



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE  
SEGURIDAD BASADO EN EL  
RECONOCIMIENTO DE  
PATRONES DE IRIS**

**Autores:** Cueva Vargas, Juan Carlos  
Piña Rodríguez, José Manuel

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego  
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD  
BASADO EN EL RECONOCIMIENTO DE PATRONES DE IRIS**  
Trabajo de Grado presentado en la Universidad José Antonio Páez para  
optar al Título de Ingeniero en Telecomunicaciones

**Autores:** Cueva Vargas, Juan  
Carlos

C.I: V-21.238.222

Piña Rodríguez, José  
Manuel

C.I: V-24.289.551

**Tutor:** Ing. Rainier Blanco

C.I: V-11.556.607

San Diego, Enero de 2018



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

### ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Rainier Blanco, portador de la cédula de identidad N° 11.556.607 en mi carácter de tutor del trabajo grado presentado por los ciudadanos Juan Carlos Cuevas Vargas, portador de la cédula de identidad N° 21.238.222, y José Manuel Piña Rodríguez, portador de la cédula de identidad N° 24.289.551, respectivamente, titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD BASADO EN EL RECONOCIMIENTO DE PATRONES DE IRIS**. Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Telecomunicaciones, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San diego, a los diez días del mes de diciembre del año Dos Mil Dieciocho.

---

Ing. Rainier Blanco

C.I: 11.556.607



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

### AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor. A mi madre Carmen Luisa Vargas quien ha sido sin duda una de las principales precursoras de este logro, siempre creyó que podía y siempre se preocupó por lo que estaba haciendo, eso me mantuvo firme las veces que pude tambalearme; muchas gracias por guiarme en el camino correcto y por convertirme en el profesional que he llegado a ser ahora.

A mi papá Jaime Cuevas, a quien considero como un gran ejemplo de profesional. Muchas gracias papá por tu apoyo incondicional.

A mi hermano y hermana, quienes siempre me brindaron su apoyo para lograr todas las metas que me tracé durante mi vida como estudiante universitario.

A mi flor querida, Daniela Utrera por ser una persona muy importante en mi vida, quien siempre me apoyo en las buenas y en las malas, que siempre ha estado para mi incondicionalmente y que siempre ha creído en mí y me motivaba en momentos difíciles, sobre todo gracias por tu paciencia y tu amor incondicional.

A mis compañeros de carreras y colegas, a mis profesores, a todos aquellos que de una u otra forma me apoyaron a lo largo de mi carrera universitaria..... Muchas Gracias !!!!!.

Juan Carlos Cuevas



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

### **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por todas sus bendiciones, porque en los momentos más difíciles sabía que contaba contigo y que de tu mano todo lo puedo.

A mi madre Julia Rodríguez y mi padre José Piña por ser incondicional, por confiar en mí y brindarme su amor todos los días.

A mi hermano Jeffrey Piña por ser el pilar de la familia, por su valentía e incondicionalidad, y porque siempre estaremos el uno para el otro y que el amor de hermanos siempre estará por encima de todo.

A mi familia y amigos cercanos, que con su amor siempre supo encontrar la mejor manera de apoyarme, y por todos esos momentos felices juntos.

A mi compañero y futuro colega Juan Cuevas todo su conocimiento brindado y el tiempo, de cara el desarrollo de esta tesis.

José Piña



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

### **DEDICATORIA**

Dedicado a Dios, mis padres, hermanos, familiares y demás seres queridos por ser un pilar fundamental y brindarme su apoyo durante toda mi carrera.

Juan Carlos Cuevas



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

### **DEDICATORIA**

A mis Abuelos, porque han sido uno de los principales promotores de este logro, ya que con su apoyo incondicional que me brindan día a día se convirtieron en esa fortaleza e inspiración necesaria para poder alcanzar mis metas y expectativas profesionales.

José Piña

## ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PP.
<b>RESUMEN</b> .....	XII
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>CAPÍTULO I</b> .....	15
<b>EL PROBLEMA</b> .....	15
1.1. Planteamiento del problema .....	15
1.2. Formulación del problema.....	18
1.3. Objetivos de la investigación.....	18
1.3.1 Objetivo General .....	18
1.3.2 Objetivos Específicos.....	19
1.4. Justificación .....	19
1.5. Alcance .....	19
<b>CAPÍTULO II</b> .....	20
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	20
2.1 Antecedentes.....	20
2.2 Bases Teóricas .....	23
2.2.1 Patrones Biométricos .....	23
2.2.2 Estructura ocular .....	26
2.2.3. El Iris como patrón biométrico .....	31
2.2.4. Estado del arte en reconocimiento de iris .....	34
2.2.5. Adquisición .....	35
2.2.6. Segmentación .....	39
2.2.7. Métodos Convencionales .....	39
2.2.8. Otros métodos desarrollados .....	41
2.2.9. Clasificación.....	43
2.3. Raspberry Pi .....	46
2.4. Glosario de términos .....	47
<b>CAPÍTULO III</b> .....	50

<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	50
3.1. Nivel de Investigación.....	50
3.2. Diseño de la Investigación.....	50
3.3. Técnicas e instrumentos de investigación .....	51
3.4. Fases de la investigación .....	51
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	53
<b>RESULTADOS</b> .....	53
4.1. Fase I. Estudio de sistemas de reconocimiento de iris disponibles en el mercado actualmente.....	53
4.1.1. Sistemas disponibles en el mercado.....	53
4.1.2. Sistemas alternativos por construcción modular.....	56
4.2. Fase II. Diseño del prototipo del sistema seguridad basado en el reconocimiento de iris. ....	61
4.2.1. Programación del código del prototipo en Matlab.....	61
4.2.2. Diseño en Python implementado en Rapsberry PI.....	62
4.2.3. Instalación de los softwares secundarios del Rasperry Pi.....	64
4.2.4. Programación en Python .....	65
4.3. Fase III. Evaluar el desempeño del prototipo diseñado para el reconocimiento de patrones de iris.....	67
4.3.1. Evaluación del diseño en Matlab .....	67
4.3.1.1. Opciones interfaz de usuario.....	67
4.3.1.2. Proceso de enrolamiento .....	68
4.3.1.3. Proceso de verificación .....	69
4.3.1.4. Vista de información de cuenta.....	70
4.3.2.1. Entorno virtual Python .....	71
4.3.2.2. Se instala virtualenv en Raspbian .....	71
4.3.2.3. Se crea el entorno virtual.....	71
4.3.2.4. Enrolamiento .....	72
<b>CONCLUSIONES</b> .....	74
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de bloques mostrando el funcionamiento del sistema durante el proceso de enrolamiento. ....	25
Figura 2: Esquema de operación del sistema en modo de verificación. ....	256
Figura 3: Esquema de operación del sistema en modo de identificación. ....	267
Figura 4 : El ojo y sus partes. ....	289
Figura 5: Absorbancia de la foto receptores de la retina. En color se indican los conos y la línea negra punteada corresponde a los bastones. ....	30
Figura 6: Cono .....	32
Figura 7: Bastón .....	32
Figura 8: Iris normal.....	323
Figura 9: Aniridia severa.....	34
Figura 10 : Diferencia entre iris derecho e izquierdo de un mismo individuo.....	345
Figura 11: Imágenes de iris con iluminación cercana a infrarrojo.....	378
Figura 12: Imágenes de iris con iluminación natural.....	378
Figura 13: Detección de bordes utilizando algoritmo de Canny.....	41
Figura 14: Salida del módulo de segmentación .....	423
Figura 15: Normalización de iris propuesta por Daugman. ....	434
Figura 16: Esquema de codificación de fase propuesto por Daugman. ....	445
Figura 17: Esquema de codificación propuesto por Sun y Tan: (a)-(c) Tres filtros ordinales típicos; (d)-(e) dos subregiones de iris distintos; (f)-(k) los códigos OM resultantes.....	456
Figura 18: UltraMatcha S200.....	55
Figura 19: Cerradura electrónica.....	556
Figura 20: Telefono Choosebuy .....	567
Figura 21: Iridian Technologies Authenticam .....	567
Figura 22: Versión de Matlab .....	62
Figura 23: Programación en Matlab extracción de características.....	63
Figura 24: Elaboración de la interfaz gráfica de usuario en Matlab. ....	63
Figura 25: Instalador del sistema Operativo Raspbian .....	634
Figura 26. Ejecución del cliente PuTTY .....	645
Figura 27: Instalacion de librerias requeridas, incluyendo OpenCV .....	656
Figura 28: Programación en Python enrolamiento base de datos CASIA. ....	667
Figura 29: Programación en Python enrolamiento usuario único.....	667
Figura 30. Opciones interfaz de usuario. ....	678
Figura 31. Selección de imagen. ....	689

Figura 32: Información de cuenta. ....	70
Figura 33: Notificación .....	70
Figura 34: Verificación .....	71
Figura 35: Selección de plantilla.....	71
Figura 36: Información del usuario.....	712
Figura 37: Instalación por consola de virtualenv. ....	7172
Figura 38: Creación por consola del entorno virtual.....	72
Figura 39: Enrolamiento base de datos CASIA. ....	73
Figura 40: Enrolamiento usuario único.....	73
Figura 41: Verificación de una persona específica. ....	74



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE  
TELECOMUNICACIONES**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD BASADO EN EL  
RECONOCIMIENTO DE PATRONES DE IRIS**

**Autores:** Cuevas Juan, Piña José

**Tutor:** Ing. Rainier Blanco

**Fecha:** Enero, 2018

**RESUMEN**

El propósito de la siguiente investigación es proponer un diseño de un sistema de seguridad basado en el reconocimiento de patrones de iris, por medio de la elaboración de un prototipo a través del lenguaje de Matlab, elaborando una GUI amigable al usuario, y con una implementación en el lenguaje de programación Python, mediante la librería libre de visión artificial OpenCV, y la utilización de un ordenador de placa reducida Raspberry Pi 3 B+, la cual nos permite por medio de una red LAN ser controlada desde una laptop. Además, en el sistema se usó la base de datos CASIA, donde las imágenes fueron recolectadas por la Academia de China del Instituto de Ciencias para la Automatización.

**Descriptores:** Reconocimiento, Seguridad, Patrones

## INTRODUCCIÓN

Cada vez son más los avances que se generan en el campo de la biometría, el creciente interés de Gobiernos y empresas privadas para adoptar sistemas de identificación basados en la biometría, es prueba de la eficacia de estos sistemas en comparación con los sistemas basados en conocimiento y posesión. Empresas como Google, Facebook y Apple han adquirido soluciones basadas en sistemas biométricos para incorporarlos en sus aplicaciones y dispositivos, mientras que varias naciones utilizan “pasaportes biométricos” para verificar la identidad de los pasajeros en aeropuertos, pasos fronterizos y aduanas, a la vez que países como India invierten millones de dólares para registrar a todos sus ciudadanos utilizando la huella dactilar y textura iridal para así evitar tener personas indocumentadas. Es así que la biometría, ha logrado abarcar una amplia gama de aplicaciones. En la actualidad, podemos encontrar una gran variedad de aplicaciones de estos sistemas. La masificación de estas tecnologías ha impulsado el desarrollo y una evolución constante de las mismas, con la esperanza de mejorar aspectos como las tasas de exactitud en el reconocimiento, buscar nuevos patrones y modificar algoritmos actuales para su utilización en ambientes cada vez menos restrictivos.

En éste ámbito los sistemas de reconocimiento basados en textura iridal que se comercializan actualmente poseen dos restricciones que han sido objeto de estudio de diversos investigadores: suelen trabajar a distancias cercanas a los 30 [cm], lo cual tiene una relación directa con la comodidad del usuario final del sistema; y utilizan luz cercana al infrarrojo, que se considera dañina para el ojo humano cuando se utiliza ya sea por periodos prolongados o recurrentemente, además de encarecer los costos del sistema dado que se requieren cámaras especiales que trabajen con ese espectro.

El presente proyecto tiene como objetivo principal el diseño de un sistema de seguridad basado en el reconocimiento de patrones de iris, mediante el uso de los lenguajes de programación Matlab, Python, una tarjeta Raspberry pi y la librería

OpenCV. Actualmente los sistemas de reconocimiento de iris se les aplican diferentes usos debido a las grandes posibilidades que ofrecen de alto rendimiento y fiabilidad.

La estructura del estudio está contenida en cinco capítulos, los cuales se describen a continuación:

El **Capítulo I**: Contiene una descripción del problema que se plantea en el proyecto, además del objetivo general, objetivos específicos, justificación de la investigación y alcance.

El **Capítulo II**: Detalla los estudios previamente realizados, el contenido teórico y el soporte conceptual que sirvieron para sustentar el desarrollo del estudio.

El **Capítulo III**: Se explica desde el punto de vista teórico la metodología de trabajo empleada para el desarrollo de la investigación en cuanto a actividades, productos esperados por cada etapa y técnicas empleadas.

El **Capítulo IV**: Se describen las actividades llevadas a cabo para alcanzar los objetivos y cumplir con ellos.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1. Planteamiento del problema**

La inseguridad en el caso particular de las Instituciones de Educación Superior a nivel mundial y nacional se viene presentando desde hace años, lo que ha conllevado a que las autoridades universitarias, intenten garantizar la seguridad de su territorio aplicando diferentes herramientas, incluyendo diversas formas biométricas. Los sistemas automáticos de identificación biométrica han suscitado un gran interés en el ámbito investigador y empresarial. Esta relevancia se va incrementando día a día por sus potenciales aplicaciones en el ambiente de la seguridad tanto física como informática. La Identificación Biométrica, está tomando cada vez más importancia debido a la alta fidelidad que entregan las tecnologías en apoyo a las empresas cuya necesidad de seguridad hacia las personas y bienes, es cada vez mayor. Debido a esto es conveniente mencionar algunos casos de Universidades a nivel mundial que han aplicado sistemas biométricos.

En este sentido, la Universidad de Pekín utiliza la tecnología del reconocimiento facial para controlar la asistencia a las aulas de sus alumnos. "La forma tradicional de rastrear la asistencia es a través de una lista, pero el nuevo sistema ahorra tiempo y reduce la carga de trabajo de los profesores", apuntó Shen Hao, profesor de Comunicación de la Universidad de China, en Pekín (Agencia EFE, 2017).

Además, la Universidad Nacional de Trujillo en Perú, implementó el uso de relojes biométricos para el control de horas lectivas, instalados en cada una de sus facultades (Edwin Saavedra, 2014).

Antes de 2001 la biometría o biométrica, la ciencia que utiliza las características biológicas únicas para identificar a personas con fines de seguridad,

era un sector largamente menospreciado. Sin embargo, la obsesión por la seguridad en algunos países como Alemania, Canadá, China, Estados Unidos, España, Francia, Reino Unido, entre otros, propiciada por la amenaza terrorista, robo o vandalismo, ha motivado que el interés por la biometría haya aumentado de modo exponencial en los últimos años. Existen varios sistemas para verificar la identidad de un individuo. Sin embargo, la biometría se considera como el método más seguro para determinar a ciencia cierta la identidad de una persona.

Por este motivo, en los últimos años la biometría, ha ganado reconocimiento en muchos ámbitos, ámbitos de los cuales no escapa el sector universitario, donde cada vez (indiferentemente de su propósito) se observan la aplicación de controles biométricos en cada uno de los procesos establecidos en el modo organizacional de cualquier Universidad nacional e internacional, afirmándose de esta manera lo que Foucault (2004) en su libro “Seguridad, territorio, población” denomina como “una historia de las tecnologías de seguridad” donde la especie humana ingresó en lo que el mismo autor denomina “una estrategia general de poder”. Uno de estos sistemas biométricos utilizados es el de reconocimiento de iris.

Este sistema debe permitir la identificación en forma automática de una persona en una imagen o video digital; bajo esta premisa, se requiere identificar el iris en una imagen digital para luego ser comparada en una base de datos previamente establecida. Por otro lado, la eficacia del reconocimiento del iris es raramente obstaculizada por gafas o lentes de contacto. Debido a su velocidad de comparación, el reconocimiento del iris es la tecnología biométrica más adecuada para la identificación de un grupo numeroso de personas. Una ventaja clave del reconocimiento del iris es su estabilidad, (el patrón o la plantilla pueden durar muchos años), ya que, salvo un traumatismo, esta “matrícula” individual puede durar toda la vida. El físico John G. Daugman (Laboratorio Informático de la Universidad de Cambridge) fue pionero en este campo, desarrollando los procesos de creación de algoritmos de reconocimiento mediante el iris, necesarios para la adquisición de la imagen y la puesta en el mercado de instrumentos necesarios para tal fin. Los

algoritmos de Daugman son la base de la mayoría de los sistemas de reconocimiento del iris que se introdujeron en el mercado hasta 2006.

En Venezuela es necesario resaltar casos de Universidades donde han aplicados sistemas biométricos como por ejemplo Universidad del Zulia, luego de establecerse un control tecnológico básico para el registro del personal empleado, actualmente en diferentes instalaciones de la misma se implementa el control biométrico relacionado a detección de huellas dactilares.

En la Universidad Rafael Bellosó Chacín, luego de haberse implementado un control biométrico para el acceso del personal administrativo – docente sobre la base de credenciales con cintas magnéticas, en la actualidad se emplea el sistema mixto: se usa el carnet y seguidamente el sistema da acceso para la revisión de la huella dactilar. El control en los alumnos se realiza a través de un carnet con dispositivo electrónico que controla el acceso a las instalaciones.

En la Universidad Alonso de Ojeda, el sistema de control se aplica sólo al personal docente – administrativo y se da mediante un control digital de forma manual e inmediata captura de una imagen de la persona. En el reporte diario que emite la Dirección de Recursos Humanos aparece el control del registro y la imagen física. La inseguridad en las universidades no es una novedad. Los criminales tomaron las casas de estudio no como centros de aprendizaje, sino como centros provechosos para fechorías, aprovechándose de la poca seguridad que la mayoría de las instituciones poseen y de la “autonomía universitaria” que prohíbe la entrada de cuerpos oficiales, lo cual resulta como un arma de doble filo para los estudiantes.

Universidades como: La Universidad de Carabobo, Universidad central de Venezuela, entre otras, han reportado una gran cantidad de robos a laboratorios, centros de investigación y desarrollo y otras áreas, lo cual ha impedido que no se desarrolle con normalidad las actividades académicas. Según datos estadísticos arrojados por las propias Universidades el crecimiento de robos va en aumento. La Universidad de Carabobo han informado que en dos meses del año en curso se contabilizan al menos 10 robos de cableado eléctrico en la Facultad de Ingeniería,

además de computadoras y aires acondicionados de departamentos administrativas, y laboratorios en donde de un total de 36 solo funcionan 18, lo que ha llevado a una paralización técnica de estas áreas, afectado a unos 8000 estudiantes por esta situación. Por otra parte, la Universidad Central de Venezuela según sus propias cifras del año 2017 dice que al menos 10 robos son cometidos diariamente contra la población estudiantil. Lo que significaría de 2000 a 2500 robos al año, en promedio.

En los últimos años, la situación de inseguridad se ha agravado en la Universidad José Antonio Páez, lo cual ha llevado a las autoridades a considerar la implementación de nuevas medidas para evitar que el escenario empeore y siga afectando el funcionamiento normal que debería tener la casa de estudios y poder salvaguardar los equipos presentes en laboratorios como son los de la escuela de ingeniería de Telecomunicaciones y Electrónica, los cuales tienen un alto costo de reposición. Gracias a los avances tecnológicos, se han diseñado diferentes alternativas que intentan dar solución a esta clase de problemas, haciendo uso del reconocimiento de iris y otras áreas relacionadas con la biometría.

De igual modo, la visión artificial por computador es una rama de estudio del procesamiento digital de imágenes y video que tiene una amplia aplicación en nuestros días, como lo pueden ser sistemas inteligentes, entre otros. Es por ello, que el desarrollo de este trabajo servirá de apoyo para futuras aplicaciones que se deseen desarrollar en esta área.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo se puede mejorar la seguridad en los laboratorios de la escuela de ingeniería de Telecomunicaciones y Electrónica?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de seguridad basado en el reconocimiento de patrones de iris.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Hacer el estudio de sistemas de reconocimiento de iris disponibles en el mercado actualmente y hardware en general para el funcionamiento del sistema.
2. Diseñar y construir el prototipo del sistema seguridad basado en el reconocimiento de iris.
3. Evaluar el desempeño del prototipo diseñado para el reconocimiento de patrones de iris.

### **1.4. Justificación**

Una de las ventajas de la escuela de ingeniería de Telecomunicaciones y Electrónica es que cuenta con recursos humanos capacitados para desarrollar sistemas similares, lo cual implica reducciones en el costo final de los mismos. La escuela de Telecomunicaciones y Electrónica se compone de diversos laboratorios, que cuentan con recursos destinados al uso docente y estudiantil, tales como computadores personales, servidores, cámaras IP, cámaras web, switches, routers, entre otros. Utilizando diferentes herramientas sencillas de implementar se puede diseñar un sistema de seguridad basado en reconocimiento de iris y además podrá ser utilizado en otras locaciones de la escuela que cuenten con las condiciones ambientales adecuadas, en donde se logre controlar el acceso solo al personal autorizado.

### **1.5. Alcance**

El estudio contempla la elaboración de un sistema de seguridad en base al reconocimiento de patrones de iris, para la propuesta de mejoras mediante un prototipo de la seguridad en los laboratorios de la escuela de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, utilizando Matlab, Python y la Raspberry Pi que es una buena opción a la hora de implementar sistemas de seguridad de bajo costo, debido a que es un ordenador de placa reducida, desarrollado en el Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

El marco teórico es el grupo central de conceptos y teorías que se utiliza para formular y desarrollar un argumento o trabajo de investigación, a través de ella se indaga sobre el desarrollo teórico conceptual. “La investigación que se realiza debe tomar en cuenta el conocimiento previamente construido, pues forma parte de una estructura teórica ya existente” (Méndez, 2004; p.30), es decir, el marco teórico es la estructura de la indagación que se conforma por diferentes conceptos, teorías o hipótesis que dan sentido a cada aspecto referente al tópico a estudiar, por lo que este capítulo comprende una revisión de los trabajos previos realizados que contienen alguna similitud con el problema en estudio, también se presenta algunos fundamentos teóricos y la definición de términos básicos para un mejor discernimiento del tema planteado.

#### **2.1 Antecedentes**

Es vital considerar los estudios previos realizados que tengan relación con el tema que se está desarrollando con la finalidad de que sirvan de soporte, de este modo se logra tener un enfoque del contexto investigativo necesario para dar creación a un nuevo conocimiento, en tal sentido:

Arias (2016) señala que los antecedentes de la investigación se refieren a los estudios previos y tesis de grado relacionadas, trabajos de ascenso, artículos e informes científicos relacionados con el problema planteado, es decir, investigaciones realizadas anteriormente y que guardan alguna vinculación con nuestro proyecto. (p.106)

Por lo que para que un trabajo tenga un sustento conceptual lógico este debe sustentarse en investigaciones realizadas con anterioridad y que guarden una estrecha relación con el mismo, de allí la importancia de los antecedentes de la investigación, pues son ellos los que ayudaran al investigador a clarificar el camino teórico que se

desarrollará durante la misma; en tal sentido y en respuesta a ellos es conveniente resaltar algunos trabajos de investigación que guardan relación con el tema en cuestión y proporcionan información relevante.

Respecto al tema, Cedeño, J. & Párraga, C. (2017) en su trabajo especial de grado, titulado **Sistema biométrico de control de acceso para el laboratorio de cómputo de la unidad educativa Francisco González Álava**, en el Instituto Politécnico Agropecuario de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Ecuador. El objetivo del trabajo fue implementar un sistema biométrico de control de acceso al salón de computación en la Unidad Educativa Francisco González Álava de la ciudad de Calceta, en donde se adquirió un lector de huella que se programó a través de una placa arduino, utilizando su respectiva librería para la fácil manipulación del dispositivo, la cual contiene una base de datos que será la encargada de almacenar tanto la imagen de la huella, como un código de identificación; así mismo el sistema cuenta con una aplicación web desarrollada en PHP que está conectada directamente con el arduino mediante la placa Ethernet shield, la misma que será la encargada de gestionar la información de los docentes, como los datos personales con sus respectivos horarios de clase, además de emitir los reportes de quienes han accedido al salón. En el desarrollo del sistema se utilizó la Metodología de Hardware Libre, que consta de 3 procesos; conceptualización, administración y desarrollo; permitiendo así cumplir con los requerimientos de la institución, ya que con la implementación del sistema se automatiza el proceso de entrada del docente al salón, se emite los reportes de quienes son los docentes que han accedido al laboratorio y se restringe el acceso al personal no autorizado, logrando con ello la optimización de recursos, puesto que se reduce en un 98% los tiempos de ingreso al salón y generación de reportes. El aporte de este antecedente a la investigación es aprender el desarrollo del diseño de un prototipo bajo una placa reducida para el uso de la Raspberry Pi.

Por su parte Merino, B. (2016) con su proyecto de fin de carrera en la Universidad Politécnica de Madrid, titulado **Propuesta y evaluación de un sistema**

**de reconocimiento de iris basado en filtros de sobel**, el cual tuvo como objetivo proponer y evaluar un sistema de reconocimiento de iris alternativo basado en filtros de Sobel. El sistema se implementa en Matlab, realizándose un estudio comparativo de las tasas de error de ambos sistemas, en la arquitectura de verificación.

La base de datos utilizada para la evaluación de la tarea propuesta es de CASIA-IrisV1 formada por un total de 756 muestras que fueron tomadas de manera manual y con una iluminación uniforme. A pesar de la variedad de sistemas biométricos existentes, los métodos de reconocimiento de usuarios mediante iris son uno de los procedimientos más fiables a la hora de identificar una persona. Éstos implementan un procedimiento secuencial dividido en cuatro etapas, captura de la muestra, pre-procesado, extracción de características y comparación de patrones. Usando uno de los algoritmos más utilizados, el propuesto por John Daugman, cuyo sistema de reconocimiento de iris se basa en filtro de Gabor en la etapa de extracción de característica.

El aporte de este trabajo a la investigación es que sirva de apoyo en el desarrollo y uso de la programación en Matlab y entendimiento de los algoritmos propuestos por John Daugman.

Por último, Herrero, D.(2016) en su trabajo especial de grado, titulado **Sistema de identificación de personas por iris mediante filtrado de gabor en plataforma Android**, en la Universidad Carlos III de Madrid, España. El objetivo principal de este proyecto es el estudio de la implementación de los algoritmos de identificación del iris en dispositivos Android y el estudio de su posible aplicación en otros campos de la protección de datos de la telefonía. Dicha aplicación ha de ser funcional en cualquier dispositivo, sin errores de compilación o de ejecución, configurable, autónomo frente otras aplicaciones (que no comparta datos con otras aplicaciones instaladas en el dispositivo) y con posibilidad de acceso a la memoria privada del dispositivo (memoria accesible únicamente desde la aplicación que crea dicha dirección de memoria).

Además, con las pruebas realizadas, la detección de bordes del iris es más precisa en Android. Incluso en capturas que el método de C# identificaba con errores de la calidad suficiente como para no poder continuar el análisis y la correcta detección de los bordes, el método aplicado en Android acepta esta captura y localiza correctamente los borde para que a continuación hacer un correcto análisis de la imagen y llegar a la conclusión correcta de si es o no el sujeto. Es por esto que el proyecto resultante ha llegado a ser de incluso mayor precisión que el portado para ordenador. De esta manera se podría resolver que esta aplicación es una mejor implementación para una correcta identificación y por tanto es perfectamente apta para otros ámbitos de la telefonía en proyectos futuros. Pero hay que realizar más pruebas para poder determinar tal afirmación, puesto que aun pensando que la solución es una mejor adaptación de las librerías estamos comparando las prestaciones de un ordenador con las de un dispositivo móvil (aunque esto solo afecte al tiempo de procesado)

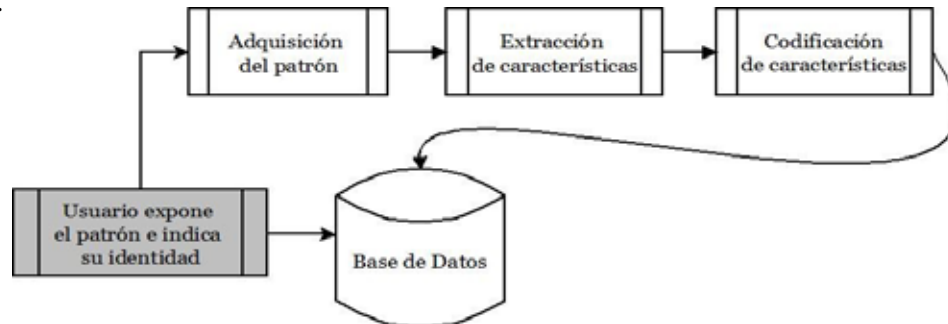
El aporte de este antecedente a la investigación es tener como guía los procesos de identificación de iris, así del uso de la biblioteca OpenCV.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Patrones Biométricos**

Un Patrón biométrico consiste en un atributo ya sea fisiológico o conductual único para cada individuo. Sin embargo es importante considerar que para que éste resulte efectivo, se recomienda que cumpla las siguientes propiedades: (1) Universalidad, consiste en que la totalidad de la población posea el atributo, debido a que todos los individuos deben poseer el patrón para que éste pueda ser medido y comparado; (2) Singularidad, que consiste en que este patrón debe ser único para cada individuo, dado que en caso contrario no se podría diferenciar a un individuo de otro, lo que se traduce en errores de clasificación; (3) Invariancia, el patrón debe mantenerse invariante en el tiempo al menos en el mediano plazo; (4) Recolectividad, es decir que este patrón sea adquirible, medible y almacenable de manera sencilla; (5) Rendimiento, corresponde a la disponibilidad de recursos y la imposición de

restricciones en términos de recolección de datos y garantías para alcanzar una alta exactitud; (6) Aceptabilidad, concierne a la voluntad de la población para entregar tal atributo al sistema de reconocimiento; y finalmente (7) Circunvención, que no sea susceptible a imitaciones o ataques fraudulentos.



**Figura 1:** Diagrama de bloques mostrando el funcionamiento del sistema durante el proceso de enrolamiento.

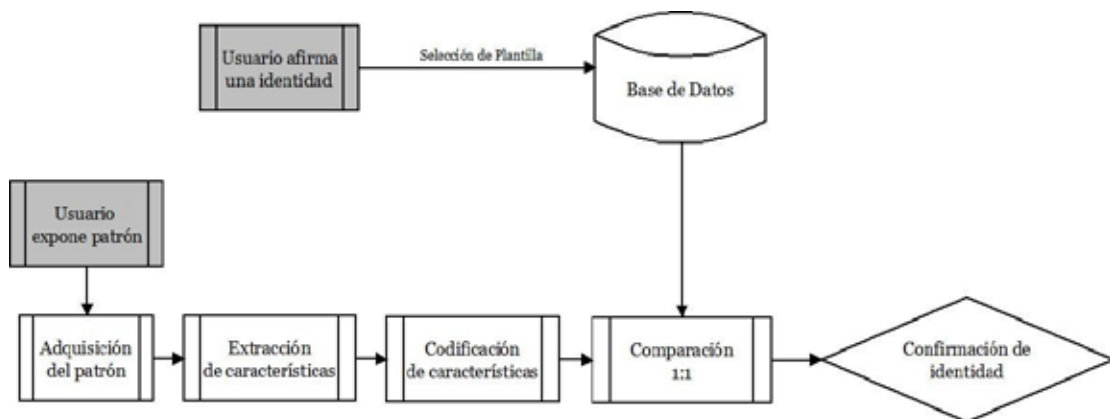
**Fuente:** Proceedings Elmar 2004

Independiente de el o los patrones biométricos que se utilicen, todos los sistemas de reconocimiento actuales trabajan de manera similar: primero se extrae la información característica de uno o varios patrones en particular que luego es utilizada para generar plantillas que son almacenadas en una base de datos con la información del individuo desde donde se obtuvieron, en una etapa conocida como enrolamiento; luego estas plantillas generadas durante la etapa de enrolamiento son comparadas con las adquiridas durante el funcionamiento del sistema en una etapa que puede ser de identificación o validación. Para realizar la comparación entre ambas plantillas se define una métrica que retorna un puntaje de similitud entre la información obtenida y la alojada en la base de datos, de esta forma se logra reconocer al individuo del que se obtuvo la información o rechazarlo utilizando un umbral como criterio de decisión. El diagrama de flujo de la Figura 1 muestra el proceso de enrolamiento típico de un sistema biométrico.

Como se indicó anteriormente estos sistemas pueden operar en dos modalidades: Verificación o Identificación. En modo de Verificación, la persona clama ser alguien en particular ante el sistema y éste valida la afirmación del usuario.

Esto se realiza obteniendo una muestra en el momento en que el usuario realiza la afirmación y comparándola con una muestra previamente capturada en el proceso de enrolamiento. Si las dos muestras son suficientemente similares entonces la afirmación es validada; en caso contrario se rechaza, es decir, en un escenario de verificación se responde a la pregunta ¿El patrón obtenido corresponde al del sujeto “X”? Luego existen 4 posibles resultados: un verdadero positivo ocurre cuando el sistema verifica la afirmación, y la afirmación es correcta; un falso positivo ocurre cuando el sistema verifica la afirmación, pero esta resulta ser falsa; un verdadero negativo ocurre cuando el sistema rechaza la afirmación y esta resulta ser falsa; y por ultimo un falso negativo ocurre cuando el sistema rechaza la afirmación y esta resulta ser verdadera.

Los dos tipos de error que se pueden cometer corresponden a falsos negativos y falsos positivos. El rendimiento de un sistema biométrico en modalidad de Verificación se suele caracterizar con una curva ROC (receiver operating characteristic), en donde se grafica la tasa de verificación en el eje Y en función de la tasa de falsos positivos en el eje X, o alternativamente, la tasa de falsos negativos en el eje Y versus la tasa de falsos positivos en el eje X. En la Figura 2 se puede apreciar el diagrama de flujo de un sistema en modo de verificación.

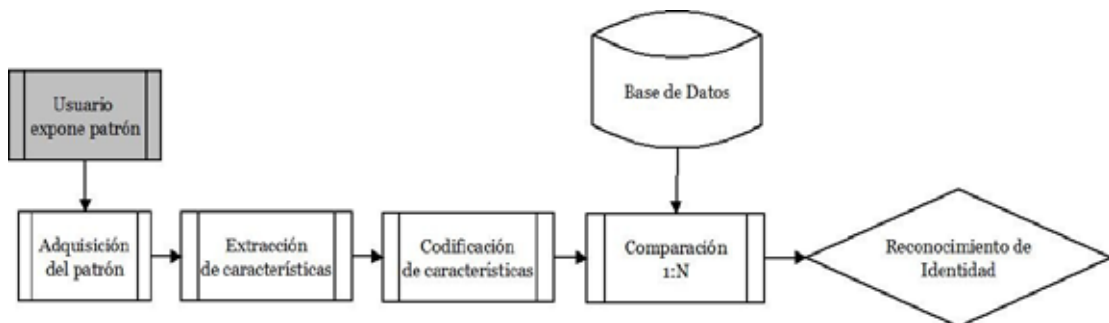


**Figura 2:** Esquema de operación del sistema en modo de verificación.

**Fuente:** Proceedings Elmar 2004

En un esquema de Identificación, el sistema obtiene la información del individuo en cuestión sin que éste tenga que hacer una afirmación sobre su identidad y realiza un pareo entre el patrón obtenido recientemente y los alojados en su base de datos (que suele recibir el nombre de galería), el pareo con el mejor puntaje, si es suficientemente bueno es utilizado para identificar al individuo en cuestión, es decir, se responde a la pregunta ¿De quién es éste patrón?. La Figura 3 muestra el diagrama de flujo de un sistema de reconocimiento en modo de Identificación. Bajo este esquema de trabajo el rendimiento del sistema de reconocimiento se suele medir utilizando la curva CMC (Cumulative Match Characteristic), que consiste en graficar el porcentaje de individuos correctamente identificados en el eje Y, versus el rango en el que se considera como una identificación exitosa.

Una tasa de acierto de 90 % en rango 4 significa que la probabilidad de que el patrón biométrico obtenido se encuentre entre los cuatro mejores puntajes, cuando este patrón fue adquirido desde un usuario enrolado en la base de datos, es de un 90 %. El reconocimiento en rango uno es un valor importante que usualmente se extrae de la curva CMC.



**Figura 3:** Esquema de operación del sistema en modo de identificación.

**Fuente:** Proceedings Elmar 2004

### 2.2.2 Estructura ocular

El ojo es un órgano que evolucionó a lo largo del tiempo con la finalidad de detectar luz. Se compone de un sistema sensible a las variaciones de luz capaz de

transformar estos cambios en señales eléctricas que son enviadas al cerebro a través del nervio óptico para su interpretación y procesamiento, gracias al cual se obtiene la capacidad de reconocer objetos. Pesa alrededor de 7.5 gramos y posee un diámetro promedio de 23 [mm] en la adultez. Las únicas estructuras identificables desde el exterior son la pupila, el iris y la esclerótica, y está semi cubierto por los párpados superior e inferior donde se ubican las pestañas.

La función de las pestañas, los párpados y las cejas consiste en proteger el globo ocular: las pestañas controlan la iluminación solar o artificial y ayudan a evitar los reflejos dañinos que podrían alcanzar zonas internas del ojo; los párpados protegen el ojo del polvo y algunos microorganismos, además de poseer una membrana denominada conjuntiva que se encuentra presente también en la superficie del ojo y sirve para mantenerlo lubricado y húmedo; mientras que las cejas recogen el sudor de la frente, evitando que llegue exceso de salinidad al globo ocular. Al realizar un corte sagital del órgano es posible distinguir diversas estructuras anatómicas importantes que le dan la funcionalidad y estructura al ojo.

El globo ocular se ubica en la cavidad u órbita ocular y se conforma de tres importantes capas: la esclerótica, membrana que otorga el soporte estructural al ojo; el coroides, que se encarga de nutrir y oxigenar; y la retina, encargada de recibir las señales luminosas y transmitir las hacia el cerebro. En la Figura 4 se puede apreciar con mejor detalle todas las partes que componen el ojo humano. En particular, la retina es una compleja membrana formada por capas de neuronas situada en la superficie interior del ojo, encargada de recibir las señales luminosas y convertirlas en pulsos eléctricos para su transmisión al cerebro.

En esta membrana se destacan las células sensibles a la luz conocidas como conos y bastones. Los bastones son células altamente sensibles a la luz gracias a que contienen rodopsina, que es la proteína que le otorga esta cualidad, son capaces incluso de detectar la energía de un solo fotón, sin embargo, se saturan en condiciones de alta luminosidad y no detectan colores, por lo tanto, otorgan visión en blanco y negro en condiciones de baja luminosidad.



**Figura 4:** El ojo y sus partes.

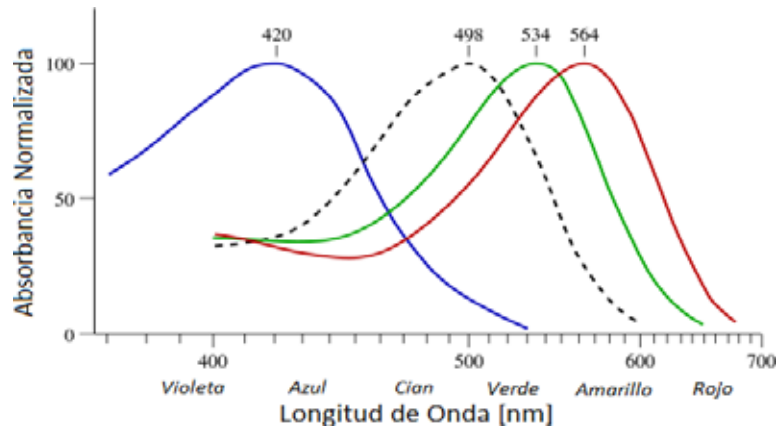
**Fuente:** Stephen Bagi (2018)

En promedio hay aproximadamente 90 millones de bastones en la retina humana, distribuidos mayoritariamente en las zonas aledañas a la fovea, por lo tanto, se le atribuye la visión periférica a este tipo de células.

Por otro lado, los conos que reciben este nombre por la forma conoidea que posee su segmento externo, están adaptados a condiciones de alta luminosidad y proporcionan la visión en color. Existen tres tipos de conos, de acuerdo a la longitud de onda a la que

son más sensibles, que a su vez es dependiente del tipo de pigmento que posean:

eritropsina, proteína con mayor sensibilidad a las longitudes de onda en torno a 564-580[nm] (luz roja); cloropsina, con sensibilidad para longitudes de onda en torno a 534-545[nm] (luz verde); y cianopsina, con mayor sensibilidad a longitudes de onda en torno a 420-440[nm] (luz azul). En la Figura 5 se puede observar el espectro de responsividad de bastones y los tres tipos de conos.



**Figura 5:** Absorbancia de la foto receptores de la retina. En color se indican los conos y la línea negra punteada corresponde a los bastones.

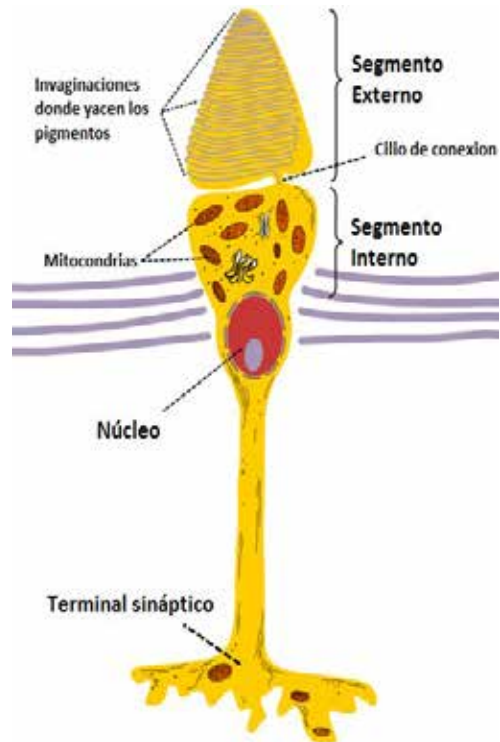
**Fuente:** StunRay (2012)

La distribución de foto receptores a lo largo de la membrana no es uniforme, siendo la fovea, localizada al centro de la retina, un lugar con una baja densidad de bastones y una gran concentración de conos, encargados de la percepción de colores. Es encargada de la visión central aguda y detallada (conocida también como visión fovea), en otras palabras, enfocar la vista en un objeto supone colocar su imagen óptica en la fovea.

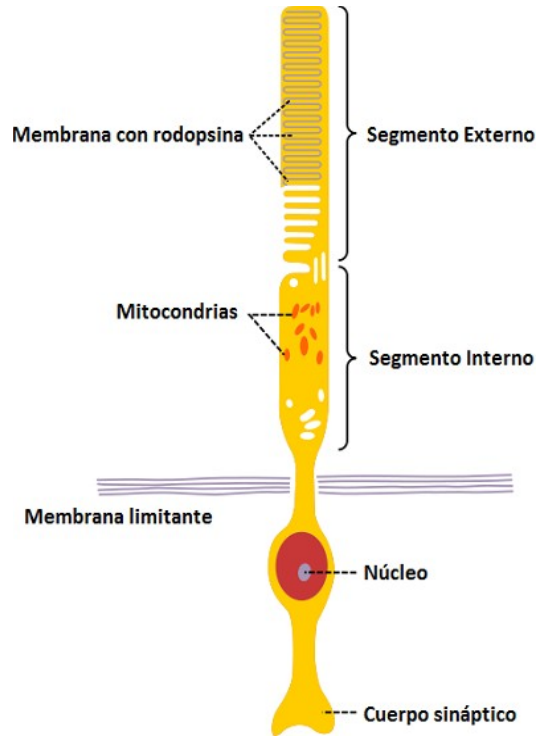
A pesar de ocupar menos del 1 % del área de la retina, a ella llegan aproximadamente la mitad de las fibras del nervio óptico que conectan el ojo con el cerebro. Por otro lado, también existe un punto ciego, conocido como *punctum caecum* en la literatura médica en donde no hay células foto receptoras, y se encuentra en el punto de unión entre el nervio óptico y el globo ocular, conocido como disco óptico.

Otras estructuras importantes del ojo que se pueden apreciar en la Figura 4 corresponden a: la córnea, un tejido transparente sin vasos sanguíneos que tiene como

función refractar los rayos de luz para enfocarlos hacia el interior y cuya forma consiste básicamente en un lente cóncavo-convexo; la pupila, que consiste en un agujero que varía su diámetro entre los 2[mm] y los 8[mm], y es utilizada para controlar la cantidad de luz entrante, se ve negra porque los rayos de luz entrantes o son absorbidos directamente por el tejido del ojo, o son absorbidos después de unas cuantas reflexiones difusas; el iris que corresponde a un tejido muscular en forma de anillo con un diámetro promedio de 12[mm] responsable de la variación en el diámetro de la pupila; el cristalino o lente, consiste en un lente biconvexo y es responsable del enfoque para mejorar la percepción de elementos que se encuentran a distancia cercana o lejana y se protege por un líquido llamado humor acuoso; el humor acuoso, consiste en un líquido transparente que cumple la función de proteger y nutrir las estructuras del globo ocular que carecen de aporte sanguíneo como la córnea y el cristalino. Se dice que 25 % del enfoque es producto del cristalino y que el 75 % restante es producto del efecto de la córnea, sin embargo, el poder de enfoque de la córnea es fijo. Finalmente, el humor vítreo es un líquido gelatinoso, transparente y sin color que rellena el espacio entre la retina y el cristalino, es más denso que el humor acuoso y cerca del 98 % de su volumen corresponde a agua con sales, azúcares y colágeno.



**Figura 7: Bastón**



**Figura 6: Cono**

Fuentes: Madhero88 (2009)

Ivo Kruusamägi (2010)

### 2.2.3. El Iris como patrón biométrico

El iris es una pequeña estructura circular que posee diversos tipos de fibras que aportan en la conformación de patrones complejos basados en estructuras distintivas como ligamentos, arcos, bordes y criptas entre otros, que generan características externas e internas de textura únicas, esta capa de fibras pigmentadas es conocida como estroma, detrás de este se encuentra otra capa de células epiteliales pigmentadas. Dispone de dos músculos, el musculo esfínter del iris, que al contraerse disminuye el tamaño de la pupila (movimiento conocido como miosis) y el musculo dilatador del iris, que permite el aumento de tamaño de la pupila (midriasis).

Actualmente se considera que el desarrollo del iris es una característica fenotípica, es decir cada uno de los componentes de la textura del iris son determinados aleatoriamente durante el desarrollo del ojo, en particular durante el desarrollo fetal, finalizando su formación durante el primer año de vida, donde finaliza el proceso de coloración.

El color del iris es una característica que depende en gran medida de la densidad y distribución de un pigmento llamado melanina que se encuentre en él, que da una coloración café oscuro o amarillo dependiendo del tipo de melanina. Los recién nacidos suelen tener ojos más claros debido a la ausencia parcial de este pigmento, el que termina de fijarse luego de aproximadamente 10 meses de desarrollo. Además, se observa que la textura del iris es distinta entre iris izquierdo y derecho de una misma persona (Ver Figura 10). Con respecto a las propiedades que debe cumplir un patrón biométrico anteriormente mencionado, se puede constatar que debido a la amplia variabilidad que posee la textura del tejido entre personas distintas, o incluso entre gemelos idénticos y entre los iris de la misma persona, pero de ojos distintos, al iris se le otorga la propiedad de unicidad.

Además, prácticamente toda la población posee el rasgo, la excepción a la regla resultan ser quienes sufren de una patología conocida como amerindia, que consiste

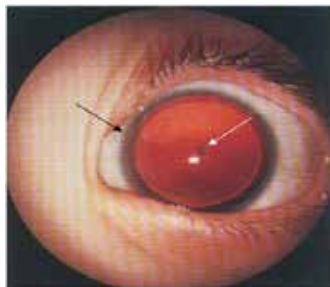


**Figura 8:** Iris normal.

**Fuente:** Petr Novák (2005)

en la ausencia de iris, sin embargo, solo el 0.0015 % de la población a nivel mundial lo padece por lo que resulta razonable considerar al iris como un patrón universal.

En la Figura 9 se puede observar el ojo de un individuo con aniridia. En los últimos años se ha dado un debate acerca de la estabilidad temporal del iris, fenómeno que ha sido estudiado por varios investigadores: Daugman en primer lugar asume que el iris está bien protegido del medio ambiente y es estable a través del tiempo; Rankin realizó un estudio al respecto utilizando una cámara de espectro visible en donde se capturaron imágenes de ambos ojos del individuo. Incluso entre períodos pequeños de tiempo (seis meses), 32 de 156 comparaciones resultaron en falsos negativos. En respuesta a Rankin, Daugman y Downing señalaron que esas tasas de error eran constantes en el tiempo, mostrando ningún cambio en la tasa de reconocimiento que se le pudiese atribuir a un cambio en la textura a través del tiempo. Fenker y Bowyer realizaron experimentos con imágenes de 322 sujetos, capturadas en distintas instancias en un período de 3 años, concluyendo que sí se observa un alza en la tasa de falsos positivos a través del tiempo, debido principalmente al cambio en la dilatación de la pupila a lo largo del tiempo, por lo tanto, si bien aún no hay consenso sobre si la textura iridal cambia, se sabe que el diámetro de la pupila sí lo hace, y esto afecta la tasa de reconocimiento del sistema



**Figura 9:** Aniridia severa.

**Fuente:** Michal Witt (2018)

Por otro lado, NIST (National Institute of Standards and Technology) utilizó dos grandes bases de datos privadas para sus estudios y reporta que la textura del iris en promedio es estable temporalmente, al menos para lapsos de tiempo del orden de décadas, y estima que el aumento en la distancia de Hamming a causa del cambio en la textura iridal es  $(8\pm 2)\cdot 10^{-7}$



### **2.2.5. Adquisición**

Este es el módulo más crítico del sistema ya que la calidad de la adquisición influye directamente en el rendimiento del resto de los módulos que lo componen. En esta etapa se captura la imagen y luego se detecta a grandes rasgos la ubicación de los ojos con los que se realizará la comparación. Está compuesto mayoritariamente por estructuras que sostienen cámaras digitales, sistemas de iluminación y el hardware requerido para la instalación del sistema.

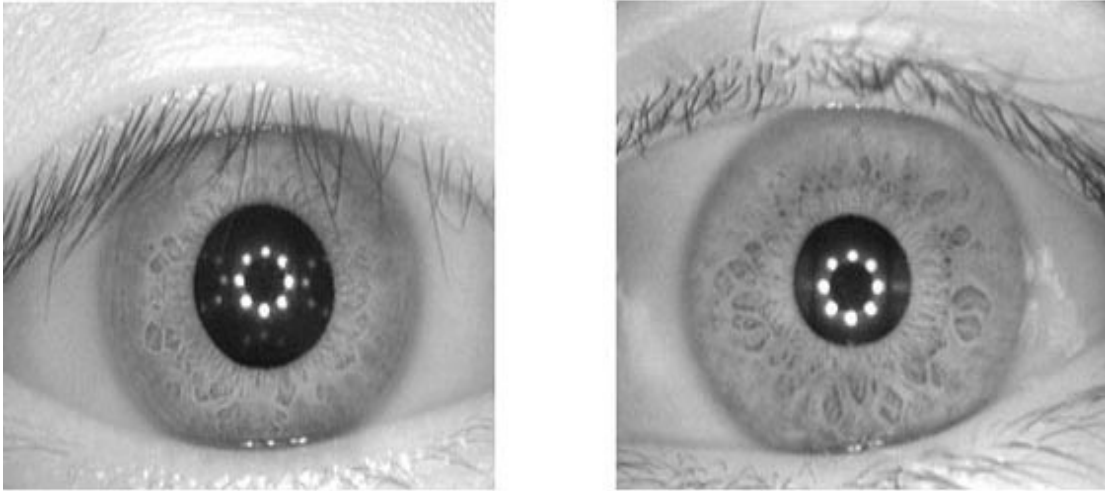
Las características que tienen mayor influencia sobre los resultados son la razón señal a ruido del sensor, la resolución de la imagen capturada y el tipo de lente utilizado. Estas variables afectan de manera directa en la aceptabilidad (corresponde al acto de aceptar de forma voluntaria una tecnología determinada) y rendimiento del sistema, ya que de ellos depende: el volumen de captura, consistente en el espacio físico en donde el sistema puede obtener imágenes nítidas y por lo tanto define una zona en la que se debe colocar el usuario para que éste pueda ser identificado o verificado; el tiempo de residencia, que corresponde al tiempo requerido para obtener una imagen de alta nitidez, lo suficientemente buena para poder ser utilizada por los demás módulos; y la sensibilidad al movimiento del usuario, que tiene relación con la borrosidad de la imagen debido a movimientos ya sean voluntarios o involuntarios de la persona.

Otra consideración importante es la iluminación del entorno, que tiene directa relación con la razón señal a ruido del sensor al poder configurar la sensibilidad de éste a la luz, idealmente el sensor debe utilizar la menor sensibilidad posible para minimizar el ruido del sensor en la imagen; además se debe tener en cuenta que la iluminación debe ser tal que genere en el mejor de los casos una cantidad mínima de reflexiones especulares, con tal de no perder información de la textura del iris; y a la vez no puede ser muy fuerte dado que resultaría incómodo para el usuario.

Debido a todas estos factores, en la mayoría de los trabajos de investigación con respecto al tema y en las soluciones que se encuentran hoy en el mercado se

utiliza iluminación de espectro cercano al infrarrojo o NIR (*de Near Infrared*) que trabaja en la banda comprendida entre los 700 y 900 [nm], este tipo de iluminación posee varias ventajas, entre ellas se puede mencionar: al no estar en el espectro visible del ojo humano, no resulta incómodo para el usuario ser iluminado directamente por un foco con este tipo de luz; además, la mayoría de la población mundial posee ojos de color café oscuro, dado que es éste el fenotipo dominante, revelando menos textura en la banda visible ya que la pigmentación del ojo responde a la luz natural absorbiéndola, no así en el caso del espectro cercano al infrarrojo; y las reflexiones especulares producidas por la córnea son prácticamente nulas, lo que reduce sustancialmente el ruido de la imagen obtenida. En la Figura 2.11 se pueden observar imágenes de iris capturadas con este tipo de iluminación.

Sin embargo, se ha comprobado que trabajar con iluminación NIR resulta dañino para la salud humana en los casos en que se utiliza con una potencia muy alta, su uso es muy prolongado o se expone el ojo a este tipo de iluminación habitualmente, sin contar que además se requiere el uso de cámaras y equipos de iluminación especiales para poder trabajar en esta banda de frecuencia, lo que limita el uso de esta tecnología. Esto ha motivado recientemente a los investigadores en el área de la biometría a desarrollar algoritmos capaces de trabajar con cámaras RGB, que son más comunes y baratas, no requieren de un equipo de iluminación NIR, otorgan imágenes en color en contraposición con las imágenes en escala de grises de las cámaras NIR debido a que el pigmento del iris no responde a esas longitudes de onda, y a la vez constituyen un gran reto para la comunidad científica dado que surgen los problemas de reflexiones y baja nitidez en la textura de ojos de color oscuro mencionados anteriormente. En la Figura 2.12a se puede apreciar una imagen utilizando una cámara RGB, que si bien posee reflexiones leves es posible distinguir a simple vista la textura del iris, en contraste con la imagen de la Figura 2.12b en donde la reflexión producida por la córnea hace casi imposible distinguir textura alguna.



**Figura 11:** Imágenes de iris con iluminación cercana a infrarrojo.

**Fuente:** Eduard Bakštejn (2016)

El enfoque de la imagen resulta otro de los parámetros críticos de este módulo. Si el usuario se acerca demasiado al lente, entonces probablemente quedará fuera de foco, provocando borrosidad en la imagen capturada, lo que afectará la tasa de rendimiento del sistema. La distancia entre el punto más cercano al lente y el más lejano, tal que ambos puntos aparezcan nítidos en la imagen se conoce como profundidad de campo y está en directa relación con el volumen de captura.



**Figura 12:** Imágenes de iris con iluminación natural.  
(a) Reflexiones especulares leves. (b) Reflexiones especulares altas

**Fuente:** Tan et al (2003)

La profundidad de campo puede incrementarse utilizando lentes con distancias focales pequeñas o disminuyendo la apertura del diafragma que permite la entrada de luz a la cámara, sin embargo utilizar distancias focales menores compromete la magnificación del objeto en escena, mientras que la disminución de la apertura del diafragma se traduce en un decremento de la cantidad de luz entrante, lo que obliga a aumentar la sensibilidad del sensor, y por consiguiente incrementando el nivel de ruido en la imagen, o aumentando el tiempo en que el sensor captura luz, conocido como tiempo de obturación, lo que conlleva un incremento en la borrosidad de la imagen debido al movimiento del objeto en escena.

Por otro lado, si el volumen de captura es muy pequeño, es más probable que las imágenes queden desenfocadas debido al movimiento del usuario por estar constantemente saliendo y entrando en el rango de operación, ya sea de manera voluntaria o involuntaria, lo que se traduce en que el sistema se volverá más restrictivo y seguramente el tiempo de residencia para una identificación exitosa aumente como consecuencia de esto debido a la dificultad de obtener una imagen nítida.

En los últimos años se han propuesto diversos enfoques para abordar los desafíos en este módulo. Las propuestas actuales consideran el uso de estructuras con cámaras múltiples; cámaras plenópticas, capaces de realizar el enfoque después de haber tomado la fotografía y algoritmos de fusión de múltiples imágenes para generar capturas bien enfocadas, algoritmos de enfoque con control automático o plataformas electromecánicas móviles para solucionar los problemas mencionados anteriormente. Además, se han propuesto algoritmos en base a filtros y máquinas de soporte vectorial con el fin de maximizar la potencia de la imagen en el espacio de Fourier, lo que tiene una consecuencia directa con la nitidez de la misma.

### **2.2.6. Segmentación**

La etapa que sigue a la adquisición corresponde a la segmentación del iris, consiste en aislar el iris del resto de la imagen, excluyendo además las oclusiones ocasionadas por los parpados o los reflejos por la luz. Es importante mencionar que las imágenes ingresadas a este módulo deben poseer al menos un ojo abierto para poder localizar el iris. Para validar esto existen algoritmos basados en histogramas o similares que descartan imágenes que no cumplan con este requisito.

La localización del iris se realiza primero ubicando de manera tosca e imprecisa el centro del iris, esta primera aproximación sirve como condición inicial para una búsqueda más exhaustiva al final del proceso. La mayoría de los algoritmos de segmentación utilizan la diferencia de contraste entre la pupila y el iris para obtener la ubicación aproximada, aunque también hay otros métodos basados en redes neuronales; mapas auto organizativos; y Adaboost para lograr la misma tarea de manera más precisa, por ende, disminuyendo el rango de búsqueda del ajuste fino y mejorando los resultados de la segmentación a expensas de un mayor costo computacional.

Luego de obtener la ubicación aproximada se realiza una búsqueda más exhaustiva del iris. Los principales métodos para lograr este objetivo se indican a continuación:

### **2.2.7. Métodos Convencionales**

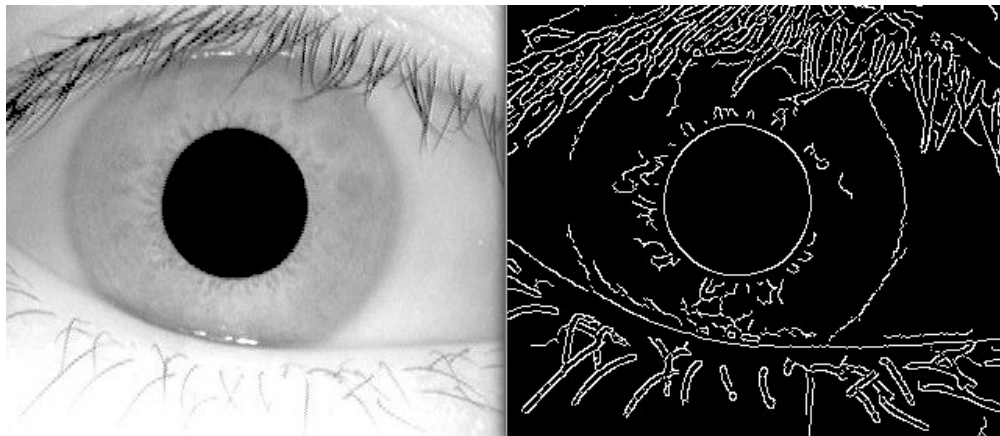
Estos métodos de localización y segmentación de iris utilizan diferentes operadores de detección de borde para detectar los límites de la pupila y el iris, sin embargo, también contienen partes de pestañas y párpados lo que se traduce en inexactitud al momento de segmentar. Estos métodos trabajan bajo varias suposiciones, entre ellas la que el iris y la pupila son circulares y por ende segmentan la sección de acuerdo a ello.

En la mayoría de los casos cuando la imagen es tomada frontalmente el iris queda bien delimitado por un círculo, sin embargo, esto sólo se cumple para esta pose

en particular, por lo que trabajar con esta hipótesis hace prácticamente inevitable la aparición de errores en la segmentación, por ello algunos investigadores han asumido que posee bordes elípticos, tiempo después esta hipótesis también fue descartada. Algunos métodos convencionales se indican a continuación:

**Detector de bordes de Canny:** Ha sido utilizado para detectar bordes en distintas aplicaciones, el aporte más trascendental del algoritmo fue que junto con el desarrolló una teoría computacional con respecto a la detección de bordes y estableció tres criterios principales de rendimiento: buena detección, que consiste en que debe marcar en lo posible todos los bordes existentes; buena segmentación, es decir que los bordes detectados en la imagen estén tan cerca como los bordes reales de la misma; respuesta mínima, cada borde debe ser marcado una sola vez, y en lo posible no se deben crear falsos bordes.

El algoritmo en sí consiste en suavizar la imagen con un filtro gaussiano, calcular el gradiente de la imagen, utilizar supresión no máxima para obtener bordes de un pixel de grosor de histéresis de umbral para eliminar máximos procedentes del ruido.



**Figura 13:** Detección de bordes utilizando algoritmo de Canny

**Fuente:** Valencia-Murillo et al. (2014)

**Operador Integro Diferencial:** Utilizado en sus inicios por Daugman, consiste en un detector de bordes circulares que busca el máximo valor del cambio de

tonalidad en la imagen utilizando la integral de línea de varios círculos concéntricos. La ecuación 1

$$\max_{(r,x_0,y_0)} \left\{ G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r,x_0,y_0} \frac{I(x,y)}{2\pi r} ds \right\} \quad (\text{Ec 1})$$

define el operador en cuestión, en donde I(x, y) consiste en la imagen que contiene el ojo, ds es el arco diferencial del círculo de radio r y coordenadas (x0, y0)

Dado que utiliza información derivativa de primer orden se computa muy rápidamente.

**Transformada de Hough Circular:** Su uso en la segmentación de iris fue propuesto inicialmente por Wildes, en este algoritmo se utiliza un detector de bordes sobre la imagen previamente suavizada por un filtro gaussiano, y luego cada pixel perteneciente a un borde en el espacio de la imagen vota por los puntos (a, b, r) de cada posible círculo que pasa por el en el espacio de parámetros, donde a y b corresponden a las coordenadas del centro del círculo y r corresponde al radio del mismo. Para llevar a cabo la cuenta de votos se utiliza un acumulador de tres dimensiones. La exactitud del algoritmo depende directamente del tamaño del acumulador, sin embargo, el aumento en el tamaño del acumulador implica un mayor uso de memoria. El algoritmo en sí es bastante costoso computacionalmente y en general no se utiliza en aplicaciones en tiempo real.

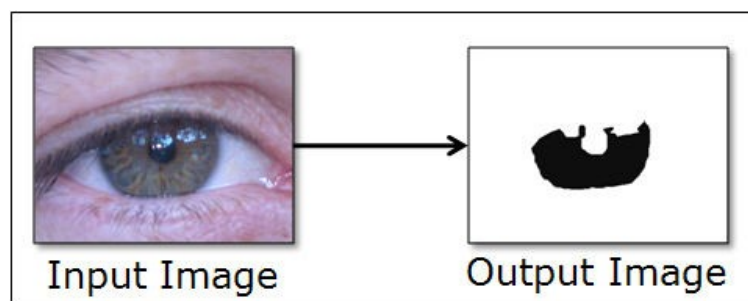
### 2.2.8. Otros métodos desarrollados

Al enfrentarse a la problemática de no poder asumir una geometría del iris a priori, se han buscado otras alternativas para segmentar. Daugman utiliza contornos activos (conocidos también como snakes), fijando una cantidad determinada de coeficientes de Fourier para representar el borde a segmentar, a partir del mapa de bordes y su curvatura. Tan utiliza algoritmos de clustering en combinación con el operador integro diferencial para poder refinar los resultados obtenidos por este último. Sahnoud reduce la complejidad computacional de la transformada de Hough,

para ello utiliza el algoritmo de K-means y encuentra a grandes rasgos el área del iris, luego utiliza el detector de bordes de Canny en orientación vertical, y sobre la imagen de salida del detector utiliza la transformada circular de Hough.

Como se indicó anteriormente, uno de los problemas usuales en las imágenes obtenidas corresponde a la existencia de oclusiones producidas por pestañas y párpados, y las reflexiones especulares que deben ser eliminadas antes de llegar a la siguiente etapa de procesamiento. Las reflexiones especulares generalmente se identifican y eliminan por umbrales de intensidad, en donde se asocian los píxeles más claros con la existencia de este tipo de ruido. Con respecto a las pestañas y párpados, inicialmente se solía realizar un recorte lineal en la zona superior del iris excluyendo parte de éste y las pestañas superiores que generalmente son las que producen mayor ruido. Sin embargo, a lo largo del tiempo se han desarrollado diversos métodos y por ende esta etapa se ha ido refinando, considerando ahora: aproximaciones parabólicas con la intención de perder la menor información posible del iris; como también el uso de filtros lineales multidireccionales; umbrales de detección relacionados a ciertos estadísticos, como la media y varianza de los píxeles contenidos en ventanas locales móviles.

La salida de este módulo resulta ser una máscara binaria, en donde se indica con un 1 que el píxel corresponde al iris y que debe ser procesado como tal, y con un 0 los píxeles que se deben excluir de la codificación. En la Figura 14 se puede apreciar la salida ideal de este módulo para una imagen dada.



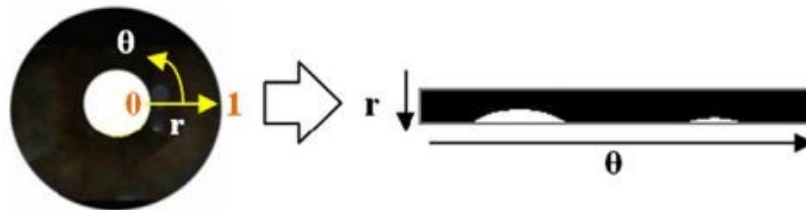
**Figura 14:** Salida del módulo de segmentación

**Fuente:** Nice (2007)

### 2.2.9. Clasificación

El último módulo se encarga de codificar la información iridal obtenida, compararla con la plantilla alojada en la base de datos y realizar la decisión asociada a la identidad del usuario por medio de algún puntaje. Para que la información sea utilizable, el primer paso a realizar es normalizarla de manera que sea comparable con la existente en la base de datos. Esto es debido a que tanto en la etapa de adquisición de la imagen como en la eliminación de ruido (pestañas, párpados y reflexiones especulares) se producen imágenes con gran variabilidad en la cantidad de píxeles con información. Para resolver este problema Daugman propuso un algoritmo de escalamiento radial que permite realizar un mapeo desde un espacio rectangular a un espacio de coordenadas polares. De esta manera a cada píxel se le

de píxeles de la imagen. la Figura 15 esquematiza el procedimiento de normalización para un iris dado. Es importante mencionar que se normaliza tanto el iris como la máscara binaria que se obtiene partir del módulo de segmentación.



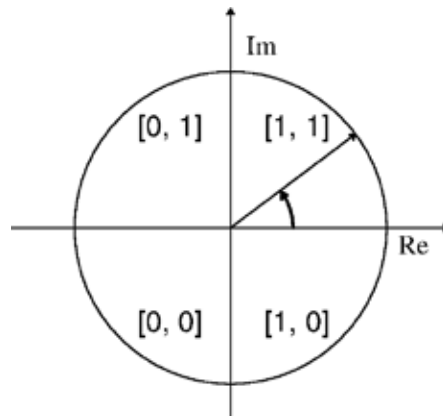
**Figura 15:** Normalización de iris propuesta por Daugman.

**Fuente:** Carranza, F. & Florian, L. (2006)

Luego de normalizar la imagen se debe codificar para poder compararla con los patrones de la base de datos. Se pueden identificar tres grandes ramas con respecto a la forma en que se representa la textura del iris: Una de ellas busca utilizar diversos filtros para obtener representaciones binarias de codificación, siendo la codificación de Daugman ampliamente utilizada en soluciones comerciales. Otra alternativa busca representar la textura del iris como un vector de características con valores reales, siendo el trabajo de Wildes el pionero en esta rama; finalmente existe un tercer grupo

que utiliza una combinación de las propuestas indicadas por las otras corrientes. Daugman utiliza una descomposición en filtros de Gabor en dos dimensiones, en donde asigna un par de bits a cada cuadrante del plano complejo, y se codifica de acuerdo al valor de la fase de la salida de la imagen por el filtro (Ver Figura 16). La operación descrita queda definida en la ecuación 2

$$h_{[Re,Im]} = \text{sgn}_{[Re,Im]} \int_{\rho} \int_{\varphi} I(\rho, \varphi) e^{-i\omega(\theta_0 - \varphi)} e^{-(r_0 - \rho)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta_0 - \varphi)^2 / \beta^2} \quad (\text{Ec } 2)$$



**Figura 16:** Esquema de codificación de fase propuesto por Daugman.

**Fuente:** Fernandez,A. (2014)

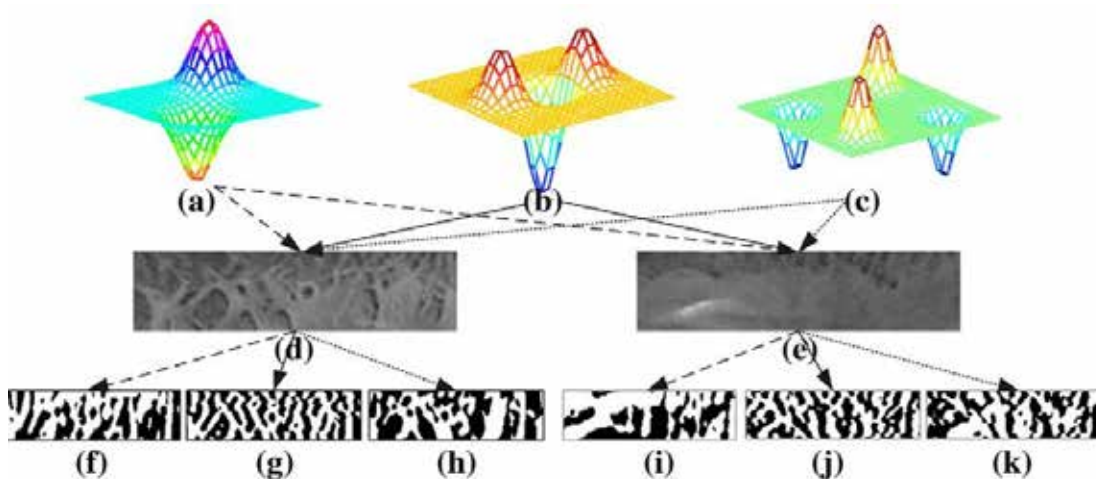
En donde  $h_{Re,Im}$  consiste en los bits de salida del signo de la parte real e imaginaria de la integral en dos dimensiones;  $I(\rho, \varphi)$  corresponde a la imagen a

corresponden a las coordenadas polares de cada región del iris que se codificará.

Por otro lado, Wildes utiliza filtros pasabanda isotrópicos basados en filtros Laplacianos de Gaussianos, que son aplicados en distintas escalas, lo que permite encontrar diferencias más sutiles que en el algoritmo de Daugman pero en que su representación requiere más espacio para almacenar dado que los valores del vector de características son reales. Sun y Tan proponen el uso de filtros ordinales para la

representación de la textura del iris, apelando a que las relaciones ordinales entre regiones vecinas de la imagen son estables y robustas. El sistema de codificación que proponen consiste en convolucionar la imagen con distintos filtros ordinales y codificar la imagen resultante con bits, como se ilustra en la Figura 17.

Además, Kong ha propuesto una generalización a la codificación de iris de Daugman, en donde se realiza una asignación de bits de acuerdo a intervalos de ángulo de la fase de los valores complejos obtenidos, en vez de su signo, indicando que si se mejora la resolución de codificación del espacio de la fase la tasa de reconocimiento mejora. Por otro lado, Bowyer introduce el concepto de Bits frágiles, en donde se obtienen varios códigos de iris de imágenes distintas del mismo sujeto, y se genera una máscara binaria para descartar en primera instancia los bits con mayor variabilidad en el código, con lo que logra robustecer el sistema de clasificación.



**Figura 17:** Esquema de codificación propuesto por Sun y Tan: (a)-(c) Tres filtros ordinales típicos; (d)-(e) dos subregiones de irises distintos; (f)-(k) los códigos OM resultantes.

**Fuente:** Tan et al(2010)

El último paso corresponde a decidir si el patrón obtenido se corresponde con uno (en modo de validación) o alguno (modo de identificación) de los patrones de la base de datos. Para ello se utiliza una métrica y un umbral para evaluar la coincidencia entre ambos patrones y tener un criterio de decisión que permita la

clasificación. Daugman propone utilizar la distancia de Hamming normalizada dada por la ecuación 3.

$$D_H = \frac{\|(\text{codeA} \otimes \text{codeB}) \cap \text{maskA} \cap \text{maskB}\|}{\|\text{maskA} \cap \text{maskB}\|} \quad (\text{Ec } 3)$$

Y que consiste en realizar una operación XOR entre ambos patrones y dividirla por la cantidad de bits utilizados en la comparación, que dependen de las máscaras binarias de cada patrón. Si la distancia resulta ser cercana a cero entonces se dice que ambos patrones corresponden al de un mismo sujeto. En caso contrario, si la distancia supera un umbral dado entonces se trata de dos usuarios distintos. Por otro lado, Wilde utiliza una aproximación estadística de la correlación normalizada de las 4 imágenes de textura que se obtienen en su enfoque, combinándolas y utilizando el discriminante lineal de Fisher para realizar la decisión. En general la manera en que se comparan dos muestras se ha mantenido durante el tiempo: Bowyer siguiendo con su noción de bits frágiles, propone que estos bits del iris de una persona conforman por sí mismos un patrón que se puede complementar al código de iris de Daugman, robusteciendo nuevamente el sistema de clasificación.

Los métodos actuales no han modificado de manera sustancial este módulo, si no que han buscado maneras de complementarlo utilizando otra información extraíble de la imagen del ojo obtenida, como: la textura de la piel; el uso de la codificación por color de la misma; color del ojo; descriptores de la forma y geometría del ojo; entre otros, con el fin de lograr un índice de reconocimiento alto al ocupar esquemas de fusión de características en un enfoque de reconocimiento multimodal.

### 2.3. Raspberry Pi

La Fundación Raspberry Pi (2012) mediante su página oficial define el Raspberry Pi como “un miniordenador de placa reducida de bajo costo. Este puede ser utilizado en proyectos de electrónica, y para muchos de las cosas que hace el PC de escritorio, como hojas de cálculo, procesamiento de textos, navegación por internet, y jugar. También reproduce vídeo de alta definición”. Por lo que podemos hacer notar que es un ordenador de tamaño bastante reducido, siendo esta una de sus mayores

ventajas, debido a la comodidad que oferta a la hora de realizar un trabajo bastante compacto y presentarlo de forma adecuada, gracias a sus grandes características de procesamiento se pueden procesar datos y almacenarlos de manera bastante efectiva.

#### 2.4. Glosario de términos

**Absorbencia:** se trata de la medida que refleja cómo se atenúa la radiación cuando atraviesa un elemento.

**Adaboost:** es un meta-algoritmo de aprendizaje automático basado en la idea de que contar con un grupo de expertos para tomar decisiones es mejor que tener uno solo. Al grupo de expertos se le conoce como ensamble y éste representa un clasificador fuerte, es decir, un clasificador con una precisión muy buena. Por su parte, a los expertos que conforman el ensamble se les denomina clasificadores débiles, es decir, clasificadores con una precisión menor.

**Algoritmo:** Conjunto ordenado de operaciones sistemáticas que permite hacer un cálculo y hallar la solución de un tipo de problemas.

**Biconvexo:** que tiene dos superficies convexas opuestas.

**Cámara plenóptica:** captura información sobre el campo de luz que emana de una escena; es decir, la intensidad de la luz en una escena, y también la dirección en que los rayos de luz viajan en el espacio

**Curva ROC:** es una representación gráfica de la sensibilidad frente a la especificidad para un sistema clasificador binario según se varía el umbral de discriminación.

**Distancia de Hamming:** es una medida de los bits que son distintos, por lo que la operación es realizar un XOR entre los vectores (aplicada a los 2048 bits que codifican cada patrón) y contar el número de bits que son "1".

**Esclerótica:** membrana blanca, gruesa, resistente y fibrosa que constituye la capa exterior del globo del ojo.

**Estado del arte:** el estado del arte proviene originalmente del campo de la investigación técnica, científica e industrial y significa, en pocas palabras, la situación de una determinada tecnología. Lo más innovador o reciente con respecto a un arte específico. Esta noción ha pasado a los estudios de investigación académica como “el estado o situación de un tema en la actualidad”

**Filtro gaussiano:** es un filtro cuya respuesta al impulso es una función gaussiana (o una aproximación a ella). Los filtros gaussianos tienen las propiedades de no tener que sobrepasar la entrada de una función escalonada al tiempo que minimizan el tiempo de subida y bajada.

**Gradiente:** intensidad de aumento o disminución de una magnitud variable, y curva que lo representa.

**Matlab:** es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las plataformas Unix, Windows, Mac OS X y GNU/Linux.

**Máscara binaria:** es el conjunto de datos que, junto con una operación permiten extraer selectivamente ciertos datos almacenados en otro conjunto.

**Mapa auto organizado:** es un tipo de red neuronal artificial (ANN por sus siglas en inglés), que es entrenada usando aprendizaje no supervisado para producir una representación discreta del espacio de las muestras de entrada, llamado mapa.

**Miniordenador:** computador de tamaño pequeño, el cual posee una capacidad de memoria mediana, puede funcionar de manera automática o conectado a una red.

**Operador:** es una aplicación entre dos espacios vectoriales.

**Puerta XOR:** es una puerta lógica digital que implementa el o exclusivo; es decir, una salida verdadera (1/HIGH) resulta si una, y solo una de las

entradas a la puerta es verdadera. Si ambas entradas son falsas (0/LOW) o ambas son verdaderas, resulta en una salida falsa. La XOR representa la función de la desigualdad, es decir, la salida es verdadera si las entradas no son iguales, de otro modo el resultado es falso. Una manera de recordar XOR es "uno o el otro, pero no ambos"

**RGB:** es la composición del color en términos de la intensidad de los colores primarios de la luz.

**Reflexión especular:** la reflexión especular se produce cuando un rayo de luz incide sobre una superficie pulida (espejo) y cambia su dirección sin cambiar el medio por donde se propaga.

**Sensor:** es un objeto capaz de variar una propiedad ante magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas con un transductor en variables eléctricas.

**Transformada:** es un tipo especial de operador matemático

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

El proyecto consiste en la investigación, desarrollo y elaboración de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar las necesidades de la Universidad José Antonio Páez con respecto a la falta de seguridad en los laboratorios de Ingeniería en Telecomunicaciones y electrónica.

#### **3.1. Nivel de Investigación**

Se puede considerar la siguiente investigación exploratoria debido a que este tema es poco estudiado o considerablemente reciente en el campo investigativo, debido a que se tomó como referencia, algunos trabajos realizados que se basan en el control de las mismas variables y de variables similares también, todo esto constituirá una visión aproximada del tema en estudio.

También, se consideró como proyecto factible debido a que se llegó a un diseño de un prototipo.

#### **3.2. Diseño de la Investigación**

Según Arias (2006) “El diseño de investigación es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. En atención al diseño, la investigación se clasifica en documental, de campo y experimental”. (p.26).

Para la investigación se seleccionó la modalidad de investigación documental, debido a que se considera un estudio con escasas de información, además que muchas de ellas se encuentran en desarrollo, haciendo uso de trabajos previos y divulgados por medios digitales. Además, el diseño de la investigación estará acompañado por una modalidad de investigación de campo debido a que se deben emplear métodos de recolección de datos sin manipulación para observar el rendimiento de nuestro software por la toma realizada.

### **3.3. Técnicas e instrumentos de investigación**

Con respecto a este aspecto, Arias (2006) expresa: “se entenderá por técnica, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información”. (p.67).

#### **Técnicas empleadas**

**Observación Directa:** la observación es una técnica que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis. Es un elemento fundamental de todo proceso investigativo; en ella se apoya el investigador para obtener el mayor número de datos. Es de carácter directo debido a que el investigador se pone en contacto personalmente con el hecho o fenómeno que trata de investigar.

#### **Instrumentos empleados**

Los instrumentos constituyen los medios naturales, a través de los cuales se hace posible la obtención y archivo de la información requerida para la investigación. (Hernández Sampieri y otros, 2002)

**Informe:** se utilizó en la investigación, porque los trabajos escritos previamente realizado, permitieran sustentar y apoyar el estudio llevado. La revisión de la documentación existente sobre el tema permitió conocer el estado del área de nuestro interés (cuántos y cuáles estudios se han realizado, enfoques teóricos y metodológicos, resultados, etcétera), además de dar los elementos teóricos que ayuda a comprender mejor el problema de investigación planteado. Para la obtención de la información necesaria, se utilizó como material bibliográfico: informes, trabajos escritos realizados con anterioridad.

### **3.4. Fases de la investigación**

**FASE I. "Estudio de sistemas de reconocimiento de iris disponibles en el mercado actualmente y hardware en general para el funcionamiento del sistema"**

En esta fase se procede a realizar una investigación sobre los sistemas de reconocimiento de iris actuales, así como las fichas técnicas, utilizando la técnica de

recolección de información sobre la situación, y de este modo poder conocer a fondo la manera como se realiza y los componentes presentes en dicha operación, permitiendo así buscar alternativas de mejoras para proceder al diseño del nuevo sistema.

**FASE II: “Diseño y construcción del prototipo del sistema seguridad basado en el reconocimiento de iris.”**

En la presente fase, se procede a diseñar el prototipo del sistema de seguridad, por medio del uso del lenguaje de programación de Matlab, programando y elaborando una GUI para que el usuario final pueda usarlo como un software conveniente; así mismo se procederá a utilizar la librería OpenCV y el lenguaje de programación Python para tener una versión en dicho lenguaje. El modelo en Python se ejecutará en una Raspberry Pi 3 B+, la cual gracias a su gran capacidad de procesamiento no permite un rápido reconocimiento y además permite ser conectada a una Red LAN para tener mejor acceso a ella.

**FASE III: “Evaluación el desempeño del prototipo diseñado para el reconocimiento de patrones de iris.”**

Se procede a la construcción de un prototipo a escala funcional con el fin de evaluar la eficiencia y eficacia del prototipo diseñado para el reconocimiento de patrones de iris, se procedió a realizar una serie de pruebas de reconocimiento utilizando la base de datos CASIA perteneciente a la Academia de China del Instituto de Ciencias para la Automatización, la cual permitió la elaboración del modelo con el fin de detectar posibles fallas que se puedan generar.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

Las siguientes fases describen el desarrollo de los objetivos específicos establecidos al inicio de este trabajo de grado.

#### **4.1. Fase I. Estudio de sistemas de reconocimiento de iris disponibles en el mercado actualmente**

En esta fase se procedió a realizar una investigación exhaustiva sobre los sistemas de reconocimiento de iris y los componentes que lo integran, como lo son el lenguaje, algoritmo y hardware posibles a ser utilizados, y de este modo poder diferenciar cada uno, permitiendo así buscar alternativas de mejoras para proceder al diseño del nuevo sistema, buscando el mejoramiento del desempeño del sistema de seguridad.

Debido a la escasez de oferta en el mercado de sistemas de reconocimiento ocular disponible se abre una sección sobre sistemas alternativos por construcción modular, para incrementar los aportes a la investigación.

##### **4.1.1. Sistemas disponibles en el mercado**

###### **UltraMatch-S2000**

Es un sistema de reconocimiento de iris que posee un diseño elegante y un rendimiento robusto. Adoptando el algoritmo BioNANO, el sistema proporciona el reconocimiento de iris más preciso, estable y rápido, al mismo tiempo que ofrece seguridad de alto nivel en el registro biométrico, identificación individual y control de acceso. Véase figura 18.



**Figura 18:** UltraMatch S2000

**Fuente:** Anviz (2018)

### **Característica del sistema**

-Los indicadores LED le piden al usuario que coloque sus ojos a una distancia adecuada, lo que hace que la adquisición de imágenes sea fácil y aceptable.

-Con el algoritmo BioNANO, el sistema identifica a las personas en menos de un segundo y procesa hasta 20 personas por minuto.

-Funciona en todos los entornos de iluminación, desde iluminación brillantes hasta la oscuridad total.

-Puede soportar todos los colores de ojos, así como identificar a los sujetos incluso usando anteojos y la mayoría de gafas de sol y tipos de lentes de contacto.

-Bajo un costo desconocido por la empresa ANVIZ.

### **Cerradura electrónica de reconocimiento de iris.**

Es un sensor infrarrojo que puede reconocer con precisión la tecnología de reconocimiento ocular en la oscuridad, adicionalmente cuenta con 5 formas de desbloqueo. Véase figura 19.



**Figura 19:** Cerradura electrónica

**Fuente:** Anviz (2018)

-Incorpora un sistema de alerta temprana, inmediatamente alarmado, fotografiado y archivado en caso de una situación inesperada, transmitido a su teléfono en tiempo real a través de la red.

-Tecnología de encriptación virtual de múltiples bits.

Por un costo de 666,88\$ en Amazon.

### **Choosebuy**

Es un teléfono que ofrece huellas dactilares con reconocimiento de iris, Seis modos Full Netcom 5.47 pulgadas Dual SIM Cámara HD Android 7.1 Bluetooth WiFi Ten Core GPS y 4G + 64GB.



**Figura 20:** Telefono Choosebuy

**Fuente:** Choosebuy (2017)

Posee reconocimiento de iris, sensor de gravedad, sensor de luz, sensor de distancia, reconocimiento de huellas dactilares, brújula electronica, gps, wifi ,Bluetoooh.

Por un precio de 176 \$.

**Iridian Technologies Authenticam Iris Cámara de reconocimiento**

Es una tecnología para autenticación de iris y eliminar la gestión de contraseñas, por la empresa multinacional Panasonic, incluye un software KnoWho y Secyre Suite.

Por un precio de 199,99\$ . Vease la figura 21.



**Figura 21:** Iridian Technologies Authenticam

**Fuente:** Iridian Technologies (2002)

**4.1.2. Sistemas alternativos por construcción modular**

Se analizará el lenguaje, IDE, librerías y hardware disponibles en el mercado.

#### **4.1.2.1. Estudio del lenguaje**

Con el fin de lograr la mayor fiabilidad posible en el reconocimiento de las personas, ha de conseguirse extraer la mayor cantidad de información discriminativa como sea posible de un patrón de iris, descartando la información redundante, de manera que puedan llevarse a cabo comparaciones fiables entre plantillas.

##### **Lenguaje C#**

El lenguaje C#, (See Sharp), es un híbrido de C y C ++, es un lenguaje de programación de Microsoft (Microsoft, 2017). C # es un lenguaje de programación orientado a objetos utilizado con servicios Web basados en XML en la plataforma .NET y diseñado para mejorar la productividad en el desarrollo de aplicaciones web. Para crear aplicaciones para la plataforma .NET, Microsoft ha publicado el denominado kit de desarrollo de software conocido como .NET Framework SDK, que incluye las herramientas necesarias tanto para su desarrollo como para su distribución y ejecución y Visual Studio.NET, entorno de desarrollo integrado, que permite hacer todo la anterior desde una interfaz visual basada en ventanas (Pérez, 2013).

##### **MATLAB**

Para la caracterización del iris y extracción de información el software implementado por MATLAB. Cuenta con una versión que permite la implementación de una serie de códigos y funciones requeridas para el desarrollo de un proyecto. El uso de algoritmos en MATLAB, es capaz de realizar la extracción de las características del iris para su posterior identificación o almacenamiento en bases de datos. Dicho algoritmo implementa diversos métodos y transformadas matemáticas tales como: transformada circular de Hough y el detector de bordes de Canny, para la segmentación de la imagen del iris; el modelo laminar propuesto por Daugman para la normalización de la región del iris; los Wavelets Log-Gabor en 1D, para la codificación de la imagen; y el cálculo de la distancia de Hamming, para el cálculo de coincidencias entre plantillas de iris (Caicedo et al. ,2013).

## **Python**

Python es un lenguaje de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en una sintaxis que favorezca un código legible. Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional. Es un lenguaje interpretado, usa tipado dinámico y es multiplataforma.

El lenguaje es utilizado en Visión Artificial. Para el desarrollador proporciona buen rendimiento, además de ser soporte para algunas librerías muy útiles en el campo del tratamiento de imagen.

Debido a que Python corre sobre una máquina virtual, algunos algoritmos corren más lentamente que sus equivalentes compilados. Numpy ofrece soporte para matrices multidimensionales y funciones que operan en matrices, y hace que las operaciones en estos tipos de datos sean prácticamente tan rápidas como el código equivalente en C. Este beneficio se hace patente en el tratamiento de imágenes como matrices bidimensionales.

## **Elección del Lenguaje**

Para el desarrollo del sistema se eligió MATLAB y Python, considerando las siguientes características básicas requeridas para el objetivo planteado, ya que el costo no es un factor determinante:

- Necesidad de contar con un lenguaje potente para procesamiento matemático y gráfico.
- Orientado a objetos con el fin de dar modularidad a las distintas etapas del procesamiento de imágenes y visualización de resultados.
- Programación de alto nivel.
- Librerías disponibles con funciones de visión artificial.

#### **4.1.2.2. Estudio de librerías y Sistema Operativo.**

##### **OpenCV**

La Open-Source Computer Vision es una librería de funciones para la visión por computador, desarrollada originalmente por Intel. Contiene más de 500 funciones que pueden ser utilizadas en infinidad de áreas, como el reconocimiento facial o de objetos, o la visión robótica.

Para el desarrollo de la aplicación se usará el módulo de “Object Detection” del Core de la librería OpenCV. Este detector de objetos utiliza los conceptos propuesto por Paul Viola (Viola & Jones, 2001).

Esta librería está escrita en C y C++ y cuenta con aproximadamente quinientas funciones que abarcan diferentes procesos de la visión artificial. OpenCV fue diseñado para la eficiencia computacional y con un fuerte enfoque en aplicaciones en tiempo real. La librería permite el manejo eficiente de imágenes y matrices, reconocimiento de objetos y análisis de imágenes utilizando la técnica de Eigenfaces y el algoritmo AdaBoost (OpenCV O. ,2017)

OpenCV se encuentra actualmente en su versión 3.4, liberada el 23 de diciembre de 2017, tiene interfaces C ++, Python y Java y es compatible con Windows, Linux, Mac OS, iOS y Android. OpenCV fue diseñado para la eficiencia computacional y con un fuerte enfoque en las aplicaciones en tiempo real. Escrita en C / C ++ optimizado, la biblioteca puede aprovechar el procesamiento multi-core.

Se usará la libre la librería OpenCV ya que es una herramienta compatible con Python para el reconocimiento de visión artificial.

##### **Sistema Operativo**

Debido a que los lenguajes y librerías presentados anteriormente, son código abierto lo hace compatible con cualquier sistema donde se pueda instalar el intérprete. Por lo tanto, puede trabajar bajo Linux, Windown o Mac, por nombrar los más usados.

Se usará como Sistema Operativo Windows y Raspbian porque se cuenta con mayor documentación y tutoriales que se facilita en el desarrollo.

#### **4.1.2.3 Estudio hardware**

La naturaleza de este proyecto hace que no sea necesario hardware especial para su instalación o funcionamiento. Cualquier sistema portátil o sobremesa debe ser capaz de ejecutar la aplicación, siempre que cumpla los requerimientos de software definidos en la sección de lenguajes y librerías.

Obviamente, la potencia de cálculo del equipo tendrá efecto en el rendimiento de la aplicación. Algunos ejemplos de pruebas de rendimiento pueden encontrarse en el capítulo de resultados.

#### **Cámara**

En caso de que se quisiera implementar el módulo de obtención de muestras, para mejorar el rendimiento sería necesario utilizar una cámara infrarroja NIR para el fotografiado de iris, sin embargo, se puede hacer uso sin ella.

La forma más sencilla es adquirir los cuatro elementos básicos que conformen una cámara con esta capacidad:

**Cuerpo.** El cuerpo de la cámara. La unidad central debe ser capaz de asegurar una buena resolución y calidad en la imagen de muestra. Además, tiene la capacidad de utilizar directamente el formato de archivo JPEG, con lo que sería compatible directamente con la aplicación.

**Objetivo.** La cercanía con la que hemos de tomar las imágenes obliga a utilizar uno de los llamados objetivos macro. En definitiva, fotografías de objetos pequeños sobre los que se necesita ampliación y mucho detalle.

**Filtro NIR.** Es el elemento básico del equipo, necesario para capturar la luz infrarroja cercana. O bien, haciendo uso de la cámara de escritorio de una laptop.

#### **Unidad de procesamiento**

- Raspberry Pi

- Arduino

-Laptop

Se escoge una laptop ya que nos proporciona unidad de procesamiento y cámara. Ya que disminuye en los costos de implementación.

## **Accesorios**

### **Iluminación**

Se utilizaron 2 lámparas a una ubicación equidistante del sujeto a ambos lados del mismo, para que la luz se proyectara hacia la parte superior adquiriendo una iluminación uniforme.

### **Cables y adaptadores**

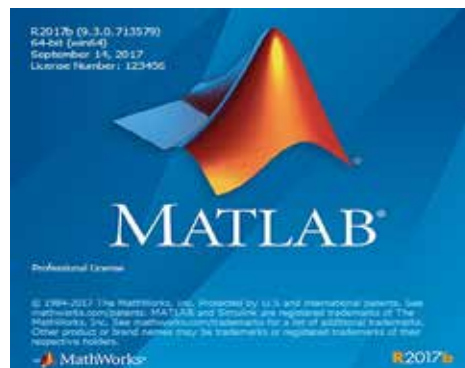
Se aplica según sea el caso y la necesidad del diseño.

## **4.2. Fase II. Diseño del prototipo del sistema seguridad basado en el reconocimiento de iris.**

Conociendo los resultados obtenidos en la fase I de esta investigación y que se dispone de un miniordenador Raspberry Pi para la elaboración del prototipo del sistema de seguridad basado en el reconocimiento de iris, se necesita seleccionar el lenguaje de programación a utilizar. Se estudiaron diferentes opciones y se decidió por los lenguajes de Matlab, y el lenguaje Python el cual es compatible con la Raspberry Pi.

### **4.2.1. Programación del código del prototipo en Matlab**

Basándonos en las funciones disponibles, se diseñó inicialmente un sistema individual en Matlab. La versión de Matlab que se utilizó fue la R2017b.



**Figura 22:** Versión de Matlab.

**Fuente:** Cuevas y Piña (2018).

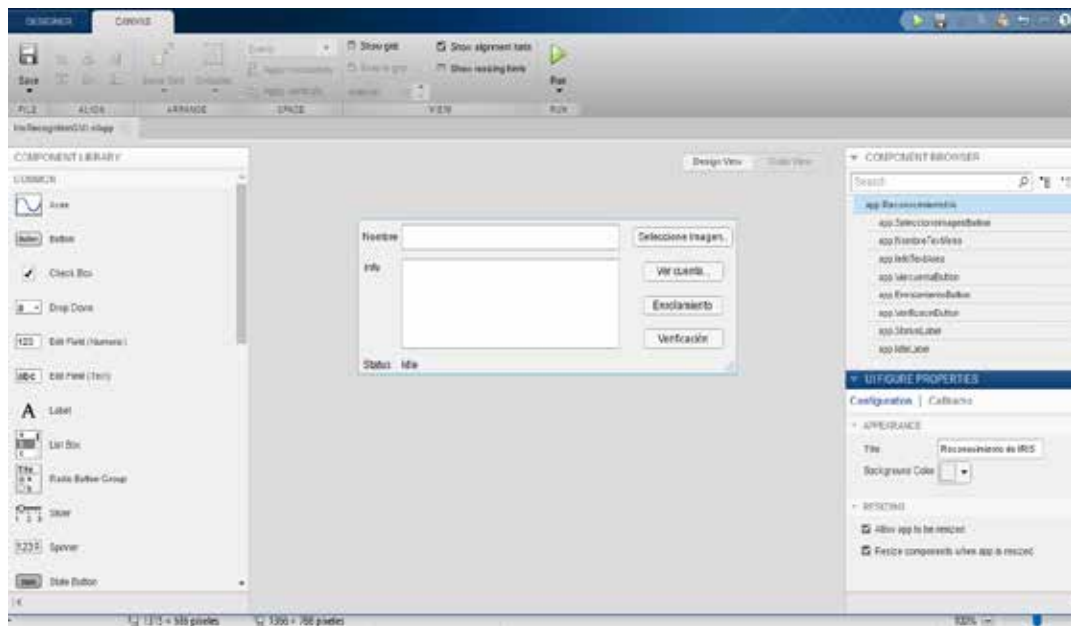
```

26     methods (Access = private)
27
28     % Code that executes after component creation
29     function startupFcn(app)
30         addpath('fnc')
31         clear
32         clc
33     end
34
35     % Button pushed function: EnrolamientoButton
36     function EnrolamientoButtonPushed(app, event)
37         % Compruebe si la imagen seleccionada es es válida
38         if ~app.im_name
39             msgbox('Ninguna imagen seleccionada','Error','modal')
40             app.IdleLabel.Text = 'Ninguna imagen seleccionada';
41         else
42
43             % Compruebe si el nombre y la información están escritos
44             if isempty(app.NombreTextArea.Value{1}) || isempty(app.InfoTextArea.Value{1})
45                 msgbox('El nombre o la información no están escritos','Error','modal')
46                 app.IdleLabel.Text = 'El nombre o la información no están escritos';
47             else
48
49                 % Extraer características del iris
50                 [template, mask] = extractFeature(app.im);
51

```

**Figura 23:** Programación en Matlab extracción de características.

**Fuente:** Cuevas y Piña (2018).



**Figura 24:** Elaboración de la interfaz gráfica de usuario en Matlab.

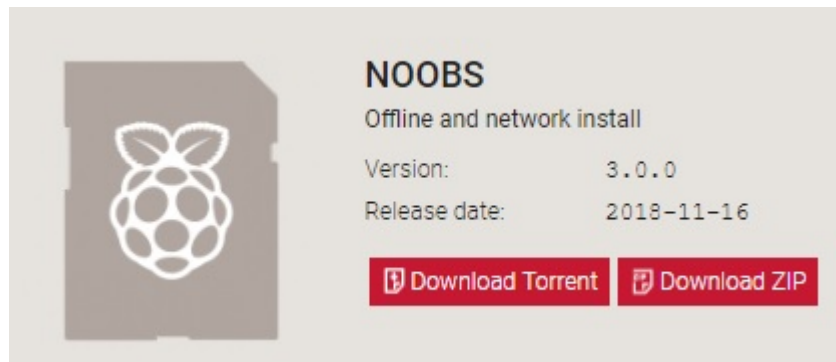
**Fuente:** Cuevas y Piña (2018).

El miniordenador Raspberry Pi es considerado como la unidad de control maestro del sistema en el diseño elaborado en Python y para dicha aplicación se le instalaron los programas esenciales, los cuales se muestran a continuación:

Sistema Operativo Raspbian.

Paquetes y librerías necesarios.

Para la instalación del sistema operativo se utilizó NOOBS versión 3.0, disponible en [www.raspberrypi.org](http://www.raspberrypi.org), es un sencillo instalador que contiene el sistema Raspbian, el cual fue seleccionado de entre tantas opciones debido a que no se necesita una conexión a internet para poder prescindir del mismo y posee más de 36.000 paquetes de software pre compilados en un formato amigable y de fácil instalación.



**Figura 25:** Instalador del sistema Operativo Raspbian

**Fuente:** Cuevas y Piña (2018).

El Raspberry Pi no posee memoria interna, por lo tanto, para instalar dicho sistema operativo se necesitó el uso de una memoria microSD clase 10. El fabricante del producto recomienda utilizar una de más de 8 GB, por lo tanto, en el prototipo desarrollado en este trabajo de grado se utilizó una de 32GB. Este tampoco posee monitor, teclado y mouse, por lo que se tuvo que usar un cable HDMI para conectar al miniordenador a un monitor externo, un teclado externo conectado por Bluetooth y un mouse USB fueron agregados al conjunto de hardware. Con ayuda de la configuración de dos programas secundarios como lo son el PuTTY y el VNC Viewer logra desconectar los agentes externos o periféricos del Raspberry Pi

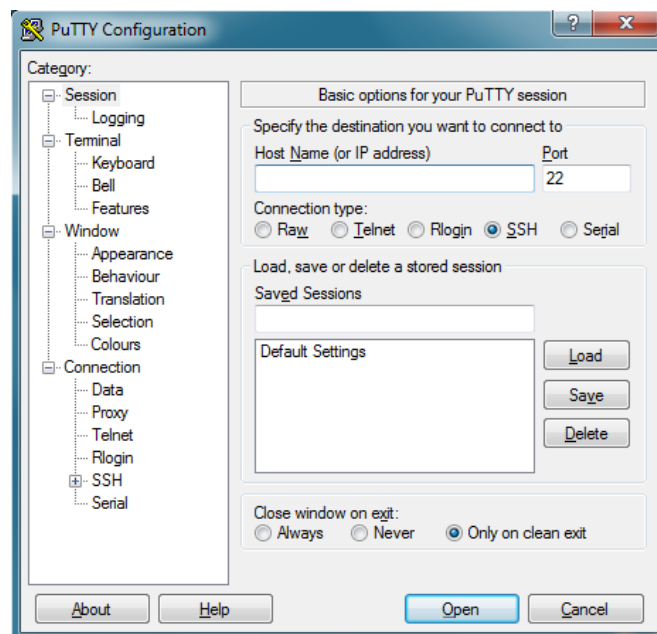
(monitor, teclado y mouse) para dar mayor libertad al desarrollo del prototipo, a partir de este punto se procede a explicar brevemente su instalación y funcionamiento

### 4.2.3. Instalación de los softwares secundarios del Raspberry Pi.

#### 4.2.3.1. SSH en el Raspberry Pi.

Es el nombre de un protocolo y del programa que lo implementa, sirve para acceder a máquinas remotas a través de una red. Este programa viene por defecto instalado en el Raspbian, por lo que configurarlo no es problema, solo se deben seguir los siguientes pasos:

1. Como el computador disponible utiliza Windows, se necesita descargar un cliente de SSH, en este caso se optó por PuTTY, el cual no necesita instalación, ya que es un ejecutable y tiene un aspecto como se ve en la figura 26.



**Figura 26.** Ejecución del cliente PuTTY

**Fuente:** Cuevas y Piña (2018).

2. Una vez abierto el ejecutable, en la sección de “Host Name” se colocó la dirección IP del Raspberry Pi.
3. A continuación, aparece una ventana común de inicio de sesión, en el cual se introdujo el usuario (pi) y la contraseña (raspberry) del Raspberry Pi.
4. Luego de esto, se obtuvo acceso a una ventana terminal del Raspberry.

#### 4.2.3.2. VNC en el Raspberry Pi.

Las nuevas versiones de Raspbian ya traen pre-instalado VNC. Para instalar el VNC en el Raspberry, se utilizó un pseudo-programa llamado TightVNC Server, el cual cumple la función de hacer al Raspberry Pi un servidor. Para este proceso se siguen los siguientes pasos:

El sistema exige configurar una clave de acceso al Raspberry Pi, la cual se necesitó para acceder al Raspberry Pi desde un computador o teléfono inteligente.

A continuación, se pretende acceder al Raspberry Pi vía VNC por medio de la nube, es decir, en el procedimiento anterior se configuró al Raspberry Pi como servidor, ahora se requirió de la utilización de otra parte del programa VNC, llamada “VNC Viewer”, para tener acceso al servidor y manipularlo a través del computador.

#### 4.2.3. Programación en Python

```
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
cloudpickle==0.6.1cycler==0.10.0dask==0.20.0decorator==4.3.0
kiwisolver==1.0.1matplotlib==3.0.1networkx==2.2numpy==1.14.2
opencv-python==3.4.3.18Pillow==5.3.0pyparsing==2.3.0python-
dateutil==2.7.5PyWavelets==1.0.1scikit-image==0.14.1
scipy==1.1.0six==1.11.0toolz==0.9.0tqdm==4.28.1
```

**Figura 27:** Instalación de librerías requeridas, incluyendo OpenCV

**Fuente:** Cuevas y Piña (2018)

```

1  ##-----
2  ## Import
3  ##-----
4  import argparse, os
5  from glob import glob
6  from tqdm import tqdm
7  from time import time
8  from scipy.io import savemat
9  from multiprocessing import cpu_count, Pool
10
11 from fnc.extractFeature import extractFeature
12
13
14 #-----
15 #      Argument parsing
16 #-----
17 parser = argparse.ArgumentParser()
18
19 parser.add_argument("--data_dir", type=str, default="../CASIA1/",
20                    help="ruta que contiene las imagenes casia.")
21
22 parser.add_argument("--temp_dir", type=str, default="./templates/CASIA1/",
23                    help="ruta que contiene las plantillas.")
24
25 parser.add_argument("--n_cores", type=int, default=cpu_count(),
26                    help="Numero de cores usados.")
27
28 args = parser.parse_args()
29
30
31 ##-----
32 ## Pool function
33 ##-----

```

**Figura 28:** Programación en Python enrolamiento base de datos CASIA.

**Fuente:** Cuevas y Piña (2018)

```

1  ##-----
2  ## Import
3  ##-----
4  import argparse, os
5  from time import time
6  from scipy.io import savemat
7
8  from fnc.extractFeature import extractFeature
9
10
11 #-----
12 #      Argument parsing
13 #-----
14 parser = argparse.ArgumentParser()
15
16 parser.add_argument("--file", type=str,
17                    help="rusa que contiene el archivo de verificar")
18
19 parser.add_argument("--temp_dir", type=str, default="./templates/temp/",
20                    help="ruta que contiene las plantillas.")
21
22 args = parser.parse_args()
23
24
25 ##-----
26 ## Ejecucion
27 ##-----
28 start = time()
29 args.file = "../CASIA1/001_1_1.jpg"
30
31 # Extract feature
32 print('>>> Enroll for the file ', args.file)
33 template_mask_file = extractFeature(args.file)

```

**Figura 29:** Programación en Python enrolamiento usuario único.

**Fuente:** Cuevas y Piña (2018).

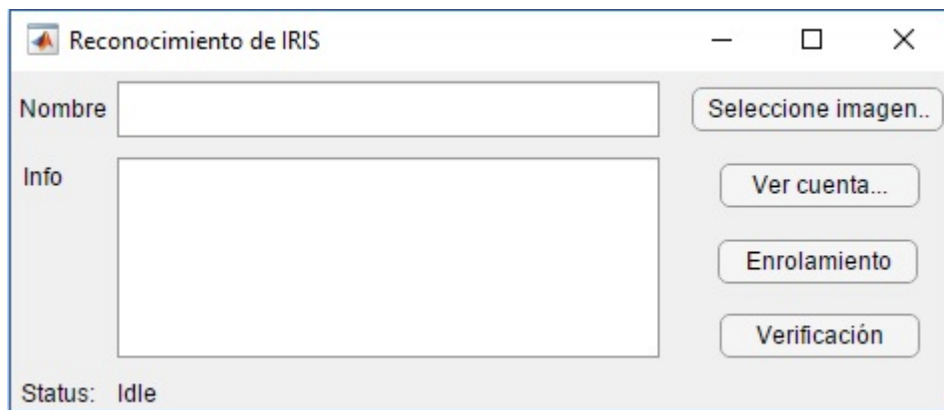
### 4.3. Fase III. Evaluar el desempeño del prototipo diseñado para el reconocimiento de patrones de iris.

En esta fase se desarrollan y se evalúa el desempeño del prototipo tanto en Matlab como en Python implementado en la Raspberry Pi, usando la base de datos CASIA.

#### 4.3.1. Evaluación del diseño en Matlab

##### 4.3.1.1. Opciones interfaz de usuario

La interfaz de usuario cuenta con 3 modos: “Enrolamiento”, “Verificación”, “Ver cuenta”. Enrolamiento significa registrar una plantilla de una cuenta en la base de datos para que posteriormente se pueda verificar una imagen ocular diferente de la base de datos en el modo de verificación. Todas las plantillas de cuenta son anónimas y el nombre del archivo de plantilla no revela quién es el propietario. Por lo tanto, la opción “Ver cuenta” se puede utilizar para ver la información dentro de un archivo de una plantilla.

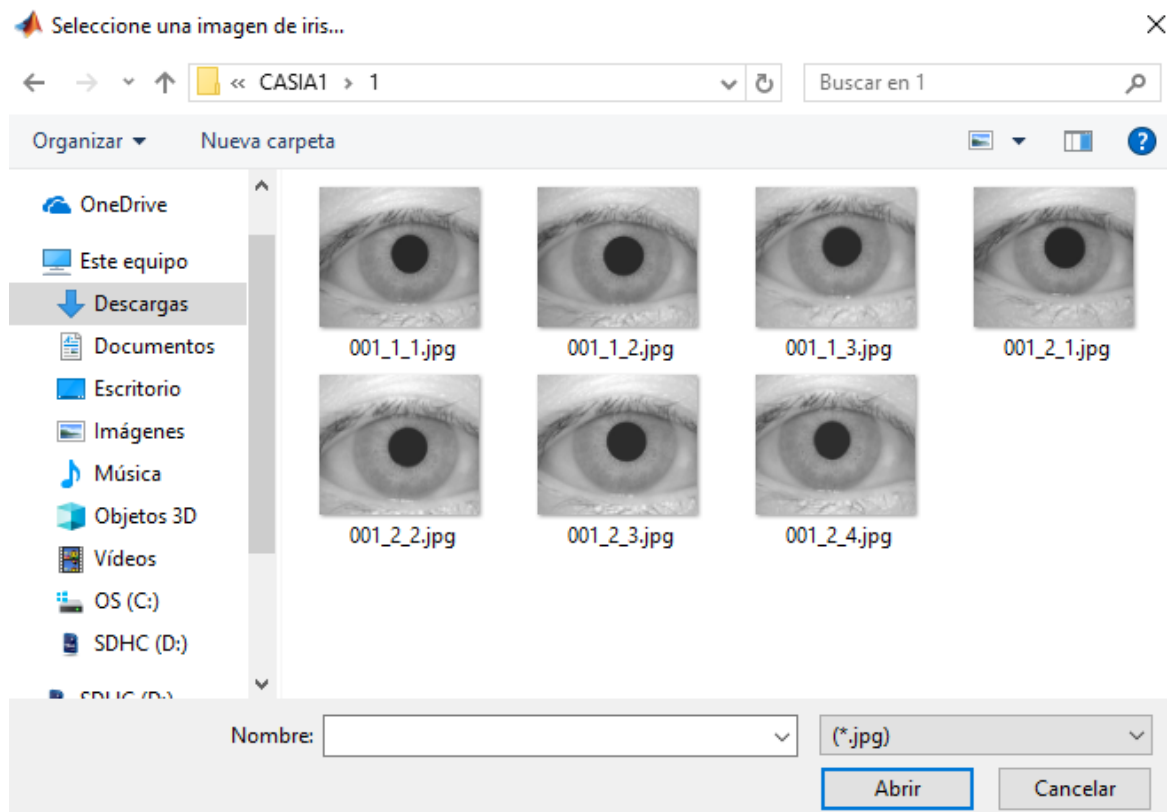


**Figura 30.** Opciones interfaz de usuario.

**Fuente:** Cuevas y Piña (2018).

#### 4.3.1.2. Proceso de enrolamiento

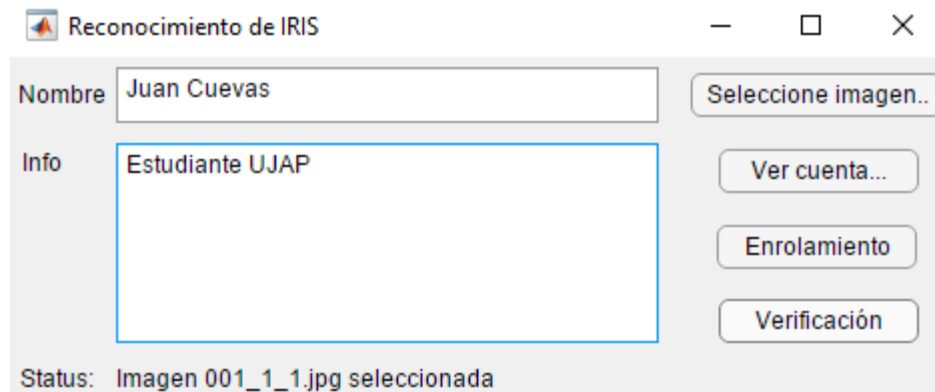
Se selecciona el botón Seleccione imagen... aparecerá un navegador de selección para que seleccione una imagen de ojo para la inscripción.



**Figura 31.** Selección de imagen.

**Fuente:** Cuevas y Piña (2018).

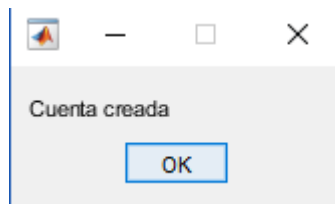
Luego, se ingresa el nombre y la información básica que se desea almacenar. Posteriormente, se hace click en enrolamiento.



**Figura 32:** Información de cuenta.

**Fuente:** Cuevas y Piña (2018)

Un mensaje notificará que la inscripción es exitosa

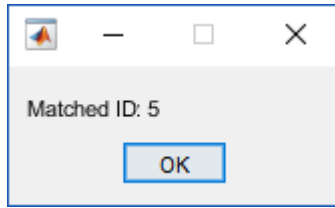


**Figura 33:** Notificación

**Fuente:** Cuevas y Piña (2018).

#### **4.3.1.3. Proceso de verificación**

Para verificar una imagen ocular, se hace clic en el botón *Seleccione imagen...*, posteriormente se hace clic en el botón *Verificación*. A continuación, un mensaje notificará el estado de verificación. Además, la información sobre la cuenta coincidente se mostrará como la siguiente figura.



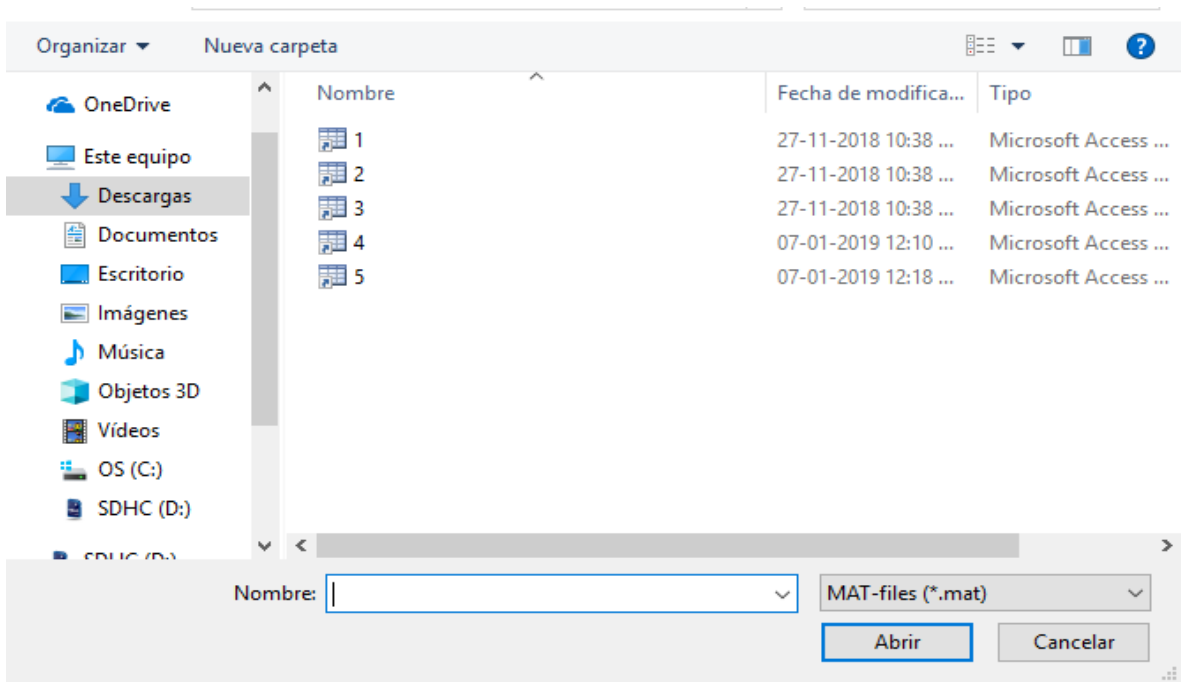
**Figura 34:** Verificación

**Fuente:** Cuevas y Piña (2018).

El número 5 significa el número de plantilla creada.

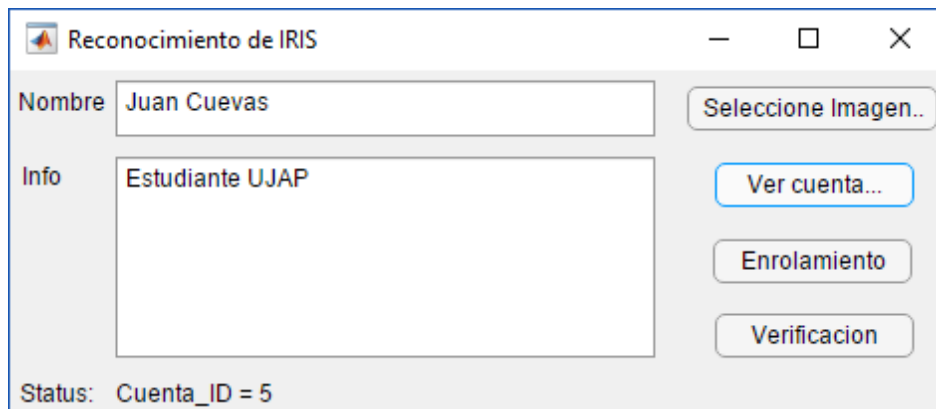
#### 4.3.1.4. Vista de información de cuenta

Haga clic en el botón Ver cuenta...para seleccionar el archivo de plantilla cuyo contenido desea revisar. El resultado será el mismo que el de la figura de abajo.



**Figura 35:** Selección de plantilla.

**Fuente:** Cuevas y Piña (2018)



**Figura 36:** Información del usuario.

**Fuente:** Cuevas y Piña (2018).

## 4.3. 2. Evaluación del diseño en Python

### 4.3.2.1. Entorno virtual Python

Se crea un entorno virtual, en el sistema operativo Raspbian se genera como se muestra a continuación:

### 4.3.2.2. Se instala virtualenv en Raspbian

Para poder utilizar este simple pero poderoso concepto es necesario instalar una utilidad que permita gestionar la creación y utilización de dichos entornos virtuales llamada virtualenv.

```
$ sudo apt-get install python-virtualenv virtualenv
```

**Figura 37:** Instalación por consola de virtualenv.

**Fuente:** Cuevas y Piña (2018).

### 4.3.2.3. Se crea el entorno virtual

Para crear un entorno virtual con Python 3, simplemente ejecutamos el comando virtualenv de la siguiente manera:

```
$ virtualenv env --python=python3
```

**Figura 38:** Creación por consola del entorno virtual.

**Fuente:** Cuevas y Piña (2018).

En nuestro caso se llamará iris.



### Para verificar una persona específica:

Se ejecuta el código programado

```
iris) pi@raspberrypi:~/Desktop/Proyectoiris/python $ python verify.py --temp_dir=templates/mixtest/ --file=001_1_1.jpg
>> Start verifying 001_1_1.jpg
>> 2 samples matched (descending reliability):
    001_1_3.jpg.mat
    001_1_2.jpg.mat
>> Verification time: 13.52697749710003 [s]
```

**Figura 41:** Verificación de una persona específica.

**Fuente:** Cuevas y Piña (2018).

## CONCLUSIONES

Se cumplió con el objetivo y aporte principal planteado en el trabajo especial de grado que consistía en diseñar un sistema de seguridad basado en el reconocimiento de patrones de iris.

Se han analizado y comprendido los parámetros que interfieren en la detección y reconocimiento de iris mediante el procesamiento de imágenes, entre los cuales se han estudiado los diferentes métodos y algoritmos que se han utilizado para la detección de iris, como son los algoritmos de Daugman, el Hough Circular y el detector de Canny.

El software fue diseñado en Matlab, el uso de este lenguaje de programación se debió los avances disponibles en este tema y permite el desarrollo eficiente a bajo costo del sistema de reconocimiento de iris, además que simplifica la codificación, en comparación con otros lenguajes. Se diseñó una interfaz gráfica que permite la administración del programa con App Designer de Matlab, la cual cuenta con una gran cantidad de elementos para la realización de interfaces de usuario, siendo de fácil manejo.

Se implementó una versión en Python, utilizando la librería OpenCV, debido a que es una biblioteca libre de visión artificial, es una herramienta utilizada en sistemas de vigilancia, aunado a esto se utilizó el miniordenador Raspberry pi 3 B+ para tener conexión al sistema por medio de una red lan y poder ser manejada desde una laptop si necesidad de accesorios periféricos.

Se realizaron pruebas para evaluar el desempeño del software, utilizando una base de datos denominada CASIA, de la Academia de China del Instituto de Ciencias para la Automatización, la cual cuenta con un registro de 108 personas, con diferentes imágenes de sus respectivos ojos. Tanto en su versión en Matlab como en Python se han obtenido resultados satisfactorios, De estas pruebas se establecen criterios y

condiciones mínimas de operación como crear una base de datos con por lo menos 6 imágenes de entrenamiento, y para la elaboración de la base de datos la distancia para una obtener una buena imagen del ojo, la distancia debe estar comprendida entre 30 a 40 centímetros, además de eso se debe aplicar infrarrojo cercano prevenir posibles fallas en el reconocedor. Una vez establecidos y tomados en cuenta todos estos criterios y condiciones mínimas para la elaboración de la base de datos, se garantiza una eficacia en el sistema de seguridad.

## RECOMENDACIONES

Se sugiere a la Universidad José Antonio Páez, mejorar el sistema de seguridad de cámaras disponible.

Mejorar las redes LAN o conexiones WiFi disponibles para manejar de forma remota el diseño en la Raspberry PI.

Realizar trabajos a futuros en esta misma línea de investigación del reconocimiento iris en la Escuela de Telecomunicaciones.

Invertir en la instalación de cámaras de infrarrojo cercano (NIR, Near Infrared), para que posteriormente ser agregadas a un sistema CCTV.

Integrar inteligencia artificial del tipo Red neuronal artificial al sistema, para que el proceso de detención y reconocimiento sea automático.

Crear la base de datos correspondiente con el entrenamiento en el mismo ambiente de luminosidad donde se realizará el reconocimiento de iris.

Tomar en cuenta todas las condiciones mínimas de operación del programa para un eficaz uso y funcionamiento del mismo.

Agregar un sistema de seguridad, para que únicamente los usuarios autorizados controlen al prototipo.

Agregar un porcentaje de acierto en el reconocimiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (2006). **El proyecto de investigación**. 5ta Edición. Caracas: EPISTEME
- Hernández, Fernández, Baptista (2006). **“Metodología de la investigación”**.(4° Ed.). Ciudad de Mexico: McGraw-Hill
- Bashir, F., P. Casaverde, D. Usher y M. Friedman (2008). **“A System for Iris Recognition at a Distance”** IEEE Conference on Technologies for Homeland Security
- Caicedo L., Chamorro C., Cruz J., Valencia J. (2013).” **Implementación y Evaluación en MATLAB de un Sistema de Identificación por Reconocimiento del Iris**”. Disponible en: <https://bit.ly/2QEPIYD>
- Cedeno, J & Parraga, C.(2017)“**Sistema biométrico de control de acceso para el laboratorio de computo de la unidad educativa Francisco González Alava**”. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabi Manuel Félix López .Calceta. recuperado de <https://bit.ly/2HnCXhq>
- Daugman, John y Cathryn Downing (2013). **“Iris Recognition Failure over Time: The Effects of Texture”**. Pattern Recogn..
- Delac, K. y M. Grgic (2004). **“A survey of biometric recognition methods”**. 46th International Symposium.
- Dong,Wenbo, Zhenan Sun y Tieniu Tan (2009). **“A Design of Iris Recognition System at a Distance”**. Pattern Recognition.
- EmguCV, L. (2017). **“Emgu CV Docs”**. Obtenido de Emgu CV: <https://bit.ly/1KbMvSg>
- Gong, Yazhuo y Pengfei Shi (2008). **“Reconstruction Algorithm of Iris Image with Great Depth of Field Based on Multi-focus Fusion”**. International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA).

- Gonzales, M. (2017). **“Reconocimiento de iris”**. Trabajo de grado. Barcelona, España. Universidad de Barcelona.
- Grabowski, K., W. Sankowski, M. Zubert y M. Napieralska (2009). **“Iris structure acquisition method”**. Mixed Design of Integrated Circuits Systems, MIXDES-16th International Conference.
- Herrera, D. **“Sistema de identificación de personas por iris mediante filtrado de gabor en plataforma android”**, Universidad Carlos III de Madrid , España.
- Merino, B. (2016) .**“Propuesta y evaluación de un sistema de reconocimiento de iris basado en filtros de Sobel”**. Recuperado de <https://bit.ly/2U4uJfN>
- Microsoft. (2017). **“Introduction to the C# Language and the .NET Framework.”**  
Obtenido de Visual Studio 2015: <https://bit.ly/1FJEAdo>
- Ng, Richard Yew Fatt, Yong Haur Tay y Kai Ming Mok (2008). **“A review of iris recognition algorithms”**. International Symposium on Information Technology, 2008.
- OpenCv. (2017). **“Face Recognition with OpenCV”**. Obtenido de:  
<https://bit.ly/2zStTv0>
- Peréz Fuentealba, Dante (2013). **“Diseño e implementación de un sistema de reconocimiento de iris a distancia”**. Trabajo de grado. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile
- Pérez P. (2013). **“Implementación en C# de método de identificación de iris mediante técnicas MPEG”**. Recuperado de <https://bit.ly/2zStCIu>
- Tomé, P. (2008). **“Reconocimiento automático de patrones de iris”**. Trabajo de grado. Madrid, España. Universidad Autónoma de Madrid.
- Viola, P., & Jones, M. (2001). **“Rapid object detection using a boosted cascade of simple features”**. Obtenido de: <https://bit.ly/2EaScqY>

Yonekura, S. (2014). **“Evaluación y mejora de un sistema de reconocimiento de iris a distancia utilizando cámara de alta resolución”**. Trabajo de grado. Santiago de Chile, Chile. Universidad de Chile.