3ic=D3ic+D3i;
    end
end
D3cod=D3ic/(336);

```

```

figure(4);
imshow(A3, gray(256));
imwrite(A3, gray(256), 'HH3.bmp');

```

```

for x4=1:2:N8
    xa4=xa4+1; ya4=0;
    for y4=1:2:M8
    if x4<N8 & y4<M8
        A4=(A3(x4,y4)+A3(x4,y4+1)+A3(x4+1,y4)+A3(x4+1,y4+1))/4;
        D4i=(A3(x4,y4)-A3(x4,y4+1)-A3(x4+1,y4)+A3(x4+1,y4+1))/4;
    end
    ya4=ya4+1;
    A4(xa4,ya4) = A4i;
    D4(xa4,ya4) = D4i;
    D4ic=D4ic+D4i;
    end
end
D4cod=D4ic/(84);

```

```

figure(5);
imshow(A4, gray(256));
imwrite(A4, gray(256), 'HH4.bmp');

```

```

for x5=1:N16
    for y5=1:M16
    if D4(x5,y5)>=0
        cod=1;
    else
        cod=0;
    end
    yc5= yc5 + 1;

```

```

   Codigo(1,yc5)=cod;
    %Codigo(2,yc5)=cod; %para visualizar mejor el codigo
    %Codigo(3,yc5)=cod; %para visualizar mejor el codigo
end
end
if D3cod >= 0
    D3codb=1;
else
    D3codb=0;
end
Codigo(1,85)=D3codb;
%Codigo(2,85)=D3codb; %para visualizar mejor el codigo
%Codigo(3,85)=D3codb; %para visualizar mejor el codigo

if D2cod >= 0
    D2codb=1;
else
    D2codb=0;
end
Codigo(1,86)=D2codb;
%Codigo(2,86)=D2codb; %para visualizar mejor el codigo
%Codigo(3,86)=D2codb; %para visualizar mejor el codigo

if D1cod >= 0
    D1codb=1;
else
    D1codb=0;
end
Codigo(1,87)=D1codb;
%Codigo(2,87)=D1codb; %para visualizar mejor el codigo
%Codigo(3,87)=D1codb; %para visualizar mejor el codigo

Codigo
figure(6);
imshow(Codigo);
imwrite(Codigo,'Codigo.bmp');

```

## Referencias Bibliográficas

1. Ahmed Engr Khalil, *BIOMETRIC SECURITY*, IEP-SAC Journal 2002-2003, pp53-62, November 2001, <http://www.iepsac.org/downloads/p08c.pdf>
2. Ali M. H.Jafar - Hassaniien Ella Aboul, *An Iris Recognition System to Enhance E-security Environment Based on Wavelet Theory*, *Advanced Modeling and Optimization*, volume 5 , number 2, 2003
3. Barlas Irtaza, *Fuzzy Morphology*, Email: [gte334k@prism.gatech.edu](mailto:gte334k@prism.gatech.edu)
4. Baxes A Gregory, *Digital Image Processing Principles and Applications*, John Wiley & Sons, Inc.1994
5. Besnard Jean-Michel, *Biometrics Security Systems*, <http://www.besnard.org/>
6. Besnard Jean-Michel, *Cognitive Science in Biometrics Design*, <http://www.besnard.org/>
7. Biometrics Chapter 1, [http://media.wiley.com/product\\_data/excerpt/26/07645250/0764525026.pdf](http://media.wiley.com/product_data/excerpt/26/07645250/0764525026.pdf).
8. Bloch Isabelle, *Fuzzy Sets in Image Processing*, Télécom Paris ACM ,175-179,1994
9. Blommé Johan, *Evaluation of biometric security systems against artificial fingers*, ISBN LITH-ISY-EX-3514-2003, <http://www.ep.liu.se/>
10. Bloomberg no tiene info
11. Boles W. W, *A security system based on human iris identification using wavelet transform*, PERGAMON, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* vol. 11, pp. 77-85, 1998.
12. Boles W.W. / Boashah B., *A Human Identification Technique Using Images of the Iris and Wavelet transform* IEEE trans. On Signal processing, vol.46,pp. 1185-1188, April 1999
13. Castleman R.Kenneth, *Digital Image Processing*, Prentice-Hall 1996.
14. Daugman John, *Biometric Decision Landscapes*, Cambridge CB2 3QG, England,
15. Daugman John, *Demodulation by Complex-Valued Wavelets for Stochastic Patterns Recognition*, *International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing*, Vol. 1 No. 1, 2003, pp 1-17.
16. Daugman John, *High Confidence Visual Recognition of persons by test of Statistical Independence*, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 15 No. 11, November 1993, pp 1148-1161.
17. Daugman John, *How Iris Recognition Work*, *IEEE Transactions On Circuits And Systems For Video Technology* Vol. 14 No. 1, JANUARY 2004, PP 21-30
18. Daugman John, *The importance of being random: statistical principles of iris recognition*, *Pattern Recognition* vol. 36, pp. 279 – 291, 2003
19. Dubois Didier / Prade Henri, *Fuzzy Sets and Systems theory and applications*, Academic Press 1980
20. *Enhancing Security with Biometric Authentication* [www.digitalpersona.com](http://www.digitalpersona.com)
21. *Extension Principle and Fuzzy Arithmetics*, <http://if.kaist.ac.kr/lecture/cs670/textbook/>
22. Faundez Pablo - Fuentes Alvaro, *Procesamiento Digital de Señales Acústicas utilizando Wavelets*, 2004, e-mail: [pfaundez@fci.uach.cl](mailto:pfaundez@fci.uach.cl)
23. Fleming T. Stewart, *Biometric Security Concepts, Issues and Flaws*, DRAFT ENCYCLOPEDIA SUBMISSION, Department of Computer Science , University of Otago , Dunedin , New Zealand,

24. Galindo G José, *Conjuntos y Sistemas Difusos (Lógica Difusa y Aplicaciones)*, Universidad de Málaga,
25. González C. Rafael / Woods E. Richard, *Tratamiento Digital de Imágenes*, Addison-Wesley Iberoamericana 1996.
26. Graps Amara, *An Introduction to Wavelets*, IEEE Computational Science and Engineering, Summer 1995, vol. 2, num. 2.
27. Hashiyada Masaki, *Development of Biometric DNA Ink for Authentication Security*, Tohoku J. Exp. Med. 2004, vol 204, pp 109-117  
<http://www.cs.otago.ac.nz/staffpriv/stf/2004-09-biometrics-finaldraft.pdf>.
28. Heijmans Henk, *Mathematical Morphology: Basic Principles*, Centre for Mathematics and Computer Sciences (CWI), [henk.heijmans@cwi.nl](mailto:henk.heijmans@cwi.nl)
29. Hohle Ulrich, *On the Fundamentals of Fuzzy Set Theory*, Journal of Mathematical Analysis and Applications 201, pp 786-826 1996
30. Hwang D David, *Design of Portable Biometric Authenticators Energy, Performance, and Security Tradeoffs*, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 50, No. 4, NOVEMBER 2004, pp 1222-1231
31. Jantzen Jan, *Design Of Fuzzy Controllers*, Technical University of Denmark, Department of Automation, Bldg 326, DK-2800 Lyngby, Denmark. Tech. report no 98-E 864 (design), 19 Aug 1998. [jj@iaa.dtu.dk](mailto:jj@iaa.dtu.dk)
32. Jawerth Bjorn / Sweldens Wim, *An Overview Of Wavelet Based Multiresolution Analysis*, AMS subject classifications 42-02 42C10
33. Kanak Alper, *BIOMETRICS FOR COMPUTER SECURITY AND CRYPTOGRAPHY*, [alperkanak@uekae.tubitak.gov.tr](mailto:alperkanak@uekae.tubitak.gov.tr), June 3rd, 2004
34. Klir George J / Yuan Bo, *Fuzzy Sets And Fuzzy Logic Theory and Applications*, Prentice Hall Inc, 1995.
35. Köppen Mario / Franke Katrin / Unold Olgierd, *A Tutorial on Fuzzy Morphology*, pp 1-32
36. Lai Yung-Kai, *A Haar Wavelet Approach to Compressed Image Quality Measurement*, Journal of Visual Communication and Image Representation 11, pp 17-40 (2000)
37. Lewalle Jacques, *Tutorial on Continuous Wavelet Analysis of Experimental Data*, Syracuse University, 1995.
38. Liu Simon / Silverman Mark, *A Practical Guide to Biometric Security Technology*, Computer Society Press IEEE January February 2001, 27-32
39. Matheron G., *Random set and Integral Geometry*, Wiley, New York 1975
40. Mitra Abhishek Bisht Saurabh Ranjan Vikas, *Voice based Biometric Security System*,
41. Molina R., *Introducción al Procesamiento y Análisis de Imágenes*, Universidad de Granada. 1998
42. Morse S Bryan, *Binary Morphology*, <http://rivit.cs.byu.edu/morse>
43. Nachttegael Mike / Kerre E. Etienne, *Classical and Fuzzy Approaches towards Mathematical Morphology*, Fuzzy Techniques in Image Processing (Studies in fuzziness and soft computing: vol. 52), pag. 3-57, Physica-Verlag, 2000.
44. Nachttegael Mike / Kerre Etienne E., *Connections between binary, gray-scale and fuzzy mathematical morphologies*, Fuzzy Sets and Systems vol. 124 pp. 73-85, 2001
45. Nadel D Lawrence, *Biometric Identification*, [nadel@mitretek.org](mailto:nadel@mitretek.org).

46. Nguyen Hung T. / Walker Elbert A., *A First Course in Fuzzy Logic*, Chapman & Hall/CRC, 2000
47. Nguyen Q Truong, *Computer-based wavelet analysis*.  
nguyent@ece.ucsd.edu
48. Novell, Overview of Biometrics, [http://developer.novell.com/research/novell/overview\\_of\\_Biometrics.html](http://developer.novell.com/research/novell/overview_of_Biometrics.html)
49. Pedrycz Witold Reformat Marek, *Evolutionary Fuzzy Modeling*, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 11, No. 5, October 2003, pp 652-665
50. Pedrycz Witold / Gomide Fernando, *An Introduction to Fuzzy Sets (Analysis and Design)*, A Bradford Book, The MIT Press, Massachusetts Institute of Technology, 1998.
51. Phillips P. Jonathon, Wilson C.L. Martin Alvin, Przybocki Mark, *An Introduction to Evaluating Biometric Systems*, National Institute of Standards and Technology, Computer Society Press IEEE 2000, pp 56-63
52. Polikar Robi, *The Wavelet Tutorial*, Second Edition, 2004, E-Mail: polikar@rowan.edu
53. Ruan D., *Fuzzy set techniques for intelligent robotic systems*, Fuzzy Sets and Systems 134 (2003) 1-4
54. Sánchez Urbano / Meana Pérez / Mariko Nakano, *Comprensión de Imágenes Usando la Transformada Wavelet y la Estimación de Matrices de Detalle*, SOMI XVIII Congreso de Instrumentación VISUALIZACION LUS1839, 1-9
55. Serra J., *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Academic Press 1982
56. Shih Y Frank, Gaddipati Vijayalakshmi, *General sweep mathematical morphology*, Pattern Recognition 36 (2003) 1489 – 1500
57. Shimoda Mamoru; *A natural interpretation of fuzzy sets and fuzzy relations*, Fuzzy Sets and Systems 128 (2002) 135-147
58. Shinyoung Lim , Kwanyong Lee, Okhwan Byeon, and Taiyun Kim, *Efficient Iris Recognition through Improvement of Feature Vector and Classifier*, ETRI Journal, Volume 23, Number 2, June 2001
59. Thomas B. George / Finney L. Ross, *Cálculo varias variables*, Addison Wesley Longman de México, 1999
60. Thuillard Marc, *Wavelets in Soft Computing*, World Scientific Series in Robotics and Intelligent Systems vol. 25, World Scientific, 2001
61. Tisse Chistel / Martin Lionel /Torres Lionel /Robert Michel, *Person identification technique using human iris recognition*, Advanced System Technology.
62. Torrence Christopher and Compo Gilbert, *A Practical Guide to Wavelet Analysis*, Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, E-mail: [torrence@ucar.edu](mailto:torrence@ucar.edu) (para historia)
63. Uludag Umut Jain Anil, *Hiding Biometric Data*, IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, VOL. 25, NO. 11, NOVEMBER 2003, pp1494-1498
64. Vidakovic Brani-Muller Peter, *Wavelets for kids (A Tutorial Introduction)*, AMS Subject Classification: 42A06, 41A05, 65D05, 1991

65. Wang Zhudeng, Yu Yandong, *Pseudo-t-norms and implication operators*, Fuzzy Sets and Systems 139 (2003) 673–683
66. Watkins D. Christopher / Sadun Alberto / Marenka Stephen, *Modern Image Processing: Warping, Morphing, and Classical Techniques*, Academic Press Professional 1996.
67. Wilkes R., *Iris recognition: An Emerging biometric technology* Proceedings of the IEEE, vol. 85, no. 9 September 1997
68. Zadeh Lotfi A., *Fuzzy Sets*, Information And Control 8, 338-353 (1965)
69. Zadeh Lotfi A., *Outline of New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision processes*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-3, No. 1 January 1973, pp 28-44
70. Zadeh Lotfi A., *A Fuzzy-Algorithmic Approach to the Definition of Complex or Imprecise Concepts*, Int. J. Man-Machine Studies-8 (1976), pp 249-291
71. Zhu Yong, Tan Tieniu and Wang Yunhong, *Biometric Personal Identification Based on Iris Patterns*, National Laboratory of Pattern Recognition (NLPR), Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences P. O. Box 2728, Beijing 100080, P. R. China, Email: {yong.zhu, tieniu.tan, yunhong.wang}@nlpr.ia.ac.cn
72. Zimmermann Jurgen Hans, *Practical applications of fuzzy technologies (Book review)*, Fuzzy Sets and Systems 139 (2003) 239–242

**Nota:** En documentos (pdf, html etc.) obtenidos por un medio electrónico como Internet y sin referencias, se incluye la dirección donde se obtuvo y/o su correo electrónico del autor.