

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE INFORMATICA



Tesis de Grado

“Modelo de Sistema Biométrico Basado en el Reconocimiento de
Iris”

Para optar al título de Licenciatura en Informática
Mención: Ingeniería de Sistemas Informáticos

Postulante: Wilson Ticona Callisaya
Tutor: Lic. Fátima Consuelo Dolz Salvador M.Sc.
Revisor: Lic. Efraín Silva Sánchez

La Paz - Bolivia
2009



DEDICATORIA

ADios
por la inspiración, la fuerza que me da para seguir adelante
por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente
y dame la oportunidad de contar con aquellas personas
que son y han sido mi soporte y compañía

A mi hija Maite "Tita" por su voz, que es de apoyo
que me ha animado y brindado el mejor de los regalos sus bendiciones.
A mis queridos padres Julio e Ignacia, a mis hermanas Rosalia, Elisa,
Aleida y Vianela por haberme apoyado siempre en mi superación
y el cariño que siempre me brindaron.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial a mi Tutor Lic. Fátima Consuelo Dolz Salvador, por haberme brindado todo su apoyo, confianza, colaboración y continuo seguimiento en la realización de la presente Tesis de Grado.

A mi docente Revisor Lic. Efraín Silva Sánchez, por sus sugerencias, orientación, observaciones y sobretodo la paciencia y tiempo dedicado a la revisión para la elaboración de la Tesis de Grado.

Por último quiero agradecer a todos los docentes de la carrera de Informática y también a la “Universidad Mayor de San Andrés” por los años que me cobijó en sus aulas, para adquirir conocimiento y tener una formación profesional.

A todos mis amigos y compañeros de la carrera.

Gracias.....

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se centra en el desarrollo de un método de procesamiento de imágenes, como caso de estudio se toman imágenes de Iris, las cuales presentan diversos factores de ruidos como ser: reflejos, variaciones de iluminación y contraste deficiente.

El iris como indicador biométrico para la identificación de personas y aplicaciones de seguridad presenta un gran potencial debido a sus características y la forma de capturar las imágenes para el proceso de identificación y adicionalmente se plantea un prototipo que permite realizar el reconocimiento de identidad.

La tendencia actual es la obtención de las imágenes en ambientes no controlados, a lo que produce alteraciones en la imagen y hace que estas requieran un procesamiento mucho más elaborado para conseguir los mejores resultados.

Siguiendo la tendencia organismos internacionales interesados en el uso de esta tecnología organizan y auspician diversos concursos para promover la mejora del proceso y la consolidación de esta tecnología como estándar para la identificación de personas.

Con esto en mente se plantea el presente trabajo que mediante la utilización de algoritmos de tratamiento de imágenes,, la utilización de conceptos matemáticos y algoritmos existentes permita establecer un método automático capaz de adaptar sus parámetros de ejecución y procesar imágenes para lograr una correcta localización del iris.

A lo largo del desarrollo del trabajo se detallas los diversos tipos de dispositivos biométricos existentes que luego de una revisión se plantean los pasos a seguir para lograr la identificación del Iris, se ponderan especialmente aquellas técnicas que permiten el tratamiento automático o semiautomático de las imágenes.

Finalmente se hace una evaluación mediante los datos experimentales al método planteado mediante la construcción y prueba de un prototipo de procesamiento de imágenes del iris.

Índice General

Presentación

CAPITULO 1

1	PRESENTACIÓN.....	1
1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	ANTECEDENTES.....	3
1.3	PLANTEAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	8
1.3.1	Problema General.....	9
1.3.2	Problemas Secundarios.....	10
1.4	OBJETIVOS.....	11
1.4.1	Objetivo General.....	11
1.4.2	Objetivo Especifico.....	11
1.5	HIPÓTESIS.....	12
1.5.1	Identificación de Variables.....	12
1.5.1.1	Variable Independiente.....	12
1.5.1.2	Variable Dependiente.....	13
1.6	JUSTIFICACIONES.....	13
1.6.1	Justificación Teórica.....	13
1.6.2	Justificación Metodológica.....	14
1.6.3	Justificación Práctica.....	14
1.7	LIMITES Y ALCANCES.....	15
1.7.1	Limites.....	15
1.7.2	Alcances.....	15
1.8	METODOLOGIA.....	16
1.8.1	Métodos y Medios de Investigación.....	16
1.9	APORTES.....	17

Marco Teórico

CAPITULO 2

2	MARCO TEÓRICO.....	18
2.1	INTRODUCCIÓN.....	18
2.2	BIOMETRÍA.....	18
2.3	AUTENTICACIÓN.....	21
2.4	IDENTIFICACIÓN.....	22
2.5	VERIFICACIÓN.....	22
2.6	MEDICIÓN DEL RENDIMIENTO.....	23
2.6.1	Rendimiento por Histograma.....	23
2.6.2	Razón de Aceptación Falsa (FAR) y Razón de Rechazo Falso (FRR).....	24
2.6.3	Razón De Mismo Error (ERR).....	26
2.6.4	Falla en Adquisición (FTA).....	26
2.7	SISTEMAS BIOMETRICOS.....	27
2.7.1	Características de un indicador biométrico.....	28
2.7.2	Arquitectura de un sistema biométrico para identificación personal.....	28
2.7.3	Ventajas y Desventajas de estos dispositivos biométricos.....	30
2.7.3.1	Ventajas.....	30
2.7.3.2	Desventajas.....	31
2.8	HUELLAS DACTILARES.....	31
2.8.1	Patrones de Huellas Dactilares.....	33
2.9	GEOMETRÍA DE LA PALMA DE LA MANO.....	35
2.10	RECONOCIMIENTO DE IRIS.....	36
2.11	RECONOCIMIENTO DE RETINA.....	40
2.12	GEOMETRÍA FACIAL.....	40
2.13	VERIFICACIÓN DE VOZ.....	41
2.14	VERIFICACIÓN DINÁMICA DE FIRMAS.....	42
2.15	RECONOCIMIENTO VASCULAR.....	43
2.16	RECONOCIMIENTO HUELLA DEL PABELLÓN AURICULAR.....	43
2.17	OTROS.....	44
2.18	CUADRO DE COMPARATIVO.....	45

2.19	ESTÁNDARES BIOMÉTRICOS.....	46
CAPITULO 3		
3	ONDALETAS.....	47
3.1	HISTORIA.....	47
3.2	DEFINICIÓN.....	48
3.3	FUNCIÓN BASE.....	49
3.4	FUNCIÓN BASE DE ESCALA VARIABLE.....	50
3.5	ANÁLISIS DE FOURIER.....	50
3.5.1	Transformada Discreta de Fourier.....	51
3.5.2	Análisis de Fourier de Tiempo Corto (STFT).....	51
3.5.3	Transformada Rápida de Fourier (FFT).....	51
3.6	ANÁLISIS ONDALETA.....	52
3.6.1	Transformada Ondaleta.....	52
3.6.2	Ondaletas Reales.....	53
3.6.3	La Transformada Ondaleta Discreta (DWT).....	54
3.6.3.1	Filtrado de una-Etapa: Aproximaciones y detalles.....	55
3.6.3.2	Descomposición de Niveles Múltiples.....	56
3.6.3.3	Reconstrucción Ondaleta.....	57
3.6.3.4	Filtros De Reconstrucción.....	57
3.6.3.4.1	Reconstruyendo Aproximaciones y Detalles.....	57

Marco Aplicativo

CAPITULO 4		
4	TRATAMIENTO DE IMÁGENES.....	58
4.1	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE IMÁGENES DIGITALES.....	58
4.2	MÉTODOS DE MEJORA Y REALCE DE LA IMAGEN.....	59
4.2.1	Métodos del Dominio Espacial.....	60
4.2.1.1	Resta de imágenes.....	61
4.2.1.2	Métodos Basados en Píxeles.....	62
4.2.1.2.1	Imágenes de negativos.....	62
4.2.1.2.2	Mejora del contraste.....	63
4.2.1.2.3	Compresión del rango dinámico.....	63

4.2.1.2.4	Realce de rangos de intensidad.....	64
4.2.1.3	Métodos Basados En El Histograma.....	64
4.2.1.3.1	Ecuación del Histograma.....	65
4.2.1.3.2	Mejora Local.....	68
4.2.1.4	Promedio de Imágenes.....	69
4.2.2	Método en el dominio de frecuencias.....	70

CAPITULO 5

5	RECONOCIMIENTO DEL IRIS.....	73
5.1	INTRODUCCION.....	73
5.1.1	Adquisición de la imagen del iris.....	75
5.1.2	Pre-procesamiento.....	75
5.1.3	Localización del Iris.....	76
5.1.4	Normalización del Iris.....	78
5.1.4.1	Transformada de referencia Cartesiana a Polar.....	79
5.1.4.2	Realce de la Imagen.....	82
5.2	EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS DEL IRIS.....	82
5.2.1	Configuración de los bits de la codificación.....	82
5.3	COMPARACIÓN DE LOS CÓDIGOS DEL IRIS.....	85
5.4	MODELO PARA EL RECONOCIMIENTO DEL IRIS.....	87
5.5	RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	90

CAPITULO 6

6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
6.1	CONCLUSIONES DEL MODELO.....	93
6.2	RECOMENDACIONES.....	93

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFÍA.....	97
Referencias Bibliográficas.....	97
Referencias Electrónicas.....	99

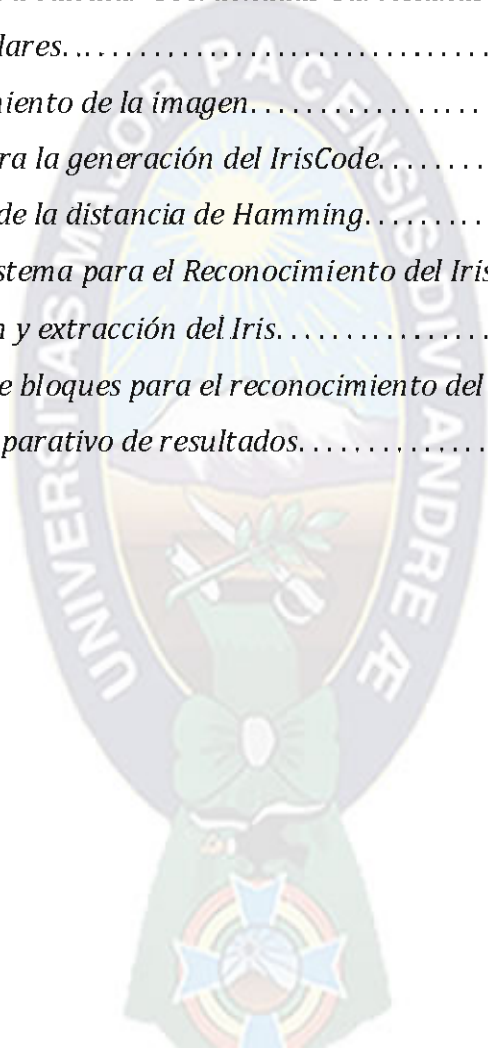
ANEXO

DOCUMENTACIÓN

Índice de Figuras

Figura 1.1 <i>ISCAN 2 brinda una captura dual de iris en menos de diez segundos y pesa sólo medio kilogramo.</i>	2
Figura 1.2 <i>ISCAN 2 brinda una captura dual de iris en menos de diez segundos y pesa sólo medio kilogramo.</i>	3
Figura 1.3 <i>Sistema de Identificación Biométrica de Iris.</i>	7
Figura 2.1 <i>Técnicas biométricas actuales: (a) Rostro, (b) Termograma Facial, (c) Huella dactilar, (d) Geometría de la mano, (e) Venas de la mano, (f) Iris, (g) Patrones de la retina, (h) Voz e (i) Firma. ...</i>	20
Figura 2.2 <i>Puntaje de emparejamiento.</i>	24
Figura 2.3 <i>Razón de Aceptación Falsa (FAR) - Razón de Rechazo Falso (FRR)</i>	25
Figura 2.4 <i>Probabilidad de aceptación y rechazos falsos.</i>	27
Figura 2.5 <i>Arquitectura de un sistema biométrico para identificación personal, aquí ejemplificado con el Iris.</i>	30
Figura 2.6 <i>Extracción de la minucia.</i>	32
Figura 2.7 <i>Patrones de Huellas Dactilares.</i>	33
Figura 2.8 <i>Geometría de la Palma de la Mano.</i>	35
Figura 2.9 <i>Imagen del Iris Humano.</i>	37
Figura 2.10 <i>Imagen del patrón del Iris antes y después de ser aislado para su clasificación.</i>	38
Figura 2.11 <i>Pupilas dilatadas.</i>	39
Figura 2.12 <i>Partes de la Retina.</i>	40
Figura 2.13 <i>Geometría Facial.</i>	41
Figura 2.14 <i>Verificación de Voz.</i>	42
Figura 2.15 <i>Verificación dinámica de firmas.</i>	43
Figura 2.16 <i>Sistema de Reconocimiento vascular.</i>	43
Figura 2.17 <i>Partes del Pabellón auricular.</i>	44
Figura 3.1 <i>Análisis de Fourier.</i>	50
Figura 3.2 <i>Filtrado de una etapa – downsampling de S.</i>	56

Figura 3.3	<i>Descomposición de S en varios niveles.</i>	56
Figura 4.1	<i>Conformación en forma de un punto en pantalla o píxel.</i>	61
Figura 5.1	<i>Imagen de un ojo donde el Iris fue separado del resto de la imagen</i>	74
Figura 5.2	<i>Algoritmo de conversión a blanco y negro.</i>	77
Figura 5.3	<i>Localización de los límites interno y externo del ojo.</i>	78
Figura 5.4	<i>Representación rectangular del Iris.</i>	80
Figura 5.5	<i>Algoritmo para calcular Coordenadas Cartesianas a partir de Coordenadas polares.</i>	81
Figura 5.6	<i>Pre-procesamiento de la imagen.</i>	82
Figura 5.7	<i>Algoritmo para la generación del IrisCode.</i>	85
Figura 5.8	<i>Distribución de la distancia de Hamming.</i>	86
Figura 5.9	<i>Modelo del sistema para el Reconocimiento del Iris.</i>	87
Figura 5.10	<i>Localización y extracción del Iris.</i>	88
Figura 5.11	<i>Díagrama de bloques para el reconocimiento del Iris.</i>	89
Figura 5.12	<i>Cuadro comparativo de resultados.</i>	92



Índice de Tablas

Tabla 2.1 <i>Cuadro comparativo de Sistemas Biométricos por compañías.</i>	45
Tabla 2.2 <i>Cuadro comparativo de Sistemas Biométricos según características propias.</i>	46
Tabla 5.1 <i>Resultados experimentales entre imágenes.</i>	90



CAPITULO 1

1 PRESENTACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

Es conveniente desmentir que uno de los grandes mitos de los sistemas biométricos: es la vulnerabilidad a ataques de simulación. En cualquier película o libro de espías que se aprecie, siempre se consigue 'engañar' a autenticadores biométricos para conseguir acceso a determinadas instalaciones mediante estos ataques: se simula la parte del cuerpo a analizar mediante un modelo o incluso utilizando órganos amputados a un cadáver o al propio usuario vivo (crudamente, se le corta una mano o un dedo, se le saca un ojo para conseguir que el sistema permita la entrada).

Evidentemente, esto sólo sucede en la ficción: hoy en día cualquier sistema biométrico con excepción, de algunos modelos basados en voz son altamente inmunes a estos ataques. Los analizadores de retina, iris, venas, huellas o de la geometría de la mano son capaces, aparte de decidir si los datos de pertenecen al usuario legítimo, de determinar si éste está vivo o se trata de un cadáver. En la actualidad el acceso físico a ambientes restringidos requiere de mecanismos de autenticación viables con capacidad de brindar alta confiabilidad y aceptación por parte de los usuarios, además de ser factibles tanto técnica y económicamente. En lo que a confiabilidad del sistema concierne, los sistemas biométricos basados en rasgos particulares y únicos de los usuarios brindan altas tasas de confiabilidad, esto quiere decir que tanto las tasas de falsa aceptación y falso rechazo (FRR¹ y FAR²) son generalmente pequeños.

¹ FRR, False Rejection Rate, Tasa de falso rechazo, la probabilidad de que el sistema de autenticación rechace a un usuario porque no es capaz de identificarlo correctamente.

² FAR, False Acceptance Rate, Tasa de falsa aceptación, la probabilidad de que le sistema autentique correctamente a un usuario legítimo.

El reconocimiento de patrones del Iris es uno de los más confiables, ya que el iris del ojo tiene características particulares únicas en cada individuo. Lo que hace de la suplantación o reemplazar sería un tarea imposible, ya que de la misma manera que no existen dos huellas digitales iguales tampoco dos iris semejantes, puesto que genéticamente no hay dos personas con iris iguales, ni siquiera en gemelos idénticos, es mas el iris izquierdo y el derecho de un individuo son diferentes.

La desventaja principal de este sistema es el elevado costo de adquisición de esta tecnología, lo que repercute en la aceptación por parte del usuario, esto se debe principalmente al precio de los dispositivos de captura especializados, que sobrepasa los 1000 \$us. llegando a los 5000 \$us. con imágenes a muy altas resoluciones, teniendo compañías especializadas en este tipo de tecnologías, por ejemplo figura 1.1 y la figura 1.2.

Figura 1.1 *ISCAN 2 brinda una captura dual de iris en menos de diez segundos y pesa sólo medio kilogramo.*



Fuente [Cross Match-2009]

Figura 1.2 *I SCAN 2 brinda una captura dual de iris en menos de diez segundos y pesa sólo medio kilogramo.*



Fuente [Cross Match -2009]

La propuesta desarrollada en el presente trabajo, es utilizar las ondaletas que son funciones matemáticas que descomponen datos en diferentes componentes de frecuencia para posteriormente estudiar cada componente con una resolución que compare a su escala y utilizando el algoritmo de John Daugman para la codificación de la imagen del iris del ojo.

El preprocesamiento de imágenes de iris contempla la segmentación del área del Iris con la cual se realizaran procesos de transformación y obtención de características. Esta etapa es una de las más críticas dentro de un proceso de identificación de patrones de Iris ya que por causas ajenas al sistema, las imágenes pueden presentar aspectos diferentes de iluminación, posición, tamaño y forma, impidiendo un tratamiento rápido y generalizado.

1.2 ANTECEDENTES

Existe un estudios realizados en el uso de la biometría como método de autenticación de un sistema integrado de registro de personas; éste documento toma al reconocimiento de huellas dactilares como una de las mejores soluciones para la identificación y verificación de individuos.

El documento concluye que: "El empleo de la biometría es la única alternativa, conocida hasta el momento, para poder identificar positivamente a las personas en un sistema automático de registro de personas.

También existen otros trabajos realizados el cuál se centra en las características del reconocimiento facial.

La tecnología de la biometría, en la actualidad, ha llegado a ser una alternativa viable para sistemas de identificación tradicionales en varios dominios gubernamentales y aplicaciones comerciales, especialmente en países extranjeros.

Sin embargo, no es suficiente contar con una sola característica física para asegurar que una persona es quien dice ser. Una simple característica, a veces (falla en exactitud) no es lo suficientemente exacta para una identificación. Otra desventaja de utilizar una sola característica es que la característica elegida no siempre se la puede leer. Esto se debe a que la huella dactilar de una persona puede tener cortaduras, piel seca o callosidades.

Dialog Communication Systems (DCS AG), por ejemplo, desarrollo BioID, un sistema de identificación multimodal que utiliza 3 diferentes características- rostro, voz y movimiento de labios- para identificar a las personas. Con este concepto multimodal, BioID garantiza un alto grado de seguridad en acceso no autorizado y en falsificación³.

Los Servicios de Inmigración y Naturalización (INS) del gobierno de Norte América utilizan la biometría en un programa llamado Sistema de Servicio Acelerado de Pasajeros (INPASS), el cual permite que visitantes frecuentes a este país pasen rápidamente por los puntos de inspección utilizando la geometría de la mano como método de identificación. Junto con el borde Canadiense, el gobierno utiliza un sistema llamado CANPASS similar al anterior sistema pero que utiliza el reconocimiento de huellas dactilares⁴.

³ <http://www.bioid.com> - © 2009 BioID Company

⁴ <http://www.iom.int> - 2009 Organización Internacional para las Migraciones

Es también destacable el sitio de John Daugman, donde se tiene a disposición diversos artículos acerca de la identificación de patrones de iris como: “How Iris Recognition Works” [Daugman 2004] artículo en la cual Daugman expone bondades de sistema además de una explicación de las técnicas utilizadas por estos sistemas. Del mismo modo el sitio de la empresa Iridian Technologies⁵, el actual propietario de las patentes de esta tecnología, contiene información sobre el tema, en especial de las soluciones en sistemas de seguridad que esta empresa ofrece.

En cuanto a métodos para la localización del Iris se tienen:

- La segmentación por umbralización del histograma
- Uso de técnicas basadas en proyecciones
- Detecciones de bordes mediante filtros de Canny
- Detección mediante transformadas de Hough
- Ubicación del Iris mediante el operador integro-diferencial planteado por Daugman

La mayoría de estos métodos se desarrollaron antes que el concepto de reconocimiento de iris sea planteado, utilizándose generalmente en el tratamiento digital de imágenes y la visión artificial.

Del mismo modo para la extracción de características se tiene varios métodos:

- El Parámetro de aproximación Laplaciano propuesto por Wildes
- La aproximación mediante redes neuronales auto-organizadas propuestos por Liam.

⁵ <http://www.i1id.com> – 2009 L-1 Identity Solutions Company

- La aproximación mediante el análisis Independiente de Componentes (ICA) propuesto por Huang.
- La aproximación mediante filtros de Gabor 2-D propuesto por Daugman.
- El análisis de textura utilizando filtros de Gabor muticanal y transformadas wavelet propuesto por Zhu.

En la carrera de informática de la Universidad Mayor de San Andrés, cuenta con las siguientes Tesis de Grado relacionado con el tema de la Identificación.

Flores S., 1988 Reconocimiento de Patrones Dermatoglíficos Asistidos por computadora, se refiere a “Definir un conjunto de funciones de decisión capaces de realizar los rasgos discriminantes de una huella digital y clasificación de acuerdo al conjunto de patrones Galton”.

Daza K., y Taboada M. 1997. Reconocimiento Sintáctico Dactiloscópico, el cual es: “Identificación de huellas dactilares mediante Reconocimiento Sintáctico de Patrones” el trabajo propone una alternativa para el reconocimiento de la huella digital.

Paz Velarde G. 2001: Identificación de Rasgos Faciales en Patrones, “Mejorar en la eficacia y rapidez de los rostros basado en lógica difusa el cual permita manejar la cara para la elaboración de rostros hablados”.

Figura 1.3 Sistema de Identificación Biométrica de Iris



Fuente [Biometrics-2009]

Un Sistema de Identificación Biométrica de Iris, como se muestra en la figura 1.3 debe tener las siguientes características:

1. Captura de los datos biológicos (Imagen del Iris).
2. Preprocesado de los datos capturados (Pre-procesamiento de los datos).
3. Extracción de las características propias del usuario (Obtención del Iris Code).
4. Comparación de las características extraídas con patrones previamente almacenados.
5. Identificación aceptación o rechazo del usuario.

1.3 PLANTEAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La verificación de identidad de un individuo realizando mediciones del cuerpo data de tiempos del antiguo Egipto, cuando los Faraones median la altura de una persona para verificar su identidad. Las huellas dactilares han sido utilizadas por oficiales de la ley hace más de un siglo. La biometría se remonta a finales del año 1960 y principios de 1970 cuando dispositivos biométricos eran desarrollados para medir la longitud de los dedos de una persona para su posterior identificación.

Como se dijo anteriormente, la biometría ha existido por varias décadas. El sector público - particularmente las fuerzas de la ley y la milicia - fueron los primeros en adoptar esta tecnología. Hoy en día, agencias públicas utilizan la biometría para prevenir el fraude en servicios sociales y determinando los beneficios de salud elegibles - especialmente en Norte América.

Esta tecnología básicamente se basa en que cada persona tiene rasgos o características físicas únicas; es decir, que éstas características no se pueden perder, prestar o ser robadas.

La biometría no sólo trata de seguridad, pero también de conveniencia; ya que el olvido de contraseñas y pérdidas de tarjetas inteligentes consumen mucho tiempo para las tecnologías de información.

En seguridad de computadoras, biometría se refiere a las técnicas de autenticación que se apoyan en características físicas medibles que pueden ser verificadas.

La tecnología de seguridad biométrica se considera virtualmente como: a prueba de violaciones ya que todos poseemos características únicas y medibles que una computadora puede verificar.

1.3.1 Problema General

En la actualidad existen muchas deficiencias concernientes a la identificación y posterior verificación de personas, debido a que diferentes instituciones del país manejan esta información manualmente o utilizando sistemas poco seguros que se basan simplemente en el uso de contraseñas o números personales de identificación. Estas técnicas facilitan a que los datos se extravíen, se clasifique a una persona con más de una identidad o que un número de identificación sea otorgado a más de una persona.

En Bolivia existen instituciones, en el área gubernamental, que están involucradas en el manejo y administración masiva de datos de personas, entre las más importantes se tiene: la Corte Nacional Electoral, el Registro Civil, la Fuerza Especial de Lucha Contra el Crimen F.E.L.C.C. con sus diferentes divisiones y la Caja Nacional de Seguro Social. En el área privada se encuentran los Fondos de Pensiones, seguros médicos y la banca.

La Fuerza Especial de Lucha Contra el Crimen F.E.L.C.C., también tiene que enfrentarse a este problema diariamente ya que en sus registros lleva un número muy alto de nombres e identidades que nadie puede asegurar que sean los correctos. Así mismo, la F.E.L.C.C. en la división de tránsito debe encarar la responsabilidad de llevar los datos de ciudadanos con licencias de conducir, individuos que cometen felonías, aquellos buscados por la ley, y muchos otros más.

Por otro lado, existen sistemas que controlan el acceso a transacciones financieras, redes de computadoras, o lugares de alta seguridad como las bóvedas en bancos; estos sistemas identifican a personas autorizadas por medio de reconocimiento de contraseñas (passwords) o números de identificación privados.

La debilidad de estos sistemas radica en que personas no autorizadas pueden descubrir las contraseñas y números de otros muy fácilmente y usarlos sin ser detectados.

Un sistema de identificación biométrico, el cual utilice características físicas para la revisión de identidad de personas, asegura mucha mas seguridad que un sistema de contraseñas y números.

Las características biométricas como el rostro o una huella dactilar pueden ser almacenadas en un micro chip en una tarjeta de crédito, por ejemplo. La Tarjeta Inteligente con control de huella digital que utiliza el Fondo Financiero Privado de PRODEM S.A. La Tarjeta Inteligente cuenta con un microchip que guarda toda la información necesaria del cliente, es decir, los datos personales del o de los clientes, número de cuenta, transacciones realizadas y su huella digital, lo que la hace totalmente segura.

1.3.2 Problema General

- Un sistema de reconocimiento de patrones de Iris exige imágenes con características de calidad elevadas en cuanto a tamaño y resolución para ser procesadas y asegurar una correcta verificación, una imagen de muy baja calidad hará que la e-tapa de pre-procesamiento sea incapaz de cumplir los objetivos lo que derivara a un rechazo del sistema.
- Debido a la diversidad de características anatómicas del Iris, principalmente el color, la tonalidad y la relativa obstrucción de parpados y pestañas, es muy difícil un tratamiento rápido y generalizado.
- Los datos que son proporcionados son deficientes cuando la imagen es capturada en un ambiente no controlado puesto que la imagen presenta variaciones de posición o de tamaño. También es posible la presencia de factores como reflejos, obstrucciones de parpados y pestañas, imágenes fuera de ángulo o en movimiento, estos factores son consideraciones con ruido.

Con la investigación realizada se encara los problemas mencionados sobre pre-procesamiento de imágenes, apoyándonos en las ondaletas que son funciones matemáticas que descomponen datos en diferentes componentes de frecuencia y el algoritmo de Daugman el cual realizara la extracción del patrón del iris para obtener mejores resultados en la identificación única de personas, por lo cual se plantea la siguiente interrogante:

¿Utilizando el reconocimiento de patrones de iris de los ojos con la utilización de las ondaletas, algoritmos de Jhon Daugman es posible obtener la identificación única de la persona?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar el modelo de un sistema biométrico basado en el reconocimiento del Iris que brinde mucha más seguridad y confiabilidad en la identificación y verificación de personas en instituciones y transacciones que requieren un alto nivel de seguridad.

1.4.2 Objetivo Especifico

- Comparar imágenes para obtener datos (patrones) y de esta manera identificar y verificar personas.
- Utilizar los algoritmos existentes que puedan ser aplicados a la resolución del problema.
- Aplicar modelos matemáticos para el reconocimiento del iris basado en modelos existentes.

- Implementar los algoritmos diseñados en un lenguaje de computación.

1.5 HIPÓTESIS

La presente tesis tiene la siguiente Hipótesis de investigación:

“El modelo propuesto de sistema biométrico basado en el reconocimiento de Iris brindara mas seguridad y confiabilidad en la verificación e identificación de personas”

1.5.1 Identificación de Variables

1.5.1.1 Variable Independiente

Método el cual se adapta para el pre-procesamiento de las imágenes que obtendrán del Iris.

El método de pre-procesamiento de imágenes realiza operaciones sobre las imágenes para determinar puntos y formas específicos, y con adaptabilidad nos referimos que debe ser flexible a problemas afines a las imágenes digitales como de posición (ubicación incierta del objeto a localizar dentro de la imagen), tamaño (dimensión las cuales pueden variar una de otra imagen) y ruido (los reflejos, obstrucciones de parpados, pestañas, imágenes que están fuera ángulo o en movimiento).

1.5.1.2 Variable Dependiente

Localización del área del Iris que se encuentra dentro de la imagen.

La localización del área del iris, se define como el proceso de establecer el área que delimita el iris, excluyendo de este resultado el ruido que puede afectar a la misma, como el reflejo, parpados, las pestañas y el ángulo de toma de la imagen.

1.6 JUSTIFICACIONES

1.6.1 Justificación Teórica

Este documento de investigación revisará los conceptos de biometría actuales mostrando los diferentes tipos de técnicas que existen actualmente y de que forma están siendo utilizados por instituciones, empresas y organismos.

Una tabla comparativa del capítulo 5 donde se mostrará los resultados obtenidos con la implementación de dichas técnicas.

Para el tratamiento y reconocimiento del Iris se utilizarán las ondaletas (wavelets) y filtros Gabor como la solución más acertada y utilizada en la actualidad.

Se realizará el estudio del reconocimiento del iris debido a que este órgano interno del ojo presenta más de 200 características distintas únicas a diferencia del reto de las tecnologías biométricas.

Por ejemplo, se percibe a menudo como menos invasor que otros sistemas biométricos. Pero la carencia de pruebas a gran escala y de estándares serán obstáculos a superar.

El coste puede también ser otro factor, pues los dispositivos serán más caros que los productos biométricos actuales del control de acceso.

1.6.2 Justificación Metodológica

Conocer los conceptos de biometría tiene una gran importancia puesto que éstos justifican la razón por la cual es necesario recurrir a esta tecnología y dejar de lado los métodos convencionales de autenticación como las contraseñas o tarjetas de identificación.

La biometría se basa en el reconocimiento de una o más características fisiológicas para la identificación de un individuo. Se utilizarán las ondaletas porque son funciones matemáticas que descomponen datos en diferentes componentes de frecuencia, para posteriormente analizarlos y obtener los resultados.

1.6.3 Justificación Práctica

Este trabajo de investigación surge a causa de la falta de sistemas de seguridad en instituciones que realizan transacciones de mucha importancia como las realizadas en Bancos, por ejemplo.

Los Bancos diariamente manejan grandes cantidades de dinero y poseen bóvedas que en su mayoría son controladas por oficiales de la policía, rejas y alarmas como medios de seguridad. A pesar de esto, es difícil pero no imposible para un individuo falsificar de algún modo las credenciales necesarias para su ingreso, violando de esta manera la seguridad esperada y muy necesaria en este caso en particular.

1.7 LIMITES Y ALCANCES

1.7.1 Limites

- El proyecto no se encargará de tomar todas las tecnologías biométricas para realizar el análisis y diseño del modelo.
- El modelo no es aplicable en la etapa de adquisición de imágenes. Por tanto, no se encargará de la descripción detallada de los instrumentos de medición como sensores, luz infrarroja, cámaras, tipos de escáner especiales y otros.
- Se trabajará con imágenes de las mismas características para evitar problemas de rotación e iluminación.
- El proyecto se basará en modelos matemáticos existentes, no se contempla el desarrollo de nuevos modelos.
- No se manejará una base de datos ya que se pretende desarrollar un modelo y no un sistema completo.
- El desarrollo del prototipo propuesto se lo hará en una plataforma Win9x, por ahora no se abarcarán otras plataformas.
- No se pretende desarrollar un producto terminado de software.

1.7.2 Alcances

- Se investigará como el reconocimiento del Iris puede ser utilizado como componente principal en la identificación y verificación de personas.

- Se manejarán solamente imágenes digitales estáticas en el formato de escala de grises.
- Se desarrollará un prototipo que será presentado con una interfaz gráfica y amigable al usuario.

1.8 METODOLOGIA

1.8.1 Métodos y Medios de Investigación

El presente trabajo de tesis se desarrollara con la Metodología Científico – Teórico, por que se describe los siguientes puntos:

- ✓ Analizar, los métodos, modelos y normas de reconocimiento de patrones.
- ✓ Sintetizar, unir o interrelacionar material o elementos esenciales de los objetivos que se tiene.
- ✓ Inducción, iniciar la investigación de lo particular métodos, modelo, y normas de reconocimiento de patrones a un modelo general.
- ✓ Deducción, de un modelo general construir otro modelo con características particulares.
- ✓ Abstraer, permitir separar las características esenciales y generales de otras propiedades secundarias a través del análisis.
- ✓ Concretar, mediante el análisis, lograr integrar los procesos aislados, resultado de la abstracción en todo único y concreto.

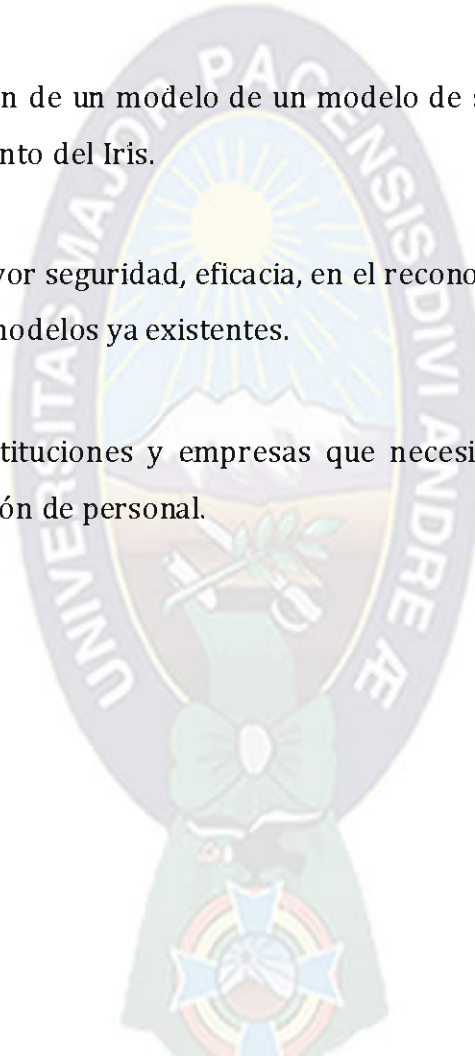
Modelar, un sistema de evaluación y reconocimiento de los patrones, que será la representación de la manera formal del mundo real.

1.9 APORTES

Los aportes de la investigación son:

1. La construcción de un modelo de un modelo de sistema biométrico mediante el reconocimiento del Iris.
2. Tener una mayor seguridad, eficacia, en el reconocimiento de patrones del Iris mediante los modelos ya existentes.

Será un aporte para instituciones y empresas que necesitan de un eficaz sistema de identificación y verificación de personal.



2 MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

La existencia de características únicas físicas brinda a los seres humanos una identidad tan precisa e inconfundible que sin ésta, nuestras vidas dependerían de documentos de identificación hechos en papel o plástico por completo. Aunque es difícil, pero no imposible, encontrar dos personas con rasgos iguales, la biometría ha demostrado ser la mejor alternativa de solución en el reconocimiento de personas en diferentes situaciones como los cajeros automáticos, control de inmigración y compras en línea por Internet.

2.2 BIOMETRÍA

La biometría se remonta a miles de años atrás, épocas donde los chinos utilizaban la impresión de la huella dactilar para sellar sus documentos. Sin embargo, hace poco más de un siglo que se la emplea para propósitos mayormente policíacos.

El laboratorio de Reconocimiento de Patrones y Procesamiento de Imágenes de la Universidad del Estado de Michigan define a la biometría como: "La identificación automática de una persona basada en sus características físicas o comportamentales".

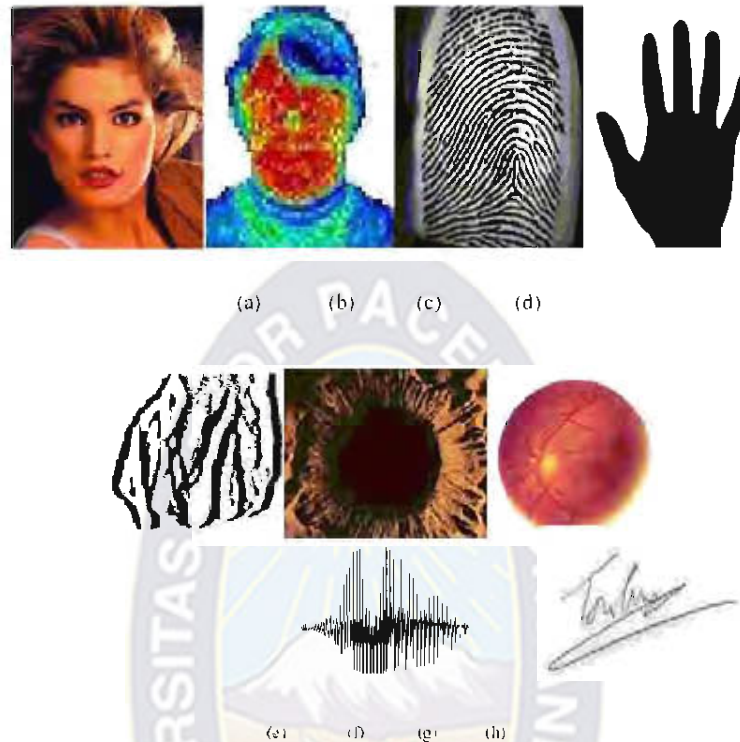
En el Laboratorio de Sistemas Biométricos de Universidad de Bologna en Italia opinan que: "Los sistemas biométricos son métodos de verificación o reconocimiento de la identidad de una persona basado en algunas características fisiológicas como una huella dactilar, el patrón del iris o algunos aspectos de comportamiento como es la escritura o la manera de oprimir las teclas".

Existen dos tipos de características biométricas, la fisiológica (iris, rostro, huellas dactilares, venas) y la comportamental (voz, escritura). Estas características tienen una universalidad, distinción, permanencia, y colectividad por las cuales se consideran únicas en cada persona. En el reconocimiento de voz, por ejemplo, el comportamiento de la persona que desea ser identificada puede jugar un papel importante, ya que no será lo mismo si la persona se identifica hablando de forma normal que elevando su tono de voz o susurrando.

Hoy en día y gracias a los avances tecnológicos, una variedad de dispositivos de acceso biométrico son utilizados, algunos con un rendimiento más confiable que otros. Los dispositivos biométricos más comunes incluyen:

- Huella dactilar
- Geometría de palma de la mano
- Reconocimiento de iris
- Reconocimiento de retina
- Geometría facial
- Verificación de voz
- Verificación dinámica de firmas
- Reconocimiento de Venas

Figura 2.1 Técnicas biométricas actuales: (a) Rostro, (b) Termograma Facial, (c) Huella dactilar, (d) Geometría de la mano, (e) Venas de la mano, (f) Iris, (g) Patrones de la retina, (h) Voz e (i) Firma.



Fuente [http://www2.ing.puc.cl/~iing/ed429/sistemas_biometricos.htm]

La confiabilidad del sistema; es decir, la habilidad de emparejar correctamente una muestra biométrica en "vivo" con una muestra previamente capturada o almacenada en la base de datos, es sumamente importante para el éxito de la tecnología biométrica. Como cualquier otra forma de verificación, la biometría no es 100% segura. Esto se debe a causa de limitaciones en métodos de procesamiento, ruido en sensores, mantenimiento inadecuado de sensores y aún más importante, la variabilidad en características de ambas muestras, como también en la presentación de las mismas. A pesar de esto, diferentes tipos de tecnologías biométricas pueden producir mejores resultados significativos dependiendo de la aplicación, el medio ambiente y otras variables respectivas.

Actualmente la tecnología esta inmersa en áreas de la ciencia y también en el de la biometría que principalmente se basa en dos tecnologías. La primera abarca dispositivos

que reconocen características biométricas, y la segunda donde las computadoras se encargan de procesar los algoritmos y almacenar la información.

2.3 AUTENTICACIÓN

Antes de proceder con la identificación o verificación, una persona debe estar inicialmente "registrada" en un sistema biométrico. Este proceso usualmente requiere que una persona entregue sus muestras biométricas un número de veces, cinco como máximo, para que el sistema pueda capturar diferencias en la presentación (por ejemplo, una huella dactilar en varias posiciones con cambios de ángulo mínimos).

El módulo de registro es responsable de entrenar al sistema para identificar una persona dada. Durante la etapa de registro, un sensor biométrico examina la fisonomía de la persona para crear una representación digital. Un extractor de características procesa esta representación para generar una representación más compacta y expresiva llamada plantilla (témplate).

Para una imagen facial, estas características podrían incluir el tamaño y la posición relativa de los ojos, nariz y boca. La plantilla para cada usuario es almacenada en una base de datos, la cual puede ser centralizada o distribuida.

Existe variedad de métodos para realizar la autenticación de usuarios o personas. Las tres categorías habitualmente aceptadas de métodos de verificación de identidad se basan en algo que la persona conoce, como ser una contraseña, algo que la persona posee, como llaves o tarjetas y alguna característica física que la persona posee, como reconocimiento de iris, retina, movimiento de labios, entre otros. Para utilizar estas características en la identificación de individuos los sistemas computarizados necesitan de software y hardware especializado⁶.

⁶UCM Universidad Complutense de Madrid Rafael Salas, la Biometría como método de autenticación de un Sistema Integrado de Registro de Personas, 2001

La autenticación no es de utilidad si el sistema no puede brindar la seguridad de que el usuario legítimo presentó su característica. Datos de múltiples, características biométricas independientes pueden servir para reforzar la identidad del sujeto. Por ejemplo, una fracción de la población buscada puede que no posea un identificador biométrico particular o que presente una característica que se clasifique como información no utilizable, en otras palabras es posible que una muestra no sea lo suficientemente clara y por lo tanto sea deficiente a los propósitos de este módulo.

2.4 IDENTIFICACIÓN

Para poder ser identificado (también denominado "reconocido") por una biometría, una persona debe presentar su muestra biométrica (por ejemplo, colocar su dedo en un lector o permitir a una cámara obtener su foto). El sistema realiza una búsqueda completa en su almacén de base de datos de plantillas biométricas para ver si encuentra un par perfecto a la muestra actual. "Este proceso puede tomar algún tiempo ya que el sistema debe comparar la muestra actual con cada plantilla previamente almacenada"⁷.

2.5 VERIFICACIÓN

Para poder verificar la identidad de una persona, el usuario debe reclamar una identidad antes de presentar su muestra biométrica. Esto puede realizarse de varias formas, por ejemplo se puede ingresar un número de identificación personal (PIN) o proporcionando verbalmente un nombre o número de cuenta.

Reclamar una identidad permite al sistema biométrico buscar rápidamente entre sus archivos y encontrar la plantilla biométrica asociada. Posteriormente, el sistema puede comparar la muestra entregada con la plantilla recuperada para verificar la identidad. Generalmente, este proceso es mucho más rápido que la identificación ya que se trata de una comparación de 1 a 1.

⁷ Nanavati Commission report, Biometric technology offerings, International Biometric Group, 2008

2.6 MEDICIÓN DEL RENDIMIENTO

De la misma forma que la temperatura, la humedad, la velocidad del viento y otros factores nos ayudan a describir el ambiente; la biometría utiliza métodos para la medición del rendimiento cuantitativamente. Los datos comúnmente utilizados son:

- El rendimiento por histograma
- Razón de aceptación falsa (FAR) y razón de rechazo falso (FRR)
- razón de mismo error (ERR)
- Falla en adquisición (FTA)

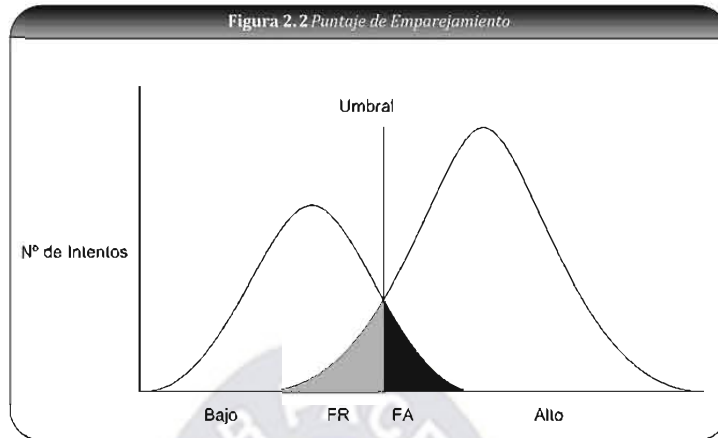
2.6.1 Rendimiento por Histograma

La forma más básica de ver los datos es inspeccionando su rendimiento por histograma. Cada vez que se termina un aprueba, el sistema devuelve un puntaje de emparejamiento, el cual está presentando mediante un histograma, como de emparejamiento, el cual está presentando mediante un histograma, como se muestra en la figura 2.2.

El cual "puntaje" se representa en el plano de las abscisas y se evalúa de bajo de alto, mientras que el "numero de intentos" se muestra en el plano de las ordenadas.

Los usuarios legítimos poseen puntajes más altos (lo esperado) y se muestran en el lado derecho del gráfico. Las distribuciones pueden variar de dispositivo en dispositivo, pero están por lo general normalmente distribuidas o son "curvas en forma de campana".

Los impostores, por el contrario, tienen puntajes más bajos y se muestran en el lado izquierdo del gráfico.



Se debe anotar también que usualmente existen menos impostores que usuarios autorizados.

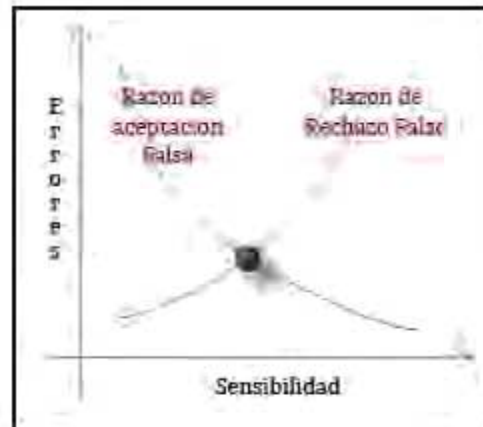
El punto se cruza las curvas es representado por una línea vertical denominada umbral (threshold). Si un puntaje es mayor al umbral definido, el usuario es aceptado. Caso contrario, el usuario es rechazado.

2.6.2 Razón de Aceptación Falsa (FAR) y Razón de Rechazo Falso (FRR)

Dos términos comúnmente usados para referirse a la exactitud en el campo biométrico son la razón de aceptación falsa y razón de rechazo falso **FAR** permite un acceso no autorizado de personas a cuentas bancarias o a la entrada con facilidad a lugares de alta seguridad.

Un rechazo falso **FRR** envuelve el declinamiento de un usuario autorizado. El rechazo falso puede ocurrir por que a la persona autorizada utiliza el sistema biométrico incorrectamente, inadecuado del lector puede también ocasionar un rechazo de este tipo.

Figura 2.3 Razón de Aceptación Falsa (FAR) - Razón de Rechazo Falso (FRR)



Fuente [Elaboración Propia]

Si desplazamos el umbral hacia la izquierda, obtenemos un menor número de rechazos falsos (FR), pero más aceptaciones falsas (FA). Al contrario, si movemos el umbral a la derecha, nos encontraremos con más rechazos falsos y menos aceptaciones falsas.

Distintas aplicaciones pueden tener distintos requerimientos en lo que concierne a sus razones de error. Por ejemplo, aplicaciones para acceso a instalaciones de alta seguridad tendrán requisitos más estrictos en las FAR que lo que necesitara una aplicación forense.

Por tanto:

- FAR= número de FA/ número de de intentos de reconocimiento o verificación de un impostor.
- FRR= número de FR/ número de intentos de reconocimiento o verificación de un usuario autorizado.
- EER= punto en el cual se cruzan los dos anteriores.

Algunos factores que influyen la FRR y FAR son:

- Condiciones de medio ambiente (temperatura externa, humedad, ruido, etc.)
- Edad, sexo, ocupación (callosidades en las manos por efectos de trabajos manuales).
- El maquillaje físico del usuario
- La naturaleza de la aplicación biométrica.

Método de Un-intento: extracción de datos, se toma en vez y se compara con la base de datos.

2.6.3 Razón De Mismo Error (ERR)

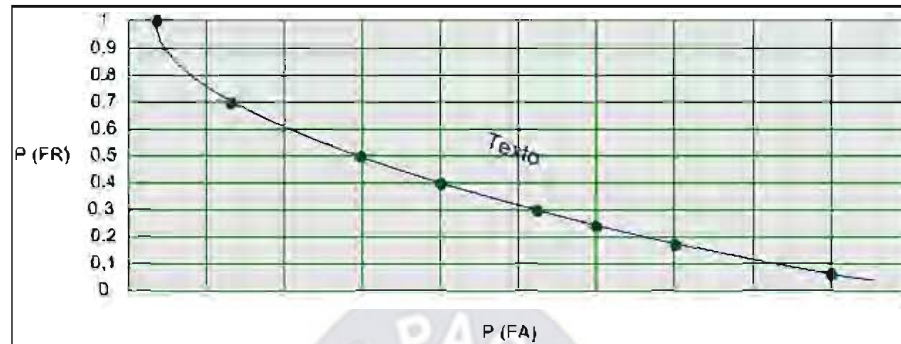
Para encontrar la misma razón del mismo error, se debe ajustar el umbral de tal modo que la razón de aceptación falsa sea igual a la razón de rechazo falso. Si el umbral es calibrado para que 5% de los usuarios verdaderos sean rechazados y 5% de los impostores sean aceptados, entonces en ERR total es de 5%.

2.6.4 Falla en Adquisición (FTA)

Una FTA ocurre cuando el sistema no encuentra una señal válida para analizar. Si no se coloca el dedo en el escáner con la orientación correcta, o si existe un movimiento mientras se está escaneando, la imagen resultante no podrá ser procesada. En un sistema de voz, si no se habla lo suficientemente alto, o existe ruido o una mala conexión, el sistema no recibirá las palabras esperadas.

Una en la adquisición usualmente es el resultado de los problemas relacionadas con los factores humanos, principalmente debido al poco entrenamiento que los usuarios reciben para utilizar los dispositivos biométricos.

Figura 2.4 Probabilidad de aceptación y rechazos falsos ^B



En la figura 2.4 se muestra la probabilidad de rechazo falso $P (FR)$, y la probabilidad de aceptación falsa $P (FA)$. El intercambio que se produce al desplazar el umbral se muestra a través de una curva, conocida como la curva recepcionista de características operativas (ROC). Los puntos cercanos al origen $(0,0)$ representan operaciones biométricas con alguna Fa y FR , mientras que los puntos a final de la línea representan umbrales ajustados en muy alto o muy bajo.

Por ejemplo, un umbral ajustado en alto tal que $P (FA)$ es bajo y $P (FR)$ es alta, o un umbral ajustado en bajo tal que $P (FA)$ es alta mientras $P (FR)$ es bajo.

2.7 SISTEMAS BIOMETRICOS

Entenderemos por sistema biométrico a un sistema automatizado que realiza labores de biometría. Es decir, un sistema que fundamenta sus decisiones de reconocimiento mediante una característica personal que puede ser reconocida o verificada de manera automatizada.

En esta sección son descritas algunas de las características más importantes de estos sistemas.

^B Domingo Morales - Javier Ruiz - 2002 http://www2.ing.puc.cl/~iing/ed429/sistemas_biometricos.htm

2.7.1 Características de un indicador biométrico

Un indicador biométrico es alguna característica con la cual se puede realizar biometría. Cualquiera sea el indicador, debe cumplir los siguientes requerimientos:

1. *Universalidad*: cualquier persona posee esa característica;
2. *Unicidad*: la existencia de dos personas con una característica idéntica tiene una probabilidad muy pequeña;
3. *Permanencia*: la característica no cambia en el tiempo; y
4. *Cuantificación*: la característica puede ser medida en forma cuantitativa.

Los requerimientos anteriores sirven como criterio para descartar o aprobar a alguna característica como indicador biométrico. Luego de seleccionar algún indicador que satisfaga los requerimientos antes señalados, es necesario imponer restricciones prácticas sobre el sistema que tendrá como misión recibir y procesar a estos indicadores. En la siguiente sección se presentan estas restricciones.

2.7.2 Arquitectura de un sistema biométrico para identificación personal

Los dispositivos biométricos poseen tres componentes básicos. El primero se encarga de la adquisición análoga o digital de algún indicador biométrico de una persona, como por ejemplo, la adquisición de la imagen de una huella dactilar mediante un escáner. El segundo maneja la compresión, procesamiento, almacenamiento y comparación de los datos adquiridos (en el ejemplo una imagen) con los datos almacenados. El tercer componente establece una interfaz con aplicaciones ubicadas en el mismo u otro sistema.

La arquitectura típica de un sistema biométrico puede entenderse conceptualmente como dos módulos:

1. *Módulo de inscripción (enrollment module) y*
2. *Módulo de identificación (identification module).*

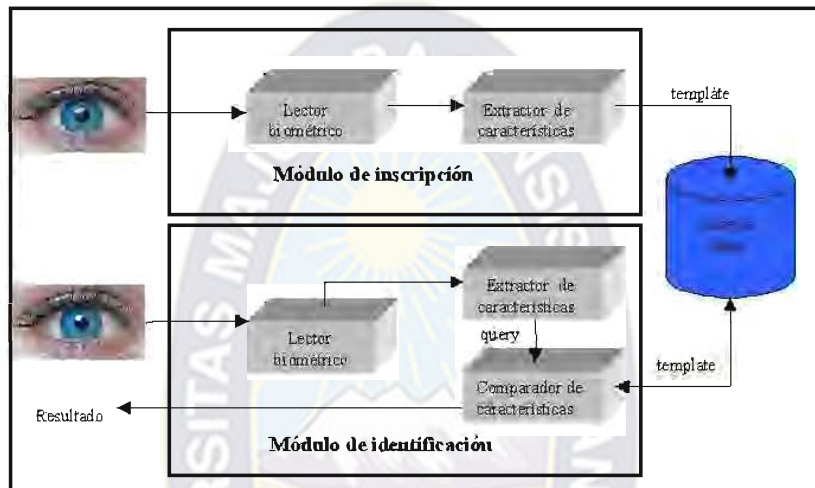
El módulo de inscripción se encarga de adquirir y almacenar la información proveniente del indicador biométrico con el objeto de poder contrastar a ésta con la proporcionada en ingresos posteriores al sistema. Las labores ejecutadas por el módulo de inscripción son posibles gracias a la acción del lector biométrico y del extractor de características.

El primero se encarga de adquirir datos relativos al indicador biométrico elegido y entregar una representación en formato digital de éste. El segundo extrae, a partir de la salida del lector, características representativas del indicador. El conjunto de características anterior, que será almacenado en una base de datos central u otro medio como una tarjeta magnética, recibirá el nombre de template. En otras palabras un template es la información representativa del indicador biométrico que se encuentra almacenada y que será utilizada en las labores de identificación al ser comparada con la información proveniente del indicador biométrico en el punto de acceso.

El módulo de identificación es el responsable del reconocimiento de individuos, por ejemplo en una aplicación de control de acceso. El proceso de identificación comienza cuando el lector biométrico captura la característica del individuo a ser identificado y la convierte a formato digital, para que a continuación el extractor de características produzca una representación compacta con el mismo formato de los templates. La representación resultante se denomina query y es enviada al comparador de características que confronta a éste con uno o varios templates para establecer la identidad.

El conjunto de procesos realizados por el módulo de inscripción recibe el nombre de fase de inscripción, mientras que los procesos realizados por el módulo de identificación reciben la denominación de fase operacional. A continuación se entregan detalles de esta última.

Figura 2.5 *Arquitectura de un sistema biométrico para identificación personal, aquí ejemplificado con el iris*



Fuente: [Elaboración propia]

2.7.3 Ventajas y Desventajas de estos dispositivos biométricos

Depende de como miremos estos sistemas biométricos pueden presentar algunas ventajas, aunque también pueden presentar varias desventajas.

Que algo sea moderno, y utilice de la última tecnología disponible por científicos de otro mundo, no significa que sea seguro. Siempre va a haber una mente inquieta, hackers que quieran sobrepasar esa barrera del límite, y de la seguridad del sistema.

2.7.3.1 Ventajas

La primera ventaja que podremos observar es que al ser una tecnología dentro de todo 'moderna', depende como se implemente esta, presenta dificultad ante los intrusos. Ya

que son mucho mas difícil de falsificar que una contraseña o un token (aunque después con un buen análisis revertiremos esto pero no para todos los casos de identificación).

Otra ventaja es que nos libramos de todo peso de encima, es decir no necesitamos llevar algo encima, o pensar algún tipo de clave, solamente necesitamos nuestro lindo cuerpo, y que el sistema haga su trabajo.

2.7.3.2 Desventajas

Una desventaja podría ser a fecha de hoy, que estos sistemas dependiendo que es lo que busquemos implementar y el rango de seguridad que necesitemos, son demasiados caros.

Esto se debe a la gran inteligencia artificial que tienen que aplicarse dependiendo lo que busquemos, sin contar la cantidad que necesitemos, si es una empresa de 50 pisos, imagínense simplemente lo que costaría ya que con tantos pisos el personal seria grandísimo, por lo tanto 1 aparato solo en la entrada no nos bastaría.

Otras desventajas podrían ser lo que se conoce como factores o medidas de aceptación. Donde a veces nos traería un dolor de cabeza debido a que todavía la implementación no esta calibrada de tal manera y podría darnos algunos factores como: Un FRR -false rejection rate- seria un resultado negativo para un sujeto valido, o un FAR -False Acceptance Rate- que seria lo contrario una aceptación para un usuario no valido o no registrado en el sistema.

2.8 HUELLAS DACTILARES

Es el sistema biométrico más antiguo y el más usado con frecuencia, tiene sus raíces en el cumplimiento de la ley desde 1903. La mayoría de lectores biométricos para huellas dactilares toman la imagen de la huella y analizan los patrones de la huella, enfocándose

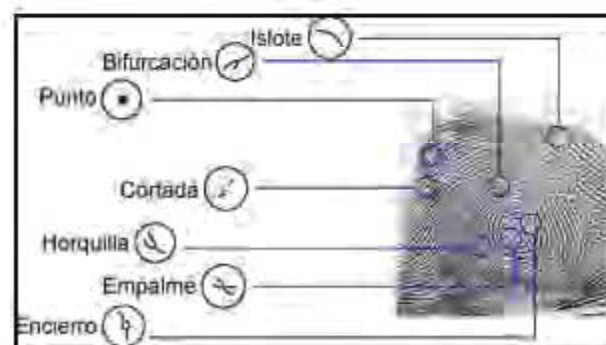
en patrones de cresta, áreas donde estas se bifurcan, ángulos en la huella y la distancia entre puntos clave de la huella dactilar. Los puntos focales claves son denominados la *minutiae*. El lector analiza el patrón de la minutiae y crea una plantilla, pero no guarda la imagen de la huella dactilar como se pensaría.

Una huella dactilar o huella digital es la impresión visible o moldeada que produce el contacto de las crestas papilares. Depende de las condiciones en que se haga el dactilograma (impregnando o no de sustancias de color distinto al soporte en que asiente), y de las características del soporte (materias plásticas o blandas, en debidas condiciones). Sin embargo, es una característica individual que se utiliza como medio de identificación de las personas.

El sistema de identificación de las personas a través de las huellas fue inventado por Juan Vucetich, croata, nacionalizado argentino, y el invento fue desarrollado en Argentina y patentado en este país. El primer país donde se utilizó el sistema de identificación de huellas para esclarecer un crimen fue también Argentina.

La ciencia que estudia las huellas dactilares se llama dactiloscopía y dentro de ella existen dos grandes ramas con su propia clasificación de huellas.

Figura 2.6 Extracción de la minucia ⁹



⁹ Ciencia Interactiva - <http://jcb18081biologia.wordpress.com/2009/11/06/dermatoglifos-estudio-de-la-diversidad-genetica/>

A pesar de las ventajas que brinda este método de identificación existen muchas personas que poseen huellas dactilares difíciles de leer debido a cortaduras de piel seca, callosidades en los dedos y piel vieja, que no son fáciles de identificar utilizando un lector biométrico.

Biometría basada en huellas dactilares es usada en variedad de aplicaciones como el control de acceso a transacciones de cajeros automáticos e identificación criminal. EL AFIS-Sistema de identificación automatizado de Huellas Dactilares, consiste de una base de datos enorme de datos huellas la cual es usada por fuerzas de la ley para la identificación positiva en criminología.

2.8.1 Patrones de Huellas Dactilares

Los patrones de huellas dactilares están formados por tipos de líneas-forma que toma la línea- que determinan las características de clasificación general para una huella las cuales son: arco, bucle y espiral. El "Core", es un termino empleado para describir el área principal de una huella que contiene muchos de los tipos de la línea descritos anteriormente. Esta zona y su contenido determinan la clasificación de una huella.

Figura 2.7 *Patrones de Huellas Dactilares*¹⁰

PATRONES DE LA CLASIFICACIÓN		
		
ARCO	LAZO	VERTICILO
CARACTERÍSTICAS DE LA IDENTIFICACIÓN		
		
CONCLUSIÓN DEL CANTO	BIFURCACIÓN	PUNTO (o ISLA)

¹⁰ Idem 11, p. 23

Varilla. Forma generalmente una pequeña línea recta y corta. No tiene rasgos de curvas acentuadas y tiende a ser encontrada en el centro de los patrones de áreas de las huellas digitales.

ELIPSE. Es una forma de tipo de línea circular u oval que se encuentra generalmente en el centro de los tipos de línea espiral.

ESPIRAL Sale del centro de una huella digital y generalmente se encuentra en los tipos de huella espira.

BIFURCACION Es la intersección de 2 o mas tipos de línea que convergen o divergen.

Arco tendido. Semeja un arco. Es un tipo de línea que forma un Angulo agudo.

Estos tienden a ser asociados con los patrones de huellas tipo arco tendido.

Bucle. Es un tipo de línea en curva que ingresa y sale en algún lado de las huellas digitales.

Glándulas sudoripas. El dedo contiene muchas glándulas sudoripas. La mezcla y grasa que ellas producen permiten imprimir las huellas para la captura.

Arco. Los tipos de línea arqueadas se encuentran en la mayoría de las huellas.

Las huellas digitales que están formadas básicamente por arcos son clasificadas generalmente por huellas arqueadas.

Islas. Es un tipo de línea que permanece sola, no toca otro tipo de línea y esta totalmente contenida en el área patrón de interés.

2.9 GEOMETRÍA DE LA PALMA DE LA MANO

Es el método más popular usado para el control de acceso. Los lectores de este tipo examinan la longitud, ancho y altura de la mano de una persona en una imagen tridimensional. Luces infrarrojas y una cámara digital se utilizan para capturar los datos de la mano. La verificación de huellas dactilares no es tomada en cuenta.

Figura 2.8 *Geometría de la Palma de la Mano*¹¹



Un micro procesador se encarga de extraer biométricas de la imagen de la mano. Durante el proceso inicial de registro, se toman 3 mediciones de la mano y se realiza un promedio de las entradas. Esto plantilla de la mano del usuario que es almacenada para la identificación de identidad posterior.

Esta plantilla almacenada se actualiza automáticamente con cada aceptación positiva. Esto asegura que los cambios que se puedan producir en una mano en un periodo de tiempo se tomen en cuenta.

Un archivo tipo de geometría de la mano requiere aproximadamente 9 bytes de almacenamiento. Estos lectores ofrecen una variedad razonable de niveles de exactitud,

¹¹ <http://www.biometriccatalog.org> - NSTC Subcommittee on Biometrics 2009

pero pueden experimentar altos índices de aceptación falsa cuando gemelos idénticos y otros miembros de la misma familia usan el lector.

La universidad de Cesena ha desarrollado un sistema automático denominado HaSIS (Had shape identification system) que extrae 17 características Geométricas de la mano. Al estudiar el poder discriminante de las características y sus correlaciones, encontraron teóricamente que HaSIS es capaz de obtener razones de error menores a 0.5%.

2.10 RECONOCIMIENTO DE IRIS

Entre tantas características físicas, el patrón del iris ha despertado la atención en las últimas décadas dentro de la tecnología biométrica por que contiene características estables y distinguibles para la identificación personal. Esto se debe a que cada iris tiene patrones únicos y finos los cuales no cambian con el tiempo, por lo que muchas veces es denominado como una especie de huella dactilar óptica.

El reconocimiento de iris es, relativamente una nueva tecnología biométrica, en la cual se obtiene la imagen de la iris de un individuo captura por una cámara estándar de blanco y negro que se encuentra aproximadamente a 10 - 12 pulgadas de distancia. La imagen del iris es entonces digitalizada como una plantilla de 256 - 512 bytes y almacenada en una base de datos.

De acuerdo a la literatura, dos métodos propuestos por Daugman y Wildes et al, para la captura de imágenes requieren que el operador (usuario) posicione la región ocular en frente de la cámara.

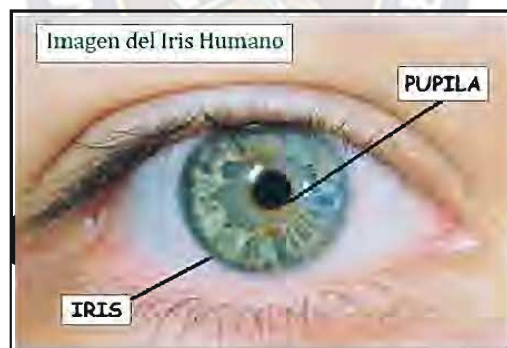
El sistema de Daugman provee al operador una retroalimentación de video en vivo para que este pueda ver lo que la cámara está capturando y ajuste su posición de acuerdo a lo necesario. Durante este proceso, el sistema es continuamente adquiriendo imágenes. Una vez que una serie de imágenes de calidad suficiente es adquirida, una de ellas es

enviada para su procesamiento. La calidad de la imagen se evalúa por el alto contraste de los bordes marcando los límites entre el iris y la esclerótica.

Por otra parte, el sistema de Wildes et al. Provee un contorno cuadrado centrado alrededor del lente de la cámara visible al operador. Suspendingo enfrente de este contorno se halla un segundo contorno mas pequeño de la misma forma. Los tamaños y posiciones relativos de dichos contornos son escogidos de tal forma que cuando el ojo es en una posición adecuada, los cuadrados se solapan y pretenden ser uno solo. Una vez que el operador ha completado la alineación, este activa el captador de imágenes presionando un botón.

Cada iris es único, aunque se trate de gemelos idénticos. El examinador de iris identifica los anillos, hoyos, estriaciones, pecas, coronas, fibras y filamentos en el iris. Los expertos afirman que un iris tiene más de 200 características distintas, y que el iris del ojo izquierdo de una persona será significativamente diferente que el iris derecho.

Figura 2.9 *Imagen del Iris Humano*



Fuente [Elaboración propia]

John Daugman, Ph. D., opina de que el tema central en el reconocimiento de patrones es la relación entre la variabilidad de clase-dentro y clase-entre. Estas clases son determinadas por los grados de libertad medidos por las clases de patrones.

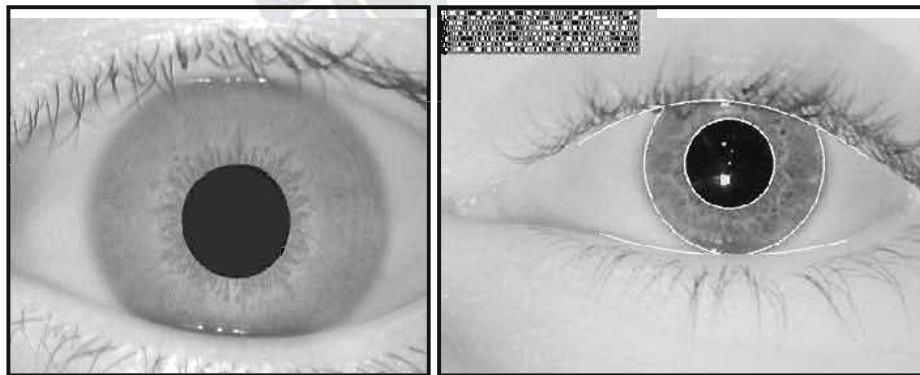
Idealmente, la variabilidad de clases-dentro debería ser pequeña de la variabilidad de clases-entre grande, de este modo las clases están bien separados.

Muchos y mas dificultades fundamentales se originaron por el índice de nacimiento de gemelos idénticos (alrededor de 86%) ya que estos desminuyen la variabilidad e clases-entre (i.e. personas diferentes con apariencia idéntica), mientras que el cambien en nuestra apariencia facial cuando envejecemos aumenta la variabilidad de clases-dentro.

Hasta el momento los, grados de libertad mas numerosos densos, que son ambos establecen en el tiempo y visible en el rostro, están situados en la textura compleja del iris de los ojos. Este órgano interno protegido, que puede ser capturado adecuadamente una distancia de hasta 1 metro, revelado acerca de 266 grados de libertad independientes de variación de textura entre individuos.

Siendo un órgano interno del ojo, el iris es inmune (a diferencia de las huellas dactilares) a influencia del medio ambiente, acepto por su respuesta pupilar a la luz. Las deformaciones elásticas que ocurren con dilataciones de la pupila y contracciones son reconstruidas matemáticamente por algoritmos para localizar los limites internos y externos del iris.

Figura 2.10 *Imagen del patrón del Iris antes y después de ser aislado para su clasificación*



Fuente [IriScan -2009]

Las modulación bidimensionales que forman los patrones del iris ser extraídos por operaciones matemáticas de modulación usando complejos valores de ondaleta Gabor en 2D, primero es necesario localizar compresiones los limites internos externos del iris, y detectar posteriormente excluir pestañas si estas interfieren.

Estas operaciones de detección se consiguen mediante operadores integro-diferenciales. Entonces un sistema de coordenadas bidimensionales es definido, en el cual recorre (mapea) el tejido que no va de una forma que no abra con cambios en la contracción de la pupila y el tamaño total de la imagen del iris, y también es invariable al factor de acercamiento de la cámara y la distancia del ojo.

El sistema de coordenadas compensa por el estiramiento del tejido del iris mientras la pupila se dilata figura 2.11.

Figura 2.11 *Pupilas dilatadas*



Fuente [Iridian Technologies -2009]

La distancia de Hamming es utilizada, por John Daugman Ph.D. en la universidad de Cambridge, para la identificación de individuos en la comparación de códigos de iris.

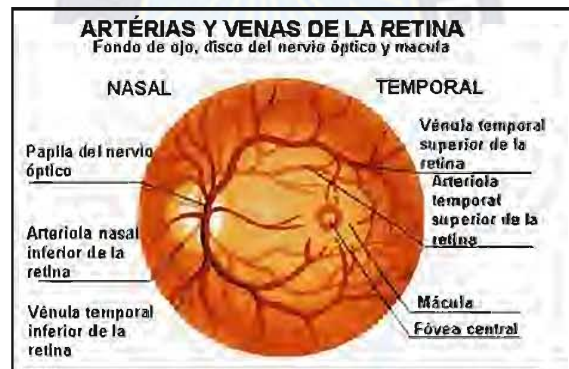
La idea consiste en comparar los diferentes códigos obtenidos de diferentes ojos, y aplicar una fracción de 0.5 a la distancia de Hamming. Una vez obtenidos los resultados, se obtiene la medida de las comparaciones, la cual debe acercarse a la distancia inicialmente propuesta, y de esta manera asegurar que todos los códigos difieren en el 50% o menos de su número de bits.

La principal dificultad en el reconocimiento de un iris humano es que una vez adquirida la imagen conteniendo el iris, es complicado encontrar puntos característicos aparentes en la imagen y mantener una presentación alta de modo eficiente.

2.11 RECONOCIMIENTO DE RETINA

El reconocimiento de retina es una tecnología que no ha recibido una buena aceptación por el público en general debido a la necesidad de ubicar los ojos muy próximos al lector de la retina (entre 1-2 pulgadas). La tecnología requiere de luz incandescente brillante en los ojos de las personas a corto alcance. Una vez que los ojos son iluminados, se captura la muestra identificando las características únicas de la retina. Los lectores de este tipo identifican hasta 192 puntos de datos. Una plantilla es creada basándose en el examen de retina y es almacenada en un archivo de aproximadamente 40 bytes, que contendrá las características más importantes de la muestra.

Figura 2.12 Partes de la Retina.



Fuente [Iridian Technologies -2009]

2.12 GEOMETRÍA FACIAL

Existe una variedad de sistemas biométricos basados en imágenes faciales que proveen una verificación individual. La mayoría de estos sistemas utilizan imágenes faciales que proveen una verificación individual, estos sistemas utilizan computadoras estándar y equipos de cámara CCTV, similares a un sistema de imagen de video, el cual captura una imagen facial.

La imagen es almacenada en una base de datos que requiere aproximadamente 100 kbytes de memoria por imagen.

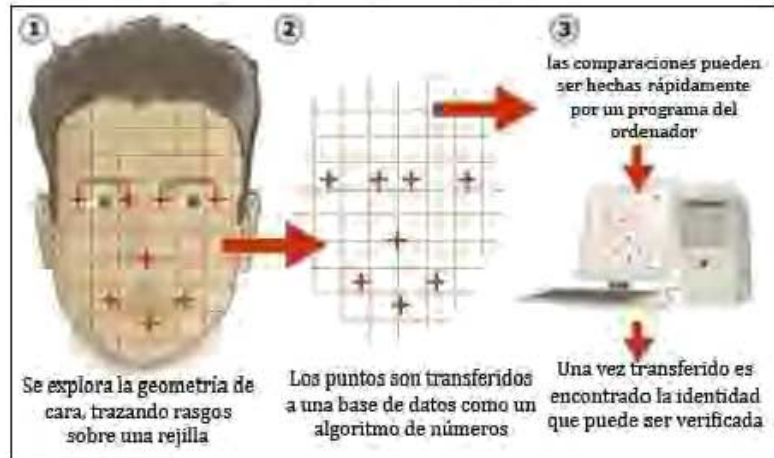
Estos sistemas utilizan mediciones faciales como modo de verificación. La distancia facial de sien a sien y de quijada a la línea capilar puede ser usada, o la distancia entre los ojos y la boca puede ser útil para almacenar la información en una plantilla.

Variable como les de sol, bigotes y barba, expresiones anormales y movimiento severo de cabeza pueden causar un rechazo falso en este tipo de sistemas.

En estudios realizados por John Daugman Ph.D. el rendimiento de esquemas de reconocimiento facial esta limitado en un lado por los índices de error genotípicos como el nacimiento de los gemelos idénticos , por el otro lado, por índices de error fenotípicos que se refiere al cambio en al apariencia facial a través del tiempo.

Varias investigaciones resistentes mostraron que existe una gran variación en el Angulo de perspectiva o pose, y la expresión misma.

Figura 2.13 Geometría Facial.



Fuente [Iridian Technologies -2009]

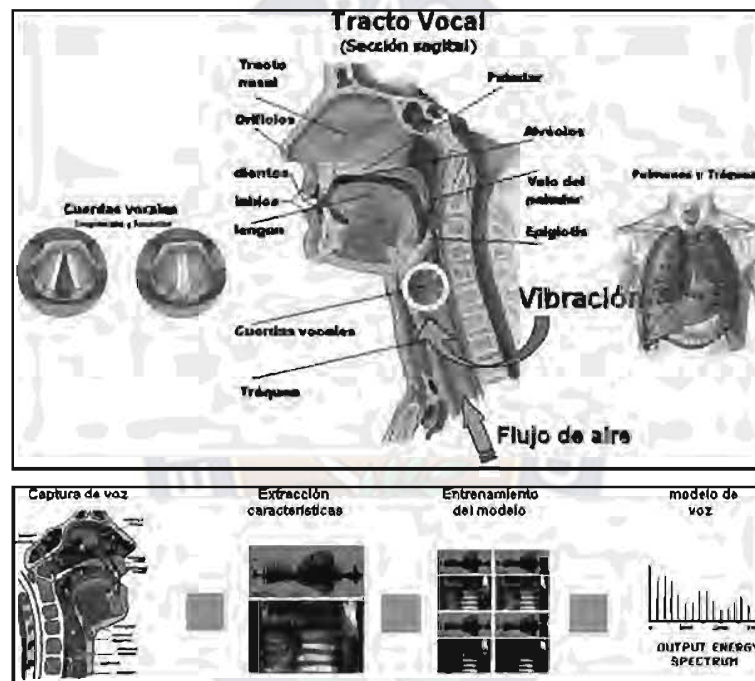
2.13 VERIFICACIÓN DE VOZ

El reconocimiento de voz, es visto por los usuarios como una de las formas más naturales de la tecnología biométrica, ya que no requiere contacto físico con el lector del sistema.

Los sistemas de reconocimiento de voz se enfocan en características únicas de voz, las cuales son únicas en los patrones de conversación de un individuo. Estos patrones están formados por una combinación de factores comportamentales y fisiológicos.

La mayoría de estos sistemas son dependientes del texto, o sea que las palabras específicas deben ser mencionadas para realizar la verificación.

Figura 2.14 Verificación de Voz.



Fuente [Iridian Technologies -2009]

2.14 VERIFICACIÓN DINÁMICA DE FIRMAS

La verificación de firmas se basa en la diferenciación entre partes de una firma, las cuales son habituales y aquellas que cambian constantemente. Hoy en día, mas de 100 patentes en tecnologías de firmas ah sido emitidas a compañías tales como IBM, NCR y Visa.

Figura 2.15 Verificación dinámica de firmas.

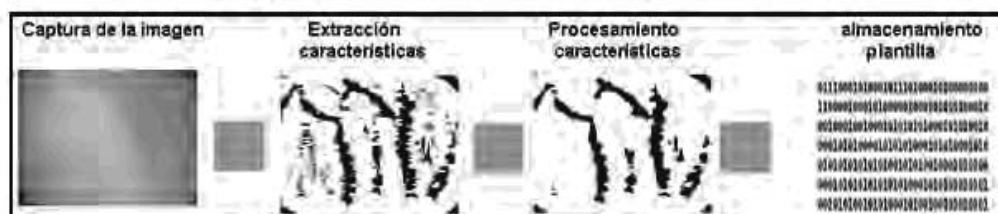


Fuente [Iridian Technologies -2009]

2.15 RECONOCIMIENTO VASCULAR

Esta tecnología biométrica es de reciente desarrollo y también se conoce como reconocimiento del patrón de venas de la mano. Al igual que el reconocimiento de retina esta tecnología usa luz infrarroja a corta distancia para detectar los patrones de la red vascular, actualmente también se extraen patrones vasculares de otras partes del cuerpo y están estandarizados en la norma ISO/IEC 19794-9 los patrones vasculares de la palma de la mano, reverso de la mano y dedo.

Figura 2.16 Sistema de Reconocimiento vascular.



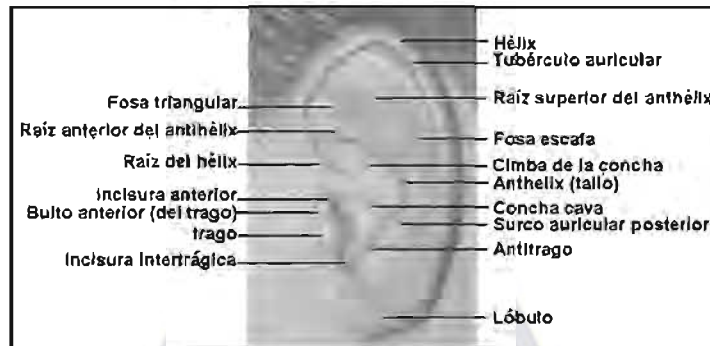
Fuente [Iridian Technologies -2009]

2.16 RECONOCIMIENTO HUELLA DEL PABELLÓN AURICULAR

Esta tecnología biométrica se ha desarrollado para la medicina legal y forense especialmente, es una reproducción bidimensional del pabellón auricular y se maneja de manera similar a la huella digital o huella palmar, para su desarrollo la Unión

Europea creó un grupo de investigación (FEARID) que tenía como fin el desarrollo de esta tecnología en un periodo de 40 meses.

Figura 2.17 Partes del Pabellón auricular.



Fuente [Iridian Technologies -2009]

2.17 OTROS

- ADN- en análisis del ADN. que actualmente es posible realizarlo en 10 minutos no está considerado lo suficiente automático para considerarlo dentro de rango de los biométricos, ya que se necesita una muestra de tejido, sangre u otra muestra de cuerpo se lo considera altamente intrusivo.
- DIGITACION DE TECLAS – más conocido como dinámica de digitación – keystroke dynamics -, analiza el método de la mecanografía. Es de tipo de análisis de comportamiento.
- VENAS – esta técnica conocida como chequeo de las venas – vein check - esta basada en el análisis de las venas de la mano capturándolas a través de cámaras de espectro de luz infrarroja que se enfoca en el análisis de la estructura de las venas.

2.18 CUADRO DE COMPARATIVO

Tabla 2.1 Cuadro comparativo de Sistemas Biométricos por compañías¹².

COMPañÍA	DESCRIPCIÓN	FRR	FAR	RAZÓN DE MISMO ERROR	TIEMPO DE VERIFICACIÓN
EyeDentify	Retina	0.4%	0.001%	Desconocido	1.5 a 4seg.
Iriscan	Iris	0.00066%	0.00078%	0.00076%	2 seg.
Identix/ fingerscan	Huella dactilar	<1.0%	0.0001%	Desconocido	0.5 seg.
BioMet Partners	Geometría de la mano	0.1%	0.1%	0.1%	1 seg.
Recognition Systems Inc	Mano 4 dedos de la mano	0.1%	0.1%	0.1%	1 seg.
Voice Strategies	Verificación de la voz	Desconocido	Desconocido	Desconocido	1.5 seg.

De acuerdo al cuadro anterior, los dispositivos biométricos más seguros en la identificación de individuos son los relacionados con huellas dactilares y el iris del ojo, debido a que presentan los índices más bajos respecto a Aceptación Falsa y Rechazo Falso, además de tener un tiempo de Verificación poco elevado.

¹² Hill Spence, Recognition Systems, Inc. Biometrics in Physical Access Control, http://www.recogsys.com/rsi_public.html/sitech.html, 2003

Tabla 2.2 Cuadro comparativo de Sistemas Biométricos según características propias¹³.

	Ojo (Iris)	Ojo (Retina)	Huellas dactilares	Geometría de la mano	Escritura y firma	Voz	Cara
Fiabilidad	Muy alta	Muy alta	Alta	Alta	Media	Alta	Alta
Facilidad de uso	Media	Baja	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Prevención de ataques	Muy alta	Muy alta	Alta	Alta	Media	Media	Media
Aceptación	Media	Baja	Alta	Alta	Muy alta	Alta	Muy alta
Estabilidad	Alta	Alta	Alta	Media	Baja	Media	Media

2.19 ESTÁNDARES BIOMÉTRICOS

En la actualidad, ningún estándar de comunicación biométrico esta en el lugar de simplificar la integración de dispositivos biométricos de sistemas nuevos o existentes, sean estos para aplicaciones de seguridad o de comercio electrónico. Hoy, por la mayoría de los dispositivos biométricos utilizan protocolos únicos y manejadores (drivers) que no son compatibles. Debido a esta variedad, es muy difícil para un desarrollador de sistemas crear un software que soporte a más de un tipo y un fabricante de lector biométrico.

El estándar de autenticación Humana API (HA-API) fue desarrollado por el registro Nacional y fue fundado por el departamento de Defensa para el uso de sistemas de control de acceso biométrico. En abril 27, 1998, Compaq Computer Corp., Microsoft Corp., Miros Inc. Y Novell Inc. Formaron Bio-API, un comité dedicado a trabajar con la industria biométrica para el desarrollo común de estándares para huellas dactilares, voz y reconocimiento facial. Este proyecto permitirá que interfaces estándar de aplicaciones programables s incorporen a sistemas operativos y aplicaciones de software.

¹³ Idem 14

2 ONDALETAS

3.1 HISTORIA

Antes de 1930, el principal acercamiento a las ondaletas (wavelets) empezó con Joseph Fourier (1807) y sus teorías de análisis de frecuencia, actualmente conocidas como la síntesis de Fourier. El teorema que cualquier función $f(x)$ con periodo 2π es la suma.

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos kx + b_k \sin kx)$$

De su serie de Fourier. Los coeficientes se calculan como sigue

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(x) dx, a_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos(kx) dx, b_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin(kx) dx$$

La primera mención acerca de ondaletas apareció en el apéndice de la tesis de A. Haar (1909) Una propiedad de las ondaletas de Haar es que tienen un soporte compacto, lo que significa que se desvanecen fuera de un intervalo finito.

Desgraciadamente, estas ondaletas no son diferenciables continuas lo cual limita su aplicación.

Durante 1930, varios grupos investigaron la presentación de funciones usando funciones base de escala n -variable. Otra investigación realizada por Littlewood, Paley, y Stein computo la energía de la función $f(x)$:

$$Energia = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} |f(x)|^2 dx$$

Entre 1960 y 1980, los matemáticos Weiss y Coifman estudiaron los elementos más simples de una función espacio, llamados átomos, con el objetivo de encontrar los átomos para una función común y encontrando las “reglas de ensamblaje” que permitan la reconstrucción de todos los elementos de la función espacio utilizando los átomos.

En 1985 Stephane Mallat dio a las ondaletas un uso adicional en su trabajo de procesamiento digital de señales. Años después, Ingrid Daubechies utilizó el trabajo de Mallat para construir un conjunto de funciones base ortonormales de ondaletas que resultaron muy elegantes y que son utilizadas en la actualidad.

3.2 DEFINICIÓN

Las ondaletas son funciones matemáticas que descomponen datos diferentes componentes de frecuencia, para posteriormente estudiar cada componente con una resolución que se compare a su escala. Tienen ventajas en comparación con métodos tradicionales de Fourier, analizando situaciones físicas donde la señal contiene discontinuidades y picos. Las ondaletas fueron desarrolladas independientemente en el campo de las matemáticas, física cuántica, ingeniería eléctrica, y geología sísmica. Intercambios entre las diferentes disciplinas han logrado muchas nuevas aplicaciones con ondaletas como son la comprensión de imágenes, turbulencia, visión humana, radares y predicción de terremotos.

Las ondaletas son funciones que satisfacen ciertos requerimientos matemáticos y son usadas en la presentación de datos u otras funciones. En el análisis de las ondaletas, la escala que utilizamos para mirar los datos juega un papel importante.

Los algoritmos de datos a escala y resoluciones diferentes. Por ejemplo, si se mira una señal con una “ventana” (Windows) grande, se notaran características gruesas, simplemente se mira una señal pequeña, se apreciaran características pequeñas. Lo que busca el análisis con ondaletas es mirar a ambas características al mismo tiempo.

Por varias décadas, científicos buscaron funciones más apropiadas que los senos y cósenos que compromete la base de análisis de Fourier, en la aproximación de señales en pedazos o piezas.

Por definición, estas funciones no son locales (y se extienden al infinito). Por lo tanto realiza un trabajo pobre en la aproximación de picos.

Con el análisis de ondaletas, se pueden utilizar funciones de aproximación que se encuentran en dominios finitos. Las ondaletas están bien adaptadas para aproximar datos con discontinuidades en punta.

El procedimiento de análisis de ondaletas es adoptar una función prototipo ondaleta, denominada ondaleta analizada o madre. Un análisis temporal se lo realiza con una versión contraria con versión dilatada y de baja frecuencia de la misma ondaleta.

3.3 FUNCIÓN BASE

Es más fácil de explicar una función de base si nos movemos del reino análogo (funciones) al reino digital (vectores). Cada vector bidimensional (x, y) es una combinación del vector $(1,0)$ y $(0,1)$. Ambos vectores son los vectores base para (x, y) , ya que x multiplicado por $(1,0)$ es el vector $(x,0)$. La suma de ambos es (x, y) .

Los mejores vectores base tienen la propiedad importante de ser vectores perpendiculares u ortogonales unos con otros. Para $(1,0)$ y $(0,1)$ este criterio se satisface.

contenido de frecuencia, ya que los coeficientes de Fourier de la función transformada representan la contribución de cada función seno y coseno en cada frecuencia. Una transformada inversa realiza exactamente lo opuesto a lo planteado anteriormente.

3.5.1 Transformada Discreta de Fourier

Estima la transformada de Fourier de una función desde un número finito de puntos de muestra. Los puntos de muestra se supone que son como se ve la señal en cualquier otro momento.

3.5.2 Análisis de Fourier de Tiempo Corto (STFT)

Dennis Gabor (1946) adaptó la transformada de Fourier para analizar solo una pequeña sección de la señal a la vez- técnica conocida como el “windowing” de la señal. Es STFT mapea una señal en una función bidimensional de tiempo y de frecuencia.

STFT provee la información de acuerdo y en que frecuencia ocurre un evento de señal. La precisión de esta información es limitada, ya que se determina por el tamaño de la ventana.

3.5.3 Transformada Rápida de Fourier (FFT)

En la aproximación de una función por muestra, se separa uniformemente la muestra, para que una matriz de Fourier pueda ser factorizada en un producto de unas cuantas matrices dispersas, y los factores resultantes puedan ser aplicados a un vector de orden total $n \log n$ de operaciones aritméticas.

3.6 ANÁLISIS ONDALETA

Es una técnica windowing con regiones variables de tamaño. Las ondaletas permiten el uso de intervalos largos de tiempo cuando queremos información de baja frecuencia.

Este análisis no utiliza un región tiempo frecuencia, en cambio una región tiempo-escala.

Una ventaja importante es la habilidad de realizar un análisis local, analizar un área localizada de una señal más grande. Este tipo de análisis es capaz de revelar aspectos de los datos que otra técnica de análisis de señales pierde, aspectos como dirección, puntos de descomposición, discontinuidades en derivadas altas, y similitudes propias. A menudo puede comprimir o quitar en ruido de una señal sin que esta degrade a la vista.

Una ondaleta es una forma de onda de duración limitada que tiene un valor promedio a cero. Las sinusoides no tienen una duración limitada, se extienden de menos a más infinito. Y donde estas son suaves y predecibles, las ondaletas tienden a ser irregulares y asimétricas.

El análisis ondaleta de la división (descomposición) de una señal en versiones escalables y cambiadas de la ondaleta original, conocida como madre (mother).

3.6.1 Transformada Ondaleta

Para analizar estructuras de señales de distintos tamaños, es necesario utilizar átomos de tiempo-frecuencia con diferentes tiempos de apoyo³¹. La transformada ondaleta descompone señales sobre ondaletas dilatadas y traducidas. Una ondaleta es una función $\psi \in L^2(\mathbb{R})$ con un promedio cero.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(t) dt = 0$$

Se normaliza, $\|\Psi\|=1$, y centrada en el vecindario de $t=0$. Una familia de átomos de tiempo-frecuencia es obtenida escalando Ψ con s y traduciéndola mediante u .

$$\Psi_{u,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi\left(\frac{t-u}{s}\right)$$

Estos átomos se mantienen normalizados: $\|\Psi_{u,s}\|=1$. La transformada ondaleta de $f \in L^2(\mathbb{R})$ en un tiempo u y escala s es.

$$\text{Wf}(u,s) = \langle f, \Psi_{u,s} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi\left(\frac{t-u}{s}\right) dt$$

Donde $L^2(\mathbb{R})$ representa una función de energía finita $\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt < +\infty$.

3.6.2 Ondaletas Reales

Ya que Ψ tiene un promedio cero, la integral ondaleta

$$\text{Wf}(u,s) = \int_{-\infty}^{+\infty} f\left(t - \left(\frac{1}{\sqrt{s}}\right) \psi \cdot \left(\frac{t-u}{s}\right)\right) dt$$

Mide la valoración de f en un vecindario de u , el cual tiene un tamaño proporcional a s .

Una transformada real ondaleta completa mantiene una conservación de energía, mientras la ondaleta satisfaga una condición de aceptación débil, especificada por el siguiente teorema (Calderón, Grossman, Mortel).

La hipótesis del teorema es denominada la condición de aceptación (admissibility condition) de la ondaleta. Para garantizar que esta integral es finita debemos asegurarnos que $\Psi(0)=0$,

Lo que explica por que imponemos que la ondaleta tenga un promedio cero. Esta condición es casi suficiente. Si $\Psi(w)$ es diferencial continua si Ψ tiene un tiempo de descomposición suficiente³².

$$\int_{-\infty}^{+\infty} (1+|t|)|\Psi(t)|dt < +\infty.$$

3.6.3 La Transformada Ondaleta Discreta (DWT)

Dilataciones y traslaciones de la “función Madre” o “ondaleta analizada”.

$$\Phi_{(s)} = 2^{-\frac{s}{2}} \Phi(2^{-s}x-1)$$

La variable s es un entero que escala y dilata la función madre $\Phi(x)$ para generar ondaletas, como la familia de ondaletas Daubechies. El índice de escala s indica el ancho de la ondaleta, y el índice de la localización nos da su posición.

Cabe notar que las funciones madre son re-escalables, o “dilatadas” en potencias de 2, y traducidos por enteros.

Para ampliar el dominio de datos a diferentes resoluciones, la ondaleta analizada es utilizada en una ecuación escalón.

$$w(x) = \sum_{k=-1}^{N-2} (-1)^k Ck + 1 \Phi(2x + k)$$

Donde $W(x)$ es la función escalón para la función madre $\Phi(x)$, y c_k son los coeficientes ondaleta. Los coeficientes deben satisfacer restricciones lineales y cuadráticas de la forma.

$$\sum_{k=0}^{N-1} Ck = 2, \sum_{k=0}^{N-1} Ck Ck + 21 = 2\delta_{1,0}$$

Donde δ es la función delta y el índice de posición.

Las características más útiles de las ondaletas son la facilidad con la cual un científico puede escoger los coeficientes definidos para un sistema ondaleta dado para luego ser adaptados para un problema en especial.

Si se escogen escalas y posiciones basadas en las potencias de 2-llamadas “dyadic”-entonces el análisis será mucho más eficiente como preciso.

Una forma eficiente de implementar este esquema utilizando filtros fue desarrollando en 1988 por Mallat. El algoritmo de Mallat conocido como código de sub banda de 2 canales.

3.6.3.1 Filtrado de una-Etapa: Aproximaciones y detalles

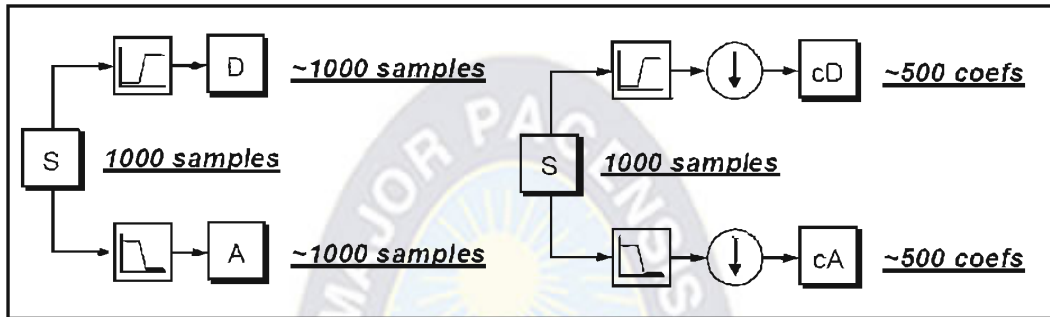
Para muchas señales, el contenido de baja frecuencia es la parte más importante. Es lo que da a la señal su entidad. El contenido de alta frecuencia, por otra parte, imparte su matriz.

Las aproximaciones son los componentes de escala alta, baja frecuencia de la señal. Los detalles son los componentes de escala baja, escala alta frecuencia.

Una señal original, S , pasa por los 2 filtros complementarios y emerge como 2 señales.

Para corregir este problema se introduce la noción de downsampling, que consiste en echar cada segundo punto de datos. Al realizar esto se crearan alias en los componentes de la señal.

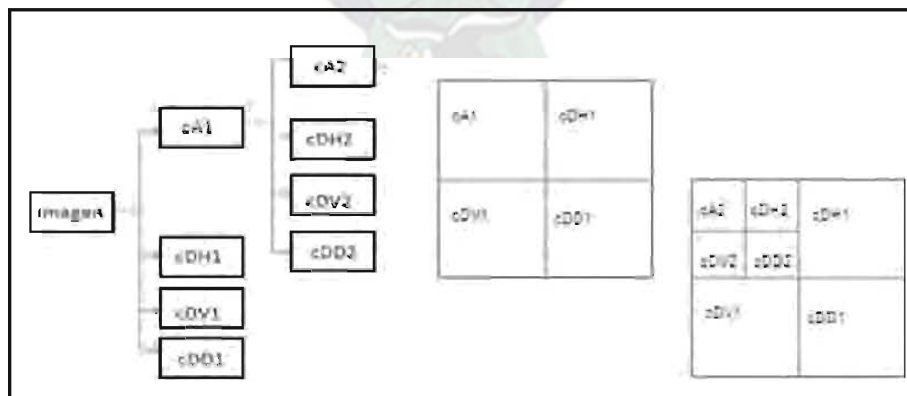
Figura 3.2 Filtrado de una etapa – downsampling de S^{15} .



3.6.3.2 Descomposición de Niveles Múltiples

El proceso de descomposición puede ser iterado, con las aproximaciones descompuestas a la vez, para que una señal se divida en varias componentes de baja solución. Esto recibe el nombre de árbol de descomposición ondaleta. Este proceso se lo realiza hasta que los pedales individuales sean muestras simples o píxeles.

Figura 3.3 Descomposición de S en varios niveles¹⁶.



¹⁵ 2005 - <http://unidadsimd.obolog.com/descripcion-articulo-unidad-simd-reconfigurables-48906>

¹⁶ Iden 17

3.6.3.3 Reconstrucción Ondaleta

La manipulación matemática para la reconstrucción o síntesis se llama transformada ondaleta discreta inversa IDWT. Cuando se realiza filtrado y un downsampling, en el análisis, el proceso de reconstrucción consiste de upsampling y filtrado. Upsampling es el proceso de alargar un componente de señal insertando ceros entre muestras.

3.6.3.4 Filtros De Reconstrucción

La elección de filtro es crucial para lograr una reconstrucción perfecta de la señal original y eliminar los alias creados durante el downsampling en la descomposición.

3.6.3.4.1 Reconstruyendo Aproximaciones y Detalles

Es posible reconstruir aproximaciones y detalles utilizando los coeficientes de sus vectores. Para reconstruir la aproximación de primer nivel A_1 , pasamos al coeficiente de vector cA_1 por el mismo proceso de reconstrucción de la señal original. En vez de combinarla con el detalle de primer nivel cD_1 , entonces el final obtenemos la señal de la siguiente forma $A_1 + D_1 = S$.

3 TRATAMIENTO DE IMÁGENES

4.1 PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE IMÁGENES DIGITALES

El procesamiento y análisis de imágenes digitales nace en el momento en que se dispone de recursos tecnológicos para captar y manipular grandes cantidades de información espacial en forma de matrices de valores. A mediados de los años 50, parecen las primeras computadoras digitales y se empiezan a desarrollar técnicas para el procesamiento y la transmisión de imágenes por satélite.

Paralelamente y como consecuencias de los resultados obtenidos sobre las imágenes satelitales, varias organizaciones y organismos llevaron a cabo grandes proyectos de investigación para el desarrollo en técnicas relativas tanto de al estudios de los mecanismos de la visión como al tratamiento y análisis de imágenes digitales.

De esta forma, aparece los conceptos de técnicas para el procesamiento de imágenes digitales como el conjunto de todas aquellas técnicas asociadas ala captura, codificación y representación de las imágenes que no introducen sobre las mismas ningún tipo de interpretación , y técnicas para análisis de imágenes digitales, técnicas de visión por computador o visión mediante robot como acepciones que se refieren a aquellas técnicas que tratan de extraer la información presente en la imagen con el único fin de hacer una interpretación de la escena representada por dicha imagen.

Durante los años ochenta las técnicas de análisis de imágenes se desarrollan de forma vertiginosa como consecuencia de la gran cantidad de aplicaciones que aparecen y la madurez en el diseño de arquitecturas de computadores.

Las mayores contribuciones se han concentrado en el desarrollo de algoritmos para la detección de características como: bordes, líneas, texturas, que ayudan a definir que se denomine el esbozo primitivo, así como el desarrollo de técnicas globales de segmentación.

Posteriormente, se inicia un creciente interés hacia el desarrollo de nuevas teorías algoritmos para la interpretación de la imagen 2D como proyecciones de escenas 3D. En particular cabe mencionar los problemas asociados a la reconstrucción de escenas a partir de distintas proyecciones, el estudio de flujo óptico y sus múltiples aplicaciones a la caracterización de superficies a partir del estudio del movimiento, del estudio de las formas a partir de las sombras, las técnicas de representación y búsqueda de objetos, el estudio de la orientación a partir de las texturas.

Este interés por el estudio de problemas de mayor complejidad ha ido paralelo al desarrollo de nuevas generaciones de computadoras que permiten la experimentación con imágenes cada vez más complejas en su interpretación.

El concepto de la arquitectura a paralela SIMD (Single Instruction Multiple Data) ha dado lugar a la más usada en este tipo de aplicaciones. Los conceptos de procesadores con pipeline y procesadores vectoriales han sido también de amplio uso.

Aunque en sus comienzos estas arquitecturas especificadas fueron caras y con poco soporte de software básico, en la actualidad pueden considerarse como opciones razonables en los sistemas de procesamiento de imágenes.

4.2 MÉTODOS DE MEJORA Y REALCE DE LA IMAGEN

Existen técnicas que se centran en la eliminación de ruido en la imagen, realce de bordes, elección de los mejores valores de brillo y contraste, eliminación de los efectos de distorsión introducidos por el mecanismo de captura de la imagen, etc.

4.2.1 Métodos del Dominio Espacial

Los métodos de dominio espacial tienen como base usar los valores de nivel de gris de los píxeles para conseguir mejorar la imagen. Desde un punto de vista matemático lo que se quiere notar es el tipo de transformaciones T que aplicaciones a la imagen $f(x,y)$ nos da otra imagen $g(x,y)$ como mejores propiedades visuales.

$$G(x,y) = T(f(x,y))$$

Al expresar que $g(x,y)$ depende de $f(x,y)$ a través de T se quiere establecer que el cálculo del valor de g en punto (x,y) depende principio de todos los valores de $f(x,y)$.

En realidad y usando la hipótesis de que el valor en un punto de imagen tan solo esta relacionado con unos pocos píxeles de los que le rodean, tan solo se consideran transformaciones T que están definidas sobre el píxel dado (x,y) , los píxeles es el entorno 3×3 del píxel (x,y) o como mucho a los píxeles en el entorno (5×5) de dicho píxel.

Por entorno (3×3) de un píxel se consideran los píxeles mas inmediatamente cerca de dicho píxel, es decir lo píxeles marcados con un asterisco (*).

Las mayores contribuciones se has centrado en el desarrollo de algoritmos para la detección de características como bordes, líneas, texturas , se ayudan a definir lo que se denominó esbozo primitivo, así como en el desarrollo de técnicas globales de segmentación de una imagen en regiones.

Posteriormente, se inicia un creciente interés hacia del desarrollo de nuevas teorías y algoritmos para la interpretación de la imagen 2D como proyecciones de escenas 3D. en particular cabe mencionar los problemas asociados a la reconstrucción de escenas a partir de distintas proyecciones, el estudio del flujo óptico y sus múltiples aplicaciones a

la caracterización de superficies 3D la caracterización de superficies a partir del estudio del movimiento., el estudio de las formas a partir de las sombras, las técnicas de representación y búsqueda de objetos, el estudio de la orientación a partir de texturas este interés por el estudio de problemas de mayor complejidad ha ido paralelo al desarrollo de nuevas generaciones de computadoras que permiten la experimentación con imágenes cada vez mas complejas en su interpretación.

El concepto de arquitectura paralela SIMD (Single Introducción Múltiple Data) ha sido sin lugar la duda más usada en este tipo de aplicaciones. Los conceptos de procesadores pepeline y procesadores vectoriales han sido también de amplio uso. Aunque en sus comienzos estas arquitecturas específicas fueron caras y con poco de software básico, en la actualidad pueden considerarse como opciones razonables en los sistemas de procesamiento de imágenes.

Figura 4.1 *Conformación en forma de un punto en pantalla o píxel.*

*	*	*
*	(x,y)	*
*	*	*

4.2.1.1 Resta de imágenes

El procedimiento de mejorar una imagen dada a través de la diferencia con otra imagen en unas condiciones dadas suele ser de mucha utilidad cuando el proceso de captura de la imagen no puede garantizar que todas las imágenes de microcopia óptica, las imágenes astronómicas, etc. Este procedimiento de resta de una imagen que puede considerarse

como una imagen de fondo de la observación corrige de las posibles variaciones que puede ocurrir en el transcurso de las observaciones.

Otro valor añadido que tiene estas operaciones de resta es la supresión de posibles artefactos que pueden aparecer en una imagen como consecuencia de errores o desperfectos en el aparato de captura.

En el caso de aplicaciones médicas esta técnica puede usarse para resaltar aquellas zonas por las que va pasando una determinada sustancia ingerida por el paciente. La definición matemática de la resta de dos imágenes es otra imagen definir por:

$$g(x,y) = f(x,y) - h(x,y)$$

4.2.1.2 Métodos Basados en Píxeles

En esta sub-sección analizaremos aquellas transformaciones simples que con base en un solo píxel permiten obtener mejoras en la visualización de la imagen.

4.2.1.2.1 Imágenes de negativos

Dadas las especiales características no-lineales del sistema visual humano a veces es interesante calcular la imagen invertida de una imagen dada ya que aspectos que resultaban difíciles de percibir pueden estar más claros en la imagen invertida. La expresión que calcula la inversa de una imagen de niveles de grises es la siguiente

$$g(x, y) = 255 - f(x, y)$$

Casos típicos de imágenes de negativos son las radiografías.

4.2.1.2.2 Mejora del contraste

Diversos factores pueden influir en la ausencia de contraste en una imagen, los mas relevantes pueden ser ausencia de iluminación, sensores con un rango de valores de iluminación bajo o cualquier otro factor equivalente. La idea subyace en este tipo de transformación es modificar los valores de los píxeles de manera que se produzca un aumento en el rango dinámico de los valores de niveles de gris de la imagen. Esto quiere decir que en términos generales debemos de elegir dos valores de nivel de gris uno por la parte alta de los blancos r_1 , y otro por la parte baja de los negros s_1 , de manera que los píxeles con valor igual o superior a r_1 se transformen en más blancos y aquellos con valor igual o inferior a s_1 se transformen en más oscuros, es decir:

$$\text{Si } r_2 = T(r_1) \text{ entonces } r_2 > r_1, \text{ y si } s_2 = T(s_1), s_2 < s_1,$$

Y los píxeles con valores entre r_1 y s_1 se transformen de acuerdo a una transformación lineal a los valores entre r_2 y s_2 . Ya que s_1 es más grande que s_2 y r_1 es más pequeño que r_2 , es evidente que hemos aumentado el rango dinámico de los valores centrales del histograma. Una forma de expresar matemáticamente esta transformación es

$$g(x, y) = \begin{cases} a \cdot f(x, y) & \text{para } f(x, y) < s_1 & \text{siendo } a < 1/2 \\ b \cdot f(x, y) & \text{para } f(x, y) > r_1 & \text{siendo } b < 1/2 \\ c \cdot f(x, y) & \text{para } s_1 < f(x, y) < r_1 & \text{siendo } c > 1/2 \end{cases}$$

4.2.1.2.3 Compresión del rango dinámico

Existen detectores cuyo rango dinámico excede con creces las posibilidades de representación de las pantallas de ordenador. Ejemplos de estos casos son por ejemplo los sensores usados en aplicaciones astronómicas cuyo rango dinámico puede ser del

orden los miles (1000 - 30000) o en aplicaciones de tipo médico donde la película de las radiografías y angiografías tienen un rango dinámico de más de 1000 niveles de gris distintos. En estos casos es necesario comprimir el rango dinámico de los valores de nivel de gris con objeto de poder representar las imágenes en la tecnología actual que salvo contadas excepciones tan solo puede representar **256** niveles de gris.

La transformación más adecuada para estos casos es usar una función monótona que permite comprimir los valores, ejemplos de estas transformaciones pueden ser la raíz cuadrada o la logarítmica sobre los niveles de gris.

Una expresión matemática genérica de esta transformación para el caso de rangos muy grandes es

$$s = c \cdot \log(1 + |r|)$$

Siendo c una constante de escala. Este mismo de transformación ya se encontró cuando estudiamos la representación del espectro de Fourier.

4.2.1.2.4 Realce de rangos de intensidad

A veces estamos interesados en resaltar determinados rangos de niveles de gris a costa de ocultar el resto de valores en la imagen. Este interés puede venir de resaltar una característica de la imagen que conocemos está asociada a un rango concreto de niveles de gris.

4.2.1.3 Métodos Basados En El Histograma

El histograma de una imagen de niveles de gris se define como una gráfica que a cada valor posible de nivel de gris entre $[0, 255]$ le asigna la proporción de píxeles en la

imagen con dicho valor. Es decir si la imagen tiene N píxeles en total y hay p_r con valor r , el valor del histograma en r será $h(r) = p_r / N$.

Los métodos de realce basados en el histograma tienen como fin modificar la masa de puntos asignados a los distintos valores de niveles de gris de forma que la imagen mejore en su visualización. Es evidente que para conseguir esto de una forma coherente deberíamos definir lo que se entiende por el **histograma de una imagen con buenas cualidades visuales**. Si bien esta definición no existe como tal, si existe la experiencia de que cuando el rango de valores del histograma es el máximo posible y cuando la masa de puntos esta repartida entre los posibles valores $[0, 255]$ de forma que el histograma se asemeje a la forma de una campana entonces el sistema visual humano consigue una máxima respuesta en su apreciación de la imagen.

A continuación vamos a estudiar distintos métodos que nos permiten transformar la forma del histograma de una imagen.

4.2.1.3.1 Ecuación del Histograma

Supongamos que la transformación que estamos estudiando es $s = T(r)$ siendo r un valor de nivel de gris en la imagen original y s su valor en la imagen ecualizada. Entonces el primer objetivo será que el rango dinámico de los valores de s sea al máximo posible, lo que en condiciones de pantallas normales significa $[0, 255]$.

Para que la función T además de conseguir el objetivo de alargar el rango dinámico de los valores de niveles de gris no introduzca perturbaciones sobre la imagen debemos imponer algunas condiciones sobre dicha función. Por ahora impondremos tan solo dos condiciones:

- En el intervalo de valores de r , $T(r)$ debe ser una función monótona creciente.

- $0 \leq T(r) \leq 255$, para $0 \leq r \leq 255$

La primera condición preserva el orden en los píxeles desde el negro al blanco y la segunda condición garantiza que la función T conserva sus valores dentro del rango permitido.

Existen infinitas curvas que verifican estas condiciones, de hecho cualquier curva plana que una el origen de coordenadas con el punto $[255, 255]$ de manera que no tenga ni máximos ni mínimos y cuyo grafo se mantenga dentro del cuadrado definido por los puntos $[0, 0]$, $[255, 0]$, $[0, 255]$ y $[255, 255]$ verifica las condiciones establecidas.

Para seleccionar una curva con un comportamiento adecuado a nuestros deseos debemos y podemos considerar que estas funciones son distribuciones acumuladas de probabilidad, aunque para ello ahora supongamos que el rango de definición de los valores r y s están en $[0, 1]$ en lugar de $[0, 255]$. Esta hipótesis no resta ninguna generalidad al análisis.

Un resultado elemental de la teoría de la probabilidad establece que si tenemos una variable aleatoria R , que en nuestro caso sería la función que asigna valor de nivel de gris a cada píxel, **la transformación de dicha variable aleatoria por la función acumulada de probabilidad de dicha variable aleatoria, $F_R(R)$, define una distribución uniforme de valores.** Es decir, que si consideramos $T = F_R$, el conjunto de valores s resultante de la transformación $s = T(r)$ sigue una distribución uniforme.

Ya que una distribución uniforme supone que todos los puntos tienen la misma masa de probabilidad, parece de interés que usemos esta función T como medio de redistribuir la masa de puntos asignada a los distintos niveles de gris. En cada caso particular debemos de construir la función T a partir de la imagen de la siguiente manera:

$$T(r_k) = 255 \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{N}$$

Para $k = 0, 1, \dots, 255$. Donde N representa el número total de píxeles en la imagen, y n_j el número de píxeles con nivel de gris j .

Una generalización de la técnica anterior nos permitirá transformar una imagen cuyo histograma sea una distribución uniforme, a otra imagen cuya forma de histograma este definido por nosotros. Como ya mencionamos al principio de esta lección puede ser de interés transformar el histograma de la imagen original de manera que la imagen resultante tenga un histograma definido por una función en forma de campana (gaussiana).

Para llevar a cabo esta transformación habrá que hacer uso de nuevo del resultado antes mencionado de la teoría de la probabilidad. Ahora tendremos que hacer dos transformaciones para conseguir el objetivo,

- Transformar la imagen original a una imagen con un histograma definido por la distribución uniforme: $s = T(r)$ siendo T la función definida antes.

- Calcular la función inversa del histograma acumulado que queremos que tenga la imagen final: G^{-1} . Si queremos una imagen con un histograma definido por una gaussiana tendremos que calcular la función inversa de la función acumulada gaussiana.

- Transformar de nuevo la imagen haciendo uso de la expresión $z = G^{-1}(s)$

La primera transformación nos permite pasar de una imagen con unas características dadas por la forma de su histograma a una imagen con un histograma que aproxima una distribución uniforme, y la segunda transformación nos permite pasar de dicha imagen "neutra" a una nueva imagen cuyo histograma tiene la forma dada por la función **G**. En resumen, hemos calculado una nueva imagen a partir de la original usando la

$$z = G^{-1}[T(r)]$$

transformación

En la práctica la función puede ser calculada de diversas maneras. Si conocemos su expresión analítica entonces tan solo tenemos que calcular su valor, pero si no es así podemos usar una versión digitalizada de la gráfica de función **G** (histograma acumulado) y a partir de dicha versión digitalizada aproximar el valor que estamos calculando.

Si observamos como son las dos transformaciones antes comentadas podemos ver que la primera transforma valores del eje **x** en valores del eje **y** a través de **T**, y la segunda transforma los valores del eje **y** en valores del eje **x** a través de **G**.

4.2.1.3.2 Mejora Local

Todos los métodos discutidos hasta ahora son métodos que podemos clasificar de globales ya que su repercusión es sobre todos los píxeles de la imagen. Sin embargo existen casos en que la distribución de niveles de gris en la imagen es tal que determinadas transformaciones de tipo global pueden ser adecuadas para unas zonas de la imagen pero no adecuadas para otra. En estos casos es posible que se utilicen las técnicas antes estudiadas pero a nivel de regiones concretas de la imagen, una a una, y no a nivel global de la misma.

La forma más común de llevar a cabo un procedimiento de mejora local, es la de tomar un rectángulo de un tamaño determinado e ir recorriendo la imagen con dicho rectángulo, centrándolo cada vez sobre un píxel.

Entonces actuaremos sobre los píxeles dentro del rectángulo usando los métodos antes descritos y asignando valor al píxel del centro usando como única información los píxeles encerrados en el rectángulo.

En lugar de usar histogramas, la mejora local puede basarse en otras propiedades de la imagen. Estas propiedades pueden ser la media de los niveles de gris y la desviación estándar de los mismos. Estas medidas tienen sentido si pensamos que la media es una medida del brillo de imagen y la desviación típica una medida del contraste de la misma. Una típica transformación basada en estos conceptos es la que transforma una imagen $f(x, y)$ en otra $g(x, y)$ de la siguiente manera

$$g(x, y) = k \cdot \frac{[f(x, y) - m(x, y)]}{\sigma(x, y)} + m(x, y)$$

Donde k es una constante de valor menor o igual al valor medio global de la imagen, $m(x, y)$ el valor medio en el entorno del píxel (x, y) , y $\sigma(x, y)$ la desviación típica en dicho entorno. De esta expresión se deduce que áreas con poco contraste, es decir $\sigma(x, y)$ pequeño recibirán una mayor contribución que áreas con $\sigma(x, y)$ grande.

4.2.1.4 Promedio de Imágenes

La técnica de promediar imágenes con ruido para tener una imagen con menos ruido no es otra cosa que la aplicación al caso de las imágenes de conocidos resultados de la estadística.

Sabemos de la estadística que si tenemos n observaciones x_1, x_2, \dots, x_n extraídas de una distribución con media μ y desviación típica σ , entonces la media de dichos datos $\sum_{i=1}^n x_i/n$ sigue una distribución con media, la media de la población μ , y desviación típica dada por $\sigma_{\bar{x}} = \sigma/\sqrt{n}$.

Aplicando este resultado al caso de imágenes vemos que si podemos obtener una imagen como promedio de un conjunto de imágenes tomadas en las mismas condiciones entonces el nivel de error en los valores de los píxeles decrecerá con el tamaño de la muestra en el factor \sqrt{n} . Un punto importante a tener en cuenta es que las imágenes deben estar todas centradas sobre la misma región de una forma muy escrupulosa, ya que de otra manera el procedimiento de promedio conduciría a emborronamientos más que a mejora y realce.

Por último comentaremos que este procedimiento de promedio es el que usan muchas tarjetas de adquisición de imágenes fijas, ya que integran la señal durante un corto periodo de tiempo.

4.2.2 Método en el dominio de frecuencias

El fundamento de los métodos del dominio de frecuencias es el uso del teorema de convolución. La hipótesis de partida es que la imagen que queremos mejorar fruto del mecanismo de captación de la imagen a sufrido una convolución con una determinada función definida por las lentes del aparato de medida, el medio en que se tomara la imagen o cualquier otro efecto y que además esta contaminada por ruido aleatorio.

La ecuación que define la imagen que resulta del anterior proceso es la siguiente,

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) + n(x, y)$$

Siendo $f(x, y)$ la imagen real, $h(x, y)$ la función de convolución que supondremos que es lineal e invariante respecto de la posición y $n(x, y)$ la función de ruido, nuestro objetivo es calcular $f(x, y)$ a partir de la anterior ecuación.

Si calculamos la transformada fourier de esta ecuación obtenemos

$$G(u, v) = H(u, v)F(u, v) + N(u, v)$$

Donde cada letra mayúscula representa a la función TF de la correspondiente función con letra minúscula. A la función $H(u, v)$ en la teoría de sistemas lineales se le denomina **función de transferencia del sistema**, en óptica se llama la función de transferencia óptica. Esta función caracteriza las propiedades del medio en que se transmite la señal.

Para poner de manifiesto de forma aun más clara el papel que juega la función $H(u, v)$ supongamos que la función $f(x, y) = 1$ para un valor dado de (x, y) y cero para el resto. Entonces en ausencia de ruido externo tendríamos que $G(u, v) = H(u, v)$ ya que $F(u, v) = 1$ lo que nos indica que la respuesta del sistema de captación a una imagen con un solo punto distinto de cero nos dará una imagen que corresponde a la perturbación introducida por el sistema de captación. A la función $h(x, y)$ definida por la transformada Fourier de la función de transferencia se le denomina **función impulso respuesta del sistema**. En el caso de sistemas ópticos se le denomina **función de emborronamiento o PFS** (point spread function).

El procedimiento más directo para obtener una imagen realzada y mejorada sería calcular $F(u, v)$ a partir de la anterior expresión. Una vez hecho calcularíamos la TF inversa de $H(u, v)$ y habríamos calculado la imagen original. Es decir:

$$f(x, y) = \mathcal{F}^{-1}\{[G(u, v) - N(u, v)]/H(u, v)\}$$

Este razonamiento matemático aunque realmente simple y atractivo presenta serios problemas de inestabilidad en el cálculo de la solución cálculo como consecuencia del ruido de la imagen y de los errores de redondeo y truncación en los cálculos se obtienen. Para hacernos una idea diremos que incluso en los casos en que no existe ruido alguno en la imagen, $N(u, v) = 0$, un error tan pequeño como del orden de 10^{-6} debido a los truncamientos y redondeos de los cálculos produce una alta inestabilidad en la solución final. A los problemas matemáticos con este comportamiento se les denomina **problemas mal definidos**. Sin embargo haciendo ciertas modificaciones en la ecuación anterior es posible considerar esta aproximación como válida. Los **modelos de restauración de imágenes** digitales son los encargados de resolver estos casos más complejos.

3 RECONOCIMIENTO DEL IRIS

5.1 INTRODUCCION

El reconocimiento del iris esta basado en cualidades visibles del iris. La primera característica visible es su estructura formada por fibras (trabercular structure), un tejido que le da la apariencia de dividir el iris en forma radial.

El iris está situado detrás de la córnea y el humor acuoso, todavía visible externamente a una distancia confortable ya que estos medios ópticos frente al iris son transparentes.

Está compuesto de tejido elástico conectivo, una red trabercular que adquiere una morfogénesis prenatal completa durante el 8vo mes de gestación. Ésta consiste de ligamentos divididos en paralelo, parecidos a los dientes de un cepillo, que se adhieren a una red envuelta revelando estrías, procesos ciliares, folículos, anillos, arrugas, una corona, a veces pecas, y otras características.

Durante el primer año de vida una tela de células cromatófóricas usualmente cambian el color del iris, pero la evidencia clínica disponible indica que el patrón trabercular por sí mismo permanece estable a lo largo de su existencia¹⁷.

La tecnología de reconocimiento del iris convierte estas características visibles en un código de 256 a 512 bytes (2048 - 4096 bits), que es almacenado en una base de datos para una verificación posterior. La densidad de información que proporciona el iris es tal que cada iris tiene alrededor de 266 "manchas" o puntos únicos, opuesto al resto de las

¹⁷ Adler, Referencia Clínica, 1965

tecnologías biométricas. Es por esta razón que el iris es considerado como la mejor alternativa para la autenticación de personas.

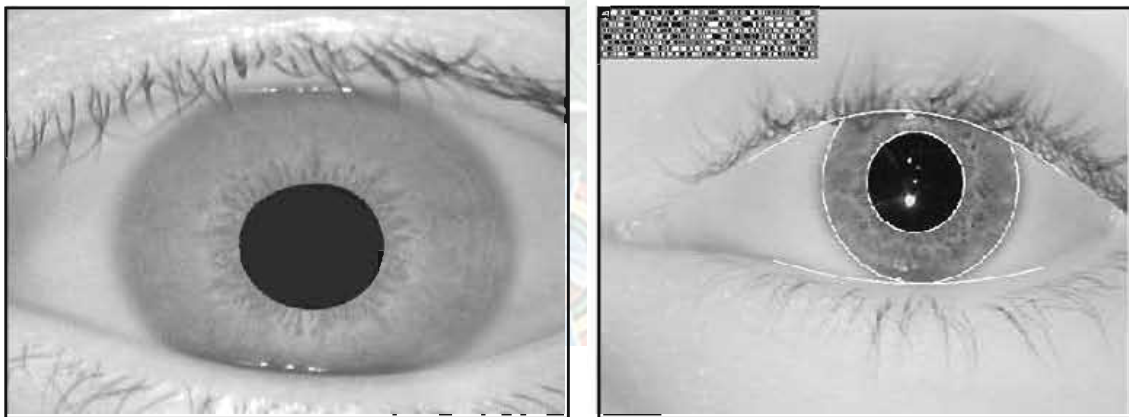
Un sistema general de reconocimiento de iris está compuesto por cuatro pasos:

Primeramente, una imagen conteniendo el ojo del usuario es capturada por el sistema. Seguidamente, la imagen es pre-procesada para normalizar la escala e iluminación del iris y localizar el iris en la imagen. Después, las características representando los patrones del iris son extraídas.

Finalmente, la toma de decisión se basa en términos de igualdad de resultados o emparejamiento (matching).

Por lo tanto, un sistema de reconocimiento del iris se resume en los siguientes cuatro puntos: adquisición de la imagen del iris, pre-procesamiento de la imagen, extracción de características, y diseño de clasificación.

Figura 5.1 Imagen de un ojo donde el Iris fue separado del resto de la imagen.



Fuente: [JOHN DAUGMAN - 04]

5.1.1 Adquisición de la imagen del iris

Un paso importante y difícil en un sistema de reconocimiento del iris es la adquisición de una imagen de alta calidad permaneciendo no-invasivo al operador. Debido a que el iris es pequeño en tamaño (generalmente alrededor de 1 cm. de diámetro) y oscuro en color (especialmente en personas asiáticas), es bastante difícil conseguir buenas imágenes para el análisis utilizando una cámara estándar CCD con iluminación común.

Como se había indicado anteriormente, este proyecto no contemplará la captura de imágenes del iris y tampoco se enfocará en los tipos de sensores biométricos disponibles.

5.1.2 Pre-procesamiento

Antes de poder realizar un análisis de la imagen conteniendo el iris, un tratamiento de imágenes es necesario, debido a que la imagen adquirida siempre contiene no solamente las partes "útiles" del iris pero también algunas partes "irrelevantes" como son las pestañas, la pupila y otras.

Bajo algunas condiciones, el brillo en la imagen no está uniformemente distribuido. Adicionalmente, las diferentes distancias de ojo-a-cámara pueden resultar en diferentes tamaños en imágenes del mismo ojo. Con el propósito de análisis, la imagen original necesita ser pre-procesada.

Por razones de velocidad y eficiencia del modelo se trabajará con imágenes en escala de grises y con un formato de ocho bits. Es cierto que las imágenes de mayor amplitud en bits tienen una mejor resolución, pero el trabajar con una cantidad mayor de colores en la imagen también supone un tiempo más prolongado de procesamiento y de obtención de resultados.

El pre-procesamiento está compuesto por tres pasos:

5.1.3 Localización del Iris

Tanto el borde interno como el borde externo de un iris típico puede ser representado mediante círculos; pero ambos círculos usualmente son no concéntricos. Comparada con otras partes del ojo, la pupila es mucho más oscura. Se detecta el borde interno entre la pupila y el iris por medio de un umbral.

El borde externo del iris es más complicado de detectar debido al bajo contraste entre los dos lados del borde. Se detecta el borde externo maximizando cambios de la suma del perímetro-normalizado en niveles de gris alrededor del círculo.

Para detectar estos bordes circulares, Daugman define un operador integro-diferencial bastante efectivo en esta tarea:

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right|$$

Donde $t(x,y)$ es una imagen conteniendo un ojo. El operador busca sobre el dominio (x,y) de la imagen por el valor máximo de la derivada parcial con relación al radio r , de la integral normalizada del contorno de $I(x,y)$ a lo largo de un arco circular de de radio r y coordenadas de origen (X_0, Y_0) .

El símbolo $*$ denota una convolución y $G_{\sigma}(r)$ es una función de suavización de ruido, una Gaussiana de escala a . El operador completo funciona, de hecho, como un detector circular de bordes, borroso por la escala a , que busca iterativamente un máximo de la derivada de la integral de contorno con radios crecientes en escalas sucesivas cada vez más finas de análisis, sobre los tres parámetros espaciales de coordenada origen y el radio (x_0, y_0, r) , definiendo un camino a través del contorno de integración.

Otro detalle que se debe considerar es el hecho de que el centro de la pupila no siempre coincidirá con el centro del iris.

En la mayoría de los casos, el centro de la pupila está debajo del centro del iris pudiendo divergir hasta por un milímetro de distancia. Por esta razón, los parámetros de la pupila y del iris deberán ser calculados de forma separada.

Para la localización del centro de la pupila, se realiza una conversión de colores a blanco y negro.

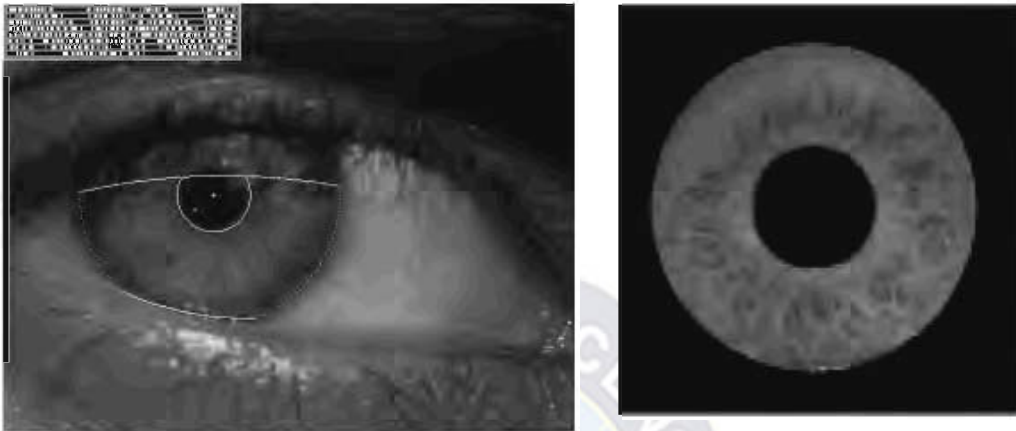
Los píxeles negros serán aquellos que se encuentren por debajo de un límite establecido, generalmente los colores más oscuros en una imagen de escala de grises tienen valores entre 0 y 55; el resto de píxeles tomarán el valor de 255 (blanco).

Figura 5.2 Algoritmo de conversión a blanco y negro.

```
For I = 1:1:num_filas
  for j = 1:1:num_columnas
    color = im(i,j);
    if color <= 55
      im(i, j) = 0;
      im2(i,j) = im(i,j);
    else
      im(i,j) = 255;
      im2 (i, j) = irn(i, j );
    end
  end
end
End
```

Fuente [Elaboración propia]

Figura 5.3 Localización de los límites interno y externo del ojo.



Fuente: [JOHN DAUGMAN - 04]

Una vez obtenido el área que define la pupila, se localiza el centro de ésta realizando un barrido tanto horizontal como vertical para encontrar el radio que define la circunferencia de la pupila (borde interno del iris).

El momento en que se encuentra un cambio de color de negro a blanco se toma en cuenta ese valor y se evalúa la distancia hacia el centro.

De la misma forma, partiendo de un punto del borde de la pupila, se hace un barrido horizontal y vertical para encontrar el borde externo del iris. Esto ocurre al producirse un cambio de color de blanco a negro (opuesto al anterior).

Teniendo ambas distancias disponibles, el modelo estará listo para encontrar los puntos característicos dentro del iris.

5.1.4 Normalización del Iris

Para que un modelo de reconocimiento de patrones sea robusto, éste debe ser invariante a los cambios de tamaño, posición y orientación de los patrones.

En el caso del reconocimiento del iris, esto significa que la codificación no debe variar con respecto: al tamaño del iris en una imagen, al tamaño de la pupila, a la posición del iris en la imagen y a la orientación del iris en la imagen.

El tamaño de la pupila puede cambiar debido a la variación de la iluminación y del hipus, y las deformaciones elásticas asociadas en la textura del iris pueden interferir con los resultados del emparejamiento (matching) de patrones.

Con el propósito de un análisis de textura exacto, es necesario compensar esta deformación. Una vez que ambos límites, interno y externo, del iris han sido detectados, es sencillo mapear el anillo del iris a un bloque rectangular de textura de un tamaño fijo.

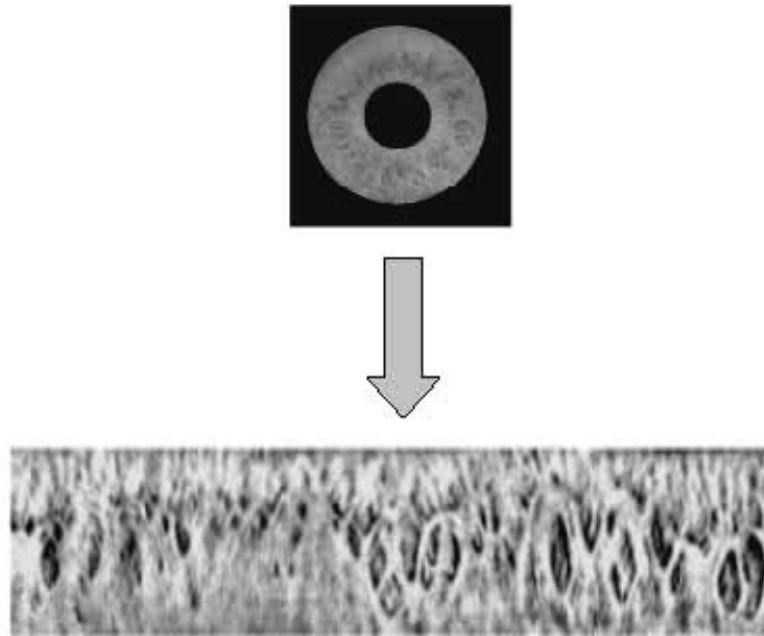
Para resolver el problema de contracciones y dilataciones de la pupila por cambios de luz o iluminación, se realizará el barrido de los puntos de interés dentro del iris partiendo desde el borde externo del mismo hacia el centro sin tomar en cuenta los valores próximos al límite interno (borde de la pupila).

De esta forma, el modelo no deberá preocuparse por deformaciones pupilares.

5.1.4.1 Transformada de referencia Cartesiana a Polar

La localización del iris en la imagen delinea la zona circular de análisis del iris entre sus límites interno y externo. La transformada de referencia cartesiana a polar provee representaciones rectangulares equivalentes a la zona de Interés como se muestra en la figura 5.4.

Figura 5.4 Representación rectangular del Iris



Fuente: [JOHN DAUGMAN - 04]

De esta forma se compensa el estiramiento de la textura del iris mientras la pupila cambia de tamaño, y desenvolvemos la información de frecuencia contenida en la textura circular para facilitar la siguiente extracción de características.

Además, esta nueva forma de representación del iris termina con la no excentricidad del iris y la pupila. El parámetro Θ ($\Theta \in [0; 2\pi]$) y el parámetro adimensional p ($p \in [0; 1]$) describen el sistema de coordenadas polares. La siguiente ecuación implementa $I(x(p, \Theta), y(p, \Theta)) \rightarrow I(\Theta, p)$

$$\begin{cases} x(p, \theta) = (1-p) * x_p(\theta) + p * x_1(\theta) \\ y(p, \theta) = (1-p) * y_p(\theta) + p * y_1(\theta) \end{cases}$$

Con:

$$\begin{cases} x_p(\theta) = x_{p0}(\theta) + r_p * \cos(\theta) \\ y_p(\theta) = y_{p0}(\theta) + r_p * \sin(\theta) \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_t(\theta) = x_0(\theta) + r_1 * \cos(\theta) \\ y_t(\theta) = y_0(\theta) + r_1 * \sin(\theta) \end{cases}$$

Donde r_p y n son los radios de la pupila y del iris respectivamente, mientras que $(x_p(\theta), y_p(\theta))$ y $(x_t(\theta), y_t(\theta))$ son las coordenadas de los límites interno y externo en la dirección θ .

Figura 5.5 Algoritmo para calcular Coordenadas Cartesianas a partir de Coordenadas polares.

```
function [x, y] = coordca3 (centro_x, centro_y, r, t)
tx = 0;
ty = 0;

tx = r * cos(t);
ty = - r * sin (t);
tx = round (tx) + centro_x;
ty = round (ty) + centro_y;

x = tx;
y = ty;
```

Fuente [Elaboración propia]

5.1.4.2 Realce de la Imagen

La imagen original del iris tiene bajo contraste y puede tener una iluminación no uniforme causada por la posición de la fuente de luz. Esto puede tener una influencia en el resultado del análisis de la textura. Por esta razón se realiza un realce de la imagen del iris y se reduce el efecto de no uniformidad en la iluminación por medio de la ecualización de histogramas locales.

Figura 5.6 Pre-procesamiento de la imagen.



Fuente: [JOHN DAUGMAN - 04]

5.2 EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS DEL IRIS

5.2.1 Configuración de los bits de la codificación

Una codificación del iris se realiza a través de la aplicación de la ondaleta Gabor bidimensional para valores complejos, propuesta por Daugman. Las características del iris se localizan mediante el sistema de coordenadas polares.

Un análisis mediante ondaletas permite separar y manipular tipos de patrones específicos escondidos en grandes volúmenes de datos, de la misma forma que los ojos pueden identificar árboles en un bosque.

Las imágenes analizadas son transformadas usando un conjunto de escala-múltiple, orientación-múltiple de filtros Gabor. La amplitud de los valores complejos de los

coeficientes de la transformada Gabor son combinados en un solo vector conteniendo valores complejos.

La transformada Gabor fue desarrollada para proveer una representación de señales de tiempo-frecuencia. Gabor asume que partes de la señal son casi-estacionarias (no regulares), lo que significa que las frecuencias diferentes son locales y no globales. Ésta transformada divide la señal moviéndose a lo largo de ella y proyectando ventanas del mismo tamaño de ondas seno y coseno de diferentes frecuencias.

La representación mejora al trabajar con ventanas angostas para componentes de alta frecuencia y con ventanas amplias para componentes de baja frecuencia.

Matemáticamente, una función Gabor 2D se define como la multiplicación entre una Gaussiana 2D (pudiendo ser circular o elíptica) con una onda seno (parte-impar) y una onda coseno (parte-par).

Juntas, forman un par de ondaletas Gabor complejas. La función Gabor bidimensional es por tanto un producto de una Gaussiana elíptica y una onda del plano complejo.

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma\beta} e^{-\pi \frac{(x-x_0)^2}{\sigma^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\sigma^2}} e^{i(\xi_0 x + \nu_0 y)}$$

Donde (x_0, y_0) es el centro del campo receptor en el dominio espacial y (ξ_0, ν_0) es la frecuencia espacial óptima del filtro en el dominio de frecuencia, σ^2 y β^2 son las desviaciones estándares de la Gaussiana elíptica a lo largo de x e y .

La ondaleta Gabor 2D, mediante filtros, ofrece la mejor resolución de espacio-frecuencia en el caso bidimensional. Esta se utiliza para extraer la información de textura de la imagen del iris. Matemáticamente, el valor de esta aplicación está dado por.

$$h_{Re.Im} = \text{sgn}_{Re.Im} \int_p \int_\Phi (p, \omega) \varepsilon^{-i\omega(\theta_0 - \Phi)} \varepsilon^{-(r_0 - p)^2 / \alpha^2} \varepsilon^{-(\theta_0 - \phi)^2 / \beta^2} pd \, pd \square$$

Para cada punto $l(r, \Theta)$ en coordenadas polares adimensionales de la imagen del iris aplicado en la fórmula anterior, obtenemos dos bits, que representan las partes real e imaginaria de un bit de valor complejo, cuyos valores (0 o 1) dependen de la señal de la integral bidimensional aplicada.

A cada aplicación de $l(r, \Theta)$, los valores de las partes real e imaginaria del bit complejo dado son obtenidos de acuerdo con el cuadrante de fase de demodulación del iris.

Como resultado del filtrado a diferentes frecuencias y posiciones particulares en el sistema de coordenadas polares, el conjunto de valores complejos es calculado mediante una convolución.

El signo de ambas partes real e imaginaria de las proyecciones de cuadrante de la imagen para regiones específicas del iris realizan una cuantificación de fase de la señal de textura local.

Una codificación del iris se realiza aplicándose 1024 valores diferentes $l(r, \Theta)$, obteniendo entonces 2048 bits, o 256 bytes, como resultado de un código de iris.

Figura 5.7 Algoritmo para la generación del IrisCode.

```
v = 1;
conta_c = 0; conta_u = 0;
for k = 1:1:1024
    vectorTemp(k);
    re = real(vectorTemp(k));
    ig = imag(vectorTemp(k));
    if re > 0 & ig > 0
        bx = 1; by = 1;
    elseif re < 0 & ig > 0
        bx = 0; by = 1;
    elseif re < 0 & ig < 0
        bx = 0; by = 1;
    else
        bx = 1; by = 0;
    end
    vec(v) = bx;
    vec(v+1) = by;
    v = v + 2;
    if bx == 0    conta_c = conta_c + 1;
    else conta_u = conta_u + i;
    end
end
```

Fuente [Elaboración propia]

5.3 COMPARACIÓN DE LOS CÓDIGOS DEL IRIS

Una llave para el reconocimiento del iris es el fallo en una prueba de independencia estadística. Esta prueba envuelve tantos grados de libertad, que virtualmente garantiza que no habrá fallas cuando los códigos de fase de dos iris diferentes sean comparados y fracasará únicamente cuando los códigos de fase de un iris sean comparados solamente con otra versión del mismo iris.

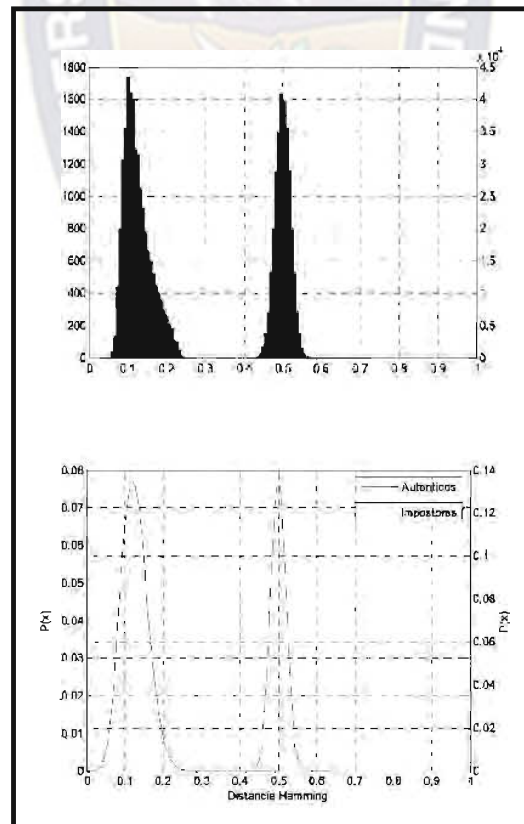
La prueba aplicada esta implementada con un operación booleana OR exclusivo bit a bit de los 2048 bits de cada código de iris, seguido de la operación booleana AND con ambas

máscaras de iris. Se realiza la norma de esta operación, y se cuenta el número de bits divergentes entre los códigos de iris. Se divide seguidamente el número obtenido por la operación booleana AND entre las dos máscaras de código, también contando el número de ocurrencias.

La distancia de Hamming computada mide una disimilaridad entre los iris. Cuando ocurre un casamiento perfecto entre los iris, el valor computado es cero.

Para saber la probabilidad de que los iris comparados son diferentes, se utiliza el valor obtenido en la comparación para computar la Función de Distribución de Probabilidad Acumulada (FDPA) sobre el siguiente gráfico [Figura 5.8] obtenido experimentalmente a través de pruebas exhaustivas de esta técnica por J. Daugman.

Figura 5.8 Distribución de la distancia de Hamming



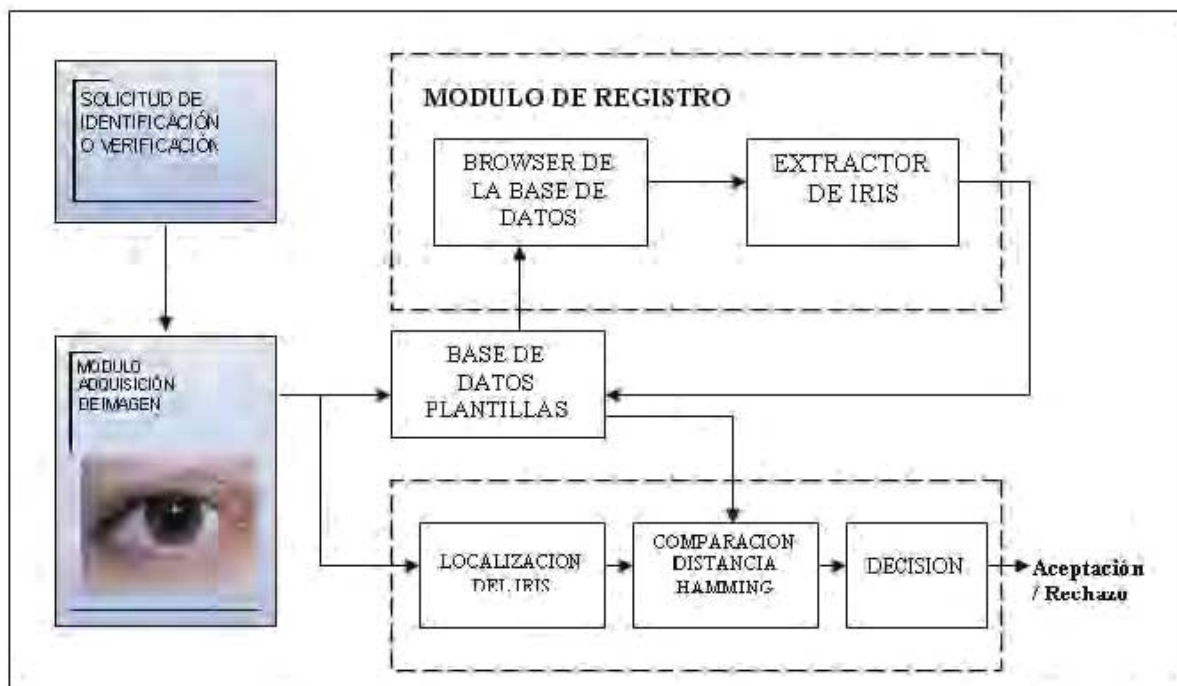
Fuente [Umbral Científico ISSN-2009]

La figura 5.8 exhibe una curva de distribución de probabilidad con media $m = 0,499$ y desviación estándar $\sigma = 0,032$. Se observa que la esperanza de una comparación de iris no relacionados es de 0,5, con una desviación estándar muy pequeña; esto debido al hecho de ser un cálculo estadístico, una vez que un bit de favor dado es regresado por la codificación, la probabilidad de ser 0 es la misma que de ser 1, y la comparación entre dos bits no relacionados tiene una probabilidad media de 50% de oportunidad de ser divergente.

En consecuencia, vemos que la FDPA para valores de comparación de códigos de iris hasta 0,4 es muy baja, entre 0,4 y 0,5 crece rápidamente y en valores próximos y por encima de 0,5 ya son grandes, lo suficiente como desechar con seguridad la similitud existente entre dos iris.

5.4 MODELO PARA EL RECONOCIMIENTO DEL IRIS

Figura 5.9 Modelo del sistema para el Reconocimiento del Iris



Fuente [Elaboración propia]

Como se puede observar, la figura 5.9 muestra el modelo de un Sistema para el Reconocimiento del Iris. Debido a que el proyecto no contempla el diseño de una base de datos; solamente se toma en cuenta el módulo de verificación, el cuál se encarga de recibir la imagen desde el módulo de adquisición de imágenes y mediante el localizador del iris se encarga de analizarla, procesarla y mostrar resultados representados por unos y ceros, lo que se denomina el Código de Iris (IrisCode). Con los resultados obtenidos, se realiza una comparación con el operador OR-exclusivo para encontrar la distancia de Hamming. Finalmente, y de acuerdo a la comparación de códigos, el modelo toma una decisión para aceptar o rechazar a la persona.

Figura 5.10 Localización y extracción del Iris.



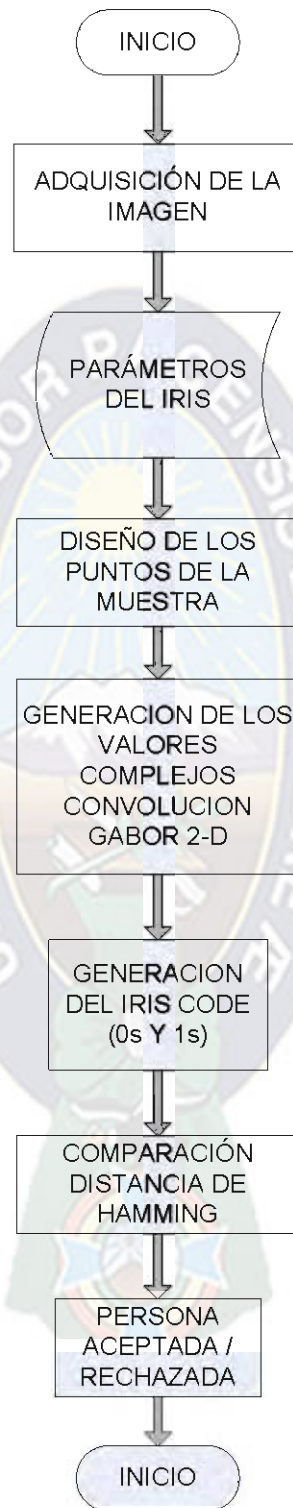
Fuente [Elaboración propia]

El Localizador del iris (extractor) está compuesto por cuatro pasos que se muestran en la [figura 5.10.]

Primero, se realiza un tratamiento de la imagen mediante el cuál se define tanto la pupila como los bordes interno y extremo del iris. Después de hallar los bordes que limitan al iris, se encuentran valores a través de las coordenadas polares adimensionales realizando un barrido circular sobre la superficie del iris.

Con ésta información se aplica el algoritmo de convolución de ondaleta Gabor 2D para obtener una matriz de números complejos, la cuál posteriormente será la encargada de definir la generación del código del iris. El código de iris representado por unos y ceros está definido de acuerdo al cuadrante de fase de la figura 5.7, el cuál es enviado finalmente al Comparador de bits que dará un resultado de aceptación o rechazo.

Figura 5.11 Diagrama de bloques para el reconocimiento del Iris.



Fuente [Elaboración propia]

5.5 RESULTADOS EXPERIMENTALES

Cuando se obtiene una imagen del iris, el medio ambiente (iluminación, oclusión de pestañas, postura del ojo. etc.) siempre es variante. Por eso, una plantilla construida de pocas muestras no puede representar de forma exacta una clase de iris. Los resultados de la siguiente tabla muestran que a mayor número de muestras utilizadas para el entrenamiento, más aproximado será el valor asignado al umbral para la definición de aceptación y rechazo falsos, y por tanto más alta será la razón de identificación. Esto es bastante razonable, ya que la plantilla almacenada en una base de datos será más robusta al utilizar más muestras en el entrenamiento.

Tabla 5.1 Resultados experimentales entre imágenes.

IMAGEN	IMAGEN CON RUIDO	VALOR OPERADOS XOR	DISTANCIA DE HAMMING
Ojod06tg.jpg.	Ojod06n01.jpg	971	0.474
	Ojod06n02.jpg	841	1.411
	Ojod06n03.jpg	592	0.289
	Ojod06n04.jpg	708	0.346
	Ojod06n05.jpg	868	0.424
	Ojod06n06.jpg	630	0.308
	Ojod06n07.jpg	964	0.471
Ojo07tg.jpg.	Ojod07n01jpg	972	0.475
	Ojod07n02jpg	793	0.387
	Ojod07n03jpg	505	0.247
	Ojod07n04jpg	879	0.429
	Ojod07n05jpg	922	0.450
	Ojod07n06jpg	62	0.030
	Ojod07n07jpg	412	0.201
Ojoi12tg.jpg.	Ojo12n01.jpg	871	0.425
	Ojo12n02.jpg	755	0.369
	Ojo12n03.jpg	470	0.229
	Ojo12n04.jpg	901	0.440
	Ojo12n05.jpg	833	0.407
	Ojo12n06.jpg	851	0.416
	Ojo12n07.jpg	845	0.413

Ojod07tg.jpg.	Ojod06.jpg	870	0.425
	Ojod06n01.jpg	945	0.461
	Ojod06n02.jpg	909	0.444
	Ojod06n03.jpg	878	0.429
	Ojod06n04.jpg	888	0.434
	Ojod06n05.jpg	922	0.450
	Ojod06n06.jpg	906	0.442
	Ojod06n07.jpg	908	0.443
Ojoi12tg.jpg.	Ojod06tg.jpg	844	0.412
	Ojod06n01.jpg	887	0.433
	Ojod06n02.jpg	901	0.440
	Ojod06n03.jpg	870	0.425
	Ojod06n04.jpg	900	0.439
	Ojod06n05.jpg	848	0.414
	Ojod06n06.jpg	904	0.441
	Ojod06n07.jpg	910	0.444
Ojod06tg.jpg.	Ojod07tg.jpg	870	0.425
	Ojod07n01.jpg	934	0.456
	Ojod07n02.jpg	865	0.422
	Ojod07n03.jpg	907	0.443
	Ojod07n04.jpg	933	0.456
	Ojod07n05.jpg	868	0.424
	Ojod07n06.jpg	880	0.430
	Ojod07n07.jpg	890	0.435
Ojoi12tg.jpg.	Ojod07tg.jpg.	896	0.438
	Ojod07n01.jpg.	954	0.466
	Ojod07n02.jpg.	857	0.418
	Ojod07n03.jpg.	911	0.445
	Ojod07n04.pg.	865	0.422
	Ojod07n05.jpg.	866	0.423
	Ojod07n06.jpg.	902	0.440
	Ojod07n07.jpg.	904	0.441

Fuente [Elaboración propia]

Figura 5.12 Cuadro comparativo de resultados.

```
% Distancia de Hamming
n = 0;
for i = 1:1:2048
    n = n + xor(a(i), b(i));
end

fprintf('La cantidad de bits diferentes - Operador XOR es: %i \n', n);
dh = n/2048;
fprintf('La Distancia de Hamming es: %d \n', dh);

if dh <= 0.405
    fprintf('Usuario AUTORIZADO \n');
else
    fprintf('Usuario NO AUTORIZADO \n');
end
```

Fuente [Elaboración propia]

4 CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES DEL MODELO

Gracias a los recientes avances en tecnología biométrica, la autenticación de personas basada en el reconocimiento del iris ha llegado a ser una alternativa atractiva y complementaria a los métodos tradicionales de identificación. Se considera atractiva porque el usuario no tiene ningún tipo de contacto físico en el momento de la adquisición del iris.

En el desarrollo del modelo biométrico para el reconocimiento del iris se utilizaron diferentes métodos para el procesamiento y obtención de resultados, sin tomar en cuenta la adquisición de imágenes por medio de cámaras digitales.

Se realizó un tratamiento de imágenes haciendo un barrido y asignando valores de ceros (negro) y unos (blanco) a los píxeles de acuerdo a su valor en escala de grises para encontrar la pupila y los bordes tanto interno como extremo del iris. La buena obtención de la pupila y los bordes que definen al iris dependen en su totalidad de una buena captura bajo las mismas variables de entorno e iluminación.

Posteriormente, modelos matemáticos basados en la utilización de coordenadas polares se encargaron de encontrar los valores de interés del iris para luego procesar esta información mediante ondaletas Gabor bidimensionales y obtener valores complejos.

La razón de utilizar ondaletas Gabor para el análisis de este proyecto tiene que ver con la posibilidad de condensar información obtenida de una imagen tanto en el dominio de tiempo como en el de frecuencia. Cada ondaleta por sí sola no forma una imagen, pero la agrupación de varias puede recrear cualquier objeto, en este caso en particular el iris. Una ondaleta no tiene limitaciones físicas de tamaño ya que se trata de una serie de ceros y unos almacenados en la memoria de la computadora.

Otro tipo de ondaletas, como las denominadas Haar, consisten de simplemente un pulso corto positivo seguido por un pulso corto negativo. A pesar de que los pulsos cortos de las ondaletas Haar son excelentes para la enseñanza de la teoría ondaleta, éstos son poco útiles para la mayor parte de las aplicaciones porque dan como resultado líneas irregulares (en calidad) en vez de finas curvas. Las ondaletas Morlet fueron desarrolladas especialmente para el análisis sísmico, creando componentes que son localizados en el espacio de acuerdo a la velocidad de la onda de sonido. Las ondaletas Daubechies están orientadas principalmente a la compresión de imágenes, las cuales pueden ser usadas para reducir el tamaño y posteriormente almacenar imágenes dentro de una base de datos. Actualmente están siendo utilizadas por el FBI para la compresión de imágenes de huellas dactilares. A diferencia de los diferentes tipos de ondaletas mencionadas anteriormente, las ondaletas Gabor tienen un enfoque basado en la textura de la imagen a partir de la cual generan una serie de números complejos.

Los valores complejos son transformados a un código binario de acuerdo a un cuadrante de fase, a lo que se denomina el IrisCode. Esta información binaria es comparada mediante un operador XOR para encontrar la distancia de Hamming y determinar de esta manera si dos muestras pertenecen o no a la misma persona.

Entonces surge la pregunta, "¿A qué umbral de distancia de Hamming pueden estar dos códigos de iris para ser considerados diferentes?". Para responderla apropiadamente, ésta pregunta debe estar considerada en términos de la teoría de decisión estadística, y realizar un examen extenso envolviendo una población grande de imágenes. Debido a que no fue posible adquirir y procesar una gran población de imágenes de iris de prueba, fue necesario fiarse de los resultados obtenidos por Daugman del 32%. Por tanto, cuando dos códigos de iris difieren en más del 32% de sus bits, son considerados diferentes; si menos del 32% de sus bits son distintos, entonces son considerados idénticos.

La implementación del método definido por Daugman para el análisis de textura del iris humano fue exitosa. A partir de aquí sería posible construir, tomando como base el modelo desarrollado en este proyecto, un sistema seguro disponible para la identificación y verificación de individuos en transacciones de alta seguridad. Dicho

sistema podría estar orientado a transacciones seguras realizadas por cajeros automáticos (ATMs); a la autenticación de empleados en instituciones donde mantener la información institucional segura y confidencial es primordial (control de acceso a instalaciones); y también a aplicaciones web que necesiten autenticar usuarios para ingresar a una intranet, realizar transacciones bancarias, etc.

Debido a que otras tecnologías biométricas, como el reconocimiento facial o el reconocimiento a través de las huellas dactilares, están empezando a utilizar las ondaletas para el reconocimiento de personas, es factible que otros módulos sean creados y adecuados al presente modelo para formar un Sistema Biométrico Multimodal donde más de una característica biométrica sea evaluada y de acuerdo a una fusión de resultados se acepte o rechace a la persona.

6.2 RECOMENDACIONES

El primer punto importante para la obtención de resultados está fuertemente relacionado con la buena adquisición de las muestras. Éstas deben ser adquiridas por dispositivos adecuados y de correcto funcionamiento; además, el ambiente de adquisición de imágenes debe estar adecuado de tal manera que no existan grandes cambios en la iluminación al momento de tomar la muestra.

Los usuarios deberán recibir una buena capacitación en la adquisición del iris, tomando en cuenta principalmente la posición del ojo respecto a la cámara y de la rotación de la cabeza, así también como los resultados que podrían provocar la utilización de lentes de aumento o lentes de contacto empolvados, rayados, etc.

Los sistemas existentes requieren de una amplia participación y trabajo de usuarios a corto alcance. Un punto importante a tomar en cuenta en futuras investigaciones será reducir las limitaciones bajo las cuales los sistemas actuales de reconocimiento del iris operan. En este aspecto, se desea minimizar el nivel de participación requerido por parte del usuario mientras se acrecenté la distancia física desde donde se realiza la evaluación. De esta forma, el reconocimiento del iris podrá proveer las bases para una tarea biométrica verdaderamente no invasiva.

Respecto al prototipo, cabe recalcar que las pruebas se realizaron utilizando imágenes en escala de grises y con un formato de 8 bits por razones de velocidad. Imágenes RGB pueden ser utilizadas para la obtención de datos, pero esto supone hacer cambios en la codificación del prototipo para convertir la imagen a escala de grises y modifica también el tiempo de obtención de resultados.

Por último, un mantenimiento mensual de las cámaras será apropiado para la obtención de buenas muestras. Debemos recordar que si estos dispositivos no trabajan al máximo de su capacidad en la adquisición de imágenes, se presentarán muchas dificultades en el registro y verificación de los usuarios.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [WILDES RICHARD P - 07]** Wildes Richard P., Iris recognition: An emerging biometric technology, Proceedings of the IEEE, Vol.85, N° 9, 2007.
- [ARTZAI P. - 03]** Artzai Picon Ruiz, 2003: Pagina del Articulo la Biometría, Edicion en linea.
- [ZHU YONG - 05]** Zhu Yong, Biometric Personal Identification based on Iris Patters, Chínese Academy of Sciences.
- [YOUNG - 09]** Yong Zhu, Tieniu Tan, Yunhong Wang, Biometric Personal Identification, Chinese academy of sciences, Beijing, China 2009
- [HERNÁNDEZ - 06]** Hernández Sampieri, Roberto Fernández Callaos Carlos Bautista Pilar Lucio. Metodologías de la Investigación 4ta edición. México infagon Web, 2006. 849p
- [PORTER M. F. - 06]** An Algorithm for suffix stripping.
- [BORDIGNON F. - 07]** Introducción a la Recuperación de Información, conceptos, modelos y algoritmos básicos. Departamento de Ciencias Básicas - /Universidad Nacional de Lujan de Argentina.
- [PH D. ESTEBAN L. - 09]** Doctor en tecnologías de información y telecomunicaciones (España)
- [ANIL JAIN - 08]** Anil Jain, Salil Prabhakar, y Un Hong, A multichannel approach to fmgerprint classification, Michigan State University.
- [FRISCHHOLZ - 00]** Frischholz, Robert W. y Dieckmann, Ulrich, Biold: A Multimodal Biometric Identification System, IEEE vol.33 Nro.2, E.U.A., 2000, 180p.

- [KUO, BENJAMÍN - 06] Kuo, Benjamín C., *Sistemas de Control Automático*, Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., México, 2006, 898p.
- [ANIL K. JAIN - 04] Anil K. Jain, Fellow, IEEE, Arun Ross, Member IEEE, Salil Prabhakar, Member IEEE *"An Introduction to Biometric Recognition"* IEEE Transactions on Circuits and Systems For Video Technology, Vol. 14, No 1, January 2004.
- [JOHN DAUGMAN - 04] John Daugman *"How Iris Recognition Works"* IEEE Transactions on Circuits and Systems For Video Technology, Vol. 14, No 1, January 2004.
- [YINGZI DU - 04] Yingzi Du, Robert Ives, Delores Etter, Thad Welch, Chein-I Chang, Electrical Engineering Department, United States Naval Academy, Annapolis, MD 21402; Dept. Of Computer Science and Electrical Engineering, Univ. Of Maryland, Baltimore Country, Baltimore, MD 21228 *"A One-Dimensional Approach for Iris Identification"* Proceedings of SPIE (The International Society for Optical Engineering) Volume 5404, August 2004.

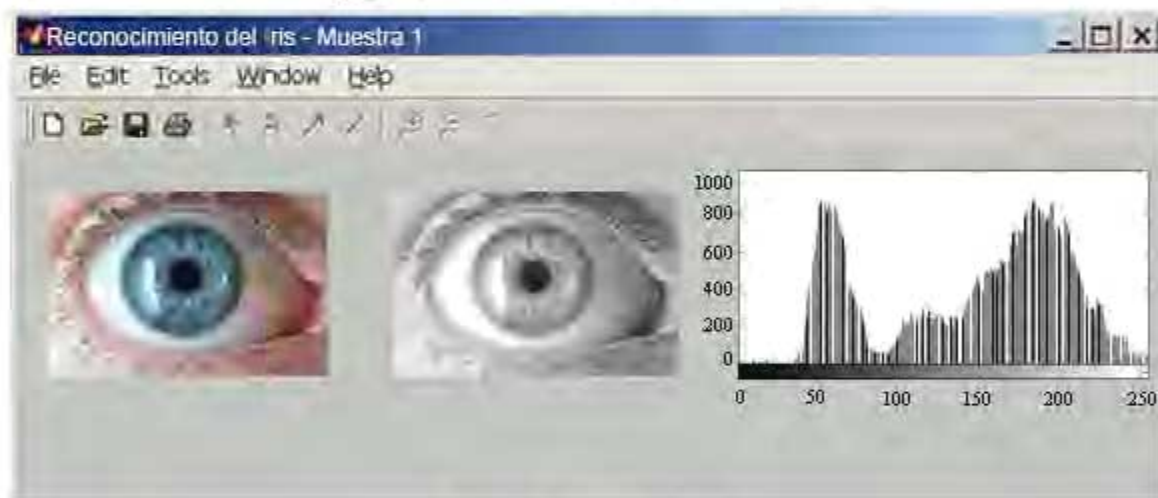
REFERENCIAS ELECTRONICAS

- [BIOMETRICS - 09]** Biometrics – Journal of the International Biometrics Society 2002, Pagina de la Sociedad Internacional de la Biometría, Edición en Línea. <http://stat.tamu.edu/Biometrics/> [Acceso: agosto 2009]
- [ENCICLOPEDIA - 08]** Enciclopedia 2008, “Iris”, Biblioteca Nacional de Medicina en los EE.UU. Edición en línea, <http://www.nlm.gov/medlineplus/> [Acceso: agosto 2009].
- [DAUGMAN, JOHN - 2004]** Daugman, John, Ph.D., Recognizing Persons by their Iris Patterns, University of Cambridge, 8p., <http://iriscan.com/html/basis.html>
- [DAUGMAN JOHN - 2007]** Daugman, John, Ph.D., How Iris Recognition Works, <http://www.CL.cam.ac.uk/users/igdl000/>
- [UNIVERSIDAD OVIEDO - 2000]** E.T.S. Ingenieros de Minas <http://www.etsimo.uniovi.es/vision/>

PROTOTIPO

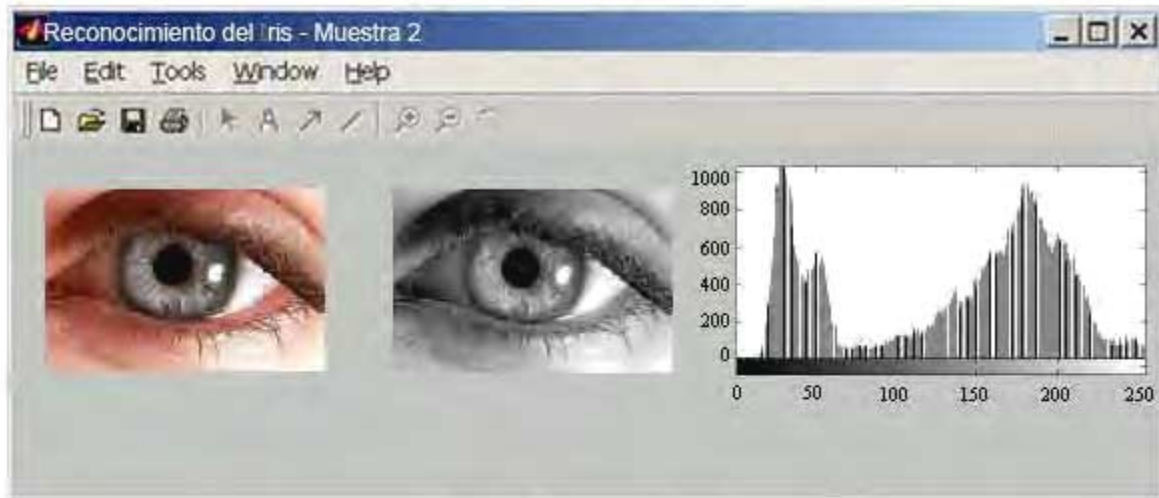
A continuación se presentan las pantallas obtenidas en Matlab después del análisis de tres muestras donde las muestras 1 y 2 son imagen tomadas al mismo ojo con distinto acercamiento, la muestra 2 es una distinta. La grafica de la derecha representa un histograma con los valores en escala de grises de la imagen mapeada. Se puede observar claramente que los valores obtenidos en las muestras 1 y 2 son distintos y por tanto la comparación de bits se clasificara a la persona como IMPOSTOR, en cambio la muestra 1 y 3 en el histograma son iguales ya que son del mismo ojo por tanto se le clasificara como AUTORIZADO.

Figura A.1 Reconocimiento del Iris – Muestra 1.



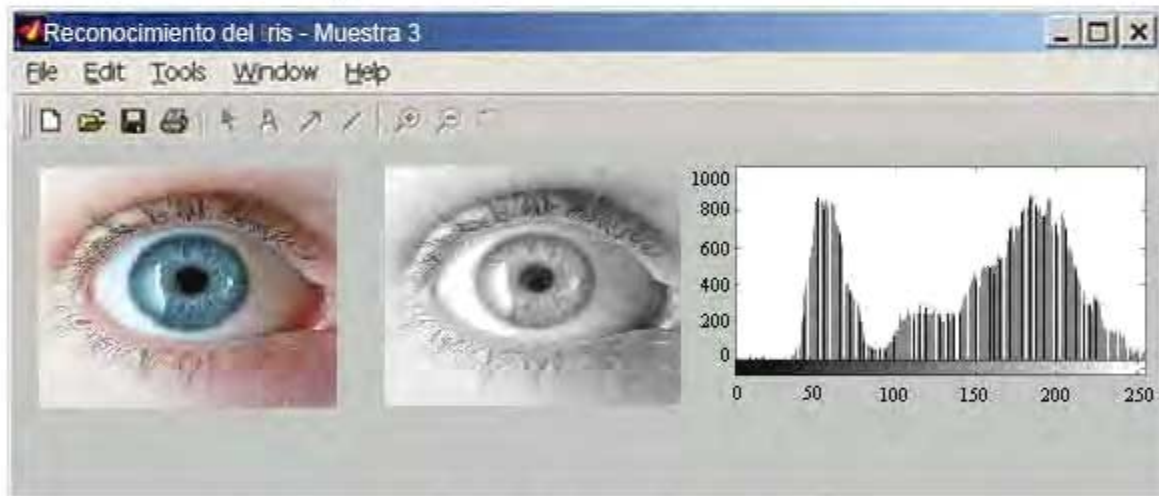
Fuente [Programa Matlab]

Figura A.1 Reconocimiento del Iris - Muestra 2.



Fuente [Programa Matlab]

Figura A.1 Reconocimiento del Iris - Muestra 3.

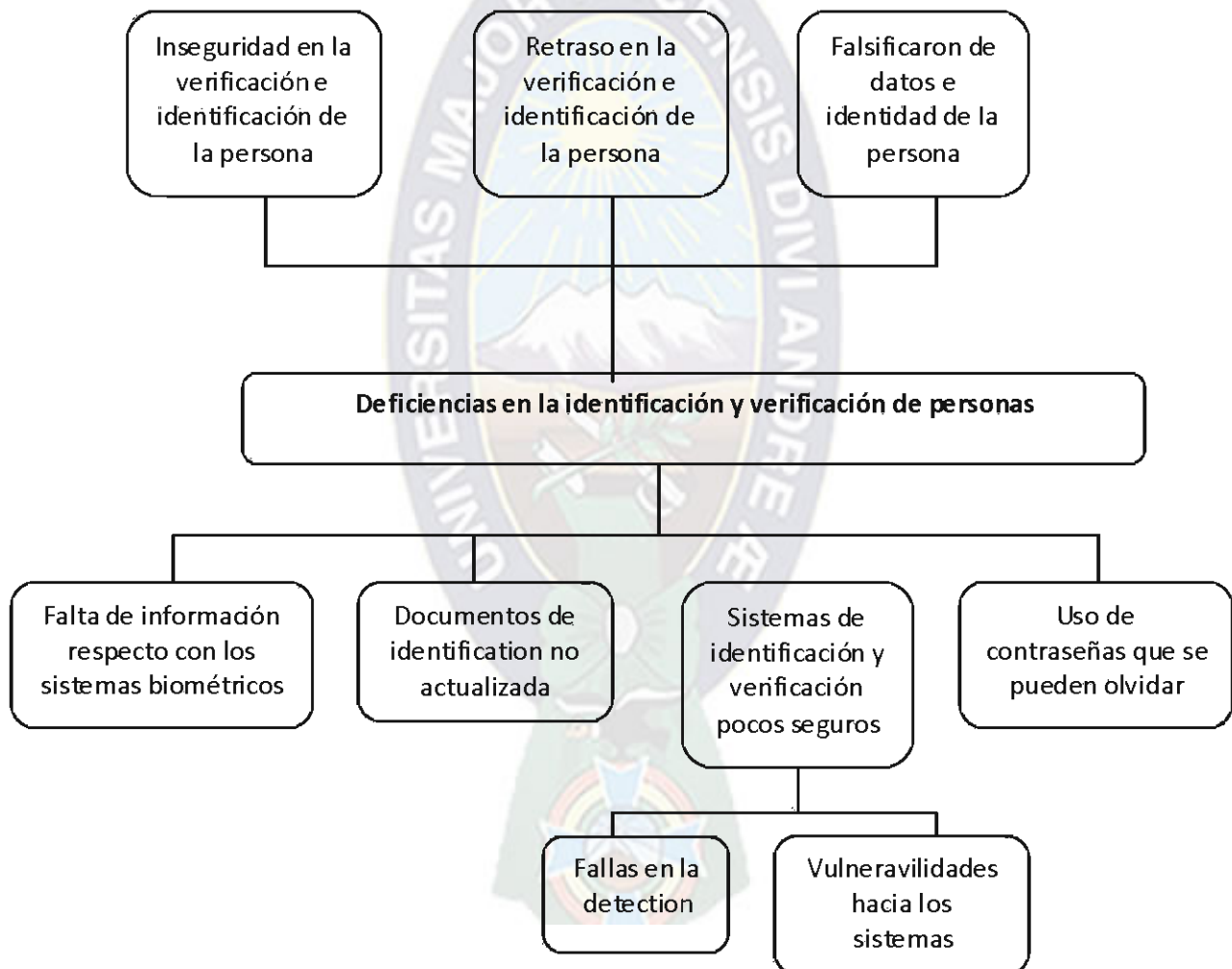


Fuente [Programa Matlab]

PROCESO DE EVALUACION

Para realizar la evaluación se contó con todo lo que es el marco lógico, teniendo nuestro árbol de problemas, seguido de un árbol de objetivos.

ARBOL DE PROBLEMAS



ARBOL DE OBJETIVOS

