

DISEÑO DE SISTEMA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE INDIVIDUOS MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL IRIS

Steven López Ortiz

Andrés Eduardo Brochero Álvarez

Ingeniería Mecatrónica
Facultad de tecnología
Universidad Tecnológica de Pereira
Colombia

DEDICADO A:

Primeramente a Dios por brindarnos la vida, la sabiduría y las capacidades para culminar este proceso.

A nuestros familiares y amigos por ser un apoyo incondicional en esta gran etapa de nuestras vidas.

AGRADECIMIENTOS:

En primer lugar a nuestro director de proyecto MsC. Jimmy Alexander Cortés Osorio por la confianza depositada, tiempo compartido, sabiduría y paciencia para con nosotros en este proceso.

Al Ing. Deivy Alejandro Muñoz Acosta por compartir su tutoría y experiencia en el tema, facilitando nuestro proceso de aprendizaje en esta área.

A nuestras familias por el apoyo espiritual y económico para cumplir esta meta en nuestra vida.

A la Universidad Tecnológica de Pereira por brindar la oportunidad para forjarnos como profesionales y como personas competentes para la sociedad.

RESUMEN

El proyecto 'Diseño de sistema para la identificación de individuos mediante el análisis del iris' está basado en investigaciones sobre bases de datos, técnicas para la comparación del iris, métodos de captura e implementación de las mismas, entre otros. Cabe resaltar que se utilizó el software Matlab y se realizaron pruebas diagnósticas acorde a la técnica de análisis implementada en el campo biométrico de competencia llamada SIFT (Scale-Invariant Feature Transform), expuesta posteriormente como punto clave en el transcurso de este documento.

INTRODUCCIÓN

La importancia de este proyecto radica en la identificación de individuos. La problemática surgió de la necesidad de combatir la diversidad de plagio a la hora de suplantar la identidad del sujeto. Esto ha llevado tanto a la adquisición de información propia de cada ser, como a la innovación de las tecnologías que se aplican en el campo de la biometría para analizar a profundidad los aspectos biológicos de sí mismos y así, entregar una respuesta codificada de una precisión casi infalible a quien lo necesita para gran variedad de aplicaciones.

“El reconocimiento de personas por medio de las características del iris fue propuesto inicialmente en 1936 por el oftalmólogo Frank Buch, pero no sería hasta 1987 que la idea fuera desarrollada por los oftalmólogos Leonard Flom y Aran Safir, los cuales tuvieron que solicitar la ayuda del profesor John G. Daugman para que él mismo, creará los algoritmos necesarios para realizar el reconocimiento respectivo de las personas mediante los patrones del iris, estos algoritmos fueron planteados en 1994 y se dice que son la base de todos los sistemas para el reconocimiento por iris. En 2007 los estudiantes de ingeniería electrónica y telecomunicaciones, Diego Gabriel Heredia Arroyo y Erick Stalin Ramirez Tapia a través de su tesis “Diseño e implementación de un prototipo para el acceso mediante el reconocimiento de imágenes del iris empleando la herramienta de desarrollo Labview” en la cual plantean que debido a que los actuales sistemas de control de acceso pueden ser burlados, surgió la necesidad de generar un sistema que garantice un correcto desempeño. Su proyecto fue desarrollado con el software Matlab y Labview para el tratamiento de las imágenes y control total del sistema. En las diversas pruebas realizadas se determinó que el sistema presenta un 90% de eficiencia y un tiempo de respuesta de 5 segundos. Con estas pruebas se pudo determinar que este sistema presenta un porcentaje de error menor que el de otros sistemas biométricos” [1].

El objetivo principal de este proyecto fue el diseño de un sistema para la identificación de individuos mediante el análisis del iris, enfocado a la comparación de imágenes del mismo por medio del método SIFT (Scale-Invariant Feature Transform)

El sistema diseñado se podrá implementar en variedad de campos que se enfocan en el reconocimiento de individuos, permitiendo o denegando acceso a un área, medicamento, identidad predeterminada, entre otras.

Dentro del desarrollo del proyecto se puede resaltar el uso de la programación avanzada como aporte del componente Mecatrónico aplicado a la recolección de datos implementando software computacional. Posteriormente, se realizó un estudio estadístico gracias a los resultados previamente arrojados debido al uso de una base de datos establecida para obtener la mayor coincidencia y veracidad en las características del iris analizadas.

Dentro de la realización del proyecto, este algoritmo se puede implementar en diversos campos tales como:

Empresariales, indagando así qué necesidades se presentan sobre el control de acceso a lugares/máquinas para su seguridad.

Del Hogar, complementando un gusto personal de la seguridad propia de un bien adquirido.

Comercial, a la hora de hablar de proveer la información verídica de quienes hacen una transacción por altos valores. Entre otros.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS:	3
RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	5
1 EL OJO HUMANO:	13
1.1 Componentes del ojo humano:	13
1.1.1 El globo ocular:.....	13
1.1.2 La esclerótica:.....	13
1.1.3 La fovea:.....	13
1.1.4 La córnea:.....	13
1.1.5 El Iris:.....	13
1.1.6 La pupila:	14
1.1.7 El cuerpo ciliar:	14
1.1.8 La coroides:	14
1.1.9 La retina:.....	14
1.1.10 El cristalino:.....	14
1.1.11 Humor acuoso:	14
1.1.12 Cuerpo vítreo:.....	15
2 INTRODUCCIÓN AL TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES	16
2.1 Modificación de la información en una imagen digital	16
2.1.1 Adquisición de una imagen.....	16
2.1.2 Detalles técnicos de una imagen	17
3 LA CIENCIA DE LA BIOMETRÍA	23
3.1 Historia de la biometría	23
3.2 La biometría en el iris	24
4 CARACTERIZACIÓN DEL IRIS	25

5	FORMATOS DE IMAGEN	27
5.1	Formatos de vectores:.....	27
5.2	Tipos de formato	27
5.2.1	BMP	28
5.2.2	GIF.....	28
5.2.3	JGP/JPEG	28
5.2.4	TIFF	29
5.2.5	PNG.....	29
5.2.6	PGM	29
6	BASE DE DATOS.....	31
6.1	Espectro visible:	31
6.1.1	Upol database:.....	32
6.1.2	Ubiris database:.....	32
6.1.3	Base de datos autores:.....	33
6.1.4	Base de datos utilizada:.....	34
6.2	Espectro no visible	36
6.2.1	CASIA.....	37
7	MÉTODOS DE RECONOCIMIENTO BIOMÉTRICO APLICADO AL IRIS....	38
7.1	Principal Component Analysis (PCA):	38
7.2	Liner Discriminant Analysis (LDA):.....	38
7.3	Independent Component Analysis (ICA):	38
7.4	Local Binary Patterns (LBP):	38
7.5	Template Matching:.....	39
8	SIFT	42
8.1	Reseña histórica:	42
8.2	Descripción del algoritmo:	42
8.3	Estructura lógica del algoritmo:	43
8.3.1	Escala de espacios:.....	43
8.3.2	El modelo de la pirámide gaussiana y sus diferencias:	44
8.3.3	Establecimiento de puntos clave:	45
8.3.4	Emparejamiento de puntos clave:.....	48

9	METODOLOGÍA	49
9.1	Base de datos (captura de la imagen).....	49
9.2	Pre procesamiento:	49
9.3	Segmentación	50
9.4	Identificación	51
10	PRUEBAS DE VALIDACIÓN Y RESULTADOS	52
10.1	Validación de pruebas diagnósticas:.....	53
10.1.1	Sensibilidad:	53
10.1.2	Especificidad:	54
10.2	Resultados diagnósticos realizados:.....	54
11	CONCLUSIONES	60
	BIBLIOGRAFÍA	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 1.1 El ojo humano y sus partes [7]	15
Fig 2.1 Diferencias entre incorrecta y correcta iluminación [Autores]	17
Fig 2.2 Representación gráfica de curva de contraste [8]	18
Fig 2.3 Ejemplo transformada de Hough [Autores]	21
Fig 2.4 Transformada circular de Hough aplicada a una imagen (Izq.) e iris segmentado (Der.) [Autores]	22
Fig 4.1 Fibras del iris [Autores]	25
Fig 4.2 Ejemplos de cambios en el iris: pupila dilatada, área iris reducida [Autores]	26
Fig 4.3 Variedades de iris [Autores]	27
Fig 6.1 Espectro visible y no visible [7]	31
Fig 6.2 Ejemplo de base de datos UPOL [14]	32
Fig 6.3 Ejemplo base de datos UBIRIS [15]	33
Fig 6.4 Imagen base de datos Autores	33
Fig 6.5 Imagen base de datos utilizada [7]	34
Fig 6.6 Diseño de prototipo [7]	34
Fig 6.7 Webcam Logitech C615 HD [7]	36
Fig 6.8 Ejemplo base de datos CASIA [16]	37
Fig 7.1 Imagen objetivo (Imagen base) [Autores]	39
Fig 7.2 Parámetro a encontrar en imagen original [Autores]	40
Fig 7.3 Matriz de correlación normalizada [Autores]	40
Fig 7.4 Imagen base con plantilla identificada correctamente [Autores]	41

Fig 8.1 Procedimiento del algoritmo SIFT [Autores]	42
Fig 8.2 Pirámide Gaussiana [Autores]	44
Fig 8.3 Operador Diferencial Gaussiano (DoG) [Autores]	45
Fig 10.1 Técnica SIFT para iris oscuros [Autores]	52
Fig 10.2 Técnica SIFT para iris claros [Autores]	52
Fig 10.3 Resultado de los dos recorridos en el software (Umbral) [Autores]	55
Fig 10.4 Valor aproximado de umbral [Autores]	55
Fig 10.5 Comportamiento sensibilidad-especificidad con umbral de 4 [Autores]	57
Fig 10.6 Valores VP, FN, FP y VN con umbral de 4 [Autores]	57
Fig 10.7 Comportamiento sensibilidad-especificidad con umbral de 5 [Autores]	58
Fig 10.8 Valores VP, FN, FP y VN con umbral de 5 [Autores]	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valor de umbral de 4 para prueba de validez diagnóstica [Autores]	56
Tabla 2 Sensibilidad y especificidad para valores con umbral de 4 [Autores]	56
Tabla 3 Valor de umbral de 5 para prueba de validez diagnóstica [Autores]	58
Tabla 4 Sensibilidad y especificidad para valores con umbral de 5 [Autores]	58

1 EI OJO HUMANO:

“El ojo es el órgano encargado de la visión y está compuesto por el globo ocular y por 6 músculos oculomotores, los cuales son responsables del movimiento del ojo y los párpados” [2].

1.1 Componentes del ojo humano:

1.1.1 El globo ocular:

“El globo ocular es una cápsula esférica de unos 23 mm de diámetro, constituida por varias capas y cámaras. Se encuentra protegido por la cavidad ósea y resguardado por los pómulos y la frente” [2, 3].

1.1.2 La esclerótica:

“La capa externa es conocida como esclerótica (Ver Figura 1) que es una membrana fibrosa de color blanco y resistente que se extiende desde la córnea que es la parte frontal y clara del ojo, hasta el nervio óptico en la parte posterior del ojo” [2, 3].

1.1.3 La fovea:

“La capa media del ojo, conocida como fovea (Ver Figura 1), está conformada por el iris que es una membrana circular pigmentada detrás de la córnea” [2, 3].

1.1.4 La córnea:

“La cornea es un tejido ocular que se encuentra en la parte frontal del ojo (Ver figura 1), es totalmente transparente y entre sus diversas funciones está la de proteger el iris y el cristalino, la córnea además de proteger a otras estructuras oculares tiene la función de enfocar junto con el cristalino las imágenes en la retina” [4].

1.1.5 El Iris:

Como componente principal del proyecto se encuentra el Iris, el cual *“es un diafragma musculoso, contráctil, situado delante del cristalino del ojo y en cuyo centro se encuentra ubicada la pupila” [5].*

Caracterizado por ser uno de los componentes más llamativos del ojo por su color, este tiene una funcionalidad similar a la pupila, la cual es utilizar las contracciones del diafragma para regular la entrada de luz (estrechamente relacionado su

funcionamiento Iris – Pupila). El color distintivo de cada órgano ocular en el Iris es producido genéticamente, desarrollándose entre los 6 y los 10 meses de nacimiento, *“donde se encuentra determinado por el número y distribución de unas células que contienen el pigmento “melanina” y se llaman melanocitos”* [6].

1.1.6 La pupila:

“Controla la cantidad de luz que entra en el ojo (Abertura de pigmentación negra con forma de círculo). El iris se ensancha y se estrecha para modificar el tamaño de la misma y así lograr la regulación de luz” [2, 3].

1.1.7 El cuerpo ciliar:

“Contiene una estructura muscular que modifica la forma del cristalino para poder enfocar objetos a diferentes distancias” [2, 3].

1.1.8 La coroides:

“Capa de vasos sanguíneos y tejido conectivo entre la esclerótica y la retina, la cual suministra los nutrientes a las partes internas del ojo” [2, 3].

1.1.9 La retina:

“Capa interna. Ésta es la membrana sensible a la luz y en la cual se encuentran los bastones y los conos que cumplen el papel de fotorreceptores captando la luz y convirtiéndolas en señales eléctricas, las cuales, son transmitidas a través del nervio óptico hacia los centros nerviosos superiores” [2, 3].

1.1.10 El cristalino:

“Actúa como una lente óptica de potencia variable y se encuentra unida a la córnea y a la esclerótica por el músculo ciliar el cual permite la adaptación del ojo para el enfoque de objetos a corta y larga distancia” [2, 3].

1.1.11 Humor acuoso:

“Es un fluido denso ubicado detrás de la córnea, ambos forman una lente que refracta la luz para que entre al ojo. Allí es donde se lleva a cabo la mayor parte del enfoque” [2, 3].

1.1.12 Cuerpo vítreo:

“Ubicado entre el cristalino y la retina; está compuesto por una sustancia gelatinosa que mantiene la forma del globo ocular” [2, 3].

Los componentes más destacados del ojo humano se pueden apreciar en la figura 1.1:

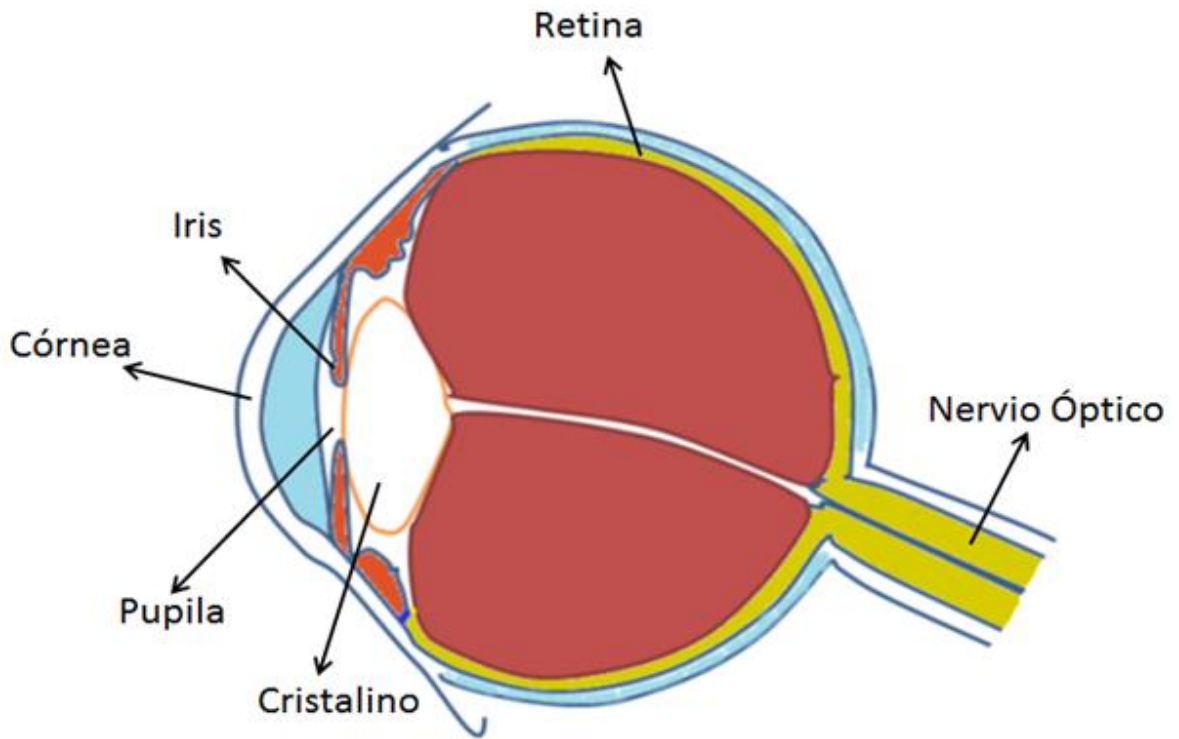


Figura 1.1: El Ojo Humano y sus partes [7].

2 INTRODUCCIÓN AL TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

El procesamiento digital de imágenes ha tomado auge de gran importancia en la actualidad debido a la diversidad de aplicaciones del mismo, hoy en día los procesos industriales se componen de factores que desembocan en la calidad y servicio, por lo cual se ha tomado como punto predominante el hablar de calidad en el producto final, para ello se han llevado diferentes procesos industriales a la mano del tratamiento digital de imágenes, debido a las ventajas que este ofrece para determinado campo industrial.

Dícese, en una definición muy simple del procesamiento digital de imágenes, que es la manipulación de la información digital que ha sido convertida en capturas virtuales (imágenes) para una tarea o fin específico.

2.1 Modificación de la información en una imagen digital

Como se mencionó anteriormente, cada imagen tiene una cantidad de información denotada como píxeles, los cuales llevan un valor con margen de 0 a 255 indicando su respectivo color. Al hablar de tratamiento se dice que es la utilización de técnicas de manipulación por medio de software computacional para alterar o modificar la información presente en cada captura. Para poder realizar una manipulación exitosa acorde a las necesidades de cada usuario, en este caso, la modificación de las imágenes de una base de datos competente con respecto al análisis del iris, se deben seguir los pasos que se mencionan a continuación.

2.1.1 Adquisición de una imagen

Este paso se lleva a cabo como primera medida del análisis de la imagen a modificar. Se utiliza software computacional de diferentes gamas, con recursos específicos para cada caso (Corel Draw, Adobe Photoshop, LabView, entre otros), siendo Matlab 2013^a la herramienta seleccionada para este procesamiento aplicado al desarrollo del proyecto.

Utilizando código de programación simple, se obtiene una imagen a gusto del usuario la cual quedará almacenada como información en el software Matlab para ser procesada en los siguientes pasos.

2.1.2 Detalles técnicos de una imagen

Al obtener una imagen, se tiene que esta viene con detalles técnicos los cuales se deben tener presente a la hora de realizar algún proceso o modificación sobre la misma.

Mencionando ciertos detalles en donde estas imágenes llevaran a cabo un proceso, se les deben realizar algunos ajustes que se evidenciarán a continuación.

2.1.2.1 Iluminación

La iluminación viene siendo característica vital a la hora del procesamiento digital de imágenes dado que nos puede aportar o reducir la información que se desea analizar. Dependiendo del proceso que se desee llevar a cabo, se tiene como ejemplo una iluminación pobre contra una iluminación adecuada como se aprecia en la figura 2.1:

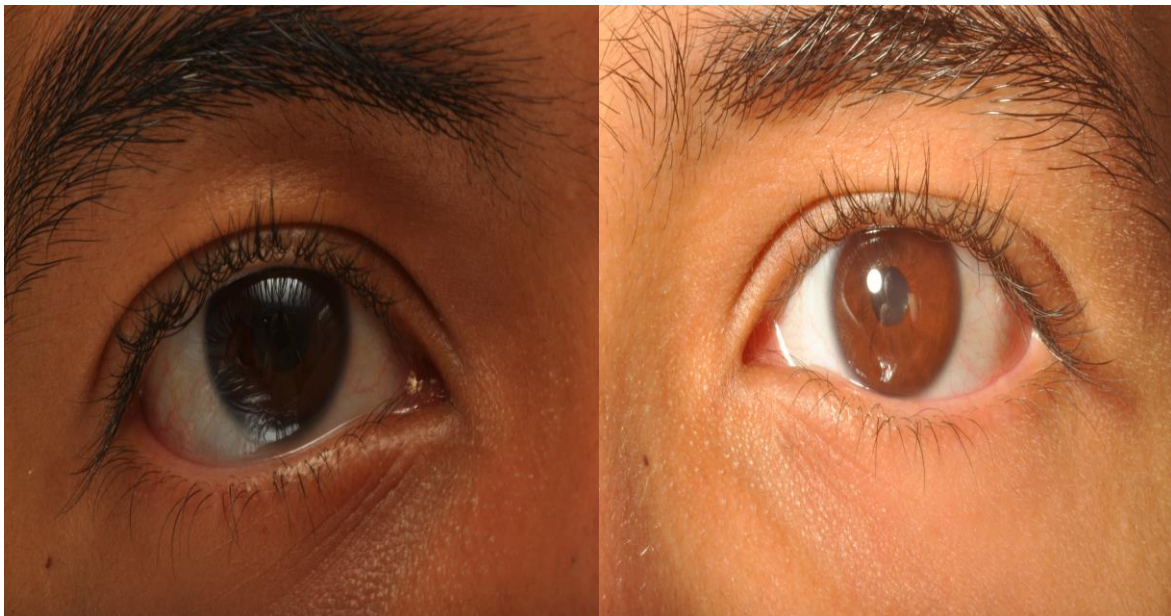


Figura 2.1 Diferencias entre incorrecta y correcta iluminación [Los Autores].

2.1.2.1.1 Mejora del contraste

Como se mencionó anteriormente, uno de los problemas con respecto a las imágenes es la falta de iluminación, alterando el valor del contraste en la misma; para resolver esta inquietud se realiza un ajuste automático de contraste el cual consiste en una modificación de pixeles de manera que el rango de valores disponibles este totalmente cubierto. Esto se hace mediante la asignación del pixel

más oscuro y más claro, para los valores mínimos y máximos de intensidad de la imagen, distribuyendo linealmente los valores intermedios de la misma como es denotada en la figura 2.2:

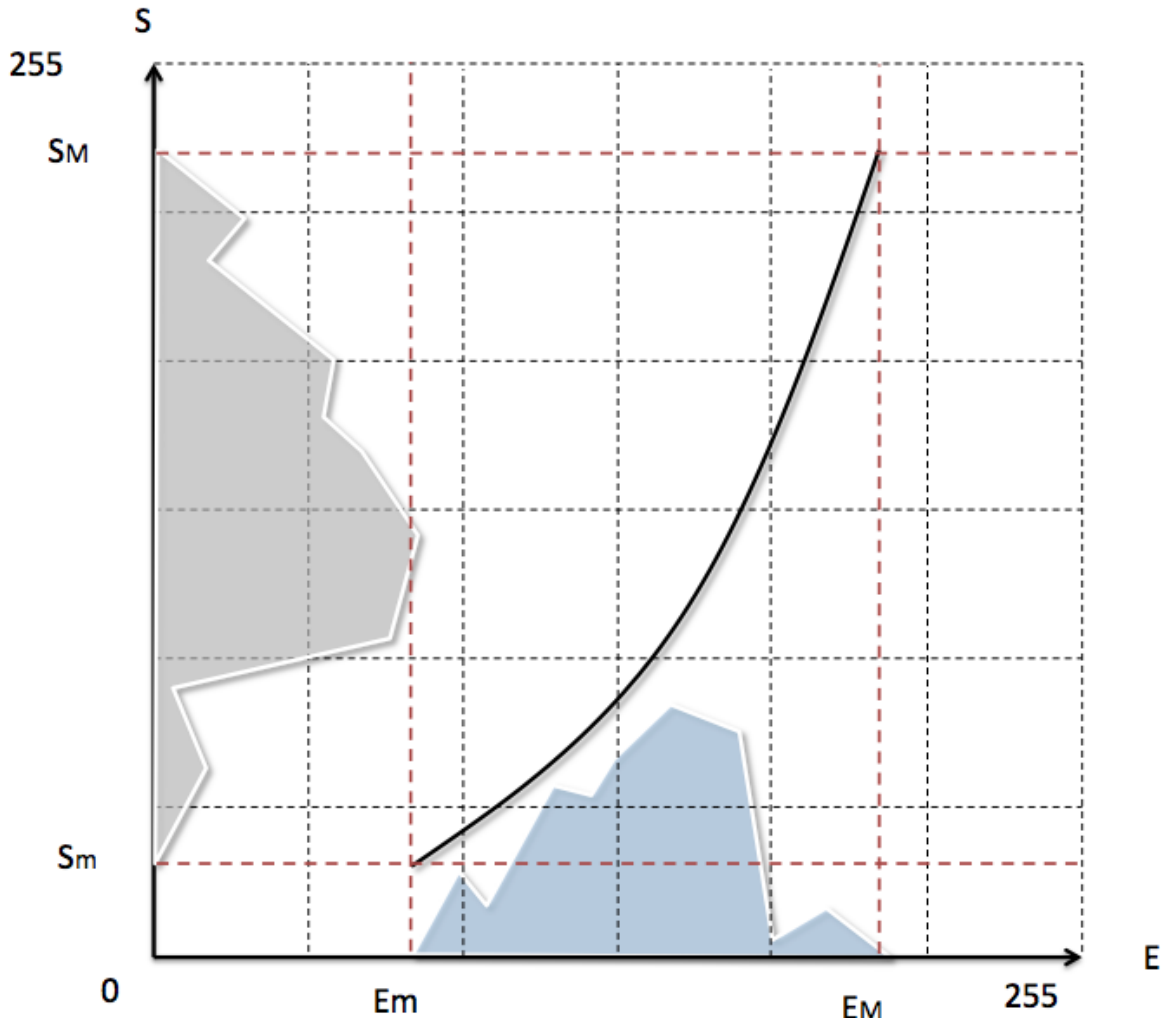


Figura 2.2: Representación gráfica de curva de contraste [8].

La función de mapeo para el ajuste automático de contraste de la figura anterior se define como la siguiente ecuación:

$$S = \frac{(S_M - S_m)}{(E_M - E_m)} (E - E_m)^n + S_m$$

“Donde E_m y E_M es el valor más bajo y el más alto de la intensidad pixel que se encuentran en la imagen de entrada determinada por la probabilidad del histograma. El rango $[S_m; S_M]$ en este caso de los valores de salida no son necesariamente los valores de los límites disponibles $[0; 255]$, ya que puede ser cualquier intervalo para el que la imagen deba ser modificada, lo que determina la profundidad de color” [8].

2.1.2.2 Resolución

La resolución de una imagen va estrictamente ligada al número de pixels que posee la misma, otorgando así más información pero sacrificando rendimiento computacional al procesar los datos implícitos de la imagen (sombras, color, detalles, filtros, etc). Las imágenes también tienen un determinado valor de resolución dependiendo tanto del tamaño establecido por el dispositivo de captura como su alcance (megapixels, pixels, gigapixels) y su formato.

2.1.2.3 Formato

El formato de una imagen es la extensión en la cual se guarda la captura, cada una de ellas posee diferentes características para el manejo de la información. Mientras algunas son más compresibles y manejables, otras reflejan su superioridad en cuestión de realce de detalles, información, color, animación, mapas de bits, entre otros.

2.1.2.4 Procesamiento

Después de concatenar las bases para un tratamiento digital de imagen, se procede a realizar modificaciones que afectan la misma; esto se realiza para llevar la imagen a óptimas condiciones y realizar un proceso específico obteniendo resultados acorde al uso que le proporcione el usuario.

Entre las técnicas de procesamiento más comunes se pueden denotar los histogramas, las curvas de brillo y contraste.

2.1.2.5 Segmentación

La segmentación es un proceso mediante el cual se divide una imagen en varias partes con el objetivo de simplificar y/o cambiar la representación de la misma en otra más significativa y de mayor facilidad a la hora de ser analizada y procesada.

Para este proyecto, la segmentación consiste principalmente en definir el área de trabajo y análisis por medio de la implementación de detección de bordes, los cuales son enfocados al iris y la pupila de cada imagen, excluyendo las regiones de interés nulo como lo son párpados, mejillas, pestañas, entre otros. Como acto posterior se analizará el método empleado en este proyecto para la segmentación del Iris.

2.1.2.5.1 Transformada circular de hough

Para poder realizar una debida segmentación enfocada al iris se debe tener como principal requerimiento la transformada circular de Hough.

La transformada de Hough en general es una técnica normalmente usada en el procesamiento digital de imágenes la cual permite detectar todo borde de una figura la cual se conozca su forma o su medida (líneas rectas en un plano, círculos) por medio de coordenadas específicas en el plano (plano 2D o 3D). Dependiendo la necesidad y enfocando la técnica en la parte de segmentación del Iris humano, se utiliza la misma para determinar los círculos que harán parte del procesamiento de la imagen para su posterior análisis.

Para describir un círculo se debe apoyar la base matemática sobre la ecuación que describe las circunferencias:

Se tiene:

$$\text{Círculo: } (\bar{x}, \bar{y}, r)$$

Donde \bar{x}, \bar{y} son las coordenadas del centro de la circunferencia y r es el radio de la misma. Al suponerse un punto cualquiera $point = p = (x, y)$ que pueda ser ubicado sobre la circunferencia del círculo, se cumple la siguiente ecuación:

$$(x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2 = r^2$$

Por ende se requiere un espacio de parámetros en tres dimensiones (\bar{x}, \bar{y}, r) para hallar la posición del punto centro y radio respectivamente en una imagen. Para un punto cualquiera (m, n) "se puede aplicar un método de "fuerza bruta", que pone a prueba de manera exhaustiva cada punto en el espacio de parámetros para ver si la relación de la ecuación anteriormente mencionada cumple con un radio tentativo fijo r " [7].

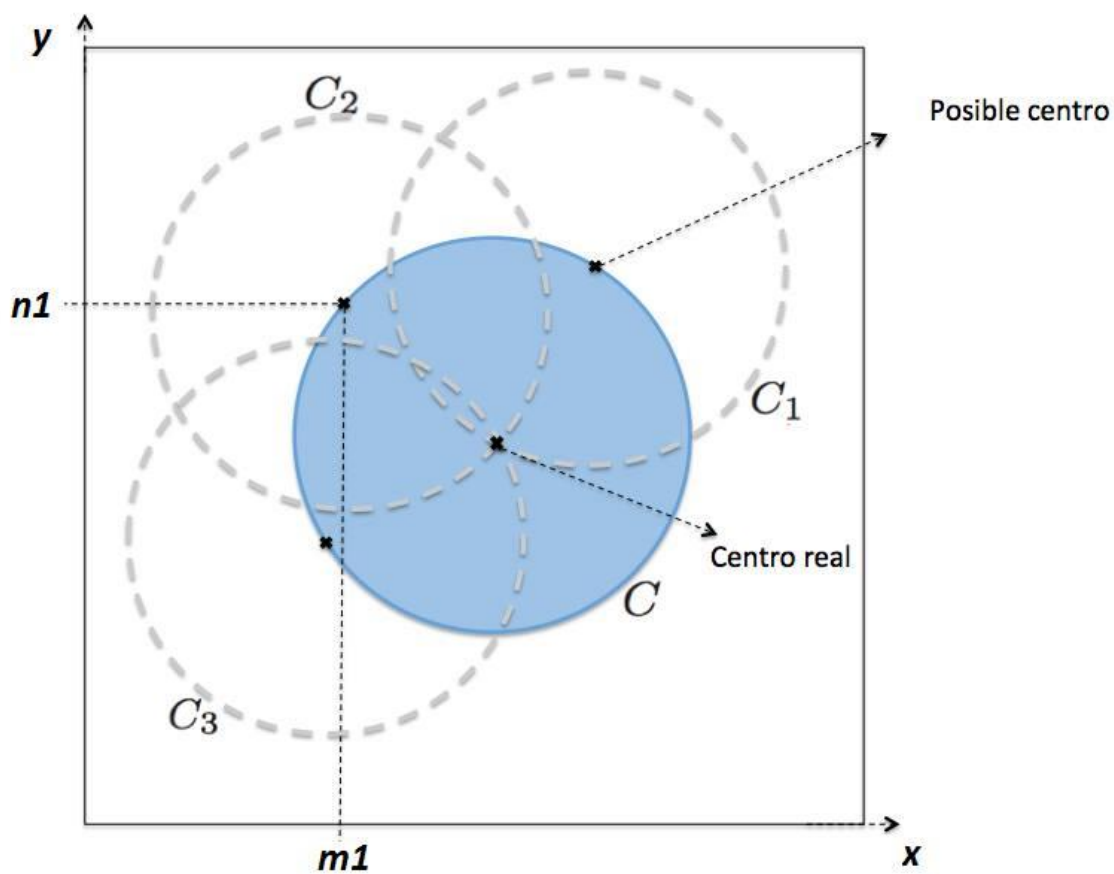


Figura 2.3: Ejemplo Transformada de Hough [Los Autores]

Como se puede observar en la figura 2.3, los puntos centrales de todas las posibles circunferencias comprenden el círculo real de la imagen, otorgando así una facilidad de búsqueda de las mismas en un área específica para la detección de centros de la imagen y no en todo el espacio, mejorando el tiempo de procesamiento de esta técnica.

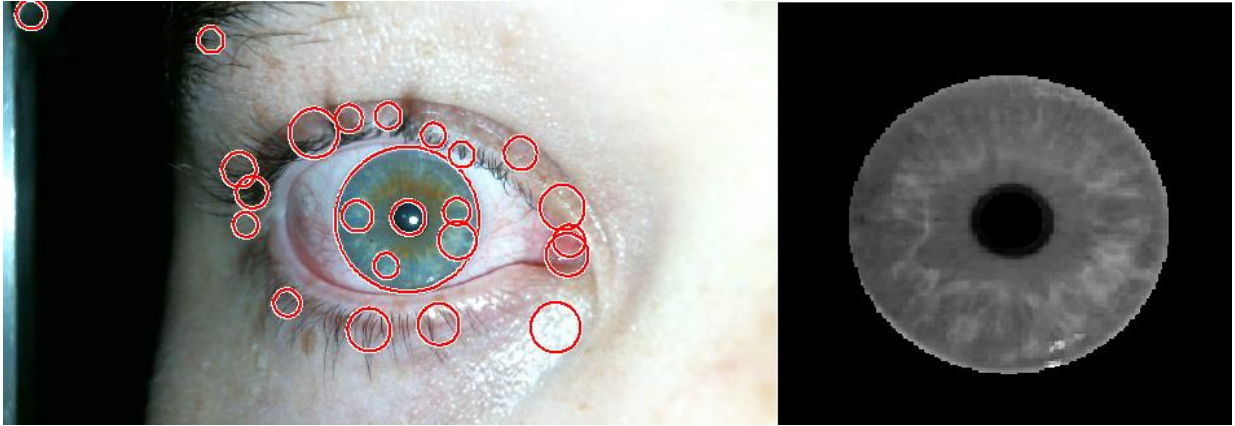


Figura 2.4: Transformada circular de Hough aplicada a una imagen (Izquierda) e iris segmentado (Derecha) [Los Autores].

Aplicando la transformada circular de Hough a las Imágenes del Iris (Ver figura 2.4), se obtuvo como resultado la detección de diversidad de círculos, casos en los cuales se priorizó el punto de vital interés el cual fue el hallazgo del iris y la pupila para la posterior extracción (Compárese resultados de la figura del lado izquierdo con la figura del lado derecho).

3 LA CIENCIA DE LA BIOMETRÍA

Teniendo en cuenta que el enfoque principal de este proyecto se encuentra encaminado hacia la biometría que comprende el globo ocular, en su totalidad el iris, se proporcionará una breve reseña del proceso histórico de la biometría y de la misma ciencia aplicada al Iris.

3.1 Historia de la biometría

“Su primer uso conocido se remonta a la Antigua Babilonia, donde los reyes firmaban las tabletas de arcilla grabando las yemas de sus dedos antes de cocerlas. Más tarde, en China, durante la Dinastía Tang en el año 650 de nuestra era, se estableció que para divorciarse de una mujer, el marido debía exponer siete motivos y firmar el documento con las huellas dactilares” [9].

“Un explorador y escritor que respondía al nombre de Joao de Barros escribió que los comerciantes chinos estampaban las impresiones y las huellas de la palma de las manos de los niños en papel con tinta. Los comerciantes hacían esto como método para distinguir entre los niños jóvenes. También en la India se empezó a emplear pronto esta marca en documentos legales” [9].

“En 1686 el Italiano Marcello Malpighi, fue el primero que identificó que los patrones de la piel en los dedos eran diferentes” [10].

“En 1823 Jan Evangelista Purkine, médico y científico natural checo, identificó la naturaleza única de las huellas digitales de los individuos, el identificó las espirales, elipses y triángulos en las huellas digitales” [10].

En Occidente, inicialmente, la identificación de personas se basaba simplemente en la "memoria fotográfica" hasta que Alphonse Bertillon, jefe del departamento fotográfico de la Policía de París, desarrolló el sistema antropométrico o antropometría (también conocido más tarde como Bertillonage) en 1883. Éste era el primer sistema preciso, ampliamente utilizado científicamente para identificar a criminales y convirtió a la biométrica en un campo de estudio. Funcionaba midiendo de forma precisa ciertas longitudes y anchuras de la cabeza y del cuerpo, así como registrando marcas individuales como tatuajes y cicatrices. Con rigor científico elaboró la metodología necesaria para el registro y comparación de todos los datos de los procesados. Aplicó en 1884 este procedimiento para identificar a 241 delincuentes múltiples por lo que su procedimiento ganó enorme prestigio y fue rápidamente adoptado en Europa y Estados Unidos. El sistema de Bertillon fue adoptado extensamente en occidente hasta que aparecieron defectos en el sistema - principalmente problemas con métodos distintos de medidas y cambios de medida” [9].

3.2 La biometría en el iris

“La idea de utilizar el patrón del iris para identificar a las personas fue propuesto inicialmente en 1936 por el oftalmólogo Frank Burch” [11]. Se tiene que la biometría apuntada al Iris presenta unas características propias que son invariantes a través del tiempo, cabe denotar, como se mencionó en el capítulo del ojo humano y sus componentes, el iris tiene una formación total aproximada entre los 6 a 10 meses de vida, definiendo en esta etapa la unicidad propia del individuo en el globo ocular.

“En los últimos cuatro años, la Identificación Biométrica basada en el Patrón del Iris Ocular ha experimentado un gran auge debido a los excelentes resultados obtenidos y al gran interés que está mostrando la Banca para incorporar dicha técnica a sus Cajeros Automáticos. El reconocimiento por Iris parte de los trabajos llevados a cabo por John G. Daugman, actualmente profesor de la Universidad de Cambridge. ... esta técnica presenta una tasas de Falso Rechazo muy bajas manteniendo, al mismo tiempo, unas tasas de Falsa Aceptación prácticamente nulas. Por contra tiene un coste, tanto computacional como económico, excesivamente elevado para algunas aplicaciones” [11].

4 CARACTERIZACIÓN DEL IRIS

El iris al igual que las huellas dactilares tiene características que son únicas en cada individuo. El iris cuenta con una serie de fibras las cuales determinan la unicidad del mismo debido a su distribución y forma, algo similar a las huellas dactilares (Ver figura 4.1). Estas fibras pueden estar organizadas paralelamente, cruzadas, etc. Respecto a su forma cabe la posibilidad de que sean onduladas, curvas, rectas, y así, variar en cada individuo.

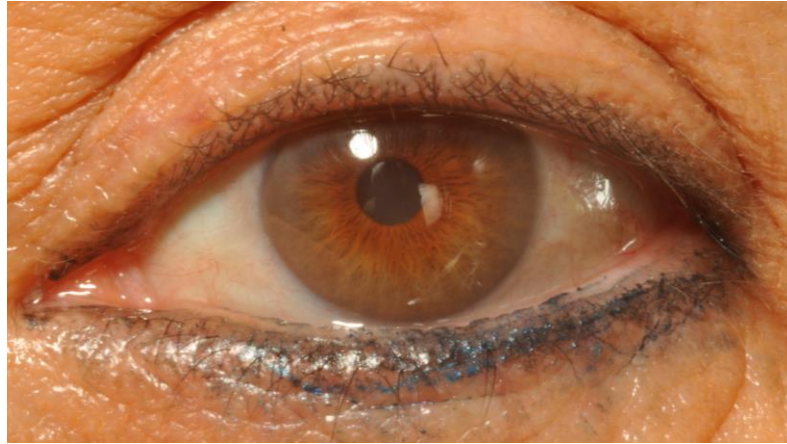


Figura 4.1: Fibras del Iris [Base de datos autores].

“Así mismo como sus fibras lo componen de una especialidad única, también lo es su pupila y todos aquellos músculos relacionados con los movimientos del ojo determinados por su comportamiento frente a la intensidad de luz. Las características mencionadas anteriormente pueden sufrir cambios debido a la acción dilatadora y compresora de un músculo ubicado en el Iris. Cuando la pupila sufre una dilatación (músculo dilatador de la pupila), esta aumenta de tamaño para aumentar la cantidad de luz que penetra el globo ocular, reduciendo parte del Iris. Cuando el ojo se estimula con una luz brillante la pupila tiende a contraerse (músculo esfínter de la pupila), lo cual produce un alargamiento en las fibras del Iris y un ligero aumento de área del mismo” [1]. Ver ejemplo en la figura 4.2:

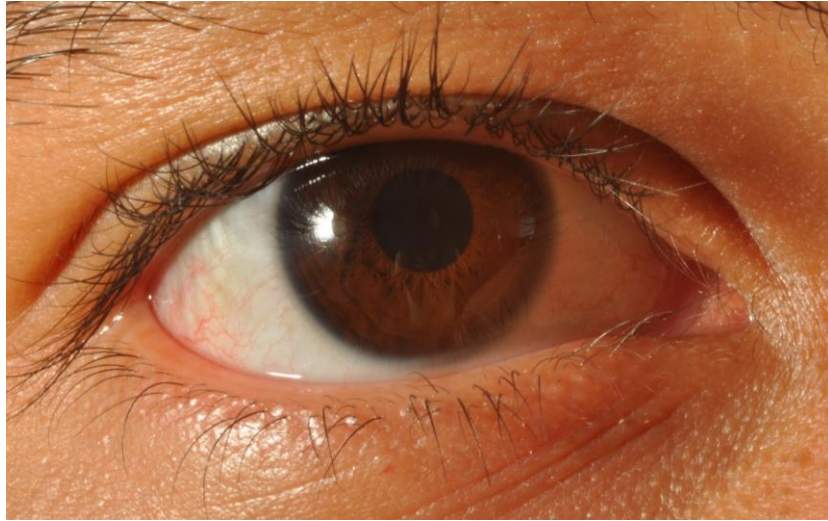


Figura 4.2: Ejemplos de cambios en el Iris: Pupila dilatada, área Iris reducida [Base de datos autores].

Además de las fibras es posible tomar en cuenta el color del iris ya que puede variar en cada individuo presentando un color similar pero su tonalidad sería diferente, siendo más oscura o más clara. Nótese en la figura 4.3:



Figura 4.3: Variedades de Iris [Base de datos autores].

5 FORMATOS DE IMAGEN

A la hora de realizar el análisis sobre cada tipo de ojo humano para su procesamiento, no solo se debe tener en cuenta las características previamente mencionadas en los capítulos sobre el iris, también se debe resaltar el formato de la imagen que se está obteniendo para hacer provecho al máximo de las características que este mismo otorga.

Las imágenes digitales se pueden guardar en diversidad de formatos, estos formatos de almacenamiento de forma visual se encuentran estandarizados digitalmente, cada uno con su extensión específica para la organización de procesamiento digital y manipulación del mismo dependiendo a las necesidades del usuario. Un formato de imagen puede almacenar datos de forma comprimida, descomprimida o incluso en formatos de vectores; Recuérdese que una imagen no es más que un arreglo de píxeles los cuales son aquellos que proveen la información que visualmente se procesa por el ser humano, estos píxeles poseen suficientes datos los cuales se encuentran distribuidos en forma de arreglos matriciales.

5.1 Formatos de vectores:

Cabe denotar que ciertos formatos de vectores poseen especificaciones abiertas o parcialmente disponibles, es decir, la propiedad de la extensión de archivos para ser usados con la diversidad de software que puede procesar las imágenes se encuentra abierta para diferentes programas. Entre los programas más convencionales para la manipulación de arreglos de forma vectorial de la información como ejemplo se tienen:

- AI de Adobe Illustrator
- CDR de Corel Draw
- Portable Document Format (PDF)
- DXF (Drawing eXchange Format) y DWG (Drawing) de Autodesk AutoCAD

5.2 Tipos de formato

Existen muchos tipos de formatos para almacenar imágenes, por lo tanto saber qué formato se desea emplear para almacenar los datos es de vital importancia ya que cada tipo de formato es adecuado para un tipo de imagen específica que depende del uso que se le otorgue a la imagen para realizar el tratamiento digital. Entre estos se tienen:

5.2.1 BMP

El formato .bmp, mejor conocido como Bitmap, creado por Microsoft, es un mapa de bits utilizado por Windows, el cual permite el almacenamiento de imágenes de 24 bits (16,7 millones de colores) sin pérdida de la información/calidad. La ventaja de este es que proveen un alto nivel en calidad de imagen al ser un formato poco compresible, en contraparte su desventaja es precisamente su gran tamaño en archivos lo cual lo hace poco eficiente.

5.2.2 GIF

Formato .gif o Graphics Interchange Format es un formato comúnmente usado para una paleta limitada de colores de 8 bits (256 colores). Este formato se acomoda para aquellos gráficos fuertes con poco color. Utiliza un algoritmo de compresión (LZW: Lempel-Ziv-Welch) el cual es de gran efectividad para formatos de color simple a una escala de área mayor. Tiene capacidad de ordenamiento de imágenes para generar animación.

5.2.3 JGP/JPEG

“El formato .jpeg (Joint Photographic Experts Group) es frecuente en almacenamiento de fotografías y otras imágenes de tono continuo. Su ventaja es que utiliza un sistema de compresión muy eficiente reduciendo el tamaño de las imágenes considerablemente, además su paleta de colores es de millones, sin embargo su compresión es tanta, que genera pérdida de la información, así mismo produciendo artefactos en las imágenes. Este formato normalmente usa un algoritmo de compresión con pérdida que hace referencia a cualquier procedimiento de codificación que desee presentar cierta cantidad de información utilizando la menor posible, haciendo imposible reconstruir los datos originales, esta compresión solo es útil cuando reconstruir la información original no es necesaria para que haya sentido en ella, haciendo que esta información reconstruida sea una aproximación a la original.

Este algoritmo de compresión presente en el JPG se aprovecha de 2 fenómenos visuales en el ojo humano: uno de ellos es que el ojo capta más fácil los cambios de brillo que de color. El otro es que el ojo nota más claramente los cambios de brillo en zonas homogéneas que en zonas con gran variación. La pérdida de calidad es acumulativa cuando se realizan varias compresiones, es decir, si a la imagen original se le realiza una compresión, esta pierde información y calidad, pero si se vuelve a comprimir esta imagen ya comprimida, pierde aún más información, lo que hace sucesiva la pérdida de información.

Este formato también permite guardar la imagen en forma progresiva, es decir, que si se va a cargar una página WEB con bastantes imágenes, se puede verlas inclusive sin que hayan cargado totalmente aunque se vean muy pixeladas” [7].

5.2.4 TIFF

“El formato .tiff (Tag Image File Format) es empleado para imágenes de mapa de bits, además de ser altamente utilizado por los software de tratamiento digital de imágenes debido a su alta calidad de imagen que llega a los 32 bits y a su compresión sin pérdidas. Al formato TIFF se le ha llamado formato sin compresión, ya que en algunas cámaras digitales existe la opción de guardar fotos en formato .tiff, lo que hace referencia a una foto sin compresión, la realidad es que este formato de gran calidad permite realizar compresiones opcionalmente sin pérdida de calidad con el sistema LZW (Lempel-Ziv-Welch) que es un algoritmo de compresión sin pérdidas.

Este tipo de formato para guardar imágenes de alta calidad muestra compatibilidad con sistemas operativos como Windows, Linux, Mac, etc, y es usado por muchos programas gráficos de retoque, como Paint, Shop Pro, Adobe, Quark, Corel etc” [7].

5.2.5 PNG

El formato .png (Portable Network Graphics) fue desarrollado en gran medida para solventar las deficiencias del formato GIF para lograr alcanzar y almacenar una mayor profundidad de contraste. Es un gráfico rasterizado comprimido sin tanta pérdida de información como lo es con otros formatos, aprobado en el año 1996. *“Se desarrolló pensado en una distribución ideal en Internet, este formato contiene los beneficios del JPG y el GIF, es decir, los archivos pueden ser altamente comprimidos y su paleta no se restringe a 256 colores sino que puede utilizar millones” [7].*

5.2.6 PGM

El nombre PGM viene del acrónimo “Portable Gray Map”. Este formato es el más bajo denominador común del formato de imágenes para escala de grises. Un archivo PGM consiste en una secuencia de una o más imágenes del mismo formato reducido en mini escala de grises el cual no tiene limitadores, datos o relleno antes, después o entre las imágenes.

Cada imagen PGM consiste en:

- Un número de identificación del tipo de formato.
- Espacios en blanco.
- Un ancho para la matriz de información, en caracteres ASCII en decimal.
- Espacios en blanco.
- Un alto para la matriz de información, en caracteres ASCII en decimal.
- Espacios en blanco.
- El máximo valor de gris en código ASCII decimal. Este debe ser menor a 65536 y mayor a cero.
- Una nueva línea para un espacio en blanco simple.

- Una trama de filas, ordenadas de mayor a menor en donde cada fila se compone de varios valores de escala de grises amplios, también ordenados de izquierda a derecha. Cada valor de gris es un número desde 0 hasta el max valor que puede tomar, siendo 0 el color negro y el max valor el blanco [30].

6 BASE DE DATOS

Como se ha mencionado en apartados anteriores, el uso de una base de datos para este proyecto es meramente importante. La cuestión como denominador principal del proyecto fue el interrogante: ¿Cuál debe ser la mejor opción en cuestión de bases de datos?, conociendo que la misma debe presentar características específicas para un análisis adecuado en cuanto a rasgos del iris, resolución de la imagen, formato de la imagen, entre otros que se mencionaran posteriormente. Procediendo con la investigación de las bases de datos, se debe tener en cuenta como componente principal las especificaciones de la captura, conociendo que se pueden dividir en dos ramas de alta importancia las cuales son espectro visible y espectro no visible (Ver figura 6.1).

6.1 Espectro visible:

Se llama espectro visible a la región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir.

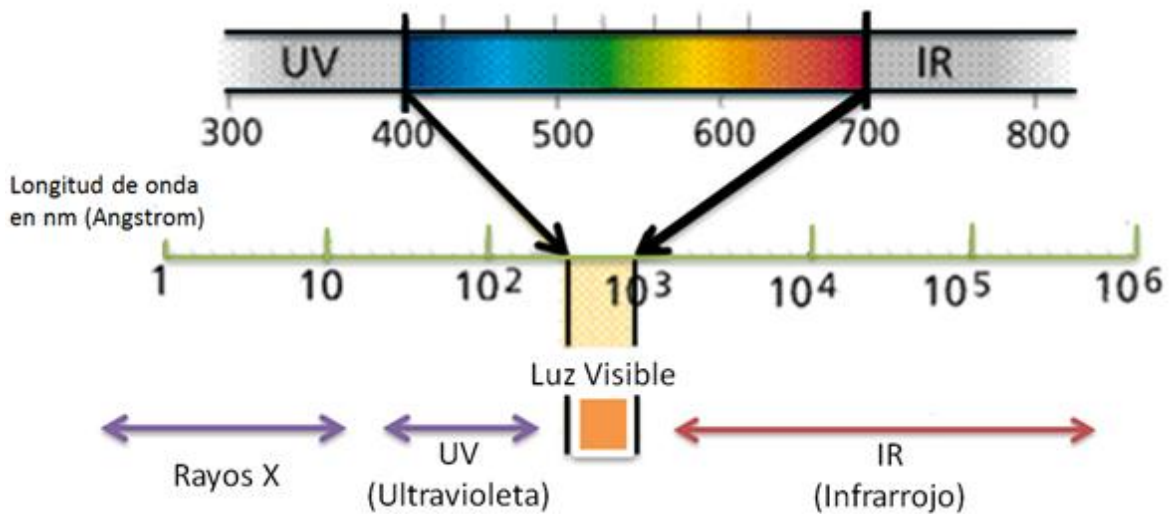


Figura 6.1: Espectro visible y no visible [7].

Aplicando esta definición a una base de datos, se puede decir que en la captura de las imágenes se realizó una modificación del entorno para la toma de las mismas, estas modificaciones se pueden ver reflejadas en luminosidad implementada para la captura, llevando a cabo el uso de leds, bombillos, etc.

Ahora, se mencionaran bases de datos candidatas en el proceso del proyecto que presentan espectro visible:

6.1.1 Upol database:

Esta base de datos contiene 384 imágenes (Ver ejemplo figura 6.2), las cuales están divididas de la siguiente manera: 64 paquetes cada uno con 3 imágenes de ojos izquierdos y otras 64 de ojos derechos. Como características específicas del formato, se tiene una resolución de 576 x768 píxeles, un color de 24-bit RGB, formato en png; estos iris fueron escaneados por un dispositivo óptico (TOPCON TRC50IA) conectado a una cámara SONY DXC-950P 3CCD.

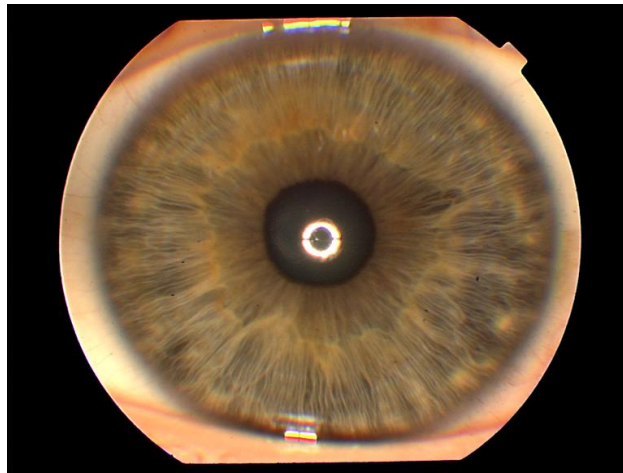


Figura 6.2: Ejemplo de base de datos UPOL [14].

6.1.2 Ubiris database:

Esta base de datos fue realizada por el departamento de ciencias computacionales de la Universidad de Beira, situada en Portugal. La versión implementada fue la número 1 la cual contiene 1877 imágenes adquiridas de 241 personas las cuales presentan diversidad de ruido; entendiéndose ruido en este campo de análisis como aspectos aleatorios tanto presentes en la captura de la imagen como en el objeto en cuestión (Iris) los cuales generan alteraciones como lo son: difuminación, efectos de brillo, oclusión (ya sea por objetos externos o propios del individuo).

La UBIRIS contiene 2 versiones de bases de datos (versión UBIRIS.v1 y UBIRIS.v2), dichas versiones fueron descartadas para la implementación del proyecto debido a que, como se mencionó anteriormente, las imágenes presentadas en ellas poseen alta variedad de ruido (Ver figura 6.3) que genera circunstancias desfavorables a la hora de realizar el análisis del iris bajo determinadas técnicas.



Figura 6.3: Ejemplo base de datos UBIRIS [15].

6.1.3 Base de datos autores:

En base a la dificultad de encontrar una base de datos que se situara a las comodidades del proyecto definidas por los autores, se determinó la viabilidad de crear una base de datos propia la cual posee las siguientes características:

- Cámara utilizada para la captura: Nikon D90 – Lente SIGMA DG MACRO 105mm.
- Iluminación utilizada: reflejo de luz hacia el individuo gracias al uso de reflectores de aluminio y lámparas de gran potencia.
- Distancia estándar para cada captura de imagen de 20 cm aproximadamente.
- Capturas tipo RGB en formato .JPG.

Esta base de datos fue eventualmente descartada para su procesamiento debido a rasgos no deseados que se presentaron en las capturas (brillos e incorrecto enfoque de iluminación ilustrado en la figura 6.4) lo cual perjudicó el análisis de los puntos e información clave de cada Iris para ser comparado.



Figura 6.4: Imagen base de datos [Los autores].

6.1.4 Base de datos utilizada:

“Esta base de datos fue desarrollada en el 2014 con 258 personas de la Universidad Tecnológica de Pereira, entre ellos estudiantes y profesores de diferentes edades, se obtuvieron 1928 imágenes del iris, entre estas 660 imágenes en JPG con una resolución de 800 x 600 píxeles en RGB, y las 1268 restantes se tomaron en formato TIFF con una resolución de 1280 x 720 píxeles con una cámara Web Logitech C615 en RGB. Este último formato con el fin de disminuir los artefactos y la pérdida de información que presenta el JPG” [7]. Ver ejemplo figura 6.5.

Este proyecto tuvo énfasis en solo una reducida parte de dicha base de datos debido al enfoque y especificaciones al cual fue proyectada la investigación a la hora de usar técnicas de análisis de imágenes diferentes, pero trabajando sobre la misma área en común, en este caso, el Iris. Se implementaron 20 sujetos diferentes de la Universidad Tecnológica de Pereira, cada uno de ellos presentando 20 imágenes del iris del ojo derecho, haciendo un total de 400 imágenes para esta base de datos.

Cabe recalcar que esta base de datos fue otorgada para su análisis por el Ingeniero Deivy Alejandro Muñoz Acosta, la cual fue creada y utilizada en el proyecto “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA BIOMÉTRICO MEDIANTE EL IRIS” [7].



Figura 6.5: Imagen base de datos utilizada [7].

6.1.4.1 Prototipo de captura:

Basados en la antropometría; dicese de la ciencia que estudia las medidas del cuerpo humano, se clasificó como punto principal la versatilidad del mecanismo sobre el cual los sujetos de prueba fueron sometidos para realizar una óptima captura que abarcara las características más influyentes que competen la misma, es decir, iluminación, distancia, baja oclusión, baja resolución, entre otros.

Como se denotó anteriormente, se le dio versatilidad al sistema mecánico por medio de la construcción de un prototipo con 3 grados de libertad para las comodidades al momento de la captura.

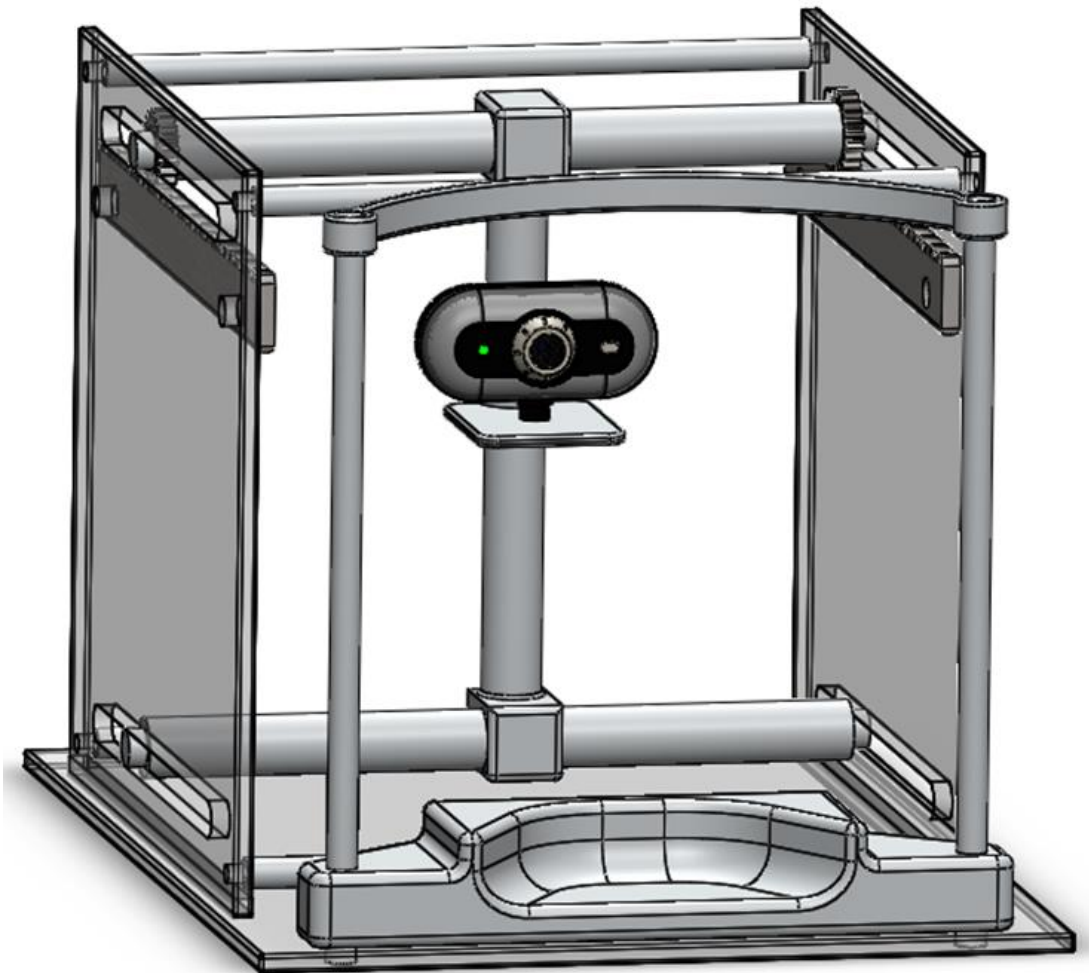


Figura 6.6: Diseño de prototipo [7].

Como se puede observar en la figura 6.6, este fue un estimado del prototipo construido para la captura de las imágenes, realizado con el software de diseño llamado SolidWorks 2013.

La esencia primordial en el prototipo de captura, fue la implementación de una cámara “Logitech C615 web HD la cual cuenta con una resolución máxima de 12Mpx (Megapíxeles)” (Ver figura 6.7) [7].



Figura 6.7: WebCam Logitech C615 HD [7].

Los parámetros más relevantes con respecto a las imágenes fueron los siguientes:

- “El rango de distancias a las que se hizo la captura de la imagen fue de [7cm - 10cm]” [7].
- “Con el fin de garantizar las mismas condiciones de luz, se adhirió un led lumínico blanco (temperatura del color 5000K – 7000K) 5mm por debajo del lente de la cámara. Además de forrar el prototipo en papel adhesivo negro, y a la hora de capturar la imagen se cubrió la escena de la toma con un manto negro para eliminar la iluminación externa” [7].

Esta base de datos fue implementada en el proyecto debido a la gran cantidad de información, de sujetos, fácil acceso y buenos resultados anteriormente con respecto a otros estudios realizados anteriormente.

6.2 Espectro no visible

“El espectro invisible, es la parte del Espectro electromagnético que no puede ser vista por el ojo humano, esta está enmarcada por dos regiones de la luz: los rayos infrarrojos (rayos infrarrojos, señal de televisión, señales de radio, y las microondas y la radiación térmica) en una frecuencia de onda por debajo de la contenida por el color rojo (longitud de onda más larga); y los rayos ultravioletas (los rayos ultravioletas, los rayos X, los rayos gamma), que se

encuentra por arriba de la frecuencia de onda del color violeta (longitud de onda más corta)” [12].

Como se definió anteriormente con el espectro visible, este fenómeno no presenta ninguna alteración externa ya que se implementa iluminación de tipo infrarroja, la cual no contiene color ni brillos en la imagen.

6.2.1 CASIA

Esta base de datos contiene diferentes versiones, cada una de ellas con características similares. Hasta donde se conoce la versión 4 contiene un total de 54601 imágenes del iris de más de 1800 sujetos genuinos y 1000 sujetos virtuales. Todas las imágenes del iris son de 8 bits en escala de grises con formato .JPEG, tomadas bajo iluminación infrarroja (Véase figura 6.8).

Esta base de datos no se implementó debido a que mayormente fue tomada en sujetos con características asiáticas (Color, oclusión, etc.); debido a lo anterior, no se consideró lo más indicado para el estudio realizado.

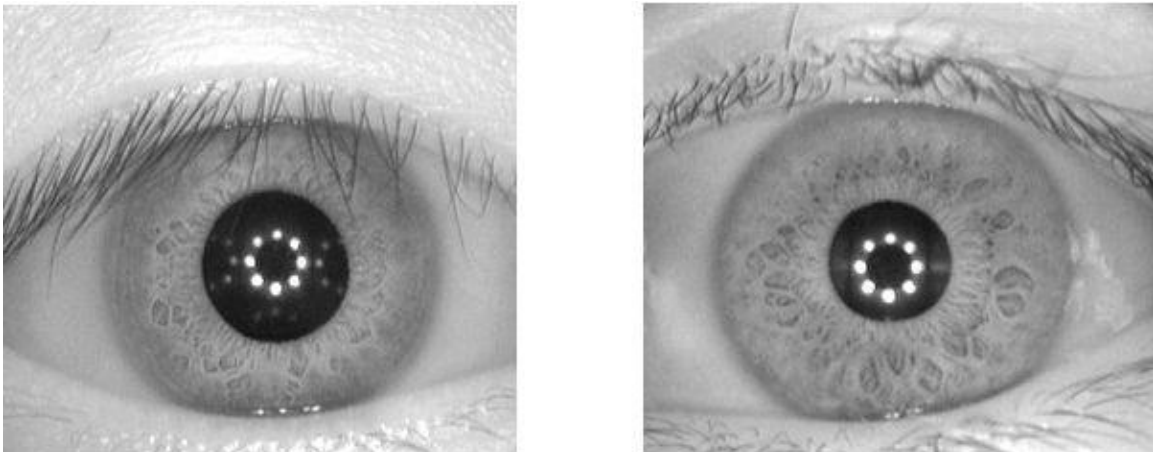


Figura 6.8: Ejemplo base de datos CASIA [16].

7 MÉTODOS DE RECONOCIMIENTO BIOMÉTRICO APLICADO AL IRIS

7.1 Principal Component Analysis (PCA):

“Análisis de Componentes Principales, o PCA por sus siglas en inglés, consiste en encontrar transformaciones ortogonales de las variables originales para obtener un nuevo conjunto de variables no correlacionadas, denominadas componentes principales, de las cuales se espera hallar mayor variabilidad de los datos con el fin de disminuir o reducir la dimensión de estos sin mucha pérdida de información, para lograr simplificar el problema” [7].

7.2 Liner Discriminant Analysis (LDA):

“Análisis Discriminante Lineal consiste en un enfoque estadístico que clasifica un conjunto de datos al igual que el Análisis de Componentes Principales (PCA), pero a diferencia de éste, sí tiene en cuenta la distinción o discriminación de variables, es decir, tiene la intención de maximizar la varianza entre tipo de datos y minimizar la varianza entre el mismo tipo de datos. Este método usa un algoritmo que encuentra una base de vectores que mejor discrimine entre tipo de datos” [7].

7.3 Independent Component Analysis (ICA):

“Análisis de Componentes Independientes es una técnica computacional y estadística la cual revela factores ocultos en un conjunto de datos de variables aleatorias, mediciones o señales. Este método está relacionado con el Análisis de Componentes Principales (PCA), sin embargo este es un método mucho más robusto y poderoso, capaz de encontrar factores que las técnicas clásicas no pueden. ICA posee varios campos de aplicación como imágenes digitales, bases de datos de documentos, indicadores económicos y mediciones psicométricas, como por ejemplo las mezclas de señales de voz simultáneas que son recogidas por varios micrófonos” [7].

7.4 Local Binary Patterns (LBP):

“Patrón Binario Local (LBP) es un método ideal para aplicaciones que requieran extracción de características y clasificación de texturas. Posee un gran poder discriminativo y simplicidad computacional, lo cual lo hace de gran utilidad en aplicaciones como recuperación de imágenes, inspección visual, sensores remotos, análisis de imágenes biomédicas, análisis de movimiento y análisis de escena entre otras. En reconocimiento del iris su función principal es extraer características de la imagen del iris normalizada” [7].

7.5 Template Matching:

Esta técnica de reconocimiento consta de un proceso el cual determina la presencia y la localización de una imagen de referencia o un objeto contenido en una imagen bajo el análisis de un proceso de correlación. Para aplicar los procesos de correlación bajo una imagen de referencia establecida se requiere de la implementación de alto software computacional, debido a que el procesamiento permite la desviación de la plantilla, es decir, es invariante a la orientación, lo que lo hace versátil a la hora de encontrar la imagen deseada.

Como se mencionó anteriormente para esta técnica, el proceso se rige bajo el hallazgo de coordenadas para encontrar una plantilla en una imagen de referencia o imagen objetivo.

Una de las premisas a destacar es que la plantilla que se desee buscar no sobrepase el tamaño de la imagen objetivo, en otras palabras, que el tamaño en pixeles de la imagen original sea mayor a la plantilla establecida.

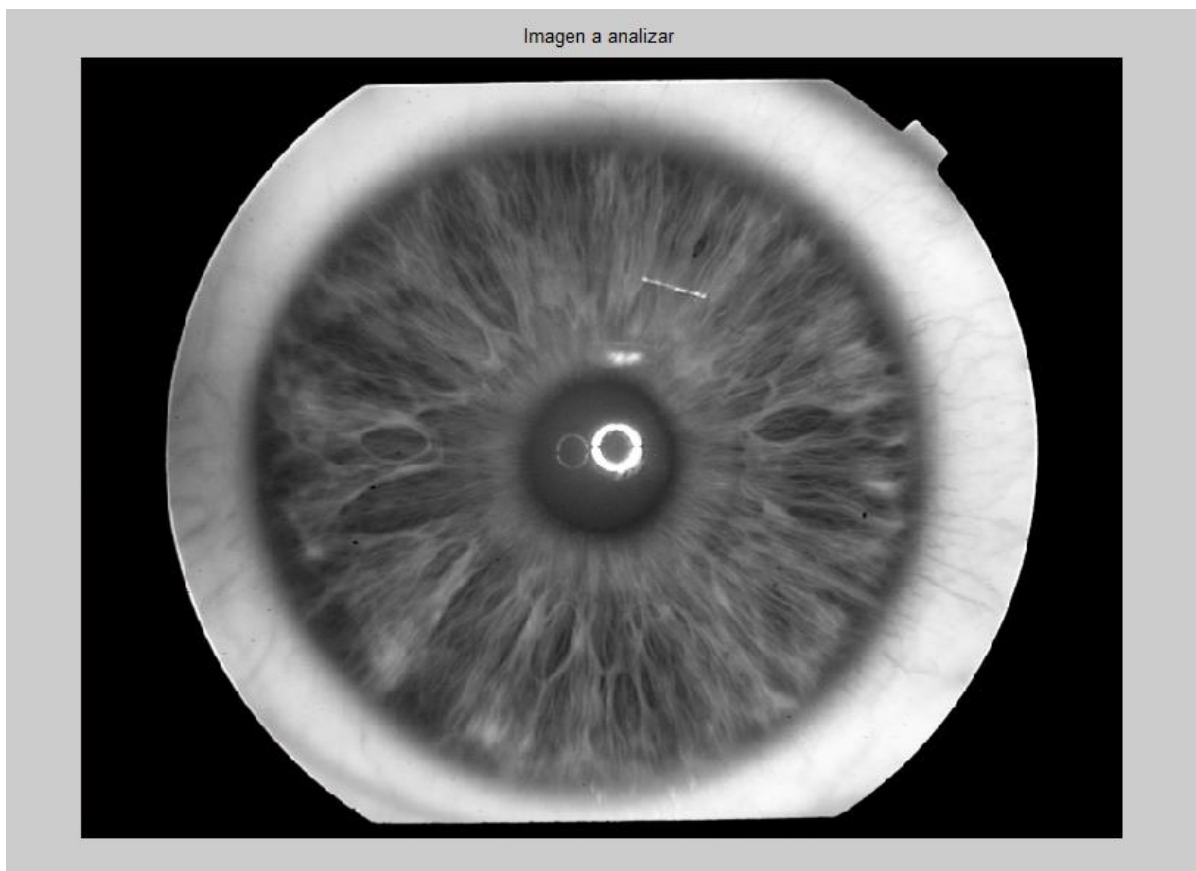


Figura 7.1: Imagen objetivo (Imagen Base) [Los Autores].

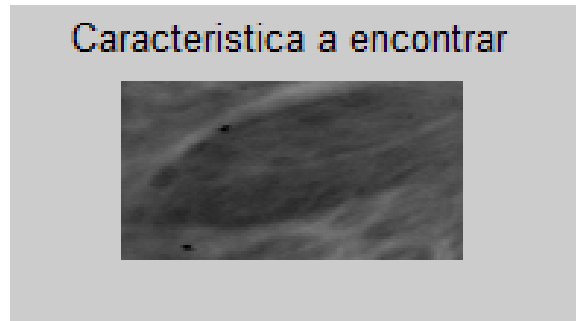


Figura 7.2: Parámetro a encontrar en imagen original [Los Autores].

El tamaño en la figura base (Ver figura 7.1) es de 576 x 768 pixeles (computación realizada por Matlab) mientras que para el parámetro a encontrar (Ver figura 7.2) el tamaño es de 61 x 117 pixeles, cumpliendo así con la premisa clave de este tipo de reconocimiento biométrico.

Como paso siguiente se realiza la matriz de correlación cruzada normalizada de la imagen base (Ver figura 7.3), la cual consiste en una operación indefinida en dichas regiones donde la imagen base tiene varianza cero sobre todo el recorrido de la plantilla. Para estas regiones se asignan coeficientes de correlación con valor cero a la salida [33].

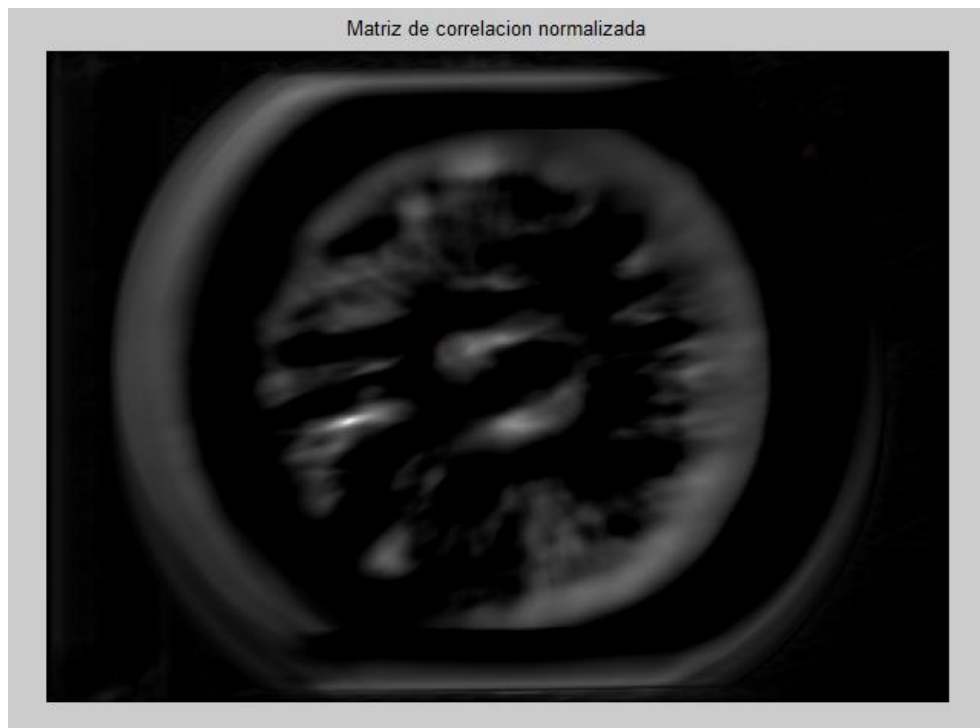


Figura 7.3: Matriz de correlación normalizada [Los Autores].

En base a la imagen resultante normalizada (Figura 7.3), se tienen parámetros suficientes como para realizar un recorrido completo por toda la matriz original (imagen base), y retornar un valor marcado específico el cual contenga el parámetro deseado como se aprecia en la figura 7.4.

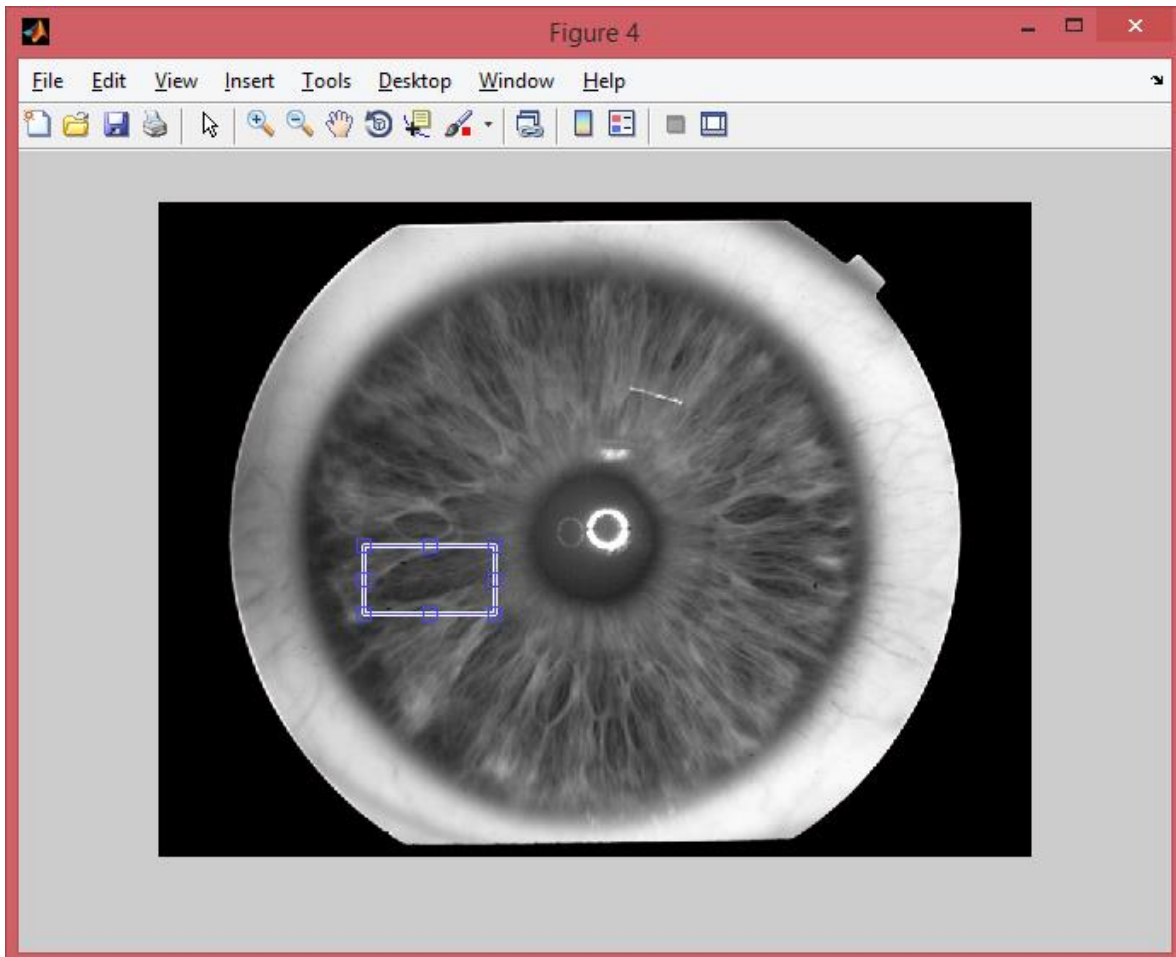


Figura 7.4: Imagen Base con plantilla identificada correctamente [Los Autores].

8 SIFT

“El algoritmo denominado SIFT, es el cálculo aproximado del operador normalizado Laplaciano en la escala de espacios.

Las características vectoriales basadas en el algoritmo SIFT poseen 128 vectores dimensionales característicos los cuales son encontrados calculando el histograma del gradiente de dirección de cada uno de los puntos característicos en el área local. La composición del algoritmo SIFT se mantiene invariante ante rotación, zoom de cualquier tipo, variaciones en el contraste y también tiene un cierto grado de estabilidad a cambios de perspectiva y algunos ruidos.

A pesar de que la precisión del algoritmo SIFT es muy alta, toma un considerable periodo de tiempo para ejecutarse y debido a esta circunstancia, la eficiencia disminuye.

8.1 Reseña histórica:

En 1999 en la Universidad British Columbia, el profesor David G. Lowe resumió métodos de detección de características existentes basados en la tecnología invariante, y desarrolló un patrón de características locales en imágenes basadas en la escala de espacios (SIFT).

El algoritmo fue desarrollado en 2004. La esencia del algoritmo SIFT puede ser clasificada como el problema de encontrar los puntos característicos en diferentes escalas de espacio.

8.2 Descripción del algoritmo:

Los pasos para la implementación del algoritmo SIFT pueden ser resumidos en la imagen 8.1:

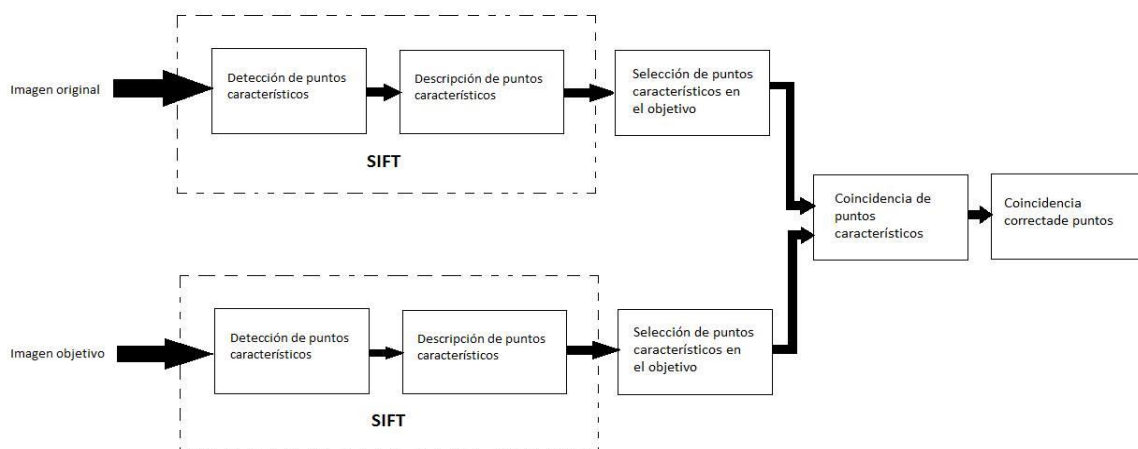


Figura 8.1: Procedimiento del algoritmo SIFT [Autores].

Para realizar el reconocimiento de objetos usando el algoritmo SIFT, principalmente se tienen 3 procedimientos de trabajo:

1. Extraer los puntos clave.
2. Adicionar información detallada (Características locales) a los puntos clave.
3. Encontrar los pares de puntos característicos que coincidan con ambas imágenes (Los puntos clave con los vectores característicos).

Llevando esto a cabo, la correspondiente relación entre las imágenes será establecida.

8.3 Estructura lógica del algoritmo:

Como mencionó previamente, el algoritmo fue desarrollado por el profesor David G. Lowe, el cual llegó a la conclusión de que la estructura básica del algoritmo SIFT puede ser realizada bajo procedimientos secuenciales que se describirán a continuación:

8.3.1 Escala de espacios:

La teoría de la escala de espacios fue presentada por primera vez en 1962, su objetivo es obtener la secuencia de escala de espacio de una imagen en multi-escala tomando la transformación de la escala de la imagen original y extrayendo el contorno de cada una de las secuencias en la escala de espacios, el cual es usado como un tipo de vector característico para encontrar bordes y esquinas en la detección de características con diferentes resoluciones.

La escala de espacio $L(X, Y, \sigma)$ de una imagen es definido como la operación de convolución de la imagen original $I(X, Y)$, y la función Gaussiana de escala variable en 2 dimensiones $G(X, Y, \sigma)$. Donde en una imagen de 3 dimensiones X y Y son posiciones de la imagen y σ es la resolución. Se tienen las siguientes operaciones:

(1) Función Gaussiana

$$G(X_i, Y_i, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{(X-X_i)^2 + (Y-Y_i)^2}{2\sigma^2}\right)$$

(2) Escala de espacio

$$L(X, Y, \sigma) = G(X, Y, \sigma) * I(X, Y)$$

8.3.2 El modelo de la pirámide gaussiana y sus diferencias:

El proceso de la pirámide Gaussiana puede ser dividido en dos pasos:

1. Realizar suavizado Gaussiano a la imagen.
2. Realizar la ejecución en la imagen.

En orden de permitir que la escala refleje la continuidad, el filtro Gaussiano es agregado a la muestra simple. Una imagen puede producir diversos grupos de imágenes, y un grupo de imágenes incluyen muchas capas de imágenes. La capa inferior del último grupo de imágenes es creada por la imagen cuya escala es 2σ en el siguiente grupo de imágenes, comparando alternativamente las muestras con un factor el cual es 2. Y este mismo mantiene la continuidad de la escala (Apréciese en la figura 8.2).

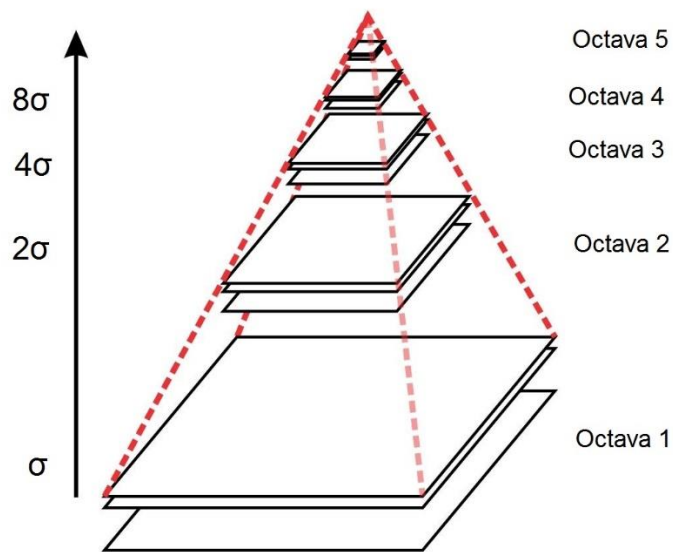


Figura 8.2: Pirámide Gaussiana. [Autores]

Basado en el operador diferencial Gaussiano (DoG), se puede construir la pirámide de diferencia Gaussiana. El cambio de valores de pixeles de las imágenes puede ser encontrado por el diagrama DoG. Sí no hay cambio alguno, no habrá ningún punto característico, y los puntos característicos deben ser los puntos que han cambiado en gran medida. Un diagrama DoG describe el contorno de la imagen objetivo (Ver figura 8.3).

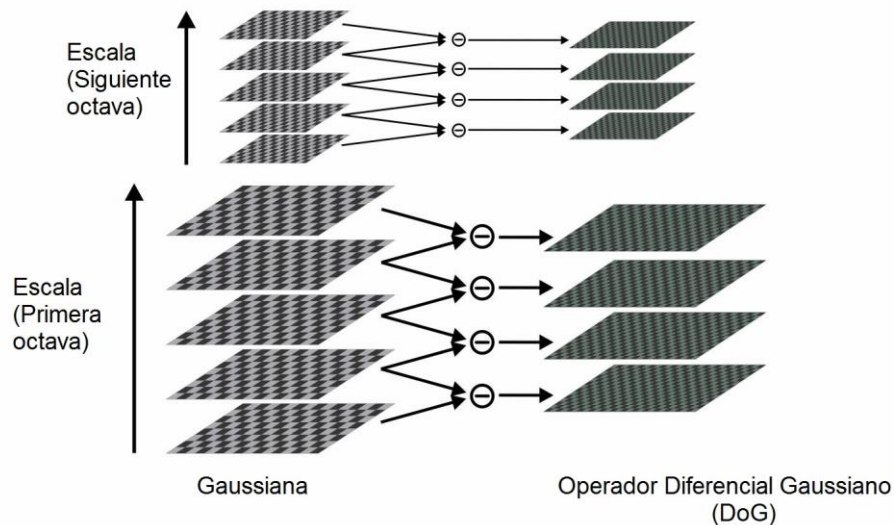


Figura 8.3: Operador Diferencial Gaussiano (DoG). [Autores]

La función DoG consiste en:

(3) Escala de espacio

$$L(X, Y, \sigma) = G(X, Y, \sigma) * I(X, Y)$$

(4) Función DoG

$$D(X, Y, \sigma) = [G(X, Y, K\sigma) - G(X, Y, \sigma)] * I(X, Y) = L(X, Y, K\sigma) - L(X, Y, \sigma)$$

Donde K= Ganancia

8.3.3 Establecimiento de puntos clave:

8.3.3.1 Localización y escala de puntos clave:

Primeramente, los puntos característicos deben ser localizados con exactitud, por ende, cada uno de los pasos siguientes deben cumplirse. En orden de mejorar la estabilidad de los puntos clave, la escala de espacio y la función DoG son necesarias para realizar el ajuste de forma curvilínea. Usando la expansión de Taylor en la función DoG en la escala de espacios, se tiene:

$$D(X) = D + \left[\frac{\partial D^T}{\partial X} X + \left(\frac{1}{2} X^T * \left(\frac{\partial^2 D}{\partial X^2} X \right) \right) \right] \quad (5)$$

$$\text{El punto extremo es } \hat{A} = (X, Y, \sigma)^T \quad (6)$$

En el proceso del cálculo, la fila, columna y escala de la imagen son revisadas respectivamente y los resultados obtenidos son los siguientes:

$$D(X) = D + \left[\frac{\partial D^T}{\partial X} X + \left(\frac{1}{2} X^T * \left(\frac{\partial^2 D}{\partial X^2} X \right) \right) \right] \quad (7)$$

$$\text{El resultado es } \hat{A} = - \left[\left(\frac{\partial D^T}{\partial X} \right) * \left(\frac{\partial^2 D}{\partial X^2} \right)^{-1} \right], \hat{A} \text{ es el valor estimado} \quad (8)$$

Después se reemplaza el valor estimado en la formula (7) y se obtiene la ecuación (9):

$$D(\hat{A}) = D + \left(\frac{1(\partial D^T)}{2(\partial X)} \right) X \quad (9)$$

Los puntos de bajo contraste deben ser removidos. El análisis realizado por Lowe, mostró que todos los puntos máximos cuyo valor sea menos a 0.04 pueden ser abandonados (El rango de pixeles en escala de gris es [0,1]).

Exceptuando los puntos máximos de bajo contraste, los puntos en los lados de la imagen también deben ser removidos debido a que la función DoG tiene una fuerte respuesta a los bordes en los bordes de la imagen. Los puntos pico de la función DoG tienen una curvatura mayor direccionada a través del eje de las imágenes, y tienen una curvatura menor en la dirección vertical. La curvatura principal puede ser obtenido por medio del cálculo de una matriz Hessiana de 2x2 en la posición escalar del punto, y la derivada puede ser estimada por la diferencia adyacente de los puntos de muestreo.

(10) Matriz Hessiana:

$$H = \begin{bmatrix} D_{xx} & D_{xy} \\ D_{xy} & D_{yy} \end{bmatrix}$$

Donde D_{xx} denota la imagen en cierta escala de la pirámide DoG calculando la derivada doble en dirección X. La curvatura principal de D es proporcional al valor característico de H. A fin de establecer α para ser el valor mayor característico mientras que β será el menor, se puede deducir lo siguiente:

$$\alpha = r\beta \quad (11)$$

$$\frac{Tr(H)^2}{Det(H)} = \frac{(\alpha + \beta)^2}{\alpha\beta} = \frac{(r+1)^2}{r} \quad (12)$$

$$Tr(H) = D_{xx} + D_{yy} \quad (13)$$

$$Det(H) = D_{xx} \times D_{yy} - D_{xy} \times D_{xy} \quad (14)$$

Donde $\frac{(r+1)^2}{r}$ es el valor más pequeño cuando los dos valores característicos son iguales, e incrementa cuando el valor de r aumenta (Relación proporcional). Lowe sugirió el valor de 1 para r. Y la fórmula discriminante es la siguiente:

$$\frac{Tr(H)^2}{Det(H)} < \frac{(r+1)^2}{r} \quad (15)$$

Cuando esta fórmula (15) ocurre, los puntos clave pueden ser guardados o removidos.

8.3.3.2 Dirección de los puntos clave:

La dirección del valor de los puntos máximos es entregada por el cálculo del gradiente de cada uno de los valores del punto máximo. El gradiente de los puntos de los pixeles es representado en la ecuación (16), así:

$$gradI(X, Y) = \left(\frac{\partial I}{\partial X}, \frac{\partial I}{\partial Y} \right) \quad (16)$$

(17) Gradiente de magnitud

$$m(X, Y) = \sqrt{(L(X + 1, Y) - L(X - 1, Y))^2 + (L(X, Y + 1) - L(X, Y - 1))^2}$$

(18) Gradiente de dirección

$$\theta(X, Y) = \tan^{-1} \left[\frac{(L(X, Y + 1) - L(X, Y - 1))}{(L(X + 1, Y) - L(X - 1, Y))} \right]$$

El gradiente de un punto de un pixel constituye el histograma de los gradientes, el cual entrega la dirección de los puntos clave.

Cada punto clave, tiene 3 características específicas: localización, escala y dirección, lo cual hace que el punto clave sea invariante a la translación, escalamiento y rotación.

8.3.4 Emparejamiento de puntos clave:

Se establece un descriptor clave respectivamente para la imagen de referencia y la imagen de observación, y el objetivo de reconocimiento se realiza comparando los descriptores de los puntos clave en ambas imágenes. La similitud del descriptor con 128 dimensiones es medida por la distancia Euclidiana como se muestra a continuación:

$$d(R_i, S_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^{128} (r_{ij} - s_{ij})^2} \quad (19)$$

(20) El descriptor clave de la imagen de referencia

$$R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{i128})$$

(21) El descriptor clave de la imagen de observación:

$$S_i = (s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{i128})$$

Sí los descriptores de los dos puntos clave coinciden, $d(R_i, S_j)$, es necesario cumplir la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{El punto más cercano } S_j \text{ a } R_i \text{ en la imagen de observación}}{\text{El segundo punto más cercano } S_p \text{ a } R_i \text{ en la imagen de observación}} < \text{Umbral} \quad (22)^n \text{ [13].}$$

9 METODOLOGÍA

Para la caracterización del Iris y extracción de información el software implementado fue Matlab - versión R2013a. Esta versión permitió la implementación de una serie de códigos y funciones requeridas para el desarrollo óptimo del proyecto.

Primero se planteó el problema a resolver: ¿Cómo realizar la identificación de individuos por medio del procesamiento y análisis del Iris implementando un código de programación?

Como siguiente paso se llevó a cabo la investigación del modelo matemático implementado por la técnica SIFT con el fin de ser aplicado a la comparación de las imágenes expuestas en la base de datos.

Se procedió a extraer los resultados arrojados para, posteriormente, ser realizado sobre estos un estudio estadístico.

9.1 Base de datos (captura de la imagen)

Para este proyecto se tuvo en cuenta las características siguientes que describen la base de datos implementada:

- La cámara utilizada para esta base de datos fue la Logitech C615 web HD la cual posee una resolución de 12 Megapíxeles. El enfoque para la captura de las imágenes se realizó manualmente.
- *“El rango de distancias a las que se hizo la captura de la imagen fue de [7cm - 10cm]” [7].*
- Las condiciones lumínicas constaron de un led lumínico blanco el cual se encontraba ubicado 5mm por debajo del lente de la cámara.
- *“Las imágenes capturadas cuentan con una resolución de 1280 x 720 píxeles, en RGB y se almacenaron con el formato TIFF” [7].*

9.2 Pre procesamiento:

Antes de realizar la segmentación en la imagen se realizó un proceso para resaltar ciertas características de vital importancia para el posterior desarrollo en el código.

- La imagen de entrada tenía como característica las tres capas de color RGB (Red, Green, Blue). De la imagen de entrada se extrajo únicamente la capa Roja.
- De esta capa se derivaron 2 imágenes las cuales corresponden al Iris y a la pupila, se usaron para la detección de centros y radios de las mismas. A la imagen correspondiente al iris se le realizó un ajuste de contraste tomando

un valor de Gamma de 0,5, caso contrario para la imagen de la pupila a la cual no se le aplico un ajuste de contraste (Uso del Gamma).

- Como siguiente paso se aplicó un suavizado de punto Gaussiano para ambas imágenes. Para la imagen del iris se utilizó una ventana de suavizado de 42 y una desviación estándar de 7, y para la imagen de la pupila se realizó el mismo procedimiento pero con una ventana de suavizado de 18 y desviación estándar de 3.
- Acto seguido para la detección de bordes de cada imagen, se utilizó el detector Canny con un umbral de 0.1 y 0.05 para el iris y la pupila respectivamente.

9.3 Segmentación

Debido a que ciertas áreas no son de mayor importancia para el análisis del iris, se realiza una extracción del mismo realizando los procesos mencionados a continuación:

- Se detectó la circunferencia exterior del iris (Iris – esclerótica), este proceso se le aplica a la imagen del iris pre procesada, teniendo que entre un intervalo de 90 a 150 pixeles, el código hallará circunferencias que se encuentren acogidas por este rango y variando entre la cantidad de círculos a encontrar debido a su sensibilidad, la cual fue de 0,95.
- Acto seguido se realiza la detección de la pupila (Iris – pupila), con la imagen de la pupila pre procesada se establece un intervalo de 20 a 35 pixeles para hallar las circunferencias que comprenden dicho rango. Dado que el programa tenderá a encontrar diversos círculos, se realizó un proceso que define el centro de la pupila más próxima al centro del iris (Coordenadas de la imagen muy similares entre sí). Para lograr la detección total del círculo de la pupila y demás que podrán ser observados en la imagen pero que no son competentes para la tarea a realizar, se aplicó una sensibilidad de 0,85.
- Para realizar el mejor análisis posible respecto al área del Iris, se realiza un recorte del espacio de trabajo. Este proceso se lleva a cabo implementando a la imagen original una binarización con un gamma de 0,1, el cual asegurará que los valores inferiores al mismo, no sean tomados en cuenta (eliminación de área no competente).
- Como acto final se realiza un proceso para determinar la región que concierne al iris y se efectúa un re escalamiento de la imagen de 250x250 pixeles para ser aplicada enteramente a la base de datos y así facilitar el proceso de detección.

9.4 Identificación

La identificación se realizó mediante el algoritmo SIFT previamente mencionado el cual se compuso de los siguientes pasos:

- Para la comparación de imágenes en la base de datos se optó por realizar 2 recorridos que comprenden la lectura de cada imagen de cada individuo en la base de datos (Véase cap. 6.1.4 para base de datos implementada).
- Para realizar los recorridos fue necesaria una función la cual deriva el software computacional a la búsqueda de las imágenes en la base de datos (en este caso las imágenes a comparar) por medio de ciclos iterativos, para así realizar la lectura de toda la base de datos comprendida para, posteriormente, realizar una comparación simultánea.
- El primer recorrido que se realizó tuvo enfoque en la igualdad de individuos, donde se comparaba la primera imagen de un individuo (Imagen fija) con sus 19 capturas restantes.
- El segundo recorrido que se realizó tuvo enfoque en la diferencia de individuos, donde se comparaba la primera imagen de un individuo (Imagen fija) con la primera imagen de cada uno de los individuos restantes en la base de datos.

10 PRUEBAS DE VALIDACIÓN Y RESULTADOS

Posterior a la identificación de cada uno de los individuos se realizaron las pruebas diagnósticas pertinentes con respecto a los resultados arrojados por el código desarrollado.

En resumen, la técnica SIFT otorgó las coincidencias respectivas para cada imagen realizando la comparación de los puntos clave y marcando entre ellas una línea que es equivalente a la coincidencia del punto clave entre ambos iris.

La tonalidad del iris arrojó una diferencia notoria de resultados, tendiendo el color de iris oscuro a menos coincidencias para la técnica implementada.

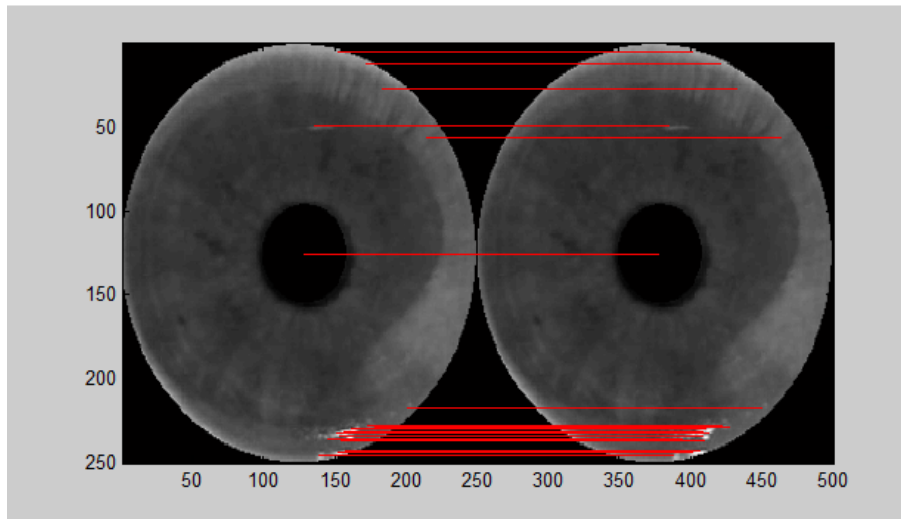


Figura 10.1: Técnica SIFT para Iris oscuros [Los autores].

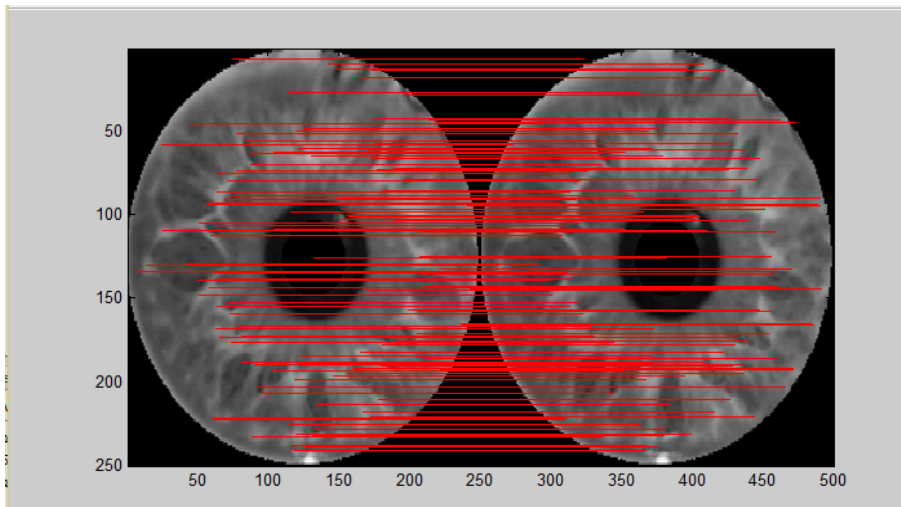


Figura 10.2: Técnica SIFT para Iris claros [Los autores].

Se puede apreciar en las figuras anteriores (véase figuras 10.1 y 10.2) la diferencia con respecto al número de coincidencias en iris de tonalidades diferentes, en este caso nótese la comparación de iris oscuro y claro respectivamente.

10.1 Validación de pruebas diagnósticas:

Para la parte del estudio de resultados se debe determinar de qué forma serán clasificados los mismos. Para ello se habla de la validez interna de un diagnóstico, lo cual se refiere a la capacidad de distinguir entre aquellos individuos que serán afectados por la condición de diagnóstico, para este caso, se refiere a la condición de reconocimiento válido o inválido de los sujetos contenidos en la base de datos.

Previamente a la validez interna de los diagnósticos, se deben clasificar todos los posibles resultados frente al análisis de la prueba en cada par de individuos. En función a los datos obtenidos se tiene:

- Verdaderos Positivos (VP): individuos identificados correctamente en la base de datos, por la prueba realizada en el software Matlab2013a, arrojando un resultado positivo (Identificación correcta del mismo individuo).
- Falsos Positivos (FP): comparación entre dos individuos diferentes pertenecientes a la base de datos que arrojan una identificación incorrecta (resultado de la prueba positivo).
- Falsos Negativos (FN): comparación entre el mismo individuo perteneciente a la base de datos que arroja una identificación incorrecta (resultado de la prueba negativo).
- Verdaderos Negativos (VN): individuos identificados correctamente en la base de datos como sujetos diferentes (resultado de la prueba negativo).

Para proceder de forma estructural ante una prueba de validación, se debe tener en cuenta que la validez interna de un diagnóstico se encuentra compuesta por dos componentes esenciales:

10.1.1 Sensibilidad:

Capacidad para identificar correctamente a un individuo presente en la base de datos con un resultado positivo en la prueba.

Es la proporción de individuos que es capaz de identificar correctamente la cual se rige bajo la siguiente expresión:

$$S = \frac{VP}{VP + FN}$$

Donde:

S= Sensibilidad.

VP= Verdadero Positivo.

FN= Falso Negativo.

10.1.2 Especificidad:

Habilidad para discriminar como negativo a un individuo el cual este incluido o no en la base de datos en aquellas ocasiones en las cuales el sujeto no sea el mismo. El resultado de la prueba es negativo.

Se rige bajo la ecuación:

$$E = \frac{VN}{FP + VN}$$

Donde:

E= Especificidad.

VN= Verdadero Negativo.

FP= Falso Positivo. [29].

10.2 Resultados diagnósticos realizados:

Con respecto a las pruebas realizadas en el software MATLAB, se analizaron todas las imágenes pertenecientes a la base de datos para determinar un umbral (Valor de corte) entre los dos recorridos previamente mencionados (Véase cap. 9.4). El resultado puede apreciarse en las figuras 10.3 y 10.4 respectivamente:

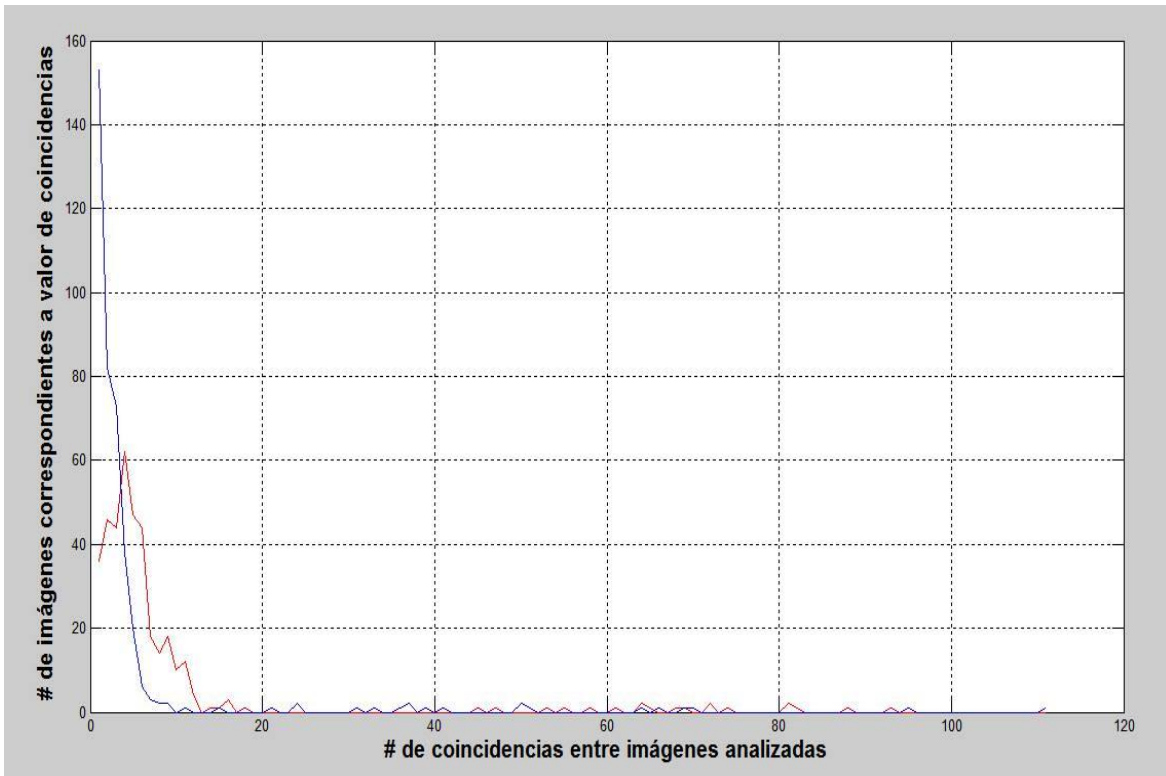


Figura 10.3: Resultado de los dos recorridos en el software (Umbral) [Autores].

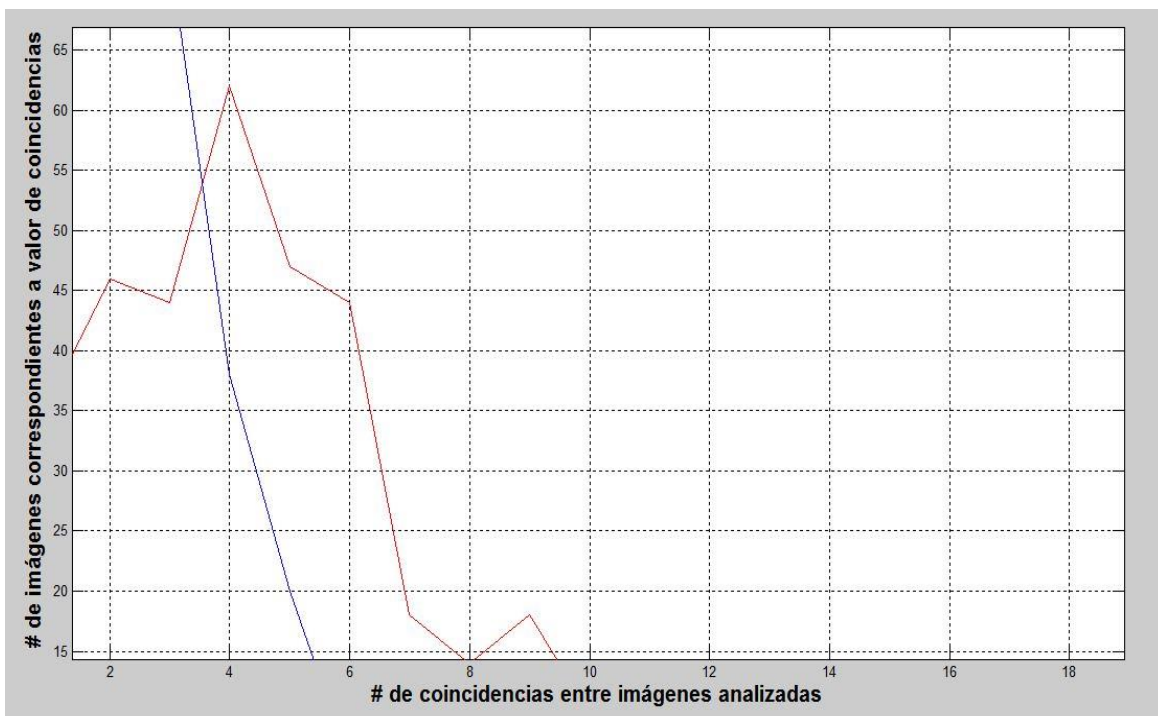


Figura 10.4: Valor aproximado de umbral [Autores].

Para estos resultados cabe resaltar que la línea en color rojo corresponde a los valores de coincidencias clave del primer recorrido de la prueba y la línea de color azul corresponde a los valores de coincidencia clave en el segundo recorrido.

Es de aclarar que en el eje X se encuentra el número de coincidencias entre las imágenes analizadas, y en el eje Y se encuentra el número de imágenes correspondientes a cada uno de los valores de las coincidencias.

Dado que el análisis de las imágenes con el algoritmo SIFT arrojó un número de coincidencias determinado, se realizó un clasificador heurístico (Clasificador propio) por medio de este número y se determinó que por debajo del valor del umbral (Ver figura 10.3) hay mayor probabilidad de que la característica de la prueba tienda a ser un valor falso y en caso contrario, que la característica tienda a un valor positivo.

Aplicando un margen respecto al umbral, se tomaron 2 valores diferentes para el mismo. Los valores fueron de 4 y 5 coincidencias. También se realizó una modificación al algoritmo SIFT para ajustar los diferentes valores que el mismo algoritmo puede definir como una coincidencia válida para tomar diferentes medidas respecto al análisis de las imágenes, los valores fueron de 0.7, 0.75 y 0.77, arrojando los siguientes resultados:

Umbral 4	VP	FN	FP	VN
0.7	208	172	40	340
0.75	259	121	79	301
0.77	281	99	104	276

Tabla 1: Valor de umbral de 4 para prueba de validez diagnóstica [Autores].

Sensibilidad	Especificidad
55	89
68	79
74	73

Tabla 2: Sensibilidad y Especificidad para valores con umbral de 4 [Autores].

Se estructuró en las tablas de datos anteriores, para la prueba de identificación, los valores de sensibilidad y especificidad de cada prueba de validez diagnóstica. Cabe mencionar que la prueba se rigió bajo las denotaciones de VP, FN, FP y VN (Véase cap 10.1)

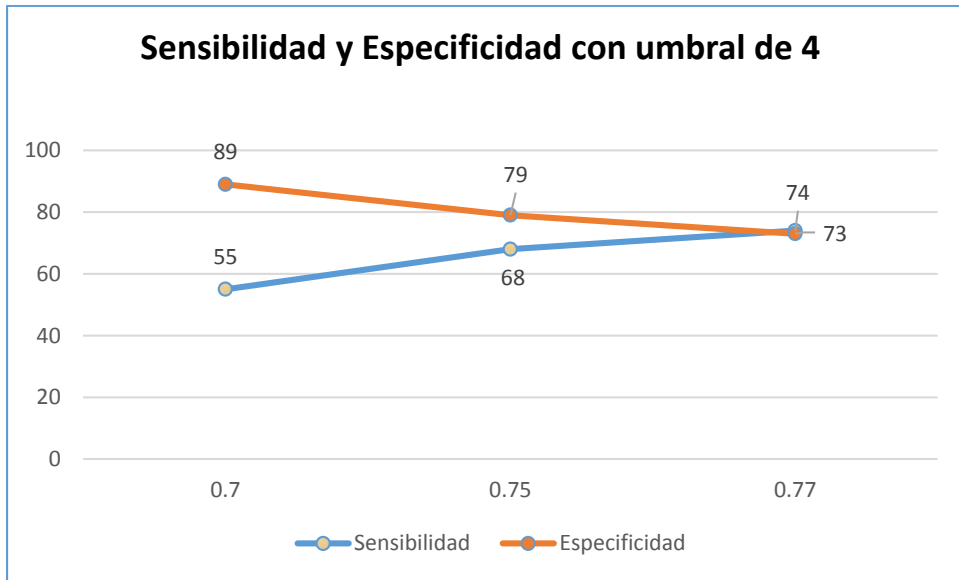


Figura 10.5: Comportamiento Sensibilidad – Especificidad con umbral de 4 [Autores].

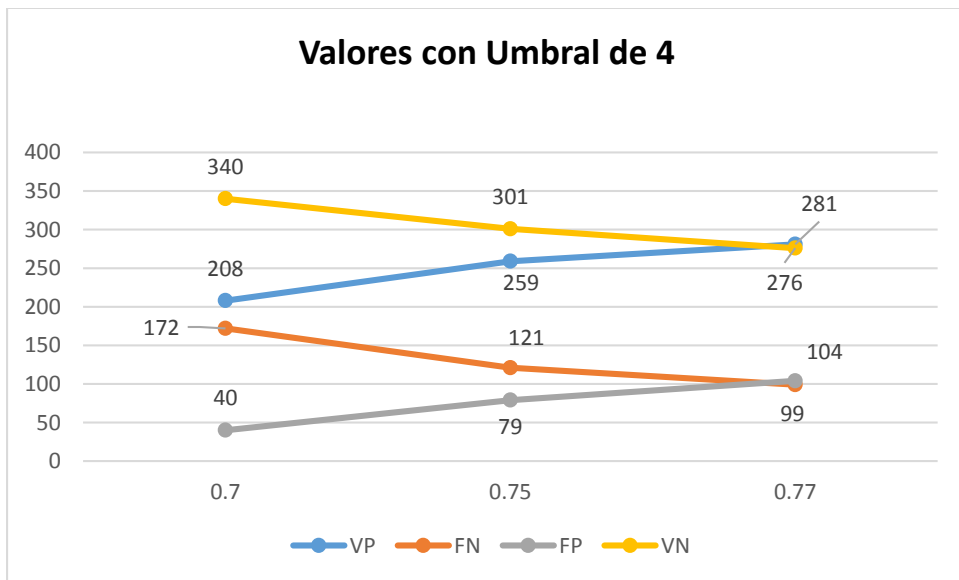


Figura 10.6: Valores VP, FN, FP y VN con umbral de 4 [Autores].

Se continuó el protocolo de análisis de las tablas anteriores para los resultados siguientes con una modificación de umbral de 5 coincidencias:

Umbral 5	VP	FN	FP	VN
0.7	157	233	16	364
0.75	209	171	39	341
0.77	233	147	60	320

Tabla 3: Valor de umbral de 5 para prueba de validez diagnóstica [Autores].

Sensibilidad	Especificidad
40	96
55	90
61	84

Tabla 4: Sensibilidad y Especificidad para valores con umbral de 5 [Autores].

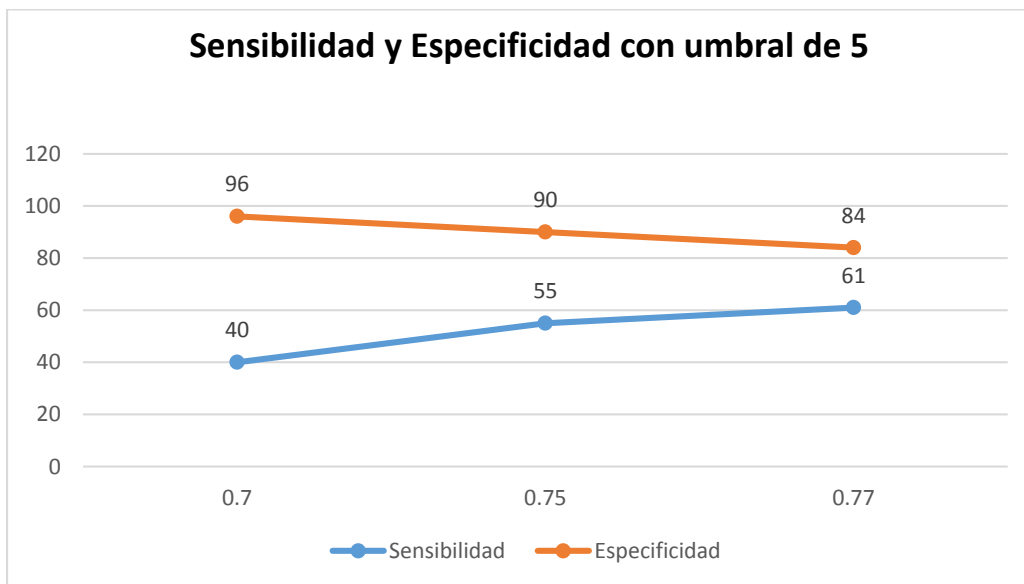


Figura 10.7: Comportamiento Sensibilidad – Especificidad con umbral de 5 [Autores].

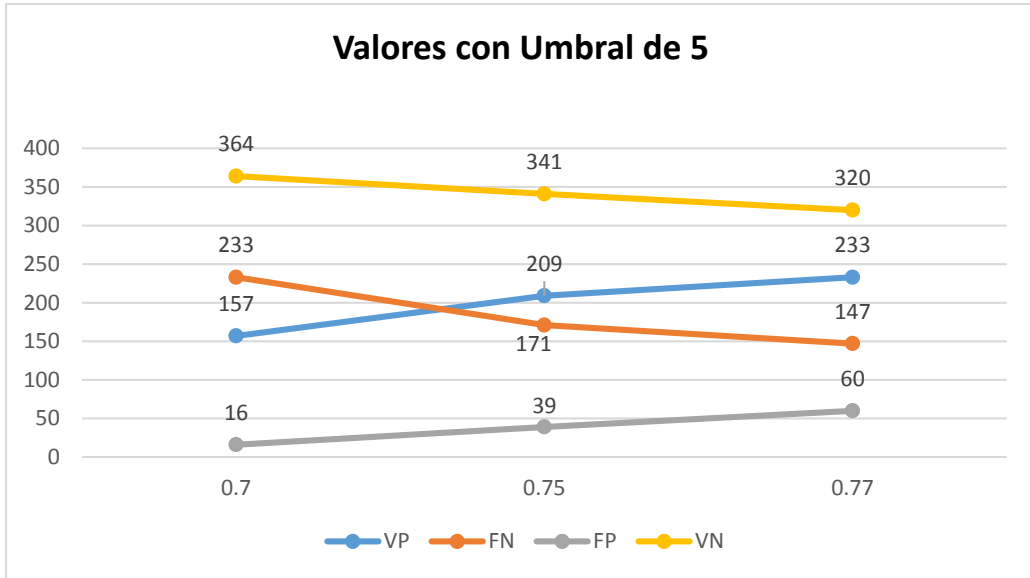


Figura 10.8: Valores VP, FN, FP y VN con umbral de 5 [Autores].

11 CONCLUSIONES

Se decidió implementar el sistema de reconocimiento biométrico basado en el iris debido a que sus patrones y características únicas lo hacen un método muy efectivo e invariante en los individuos.

Debido a que se presentó una discrepancia en el momento de hallar las circunferencias que corresponden a la pupila de cada imagen en la parte de segmentación utilizando la imagen en escala de grises, se decidió implementar solamente una capa de color, la cual fue la capa roja, debido a que dicha capa contiene la mayor información en las imágenes de la base de datos utilizada.

La manipulación del contraste de la imagen resultante para la comparación en ojos oscuros, en vez de otorgar mayores detalles, presenta una pérdida de información generando así mayor probabilidad de error en las coincidencias resultantes otorgadas por la prueba de validación diagnóstica (puntos clave - coincidencias).

En la parte de segmentación, se utilizaron 2 imágenes diferentes del mismo individuo para la extracción del iris y la pupila respectivamente. Se realizó una variación del contraste ajustando el gamma y una función de esparcimiento punto gaussiano para las imágenes competentes con valores predeterminados para cada una.

Cuando se encuentren todos los puntos clave para realizar coincidencias entre las 2 imágenes de la base de datos a comparar respecto al código del SIFT, por más que sea modificado el algoritmo, el número de coincidencias entre ambas imágenes será invariante.

Al variar los parámetros en el algoritmo SIFT, se pudo apreciar que la variación de resultados tanto positivos como negativos en las pruebas de validación diagnóstica son directamente proporcionales.

El proyecto tuvo en un inicio un enfoque hacia la parte de segmentación y normalización para el análisis de resultados, el cual no fue óptimo para la técnica SIFT implementada en el código de programación debido a que se generaba confusión y gran cantidad de falsos positivos los cuales otorgaban unas medidas erróneas.

Al realizar la implementación del algoritmo SIFT, se tuvo como base de prueba una plantilla desarrollada por la 'University of British Columbia', el cual fue optimizado para el enfoque del proyecto propuesto.

El formato admitido por el código de prueba fue PGM (Portable GrayMap) debido a que la investigación con respecto a la información de los otros formatos de imagen arrojó que solo este formato era admitido para el algoritmo utilizado.

No fue posible el uso de una base de datos propia debido a que la captura de las imágenes no fue la más óptima para esta aplicación ya que la incorrecta iluminación alteraba la información del iris a analizar. Agregado a esto, las capturas de la base de datos propia presentaban características de tamaño y formato no adecuado para las pruebas correspondientes en este proyecto.

El formato de la base de datos utilizada fue TIFF debido a las especificaciones por defecto de la misma y facilidad de adquisición; también cabe resaltar que este formato ofreció una gran gama de información para el estudio concerniente al proyecto.

Con respecto a las pruebas realizadas en el software MATLAB, se analizaron todas las imágenes pertenecientes a la base de datos en función de una gráfica de corte para determinar un umbral, el cual arrojó un valor aproximadamente de 4 a 5 coincidencias.

Con respecto a las modificaciones realizadas en el algoritmo SIFT para un umbral de 4 coincidencias, se obtuvo con un valor de 0,77 la mayor sensibilidad, la cual fue de 74%. Sin embargo, la mayor especificidad fue, con un valor de 0,7, de 89%.

Con respecto a las modificaciones realizadas en el algoritmo SIFT para un umbral de 5 coincidencias, se obtuvo con un valor de 0,77 la mayor sensibilidad, la cual fue de 61%. Sin embargo, la mayor especificidad fue, con un valor de 0,7, de 96%.

Para aplicaciones respecto a seguridad con enfoque en el campo de la biometría, la especificidad posee mayor importancia debido a que esta es la capacidad de rechazar individuos pertenecientes o no a una base de datos.

En base al algoritmo implementado (SIFT) para este proyecto, los valores arrojados tanto para el umbral de 4 y de 5 coincidencias serán índices clave para el funcionamiento de la aplicación que se desee llevar a cabo, resaltando la sensibilidad y especificidad resultantes.

No se implementó la técnica del Template Matching debido a que es un método que se rige bajo la característica 'imagen vs plantilla', por ende se deberían crear bases de datos no solamente de los individuos de prueba sino también bases de datos con parámetros diferentes que abarquen diversidad de plantillas, generando una mayor complejidad dentro de la aplicación del proyecto y elevando los tiempos de computación a razón de la mayor cantidad de imágenes presentes.

El algoritmo SIFT fue elegido para este proyecto debido a su capacidad respecto al análisis de imágenes a pesar de que las características del espacio puedan ser variantes, cuestión no presente en otras técnicas de análisis de imágenes investigadas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] "Clasificación de los Sistemas Biométricos", *Redyseguridad.fi-p.unam.mx*, 2014. [Online]. Available: <http://redyseguridad.fi-p.unam.mx/proyectos/biometria/clasificacionsistemas/clasificaciontecnologia.html>. [Accessed: 14- Aug- 2015].
- [2] S. López, A. Brochero and M. Gonzalez, "Diseño de sistema de lectura y análisis del iris", *UTP*, 2014. [Online]. Available: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/5140/1/62086G643.pdf>. [Accessed: 14- Oct- 2014].
- [3] "Educación Inclusiva", *Ite.educacion.es*, 2015. [Online]. Available: http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/129/cd/unidad_1/mo1_introduccion.htm. [Accessed: 03- Jan- 2016].
- [4] "La Cornea", *Cornea.es*, 2012. [Online]. Available: <http://www.cornea.es>. [Accessed: 17- Apr- 2015].
- [5] "iris: definición de iris en el Diccionario Oxford (español)", *Oxforddictionaries.com*. [Online]. Available: <http://www.oxforddictionaries.com/es/definicion/espanol/iris>. [Accessed: 27- Jan- 2016].
- [6] Schiffman, Harvey. *La Percepción Sensorial* (2011). Limusa Wiley. p. 244.
- [7] D. Muñoz and D. Cardona, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA BIOMÉTRICO MEDIANTE EL IRIS", Pereira, UTP, 2012. [Accessed 6 Jan. 2016]
- [8] J. Cortés, "SugarSync, Información tratamiento de Imágenes", *Bit.do*. [Online]. Available: <http://bit.do/jacoper>. [Accessed: 07- Feb- 2016].
- [9] "Historia de la biometría", *Securetech.com.uy*, 2001. [Online]. Available: http://www.securetech.com.uy/servicios/info/biometria_5.htm. [Accessed: 20- Apr- 2015].
- [10] C. Galvis, "Historia de la biometría y las tecnologías biométricas", 2007. Available: <http://>. [Accessed: 22- Apr- 2015].
- [11] R. Sánchez, "El Iris Ocular como parámetro para la Identificación Biométrica.", *ÁgoraSic*, 2000. [Online]. Available: http://www.revistasic.com/revista41/pdf_41/SIC_41_agora.PDF. [Accessed: 28- Jan- 2016].
- [12] "Espectro invisible", *Es.wikipedia.org*, 2010. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_invisible. [Accessed: 09- Jan- 2016].

- [13] Wang S., Liu Y., Xiang D., Yan H, "An Improved SIFT Feature Extraction Method for Tyre Tread Patterns Retrieval", 2014 Seventh International Symposium on Computational Intelligence and Design, IEEE. [Accessed 10 Feb. 2015]
- [14] M. Libor and M. Dobes, "UPOL Iris Image Database", *Drive.google.com*. [Online]. Available: <https://drive.google.com/a/utp.edu.co/folderview?id=0B41boLTX7jcbNWJhTy1nVHNOTVE&usp=sharing#>. [Accessed 11 Sep. 2015]. [Accessed: 11- Sep- 2015].
- [15] "UBIRIS", *Noisy Visible Wavelength Iris Image Databases*. [Online]. Available: <http://iris.di.ubi.pt/>. [Accessed: 17- Sep- 2015].
- [16] "Biometrics.idealtest.org", *Biometrics Ideal Test. CASIA database*. [Online]. Available: <http://biometrics.idealtest.org/dbDetailForUser.do?id=4>. [Accessed: 10-Oct- 2015].
- [17] P. M. Panchal, S. R. Panchal, S. K. Shah, A Comparison of SIFT and SURF, International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, (2013) IEEE. [Accessed 10 Dec. 2015]
- [18] D. Shah, "SIFT, David Lowe, UBC.", 2012. [Online]. Available: <http://crcv.ucf.edu/courses/CAP5415/Fall2012/Lecture-5-SIFT.pdf>. [Accessed: 15-Jan- 2015].
- [19] "Keypoint detector", *University of British Columbia*. [Online]. Available: <http://www.cs.ubc.ca/~lowe/keypoints/>. [Accessed: 17- Jan- 2015].
- [20] VLFeat.org. VLFeat - Tutorials > SIFT detector and descriptor. (2007) [Online] Available at: <http://www.vlfeat.org/overview/sift.html> [Accessed 20 Feb. 2015].
- [21] G. Sapiro, "Digital image processing: p038 - Hough Transform with Matlab Demo", *YouTube*, 2013. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=kMK8DjdGtZo>. [Accessed: 01- Mar- 2016].
- [22] Matthews, R. "Digital image file types Explained". (2016) [Online] Users.wfu.edu. Available at: <http://users.wfu.edu/matthews/misc/graphics/formats/formats.html> [Accessed 27 Jan. 2016].
- [23] Coffin, D. "Image Formats: What's the Difference Between JPG, GIF, PNG?". (2010) [Online]. Available at: <http://www.practicalecommerce.com/articles/1821-Image-Formats-What-s-the-Difference-Between-JPG-GIF-PNG-> [Accessed 27 Jan. 2016].
- [24] "Template Matching", *Docs.adaptive-vision.com*, 2007. [Online]. Available: http://docs.adaptive-vision.com/current/studio/machine_vision_guide/TemplateMatching.html. [Accessed: 13- Nov- 2015].
- [25] Mahboubeh, S. and Abdolreza, "R. A novel Approach for Iris Segmentation and Normalization". (2009). IEEE. [Accessed 25 Nov. 2015].

- [26] Wilhelm B., Mark J. "Principles of Digital Image Processing Core Algorithms" (2009). p. 268. [Accessed 10 Nov. 2015].
- [27] Proença H., Alexandre L. "Iris Recognition: An analysis of the Aliasing Problem in the Iris Normalization Stage, Dep. Informatics, IT–Networks and multimedia Group". (2009). IEEE. [Accessed 5 Oct. 2015]
- [28] Shah N., Shrinath P. "Iris Recognition System – A Review, International Journal of Computer and Information Technology" (2014). IEEE. [Accessed 15 Oct. 2015]
- [29] Cordero M., Salazar R., (n.d), VALIDACIÓN DE PRUEBAS DIAGNÓSTICAS, Capítulo 9. [Accessed 15 Mar. 2016].
- [30] Poskanzer, J. "PGM Format Specification". (2013). [Online] Netpbm.sourceforge.net. Available at: <http://netpbm.sourceforge.net/doc/pgm.html> [Accessed 18 Mar. 2016].
- [31] "Histogram plot - MATLAB hist", *Mathworks.com*, 2015. [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/help/matlab/ref/hist.html?refresh=true>. [Accessed: 20-Feb- 2016].
- [32] "Find circles using circular Hough transform - MATLAB imfindcircles", *Mathworks.com*, 2015. [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/help/images/ref/imfindcircles.html>. [Accessed: 14- Oct- 2014].
- [33] "Normalized 2-D cross-correlation - MATLAB normxcorr2", *Mathworks.com*, 2015. [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/help/images/ref/normxcorr2.html>. [Accessed: 23- Sep- 2015].