



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

DISEÑO DE UN SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN BIOMÉTRICA: RECONOCIMIENTO DEL IRIS EN CANINOS

Octavio Rafael Ciraiz Azurdia

Asesorado por el Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez

Guatemala, mayo de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN BIOMÉTRICA:
RECONOCIMIENTO DEL IRIS EN CANINOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

OCTAVIO RAFAEL CIRAIZ AZURDIA

ASESORADO POR EL ING. BYRON ODILIO ARRIVILLAGA MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, MAYO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Romeo Neftalí López Orozco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Durán Córdova
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN BIOMÉTRICA: RECONOCIMIENTO DEL IRIS EN CANINOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha junio de 2012.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Octavio Rafael Ciraiz Azurdia

Guatemala, 18 de febrero de 2013

Ingeniero
Guillermo Antonio Puente Romero
Director de la Escuela
Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Señor Director:

Por medio de la presente informo a usted, que he asesorado y revisado el trabajo de graduación titulado **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN BIOMÉTRICA: RECONOCIMIENTO DEL IRIS EN CANINOS”**, elaborado por el estudiante **Octavio Rafael Ciraiz Azurdia**, con carné **200815498**, previo a obtener el título de Ingeniero Electrónico.

Habiendo determinado que dicho trabajo cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ingeniería, y en reconocimiento de la importancia del tema, me permito **APROBARLO**.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,

Ing. Byron Arrivillaga Méndez
Col. 5217

Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez

ASESOR



Ref. EIME 12.2013.
Guatemala, 26 de FEBRERO 2013.

Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
“DISEÑO DE UN SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN BIOMÉTRICA:
RECONOCIMIENTO DEL IRIS EN CANINOS” del estudiante
Octavio Rafael Ciraz Azurdia, que cumple con los requisitos
establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador Área Electrónica



S/O



REF. EIME 12. 2013.

3

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; OCTAVIO RAFAEL CIRAIZ AZURDIA titulado: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN BIOMÉTRICA: RECONOCIMIENTO DEL IRIS EN CANINOS”, procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 3 DE ABRIL 2013.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 373 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN BIOMÉTRICA: RECONOCIMIENTO DEL IRIS EN CANINOS**, presentado por el estudiante universitario: **Octavio Rafael Ciraz Azurdia**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 27 de mayo de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por sus infinitas bendiciones.
Mis padres	Patricia Azurdia y Rafael Ciraiz, por su apoyo incondicional, su paciencia y sobre todo por sus valiosas lecciones de vida.
Mi hermana	Ericka Ciraiz, por su cariño, por escucharme y apoyarme, aun cuando no tengo la razón.
Mi novia	Fatima Moir, por su amor y paciencia, pero sobre todo, por ser el amor de mi vida y mi mejor amiga. Gracias por ser parte de mi vida y ayudarme a dar lo mejor de mí cada día.
Mis abuelos	Guillermo Ciraiz (q.e.p.d.), Octavio Azurdia, Raquel Marroquín y Gabina López, gracias por su paciencia y cariño.
Mis tíos y primos	Por brindarme su cariño y apoyo de forma incondicional.
Mis amigos	A todos aquellos que me han brindado su amistad y cariño: Pablo Velásquez, Allan Rosales, Julio Silva, Diego Chang, Andrés Corzo y muchos otros, gracias.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por el conocimiento que me permitió adquirir y las amistades que me ayudó a forjar.
Facultad de Ingeniería	Por contribuir en mi formación y ayudarme a alcanzar mis objetivos como profesional.
Departamento de Idioma Técnico	Especialmente a la Inga. Soraya Martínez, por su confianza, cariño y por darme la oportunidad de explorar el ámbito de la docencia.
Departamento de Estadística	Especialmente a la Inga. María Eugenia Aguilar, por su amistad, cariño y sobre todo, por su apoyo y consejos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. EL OJO.....	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Anatomía del ojo.....	1
1.3. Funcionamiento del ojo.....	3
1.4. El iris en la biometría	4
1.4.1. El iris felino	5
1.4.2. El iris canino	5
2. LA BIOMETRÍA	7
2.1. Generalidades	7
2.2. Identificación biométrica	7
2.2.1. Identificación a través de huellas dactilares	8
2.2.2. Identificación a través de reconocimiento facial.....	10
2.2.3. Identificación a través de reconocimiento de la retina.....	13
2.2.4. Identificación a través de reconocimiento del iris....	15
2.3. Ventajas y desventajas.....	18
2.3.1. Ventajas.....	18

2.3.2.	Desventajas.....	19
3.	FUNDAMENTOS DEL SISTEMA.....	21
3.1.	Generalidades.....	21
3.2.	Adquisición de imágenes	21
3.2.1.	Cámara.....	22
3.2.2.	Resolución.....	23
3.2.3.	Iluminación	25
3.3.	Preprocesamiento inicial	26
3.3.1.	Filtro de mediana.....	27
3.3.2.	Binarización.....	27
3.3.3.	Etiquetado	28
3.4.	Extracción de la zona de interés	29
3.4.1.	Detección del centro y del radio de la pupila	29
3.4.2.	Detección del centro y del radio del iris.....	30
3.5.	Preprocesamiento para codificación	30
3.5.1.	Estiramiento del histograma.....	31
3.5.2.	Incremento del contraste	31
3.5.3.	Conversión a coordenadas polares.....	32
3.6.	Codificación.....	34
3.6.1.	Transformada de Fourier.....	34
3.6.2.	Transformada de Wavelet	35
3.7.	Verificación.....	36
3.7.1.	Distancia de Hamming	37
4.	DISEÑO DEL SISTEMA.....	39
4.1.	Generalidades.....	39
4.2.	Adquisición de imágenes	39
4.3.	Preprocesamiento inicial	41

4.4.	Extracción de la zona de interés.....	43
4.5.	Preprocesamiento para codificación.....	44
4.6.	Codificación	45
4.7.	Verificación	46
5.	ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN DEL SISTEMA.....	49
5.1.	Generalidades	49
5.2.	Análisis estadístico de las características del sistema	49
5.2.1.	Tasa de falsa aceptación.....	50
5.2.2.	Tasa de falso rechazo	51
5.3.	Consideraciones de desempeño	51
	CONCLUSIONES	55
	RECOMENDACIONES	57
	BIBLIOGRAFÍA.....	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama del ojo	2
2.	Efecto de la resolución en una imagen	24
3.	Comparación en el nivel de iluminación	40
4.	Área empleada de una imagen	41
5.	Conversión a escala binaria (blanco y negro)	42
6.	Extracción de la zona de interés	43
7.	Imagen transformada	44
8.	Imagen codificada a través de la transformada de Fourier	45

TABLAS

I.	Correlación entre imágenes del mismo iris de un individuo	52
II.	Correlación entre imágenes de los iris de un mismo individuo.....	53

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Δ	Operador de tasa de cambio o variación
π	Relación entre la circunferencia y el diámetro de un círculo.
x	Variable del eje horizontal del plano cartesiano
y	Variable del eje vertical del plano cartesiano
r	Variable que denota el valor real dentro de un par ordenado de coordenadas polares
θ	Variable que denota un ángulo

GLOSARIO

Algoritmo	Conjunto ordenado y finito de operaciones que al ejecutarse adecuadamente, permite hallar la solución de un problema.
Binario	Elemento capaz de tomar únicamente dos valores.
Biometría	Estudio cuantitativo o estadístico de los fenómenos o procesos biológicos.
Codificación	Transformación mediante las reglas de un código la formulación de un mensaje.
Fiabilidad	Probabilidad de buen funcionamiento de un determinado objeto o sistema.
Histograma	Representación gráfica de una distribución de frecuencias por medio de rectángulos, con anchos y alturas representativas de las correspondientes clasificaciones y frecuencias.
Identificación	Acción mediante la cual se determina si una persona u objeto es reconocida dentro de una base de datos.
Iris	Membrana coloreada del ojo de los vertebrados y cefalópodos, en cuyo centro está la pupila.

Modelo	Arquetipo o referencia capaz de ser imitada o reproducible.
Píxel	Superficie homogénea más pequeña de las que componen una imagen, que se define por su brillo y color.
Resolución	Número de píxeles total de una imagen.
Sensor	Dispositivo capaz de detectar y transmitir una acción externa convirtiéndola en una señal.
Textura	Estructura o disposición de las partes de un objeto o superficie.
Transformación	En el contexto matemático se dice de la acción mediante la cual un elemento cambia su identidad preservando su valor de verdad y destacando características relevantes del mismo.
Vector	Arreglo unidimensional en el que se almacenan datos.

RESUMEN

El presente trabajo es el resultado del estudio de un conjunto de técnicas y algoritmos utilizados para la identificación de un individuo dentro de un grupo de sus similares. Se analiza el funcionamiento del órgano de la visión tanto del ser humano, como de la especie canina, realizando comparaciones entre estos y dispositivos electrónicos.

Con el fin de identificar a los diversos sujetos, se recupera la información contenida en el iris a través de una imagen digital del mismo. La imagen se pre-procesará a manera de destacar los puntos más importantes de la misma, luego se extraerá la zona de interés en el área correspondiente al iris. Posteriormente se cortará únicamente, la sección requerida para la identificación y se codificará la misma. Una vez codificada la imagen se realizará una comparación a través del parámetro de Distancia de Hamming, es decir, mediante la determinación de distancias entre la información de los puntos evaluados.

Finalmente, se evaluará la capacidad del sistema y su confiabilidad desde el punto de vista estadístico. Particularmente se analizarán las limitaciones del mismo de acuerdo al algoritmo desarrollado.

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema de identificación biométrico en caninos a través de las diferencias en el iris.

Específicos

1. Determinar a través de un análisis estadístico, si las diferencias en el iris son lo bastante amplias para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.
2. Determinar si la luz natural es adecuada para la correcta identificación de los individuos.
3. Calcular el porcentaje de similitud entre imágenes del mismo sujeto.
4. Definir de forma teórica la resolución mínima necesaria del sensor empleado para captar las imágenes.
5. Determinar el grado de similitud entre los iris de un mismo individuo.

INTRODUCCIÓN

La identidad es una cualidad de vital importancia en el mundo moderno, es importante que cada individuo pueda distinguirse de los demás de su especie tanto para fines de seguridad como para tener un control más preciso de su historial.

En la actualidad no existe un sistema capaz de identificar de forma fiable a los sujetos de la especie canina, por lo cual en muchas ocasiones existen problemas al tratar de identificar a su legítimo dueño en caso de un robo o pérdida, determinar su récord médico, localizar a su responsable, entre otros.

El presente documento propone una solución innovadora a través de la cual se pueda impulsar, en conjunto con la Facultad de Veterinaria, un nuevo protocolo para gestionar la identificación de esta especie.

1. EL OJO

En esta sección se describe el elemento de diferenciación empleado por este medio de identificación: el ojo.

1.1. Generalidades

El ojo es el órgano sensor por excelencia, tanto en la especie humana como en la mayoría de los animales domésticos. En general, este órgano se ve conformado por: el globo ocular (*bulbus oculi*), el nervio óptico, los párpados (*palpebrae*), varias glándulas, tejidos y huesos que lo protegen. El contenedor principal de este órgano se conoce bajo el nombre de órbita y es a través de este y su profundidad que se puede determinar la apariencia del ojo en un animal vivo. La forma influye, además en la extensión del campo de visión y la protección del órgano.

Si bien existe un gran número de diferencias entre los órganos animales y los órganos humanos, estos sensores poseen similitudes en cuanto a fisiología y funcionamiento. Se puede notar gran parecido entre cada una de las siguientes categorías: vertebrados, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Es utilizando estas similitudes y sobre todo, las posibles diferencias que establece el iris como posible fuente de identificación en la especie canina.

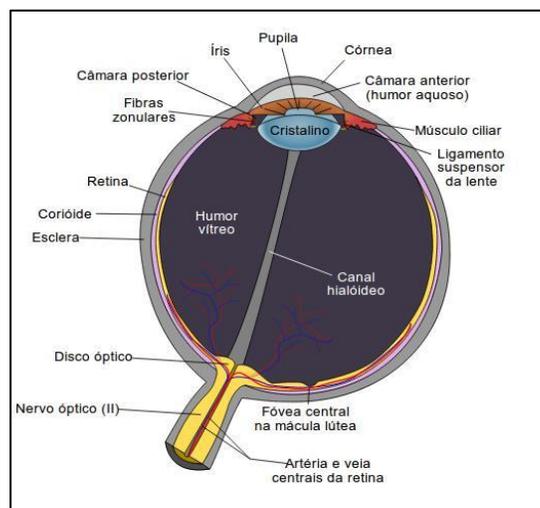
1.2. Anatomía del ojo

El ojo está formado por dos segmentos de esferas aparentemente concéntricas. A la esfera de mayor tamaño se le llama radio mayor y se localiza

en la parte posterior del ojo. Externamente este componente es el que presenta la coloración blanca del ojo y recibe la denominación de esclerótica. La esfera de menor radio recibe el nombre de córnea y su coloración es transparente. La mayor porción del ojo está cubierta superficialmente por la esclerótica. La siguiente porción más amplia del ojo es la túnica vascular, en la cual se localizan la coroides, el cuerpo ciliar y el iris, objeto principal de este trabajo.

La coroides es uno de los componentes del ojo que más difiere entre las distintas especies animales, en general está formada por cinco capas diferentes. En la mayoría de animales domésticos y silvestres se puede localizar en este elemento una capa reflectora llamada *tapetum*. Los humanos carecen de dicha capa, por lo cual el ojo humano, al igual que el ojo de los cerdos, no presenta ese brillo característico del ojo animal al exponerse ante la luz. La parte más profunda del ojo se conoce como retina y es donde se localizan los conos y bastoncitos de los cuales las terminales nerviosas obtienen la información para interpretar los distintos estímulos luminosos.

Figura 1. **Diagrama del ojo**



Fuente: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schematic_diagram_of_the_eye.svg. Consulta:

02 de junio de 2012

El interior del ojo está lleno de una materia coloidal conocida como humor vítreo o cuerpo vítreo. Este material se encuentra precedido por el cristalino, un órgano con forma de lente biconvexo y en conjunto con el mismo son los responsables de un proceso denominado acomodación, mediante el cual se puede enfocar el campo de visión. Este enfoque ocurre al alterar ligeramente la forma del cristalino, el cual puede variar entre plano y convexo.

1.3. Funcionamiento del ojo

Toda visión inicia en la adquisición de luz a través de un sensor adecuado, por lo cual es tan importante tomar en consideración la forma en la que la luz se comporta tanto antes de llegar al ojo como en el mismo. La luz en el aire es refractada de tal manera que los rayos en ella llegan de forma oblicua y desacelerada. Todos los rayos luminosos son afectados, incluso aquellos que entran de forma perpendicular al globo ocular, estos son desacelerados de tal manera que su impacto no perjudique dicho órgano.

Los rayos de luz ingresan al ojo a través de la pupila, una abertura en el iris, donde se regula la intensidad luminosa. Posteriormente el cristalino enfoca el objetivo, lo que genera una imagen en la retina, que a través del estímulo de los bastoncitos y conos que actúan como receptores sensoriales y envía la información al nervio correspondiente. Este órgano posee además, un sistema de adaptación automático a través del cual es capaz de funcionar tanto en condiciones de alta luminosidad como de oscuridad. El ojo posee un funcionamiento bastante similar al de una cámara, razón por la cual, usualmente se hace una comparación entre ambos.

1.4. El iris en la biometría

El iris es una membrana coloreada y circular que compone parte del ojo. Es bastante reconocible, pues en su interior se localiza la pupila, una apertura aparentemente central y de tamaño variable. Este componente corresponde a la porción más anterior de la túnica vascular, por lo que se ubica justo delante del cristalino y tras la córnea.

El iris tiene como parte de sus funciones, el brindar a la pupila la capacidad de dilatarse (midriasis) o contraerse (miosis), de acuerdo a las condiciones en las que se requiera la visión. El color del iris está determinado genéticamente. En los recién nacidos, el color del iris suele ser de un tono azul claro o grisáceo, mas la coloración definitiva se alcanzará aproximadamente entre los seis y diez meses de edad en los humanos y variando ampliamente para las distintas especies animales. A nivel celular, el color está determinado por el número y distribución de las células contenedoras del pigmento conocido como melanina, por lo que estas reciben el nombre de melanocitos.

El iris tiene distintas propiedades que lo hacen de incalculable valor al garantizar la identificación adecuada de un determinado individuo. Entre sus principales características se encuentran: las pocas variaciones de tamaño que sufre, los pocos daños que puede sufrir a lo largo de los años el órgano de la vista e incluso la variabilidad en los patrones del mismo. Si bien a simple vista el iris de un individuo puede ser bastante similar al de otro sujeto de una especie similar (o incluso la misma), estos son tan diferentes que incluso gemelos idénticos poseen patrones distintos. La diferencia es tal, que incluso los patrones en ambos ojos de un individuo no son los mismos, lo que los coloca en un nivel de precisión similar y muchas veces mayor que el de las huellas dactilares.

1.4.1. El iris felino

Al igual que en la mayoría de animales, en los felinos el iris determina la forma de la pupila. En el gato doméstico, la pupila es una abertura vertical mientras los músculos del iris se encuentran relajados, mas al entrar en acción los músculos dilatadores la pupila tiene un borde circular. Este comportamiento es común a todas y cada una de las razas de felinos conocidos.

En los felinos, el iris generalmente tiene una pigmentación amarilla debido a una capa de células retinales en su superficie posterior. Como en otros seres vivos, los felinos recién nacidos poseen ojos de una tonalidad azul clara que puede variar a lo largo de su vida. En algunos casos el color del iris se torna más oscuro conforme la edad del individuo avanza, mas esto no ocurre en todos los casos. Prince y sus colaboradores, en 1960, determinaron que las dimensiones del iris del felino promedio son 0,14 milímetros de grosor en el borde y 0,26 milímetros en su raíz.

1.4.2. El iris canino

En el caso de la especie canina, el iris regula el paso de luz a través de la pupila que a diferencia de la especie felina es redonda. El iris canino presenta una tonalidad amarilla o pardusca, además de un borde pupilar con tono más oscuro. Este componente ocular presenta un círculo arterial mayor cerca de su base y no presenta ningún círculo arterial menor.

Al igual que en los felinos, muchos caninos presentan una coloración distinta en su iris al momento del nacimiento, mas al aumentar su edad este color puede variar. La coloración del iris en los caninos difiere de los felinos, sin embargo, es bastante similar a la del ser humano.

2. LA BIOMETRÍA

A continuación se describe la historia de la biometría, detallando además, su ámbito de aplicación y conceptos fundamentales.

2.1. Generalidades

La palabra biometría se deriva de las palabras griegas *bios* y *metron* que significan vida y medida respectivamente. Se trata del estudio de técnicas a través de las cuales se puede identificar a un sujeto utilizando la medición de parámetros invariables en características físicas de su especie. Para cumplir con el objetivo de identificar a un sujeto de forma confiable se debe medir una característica física intransferible y que sufra muy pocas o ninguna variación a través del tiempo. Es de esta noción básica que han surgido diferentes técnicas biométricas, algunas basadas en la impresión que las palmas de las extremidades, otras basadas en la disposición de las características faciales del sujeto e incluso técnicas basadas en órganos sensores como el ojo.

2.2. Identificación biométrica

La identificación biométrica, también conocida como autenticación e incluso verificación biométrica de acuerdo a la naturaleza de su aplicación, utiliza rasgos específicos que se comparan con patrones previamente almacenados. Toda verificación implica el conocer al individuo previo a tratar de determinar su identidad, por lo que es necesario contar con una base de datos del proceso de autenticación biométrica será validada o no. En el caso de

tratarse de una verificación de identidad, se realiza una comparación en un proceso conocido como uno-para-uno (1:1), pues se analizará la muestra con datos previamente almacenados.

En el caso se tratara de un proceso de identificación, los rasgos biométricos se comparan con los de un conjunto de patrones ya guardados, este proceso se conoce también como uno-para-muchos (1:N). Este proceso implica que no se conoce con certeza la identidad del individuo. La muestra de datos biométricos es tomada y comparada una a una con los patrones del banco de datos registrados. En este caso, el resultado esperado es la identidad del individuo, mientras que en el proceso de autenticación se espera una respuesta booleana variable entre verdadero o falso.

Considerando que la identificación requiere una comparación uno a múltiples individuos, este proceso es mucho más lento que el de autenticación o verificación en el cual se requiere una única comparación. Es basado en lo anterior que se infiere, que al utilizar un sistema de identificación al validar la identidad de un individuo se requiere un sistema con gran capacidad de procesamiento.

2.2.1. Identificación a través de huellas dactilares

La identificación mediante el uso de huellas dactilares tiene una historia que se remonta a Babilonia y Persia, lugar donde se usaban las mismas para autenticar registros en arcilla. Es evidente que su carácter único era conocido desde esa época, probablemente a través de estudios empíricos.

Fue en 1883, que el antropólogo y estadístico francés, Alphonse Bertillon, presentó el primer método de identificación de personas basado en el registro

de las medidas de diversas partes del cuerpo. Adoptado por la policía de Francia y otras partes del mundo, este método fue un completo fracaso pues se determinó que dos personas distintas pueden presentar el mismo conjunto de medidas.

El uso de huellas dactilares se debe, en gran medida, al antropólogo inglés: Francis Galton, quien publicó el libro *Huellas dactilares* en 1892. Este estudio verificó tanto la invariabilidad de las huellas digitales a lo largo de toda la vida de un individuo como su utilidad al distinguir gemelos idénticos. Este libro determinó algunas características de las huellas que actualmente, aún se usan para su clasificación. Es debido a esta investigación que se implementó este método para la identificación personal, reemplazando el sistema de Bertillon, el cual había demostrado su inexactitud.

En su obra, Galton propuso cuarenta rasgos para la clasificación de las distintas impresiones digitales. Posteriormente el investigador de la policía de la provincia de Buenos Aires, Juan Vucetich, determinó ciento un rasgos para la clasificación de cuatro grandes grupos. Si bien esta clasificación mejoró notablemente el sistema, se necesitó de una simplificación mayor en la cual cuatro rasgos principales fueron identificados: arcos, presillas internas, presillas externas y verticilos.

En 1891, y por primera vez en todo el mundo, la policía de Buenos Aires inició con el registro dactiloscópico personas. El siguiente año se hizo la primera identificación de una asesina utilizando dicha base de datos. Por vez primera se evitó que la justicia condenara a un inocente pues de no contar con esta tecnología, la asesina, de nombre Francisca Rojas, pudo haber culpado exitosamente a su esposo del asesinato de sus dos hijos. Este sistema ha tenido gran aprobación, por lo que la integración de esta tecnología se ha

convertido en una las pruebas más elementales a utilizar en situaciones judiciales a pesar del poco tiempo que ha estado disponible.

2.2.2. Identificación a través de reconocimiento facial

Al igual que la identificación a través de huellas dactilares, el sistema de reconocimiento facial es empleado, usualmente a través de un ordenador, con el que se identifica automáticamente a una persona utilizando imágenes digitales. A diferencia del caso anterior, en el reconocimiento facial no se utilizó en ningún momento a personal capacitado para realizar las identificaciones, esto en gran parte debido a la enorme cantidad de información que debe analizarse.

En los últimos años, esta área de investigación ha crecido para abarcar variadas disciplinas, entre las cuales se encuentra el procesamiento digital de imágenes, el reconocimiento de patrones, la visión por ordenador e incluso las redes neuronales. Este tipo de reconocimiento hace uso de conocimientos tanto del área de la informática como del campo de la psicología, con el fin de identificar y comprender mejor las facciones tanto humanas como de otras especies. Recientemente se ha integrado el reconocimiento de objetos, donde se hace uso de tecnología reciente para analizar un objeto de forma tridimensional, utilizando variaciones de iluminación, posicionamiento en tres dimensiones, proyecciones, entre otros.

Al igual que en el caso de la identificación de huellas dactilares se puede emplear este método para identificar una cara desconocida o para verificar que esta coincide con un registro previo. De nuevo, si se trata de una identificación se necesita una base de datos de rostros conocidos, por lo cual se requiere mayor número de recursos para esta aplicación en comparación con la

verificación. De lo anterior es obvio que no puede existir verdaderamente una cara desconocida, pues el sistema no hace inferencias, simplemente ejecuta comparaciones con el fin de encontrar similitudes.

Estos sistemas suelen ser preferidos a otros debido a la poca invasión que requieren para operar. En resumen, toda identificación facial consta de cuatro elementos importantes:

- Detección del rostro: en este paso se localiza la zona de importancia, se debe conocer dónde se encuentra el rostro y las proporciones básicas del mismo.
- Detección de la alineación: localiza las componentes de la cara y normaliza las propiedades de esta, utilizando transformaciones geométricas. Se caracteriza por reconocer elementos como el tamaño, la pose, y la iluminación.
- Extracción de características: en este paso se obtiene la información para diferenciar los rostros de acuerdo a variaciones en las mismas.
- Reconocimiento: es acá donde se hace uso de la mayor cantidad de recursos, el vector obtenido de la muestra se ha de comparar con los vectores en la base de datos. Utilizando un porcentaje como valor umbral se indica si se trata de un rostro conocido o en su defecto si no existen coincidencias con dicha información.

Existen tres métodos principales al implementar un sistema de reconocimiento facial:

- Holísticos: estos métodos reconocen un rostro utilizando toda la imagen facial pues están basados en la correlación. En su forma más simple se utiliza el *template matching*, con el cual se busca un patrón predeterminado. Esta técnica presenta como problema principal el tener que comparar demasiadas características, por lo que su implementación en tiempo real es todo un desafío.
- Locales o geométricos: en esta modalidad se comparan las diversas características geométricas de los rostros. Se puede basar en vectores obtenidos de una vista de perfil o de vectores identificados a través de una vista frontal. Originalmente este tipo de herramienta fue muy utilizada, pero debido a su falta de resultados óptimos ha sido reemplazada por técnicas de mayor fiabilidad.
- Técnicas de modelado 3D: en este grupo se localizan todas las herramientas de reconocimiento facial tridimensional. Para llevar a cabo este tipo de análisis se utilizan imágenes 3D, específicamente obtenidas a través de sensores con este tipo de perspectiva. En gran medida esta técnica se basa en la identificación de la forma de la cara. Algunos de los rasgos característicos a identificar en el modelado 3D son: la barbilla, el contorno de los ojos, la nariz e incluso los pómulos. En gran medida el éxito de esta técnica se debe a que en la misma se conserva información muy detallada respecto a la textura y la profundidad de los elementos del rostro, por lo que no es afectada por los cambios de iluminación y favorece el reconocimiento de rostros en diferentes ángulos.

2.2.3. Identificación a través de reconocimiento de la retina

Como se ha mencionado en el capítulo anterior, la retina es una capa delgada y parcialmente transparente ubicada en la cara interna de la coroides y en contacto con el humor vítreo. Esta superficie cuenta con diversas estructuras:

- **Pápila, o disco óptico:** se conoce bajo esta denominación al punto donde el nervio óptico ingresa al globo ocular a través de la esclerótica, la coroides y finalmente la retina. Visualmente se observa como un disco rosado ubicado en la parte posterior del globo ocular. Sus dimensiones en el ojo humano son aproximadamente de 2 x 1,5 milímetros. Debido a que en ella no existen fotorreceptores se le suele llamar punto ciego.
- **Fóvea:** esta se localiza a unos 2,5 milímetros del borde temporal del disco óptico, se trata de una ligera depresión en la retina. Comparado con las otras componentes de la retina, esta posee un mayor número de células ganglionares distribuidas de forma bastante regular y precisa pues posee solo conos. Se encuentra rodeada por vasos sanguíneos, mas dentro de ella existen únicamente pequeños vasos capilares. En el centro de la fóvea, un área de aproximadamente 0,5 milímetros de diámetro, se puede notar la carencia de vasos capilares, probablemente como un mecanismo del cuerpo para aumentar al máximo la transparencia de la retina.
- **Ora serrata:** este componente es el límite anterior de la retina. Se conocen dos: la ora serrata nasal o medial y la ora serrata lateral o temporal.

Es importante remarcar los componentes de este elemento del ojo, pues son las características descritas anteriormente las responsables de la técnica de identificación a través de la retina. En particular, cabe destacar que la fovea es usualmente un punto de referencia importante, para determinar la posición de la imagen y realizar la extracción de la zona de interés.

Esta técnica se basa en el uso de los patrones observables en los vasos sanguíneos contenidos en la retina. Dichos patrones son únicos para cada ser humano, incluso tratándose de gemelos idénticos. Además, al igual que las huellas dactilares, esta fuente de información biométrica es estable e independiente de factores genéticos, lo que la convierte en una de las mejores técnicas biométricas en entornos de alta seguridad.

Históricamente se sabe que a finales del siglo XIX e inicios del siglo XX, el español, Santiago Ramón y Cajal realizó los primeros estudios histológicos de la retina con el fin de identificar los principales tipos de células que la componen. Si bien en la década de 1930 se tenían hipótesis de que cada ojo humano posee características únicas, fue hasta 1984 que se empezó a emplear la retina como método de identificación. El primer sistema de esta naturaleza estuvo a cargo de la compañía EyeDentify, la cual rápidamente tomó el control de este mercado. Lamentablemente para los seguidores de este método, se ha considerado que el mismo es demasiado invasivo para aplicaciones de bajo riesgo o de uso prolongado. En el escaneo usual el sujeto a identificar debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Eliminar todo elemento frente a sus ojos, esto incluye tanto las gafas de sol como las de corrección de la visión.

- Mantener la mirada en un punto específico, evitando al máximo el parpadear.
- Mantener la cabeza inmóvil durante, aproximadamente, 15 segundos.

Si bien los inconvenientes son bastante graves, este tipo de identificación es extremadamente difícil de falsificar, pues la tecnología actual no permite falsificaciones de retina. Además se debe destacar que la retina de una persona fallecida se descompone rápidamente, por lo que su uso de manera fraudulenta es poco probable.

En lo que respecta a fiabilidad este sistema es probablemente el más seguro disponible de forma comercial. Aplicado de forma adecuada un sistema de esta naturaleza puede presentar una tasa de error menor a 1 en 10 000 000. Para realizar una comparación se puede notar que en un sistema de huellas dactilares de poca fiabilidad se pueden tener tasas de hasta 1 en 500, mientras que en la identificación a través del iris se observan tasas de 1 en 131 000. Claramente aplicado de forma adecuada el escaneo de la retina es un método superior, mas debido a su naturaleza invasiva suele ser poco empleado.

2.2.4. Identificación a través de reconocimiento del iris

Al igual que en la gran mayoría de las técnicas de identificación biométricas expuestas anteriormente, en esta se hace uso del reconocimiento de patrones almacenados previamente en una base de datos. Si bien el reconocimiento del iris presenta similitudes con el escaneo de la retina, estas técnicas difieren en gran medida. La base de la identificación del iris se encuentra en el rápido avance de la fotografía pues al depurar dichas técnicas se ha llegado a comprender que con una adecuada iluminación (generalmente

infrarroja), se reduce el reflejo producido en la córnea a fin de obtener imágenes de las complejas estructuras existentes en el iris. Al sumar estas imágenes de alta calidad con la gran capacidad de procesamiento de los equipos de cómputo modernos se ha logrado obtener una representación matemática del iris, con lo que es posible identificar a un individuo de forma extremadamente fiable.

El éxito de esta técnica se debe en gran medida a su eficacia, aun en presencia de objetos que puedan obstaculizar la imagen de manera predecible, por ejemplo, al emplear gafas o lentes de contacto. Este tipo de propiedades la ha convertido en una de las aplicaciones tecnológicas predilectas pues se trata de un sistema poco invasivo y con un número muy reducido de personas incapaces de utilizarlo. Por si esto fuera poco, el uso de modelos matemáticos simplificados, le permite una velocidad de comparación tan alta que puede ser empleado en un grupo numeroso de personas sin temor a presentar grandes demoras.

Al igual que en el caso de las huellas dactilares y la retina, el patrón del iris es estable a lo largo de la vida de la mayoría de sujetos. Si bien puede existir trauma capaz de limitar la aplicación de esta técnica, se trata de un número reducido de usuarios, especialmente por la importancia de este órgano. Para aplicar con éxito este método se requiere lo siguiente:

- Capturar la imagen del sujeto a identificar
- Realizar el preprocesamiento de dicha imagen
- Extraer la zona de interés
- Localizar el centro y el radio de la pupila

- Localizar el centro y el radio del iris
- Realizar el preprocesamiento de imágenes para la codificación
- Realizar el estiramiento de histograma
- Incrementar el contraste de la imagen resultante
- Transformar la imagen para utilizar coordenadas polares
- Aplicar un algoritmo de codificación
- Caracterizar las imágenes mediante wavelets
- Aplicar un algoritmo de verificación

A simple vista, este método es más complejo que los anteriores, en particular debido a la dificultad de modelar matemáticamente las imágenes, mas esto no es un impedimento actualmente, si se hace uso adecuado tanto del hardware disponible como del software matemático.

Entre los pioneros de estas aplicaciones se destaca al físico John G. Daugman, del Laboratorio Informático de la Universidad de Cambridge, quien desarrolló los procesos de creación de algoritmos de reconocimiento necesarios para la primera aplicación comercial de estos dispositivos. Estos procesos se emplearon en la primera versión de IrisAccess diseñado y fabricado por LG Electronics. Si bien los algoritmos del profesor Daugman son la base de la mayoría de sistemas actuales, existen otras técnicas similares como la de Comparación de histogramas o la de Análisis de texturas.

2.3. Ventajas y desventajas

El uso de técnicas biométricas para la identificación de sujetos presenta un gran número de ventajas, sin embargo esto no implica que se encuentre libre de falta alguna. Es por lo anterior que se debe analizar ampliamente si este tipo de sistemas presentan beneficios que los vuelvan aceptables, aun conociendo sus posibles defectos. En el análisis siguiente se considera ante todo la identificación biométrica a través del iris, objeto de este trabajo.

2.3.1. Ventajas

- En la mayoría de sistemas biométricos se ha seleccionado un órgano interno, por lo que existe gran protección ante daños y desgaste. En el caso del iris, a través de la córnea.
- En todo sistema biométrico se ha considerado el alto nivel de aleatoriedad en la característica a reconocer. El iris permite 266 grados de libertad, los cuales se codifican con una densidad de hasta 3,4 bits por milímetro cuadrado de tejido, por lo que la probabilidad de encontrar dos imágenes iguales en distintos sujetos es en esencia nula.
- Se han seleccionado características u objetos con formas regulares. El iris es particularmente eficaz debido a su configuración geométrica simple y poco variable. La variación más grande en el iris se debe al diámetro de la pupila, mas con un control adecuado en la iluminación este efecto se minimiza.
- En las aplicaciones descritas, el análisis de la textura puede agregar datos para obtener una identificación más confiable. En el caso del iris se ha determinado que este posee una textura fina y tan aleatoria que,

incluso dos ojos provenientes de un mismo sujeto poseen patrones distintos.

- La mayoría de sistemas biométricos son poco invasivos, siendo la identificación a través del iris uno de los que menor invasión presentan. Utilizando el equipo adecuado es posible emplear esta técnica a distancias superiores a los diez metros, sin que esto implique pérdidas de fiabilidad.
- Empleando los sistemas de cómputo actuales, el tiempo necesario para realizar una identificación exitosa es mínimo

2.3.2. Desventajas

- La mayoría de sistemas biométricos que se han mencionado son incompatibles. Si se considera que las bases de datos policíacas suelen poseer información, únicamente de huellas dactilares, el uso del iris implicaría la necesidad de invertir tiempo y recursos en la ampliación de las mismas.
- Si bien los sistemas biométricos han mejorado considerablemente en el aspecto de evitar las molestias al usuario, de contar con la colaboración del mismo, estos son difíciles de emplear. Por la naturaleza del presente trabajo este es un factor de vital importancia y una posible limitante al emplear el sistema.
- El equipo a emplear puede ser costoso o presentar altas tasas de fallos. Particularmente en los sistemas basados en cámaras e identificación de patrones a través de imágenes como el escaneo de la córnea o el iris, este suele ser un punto a considerar.

3. FUNDAMENTOS DEL SISTEMA

En este apartado se describen todos los elementos necesarios en el diseño de un sistema de identificación biométrico a través del iris.

3.1. Generalidades

Para llevar a cabo de forma exitosa una identificación biométrica a través del reconocimiento del iris, se puede hacer uso de cualquiera de los algoritmos anteriormente mencionados, sin embargo para propósito de este trabajo se ha empleado en gran medida el sistema propuesto por el profesor Daugman. Se ha optado por este sistema debido a la gran cantidad de documentación respecto al mismo, como por su fiabilidad al identificar a seres humanos.

A continuación se describen en detalle los pasos de este proceso, como algunas de las prácticas más comunes en sistemas de esta naturaleza.

3.2. Adquisición de imágenes

Debido a que este sistema requiere una imagen fotográfica para su implementación, es de vital importancia el considerar la forma de adquirir dicha información. Para obtener una imagen adecuada se debe contar con el sensor apropiado, en este caso una cámara, de preferencia digital pues esto evitará el uso de dispositivos adicionales al procesar la imagen.

3.2.1. Cámara

En la antigüedad, el mecanismo interno de una cámara era en esencia el de un proyector de imágenes, originalmente no había posibilidad de guardar la imagen a menos que esta se trazara de forma manual. Las cámaras actuales por el contrario, pueden almacenar estas imágenes para luego extraerlas en distintos formatos, tanto impresos como digitales. Distintas cámaras suelen presentar distintos niveles de sensibilidad, por lo que es importante determinar las características del dispositivo con base en su función previo a adquirirlo.

Si bien en esencia se busca que una cámara responda al espectro visible, no todas las aplicaciones de estos dispositivos funcionan adecuadamente al operar en dicho espectro. Existen cámaras capaces de operar en otras porciones del espectro electromagnético, siendo su uso principal el de capturar imágenes que se encuentran fuera del espectro visual del humano promedio.

Todo dispositivo con la capacidad de capturar imágenes consta, generalmente de una cámara oscura cerrada, con una abertura en uno de los extremos para que pueda entrar la luz, y una superficie plana de formación de la imagen o de visualización en la cual se ha de capturar la luz. En la mayoría de los casos, una cámara contará, además, con una lente justo en la entrada de esta abertura para controlar la cantidad de luz entrante y para garantizar el enfoque en la imagen, o parte de la misma a retratar. El diámetro de la abertura que permite el ingreso de luz suele ser variable, aunque algunas cámaras de menores prestaciones presentan una única abertura fija.

Una cámara digital cumple con las mismas funciones que una fotográfica, pero en lugar de captar y almacenar fotografías en películas químicas, hace uso del almacenamiento digital de datos para conservarlas. Las cámaras digitales

modernas, generalmente poseen otras funciones, además de la capacidad de obtener imágenes, son capaces de grabar sonido e incluso video.

Previo a la aparición de la cámara digital propiamente, se desarrollaron cámaras analógicas de prestaciones similares, pero con cualidades más bien similares a una cámara de video. En esencia, una verdadera cámara digital difiere de estos modelos pues almacena la imagen en un archivo capaz de ser interpretado por un computador, es decir, un archivo que contiene ceros y unos únicamente.

3.2.2. Resolución

Si bien la adquisición de imágenes depende de un amplio número de factores, probablemente el más utilizado al momento de realizar comparaciones es la resolución. Al tratar con imágenes digitales, usualmente almacenadas como mapa de bits, se conoce como resolución de la imagen al número de puntos (píxeles) total de la misma. Este parámetro se suele describir mediante dos números enteros, siendo el primero la cantidad de columnas de píxeles y el segundo la cantidad de filas de píxeles. Al multiplicar estos parámetros es posible conocer la resolución con la que fue adquirida dicha imagen, usualmente este parámetro se encuentra en el orden de los megapíxeles.

En una cámara fotográfica digital este parámetro se encuentra limitado por el sensor de la cámara (frecuentemente CCD o sensor CMOS), el cual responde a las señales de luz. Si bien existen diversos sensores, sin importar el tipo, este se compone de millones de cubos en los que se carga una respuesta a la luz.

Estos cubos responden, solamente a un rango de longitudes de onda, por lo que es común que exista un filtro del color sobre cada uno de estos pequeños receptores. Como se ha mencionado anteriormente, a cada uno de estos cubos se le conoce como píxel y son utilizados en conjunto con un algoritmo que lo interpola para unir la imagen de cada longitud de onda por píxel. En el caso de una imagen recolectada bajo los algoritmos RGB se toman tres imágenes por píxel, con lo que se logra representar un color completamente distinto a los tres colores utilizados en su composición.

A continuación, en la figura 2, se puede apreciar el efecto que tiene la resolución en una imagen:

Figura 2. **Efecto de la resolución en una imagen**



Fuente: http://www.desarrolloweb.com/articulos/images/disenio/8/resolucion_1.jpg. Consulta: 04 de agosto de 2012

Los sensores del tipo CCD transportan una variación de voltaje a través del circuito hasta llegar a un convertidor analógico-digital. Dicho convertidor transforma el valor de cada uno de los píxeles en un valor digital para luego

codificarlo. Dependiendo del número de bits utilizado por el convertidor se obtendrá una imagen con mayor o menor calidad. Si bien a mayor número de bits se obtiene mejor resolución y por tanto mayor calidad, no se debe descartar la limitante impuesta por la sensibilidad que pueda proporcionar el sensor.

Por otro lado, los sensores del tipo CMOS presentan varios transistores por cada píxel. En este sensor, el proceso de conversión analógico-digital se produce en la propia estructura del sensor, lo que evita el uso de un dispositivo externo. El proceso de fabricación de este sensor es más sencillo, por lo que generalmente se encuentra en cámaras de bajo costo. Finalmente, es importante resaltar que la cantidad de píxeles determinará el tamaño de la imagen. De acuerdo a expertos en el ámbito de la fotografía, una fotografía química realizada por una cámara compacta es capaz de brindar como resultado una fotografía de hasta treinta mega píxeles.

3.2.3. Iluminación

En este tipo de aplicaciones, la iluminación es un parámetro que no debe descuidarse, fallos en la iluminación pueden generar errores en una identificación. Para identificar a un sujeto utilizando una imagen del iris es necesario ver los patrones que este pueda poseer, por lo que la iluminación deberá evitar reflejos excesivos, como es el caso del famoso error de ojos rojos al obtener una imagen.

Debido a que los sujetos de esta investigación pertenecen a la especie canina, se debe tomar en consideración la presencia del *Tapetum lucidum* en el órgano ocular. Esta capa situada en la parte posterior del ojo sirve para incrementar la cantidad de luz que el ojo puede adquirir, mejorando la visión nocturna de manera considerable. Lamentablemente, para el propósito de esta

investigación, este componente resulta en incertezas respecto a la iluminación adecuada. Si bien es considerado que se requieren al menos 3 lux para distinguir adecuadamente los colores, debido a este elemento extra en la visión canina es mejor evitar la iluminación adicional de ser posible. Vale la pena destacar que si bien la coloración en los ojos de un individuo parece una buena manera de distinguirlo, este no es un buen indicador en este sistema en particular, pues no todos los sensores interpretan los colores de la misma manera.

3.3. Preprocesamiento inicial

El preprocesamiento inicial se encarga de preparar la imagen a fin de facilitar el siguiente paso, el cual consiste en la extracción de la zona de interés. En este punto no se trata de simplificar la información, comprimirla o mejorar su formato para realizar las comparaciones con la base de datos de manera eficiente.

Debido a que este es el primer paso en el procesamiento de la imagen se debe comprobar que la imagen se encuentra en el formato adecuado previo a aplicar el preprocesamiento. Para aplicar este proceso, la imagen debe encontrarse en el formato de escala de grises. De no ser así deberá convertirse a dicho formato previo a continuar con el algoritmo correspondiente.

Finalmente, en este punto se asume que la imagen utilizada consta únicamente del ojo a identificar, en caso contrario esto podría causar fallos en el sistema como carga innecesaria en el servidor al tratar de identificar una imagen carente de sentido.

3.3.1. Filtro de mediana

El filtro de mediana es uno de los muchos filtros digitales existentes, además de ser uno de los más comunes es fácilmente implementado. Este filtro se categoriza como paso-bajo o de suavizado y es utilizados para eliminar ruido o detalles demasiado pequeños y de poco interés. Su algoritmo es bastante sencillo:

- Se consideran los 8 píxeles que rodean al píxel de interés
- Utilizando el valor numérico de los 8 píxeles se obtiene la mediana
- Se sustituye el píxel de interés por el valor de la mediana

En este sistema es importante aplicar un filtro de mediana con el fin de remarcar los bordes de las pestañas, párpados, pupila e iris.

3.3.2. Binarización

Para extraer de forma adecuada la zona de interés (aro conformado por el iris), se necesita determinar la posición de los elementos más notorios dentro de la imagen del ojo. Para cumplir con dicho objetivo se ejecutará la binarización de la imagen pasando del formato de escala de grises a una imagen en blanco y negro.

En primer lugar, se debe obtener el histograma de la imagen, es decir, la frecuencia con la que aparecen los distintos valores de color gris en la imagen. A continuación se notará que existe un pico muy marcado en un valor bajo, este

debe ser el valor de la pupila, pues su coloración es bastante oscura, al punto de ser representada por el color negro en la mayoría de cámaras.

Finalmente, utilizando un valor que permita a la pupila el permanecer en la nueva imagen a blanco y negro, se realizará la binarización de la imagen. Al observar la imagen se notará que aún existen pequeños trozos de otros componentes, como también puede existir daño en la representación de la pupila por efecto de reflejos. Si bien estos son contratiempos para el algoritmo, se corregirán sin mayores consecuencias en los pasos siguientes.

3.3.3. Etiquetado

Este es el paso final del preprocesamiento inicial y consiste en determinar puntos de interés para una correcta extracción de la zona de interés. El etiquetado es la distinción final de la pupila de entre los trozos sobrantes que han podido aparecer luego de la conversión de la imagen al formato blanco y negro. Luego de eliminar estas anomalías, el resultado ideal es la imagen de la pupila en color negro sobre un fondo blanco.

Para garantizar que la imagen es válida se recomienda comprobar que el trozo etiquetado como pupila sea el de mayor tamaño. Como garantía adicional se puede comprobar que esta pupila cumpla con un porcentaje de la imagen original, garantizando así que existe en la imagen la información necesaria para la identificación o denegando el seguimiento al proceso si esta presenta un tamaño insuficiente, con el fin de evitar la carga excesiva en el servidor que analizará los datos.

3.4. Extracción de la zona de interés

Al completar perfectamente el preprocesamiento, la extracción de la zona de interés no presenta un reto demasiado complejo, mas con el fin de garantizar, que aun obteniendo un preprocesado imperfecto, se realice una identificación exitosa se deben considerar ciertos factores. Entre todos los fallos y factores que pueden afectar la imagen que se ha obtenido, probablemente la mejor aclaración es que a pesar de parecer concéntricos, la pupila y el iris presentan centros en puntos diferentes. Ante esta aclaración es obvio que se debe analizar tanto a la pupila como al iris de forma extensiva, con el fin de evitar la pérdida de valiosos datos al interpretar la imagen.

3.4.1. Detección del centro y del radio de la pupila

Con el fin de identificar la posición exacta de la pupila, se necesita emplear un algoritmo de detección de círculos. Utilizando matemática vectorial se localizan los vectores gradientes del círculo que cumplan con ser paralelos al borde de la imagen y tener una separación de 180 grados. Luego de determinar todos los vectores que cumplen este criterio se considera un círculo candidato por cada par de vectores y se determina el correcto mediante el almacenamiento de las coordenadas del centro y radio uno.

Al identificar el círculo que compone la pupila, sus coordenadas de centro y el valor de su radio es posible perfeccionar la imagen obtenida en el preprocesamiento. La finalización adecuada de este paso debería proveer una imagen con el círculo de la pupila en color negro sobre un fondo blanco.

3.4.2. Detección del centro y del radio del iris

Es en este paso donde, verdaderamente se extrae la información a emplear en la identificación, separando el aro que forma el iris alrededor de la pupila. En primer lugar se aplica un estiramiento de histograma en la imagen en escala de grises original, con el fin de identificar con mayor claridad los bordes del iris. Posteriormente se aplican filtros de mediana para obtener regiones más uniformes y finalmente, el filtro de Canny que resaltará el borde externo del iris.

Utilizando la información del paso anterior respecto a la pupila se considerará que esta es concéntrica con el iris, sin embargo, esto es aplicable solamente en el eje vertical. Con el fin de determinar el verdadero centro del iris se debe determinar la coordenada y restante, por lo que esta se calcula con base al radio que se ha determinado al aclarar los bordes de la imagen según el párrafo anterior.

Finalmente, se traza una circunferencia de color blanco sobre un fondo negro sobre la cual se plasmará el iris extraído. Se ejecuta una operación AND entre esta imagen, la imagen original en escala de grises y la imagen de la pupila perfeccionada en el paso anterior. Al completar adecuadamente este proceso, se obtiene un pequeño aro con toda la información necesaria para identificar al sujeto, sin embargo, es necesario procesar esta información previamente.

3.5. Preprocesamiento para codificación

A diferencia del preprocesamiento inicial, en este paso se trabaja con la información contenida dentro del iris obtenido con el fin de optimizarla de acuerdo a la codificación que se le aplicará. En términos simples, se trata de

resaltar los detalles importantes y eliminar la información que no será utilizada para garantizar la optimización del proceso.

3.5.1. Estiramiento del histograma

Al igual que en pasos anteriores, el estiramiento del histograma puede resaltar detalles que a simple vista podrían pasar desapercibidos. Esta técnica consiste en tomar el histograma correspondiente a los píxeles de la imagen del iris y luego de determinar el punto en el que se encuentran centrados los mismos (usualmente un valor entre 80 y 150). Posteriormente se utiliza el resto de las bandas disponibles en el histograma para clarificar detalles en los patrones del iris. Es decir, que si bien se comienza con una imagen cuyo histograma muestra que los detalles se encuentran entre el rango de valores de 80 a 150, se puede terminar con una imagen cuyos detalles se encuentran en todo el rango de valores disponibles (de 1 a 255).

3.5.2. Incremento del contraste

Al emplear el estiramiento de histograma se obtendrá una imagen mejor distribuida, sin embargo, los rasgos importantes pueden no verse acentuados de forma adecuada. Con el fin de remediar la falta de atención en los detalles se ha de incrementar el contraste de los patrones localizados en el iris. Para determinar cuáles puntos deben acentuarse, es necesario determinar un rango del intervalo, tal y como se hizo en el paso anterior, ajustar el incremento de contraste para afectar únicamente los puntos en el intervalo de interés.

3.5.3. Conversión a coordenadas polares

La información presente en el iris ha sido resaltada en los pasos anteriores, sin embargo, esta no se encuentra sistematizada. Si bien se cuenta con una gran cantidad de información representada en forma de píxeles en una imagen digital, se debe establecer un sistema de coordenadas que permita extraer las características principales de los patrones en el iris. Para cumplir con este propósito se utiliza, frecuentemente, el sistema de coordenadas polares, específicamente debido a la capacidad del mismo para almacenar gran cantidad de información en vectores de poca extensión. El punto de este paso es obtener una representación matemática fiable del iris.

Para definir un punto del plano que posee coordenadas rectangulares (x,y) , se puede realizar una transformación a coordenadas polares en las que se describiría el punto r como:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

(Derivado de la aplicación del Teorema de Pitágoras)

Para determinar la coordenada angular θ , se deben distinguir dos casos:

- Para $r = 0$, el ángulo θ puede tomar cualquier valor real.
- Para $r \neq 0$, para obtener un único valor de θ , debe limitarse a un intervalo de tamaño 2π . Por convención, los intervalos utilizados son $[0, 2\pi)$ y $(-\pi, \pi]$.

Para obtener θ en el intervalo $[0, 2\pi)$, se deben emplear las siguientes fórmulas (**arctan** denota la inversa de la función tangente):

$$\theta = \begin{cases} \arctan\left(\frac{y}{x}\right) & \text{si } x > 0 \text{ y } y \geq 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) + 2\pi & \text{si } x > 0 \text{ y } y < 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) + \pi & \text{si } x < 0 \\ \frac{\pi}{2} & \text{si } x = 0 \text{ y } y > 0 \\ \frac{3\pi}{2} & \text{si } x = 0 \text{ y } y < 0 \end{cases}$$

Para obtener θ en el intervalo $(-\pi, \pi]$, se deben emplear las siguientes fórmulas:

$$\theta = \begin{cases} 2 \arctan\left(\frac{y}{x+|z|}\right) & \text{si } x \notin \mathbb{R}^- \\ \pi & \text{si } x \in \mathbb{R}^- \end{cases}$$

$$\theta = \begin{cases} \arctan\left(\frac{y}{x}\right) & \text{si } x > 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) + \pi & \text{si } x < 0 \text{ y } y \geq 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) - \pi & \text{si } x < 0 \text{ y } y < 0 \\ \frac{\pi}{2} & \text{si } x = 0 \text{ y } y > 0 \\ -\frac{\pi}{2} & \text{si } x = 0 \text{ y } y < 0 \end{cases}$$

3.6. Codificación

Si bien el acceso a la información ha sido mejorado en la fase anterior, aún existe gran dificultad para sistematizar la misma y obtener resultados de manera eficiente. Con el fin de optimizar el proceso de comparación de la imagen a identificar con el resto de la base de datos, se necesita emplear uno o múltiples procesos de codificación.

3.6.1. Transformada de Fourier

Esta transformada, es en esencia una técnica empleada para obtener el espectro de frecuencias de una función. Consiste en un algoritmo capaz de descomponer una serie de datos en las distintas componentes en frecuencias que la componen. La transformada de Fourier realiza un recuento de todas las frecuencias contenidas en todo momento de existencia de la señal, razón por la cual su uso es de vital importancia en el análisis espectral.

Entre los usos de esta transformada se encuentran:

- Pasar al dominio de la frecuencia una señal ubicada en el dominio del tiempo.
- Determinar sobre qué ancho de banda se concentra la energía de una señal.
- Resolución de ecuaciones diferenciales con mayor facilidad al conocer la densidad espectral del sistema y la entrada, con lo que se infiere la densidad espectral de la salida.

- Finalmente, en el ámbito del tratamiento digital de imágenes es empleada para mejorar o definir más ciertas zonas de una imagen digital.

En el sentido más formal, esta transformada puede definirse a través de la integral:

$$\mathcal{F}\{f\} : \xi \mapsto \hat{f}(\xi) := \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-2\pi i \xi x} dx,$$

Sin embargo, debido a la naturaleza discreta de los datos con los que se realiza esta investigación es de vital importancia considerar la transformada correspondiente, la cual se conoce como Transformada de Fourier Discreta y se define a través de la siguiente sumatoria:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N} kn} \quad k = 0, \dots, N - 1$$

Al emplear esta transformada sobre una serie de datos, se obtendrá un efecto similar al de la transformada continua, sin embargo, este procedimiento es mucho más eficiente en una computadora que el anterior.

3.6.2. Transformada de Wavelet

Conocida también como transformada de ondícula, la transformada wavelet es un tipo especial de transformada de Fourier con la capacidad de representar una señal en empleando versiones trasladadas y dilatadas de una onda finita conocida como óndula madre. En términos más simples, esta transformación es el resultado de una transformada de Fourier que adopta una forma de onda distinta a la sinusoidal como base para representar mediante su manipulación a otra onda.

Toda transformación de ondícula se considera una representación de tiempo-frecuencia por lo que son comunes en el análisis armónico. Es por lo anterior que una segunda interpretación de esta transformada puede realizarse al considerarla como un filtro de gran complejidad. Esta herramienta responde al principio de incertidumbre de Hilbert, también conocido como principio de incertidumbre de Heisenberg, por lo cual el producto de las dispersiones obtenidas en el espacio directo y en el de las frecuencias no puede ser más pequeño que una cierta constante geométrica.

Al igual que la transformada de Fourier, esta transformada puede emplearse con el fin de codificar una señal digital. Debido a que existen versiones discretas y continuas de esta transformada, sus aplicaciones incluyen la ingeniería e informática como la física. Se ha preferido a otras transformadas por su simplificación de sistemas complejos, con lo que presenta ventajas en el análisis de señales tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia.

Empleando las formas de ondícula adecuadas se ha conseguido tanto un sistema de identificación biométrico confiable como eficiente al momento de emplear los recursos de computación. La codificación es la herramienta base sobre la cual se ha trabajado con el fin de optimizar el uso de recursos y evitar la necesidad de dispositivos especiales al momento de realizar comparaciones entre los iris de los distintos sujetos.

3.7. Verificación

El algoritmo descrito previamente debe emplearse en cada muestra a ingresar en la base de datos, al igual que con la muestra a comparar con los sujetos de la misma. La verificación es, como su nombre lo indica, una

comparación de la plantilla del individuo a identificar con la de los sujetos presentes en la base de datos. Si bien las etapas de preprocesado y de extracción de características presentan una carga computacional elevada este proceso realiza cálculos tan sencillos que a menudo se consideran despreciables.

El profesor Daugman propone realizar el proceso de discriminación empleando coeficientes positivos y negativos, asignando un +1 a los positivos (o indeterminados) y un 0 a los negativos. A la secuencia de bits obtenida de este análisis se le aplica una distancia de Hamming, para obtener la distancia presente en el patrón previamente almacenado y la muestra a identificar.

3.7.1. Distancia de Hamming

Como se ha mencionado previamente, la Distancia de Hamming es la herramienta principal en el proceso de verificación. En lo concerniente a la teoría de la información, se conoce bajo este nombre a la efectividad de los códigos de bloque, estableciendo una medida dependiente de la diferencia entre una palabra de código válida y otra. Analizando este parámetro se ha establecido que cuanto mayor sea dicha diferencia, menor es la posibilidad de que un código válido presente errores que lo conviertan en un código inválido.

Esta medida establece la cantidad de bits en los que se encuentran diferencias al realizar una operación XOR entre los vectores a los que se aplica. En el ámbito de la identificación en humanos a través del iris se ha establecido que se tiene una imagen del mismo ojo al determinar más de veinte coincidencias entre la información de la base de datos y la imagen del sujeto.

4. DISEÑO DEL SISTEMA

En este apartado se realiza un análisis detallado de los elementos que componen el sistema.

4.1. Generalidades

La identificación biométrica a través del reconocimiento del iris hace uso de un algoritmo bien definido, mas este puede presentar ligeras variaciones, en particular al ser adaptado para su uso en distintas especies. A continuación se describen en detalle los pasos del algoritmo empleado en la presente investigación para utilizar este sistema en la especie canina.

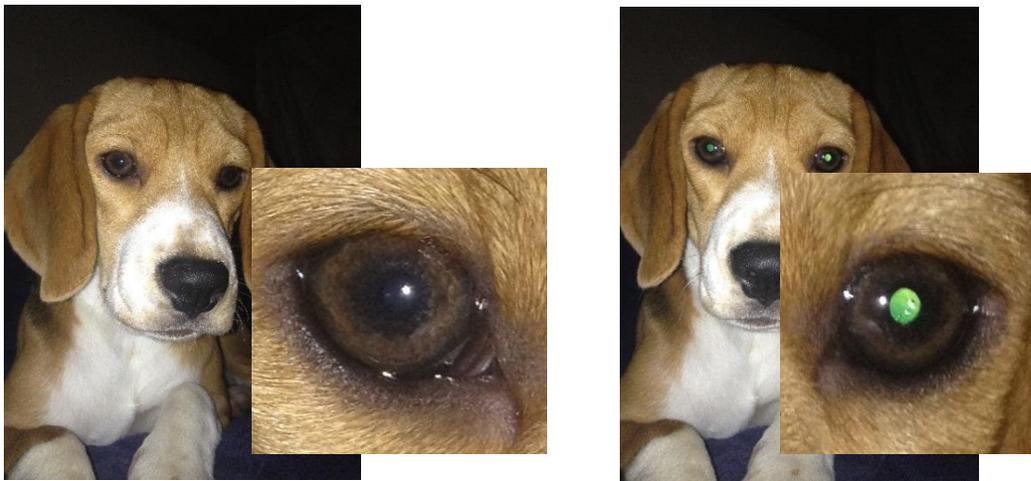
4.2. Adquisición de imágenes

Con el fin de facilitar el uso de este sistema a un gran número de usuarios se ha optado por no utilizar equipo profesional de fotografía para la adquisición de imágenes. Considerando el acceso tecnológico promedio se ha empleado una cámara integradas dentro de un dispositivo celular. El dispositivo empleado para realizar las pruebas de este algoritmo fue el iPhone 4S: cámara de 8 megapíxeles (3 264 x 2 448), autoenfoco y *flash*.

Todas las imágenes de este dispositivo se obtuvieron con una cámara diseñada para ser sensible al espectro visible de la luz, por lo que se ha optado por alterar las imágenes y no el lente de la cámara con el fin de obtener una imagen precisa de los patrones presentes en el iris. Además, se realizaron

pruebas empleando iluminación común en interiores como el flash disponible en el dispositivo. A continuación se observa la diferencia entre estas:

Figura 3. **Comparación en el nivel de iluminación**



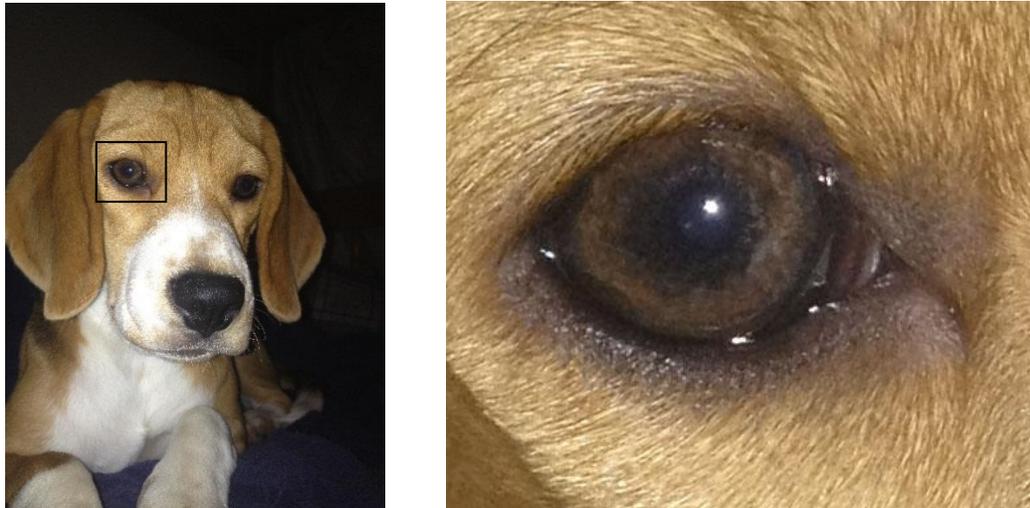
Fuente: Veterinaria Azurdia, fotografía de Yoshi.

A simple vista la diferencia entre estas imágenes no parece significativa pero es sencillo notar que el reflejo del flash sobre el *Tapetum lucidum* de los ojos caninos conduce a un efecto similar al de ojos rojos. El pequeño reflejo se encuentra presente en ambas imágenes, mas solamente en la segunda (imagen empleando el *flash*) ocasiona la pérdida de enfoque en la región de interés.

Si bien la cámara empleada permite obtener imágenes de gran tamaño, es importante notar que las imágenes del ojo suelen poseer un tamaño menor. Es particularmente difícil obtener una imagen enfocada adecuadamente en el iris y de buen tamaño, sobre todo por no contar con la colaboración activa del sujeto de pruebas. A continuación se observa una de las imágenes capturadas y el

área empleada de la misma para el análisis. En esta imagen se observará que deben hacerse correcciones a la rotación del ojo con el fin de tener un eje horizontal ubicado de forma adecuada. De no efectuarse esta rotación, la falta de una referencia significativa ocasionaría problemas al determinar la ubicación del párpado e incluso el ángulo a utilizar de la zona de interés (iris) en el ojo.

Figura 4. **Área empleada de una imagen**



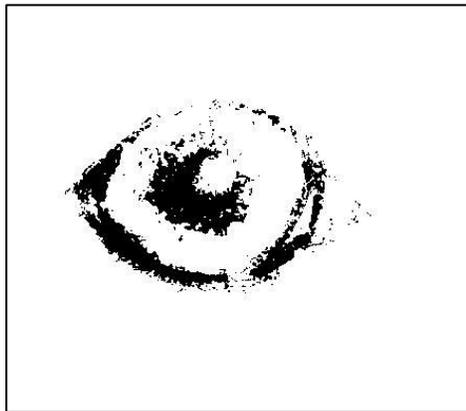
Fuente: Veterinaria Azurdia, fotografía de Yoshi.

4.3. Preprocesamiento inicial

Tal y como se expresa en el capítulo anterior, se utilizó la fase de preprocesamiento para realizar la comprobación inicial respecto a la imagen a utilizar. En este caso debido al uso de imágenes a color, se realizaron conversiones para obtener una imagen en escala de grises. En el preprocesamiento típico, se debería de aplicar un filtro de mediana, eliminando detalles innecesarios para luego transformar la imagen al formato binario

(blanco y negro), con lo que la extracción de la zona de interés sería relativamente simple. A continuación se observa un ejemplo de esta conversión:

Figura 5. **Conversión a escala binaria (blanco y negro)**



Fuente: elaboración propia.

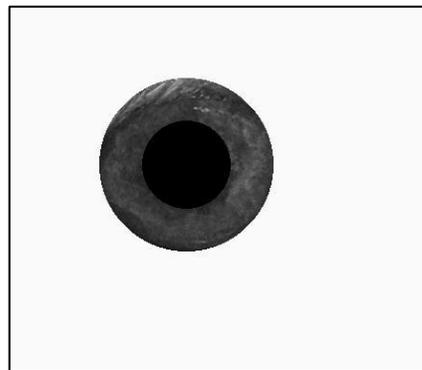
Al realizar esta conversión en repetidas ocasiones se determinó que el uso de un valor umbral estático era inadecuado y el uso de un valor dinámico comprometía gran parte de la información contenida en la imagen. Esto debido a dos de las diferencias más significativas entre el ojo humano y el ojo canino: el tono de la piel alrededor de este y las proporciones tanto de la pupila como del iris en relación con la esclerótica.

Considerando dicha situación, se optó por realizar la conversión a escala de grises, al igual que la rotación de la imagen para obtener un eje horizontal adecuado.

4.4. Extracción de la zona de interés

Debido a que el pre-procesamiento no fue realizado de forma genérica no existe una forma simple de obtener la zona de interés. Con este fin se optó por solicitar información adicional al usuario, en particular: el centro aproximado de la imagen, un punto tangencial a la circunferencia de la pupila y un punto tangencial a la circunferencia del iris. Si bien esto hace que el proceso no sea del todo automático, también hace que el mismo sea mucho más veloz. Tanto el consumo de recursos en el procesador como el consumo de memoria se ven reducidos y siempre que el error inducido por el usuario se mantenga dentro de los límites tolerables no existe razón para afirmar que la identificación se verá afectada. A continuación se observa una imagen en la cual se ha extraído la zona de interés aplicando una máscara construida con círculos de acuerdo a la información suministrada gráficamente por el usuario:

Figura 6. Extracción de la zona de interés



Fuente: elaboración propia.

4.5. Preprocesamiento para codificación

En este punto se ha localizado enteramente el iris, mas emplearlo por completo generaría demasiada información y ocasionaría retrasos significativos. Al igual que en el caso de los ojos humanos, en su mayoría, las imágenes en este punto se verán corrompidas por parte del párpado. Es por ello que se optó por seleccionar únicamente la franja correspondiente a quince grados sobre el eje horizontal y treinta grados por debajo del mismo. Finalmente, se realizó una transformación a esta región simplificando su forma a la de un cuadrado de 60 píxeles de lado. Si bien la imagen parece ser de carácter binario, esta permanece en la escala de grises y posee una gran cantidad de información la cual ha sido comprimida para su adecuada codificación. La imagen de la figura 7 demuestra este concepto:

Figura 7. **Imagen transformada**



Fuente: elaboración propia

La transformación de puntos empleada en este algoritmo se ha realizado adaptando el Proyecto de Reconocimiento de Iris de Rosario Almeyda y Pablo Lucerna tal y como se describe en el paper: Iris Recognition with Low Template Size. Esta transformación consiste en aplicar la siguiente igualdad a cada punto de la imagen:

$$Im_{nueva}(x,y) = Im_{original}(x_0 + r\cos\theta, y_0 + r\sin\theta)$$

Por lo que:

$$r = r_i + (y - 1) \Delta r \quad \forall x \in \mathbb{N}: x \leq (r_e - r_i) / \Delta r$$
$$\theta = -\pi/6 + (x - 1) \Delta \theta \quad \forall y \in \mathbb{N}: y \leq (3\pi / 12) / \Delta \theta$$

Donde:

- (x,y) = centro el de la pupila
- Δr = incremento de la variable radio en la imagen original
- $\Delta \theta$ = incremento de la fase en la imagen original

4.6. Codificación

La imagen transformada presenta grandes ventajas pero esta aún es demasiado difícil de emplear al manejar grandes cantidades de información. El codificar la imagen permitirá que la información contenida en ella sea mucho más accesible. Por lo anterior, se codifica la imagen empleando la transformada de Fourier, tal y como se ilustra en la figura 8:

Figura 8. **Imagen codificada a través de la transformada de Fourier**



Fuente: elaboración propia.

Los coeficientes de la transformada de Fourier simplifican la comparación con otras imágenes, sin embargo, aún existen demasiados puntos para realizar una comparación efectiva ($65 * 65 = 4\ 225$ puntos). El siguiente paso fue la selección de zonas tangenciales y radiales con las cuales se representó esta imagen. La imagen es cortada en un determinado número de regiones y cada región se representa a través de la media de los valores presentes en los puntos de la misma.

De acuerdo a los resultados de investigaciones anteriores se emplearon ocho regiones radiales y siete regiones tangenciales. Al calcular la media de cada una de estas regiones, se obtuvo una serie de números imaginarios muchos más manejable ($7 * 8 = 56$ puntos). Estos puntos se ubican en un vector que ocupará una columna dentro de la matriz utilizada en la identificación de múltiples sujetos.

De nuevo, la codificación empleada en este algoritmo se realizó adaptando parte del código del Proyecto de Reconocimiento de Iris de Rosario Almeyda y Pablo Lucerna tal y como se describe en Iris Recognition with Low Template Size.

4.7. Verificación

El uso de técnicas biométricas para la verificación de una identidad implica que el proceso debe ser tan rápido como sea posible, por lo tanto la verificación debe ser extremadamente sencilla. Al construir una base de datos dentro de la cual ubicar a cada sujeto se coloca en cada columna un vector con la codificación del paso anterior para cada uno de ellos.

De acuerdo a diversas investigaciones en este ámbito, si existen más de veinte de estos puntos con las suficientes similitudes se contará con una identificación positiva. Si bien esta cantidad de puntos es menor a la mitad de los disponibles en el vector de cada sujeto, es importante destacar que la probabilidad de que esto ocurra sin que haya ningún tipo de relación entre los sujetos es tan baja que usualmente es descartada.

Como parte de los objetivos de esta investigación, fue de especial importancia determinar el mínimo de similitudes necesarias para considerar un ojo igual a otro. Este tipo de comparación difiere de la usual en la cual un sujeto se compara con una base de datos, pues en este caso no se buscará el vector más parecido. Para efecto de esta comparación se notó el porcentaje de similitud punto a punto de dos vectores únicamente.

5. ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN DEL SISTEMA

5.1. Generalidades

En capítulos anteriores se ha detallado la teoría de un sistema de identificación biométrica como las especificaciones del sistema propuesto, por lo que en este capítulo se abordará la eficacia del mismo. Debido a que la función principal de este diseño es identificar a los sujetos, se cuestionará la validez del método, como la posibilidad de escalar el mismo a grandes dimensiones.

5.2. Análisis estadístico de las características del sistema

Si bien el sistema en este trabajo posee grandes ventajas frente a sistemas similares, no se trata de un sistema perfecto. Desde el punto de vista estadístico, la capacidad de este sistema para identificar a un individuo depende en gran medida de la cantidad de variaciones posibles en la muestra empleada. De lo anterior se deriva la importancia de la resolución de la imagen, considerando que la imagen transformada es de 60 x 60 píxeles se requiere una resolución mínima de 0,0036 megapíxeles únicamente para el iris. Al estimar que en una imagen común esta área corresponde a menos de la centésima parte de la misma se determina un estimado más realista de dicha resolución mínima como lo es 0,36 megapíxeles. La resolución necesaria no parece demasiado alta, por lo que es importante recalcar que la calidad del sistema puede verse afectada tanto por la resolución como por la óptica empleada al capturar las imágenes.

Aun considerando el tamaño tan reducido de la matriz empleada para la transformación de puntos en el sistema se puede notar que existen suficientes puntos de comparación al tener un total de sesenta posiciones sobre cada eje para un total de 3 600 puntos. Con esta cantidad de puntos se garantiza, que al tratarse de una matriz de bytes existen $255^{3\ 600}$ posibles combinaciones (3,5046896194599686172249240504974e+8663). Aun empleando un estimador muy poco conservador, este valor indica que de ser bien empleado este algoritmo existen suficientes valores para designar una matriz única a cada sujeto. A continuación se describen algunos de los estadísticos más frecuentes en lo relativo a sistemas biométricos:

5.2.1. Tasa de falsa aceptación

La tasa de falsa aceptación es un estadístico empleado al medir el rendimiento de un sistema de identificación al realizar una verificación. Esta tasa consiste en un porcentaje que indica la ocurrencia de la identificación de un individuo de manera erróneamente vinculado al mismo con información biométrica existente de otro individuo. Se le conoce también, como tasa de falsa coincidencia y el sentido estadístico se representa como error de tipo II.

Para calcular esta tasa se debe dividir el número de aceptaciones falsas dentro del número de intentos. En este sistema en particular no se han registrado suficiente intentos, para calcular con adecuada precisión dicho estadístico. Por lo general, los falsos positivos encontrados en sistemas de esta naturaleza son el resultado tanto de fallas en los dispositivos empleados para la captura de imágenes como del algoritmo mismo, el cual debe ser optimizado con mayor detalle.

5.2.2. Tasa de falso rechazo

Al igual que el estadístico anterior, esta tasa es empleada al medir el rendimiento del sistema biométrico al realizar una verificación. El cálculo de esta tasa produce un porcentaje de veces en el que el sistema no es capaz de identificar un individuo, aun al tener la plantilla biométrica del mismo dentro de la base de datos, produciendo así un falso rechazo. Se le conoce también como tasa de falsa no coincidencia y estadísticamente se determina como error de tipo I.

Para calcular esta tasa se debe dividir el número de rechazos falsos dentro del número de intentos. En este sistema en particular no se han registrado suficiente intentos, para calcular con adecuada precisión dicho estadístico.

Al igual que en el caso de los falsos positivos encontrados, estos falsos negativos son generalmente, el resultado tanto de fallas en los dispositivos empleados para la captura de imágenes como del algoritmo mismo.

5.3. Consideraciones de desempeño

El desempeño de este sistema puede medirse de diversas maneras, tal y como se ha clarificado en los estadísticos anteriores. Como se indicó al inicio de este trabajo, fue de especial importancia el analizar la similitud entre imágenes del mismo sujeto, tanto del mismo ojo como de ambos ojos con el fin de determinar si estos son similares.

Al analizar en repetidas ocasiones imágenes de un mismo sujeto en diferentes tomas, se determinó que existía la suficiente correlación entre las

imágenes del mismo para distinguirlo de otros individuos. A continuación se puede observar en la tabla I, un experimento al buscar la correlación entre imágenes del mismo iris de un individuo:

Tabla I. **Correlación entre imágenes del mismo iris de un individuo**

Número de prueba	Porcentaje de correlación	Número de prueba	Porcentaje de correlación	Número de prueba	Porcentaje de correlación
1	71,48 %	11	75,24 %	21	58,05 %
2	58,14 %	12	78,69 %	22	65,96 %
3	85,55 %	13	51,35 %	23	71,68 %
4	74,53 %	14	78,02 %	24	60,20 %
5	45,73 %	15	76,44 %	25	34,53 %
6	80,43 %	16	58,86 %	26	55,39 %
7	55,34 %	17	78,41 %	27	43,85 %
8	84,23 %	18	73,63 %	28	76,60 %
9	75,29 %	19	51,09 %	29	86,95 %
10	73,00 %	20	37,82 %	30	68,20 %

Fuente: elaboración propia

Al analizar los datos se notaron dos detalles importantes:

- El porcentaje de correlación promedio fue de 66 por ciento, por lo que claramente se observa que se trata de una marcada correlación.
- Es importante destacar que existieron algunos datos desviados, estos se deben a la forma de obtener las coordenadas de la zona de interés.

Si bien este tipo de consideración no es concluyente respecto a que el sistema sea el adecuado, revela que el sistema es capaz de verificar la identidad de un sujeto sin la presencia de una base de datos tradicional.

Al analizar ambos a un mismo sujeto en repetidas ocasiones se notó que las similitudes entre iris no son lo suficientemente grandes para indicar una correlación directa entre estos. A continuación se puede observar la tabla II, en la que se detalla uno de los experimentos al buscar esta correlación:

Tabla II. **Correlación entre imágenes de los iris de un mismo individuo**

Número de prueba	Porcentaje de correlación	Número de prueba	Porcentaje de correlación	Número de prueba	Porcentaje de correlación
1	31,35 %	11	49,76 %	21	11,05 %
2	16,40 %	12	44,69 %	22	40,76 %
3	63,38 %	13	62,36 %	23	3,45 %
4	32,63 %	14	47,97 %	24	5,40 %
5	68,35 %	15	37,10 %	25	8,06 %
6	43,95 %	16	14,10 %	26	16,50 %
7	48,75 %	17	44,35 %	27	29,02 %
8	53,51 %	18	22,26 %	28	14,35 %
9	49,39 %	19	25,86 %	29	14,13 %
10	52,66 %	20	32,44 %	30	16,10 %

Fuente: elaboración propia.

Al analizar los datos se notaron dos detalles importantes:

- El porcentaje de correlación promedio fue de 33 por ciento por lo que no existe suficiente evidencia para creer que exista una correlación directa entre ambos iris.
- La primera mitad de los datos se obtuvo de imágenes de baja calidad, específicamente con problemas al realizar el enfoque, mientras que la calidad de las imágenes utilizadas de la prueba 16 en adelante fue superior. Esto ocasionó que en el caso de los primeros datos existiera mayor correlación, probablemente debido a la ausencia de detalles capturados en el sensor.

CONCLUSIONES

1. Queda demostrado que es posible emplear un sistema de identificación biométrico en caninos a través de las diferencias en el iris, las diferencias entre individuos y la invariabilidad a través del tiempo hacen de este órgano una excelente fuente de información biométrica.
2. El análisis estadístico reveló que las diferencias en el iris son lo bastante amplias para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.
3. El uso de luz natural al capturar la imagen digital presentó las mejores condiciones para realizar una adecuada identificación.
4. El porcentaje de similitud entre imágenes del mismo sujeto es aproximadamente de 66 por ciento.
5. En teoría, la resolución mínima necesaria en el sensor empleado para captar las imágenes debe ser superior a un 0,36 megapíxeles.
6. Al evaluar ambos iris de un mismo individuo se determinó que el porcentaje de similitud es aproximadamente de 33 por ciento y en ocasiones aún menor.

RECOMENDACIONES

1. Emplear equipo con sensibilidad en la región infrarroja debido a que este presenta los mejores contrastes.
2. Automatizar la localización de los puntos de interés en la imagen mediante el uso de otros procedimientos matemáticos como la transformada de Hough.
3. Desarrollar este algoritmo empleando un lenguaje de programación de menor nivel, garantizando la optimización del mismo.
4. Utilizar una base de datos de mayor tamaño, para optimizar la selección desde el punto de vista estadístico.
5. Determinar el mejor punto para la aplicación de luz artificial con el fin de garantizar la operación del sistema en distintos ambientes.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALMEYDA, Rosario. *Reconocimiento de Iris* [en línea]. LUCERNA, Pablo.
<http://iie.fing.edu.uy/investigacion/grupos/gti/timag/trabajos/2004/rcon_iris/index.htm>. [Consulta: 16 de diciembre de 2012].
2. *Aula Virtual* Ayuntamiento de A Coruña [en línea].
<<http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicalinteractiva/OptGeometrica/Instrumentos/ollo/ollo.htm>>. [Consulta: 6 de junio de 2012].
3. *Biometría* Gobierno de Argentina [en línea].
<<http://www.biometria.gov.ar/acerca-de-la-biometria/glosario/f-m.aspx>>. [Consulta: 22 de septiembre de 2012].
4. DAUGMAN, John. *John Daugman's webpage* [en línea].
<<http://www.cl.cam.ac.uk/~jgd1000/>>. [Consulta: 27 de septiembre de 2012].
5. DE VES CUENCA, Esther. *MATLAB: Introducción al procesamiento de imágenes* [en línea].
<<http://informatica.uv.es/iiguia/VC/tutorial.pdf>>. [Consulta: 21 de octubre de 2012].

6. *GSMarena Apple iPhone 4s - Full Phone Specifications* [en línea].
<http://www.gsmarena.com/apple_iphone_4s-4212.php>.
[Consulta: 7 de agosto de 2012].
7. *Homini – ¿Qué es biometría?* [en línea].
<http://www.homini.com/new_page_5.htm>. [Consulta: 23 de junio de 2012].
8. *im2bw - MathWorks* [en línea].
<<http://www.mathworks.com/help/toolbox/images/ref/im2bw.html>>.
[Consulta: 18 de noviembre de 2012].
9. *imhist - MathWorks* [en línea].
<<http://www.mathworks.com/help/toolbox/images/ref/imhist.html>>.
[Consulta: 11 de noviembre de 2012].
10. *medfilt2 - MathWorks* [en línea].
<<http://www.mathworks.com/help/toolbox/images/medfilt2.html>>.
[Consulta: 5 de diciembre de 2012].
11. OBREGÓN GAMARRA, Evanny, OVIEDO FRASSON, Renato, KEMPER VÁSQUEZ, Guillermo. *Biometría óptica de Iris* [en línea].
<<http://www.scribd.com/doc/63486194/Biometria-optica-de-iris>>.
[Consulta: 23 de agosto de 2012].
12. ROCHA, Cristian. *Imágenes en Matlab* [en línea]. MANNA, Andrea.
<<http://www-2.dc.uba.ar/materias/t1/material/Imagenes.pdf>>.
[Consulta: 5 de octubre de 2012].

13. RODRIGUEZ, Jorge. *Introducción a los sistemas de visión artificial* [en línea]. <<http://es.scribd.com/doc/8343510/Vision-Artificial>>. [Consulta: 3 de septiembre de 2012].

14. Universidad Autónoma de México – Facultad de Ingeniería. *Iris y Retina*. [en línea]. <<http://redyseguridad.fip.unam.mx/proyectos/biometria/clasificacionsistemas/escaneoretina.html>>. [Consulta: 4 de julio de 2012].

