



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **“PROCESAMIENTO DE IMÁGENES PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PERSONAS COMO SISTEMA DE SEGURIDAD EN ZONAS DOMICILIARIAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**

**DAMIÁN IVÁN GRANJA HEREDIA**

Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo,  
presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH,  
como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAGISTER EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES**

Riobamba – Ecuador

Noviembre, 2018



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

### CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, titulado: **PROCESAMIENTO DE IMÁGENES PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PERSONAS COMO SISTEMA DE SEGURIDAD EN ZONAS DOMICILIARIAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA**, de responsabilidad del Sr. Damián Iván Granja Heredia, ha sido prolijamente revisada por los miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

#### Tribunal:

ING. OSWALDO MARTINEZ GUASHIMA. M. Sc.

**PRESIDENTE**

\_\_\_\_\_

**FIRMA**

ING. PAUL MORENO AVILES PH. D

**DIRECTOR DE TESIS**

\_\_\_\_\_

**FIRMA**

ING. PAULINA VALLE OÑATE. M. Sc.

**MIEMBRO DE TESIS**

\_\_\_\_\_

**FIRMA**

ING. FAUSTO CABRERA AGUAYO. M. Sc.

**MIEMBRO DE TESIS**

\_\_\_\_\_

**FIRMA**

Riobamba, Noviembre 2018

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, Damián Iván Granja Heredia, con cédula de identidad 060360014-9 declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Damián Iván Granja Heredia

N° de Cédula: 060360014-9

**©2018, Damián Iván Granja Heredia**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

## **DEDICATORIA**

A mi familia por la paciencia y confianza depositada en mi persona que de una u otra manera siempre me han ayudado a conseguir mis objetivos personales como profesionales. A una persona muy especial que en transcurso de esta maestría siempre me animado, apoyado a conseguir mis objetivos, quien ha depositado en mí total confianza en cumplir esta meta, por toda su entrega un dios te bendiga Karolina Nájera G.

Damián I. Granja H.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por guiarme en éste corto camino de vida lleno de logros y experiencias, que me ha hecho crecer y apreciar el mundo, de tal manera que es una bendición poder compartir y disfrutar momentos en familia, amigos y sobre todo de las maravillas de este hermoso país.

A mis padres que siempre han sido un ejemplo de vida, sin ellos no podría haber culminado con mis objetivos profesionales y personales, les debo mi eterna gratitud.

A mis hermanos Luis y Verónica quienes son fuente de inspiración de lucha constante de superación les agradezco por toda su confianza y cariño brindado a mi persona.

Un agradecimiento especial a mis tutores, por su desinteresado respaldo, paciencia y confianza para poder culminar el presente trabajo de titulación.

Damián I. Granja H.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Páginas

RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I .....	1
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Situación problemática.....	2
1.2 Formulación del problema.....	4
1.3 Sistematización del problema.....	4
1.4 Justificación de la investigación.....	4
1.5 Objetivos de la investigación.....	5
1.5.1 <i>Objetivo General:</i> .....	5
1.5.2 <i>Objetivos específicos:</i> .....	5
1.6 Hipótesis.....	6
1.6.1 <i>Hipótesis general:</i> .....	6
CAPÍTULO II .....	7
2 MARCO REFERENCIAL (ESTADO DEL ARTE).....	7
2.1 Introducción.....	7
2.2. Estado del Arte.....	7
2.3. Bases Teóricas del reconocimiento facial.....	9
2.3.1 <i>Métodos del reconocimiento facial.</i> .....	9
2.3.1.1 <i>Métodos Holísticos</i> .....	9
2.3.1.1.1. <i>Análisis de Componentes Principales (Principal Components Analysis, PCA)</i> .....	9
2.3.1.1.2. <i>Análisis de componentes Independientes (Independent Component Analysis, ICA)</i> ...	10
2.3.1.1.3. <i>Análisis Lineal Discriminante (Linear Discriminant Analysis, LDA)</i> .....	11
2.3.1.1.4. <i>Métodos basados en Kernels</i> .....	12
2.3.1.1.5. <i>Support Vector Machine: SVM</i> .....	12
2.3.1.2. <i>Métodos locales o geométricos</i> .....	12
2.3.1.2.1. <i>Correspondencia entre Agrupaciones de Grafos Elásticos</i> .....	12
2.3.1.2.2. <i>Patrones binarios locales (Local Binary Pattern, LBP)</i> .....	13
2.3.1.2.3. <i>Modelo oculto de Markov (Hidden Markov Models, HMM)</i> .....	13
2.4. Fases del reconocimiento facial.....	14
2.5. Técnicas de reconocimiento facial.....	15
2.5.1. <i>Eigenfaces.</i> .....	15

2.5.2.	<i>Fisherfaces</i> .....	15
2.6.	Bases De Datos Públicas De Rostros.....	16
2.6.1.	<i>Beneficios de las bases de datos de rostros públicas</i> .....	17
2.6.2.	<i>Ejemplos Bases de rostros públicas</i> .....	17
2.6.2.1.	<i>Bases de rostros Yale</i> .....	17
2.6.2.2.	<i>Bases de rostros AT&amp;T</i> .....	18
2.6.2.3.	<i>Bases de rostros AR</i> .....	19
2.6.2.4.	<i>Bases de rostros Cohn-Kanade AU-Coded Facial Expression</i> .....	19
2.6.2.5.	<i>Bases de rostros Cmu Pie</i> .....	19
2.6.2.6.	<i>Bases de rostros Feret</i> .....	20
2.6.2.7.	<i>Bases de rostros Vadana</i> .....	20
2.6.2.8.	<i>Bases de rostro Labeled Faces in the Wild (LFW)</i> .....	20
2.6.2.9.	<i>Bases de rostros Surveillance Cameras Face</i> .....	20
2.6.3.	<i>Clasificación de las bases de datos de rostros públicas</i> .....	20
CAPÍTULO III .....		22
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN. ....		22
3.1	Tipo y diseño de investigación. ....	22
3.2.	Métodos de investigación. ....	23
3.3.	Enfoque de la investigación. ....	23
3.5.	Alcance de la investigación. ....	23
3.6.	Población de estudio.....	24
3.7.	Unidad de análisis. ....	24
3.8.	Selección de la muestra. ....	24
3.8.1.	<i>Tamaño de la muestra</i> .....	25
3.8.2.	<i>Técnicas e Instrumentos para procesar datos</i> .....	25
3.9.	Diseño del Sistema de Identificación Facial .....	25
3.9.1.	Esquema general del sistema de reconocimiento. ....	26
3.9.2.	Implementación del sistema .....	27
3.9.2.1.	<i>Adquisición de la imagen</i> .....	27
3.9.2.2.	<i>Pre-procesamiento de la imagen</i> .....	28
3.9.2.3.	<i>Extracción de características</i> .....	29
3.9.2.4.	<i>Entrenamiento clasificador</i> .....	32
3.9.3.	<i>Implementación del Algoritmo Eigenfaces</i> .....	32
3.9.3.1	<i>Pasos para el desarrollo del Algoritmo Eigenfaces-Pca</i> .....	32
3.9.3.2.	<i>Análisis de Componentes Principales (PCA)</i> .....	33

3.9.4.	<i>Implementación del Algoritmo Fisherfaces.....</i>	36
3.9.4.1.	<i>Pasos a seguir para el desarrollo del Algoritmo Fisherfaces-Lda. ....</i>	36
3.9.5.	<i>Pruebas del Reconocimiento Facial de los Algoritmos propuestos en Base Pública. ...</i>	39
3.9.5.1.	<i>Evaluación del Algoritmo Eigenfaces-PCA en Base de rostros pública AT&amp;T.....</i>	40
3.9.6.	<i>Base de Datos Domiciliar.....</i>	47
3.9.6.1.	<i>Adquisición imágenes domiciliarias .....</i>	47
3.9.7.	<i>Propuesta Del Sistema de Seguridad Domiciliar. ....</i>	48
3.9.7.1.	<i>Entorno Gráfico Guide de Matlab. ....</i>	48
3.9.7.2.	<i>Interfaz del sistema de seguridad. ....</i>	52
3.9.7.2.1	<i>Opciones del sistema.....</i>	53
CAPÍTULO IV .....		60
4.	PRUEBAS DEL RECONOCIMIENTO FACIAL.....	60
4.1.	Parámetros de Evaluación.....	60
4.1.1.	<i>Entorno de iluminación. ....</i>	60
4.1.2.	<i>Resolución Cámara. ....</i>	62
4.1.2.1.	<i>Resolución de cámara uno: .....</i>	62
4.1.2.2.	<i>Resolución de cámara dos: .....</i>	62
4.2.	Evaluación del Sistema de Reconocimiento Facial.....	62
4.2.1.	<i>Detección de rostros distancias mínimas y máximas con resolución uno. ....</i>	64
4.2.2.	<i>Detección de rostros distancias mínimas y máximas con resolución dos. ....</i>	68
4.2.3.	Evaluación de los algoritmos de reconocimiento e identificación de personas.....	69
4.2.3.1.	<i>Evaluación de algoritmos con resolución uno con base de datos uno.....</i>	69
4.2.3.2.	<i>Evaluación de algoritmos con personas no registradas en base de datos. ....</i>	70
4.2.3.3.	<i>Evaluación de algoritmos con resolución dos con base de datos uno. ....</i>	71
4.2.3.4.	<i>Evaluación de algoritmos con resolución uno con base de datos dos. ....</i>	72
4.2.3.5.	<i>Evaluación de algoritmos con resolución dos con base de datos dos.....</i>	73
4.3.	Comprobación de hipótesis .....	74
4.3.1	<i>Modelo ANOVA .....</i>	76
4.3.1.1.	<i>Análisis uno. ....</i>	76
4.3.1.2.	<i>Análisis dos. ....</i>	77
CONCLUSIONES .....		79
RECOMENDACIONES .....		80
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2. Rendimiento de diferentes detectores de piel .....	8
Tabla 1-3. Evaluación algoritmo Eigenfaces en base de rostros pública. ....	41
Tabla 2-3. Evaluación algoritmo Fisherfaces.....	43
Tabla 1-4. Distancias mínimas de reconocimiento facial resolución uno. ....	65
Tabla 2-4. Distancias mínimas de reconocimiento facial resolución dos, .....	68
Tabla 3-4. Evaluación Algoritmos con resolución uno, con base de datos uno.....	69
Tabla 4-4. Evaluación de algoritmos con personas no registradas en base de datos.....	70
Tabla 5-4. Evaluación Algoritmos con resolución dos con base de datos uno. ....	72
Tabla 6-4. Evaluación Algoritmos con resolución uno con base de datos dos .....	73
Tabla 7-4. Evaluación Algoritmos con resolución dos base de datos dos. ....	74
Tabla 8-4. Prueba ANOVA Análisis 1.....	76
Tabla 9-4. Prueba ANOVA Análisis 2.....	77
Tabla 10-4. Presupuesto de la investigación.....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2. Eigenfaces estándar .....	10
Figura 2-2. Ejemplo de 6 clases distintas usando LDA .....	11
Figura 3-2. Correspondencia entre agrupaciones de grafos elásticos. ....	13
Figura 4-2. Base de rostros YALE, 11 expresiones por sujeto. ....	18
Figura 5-2. Base de rostros ORL, 10 expresiones por sujeto .....	19
Figura 1-3 Diagrama general del sistema de reconocimiento facial. ....	26
Figura 2-3. Esquema general del procesamiento de imagen .....	27
Figura 3-3. Imagen capturada con información no relevante al procesamiento. ....	29
Figura 4-3. Extracción y normalización del área de interés de la imagen capturada. ....	30
Figura 5-3. Diagrama de flujo adquisición imagen test al reconocimiento facial.....	31
Figura 6-3. Diagrama de Flujo Algoritmo Eigenfaces PCA .....	35
Figura 7-3. Diagrama de Flujo Algoritmo Fisherfaces-Lda.....	38
Figura 8-3. Base de rostros ATT, contiene 40 sujetos con 10 expresiones por persona .....	39
Figura 9-3. Rostros eigenfaces en la etapa de entrenamiento principales características .....	40
Figura 10-3. Inicio del entorno gráfico guide en Matlab. ....	48
Figura 11-3. Formulario GUI para crear el entorno del sistema de seguridad domiciliar.....	49
Figura 12-3. Herramientas del entorno grafico GUI.....	50
Figura 13-3. Descripción de componentes GUI.....	50
Figura 14-3. Entorno Property Inspector para editar las propiedades de un objeto GUI.....	51
Figura 15-3. Pantalla interfaz de usuario del sistema de identificación de personas. ....	52
Figura 16-3. Opción Visible del Property Inspector GUI .....	53
Figura 17-3. Menú Image Acquisition Tool. ....	54
Figura 18-3. Sistema de identificación de personas, botón procesar información .....	56
Figura 19-3. Base de rostros domiciliar registrada para la identificación de personas. ....	57
Figura 20-3. Entorno del sistema de identificación de personas, menú selección algoritmo.....	58
Figura 21-3. Entorno general del sistema de identificación de personas .....	59
Figura 22-3. Créditos .....	59
Figura 1-4. Entorno de evaluación iluminación lineal, vista aérea .....	61
Figura 2-4. Entorno de evaluación iluminación lineal, vista 3d.....	61
Figura 3-4. Identificación de persona que no pertenece a la base de rostros domiciliar.....	63
Figura 4-4. Toma de imagen a distancias inferiores a 30 cm.....	64
Figura 5-4. Comprobación algoritmo Eigenfaces con toma de imagen al costado .....	66

Figura 6-4. Comprobación algoritmo Fisherfaces con toma de imagen al costado .....	67
Figura 7-4. Detección y extracción de rostro a distancias superiores a 300 cm.....	67
Figura 8-4. Pruebas de Normalidad .....	75
Figura 9-4. Prueba igualdad de varianzas .....	75

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO A</b>	Especificaciones Técnicas Del Computador
<b>ANEXO B</b>	Código de programación del sistema de identificación de personas.

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>FBI</b>	Departamento Federal de Investigaciones.
<b>NGI</b>	Next Generation Identification
<b>FACS</b>	Sistema de codificación de acciones faciales
<b>PCA</b>	Análisis de Componentes Principales
<b>ICA</b>	Análisis de componentes Independientes
<b>SVM</b>	Support Vector Machine
<b>LDA</b>	Análisis Lineal Discriminante
<b>FLD</b>	Discriminant Lineal Fisher
<b>OSH</b>	Optimum Separating Hyperplane
<b>EBGM</b>	Correspondencia entre Agrupaciones de Grafos Elásticos
<b>LBP</b>	Patrones binarios locales
<b>HMM</b>	Modelo oculto de Markov
<b>ORL</b>	The ORL Database
<b>CMU PIE</b>	The Carnegie Mellon University Pose, Illumination, and Expression database
<b>GUI</b>	Interfaz gráfica de usuario
<b>HD</b>	Alta definición
<b>MP</b>	Mega píxeles.

## RESUMEN

El objetivo fue la implementación de dos algoritmos de reconocimiento facial para la identificación de personas, bajo condiciones reales en este caso un domicilio, proceso que presentó muchos desafíos en los métodos de análisis de imágenes, se examinó las investigaciones relevantes en la identificación facial como los métodos de Análisis de Componentes Principales (PCA) y el Análisis Lineal Discriminante (LDA), procesos matemáticos utilizadas por los algoritmos Eigenfaces y Fisherfaces, que son técnicas de aproximación estadística para clasificar datos en este caso rostros, con mínima complejidad computacional. En el diseño e implementación del sistema de identificación de personas propuesto, se desarrolló los algoritmos en Matlab, describiendo sus etapas principales de procesamiento como la adquisición de imágenes, pre procesamiento, extracciones de características faciales, entrenamiento o clasificador, éstos algoritmos se sometieron a evaluación de eficacia en la identificación de personas, utilizado una base de rostros públicas de AT&T conocida como ORL Database of Faces, con 400 imágenes de rostros distintas personas con variadas expresiones, además de ello se elaborara un base de rostros domiciliar, con 48 imágenes para el entrenamiento del sistema. Como resultado de la evaluaciones bajo condiciones de laboratorio se obtuvo una eficiencia superior al 90%, mientras que al ser evaluados en condiciones reales, los algoritmos presentan eficiencias de identificación que oscilan del 50 al 80%, factores que dependen de la distancia, cámara, calidad de imagen, e iluminación. De esta manera se estableció las condiciones mínimas de requerimientos para la implementación de un sistema de vigilancia domiciliar, con porcentajes de efectividad favorables en éstos ambientes, proponiendo una innovación en el uso de la tecnología e ingeniería actual en lo referente a video vigilancia, se recomienda realizar estudios para mejorar las técnicas en la detección facial y algoritmos de reconocimiento facial en tiempo real

**Palabras claves:** < TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA>, <ALGORITMOS>, <ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA)>, <EIGENFACES (TÉCNICA)>, < ANÁLISIS LINEAL DISCRIMINANTE (LDA)>, <FISHERFACES (TÉCNICA)>, <BASE DE DATOS ROSTROS >, < BASES DATOS PÚBLICAS >.

## SUMMARY

The objective of the project is the implementation of two facial recognition algorithms for the identification of people, under real conditions in this case an address, demonstrating in a practical way the efficiency of this technology that presents many challenges due to its variants in its analysis methods. Images, relevant investigations in facial identification have been explored, such as Principal Component Analysis (PCA) and Discriminant Linear Analysis (LDA) methods, mathematical processes used by the Eigenfaces and Fisherfaces algorithms, which are statistical approximation techniques for classifying data in this case faces, with minimum computational complexity. In the design and implementation of the proposed people identification system, the algorithms will be developed in Matlab, describing its main processing stages such as image acquisition, pre-processing, extractions of facial features, training or classifier, these algorithms will be evaluated of efficiency in the identification of people, used for this a base of public faces of AT & T known as ORL Database of Faces, with 400 images of different faces forgive with various expressions, in addition to this a base of faces domiciliar, with 48 images will be elaborated for system training. As a result of the evaluations under laboratory conditions they present an efficiency of over 90%, while when evaluated in real conditions, the algorithms show efficiencies ranging from 50 to 80% depending on the distances between the subject and the camera, as well as it also depends on the image quality that can be acquired with them. In this way, minimum requirements have been established for the implementation of a home surveillance system, in which favorable percentages of effectiveness will be obtained in these environments, proposing an innovation in the use of current technology in relation to video surveillance, It is recommended to carry out studies to improve techniques in facial detection and face recognition algorithms in real time.

Key words: < PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (PCA) >, < EIGENFACES >, < DISCRIMINATING LINEAR ANALYSIS (LDA) >, < FISHERFACES >, < DATABASE OF FACES >, < FACIAL RECOGNITION ALGORITHMS >, < PUBLIC-DATABASES >.

## CAPÍTULO I

### 1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas de identificación que emplean el uso de información relativa ya sea de una persona o un objeto, requiere de dos componentes principales, un elemento codificado con información relevante del sistema y otro elemento con la capacidad de reconocer la información, conceptos utilizados en sistemas biométricos como respuesta a la creciente demanda de sistemas de seguridad.

El reconocimiento de rostros fue el punto de partida de las investigaciones en la visión por computadora, conforme a evolucionado la tecnología en sus capacidades computacionales han permitido la implementación de algoritmos más complejos y eficientes al momento de clasificar un patrón en específico de la persona u objeto analizar.

El desarrollo del presente trabajo de titulación está orientado al estudio de técnicas y algoritmos del reconocimiento facial y la implementación de dos algoritmos que realizaran el reconocimiento de patrones faciales para la identificación de una persona que se encuentra registrada en una base de datos, para ello se utilizó un registro de bases de rostros públicas que contienen una variedad de imágenes que simulan condiciones reales para el procesamiento, estas bases son utilizadas por los investigadores para la mejora continua de técnicas y algoritmos, compartiendo sus resultados a la comunidad científica del todo el mundo.

Con esta investigación se pretende innovar los actuales sistemas de vigilancia que utilizan cámaras para controlar sus bienes, ya sea en negocios, domicilios, o en instituciones para control de personal, permitiendo un análisis de imágenes para el reconocimiento de personas, de los resultados obtenidos de ésta investigación se determinó las condiciones necesarias para la implementación de un sistema de identificación de personas, en cuanto a sus condiciones ambientales, resolución de cámaras, distancias favorables para el reconocimiento facial, para que los algoritmos tengan un eficiente desempeño en el reconocimiento.

## **1.1 Situación problemática.**

La tecnología de reconocimiento facial en los últimos años, ha tomado gran impulso por las aplicaciones y utilidades en los aspectos comercial y de seguridad, a pesar que, las primeras investigaciones se remontan a la década de 1960 y que medio siglo después al mejorar sus métodos matemáticos y disponer de recursos computacionales más sofisticados, es considerada ésta tecnología como elemento principal en sistemas de la biometría, utilizados por la policía, profesionales de seguridad y el gobierno.

Los retos del procesamiento de imágenes se basa fundamentalmente en la aplicación de sus algoritmos, donde la eficiencia y rapidez del reconocimiento facial queda comprometida por distintos factores como es, el trabajar con imágenes donde el giro del rostro tenga más de veinte grados respecto a la cámara, resolución de las imágenes que dependen de los dispositivos aplicados en la captura de las mismas, imágenes parciales o mal iluminadas o difusas, poses, expresiones faciales, movimiento y oclusión, ha derivado en muchas investigaciones para solventar estos problemas, creando algoritmos muy sofisticados y complejos en donde su efectividad depende de la aplicación final que se le dará al sistema ya sea en biometría o en análisis de imágenes en áreas de salud, ambiente, clima, astronómicas, etc.

Por ello, la inversión económica, tecnológica y humana es muy costosa, por lo que, el desarrollo y utilización del reconocimiento facial está ligada a compañías multinacionales y a sectores gubernamentales. A Estados Unidos se lo considera líder mundial en lo que respecta a la implementación de las últimas y modernas tecnologías de seguridad biométrica y vigilancia a través del Departamento Federal de Investigaciones (FBI) de sus siglas en inglés Federal Bureau of Investigation, con el sistema denominado Next Generation Identification (NGI), que alberga una base de datos de 51 millones de fotografías para su procesamiento e identificación de personas, ya sea de registros de antecedentes penales, documentos de identidad, candidatos de empleo en el sector privado y del gobierno, etc.

Empresas como MorphTrust ubicada en Massachusetts Billerica creó el software de reconocimiento facial con un contrato multimillonario que realiza exploraciones biométricas en 450 aeropuertos de Estados Unidos y en el departamento de Vehículos motorizados en 42 Estados.

Australia utiliza esta tecnología con su sistema denominado SmartGate, instalado en aeropuertos desde el 2007, agilizando el proceso de ingresos de pasajeros verificando al mismo tiempo, que el portador del documento sea el legítimo dueño del mismo, que se encuentra en las bases de datos registradas; El Reino Unido de igual manera implementó desde el 2008 un sistema de escaneo facial como alternativa de seguridad y agilidad en los ingresos a aduanas.

La empresa Facebook, igualmente invierte recursos en el desarrollo de algoritmos para identificar personas incluso cuando sus rostros están ocultas, este trabajo es supervisado por Yann LeCun jefe de inteligencia artificial en Facebook, estos expertos ya han probado sus algoritmos con cuarenta mil (40000) fotos publicadas en Flickr, en el que, el algoritmo identificó al 83% de las personas con exactitud (Computerworld, 2015).

En Ecuador, la implementación de tecnología para combatir la inseguridad tomó fuerza en el 2012, ya que gobierno impulsa tres grandes proyectos para reducir los delitos que es la video vigilancia a través del ECU-911, el Transporte Seguro y los botones de pánico o emergencia, lo que ha mejorado notablemente la atención y respuesta de los agentes ante el cometimiento de hechos delictivos, sin embargo no hay alternativa de seguridad y control para establecimientos comerciales privados, ocasionando, que los dueños de residencias, locales comerciales adquieran sistemas de seguridad como: cercas eléctricas, alarmas comunitarias, cámaras de vigilancia, como mecanismo de prevención ante el alto índice de delitos en la ciudadanía, donde al carecer de pruebas, quedan muchos autores de estos delitos, en la impunidad, ya que no se puede establecer la responsabilidad del mismo, ocasionando pérdidas irre recuperables para los dueños de casas comerciales, tiendas, casas, e instituciones donde la afluencia de personas es mucho mayor.

Actualmente en Ecuador no se dispone de un sistema de visión artificial, con la finalidad de extraer características o propiedades de imágenes; y, con ello poder verificar e identificar el rostro de una persona en determinado lugar. Por lo que se hace necesario disponer o crear sistemas de control, advertencia, o anuncios previos ante posibles delitos en perjuicio de la economía empresarial, personal y/o seguridad de las vidas humanas, haciéndose necesario e imprescindible, la creación de sistemas de alarma más efectivos por medio del procesamiento de imágenes para la identificación de personas autorizadas, las desconocidas o peligrosas en el entorno de control.

## **1.2 Formulación del problema.**

- Cómo el procesamiento de imágenes para la identificación de personas, mejora la seguridad en zonas domiciliarias de la ciudad de Riobamba

## **1.3 Sistematización del problema.**

Qué algoritmos de reconocimiento facial son utilizados en sistemas de seguridad por video vigilancia?  
Qué software computacional permite el procesamiento de imágenes para el desarrollo de sistemas de identificación de personas. ?

Cuáles son las características técnicas adecuadas de los dispositivos de captura de imágenes para la detección de rostros. ?

Cuál es el nivel de confianza del algoritmo en el reconocimiento de rostros bajo condiciones ambientales reales. ?

Que algoritmo de reconocimiento de rostros es más eficiente para aplicaciones de seguridad con visión artificial. ?

## **1.4 Justificación de la investigación.**

La presente investigación procuró identificar los algoritmos de procesamiento de imágenes para sistemas de reconocimiento de rostros en ambientes no controlados, ya que los mismos difieren de su precisión al modificar factores como variaciones de iluminación, variación de pose, expresión facial, oclusión, etc. Con esto se lograría obtener una alternativa de mejora a la seguridad en video vigilancia que disponen los domicilios, donde se avaluó el comportamiento del sistema para poder ser utilizados en centros comerciales, instituciones públicas y privadas.

El resultado obtenido es la identificación temprana de personas en un lugar determinado como medio de prevención ante posibles hechos delictivos, dependiendo de los requerimientos que se le dé a la identificación de rostros, se podrá utilizar en Bancos o instituciones donde la afluencia de personas es mayor y la protección de sus recursos económicos así lo requiere; y, el control de agentes de seguridad es mínima, debiendo disponer de una base de imágenes de los sospechosos de atracos a estas entidades a ser buscados y en residenciales donde se registrarían a las personas autorizadas a estar en el establecimiento caso contrario se almacenaría los rostros de las personas intrusas.

Para la seguridad en casas, residencias en la identificación de personas no deseadas, como una posible alternativa tecnológica pública usando las cámaras de seguridad de bancos, farmacias, gasolineras, instituciones públicas y privadas en cooperación para la identificación de: personas más buscadas, extraviadas, secuestradas, con orden de detención determinadas por las autoridades y contribuir en la prevención o anticipación a posibles delitos, y a tener una prueba fehaciente de la persona que presuntamente cometió el ilícito.

Este sistema de seguridad beneficiaría a los miembros de hogares, comerciales y a la ciudadanía en general, ya que, al disponer de un sistema de video vigilancia automática, podrá obtener un registro y alerta de las personas que acceden a sus propiedades, previniendo futuros ilícitos.

Por lo que, se hace necesario formalizar la investigación en el campo de la visión artificial y establecer el o los algoritmos de procesamiento de imágenes más adecuados para los ambientes de seguridad con video vigilancia, como una innovadora alternativa tecnológica en seguridad de domicilios en la ciudad de Riobamba, además que se deberá considerar recursos computacionales, tipos de cámaras y resoluciones de las mismas, proponiendo el inicio de futuras investigaciones para mejorar técnicas, optimización de recursos y aplicaciones finales de usuarios.

## **1.5 Objetivos de la investigación:**

### ***1.5.1 Objetivo General:***

Realizar el procesamiento de imágenes para la identificación de rostro de personas como sistema de seguridad en zonas domiciliarias de la ciudad de Riobamba

### ***1.5.2 Objetivos específicos:***

- Revisar el estado de arte de los algoritmos de reconocimiento facial e identificar los retos que enfrentan los mismos en el procesamiento de imágenes en ambientes no controlados.
- Implementar en un lenguaje de programación los algoritmos de reconocimiento facial para la detección e identificación de personas.
- Establecer los requerimientos mínimos de los dispositivos de captura de imágenes para la detección de rostros

- Determinar el algoritmo más favorable para aplicaciones de seguridad con video vigilancia, evaluando su efectividad con una base de datos de rostros pública.
- Realizar la base de datos de personas que el sistema va a detectar para el control de seguridad domiciliar.
- Proponer el sistema de visión artificial como mecanismo de control de seguridad y prevención ante el cometimiento de hechos delictivos.

## **1.6 Hipótesis**

### ***1.6.1 Hipótesis general:***

- La identificación facial mediante la aplicación del procesamiento de imágenes permite desarrollar un sistema de identificación de personas en un domicilio

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO REFERENCIAL (ESTADO DEL ARTE).

#### 2.1 Introducción.

El campo del reconocimiento facial es muy investigado actualmente por el mismo hecho que presenta muchos retos al momento de la identificación de las personas, factores como cambios de iluminación, pose, expresiones faciales, oclusión, presencia de componentes estructurales (lentes, barba, gorro, etc.), ruido al momento de adquirir las imágenes y la cantidad de rostros en una misma imagen dificulta notablemente en la efectividad y precisión de los mismos para reconocer a las personas, siendo cada vez más utilizados en sistemas de biometría en aeropuertos, centros comerciales, bancos y otras instituciones donde hay gran concentración de personas en un mismo lugar, al dotar de esta habilidad a un nivel computacional que procese esa información resulta una tarea complicada, el reconocimiento facial permite verificar la identidad de una persona como resultado de la comparación de la persona en escena y la base de datos de rostros conocidos (Zhao et al., 2003).

#### 2.2. Estado del Arte.

El reconocimiento facial dependiendo de la aplicación específica a realizar se encuentra dentro de dos esquemas: verificación e identificación (Tolba, El-baz y Harby, 2006). La verificación en el sistema de reconocimiento facial es un escenario de comparación 1:1, donde el rostro como imagen de entrada se compara directamente con el rostro de la base de datos previamente almacenada confirmando de esta manera la idoneidad de la identidad de la persona en cuestión. Por otro lado el esquema de Identificación es el reconocimiento de la identidad de una persona desconocida como información de entrada comparada con la base de datos de rostros, teniendo una comparación de 1: N, pudiendo operar bajo dos modalidades dependiendo del conjunto de datos a utilizar (Pandya, Rathod y Jadav, 2013)

- Identificación close-set.- operando este escenario sobre un conjunto de datos cerrado en la que el sistema devuelve como respuesta la imagen de la persona registrada en la base de datos o a su vez la más semejante a la imagen evaluada.
- Identificación open-set.- operando este escenario sobre un conjunto de datos abiertos obligando al sistema dar como resultado la identificación de la persona evaluada o la notificación que la imagen de la persona no se encuentra registrada en la base de datos, siendo más común este sistema a nivel comercial (Kawulok, 2016).

Entre las diferentes líneas de investigación enfocado a técnicas de mejora de detección de facial, se establece dos tareas fundamentales, extracción de la características y clasificación de la expresión facial, Ekman y Friesen (1978), clasifica a las emociones en seis emociones universales básicas como son: alegría, sorpresa, tristeza, miedo, disgusto y enojo; codificadas en un sistema de codificación de acciones faciales FACS por sus siglas en inglés, derivándose dos campos de estudio, como es la clasificación de expresiones de emociones faciales, y el segundo que es la detección automática de acciones faciales. En donde la robustez de los sistemas de reconocimiento dependerá del sistema de extracción de características faciales, desarrollándose sistemas de reconocimiento facial en tiempo real con técnicas híbridas que son los trabajos propuestos por (Braathen et al., 2001), (Littlewort et al., 2005), (Kappor, Qi y Picard, 2013), (Bartlett et al., 2016).

**Tabla 1-2.** Rendimiento de diferentes detectores de piel

<i>Método</i>	<i>Referencia</i>	<i>TP (True Positives)</i>	<i>FP (False Positives)</i>
Bayes SPM (Skin Probability Map) in RGB	[Brand et al. 2000]	93.4%	19.8%
Elliptical boundary model in CIE-xy	[Lee et al. 2002]	90.0%	20.9%
Single Gaussian in CbCr	[Lee et al. 2002]	90.0%	33.3%
Gaussian Mixture in IQ	[Lee et al. 2002]	90.0%	30.0%
Thresholdin of I axis in YIQ	[Brand et al. 2000]	94.7%	30.2%

**Fuente:** Machine Graphics & Vision International Journal, pp. 61-70 Vol. 14; 2005.

Otros estudios se han enfocado en la detección de píxeles de piel, para discriminar los elementos que deben ser analizados y solo enfocarse en el rostro o características de piel propias de las personas, como lo presenta (Zarit, Super y Quek, 1999), realizando una comparación de cinco espacios de color

y dos métodos no paramétricos de modelado de piel, métodos paramétricos, modelo gaussiano y mezcla de gaussianas (Brand, Mason, 2000). En la tabla anterior se presenta el resultado del rendimiento de los detectores de piel utilizados en las investigaciones antes mencionadas, (Vezhnevets, Sazonov y Andreeva, 2005).

### **2.3. Bases Teóricas del reconocimiento facial.**

El estado de arte para el procesamiento de imágenes en lo referente a la detección de rostros se extiende a una gran variedad de líneas de investigación por sus problemas y sus diversas aplicaciones, cada vez dando enfoques más técnicos para mejorar los resultados, Yang et al (2002), presenta los métodos más relevantes:

#### **2.3.1 Métodos del reconocimiento facial.**

##### **2.3.1.1 Métodos Holísticos.**

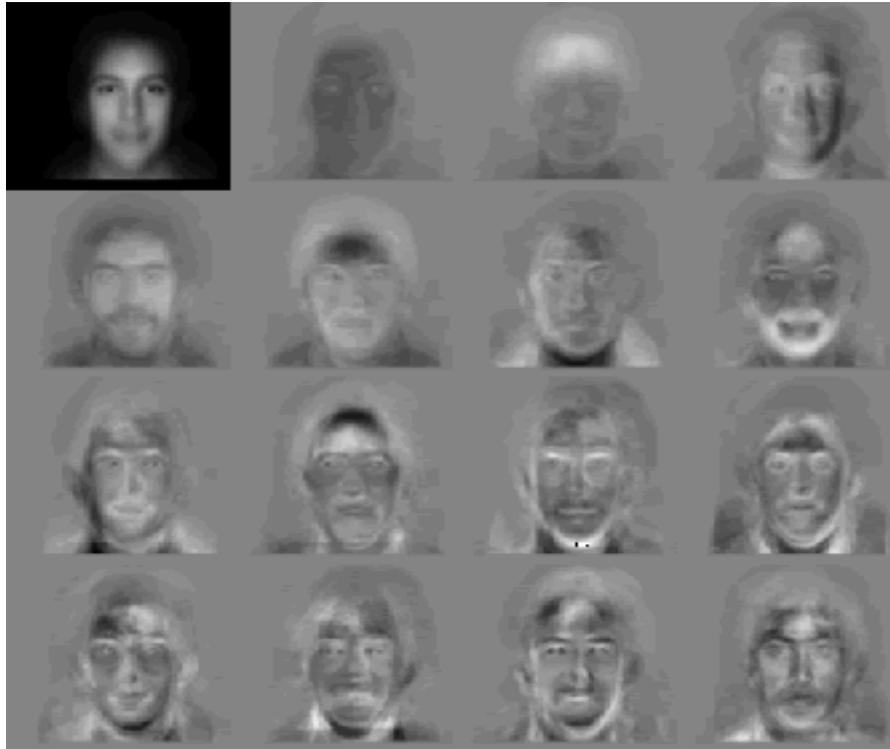
Técnica del reconocimiento facial que utiliza varias muestras de un mismo sujeto, donde el rostro será la imagen de entrada del sistema, mediante cálculos algebraicos de correlación modelan las características de la comparación. Teniendo presente que cada pixel es una característica el sistema debe compararlos a todos, se debe utilizar métodos que correlacionan las características entre sí, para reducir el espacio facial y que el procesamiento del algoritmo a aplicar sea en tiempo real, se detallan los más relevantes:

##### **2.3.1.1.1. Análisis de Componentes Principales (Principal Components Analysis, PCA)**

Técnica utilizada para reducir la dimensionalidad de un gran conjunto de datos, al intentar distinguir las causas de la variabilidad de los patrones, sobre todo en imágenes donde la calidad es baja, entonces PCA, es una técnica potente en la identificación de patrones en una relación de 1 a 1000, y comúnmente utilizada por Eigenfaces realizada por Sirovitch y Kirby, donde las imágenes deben ser normalizadas a un mismo tamaño, a más de tener una alineación uniforme entre los ojos y boca (Sirovitch, 1987), ver figura 1-2.

PCA es un método estadístico de análisis de datos y caracterización de los mismos que busca la proyección de la variabilidad de los datos según su importancia y se los representa en términos de mínimos cuadrados. Dentro de su análisis está el cálculo de los autovalores de la matriz de la

covarianza, por lo que en este proyecto será explicado en profundidad en el apartado implementación del algoritmo eigenfaces.



**Figura 1-2.** Eigenfaces estándar

**Fuente:** <http://www.biometria.gov.ar/metodos-biometricos/facial.aspx>.

#### 2.3.1.1.2. *Análisis de componentes Independientes (Independent Component Analysis, ICA)*

Es una generalización del método PCA, que busca de descomponer una señal en vectores generada de la base de un espacio, mediante una combinación de fuentes independientes, disminuyendo la dependencia estadística entre los vectores base, obteniendo una matriz de variables independientes y otra de observaciones, a diferencia de PCA que en su entrada tiene variables no correlacionadas, ICA adquiere una imagen en variables estadísticamente independientes.

Las imágenes que se obtienen de ICA contienen más información local que las obtenidas por el análisis de componentes principales, no obstante los recursos computacionales para el tiempo de entrenamiento es mucho mayor que PCA. (Díaz, 2004).

### 2.3.1.1.3. Análisis Lineal Discriminante (Linear Discriminant Analysis, LDA)

Este método es una técnica de aprendizaje supervisado de aproximación estadística para clasificar datos, en base de muestras de grupos desconocidos. Permite encontrar combinaciones lineales que minimizan la varianza entre características conocidas intra clases y maximizar entre clases desconocidas. El clasificador lineal LDA tiene como restricción matrices de dispersión no singulares, porque a veces la dimensión de la imagen es mayor que el número de imágenes en la base de rostros, teniendo el problema de matrices singulares.

Para obtener una proyección de patrones adecuado se debe entrenar al sistema con patrones etiquetados, donde la base de rostros para la etapa de entrenamiento está compuesto por un grupo de diferentes personas con diferentes expresiones faciales y con distintas vistas, se etiquetará como una clase al conjunto de imágenes de una misma persona, teniendo (n) número de personas a reconocer, separando el espacio de entrenamiento por grupos, en la figura 2-2 se aprecia ejemplos de clases distintas.

El desarrollo de este procedimiento se lo detalla en el apartado implementación del algoritmo fisherfaces, que junto al método eigenfaces PCA, se evaluarán su rendimiento bajo condiciones reales de reconocimiento de personas.



**Figura 2-2.** Ejemplo de 6 clases distintas usando LDA

**Fuente:** <http://www.biometria.gov.ar/metodos-biometricos/facial.aspx>.

#### *2.3.1.1.4. Métodos basados en Kernels*

Este método es una generalización de los tres métodos analizados anteriormente (PCA, ICA, LDA), presenta el problema de realizar una clasificación a un espacio de mayor dimensión, donde las clases sean linealmente separadas, por lo que se debe mapear los vectores de entrenamiento con una función no lineal (Jiménez, 2009).

#### *2.3.1.1.5. Support Vector Machine: SVM*

Método genérico para el reconocimiento de patrones de un determinado espacio que pertenecen a dos clases distintas, es un método discriminatorio y se lo debe combinar con otro método ejemplo eigenfaces PCA para extraer características propias de las imágenes, y de ahí se aplica el SVM, que encuentra el hiperplano que separa la mayor cantidad de puntos de la misma clase del mismo lado, obteniendo un hiperplano de decisión denominado OSH (Optimum Separating Hyperplane), al maximizar las distancias de cada clase. Los puntos más cercanos al hiperplano, de cada conjunto evaluado, son los llamados vectores de soporte (support vectors).

#### *2.3.1.2. Métodos locales o geométricos*

Estos métodos tienen como entrada del sistema de reconocimiento las características locales, como son ojos, nariz, boca, cejas, etc., desarrollando detectores de rostros muy robustos, entre las técnicas destacables se tiene:

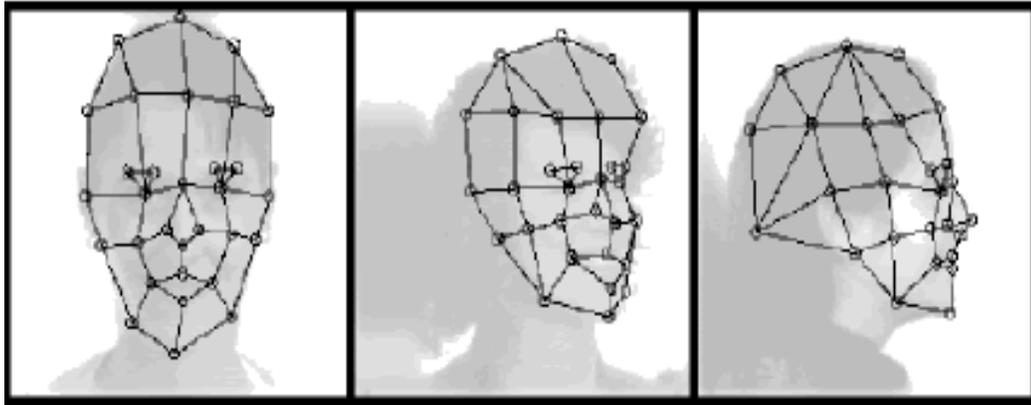
##### *2.3.1.2.1. Correspondencia entre Agrupaciones de Grafos Elásticos (Elastic Bunch Graph Matching, EBGM)*

Esta técnica se basa en características tales como variación de iluminación, posición y expresión de la persona, donde la representación de la cara toma la forma de grafos etiquetados. Los grafos están formados por vectores que mantienen información geométrica, y los nodos representan un conjunto de características locales. EBGM utiliza la transformación de Gabor, que vendría hacer un pre procesamiento de imágenes basado en fenómenos biológicos.

Se crea una plantilla que es proyectada al rostro de malla elástica el cual traza el comportamiento de la imagen alrededor de un pixel como se puede observar en la figura 3-2, se aplica la convolución

entre la imagen y el filtro gabor para detectar formas extraer las características de las imágenes (Pérez y Agudelo, 2012).

En este método se obtienen varias zonas distintas que identifican las semejanzas y las diferencias de las imágenes de entrenamiento, estas zonas se dividen en 6 regiones, agrupadas dos para cejas, dos para ojos, una para fosas nasales y la última para la región que bordea la boca.



**Figura 3-2.** Correspondencia entre agrupaciones de grafos elásticos.

Fuente: <http://www.biometria.gov.ar/metodos-biometricos/facial.aspx>.

#### 2.3.1.2.2. *Patrones binarios locales (Local Binary Pattern, LBP)*

Los patrones binarios locales es un descriptor de textura en imágenes, el algoritmo recorre la imagen etiquetando cada píxel, examinando cada pixel con el de su vecino mediante un umbral considera un numero binario (1 o 0), determinando si el valor de intensidad de un pixel es mayor o menor que el valor de intensidad de pixel a analizar, si el valor es mayor se asigna un (1), caso contrario se asigna un (0), LBP utiliza varios descriptores locales que se combinaran con uno global.

#### 2.3.1.2.3. *Modelo oculto de Markov (Hidden Markov Models, HMM)*

Modelo estadístico utilizado para modelar las propiedades estadísticas de una señal. En este modelo utiliza el proceso de Markov para determinar parámetros desconocidos a partir de parámetros observables, para el reconocimiento de formas temporales, como el reconocimiento del habla, escritura manual, en bioinformática (Maximiliano, Galván, 2009).

## 2.4. Fases del reconocimiento facial.

En un sistema de reconocimiento facial los algoritmos utilizados tienen dos fases principales diferenciadas, la fase de entrenamiento y la del reconocimiento en sí o test. En la fase de entrenamiento previamente se ingresan las imágenes de cada rostro a ser analizado por el algoritmo de entrenamiento, a esta base de datos pre configurada, se extraen las características de cada persona y se las almacena para su futura comparación.

La fase de test se adquiere imágenes de un sujeto desconocido para extraer sus características por el mismo algoritmo de entrenamiento y proceder a comparar con la base de datos preestablecida, este se lo hace de la siguiente de la siguiente manera:

- Adquisición de la imagen.- dependiendo del sistema empleado y su aplicación, pueden utilizarse imágenes fijas, fotogramas de vídeo, una imagen tridimensional, etc.
- Detección de cara.- con métodos paramétricos o no paramétricos.
- Procesado de la imagen.- Una vez determinada la posición de la cara, se extrae de la imagen, ya que el resto de la información es irrelevante y entorpece el sistema. También pueden ser necesarios otros procesos, como por ejemplo convertir la imagen a escala de grises, o utilizar un filtro paso bajo si la resolución de la imagen es muy alta.
- Extracción de las características: Se calculan los valores o coeficientes característicos de la imagen dependiendo de la técnica utilizada.
- Reconocimiento: Se comparan los datos extraídos con los de la base de datos para encontrar al sujeto con los valores más próximos.

Actualmente existen técnicas de reconocimiento facial 3D e incluso de análisis de la textura de la piel, pero estos niveles de sofisticación son costosos de implementar y computacionalmente más pesados, por lo que se hace más difícil su implementación para un uso más cotidiano. Bajo estos parámetros, los sistemas más aventajados son los denominados Eigenfaces y Fisherfaces.

## **2.5. Técnicas de reconocimiento facial.**

### **2.5.1. Eigenfaces.**

Técnica basada en una herramienta matemática llamada Análisis de Componentes Principales (PCA), útil para la comprensión de imágenes y para el desarrollo de sistemas de reconocimiento facial. Es la técnica básica para entender el funcionamiento de esta tecnología y además forma parte importante de técnicas más avanzadas. Está creada a partir de dos fases, una de entrenamiento y otra de clasificación. En la primera, y por medio del PCA, se forma un espacio de facciones, más conocido como eigenspace, a partir del uso de imágenes faciales de entrenamiento. El espacio de facciones es la matriz formada por una serie de vectores propios (eigenvectores o eigenfaces), que contienen la información de la variación de los valores de gris de cada pixel del conjunto de imágenes utilizadas al realizar el PCA.

Para generar un conjunto de eigenfaces, un gran conjunto de imágenes digitalizadas de rostros humanos, adoptadas en las mismas condiciones de iluminación, se normalizan a la línea de los ojos y la boca. Así se forma un conjunto de “imágenes normalizadas”, derivadas del análisis estadístico de muchas imágenes de caras. Cualquier rostro humano puede considerarse una combinación de estos estándares. Las imágenes utilizadas para realizar el PCA se proyectan en el espacio de facciones. La proyección caracteriza la imagen facial de un individuo como la suma de los diferentes pesos del espacio de imágenes.

Luego, en la fase de clasificación, una imagen facial desconocida es proyectada contra el espacio de facciones creado y, por medio de la distancia euclídea, se busca la imagen facial proyectada más parecida a la desconocida. Sin embargo, esta técnica, al estar basada en los valores de brillo de las imágenes, es muy sensible a variaciones en la iluminación, por lo que es importante que ésta sea controlada. Otra dificultad que presenta es que cuando se quieren añadir imágenes o sujetos que no fueron parte del entrenamiento original, hay que realizar de nuevo el PCA y volver a proyectar todas las imágenes (Turk, Pentla, 1991).

### **2.5.2. Fisherfaces.**

Esta técnica de reconocimiento facial cuenta con todas las ventajas que tiene Eigenfaces frente a otras técnicas disponibles, tales como la velocidad del sistema, la eficiencia y capacidad de operar en

muchas caras en muy poco tiempo. Eigenfaces para que funcione bien, es necesario que las imágenes sean frontales y en condiciones análogas a la iluminación, mientras que Fisherfaces es menos sensible a variaciones en la iluminación y a los ángulos de las caras en las imágenes.

Las Fisherfaces además buscan maximizar la varianza de las muestras entre clases (entre personas) y minimizarla entre muestras de la misma clase (de la misma persona). Con esto se logra obtener mejores resultados en caso de que haya variaciones de la iluminación y expresión respecto de las imágenes de entrenamiento. Para esto, se necesita tomar varias imágenes de cada sujeto en diferentes condiciones de iluminación y pose que sean representativas de las variaciones que se vayan a presentar en la aplicación real.

El sistema de reconocimiento facial desarrollado por este utiliza justamente esta técnica debido a su bajo costo computacional, la rapidez con que puede ser implementada y porque se trata de un algoritmo libre que cualquiera puede utilizar, lo que lo convierte en una herramienta de uso transversal para clientes de pequeñas, medianas y grandes empresas.

Esta tecnología comenzó a desarrollarse principalmente para desempeñarse como un software de seguridad en base a la necesidad de una empresa de seguros de contar con un sistema confiable de reconocimiento de personas al momento de cobrar un seguro de vida. Siendo capaz de realizar un reconocimiento facial y de micro expresiones, ya sea de fotografías, videos o de manera presencial. Esta solución es un aporte a la seguridad de las empresas, sus redes y sus inmuebles, ya que permite validar la identidad de una persona y de establecer claves de acceso en base a expresiones poco improbables de falsificar (levantar cejas, guiñar un ojo, por ejemplo), (Petlano, Moghooam y Starner, 1994).

## **2.6. Bases De Datos Públicas De Rostros.**

Con el avance de la tecnología referente a sistemas de biometría, como el de las huellas dactilares, aportaron con criterios de cómo se deberían evaluar estos sistemas y algoritmos, estos aspectos de evaluación procuran tener un conjunto de datos de prueba grande, similares a la realidad para obtener una evaluación adecuada de estos algoritmos, motivando a que varias organizaciones empezaran a formar sus bases de datos específicas para un sistema, permitiendo ser utilizadas para la comparación y evaluación de algoritmos en este caso de reconocimiento facial por cualquier investigador.

### **2.6.1. Beneficios de las bases de datos de rostros públicas.**

- Disponer de gran cantidad de imágenes de rostros por individuo para etapas de prueba, entrenamiento y evaluación.
- Bases de rostros con imágenes normalizadas, ahorrando tiempo y procesamiento en detección y alineación de las mismas, pudiendo aplicarlas directamente al algoritmo de reconocimiento facial.
- Presentan variaciones de los factores de precisión del reconocimiento facial, tales como: variación pose, expresión facial, iluminación, oclusión, para que el investigador se oriente a evaluar sus algoritmos en uno o más factores.
- Algunas bases de rostros disponen de una guía o protocolo de cómo se debería evaluar los sistemas, ejemplo es que conjunto de datos utilizar en etapas de entrenamiento o cuales usar para la etapa de prueba, garantizando la confiabilidad y veracidad de los resultados obtenidos en las pruebas.
- Adicionalmente algunas bases guardan registro de todas las evaluaciones y resultados obtenidos en las mismas, dicha información es pública para que el investigador revise el desempeño de reconocimiento facial sobre la base de rostros.

Todo esto ha contribuido a mejorar los algoritmos de reconocimiento facial, y direccionar nuevas investigaciones para resolver los problemas de la identificación de personas (Castaneda, Khoshgoftaar, 2015)

### **2.6.2. Ejemplos Bases de rostros públicas.**

#### **2.6.2.1. Bases de rostros Yale.**

Dispone de un conjunto de rostros de entrenamiento que contiene 165 imágenes en escala de grises, de 15 individuos con 11 imágenes por tema, una por cada expresión facial o configuración: luz central, con gafas, feliz, izquierda-luz, sin gafas, normal, luz derecha, triste, soñoliento, sorprendido y guiño (Yale University, 1997).



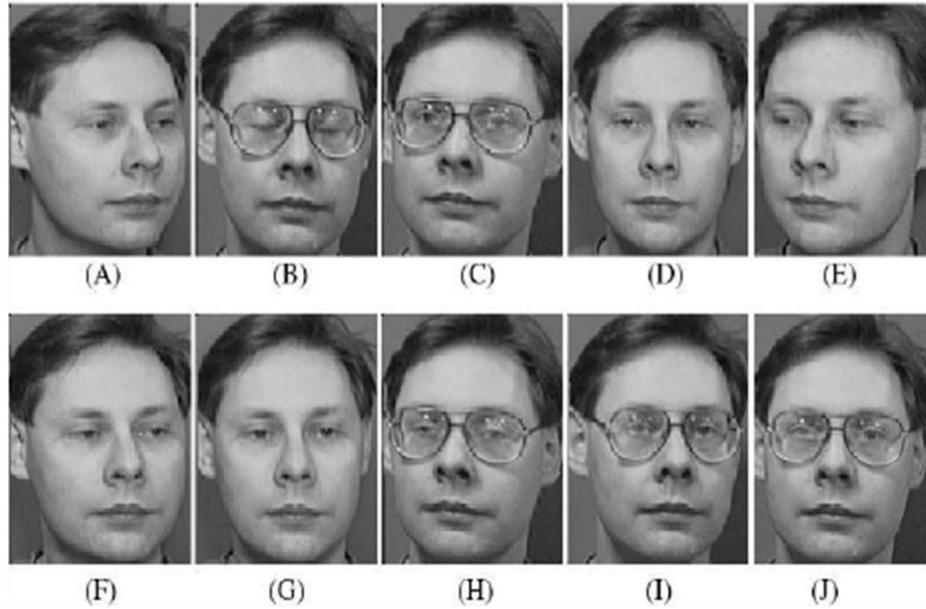
**Figura 4-2.** Base de rostros YALE, 11 expresiones por sujeto.

**Fuente:** <http://cvc.yale.edu/projects/yalefaces/yalefaces.html>

#### 2.6.2.2. Bases de rostros AT&T.

Otra base de datos de rostros y la que se utiliza para comprobar el algoritmo Eigenface y Fisherface mediante PCA y LDA respectivamente es la base de rostros ORL conocida como “The ORL Database of Faces”, base que fue utilizada en un proyecto de reconocimiento facial llevado a cabo en colaboración con el Grupo de Habla, Visión y Robótica del Departamento de Ingeniería de la Universidad de Cambridge, que dispone de diez imágenes diferentes de cada uno de 40 individuos distintos, con un total de 400 imágenes para comprobar el reconocimiento de personas, ampliando a más del doble el número de muestras a ser reconocidas por el algoritmo que en la base YALE.

Al igual que YALE, las imágenes se tomaron en diferentes momentos, variando la iluminación, las expresiones faciales (ojos abiertos / cerrados, sonriendo / no sonriendo) y los detalles faciales (gafas / sin gafas). Todas las imágenes se tomaron sobre un fondo oscuro y homogéneo con los sujetos en posición vertical y frontal (con tolerancia para algunos movimientos laterales). Como se puede observar en la siguiente figura, un sujeto con 10 expresiones diferentes (Wagner, 2012).



**Figura 5-2.** Base de rostros ORL, 10 expresiones por sujeto

Fuente: [http://www.bytefish.de/pdf/facerec\\_python.pdf](http://www.bytefish.de/pdf/facerec_python.pdf). [Accessed: 05-May-2017].

#### 2.6.2.3. Bases de rostros AR.

Base creada por el Centro de Visión por computador de Barcelona en 1998, la misma que dispone de imágenes frontales de rostros con diferentes expresiones en condiciones de iluminación y oclusión (Gross, 2005).

#### 2.6.2.4. Bases de rostros Cohn-Kanade AU-Coded Facial Expression.

Recolectada por Cohn-Kanade, para el análisis de rostros con diferentes expresiones faciales.

#### 2.6.2.5. Bases de rostros Cmu Pie.

Dispone de ejemplos sistemáticos de una gran cantidad de poses en condiciones de iluminación variantes en múltiples expresiones faciales creada por “The Carnegie Mellon University Pose, Illumination, and Expression database”.

#### *2.6.2.6. Bases de rostros Feret.*

The Facial Recognition Technology, es una base de datos que fue recolectada entre 1993 y 1996, por la Universidad George Mason y el laboratorio de investigación de la armada de los estados unidos como parte del programa de evaluación FERET (Castaneda, Khoshgoftaar, 2015).

#### *2.6.2.7. Bases de rostros Vadana*

Vims Appearance Dataset for Facial Análisis, dispone de imágenes de alta calidad para el análisis de variación de edad en reconocimiento facial.

#### *2.6.2.8. Bases de rostro Labeled Faces in the Wild (LFW).*

Base de imágenes de rostros en ambientes sin restricciones, liberada en el 2007, tomadas de revistas que representan a personas con una amplia gama de configuraciones de expresiones poses, e iluminación.

#### *2.6.2.9. Bases de rostros Surveillance Cameras Face.*

Recolecta un conjunto de imágenes en ambientes exteriores no controlados usando cinco (5) cámaras de diferentes resoluciones.

### ***2.6.3. Clasificación de las bases de datos de rostros públicas.***

Como se describe anteriormente existe una gran variedad de bases de datos públicas y dependiendo de las prestaciones que ellas proveen al evaluar un sistema con los principales desafíos del reconocimiento facial, se las clasifica de la siguiente manera:

- Base de datos a evaluar la variación de iluminación.
- Base de datos a evaluar la variación de pose.
- Base de datos a evaluar la variación de expresión.
- Base de datos a evaluar la paso del tiempo.

La bases de datos utilizadas en el proyecto propuesto son la Yale y AT&T, las mismas que tienen buenas prestaciones para evaluar algoritmos con diferentes expresiones e iluminación, además de ser públicas y de fácil acceso, presentan buenas tasas de reconocimiento alrededor del ochenta (80) a noventa (90) por ciento.

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

#### 3.1 Tipo y diseño de investigación.

Para el diseño de la investigación se estableció que es del *tipo cuasi-experimental*, se tiene como punto de partida la verificación del estado de arte de los sistemas de reconocimiento facial del tipo open-set en un conjunto de datos abiertos para la identificación de personas (Gottumukkal, Asari, 2003).

Se implementó algoritmos con métodos basados en apariencia como es el análisis de componentes Principales (PCA), que se compone de dos fases, una de entrenamiento y la de clasificación, técnica que se conoce como Eigenface, se diseñó una aplicación que permite el manejo de imágenes digitales para la detección e identificación de personas.

La investigación desarrollada es del *tipo aplicativo* ya que a partir de conocimientos estudiados de las investigaciones desarrolladas en el área del reconocimiento facial y sus derivados, se desarrolló un sistema de identificación de personas en un domicilio, mejorando e innovando los sistemas de seguridad por video vigilancia de la localidad.

Además es *Cuasi-experimental* ya que la evaluación de la efectividad para la detección de los rostros, se utilizó una base de datos previamente registrada como es la base de datos publica de AT&T que contiene 400 imágenes, correspondientes a 40 sujetos en diferentes condiciones como son variación de iluminación, oclusión parcial (lentes), expresiones faciales (Yale, 1997).

### **3.2. Métodos de investigación.**

En la investigación se utilizó el *Método Sistémico o Analítico* ya que se parte de la comprensión de los factores que inciden en la realidad del objeto de estudio (detección facial), para establecer las condiciones necesarias para el reconocimiento e identificaciones personas.

### **3.3. Enfoque de la investigación.**

El enfoque de la investigación corresponde a un *enfoque cuantitativo* que determinó la eficiencia de la detección de rostros del algoritmo PCA, dicha medición de su precisión fue mediante el uso de operaciones matemáticas de mínimas distancias entre imágenes de rostros de la base y la entrada al sistema para su identificación, en el que se determinó el porcentaje de aciertos en el reconocimiento facial.

Como se tiene una investigación cuasi- experimental, se dividió en dos grupos de interés de análisis, el primero se evaluará el algoritmo implementado sobre una base de datos pública de rostros de AT&T. La segunda sobre una pequeña base de datos propia creada por el investigador, para validar el comportamiento del sistema en un entorno real de vigilancia.

### **3.5. Alcance de la investigación.**

La presente investigación fue analizada y evaluada en un domicilio, donde las condiciones de iluminación fueron diurnas y las distancias entre el sujeto y la cámara a detectar estuvieron en el orden de unos pocos metros, se aplicaron los algoritmos desarrollados sobre una base de datos de imágenes previamente establecidas, por lo que no se trató al sistema como un sistema en tiempo real.

Los estudios en tiempo real se los considerará como futuro trabajo de investigación, por sus retos en el procesamiento de la información y costo computacional, sin embargo la aplicación del sistema puede ser empleado para el reconocimiento de personas en oficinas como parte de un control de personal, detección de rostros en un sistema de base de datos de empresas como sistema biométrico, etc.

### **3.6. Población de estudio.**

Como población de estudio para el sistema de seguridad domiciliar, se ha considerado las imágenes de cualquier individuo o persona que vaya a interactuar en el sistema de reconocimiento e identificación de personas, que, a través el dispositivo captador de imágenes, se obtenga la información necesaria de las características faciales, para la etapa de extracción y de entrenamiento en la detección de rostro de una persona.

### **3.7. Unidad de análisis.**

En el proyecto el objeto de estudio fue la detección de rostros e identificación de la persona sobre un sistema de reconocimiento de datos abiertos “open-set”, escenario en el cual el sistema da como resultado la identificación de la persona evaluada si existe el individuo en la base de datos caso contrario se emitió una notificación que la imagen de la persona no se encuentra registrada y se la catalogó como un posible intruso

### **3.8. Selección de la muestra.**

Para la selección de la muestra se verificó el estado de arte sobre procesamiento de imágenes, por lo que se decide utilizar la Base de datos pública. Decisión tomada basándose en los siguientes criterios:

- Como la detección de rostros será en un entorno real de video vigilancia, se debe tener múltiples imágenes por sujeto ya sea en posición neutral, vista frontal, sin expresión facial y sin oclusión; las otras imágenes en diferentes categorías relacionadas a los desafíos del reconocimiento facial descritos anteriormente como son la variación de iluminación, pose, expresión facial, oclusión parcial.
- La base de datos deberá proveer imágenes de rostros pre-procesadas (alineados, recortados) imágenes listas para ser utilizadas en el reconocimiento y minimizar las actividades que forman parte del pre procesamiento de imágenes.
- La base de datos Yale es libre para fines de investigación, por lo que es una base de datos acreditada y validada por trabajos de investigadores en el reconocimiento de rostros (Belhumeur et al., 1997).

### **3.8.1. *Tamaño de la muestra.***

Como la investigación es cuasi experimental queda criterio del investigador en base a la literatura de otras investigaciones la cantidad de imágenes a utilizar en su diseño del sistema de identificación de personas, partiendo de evaluaciones previas como el de la base de datos Yale y del comportamiento del sistema en entorno real de vigilancia.

### **3.8.2. *Técnicas e Instrumentos para procesar datos.***

Para el procesamiento de la información se utilizó un software que disponga de las características de manipulación de imágenes para la detección e identificación de personas como es Matlab que permite la manipulación de matrices, implementación de algoritmos con interfaces de usuario (GUI) con gran robustez computacional en el tratamiento de información.

Mediante sus librerías o desarrollo de funciones matemáticas se pudo evaluar el comportamiento de los algoritmos de detección e identificación de personas, con el porcentaje de aciertos en el reconocimiento facial de la base de datos previamente establecida y almacenada.

## **3.9. Diseño del Sistema de Identificación Facial**

En el presente trabajo se estableció los requerimientos iniciales para el desarrollo del sistema de identificación de personas mediante el procesamiento de imágenes, se determinó como técnicas a utilizar y evaluar los algoritmos Eigenfaces y Fisherfaces por sus capacidades de reconocimiento bajo condiciones de iluminación determinadas y que aprovecha imágenes de baja resolución, a más de que su costo computacional es inferior a otro algoritmos más elaborados como se menciona en el estado de arte en el capítulo anterior.

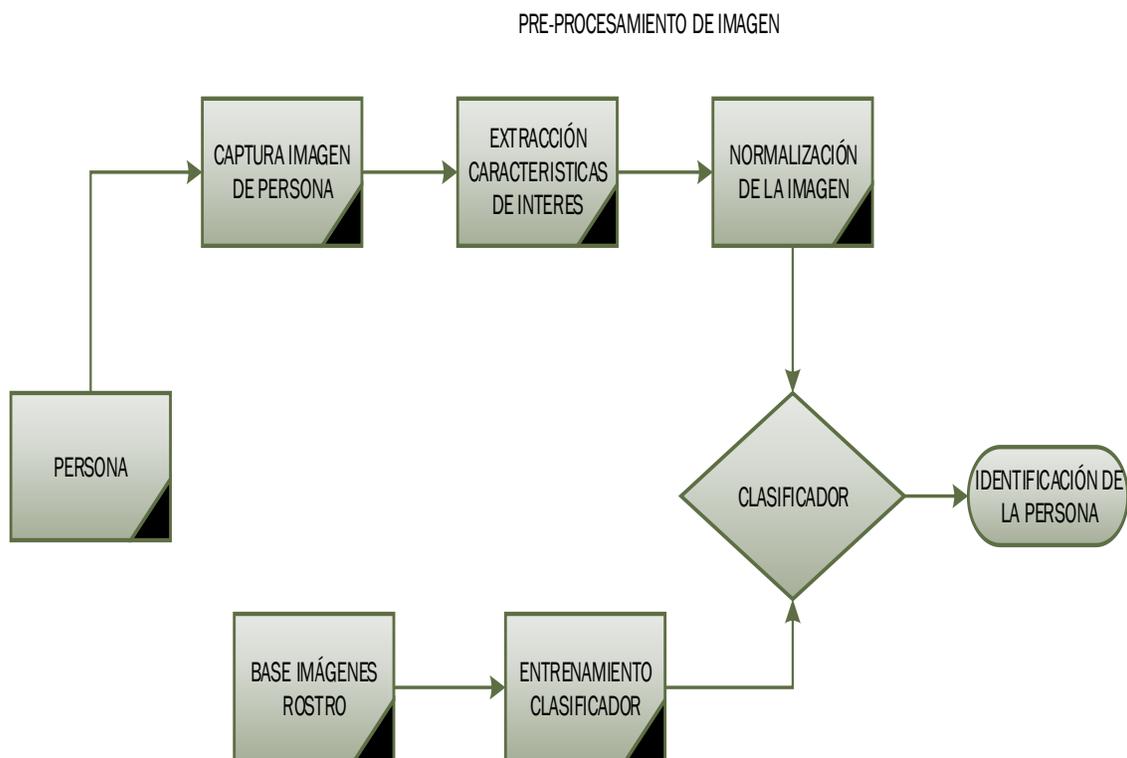
Las características del hardware utilizadas para el desarrollo del software del sistema fueron:

- Sistema operativo: Windows 8 de 64bits
- Procesador: Intel(R), Core(TM) i7-353 CPU @ 2.00Ghz (4 CPUs)
- Memoria:8192 MB RAM
- Cámara web 1.3 MP

En el Anexo A se detalla las características computacionales en el que se desarrolló el sistema, el software utilizado en la implementación de los algoritmos para su evaluación y verificación del funcionamiento es Matlab R2015a, así como también el entorno gráfico Guide (GUI) para la propuesta final de usuario.

### 3.9.1. Esquema general del sistema de reconocimiento.

De manera general se presenta el diagrama de funcionamiento del sistema de reconocimiento facial, en el que se captura y almacena la imagen de una persona, a través de procesos como el de violaciones se obtiene el rostro de la persona que es el área de interés para el reconocimiento, se realiza la normalización de la imagen (test) en donde un clasificador compara la imagen entrada del sistema con todas las imágenes de la base de rostros previamente almacenadas, el clasificador dependiendo de la metodología y algoritmos utilizados discrimina la imagen test con la base de rostros y determina con qué imagen tiene mayor semejanza a las imágenes de entrenamiento. Como se aprecia en la figura 1-3.



**Figura 1-3** Diagrama general del sistema de reconocimiento facial.

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

### 3.9.2. Implementación del sistema

Para la implementación del sistema de reconocimiento facial se utilizó el software Matlab, los algoritmos seleccionados para el reconocimiento facial fueron eigenfaces y fisherface, por su simplicidad al tratar los datos, y su complejidad computacional es mínima respecto a otros como se describe en el estado del arte anteriormente.

Independientemente de la metodología utilizada se requiere de dos conjuntos de datos, el primero que se utiliza es en la etapa de aprendizaje o etapa de entrenamiento, donde los patrones de información que integran a este conjunto sean lo más diferentes entre sí, y que se enfoquen en el área de interés al problema en este caso rostros, y con ello obtener un alto porcentaje de generalización de la imagen. En la figura 2-3 se aprecia un esquema general del procesamiento de las imágenes para el sistema de reconocimiento facial.



**Figura 2-3.** Esquema general del procesamiento de imagen

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

El segundo conjunto de patrones de datos se lo utiliza en el reconocimiento o etapa de prueba, en donde, las técnicas de reconocimiento de rostros comprende algunas de las siguientes fases.

#### 3.9.2.1. Adquisición de la imagen.

En esta etapa se puede utilizar videocámaras, cámaras digitales, escáner de fotografías entre otras. Para el sistema aplicamos la librería “Imaqhwinfo” que obtiene la información de los adaptadores de adquisición de imágenes que dispone el sistema en el que se implementará el algoritmo, por lo que se debe instalar los controladores de la cámara “InstalledAdaptors”, con el propósito de enviar la información entre el Matlab y un dispositivo de adquisición de imágenes presente en el sistema.

La función `Imaqhwinfo` en Matlab presenta la siguiente información:

`InstalledAdaptors: {'dcam' 'winvideo'}`

`MATLABVersion: '8.5 (R2015a)'`

`ToolboxName: 'Image Acquisition Toolbox'`

`ToolboxVersion: '4.9 (R2015a)'`

Los adaptadores cargados y disponibles son `dcam` y `'winvideo'`, en este caso se utilizó `winvideo` para acceder a los recursos de la cámara incorporadas al sistema.

Consideraciones necesarias al momento de adquirir las imágenes:

**Resolución:** Actualmente existen video cámaras, cámaras digitales de gama alta (alta definición y calidad de imágenes), por lo que se debe tener en consideración que resolución de imágenes serán las más adecuadas para trabajar en el proceso de reconocimiento, ya que si adquieren imágenes de baja resolución se puede distorsionar y suprimir información importante para el reconocimiento de personas.

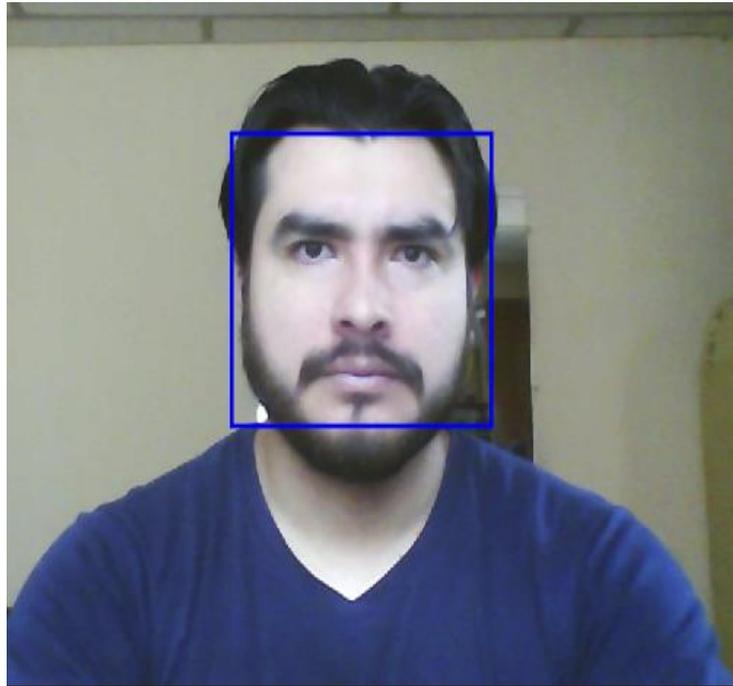
**Formato:** Se dispone de diferentes formatos con los que se pueden almacenar las imágenes y cada uno de ellos con su extensión específica, uno es el formato `JPG` que tiene como característica comprimir a la imagen, eliminando información u objetos de ella, a diferencia de los formatos `TIF` y `PGN` que no comprime a la imagen, teniendo información original y sin variación de la misma. Las extensiones más utilizadas según Ordoñez (2005) son `BMP`, `JPG`, `GIF`, `TIF`, `PNG`

### 3.9.2.2. *Pre-procesamiento de la imagen.*

Debido a que la captura de la imagen de rostros son adquiridas en instantes diferentes, se obtienen imágenes de una misma persona con variaciones de iluminación, orientación, por lo que se las debe pre procesar antes de las etapas de entrenamiento, extrayendo la imagen del rostro de una imagen más grande con información relevante para el reconocimiento.

Se realizó la normalización del tamaño de las imágenes para que todas tengan similar tamaño `112x92` pixeles, y por ultimo de ser el caso aplicar algún método de filtrado para mejorar la calidad de la misma [Correa, 1900].

Como el tamaño de información de una imagen a color es muy elevada dimensionalmente por lo que se convierte la misma a escala de grises para que el procesamiento de los datos sea lo más conveniente computacionalmente utilizando la función “rgb2gray”. En la figura 3-3 se adquiere la imagen de la cámara disponiendo de mucha información no relevante al problema de reconocimiento facial.



**Figura 3-3.** Imagen capturada con información no relevante al procesamiento.

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

### 3.9.2.3. *Extracción de características.*

Etapa importante para el correcto desempeño del sistema de reconocimiento de rostros, el objetivo de esta etapa consistió en la extracción de las características básicas de un rostro tales como: nariz, ojos, boca, cejas y la relación que tienen entre ellos como es la distancia entre cada uno de estos componentes, obteniendo de esta manera información muy discriminante de un rostro, se utiliza el algoritmo de Viola&Jones basado en características Haar indicado por el soporte Mathworks.

En el siguiente diagrama de flujo indica la adquisición de la imagen de la cámara a través de Matlab para proceder con la normalización de la imagen del área de interés en este caso el rostro figura 5-3,

y almacenamiento de la misma, para posteriormente utilizarla en la etapa del clasificador por medio de los algoritmos Eigenfaces y Fisherface determinar la identidad de la persona.

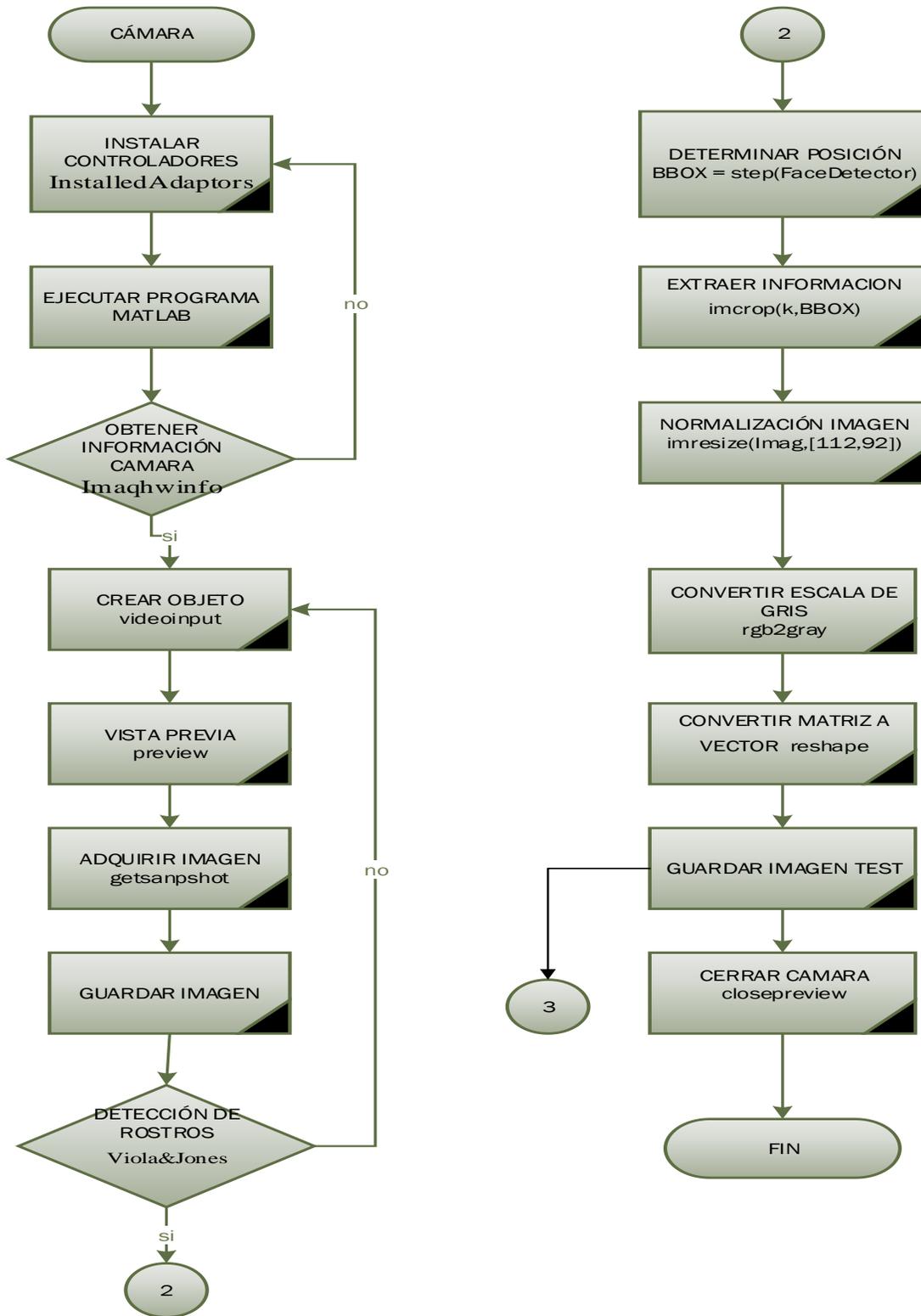
En Matlab se utilizó la librería `faceDetector = vision.CascadeObjectDetector()`, la misma que realiza un barrido a toda la imagen para encontrar rasgos de rostros de personas que intervienen en la imagen, y con la función `BBOX = step(faceDetector,imagen)` se encuentra la posición del rostro que será la zona de interés para el reconocimiento de personas. En la figura 4-3 se extrae la información pertinente del rostro y se lo estandariza a una resolución de 112x92 pixeles con la función `“imresize(imagen,[112,92])”`.

Estas imágenes normalizadas formarán parte del sistema de entrenamiento, que utilizaron los algoritmos para la clasificación de características principales, determinar la mínima distancia entre imagen de entrada y las de la bases de datos y con ello se establece la identificación de la persona.



**Figura 4-3.** Extracción y normalización del área de interés de la imagen capturada

**Fuente:** GRANJA, Damián, 2018



**Figura 5-3.** Diagrama de flujo adquisición imagen test al reconocimiento facial

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

#### *3.9.2.4. Entrenamiento clasificador.*

En esta etapa permite al sistema de alguna manera aprender o disponer de los patrones de interés que el clasificador requiere para resolver la semejanza entre personas, para ello se dispone de la base de rostros de diferentes personas con diferentes poses o expresiones y dependiendo del algoritmo utilizado se discriminan las diferencias entre una imagen de prueba test con las de la etapa de entrenamiento, por ejemplo en Eigenfaces y Fisherface se redimensionan las imágenes y se obtienen los vectores característicos principales de cada persona y con métodos matemáticos como el de distancias euclidianas permite clasificar la distancia que existe entre dos puntos del objeto de interés en dos instantes sucesivos para discernir cual es la identidad de la persona.

#### *3.9.3. Implementación del Algoritmo Eigenfaces*

Como se describe en capítulo anterior el algoritmo Eigenfaces es una técnica que permite determinar, mediante la ortogonalidad dimensional, qué vectores ofrecen más información a un conjunto de datos de dimensión  $N$ . No obstante, la información  $N$ -dimensional obtenida con Eigenfaces contiene datos redundantes que solo ocasionan que un sistema de clasificación tenga un alto costo computacional.

Para minimizar esto, se aplica análisis de componentes principales (PCA) (Gottumukkal, Asari, 2003), el cual toma una cantidad menor de los vectores entregados por las imágenes de la base de datos pero con información necesaria para la reconstrucción de los rostros de las imágenes ingresadas. Gracias a esto, se logró disminuir el costo computacional del procesamiento de datos.

##### *3.9.3.1. Pasos para el desarrollo del Algoritmo Eigenfaces-Pca.*

- Primero se debe tomar en cuenta que las imágenes de entrenamiento deben mantener un estándar o norma, es decir todas las fotografías deben ser tomadas bajo las mismas condiciones de luminosidad, los rostros deben estar alineados es decir que las bocas y ojos deben estar alineadas en todas las imágenes. En segundo lugar deben mantener todas las imágenes la misma resolución ( $r \times c$ ), para el presente proyecto todas las imágenes tienen una resolución de  $(112 \times 92)$ .
- Toda fotografía de cada individuo se la representará como un vector de  $(r \times c)$  elementos tras concatenar las filas de píxeles, como resultado se obtendrá un conjunto de entrenamiento

almacenado en una matriz única  $v$  ( $10304 \times \#personas$ ), en el que cada columna representa un rostro de una persona.

- Se debe calcular la imagen media  $M$  para luego restarla de cada foto original en  $V$ .

$$M = \frac{1}{d} * (im_1 + im_2 + \dots + im_d) \quad (1)$$

Se utiliza la función `mean` para obtener la media de todas las imágenes, en el siguiente extracto de código realizamos la operación.

```
M=uint8(mean(v,2)).
```

```
vzm=v-uint8(single(M)*single(O)).
```

- Se procede a determinar los autovectores y autovalores de la matriz de covarianza  $L$  (distribución de probabilidad a lo largo del espacio vectorial dimensional de un rostro). Generando cada autovector/autorrostro con el mismo tamaño de las imágenes originales, prácticamente representan direcciones en las que cada imagen test o de prueba difieren de la media, se describe a continuación parte del código utilizado.

```
L=single(vzm)'*single(vzm);
```

```
[V,D]=eig(L);
```

```
V=single(vzm)*V;
```

```
V=V(:,end:-1:end-(N-1))
```

- Seleccionar de los auto vectores solo las componentes principales, para ello se invierten los auto valores y se reorganiza los auto vectores según éstos. Las  $K$  componentes principales se calcula estableciendo un valor umbral  $\epsilon$  en la varianza total.

### 3.9.3.2. *Análisis de Componentes Principales (PCA).*

Es un método estadístico que se lo aplica a un conjunto de datos de similar característica, con la finalidad de resaltar sus variaciones e identificar patrones fuertes, permitiendo visualizar datos de manera más fácil para comprender su naturaleza, a la representada en su forma original.

Lo que propone el análisis PCA es al tener datos de dos dimensiones y se requiere determinar cómo varían los puntos de sus datos, se debería hallar otro sistema de coordenadas donde las variaciones se

observan con mayor claridad, al mapear los puntos originales al nuevo sistema, éstos obtendrán otro valor, obteniendo nuevos ejes de coordenadas que simplemente enfatiza las variaciones. Las componentes principales se las escoge en las direcciones en donde las muestras de los puntos de información varían con mayor intensidad.

- Calcular los auto vectores más significativos, para ello se utilizó la función en matlab  $[V,D]=\text{eig}(L)$ , la misma dará como resultado dos matrices de autovectores/autovalores, con los datos de las componentes principales.
- Restar la imagen media  $M$  de la imagen test de entrada y se calcula el peso de cada autorrostro  $Eig_i$ .

Para  $i=1:k$

$$w_i = Eig_i^v * (In - M) \quad (2)$$

- Guardar todos los pesos calculados anteriormente y formar un vector  $Z$ , que refleja las variaciones de cada auto-rostro en la imagen de entrada, proyectando de esta manera la imagen test sobre el espacio-rostro

$$Z = [Z_1 \dots Z_i \dots Z_K] \quad (3)$$

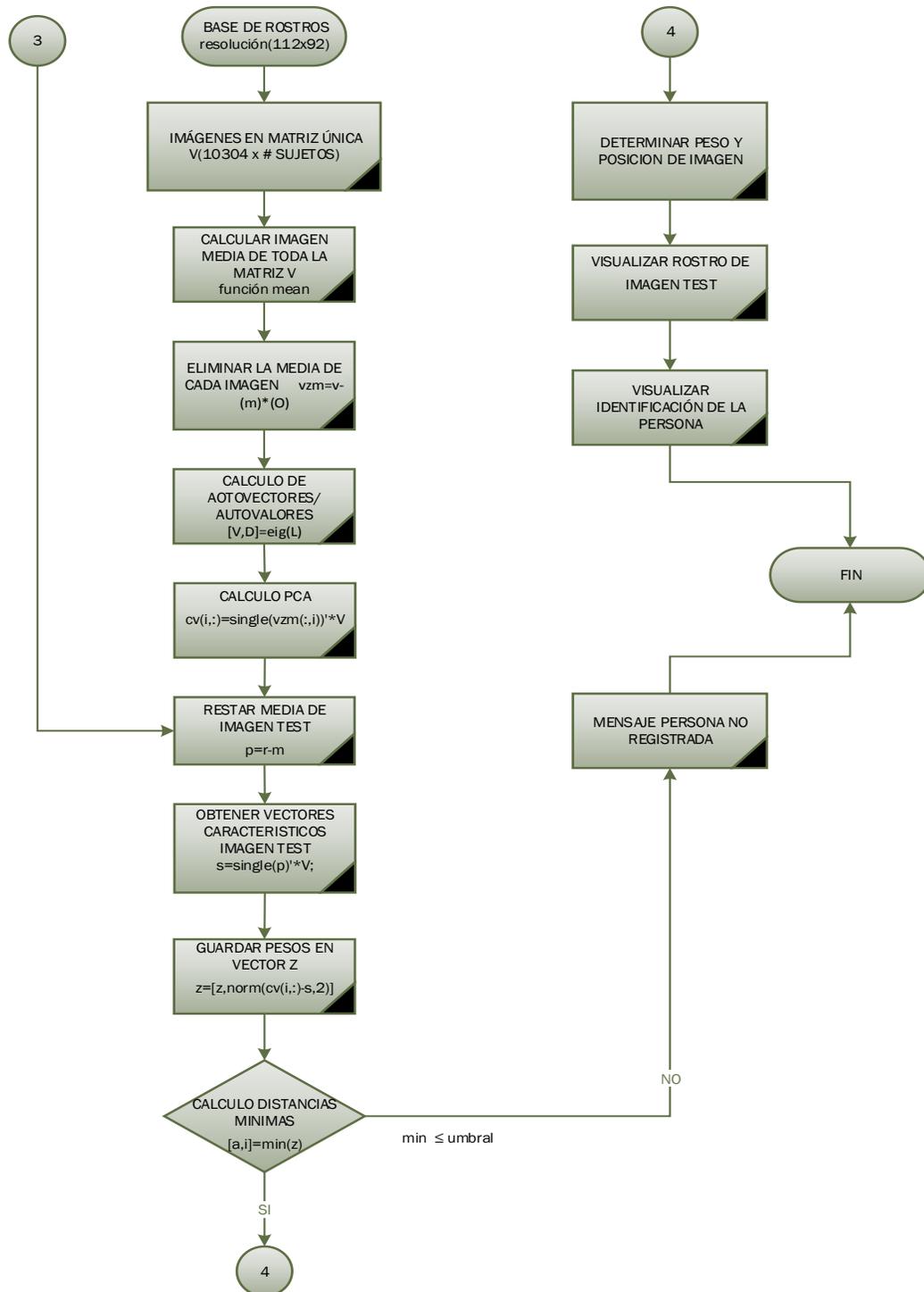
- Calcular las distancias entre la imagen de prueba con cada imagen de la base de rostros establecida en la fase de entrenamiento.

Para  $j=1:d$

$$Dis_j = \|Z - Z_j\|^2 \quad (4)$$

- Se elige la distancia mínima, para determinar si la imagen de entrada test es conocida, dependiendo del umbral  $t$ , si la distancia mínima es menor al umbral, se obtiene una coincidencia en la base de datos por lo tanto se identifica a la persona, caso contrario se decide que la imagen de entrada es desconocida para el sistema (Andreea, 2016).

En la figura 6-3 se presenta el diagrama de flujo del algoritmo Eigenfaces con PCA, utilizado en la implementación del sistema de identificación de personas.



**Figura 6-3.** Diagrama de Flujo Algoritmo Eigenfaces PCA

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

### 3.9.4. Implementación del Algoritmo Fisherfaces.

Fisherfaces es una técnica de reconocimiento de rostros, en donde una expresión facial observada desde un mismo punto de vista a diferentes direcciones de luz, pueden parecer dramáticamente diferentes, éste algoritmo se encarga de clasificar y reducir las dimensiones de los rostros con el método FLD (Discriminant Lineal Fisher), que proyecta los datos en una nueva dispersión óptima para la clasificación de patrones de rostros, a diferencia de PCA que busca los mejores vectores característicos que describen a los datos, por lo que se realiza una nueva técnica LDA (Discriminant Lineal Analysis), que identifica y encuentra los vectores que proporcionan la mejor discriminación entre clases después de la proyección. (Martínez, Kak, 2001).

Este algoritmo realiza un LDA, se vale de la información de las clases (rostro perteneciente a un individuo), imágenes de la etapa de entrenamiento del sistema, para buscar una proyección que maximice la separación de las diferencias entre clases, y minimice la distancia de las imágenes de una misma clase, de tal manera que se obtiene un ordenamiento y clasificación para mejorar el reconocimiento de personas (Belhumeur, Hespanha, y Kriegman, 1997).

#### 3.9.4.1. Pasos a seguir para el desarrollo del Algoritmo Fisherfaces-Lda.

- Al igual que el algoritmo Eigenfaces se debe disponer de una base de rostros previamente almacenada y normalizada.
- Encontrar la media de las imágenes, y sus vectores característicos al igual que el algoritmo descrito anteriormente.
- Después se debe definir la matriz de varianza entre clases (imágenes de personas distintas), a la que denominaremos como  $S_B$ ; y la varianza dentro de la misma clase (imágenes de una misma persona), se denominará como  $S_W$ . Donde  $u_i$  corresponde a la imagen promedio de la clase  $X_i$ ,  $|X_i|$  al número de puntos dentro de la clase  $X_i$  y  $u$  es promedio de todas las clases.

$$S_B = \sum_{i=1}^c |X_i| (u_i - u)(u_i - u)^2 \quad (5)$$

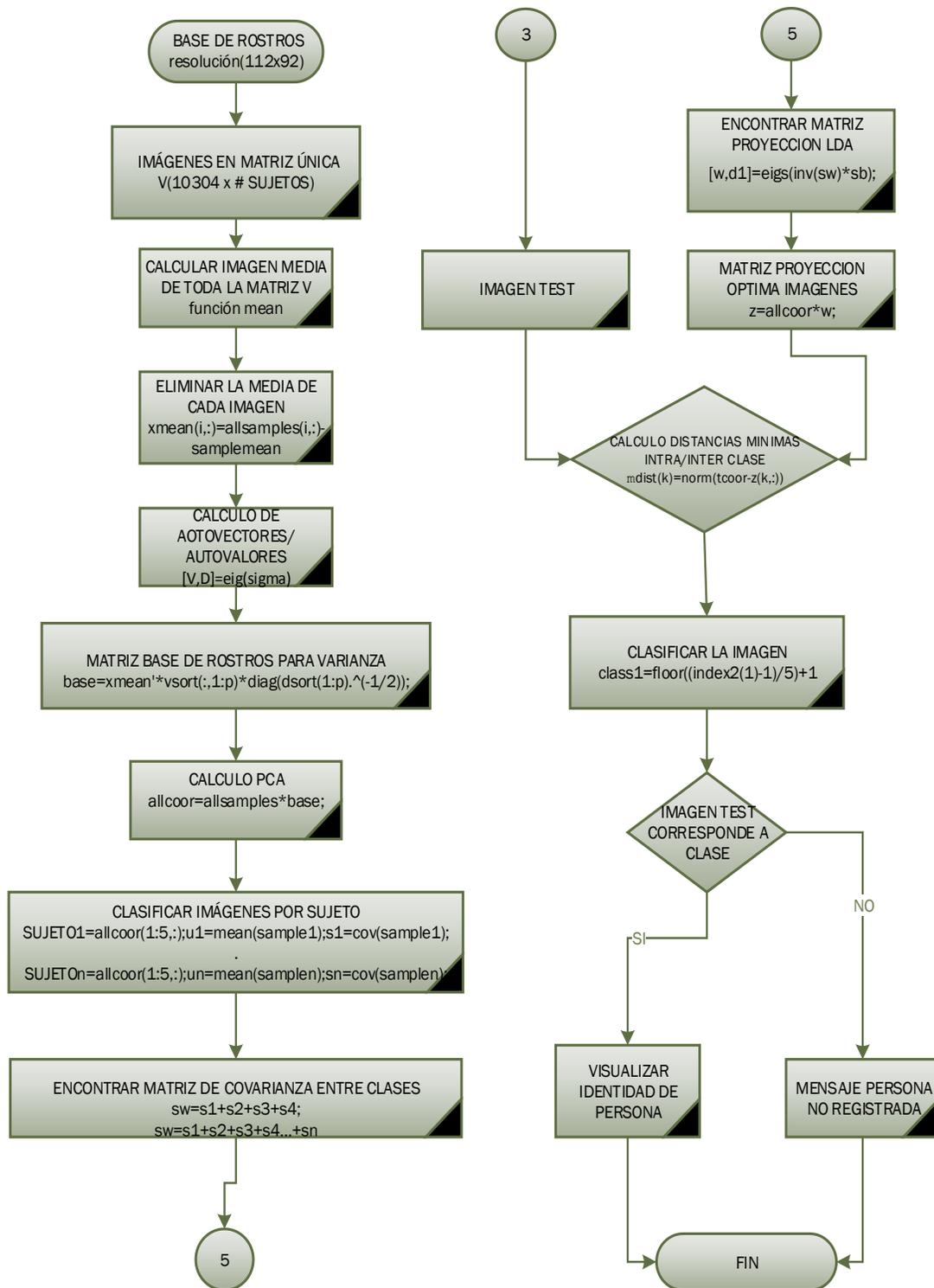
$$S_W = \sum_{i=1}^c \sum_{X_k \in X_i} (X_k - u_i)(X_k - u_i)^T \quad (6)$$

- Encontrar la matriz de proyección de forma similar a PCA, en la que se tendrá la matriz  $W \in R^{(m \times n)}$ . Para optimizar la información se deberá minimizar  $S_W$  y maximizar  $S_B$  de las ecuaciones anteriores, se encontrará una nueva matriz con vectores propios de  $S_W S_B^{-1}$ .

$$W_{opt} = arg_W max \left| \frac{W^T S_B W}{W^T S_W W} \right| \quad (7)$$

- La reducción de las dimensionalidades de las imágenes será a no más de números de imágenes – número de clases, Se aplica LDA para reducir a número de clases -1 elementos y agrupar las imágenes según la clase al que pertenecen.
- Encontrar la distancia mínima entre clases, y determinar la mínima diferencia de la imagen de prueba con la clase, de esta manera se identifica a la persona a la que pertenece la imagen de entrada, si no existe una clase con la que se identifica la imagen, se dará como imagen no registrada en la base de datos de la etapa de entrenamiento.

En la figura 7-3 se aprecia el diagrama de flujo de la implementación del algoritmo Fisherfaces, esta descrito de la manera como se lo implemento en el sistema de reconocimiento facial, el punto tres (3) de este diagrama toma la imagen de prueba (test) del algoritmo descrito anteriormente y que es utilizado para la etapa de clasificación y cálculo de distancias mínimas intra clase y entre clase para, minimizar las diferencias de la imagen de entrada con la de la bases de datos domiciliar previamente almacenada para la etapa de entrenamiento.



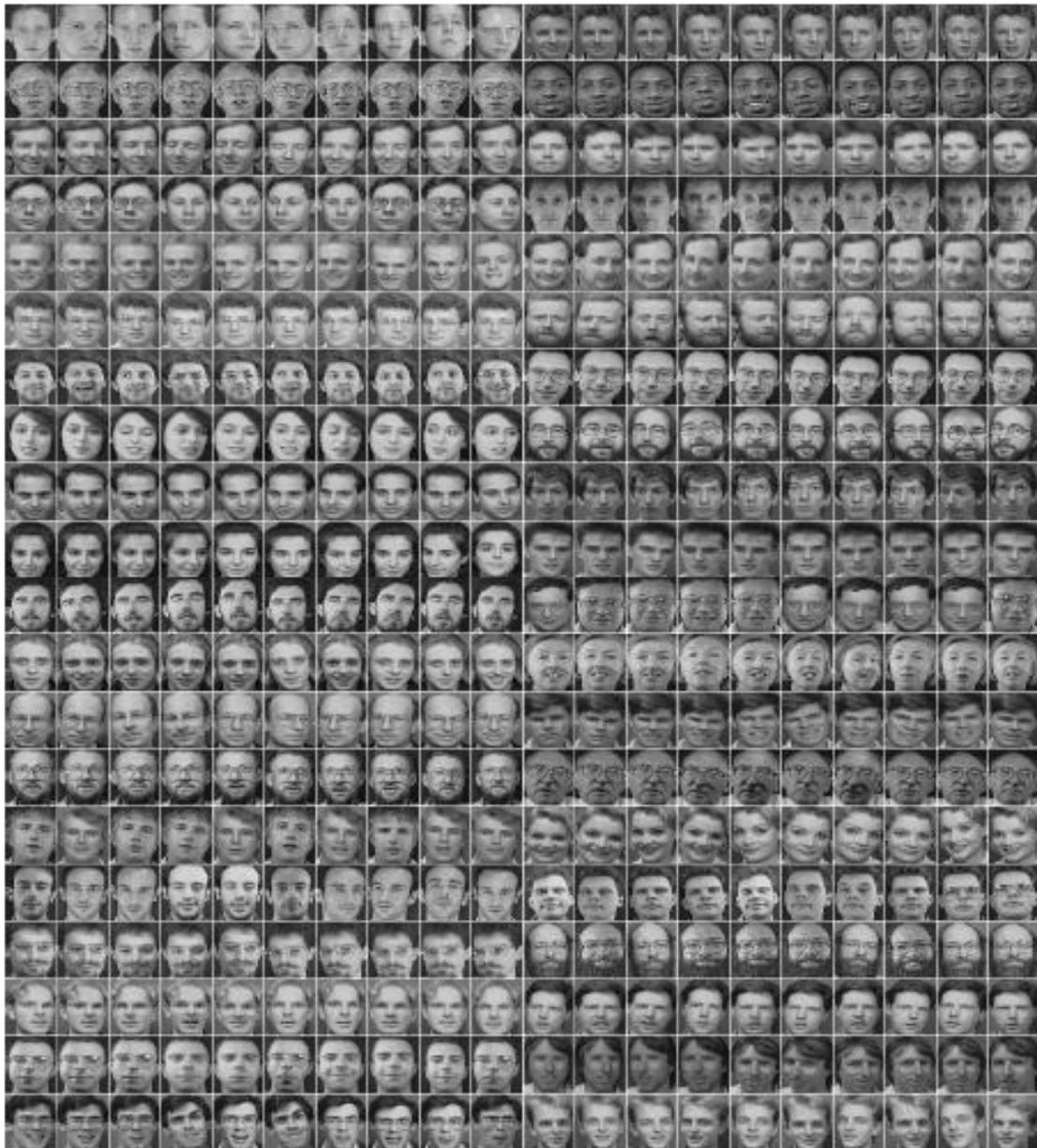
**Figura 7-3.** Diagrama de Flujo Algoritmo Fisherfaces-Lda.

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

### 3.9.5. Pruebas del Reconocimiento Facial de los Algoritmos propuestos en Base Pública.

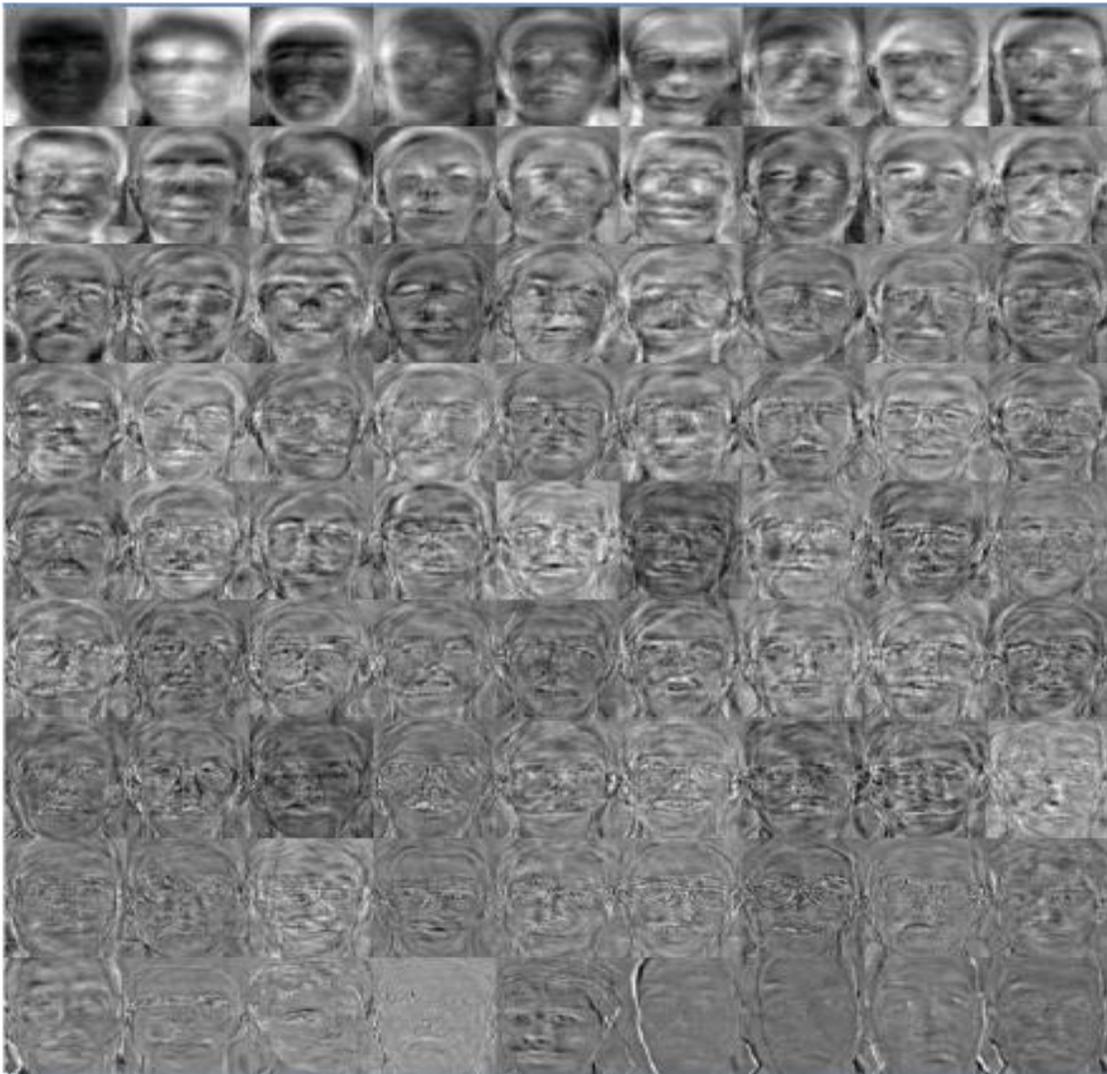
Para la evaluación del funcionamiento de los algoritmos desarrollados, se dispuso de la base de datos ORL de ATT, en la que se dispone de un total de cuatrocientas (400) imágenes, cuarenta (40) individuos con diez (10) expresiones diferentes.

En la figura 8-3 se tiene la base de rostros publica de AT&T



**Figura 8-3.** Base de rostros ATT, contiene 40 sujetos con 10 expresiones por persona

Fuente: (QUEZADA, 2005)



**Figura 9-3.** Rostros eigenfaces en la etapa de entrenamiento principales características

**Fuente:** (QUEZADA, 2005)

#### *3.9.5.1. Evaluación del Algoritmo Eigenfaces-PCA en Base de rostros pública AT&T.*

Para la comprobación del funcionamiento del algoritmo se realizó 30 interacciones de reconocimiento, en la que se toma como imagen de prueba una imagen aleatoria dentro de las 400 imágenes de la base de rostros, y se las compara con las 399 restantes como parte del entrenamiento del sistema, detallando en la tabla 1-3 su comportamiento de aciertos en el reconocimiento de personas, pruebas que se basan en las recomendaciones de las investigaciones de AT&T.

**Tabla 1-3.** Evaluación algoritmo Eigenfaces en base de rostros pública.

INTERACCIÓN	SUJETO PRUEBA	SUJETO INDENTIFICADO	ACIERTO POSITIVO	ACIERTO NEGATIVO	IMAGEN
1	S10	S10-5	SI		
2	S15	S15-7	SI		
3	S15	S20-3		SI	
4	S18	S18-5	SI		
5	S15	S15-8	SI		
6	S30	S30-3	SI		
7	S24	S24-2	SI		
8	S33	S33-6	SI		
9	S17	S17-3	SI		
10	S21	S21-4	SI		
11	S24	S21-3		SI	
12	S15	S15-2	SI		

13	S16	S16-2	SI		
14	S21	S21-5	SI		
15	S23	S23-9	SI		
16	S37	S37-1	SI		
17	S6	S6-6	SI		
18	S8	S8-6	SI		
19	S11	S11-5	SI		
20	S13	S13-3	SI		
21	S16	S16-2	SI		
22	S18	S18-9	SI		
23	S32	S32-4	SI		
24	S21	S21-7	SI		
25	S9	S9-10	SI		

26	S21	S21-2	SI		
27	S10	S10-5	SI		
28	S20	S20-8	SI		
29	S6	S21-3		SI	
30	S27	S27-4	SI		

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

En la tabla anterior se puede apreciar que el sistema es puesto a prueba en treinta (30) interacciones, obteniendo aciertos positivos veintisiete (27) y tres (3) aciertos negativos, dando como resultado una tasa de efectividad del noventa por ciento (90%), bastante aceptable al comparar 400 imágenes como base de datos de rostros disponibles, el tiempo promedio que el sistema se tarda en procesar la imagen de entrada y reconocerla está en el orden los tres segundos con trescientos cuarenta y dos milisegundos (3,342).

Se realizó el mismo procedimiento para la evaluación del algoritmo Fisherface, sus resultados se aprecian en la tabla 2-3.

**Tabla 2-3.** Evaluación algoritmo Fisherfaces.

INTERACCIÓN	SUJETO PRUEBA	CLASE-SUJETO INDENTIFICADO	ACIERTO POSITIVO	ACIERTO NEGATIVO	IMAGEN
1	S1-3	S1	SI		
2	S33-6	S33	SI		

3	S18-8	S18	SI		
4	S35-2	S31		SI	
5	S15-1	S15	SI		
6	S1-2	S1	SI		
7	S15.3	S15	SI		
8	S24-3	S24	SI		
9	S16-2	S16	SI		
10	S30-6	S30	SI		
11	S21-4	S21	SI		
12	S23-3	S23	SI		
13	S17-3	S17	SI		
14	S15-4	S15	SI		
15	S19-2	S19	SI		

16	S16-3	S16	SI		
17	S32-4	S32	SI		
18	S9-1	S9	SI		
19	S10-4	S10	SI		
20	S13-3	S13	SI		
21	S27-3	S27	SI		
22	S29-2	S29	SI		
23	S6-4	S6	SI		
24	S30-6	S30	SI		
25	S21-2	S21	SI		
26	S11-5	S11	SI		
27	S8-6	S8	SI		
28	S25-3	S25	SI		

29	S1-2	S1	SI		
30	S37-1	S37	SI		

**Fuente:** GRANJA, Damián, 2018

En la tabla anterior se puede apreciar que el sistema es puesto a prueba en treinta (30) interacciones, obteniendo aciertos positivos veintinueve (29) y un (1) aciertos negativos, dando como resultado una tasa de efectividad del noventa y seis por ciento (96%), se mejora la efectividad al del algoritmo eigenfaces, ya que se maneja una metodología de registro de clases de imágenes por sujeto, en la etapa de entrenamiento para su clasificación.

Se hace una comparación más específica del sujeto de prueba con la del entrenamiento, el tiempo promedio del procesamiento de información al reconocimiento facial está en el orden de los tres segundos, con cuatrocientos sesenta milisegundos (3,460 seg), prácticamente la diferencia de los dos algoritmos en su rendimiento de procesamiento es mínima, presentando una mejor tasa de efectividad en el reconocimiento.

Se debe recalcar que las pruebas realizadas de la efectividad de los algoritmos implementados es en la base a la base de rostros pública, donde todas las imágenes utilizadas están hechas en un ambiente de laboratorio controlado, la iluminación, dirección y distancias de las tomas son constantes, se los pondrá a prueba en un entorno real de reconocimiento donde las condiciones de iluminación en la adquisición de imagen van a ser un poco variables.

En la propuesta del sistema de seguridad domiciliar se puso a prueba los dos algoritmos para determinar cuál es más eficiente en un entorno real de identificación facial, para ello se crea una base de datos de rostros domiciliar, la misma que dispondrá de veinte (20) imágenes, comprendidas entre cuatro (4) clases, es decir 4 personas distintas, con 5 expresiones de cada individuo.

### 3.9.6. *Base de Datos Domiciliar.*

Para la elaboración de la base de datos domiciliar se consideraron a cuatro personas diferentes integrantes de un domicilio, dos hombres y dos mujeres, de cada persona se toman cinco imágenes diferentes con diferentes expresiones y distancias en un entorno de iluminación controlada.

Todas las imágenes para la etapa de entrenamiento se normalizaron a un tamaño de resolución de 112 x 92, almacenando la zona de interés es decir solamente los rostros transformados a escala de grises, donde los datos obtendrán valores de cero (0) a doscientos cincuenta y cinco (255), eliminando la información de tono y saturación mientras conserva la luminancia, factor clave para el reconocimiento facial.

#### 3.9.6.1. *Adquisición imágenes domiciliarias.*

La adquisición de las imágenes se las realizó con una cámara web de características Cámara web HD 1.3MP.

- **Primera Base De Rostros Domiciliar.-** se la adquiere mediante una cámara web de 1,3 MP, a resolución de 1280x720, el entorno de iluminación presenta tres fuentes de iluminación en ubicación lineal sobre la zona de interés al reconocimiento, por lo que la variación de luminosidad del entorno es controlado, se realizó la base de datos con la toma de rostros a una distancia media del total de la extensión de la sala, es decir, a tres metros (120cm) de la ubicación de la cámara, se almacenan 20 imágenes en total, de cuatro personas con 5 imágenes de cada una.
- **Segunda Base De Rostros Domiciliar.-** se la adquiere mediante una cámara web de 8 MP, a resolución de 640x480, en el mismo entorno de la zona de control de la base uno, la toma de imágenes de rostros se las realizó a diferentes distancias entre la persona de prueba y la cámara, se almacena 48 imágenes en total, de cuatro personas con 12 tomas por cada individuo, con diferentes posiciones, expresiones.

Todas las imágenes de las bases de datos están alineadas centradas y normalizadas para que los algoritmos funcionen adecuadamente.

### 3.9.7. Propuesta Del Sistema de Seguridad Domiciliar.

Bajo los resultados obtenidos en las evaluaciones anteriores se consideraron los siguientes factores como puntos de partida para la aplicación del sistema de identificación de personas como medio de seguridad.

#### 3.9.7.1. Entorno Gráfico Guide de Matlab.

Para la aplicación del sistema de seguridad domiciliar se utilizó la herramienta de programación visual de Matlab conocido como Guide (GUI), para acceder basta con poner en la ventana de comandos la instrucción `guide`, presentando el cuadro de diálogo ver figura 10-3.

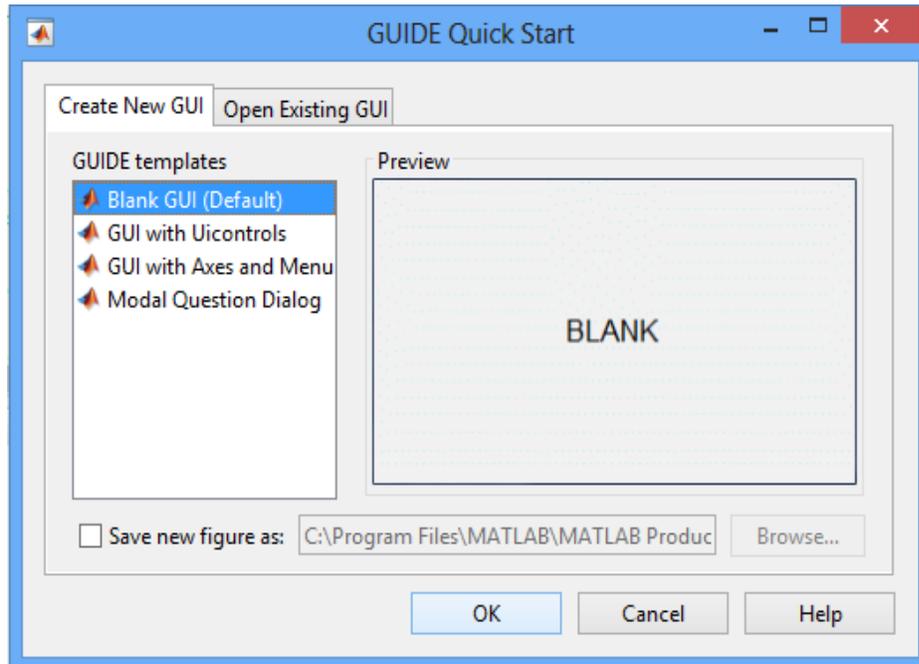


Figura 10-3. Inicio del entorno gráfico guide en Matlab.

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

El cuadro de diálogo anterior presenta las siguientes opciones a elegir:

- **Blank GUI (Default)**

Interfaz gráfica de usuario con un formulario nuevo en blanco predeterminado, en el cual podemos diseñar nuestro programa.

- **GUI with Uicontrols**

Esta opción presenta un programa preestablecido para calcular la masa, teniendo como elementos de entrada la densidad y el volumen, en alguno de los dos sistemas de unidades propuesto.

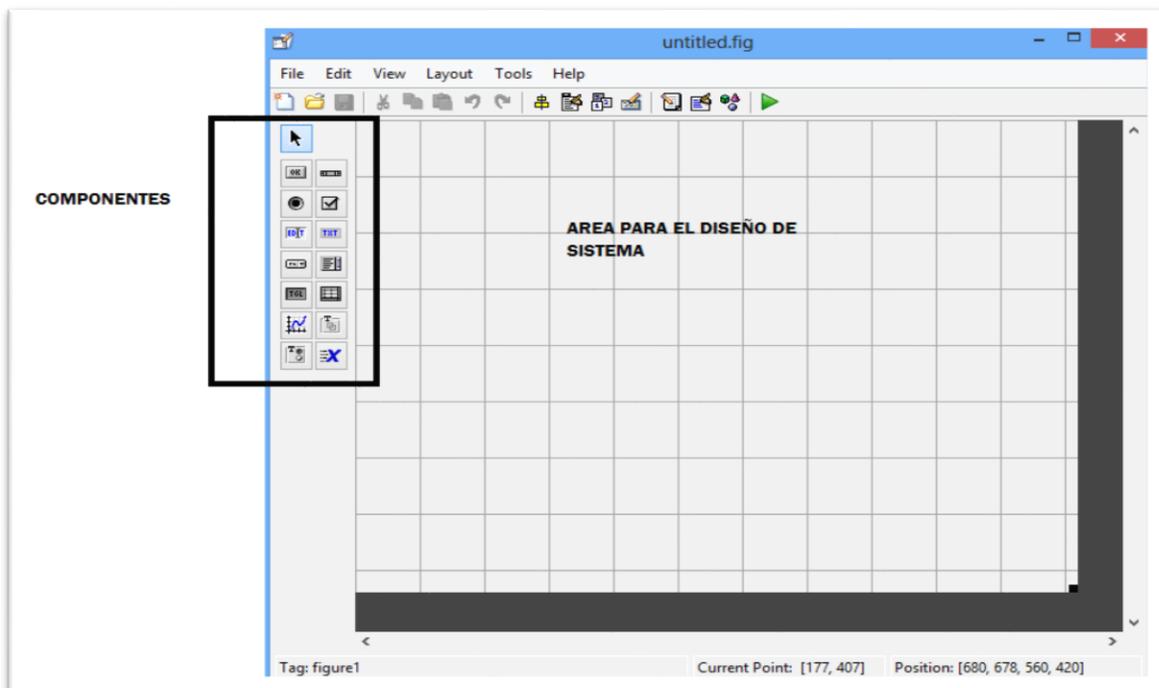
- **GUI with Axes and Menu**

Esta opción se dispone de un menú desplegable conocido como Popup menú, dentro del formulario propuesto de tienen opciones Open, Print y Close, un *push button* y un objeto *Axes* para visualizar gráficas.

- **Modal Question Dialog**

Con esta opción se presenta un cuadro de diálogo común, con dos opciones para elegir con los botones Yes y No, dependiendo del botón que se presione, el GUI retorna el texto seleccionado es decir la cadena de caracteres ‘Yes’ o ‘No’.

Para la creación de la interfaz del sistema se utiliza la primera opción por defecto, un formulario en blanco listo para agregar los componentes necesarios para el diseño del entorno como se presenta en la figura 11-3.



**Figura 11-3.** Formulario GUI para crear el entorno del sistema de seguridad domiciliar.

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

El modo gráfico presenta las siguientes herramientas como se aprecia en la figura 12-3, además de contar con distintos componentes para visualizar en el que se detallan sus características ver figura 13-3.

	Alinear objetos.
	Editor de menú.
	Editor de orden de etiqueta.
	Editor del M-file.
	Propiedades de objetos.
	Navegador de objetos.
	Grabar y ejecutar (ctrl. + T).

**Figura 12-3.** Herramientas del entorno grafico GUI

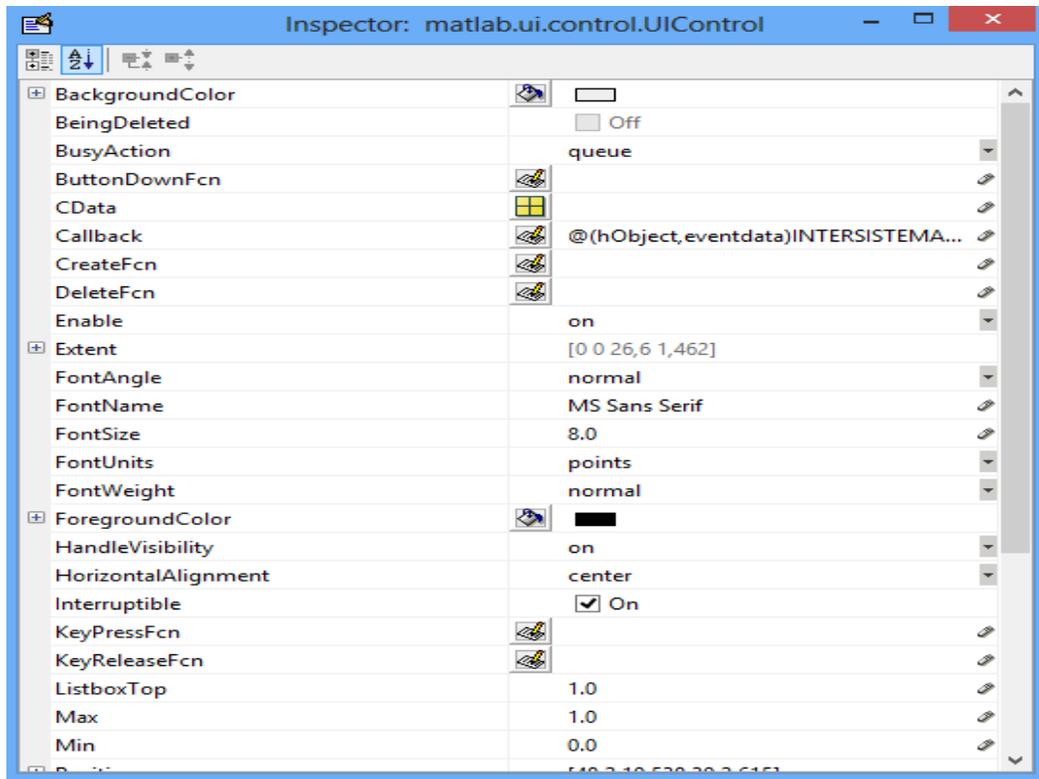
Fuente: GRANJA, Damián, 2018

<i>Control</i>	<i>Valor de estilo</i>	<i>Descripción</i>
Check box	'checkbox'	Indica el estado de una opción o atributo
Editable Text	'edit'	Caja para editar texto
Pop-up menu	'popupmenu'	Provee una lista de opciones
List Box	'listbox'	Muestra una lista deslizable
Push Button	'pushbutton'	Invoca un evento inmediatamente
Radio Button	'radio'	Indica una opción que puede ser seleccionada
Toggle Button	'togglebutton'	Solo dos estados, "on" o "off"
Slider	'slider'	Usado para representar un rango de valores
Static Text	'text'	Muestra un string de texto en una caja
Panel button		Agrupar botones como un grupo
Button Group		Permite exclusividad de selección con los radio button

**Figura 13-3.** Descripción de componentes GUI

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

Cada componente tiene la opción de modificar sus propiedades como son, colores, tamaño, nombres, etc., para ello hacemos clic derecho sobre el componente y elegimos Property Inspector, o simplemente doble clic sobre el componente y se despliega el siguiente cuadro de características del componente como se aprecia en la figura 14-3.



**Figura 14-3.** Entorno Property Inspector para editar las propiedades de un objeto GUI

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

Al crear un aplicación Guide se crean dos archivos: (.m) y (.fig), el primero contiene el código fuente de correspondencias a los objetos y botones de control de la interfaz y el segundo contiene los elementos gráficos. El archivo .m contiene todas las líneas de códigos y subrutinas que se ocupen en el formulario, una de las funciones que permite ubicarse en el archivo es View Callback que al momento de ocupar un objeto se crea automáticamente la subrutina y se posiciona en la parte del programa correspondiente al mismo como por ejemplo:

```
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
%hObject handle to pushbutton1 (see GCBO)
%eventdata reserved-to be defined in a future version of MATLAB
%handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

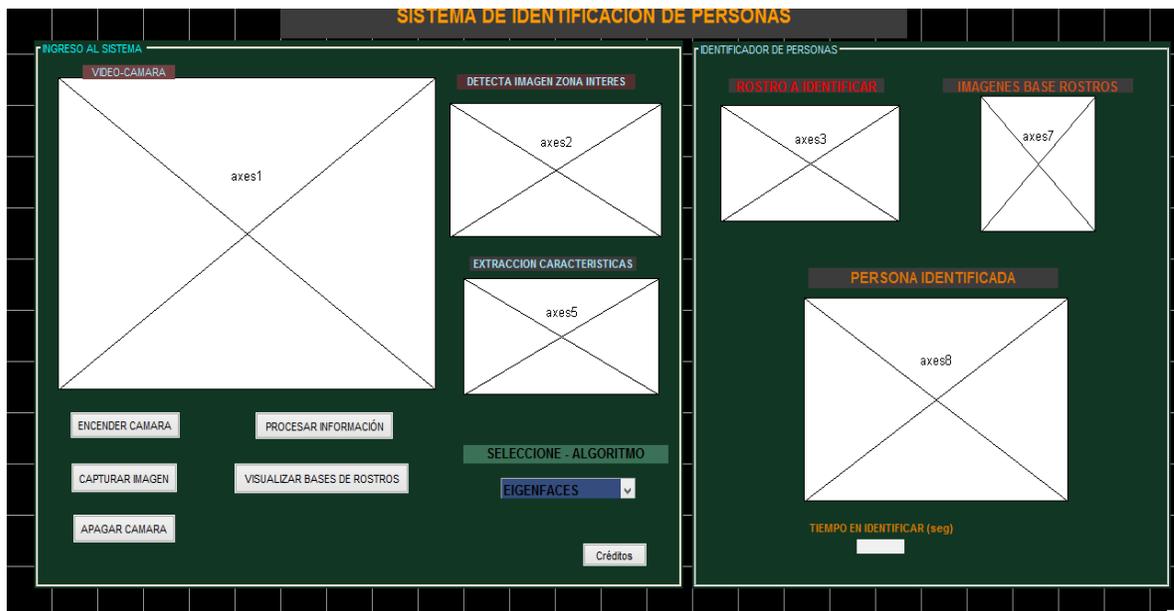
Es en esta parte que el programador agregará las líneas necesarias de su programa para realizar una determinada acción que el botón debe hacer. Una función importante al momento de crear subrutinas, en la que intervienen variables a ser utilizadas en otras instancias del programa u objetos en el guidata, y como regla general en cada subrutina se debe escribir en la última línea lo siguiente:

- `guidata(hObject,handles)`

Esta sentencia lo que hace es garantizar que los valores o cambios en la propiedades de las variables de los objetos queden almacenados.

### 3.9.7.2. Interfaz del sistema de seguridad.

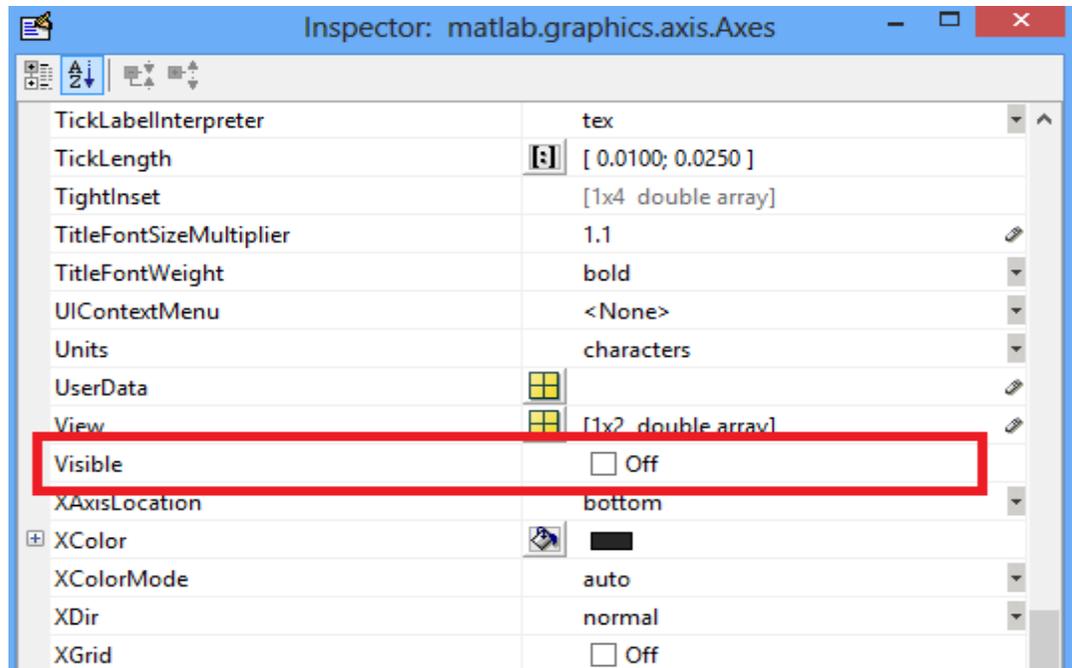
La pantalla inicial del sistema de identificación de personas consta de cinco botones y seis axes (cuadro de visualización de imágenes) que permitió la visualización del video generado por la cámara incorporada al sistema, también se observará la captura de las imágenes de las características de la zona de interés a procesar, en este caso los rostros de las personas que están presentes en cámara, además de un pop menú que dispone de la selección de los algoritmos de reconocimiento facial: Eigenfaces y Fisherfaces, como se aprecia en la figura 15-3.



**Figura 15-3.** Pantalla interfaz de usuario del sistema de identificación de personas.

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

Se deshabilitó la visualización inicial de alguno de los componentes como presentación del funcionamiento del sistema, para ello se ingresa al Inspector y en la opción visible se la desactiva (Off) como se muestra en la figura 16-3.



**Figura 16-3.** Opción Visible del Property Inspector GUI

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

### 3.9.7.2.1. Opciones del sistema.

#### a.- Encender cámara.

Para encender la cámara en el software de simulación primero se debe realizar la actualización de los controladores y paquetes de Matlab para el reconocimiento de los dispositivos de entrada, se utiliza la herramienta Image Acquisition Tool, poniendo en la línea de comandos la instrucción “`imaqtool`”, que despliega la información de las cámaras integradas, resoluciones disponibles de utilizar, un cuadro de ayuda de cómo utilizar y visualizar la cámara para obtener los datos, formatos de grabación, etc., como se aprecia en la figura 17-3.

Los comandos utilizados para la interface de usuario en el guide son las siguientes:

```

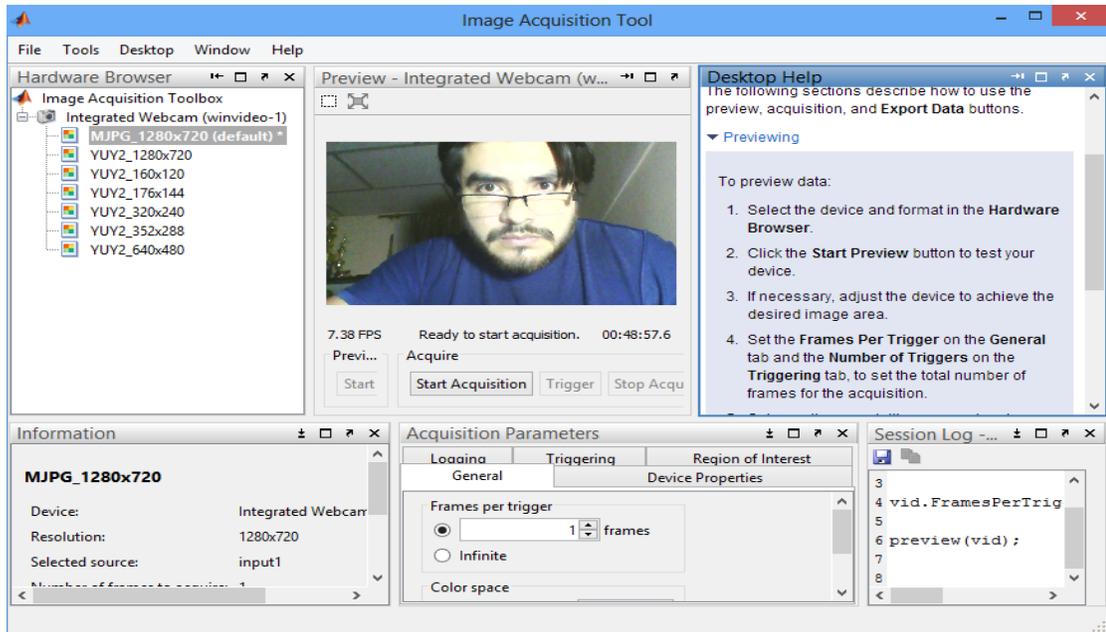
imaqhwinfo
cam=imaqhwinfo;
cam.InstalledAdaptors
vid=videoinput('winvideo',1);
vid.ReturnedColorSpace='rgb';
VidRes=get(vid,'VideoResolution');

```

```

nBands=get(vid,'NumberOfBands');
hImage=image(zeros(VidRes(2),VidRes(1),nBands));
preview(vid,hImage); %visualizar camara

```



**Figura 17-3.** Menú Image Acquisition Tool.

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

#### *b.- Capturar Imagen.*

En ésta opción se captura un fotograma del video generado por la cámara, con la función `getsnapshot`, además de generar variables globales para poder ser usadas en otras instancias y subrutinas del programa, su código es el siguiente:

```

global vid foto
foto = getsnapshot(vid); % CAPTURA
% set(handles.axes2,'visible','on');
% axes(handles.axes2);
% imshow(foto);
imag=foto;

```

*c.- Apagar cámara.*

Detiene el objeto de adquisición de imágenes liberando recursos del procesador que se generaron al encender y obtener un video, el código utilizado es el siguiente:

```
set(handles.axes1,'visible','off');  
closepreview;
```

*d.- Procesar Información.*

En esta opción al momento de capturar una imagen, procesa los datos obtenidos por el getsnapshot, analiza la información mediante el algoritmo detector de rostros, si existe un rostro legible se enmarcara el mismo con un recuadro azul, que será la zona de interés para el sistema de identificación de personas.

Se procede con la extracción y almacenamiento de las características faciales que son utilizadas por los algoritmos de reconocimiento implementados: Eigenfaces y Fisherfaces, como se aprecia en la figura 18-3. Parte del código utilizado en esta función se detalla a continuación:

```
global foto areagris imag_procesar  
imag=foto;  
faceDetector = vision.CascadeObjectDetector(); %barrido de toda la imagen rasgos rostro  
BBOX = step(faceDetector,imag); %encuentra rostro posicion  
axes(handles.axes2);  
imshow(imag);  
pause(2);  
rectangle('position',BBOX(1,:),'edgecolor','b','linewidth',2); %encuadra zona de interes  
k=imag;  
recortar=imcrop(k,BBOX); % recorta la imagen en la posicion de interes  
areatrabajo=imresize(recortar,[112,92]); % 112x92=10304  resolucion filas por al  
axes(handles.axes5);  
imshow(areatrabajo);  
areagris=rgb2gray(areatrabajo); %convierte escala de gris la matriz imagen  
axes(handles.axes3);  
imshow(areagris);
```

```

imwrite(areagris,'areatrabajo1.pgm'); %imagen almacenada para LDA EN
test=reshape(areagris,1,10304); %convierte matriz a vector
imag_procesar=test';
cd('s5');
imwrite(areagris,'1.pgm','pgm')
cd('C:\Users\IVAN GRANJA\Documents\MATLAB\EIGENFACE_IDGH');
guidata(hObject, handles);

```

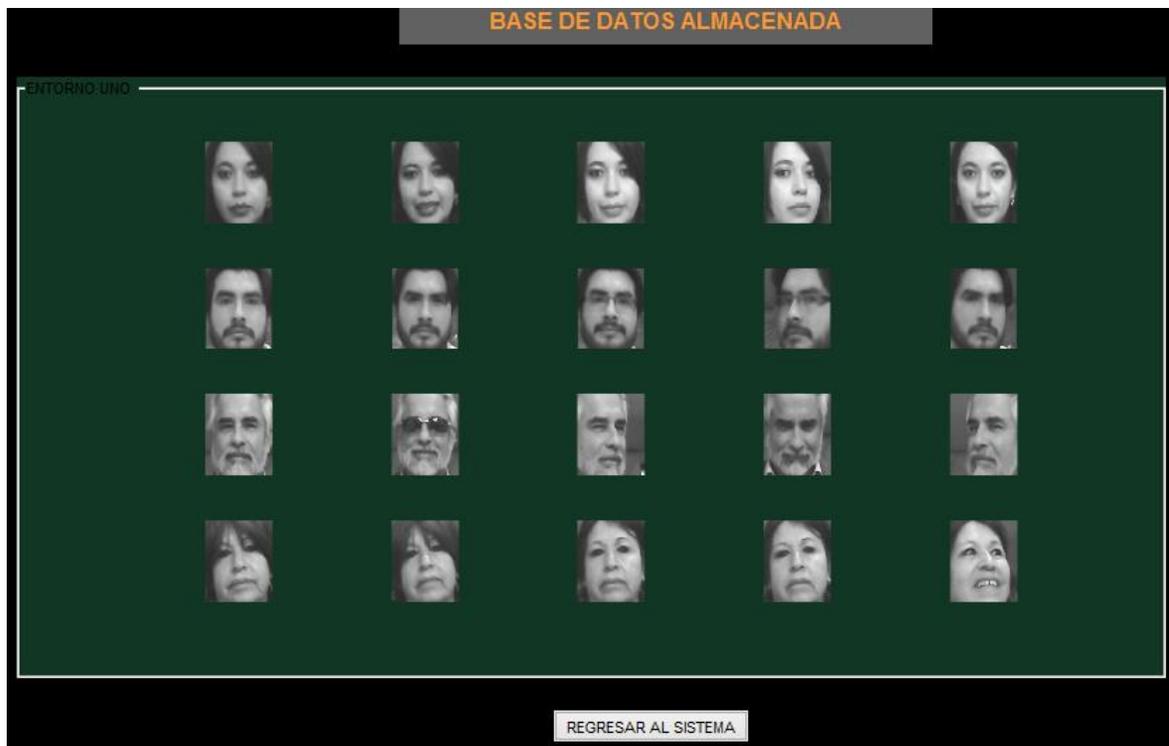


**Figura 18-3.** Sistema de identificación de personas, botón procesar información

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

*e.- Visualizar Base de Rostros.*

Éste botón permite visualizar la base de rostros domiciliar, usados en la etapa de entrenamiento para la identificación del personas, en la figura 19-3 se observa la base de rostros registrado en el sistema.



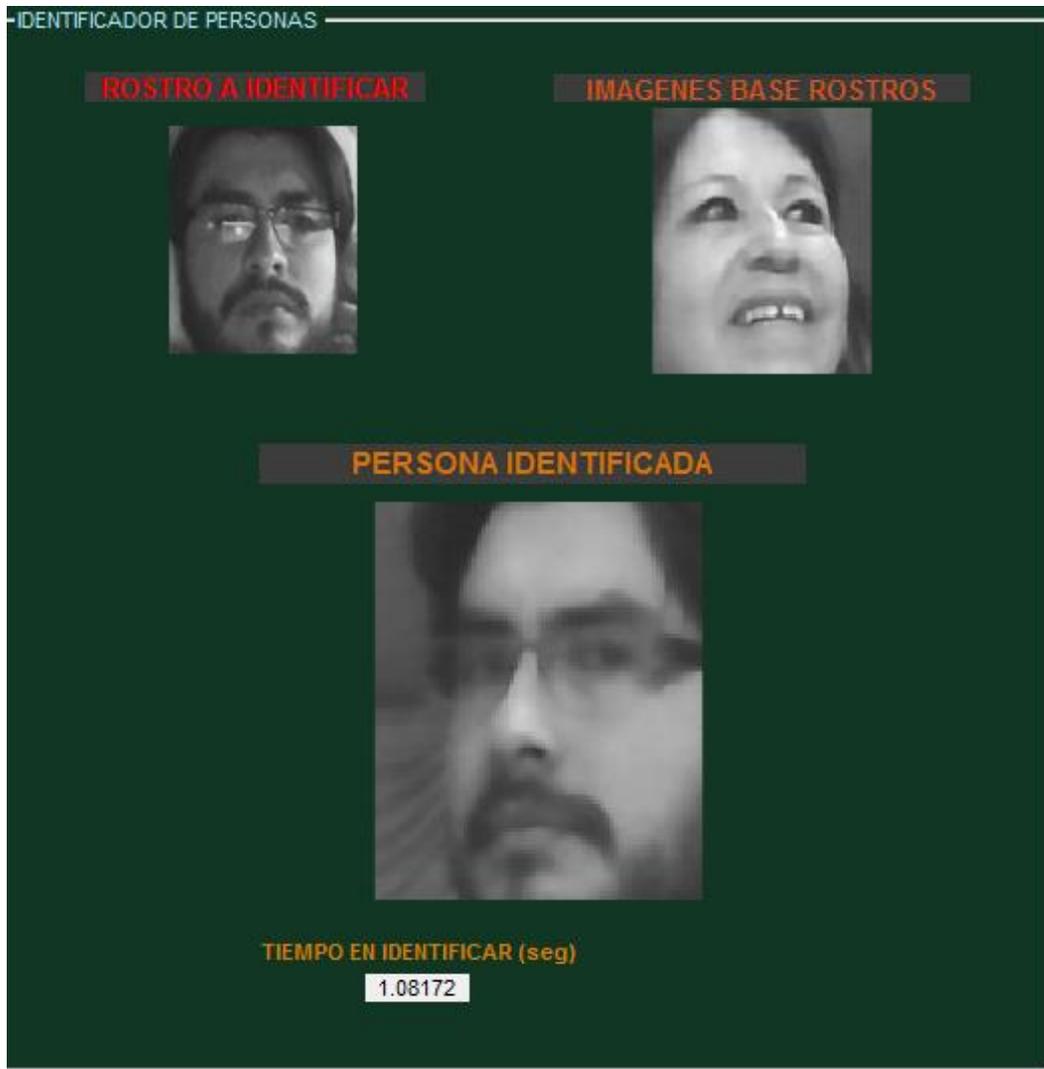
**Figura 19-3.** Base de rostros domiciliar registrada para la identificación de personas.

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

*f.- Selección algoritmo.*

Se dispone de un seleccionador de opciones (popupmenu), que tiene dos opciones de algoritmos a elegir: Eigenfaces y Fisherfaces, cualquiera de las opciones presenta en su interface el rostro a identificar y como resultado de la operación la persona identificada, si la persona se encuentra en la base de datos, caso contrario presenta un mensaje que la persona a identificar no se encuentra registrada, el código utilizado por las funciones se aprecia en el Anexo B.

Además se presenta el tiempo de reconocimiento en segundos que usa el algoritmo para la identificación de la persona en su base de datos, ver figura 20-3.



**Figura 20-3.** Entrono del sistema de identificación de personas, menú selección algoritmo

**Fuente:** GRANJA, Damián, 2018

En la Figura 21-3, se muestra la presentación completa del sistema de identificación de personas, en el que se procesa la información de entrada (video-cámara), analiza si en la toma capturada existe información de interés para el sistema, al que extrae sus características (rostro), y mediante cualquiera de los algoritmos seleccionado, el sistema procederá a comparar con la base de rostros domiciliar e identificará si la persona es reconocida, caso contrario se presentará un mensaje que no se encuentra registrado.



**Figura 21-3.** Entorno general del sistema de identificación de personas

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

*g.- Créditos.*

Se detalla la información general del autor del sistema, en el que consta sus datos personales y de contacto. Ver figura 22-3.



**Figura 22-3.** Créditos

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

## CAPÍTULO IV

### 4. PRUEBAS DEL RECONOCIMIENTO FACIAL

#### 4.1. Parámetros de Evaluación.

Para la comprobación de la efectividad del sistema se realizó pruebas de reconocimiento facial con la base de rostros domiciliario, a diferentes distancias entre el sujeto y la cámara de adquisición de imágenes, se establecieron las distancias mínimas de funcionamiento, como punto de partida se evalúan las distancias mínimas y máximas de la detección y extracción de rostros, la misma que determinó los requerimientos mínimos de funcionamiento del sistema; Tomando en consideración que todas las pruebas se las realizó bajo las mismas condiciones de iluminación en interiores de un domicilio.

Para ello se realizó las pruebas en un una zona de control que presenta tres puntos de iluminación, por lo que se evaluó la tasa de eficiencia del algoritmo Eigenfaces y Fisherfaces, en estas condiciones de iluminación, que son parte de un entorno real de vigilancia a considerarse al momento de realizar el sistema de identificación de personas.

##### 4.1.1. Entorno de iluminación.

Para la prueba de reconocimiento de personas en un entorno domiciliario, se dispone de un salón de seis (6) por cinco (5) metros, la ubicación de la cámara se encuentra a una altura de ciento ochenta centímetros (180cm), la ubicación de las fuentes de iluminación se localizaron en posición lineal como se indica en la figura 1-4.



**Figura 1-4.** Entorno de evaluación iluminación lineal, vista aérea

Fuente: GRANJA, Damián, 2018



**Figura 2-4.** Entorno de evaluación iluminación lineal, vista 3d

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

#### **4.1.2. Resolución Cámara.**

Para comprobar los requisitos mínimos de resolución de cámaras se utilizó dos tipos de resolución de cámaras, a pesar de ser un elemento importante en la adquisición de imagen, los retos del reconocimiento facial se basan en las condiciones en la que se captura de imagen, es decir en qué condiciones de iluminación, expresión facial, oclusión, distorsión por el movimiento del sujeto al capturar sus características, son los factores que los algoritmos clasificadores en la identificación de personas deben superar para mejorar su tasa de eficiencia de aciertos en el reconocimiento. Por lo que se consideró las siguientes características de las cámaras.

##### **4.1.2.1. Resolución de cámara uno:**

Las características de la cámara uno:

- Cámara web integrada de alta definición de 1,3 Mega Pixel.
- Resolución nativa 1280 x 720. HD

##### **4.1.2.2. Resolución de cámara dos:**

Las características de la cámara dos:

- Cámara web 8 Mega Pixel.
- Resolución nativa 640 x 480

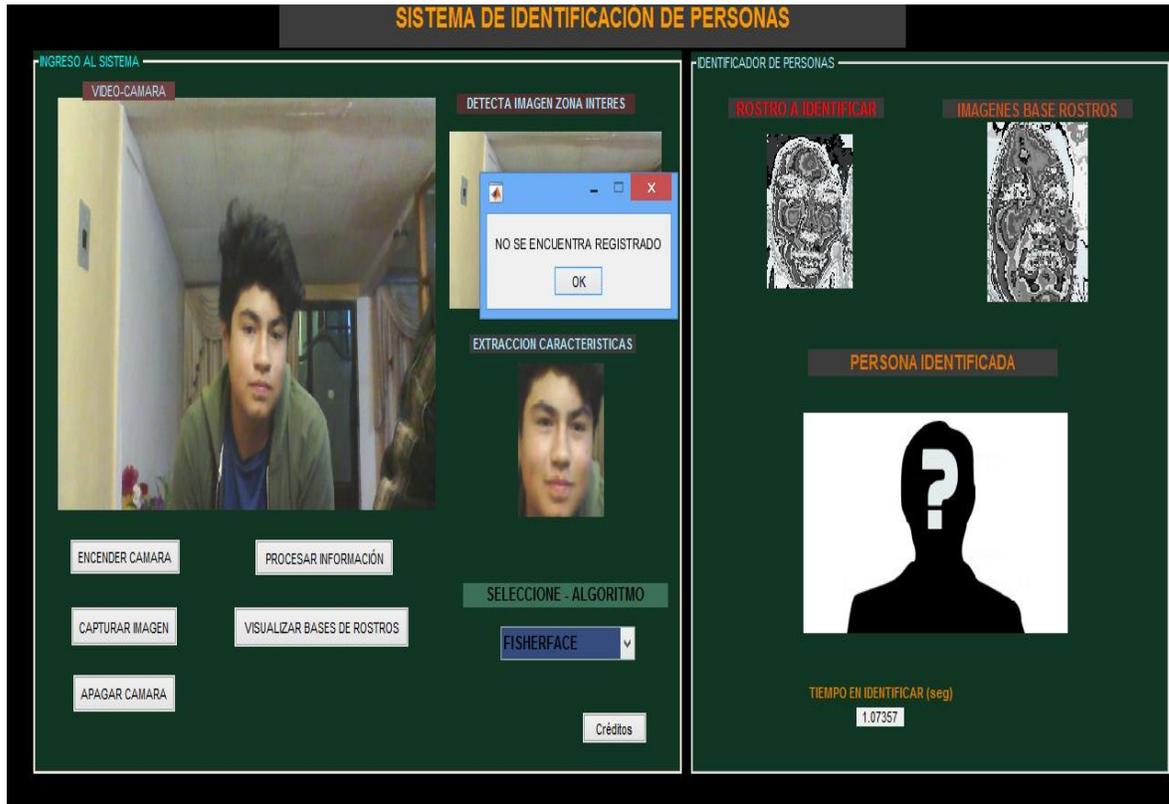
#### **4.2. Evaluación del Sistema de Reconocimiento Facial.**

Como punto de partida para la evaluación del sistema de identificación de personas, se determinó las distancias mínimas y máximas de detección de rostros mediante el algoritmo de Viola&Jones, en condiciones de luminosidad controlada, dichas evaluaciones determinaron las condiciones más favorables en la detección de rostros y una eficiente identificación de personas.

Después se sometieron a los algoritmos a evaluaciones de efectividad en la identificación de una persona que pertenece a una base de datos, en este caso una base de rostros domiciliar, teniendo como parámetros los aciertos positivos, que indica que la imagen de prueba de entrada corresponde a un individuo de la base de rostros, en caso de aciertos negativos, se indicó que el rostro del sujeto de

prueba ha sido identificado con un individuo de la base de datos pero que no corresponde al mismo sujeto, teniendo un error en la identificación.

En caso de que el rostro prueba no corresponda a ningún sujeto de la base de datos de rostros se emitirá un mensaje que no se encuentra registrado, teniendo un acierto positivo en la identificación, como se ve en la figura 3-4, hay que considerar que los algoritmos PCA y LDA son métodos estadísticos que determinaran la apariencia más semejante entre el rostro de entrada y los rostros almacenados en la base de datos, por lo que se manejaran umbrales para discernir si un sujeto se encuentra o no en la base de datos, no siendo muy confiable esta discriminación ya que la utilidad de los algoritmos es minimizar la cantidad de información a tratar para determinar una posible coincidencia.



**Figura 3-4.** Identificación de persona que no pertenece a la base de rostros domiciliar

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

#### **4.2.1. Detección de rostros distancias mínimas y máximas con resolución uno.**

Antes de iniciar con la evaluación de los algoritmos de reconocimiento de personas se realizaron pruebas de detección de rostros en la que se determina las distancias mínimas y máximas que el algoritmo detector facial reconoce los rostros de las personas, para proceder con la extracción de las características de la misma.

La distancia mínima de la ubicación de la cámara y la persona se encontró a 30 cm, de esta manera se asegura que en la toma de imagen se obtenga el rostro completo de la persona y que el algoritmo detector facial pueda comprobar sus características, caso contrario no se determina correctamente las características del rostro para su extracción, ver figura 4-4.



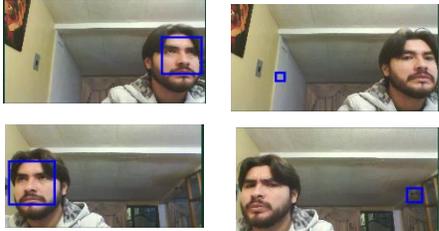
**Figura 4-4.** Toma de imagen a distancias inferiores a 30 cm

**Fuente:** GRANJA, Damián, 2018

Como punto de partida de las evaluaciones del detector facial, se realizaron pruebas a diferentes distancias entre la persona y la cámara, las primeras evaluaciones están a partir de los 30cm a 70 cm, ya que a valores menores la obtención del rostro de la persona sería incompleto, en un ambiente de luz controlado con una misma persona, para que se tengan las mismas condiciones en las diferentes pruebas.

Se realizaron varias pruebas de detección de rostros en la que se detalla el porcentaje de fallos a diferentes distancias entre la cámara y la persona, como se aprecia en la tabla 1-4

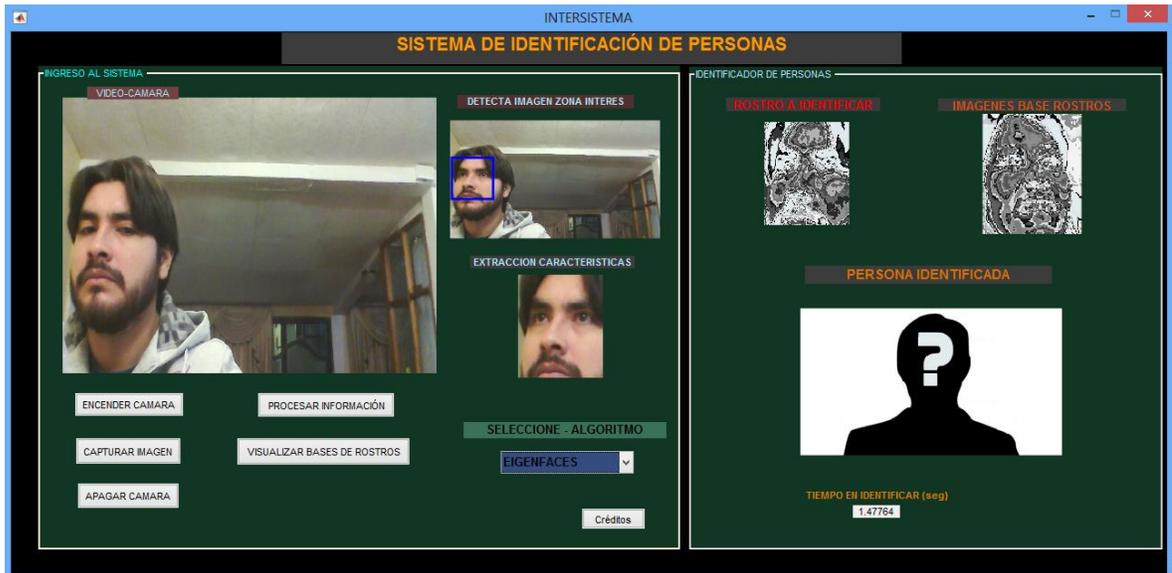
**Tabla 1-4.** Distancias mínimas de reconocimiento facial resolución uno.

DETECCIÓN DE ROSTROS					
DISTANCIAS	FALLAS DE RECONOCIMIENTO	POSICIÓN TOMA IMAGEN CÁMARA - PERSONA	DETECTA		% FALLOS
			SI	NO	
30-70 cm		CENTRAL	13	7	35
		AL COSTADO	12	8	40
80-120 cm		CENTRAL	14	6	30
		AL COSTADO	16	4	20
130 - 200 cm		CENTRAL	15	5	25
		AL COSTADO	18	2	10
220-300 cm		CENTRAL	8	12	60
		AL COSTADO	9	11	55

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

Al realizar las pruebas correspondientes en la detección de rostros, se obtiene un menor porcentaje de fallos a distancias de 130-200 cm, con un 25% de fallas en la detección de rostro, cuando la persona se encuentra en una posición central con la cámara que captura la imagen, y un 10% de fallos con una posición al costado de la persona y la cámara que obtiene la imagen.

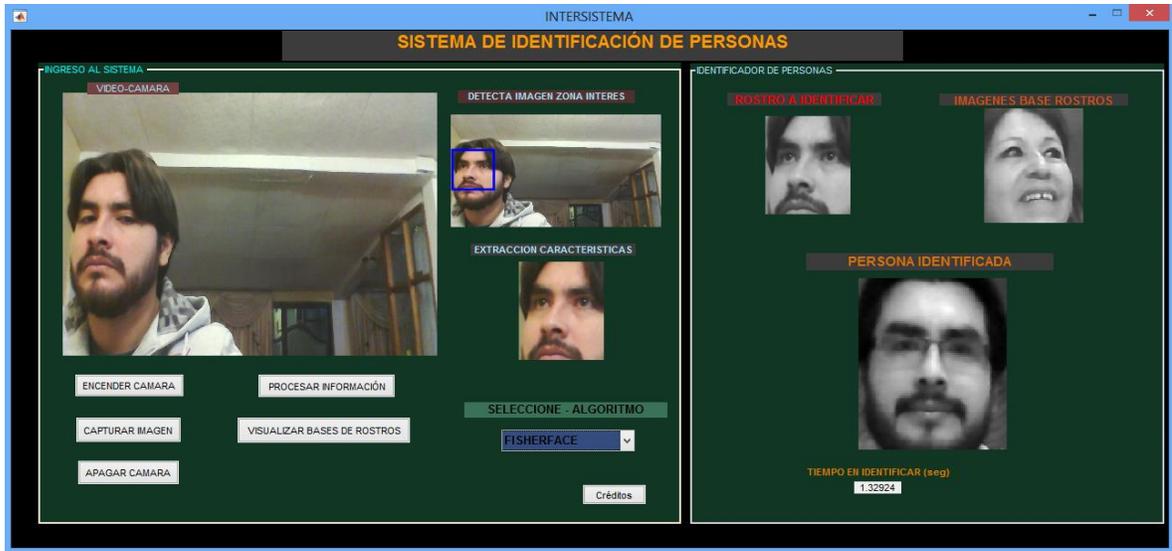
Se determina que existe menores porcentajes de fallo en la detección de rostros cuando la persona no está totalmente centrado en la toma de la imagen respecto a la cámara, consideraciones a tomar en cuenta para la ubicación de la cámara en el sistema de seguridad, otra consideración es al tomar imágenes con la persona al costado, si bien existe una detección facial, al momento de extraer sus características se pierde calidad y detalles del rostro, comprometiendo información al momento de aplicar los algoritmos de reconocimiento facial, ver figura 5-4.



**Figura 5-4.** Comprobación algoritmo Eigenfaces con toma de imagen al costado

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

Como se observa en la figura anterior se captura la imagen con la ubicación de la persona al costado de la toma, a 50 cm de distancia con la cámara, se realiza la extracción de características y se procesa la información con los algoritmos, en la que se evidencia que el algoritmo Eigenfaces no discrimina bien la persona identificar, mientras que el algoritmo Fisherfaces si lo detecta, ver figura 6-4.



**Figura 6-4.** Comprobación algoritmo Fisherfaces con toma de imagen al costado

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

Al capturar imágenes con distancias superiores a los tres (3) metros, existen mayores porcentajes de fallos en la detección de rostros, además al momento de la extracción de sus características se pierde nitidez y detalles faciales, complicando a los algoritmos en el reconocimiento de personas ver figura 7-4.



**Figura 7-4.** Detección y extracción de rostro a distancias superiores a 300 cm

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

De los resultados obtenidos anteriormente, y al ser la detención de rostros una base fundamental en la identificación de personas, se determinó las condiciones mínimas en las que se evaluarán los

algoritmos de reconocimiento como son Eigenfaces y Fisherfaces, es decir, la ubicación entre la cámara y la persona estará de manera que se pueda obtener cuadros completos de los rostros de las persona, prácticamente serán tomas centrales, para tener una mayor confiabilidad en la ejecuciones los algoritmos de reconocimiento, las distancias a evaluar están en el orden de los 80 a 200 cm, distancias prácticas en un entorno real de vigilancia.

#### 4.2.2. *Detección de rostros distancias mínimas y máximas con resolución dos.*

Como base de los resultados obtenidos en la evaluación anterior, se realizó las pruebas de detección de rostros con la cámara de resolución dos, con posición central del sujeto de prueba y la cámara, debido a que la cámara posee un zoom mayor que el primer caso, se establecen otras distancias de detección, como se aprecia en la tabla 2-4.

**Tabla 2-4.** Distancias mínimas de reconocimiento facial resolución dos,

<b>DETECCIÓN DE ROSTROS-RESOLUCIÓN DOS</b>			
<b>DISTANCIAS</b>	<b>DETECTA</b>		<b>% FALLOS</b>
	<b>SI</b>	<b>NO</b>	
90-140 cm	15	5	25
150-200 cm	17	3	15
230 - 270 cm	16	4	20
300-350 cm	14	6	30
360-400 cm	13	7	35

**Fuente:** GRANJA, Damián, 2018

Como se observa en la tabla anterior, al tener un mayor zoom de la cámara el algoritmo detector de rostros funciona con un menor porcentaje de fallos, inferiores al 35%, ampliando de mejor manera la zona de interés de control, tomando en consideración que a pesar de tener mejores condiciones para la detección de rostros, la calidad de la imagen es menor que el primer caso, al extraer la características faciales puede comprometer la eficiencia en la identificación de personas, determinando así las distancias de evaluación de los algoritmos eigenfaces y fisherfaces que están entre los 100 a 320 cm, en el que se verificara la efectividad de los mismos bajo estas condiciones.

### 4.2.3. Evaluación de los algoritmos de reconocimiento e identificación de personas.

#### 4.2.3.1. Evaluación de algoritmos con resolución uno con base de datos uno.

Para la evaluación del algoritmo, se realizaron quince interacciones para el reconocimiento, para la etapa de entrenamiento se utilizó la base de datos uno conformada por cuatro integrantes con cinco imágenes de cada uno, aleatoriamente se realizaron las capturas de imágenes de los integrantes del domicilio que pertenecen a la base de datos para comprobar el porcentaje de efectividad del algoritmo al reconocer e identificar a una persona, se presentan: *acierto positivo* significa persona es identificada correctamente, *acierto negativo* indica que la persona identificada no corresponde entre imagen de entrada y la base de rostros.

En la tabla 3-4 se realizó la comprobación del porcentaje de efectividad de los dos algoritmos, sometidos a la identificación de personas a distintas distancias.

**Tabla 3-4.** Evaluación Algoritmos con resolución uno, con base de datos uno.

IDENTIFICACIÓN DE PERSONAS-ALGORITMOS RESOLUCIÓN UNO BASE DATOS UNO						
DISTANCIAS	EIGENFACES		FISHERFACES		% EFECTIVIDAD EIGENFACES	% EFECTIVIDAD FISHERFACES
	ACIERTO POSITIVO	ACIERTO NEGATIVO	ACIERTO POSITIVO	ACIERTO NEGATIVO		
80 cm	14	1	8	7	93,33	53,33
120 cm	13	2	12	3	86,67	80,00
160 cm	13	2	13	2	86,67	86,67
200 cm	8	7	10	5	53,33	66,67

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

Como se aprecia en la tabla anterior, a distancias menores de los 160 cm el algoritmo Eigenfaces presenta mejores porcentajes de efectividad de identificación de personas superiores al 86%, ya que a 200 cm disminuye notablemente el rendimiento de éste algoritmo a un 53,33%, mientras que el algoritmo Fisherfaces a distancias inferiores de los 80 cm y superiores de 200cm su efectividad no superó el 66,67%.

Determinando que a distancias entre 120 a 160 cm los dos algoritmos mantienen un porcentaje de efectividad superior al 80%, siendo éstas distancia recomendables a ser tomadas en cuenta para la

ubicación de la cámara en un entorno de vigilancia para interiores con condiciones de iluminación adecuados, el tiempo de procesamiento de los dos algoritmos en reconocer a una persona no supera un segundo y medio (1,30seg), claro está que esto depende de la cantidad de imágenes a reconocer en la etapa de entrenamiento, mientras más imágenes tendremos más le tomará en procesar esa información, sin embargo los tiempos son muy rápidos, comparado la gran cantidad de información que procesa en la identificación de personas.

El algoritmo Fisherfaces a distancias mayores 200cm tiene un mejor desempeño que el eigenfaces, demostrando que tiene una mejor clasificación de las personas de entrenamiento, a pesar que la resolución y calidad del rostro extraído es menor, logró identificar al sujeto con un 67 % de efectividad.

#### 4.2.3.2. Evaluación de algoritmos con personas no registradas en base de datos.

Para la evaluación de los algoritmos con personas no registradas en la base de datos, se realizaron quince interacciones de personas con el sistema que ingresaran aleatoriamente, comprendidas de diez interacciones con personas que corresponden a la base de datos almacenada en la etapa de entrenamiento, y cinco interacciones con dos personas que no corresponden a la base de rostros, para el caso de un acierto positivo significa persona es identificada correctamente, acierto negativo indica que la persona identificada no corresponde entre imagen de entrada y la base de rostros, no registrado indicará que la persona no se encuentra en la base de datos y se lo tomará como un acierto positivo, para cálculos del porcentaje de efectividad. En la tabla 4-4 se evidencia las pruebas realizadas bajo estas condiciones.

**Tabla 4-4.** Evaluación de algoritmos con personas no registradas en base de datos.

IDENTIFICACIÓN DE PERSONAS-ALGORITMOS								
BASE DATOS UNO								
DISTANCIAS	EIGENFACES		FISHERFACES		NO REGISTRADO EIGENFACES	NO REGISTRADO FISHERFACES	% EFECTIVIDAD EIGENFACES	% EFECTIVIDAD FISHERFACES
	ACIERTO POSITIVO	ACIERTO NEGATIVO	ACIERTO POSITIVO	ACIERTO NEGATIVO				
80 cm	7	5	5	8	3	2	66,67	46,67
120 cm	5	8	6	7	2	2	46,67	53,33
160 cm	5	8	5	10	2	1	46,67	40,00
200 cm	3	11	5	8	1	2	26,67	46,67

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

De los resultados obtenidos se aprecia una baja efectividad de los algoritmos en cuanto a la identificación de personas, con porcentajes inferiores 53% para el caso de fisherfaces, eigenfaces la efectividad es totalmente baja (26%) a una distancia de 200 cm, esto se debe a que se maneja umbrales de pesos de distancias mínimas cuando se extrae sus componentes principales entre el sujeto de entrada y todas las imágenes almacenadas, y al utilizar éstos algoritmos técnicas de aproximación estadística para clasificar datos en este caso los rostros, siempre determinarán una probabilidad de semejanza de un rostro con los de la base almacenada, con mínima complejidad computacional, siendo ésta la forma de identificación de personas.

Al trabajar con los umbrales se pierde ésta estadística de semejanza arrojando resultados no favorables en la eficacia de los algoritmos como se demuestra en la tabla 3-4, siendo el objetivo principal de este proyecto el reconocimiento facial para la identificación de personas, más no la clasificación de personas si corresponde o no a una base de datos, las futuras evaluaciones se realizarán sin el parámetro de “no registrado”, para obtener los resultados de identificación de personas pertenecientes a una base de datos domiciliar.

Se considerará ésta característica del reconocimiento de personas no registradas para futuros trabajos, ya que los factores que intervienen en el reconocimiento facial son diversos como son las condiciones de iluminación, expresiones faciales, distancias, resoluciones y calidad de imágenes, por lo que se deberá considerar mejores técnicas para discernir la información.

#### *4.2.3.3. Evaluación de algoritmos con resolución dos con base de datos uno.*

Se realizó la evaluación de los algoritmos con la misma base de datos uno, con la diferencia que se tiene mayores distancias para el reconocimiento facial, por las condiciones de zoom de la cámara de resolución dos, que provee al sistema mayor distancia para la extracción de características faciales.

En la tabla 5-4 se detalla los porcentajes de efectividad de los algoritmos implementados, con una mejora en las distancias de captura de imágenes de entrada, se consideran los aciertos positivos y aciertos negativos al igual que en las evaluaciones anteriores, para determinar el porcentaje de efectividad se considera solamente los aciertos positivos de quince interacciones.

**Tabla 5-4.** Evaluación Algoritmos con resolución dos con base de datos uno.

IDENTIFICACIÓN DE PERSONAS-ALGORITMOS RESOLUCIÓN DOS BASE DATOS UNO						
DISTANCIAS	EIGENFACES		FISHERFACES		% EFECTIVIDAD EIGENFACES	% EFECTIVIDAD FISHERFACES
	ACIERTO POSITIVO	ACIERTO NEGATIVO	ACIERTO POSITIVO	ACIERTO NEGATIVO		
100 cm	12	3	10	5	80,00	66,67
180 CM	13	2	12	3	86,67	80,00
260 CM	10	5	13	2	66,67	86,67
340 CM	9	6	11	4	60,00	73,33

**Fuente:** GRANJA, Damián, 2018

De los resultados obtenidos en la tabla anterior, se obtiene eficiencias superiores al 73,33% para el caso del algoritmo Fisherfaces con distancias de 340 cm, sin embargo mientras mayor sea la distancia la eficiencia de los dos algoritmos decremento, se diferencia claramente que el algoritmo eigenfaces a distancias menores de los 200cm presentara una eficacia superior al 80%, siempre y cuando se extraigan buenas características de los rostros, caso particular es el Fisherfaces que aprovecha las bajas resoluciones de las imágenes para la identificación de personas, de la evaluación se obtiene un que el algoritmo fisherfaces presenta un eficacia del 20% más que el eigenfaces, a distancias en el orden de los 260cm.

#### 4.2.3.4. Evaluación de algoritmos con resolución uno con base de datos dos.

En la siguiente evaluación se realiza la identificación de personas con una base de datos dos, conformada por 12 imágenes correspondientes a un mismo individuo en distintas distancias respecto a la cámara, conformada por cuatro clases de sujetos como en la base uno.

Se realizó la evaluación de los algoritmos con la cámara de resolución uno, sus resultados se presentan en la tabla 6-4.

**Tabla 6-4.** Evaluación Algoritmos con resolución uno con base de datos dos

<b>IDENTIFICACIÓN DE PERSONAS-ALGORITMOS RESOLUCIÓN UNO BASE DATOS DOS</b>						
<b>DISTANCIAS</b>	<b>EIGENFACES</b>		<b>FISHERFACES</b>		<b>% EFECTIVIDAD EIGENFACES</b>	<b>% EFECTIVIDAD FISHERFACES</b>
	<b>ACIERTO POSITIVO</b>	<b>ACIERTO NEGATIVO</b>	<b>ACIERTO POSITIVO</b>	<b>ACIERTO NEGATIVO</b>		
80 cm	13	2	11	4	86,67	73,33
120 cm	12	3	11	4	80,00	73,33
160 cm	13	2	13	2	86,67	86,67
200 cm	10	5	11	4	66,67	73,33

**Fuente:** GRANJA, Damián, 2018

De los resultados obtenidos, se evidencia que existe una mejora de un 10% en el rendimiento de los algoritmos respecto a la base de datos uno, se mejora en la identificación de personas entre las distancias de 160 y 200cm, sin embargo se mantiene el mayor aprovechamiento de la eficiencia de los algoritmos a distancias que oscilan de 120 a 160 cm, para obtener eficiencias superiores al 80 %.

Esta mejora se debe a que al disponer de más imágenes en la etapa de entrenamiento se mejora en la clasificación de las clases para la identificación, pero ello también significa que se dispondrán de un mayor número de patrones para la búsqueda de rasgos faciales aumentando la cantidad de información a procesar y que aumente estadísticamente las opciones de fallos en el reconocimiento.

#### *4.2.3.5. Evaluación de algoritmos con resolución dos con base de datos dos.*

En ésta evaluación de los algoritmos se incrementa las distancias por las condiciones de la cámara descrita anteriormente, sus resultados se observan en la tabla 7-4.

**Tabla 7-4.** Evaluación Algoritmos con resolución dos base de datos dos.

IDENTIFICACIÓN DE PERSONAS-ALGORITMOS RESOLUCIÓN DOS BASE DATOS DOS						
DISTANCIAS	EIGENFACES		FISHERFACES		% EFECTIVIDAD EIGENFACES	% EFECTIVIDAD FISHERFACES
	ACIERTO POSITIVO	ACIERTO NEGATIVO	ACIERTO POSITIVO	ACIERTO NEGATIVO		
100 cm	12	3	11	4	80,00	73,33
180 CM	13	2	13	2	86,67	86,67
260 CM	12	3	13	3	80,00	86,67
340 CM	10	5	12	3	66,67	80,00

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

De los resultados obtenidos, se evidencia que existe una mejora en la eficiencia del algoritmo eigenfaces de un 13% a distancias de 260 cm, de igual manera que en las evaluaciones con la base de datos uno para un mejor aprovechamiento de la eficiencia de los algoritmos las tomas de imágenes se las debe realizar en distancias que oscilan entre 150 a 260 cm para obtener un 80% de rendimiento, se demuestra que el algoritmo Fisherfaces es más eficiente a distancias mayores con extracción de características faciales de baja resolución, mientras que el algoritmo eigenfaces a distancias menores de 150 cm, con buenas condiciones en la tomas de imágenes presenta eficiencias superiores al 86% en la identificación de personas.

#### **4.3. Comprobación de hipótesis:**

Para la comprobación de hipótesis se utilizó el modelo de análisis de la varianza para clasificación simple conocido como ANOVA mediante el software SPSS de análisis estadístico. Para ello se deben manejar criterios de normalidad y homogeneidad, útil para la comprobación de hipótesis cuando las unidades experimentales son homogéneas o sus variaciones entre ellas son mínimas.

Se utiliza los datos de la prueba de Shapiro-Wilk para probar la normalidad cuando la muestra es pequeña menor a 30 individuos. Ver figura 8-4.

Pruebas de normalidad							
ALGORIT	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			Sig.
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
EFFECTIVIDAD	EIGEN	,374	4	.	,818	4	,139
	FISHER	,304	4	.	,813	4	,127

a. Corrección de significación de Lilliefors

**Figura 8-4.** Pruebas de Normalidad

Fuente: GRANJA, Damián, 2018

**Para el criterio de Normalidad.**

P-valor  $\Rightarrow \alpha$  Aceptar  $H_0$  = Los datos provienen de distribución normal.

P-valor  $< \alpha$  Aceptar  $H_1$  = Los datos No provienen de distribución normal.

El nivel de significancia de los dos algoritmos es superior a ( $\alpha = 0.05$ ), Eigenfaces = 0.139 y Fisherfaces= 0,127, por lo tanto la efectividad tiene un comportamiento normal en ambos casos.

**Para igualdad de varianzas.**

**Prueba Levene.**

P-valor  $\Rightarrow \alpha$  Aceptar  $H_0$  = Las varianzas son iguales

P-valor  $< \alpha$  Aceptar  $H_1$  = Existen diferencias significativas.

El valor obtenido de la prueba demuestra una igualdad de varianzas ya que el valor P-valor = 0.108, siendo mayor que  $\alpha = 0.05$ , ver figura 8-5.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
EFFECTIVIDAD	Se asumen varianzas iguales	3,566	,108	1,401	6	,211	15,00000	10,70631	-11,19739	41,19739
	No se asumen varianzas iguales			1,401	5,214	,218	15,00000	10,70631	-12,18492	42,18492

**Figura 9-4.** Prueba igualdad de varianzas

Fuente: GRANJA, Damián, 2018.

### 4.3.1 Modelo ANOVA

Aplicando el modelo estadístico ANOVA se puede aceptar o rechazar la Hipótesis Nula  $H_0$  por medio del valor de la probabilidad ( $p$ ), entonces si  $p > 0.05$  se acepta  $H_0$  pero si  $p < 0.05$  se rechaza  $H_0$ , permitiendo de esta manera tener un nivel de confianza del 95%.

**Tabla 8-4.** Prueba ANOVA Análisis 1

ANOVA					
EFFECTIVIDAD	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	916,500	3	305,500	1,344	,379
Dentro de grupos	909,000	4	227,250		
Total	1825,500	7			

Fuente: GRANJA, Damián, 2018.

#### 4.3.1.1. Análisis uno.

Para el análisis de las varianzas se utiliza la información de la eficiencia de los algoritmos de las tablas 3-4, datos adquiridos de la comparación en la identificación de personas por los dos algoritmos con respecto a las distancias proporcionada por las características de resolución la cámara uno.

**$H_0$  1:** No existe diferencia significativa de la eficiencia de los algoritmos en la identificación de personas al exponerlos a distintas distancias de reconocimiento.

**$H_1$  1:** Existe una diferencia significativa en la eficiencia de los algoritmos en la identificación de personas al exponerlos a distintas distancias de reconocimiento.

**Decisión.-** De la información obtenida por el modelo ANOVA de la tabla 8-4, se observa que el valor de significancia es de 0,379, siendo mayor que 0,05 por lo que, se acepta la hipótesis nula y rechazando la hipótesis alternativa.

Concluyendo que las eficiencias de los dos algoritmos, bajo estas condiciones de prueba de distancias no son significativas, permitiendo obtener un sistema de identificación de personas domiciliar.

#### 4.3.1.2. Análisis dos.

Para el análisis de las varianzas se utilizó la información de la eficiencia de los algoritmos de las tablas 5-4, datos adquiridos de la comparación en la identificación de personas por los dos algoritmos con respecto a las distancias proporcionada por las características de resolución de cámara dos.

**Tabla 9-4.** Prueba ANOVA Análisis 2

ANOVA					
EFFECTIVIDAD	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	301,375	3	100,458	1,021	,472
Dentro de grupos	393,500	4	98,375		
Total	694,875	7			

Fuente: GRANJA, Damián, 2018.

**Ho 1:** No existe diferencia significativa de la eficiencia de los algoritmos en la identificación de personas al exponerlos a distintas distancias de reconocimiento.

**Hi 1:** Existe una diferencia significativa en la eficiencia de los algoritmos en la identificación de personas al exponerlos a distintas distancias de reconocimiento.

#### **Decisión**

De la información obtenida por el modelo ANOVA de la tabla 9-4, se observa que el valor de significancia es de 0,472, siendo mayor que 0,05 por lo que, se acepta la hipótesis nula y rechazando la hipótesis alternativa.

Concluyendo que las eficiencias de los dos algoritmos, bajo estas condiciones de prueba de distancias no son significativas entre ellos, obteniendo un sistema de identificación de personas domiciliar a distintas distancias proporcionada por la característica de la resolución de la cámara utilizada.

#### 4.4. Presupuesto de la investigación para el diseño del sistema de reconocimiento facial domiciliario

Para el presupuesto del diseño del sistema de reconocimiento facial, se ha considerado los gastos en material bibliográfico, hardware y software necesario para la implementación, así como también los gastos varios de investigación como se observa en la tabla 10-4.

**Tabla 10-4.** Presupuesto de la investigación.

RECURSOS	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL
<b>MATERIAL BIBLIOGRÁFICO</b>				
Material Bibliográfico (Libros-cd tutoriales)	3	U	15.00	45.00
Hojas de papel bond 75gr	1	resma	4.50	4.50
Suscripción a páginas de investigación y libros online	3	U	5.00	15.00
<b>EQUIPO INFORMÁTICO</b>				
Computador Intel® Core™ Core i7-3537U CPU 2.00 GHz ; 8Gb RAM	1	U	910.00	910.00
Impresora	1	U	170.00	170.00
<b>CÁMARAS DE VIDEO</b>				
Cámara de video USB	1	U	30.00	30.00
Cámara de video IP - PTZ	1	U	150.00	150.00
<b>APLICACIONES INFORMÁTICAS</b>				
Licencia de Sistema operativo y aplicaciones ofimática	1	U	90.00	90.00
Aplicaciones Matlab	1	U	100.00	100.00
Desarrollo de Programación del Sistema de Reconocimiento Facial	1	U	1,500.00	1,500.00
<b>VARIOS DE INVESTIGACION</b>				
Transporte y movilización	1	U	50.00	50.00
Varios gastos de logística	1	U	300.00	300.00
Varios gastos personales	1	U	50.00	50.00
<b>PRESUPUESTO FINAL</b>				<b>3,414.50</b>

Fuente: GRANJA, Damián, 2018.

## CONCLUSIONES

De los métodos de reconocimiento facial investigados en el estado del arte se establece que los algoritmos útiles para la compresión de imágenes con capacidad de procesar muchos rostros en muy poco tiempo son los algoritmos Eigenfaces y Fisherfaces, éstos algoritmos aprovechan las imágenes de baja resolución, destacando que Fisherfaces es menos sensible a las variaciones de iluminación y a los ángulos de los rostros en la imágenes capturadas para el sistema de identificación.

Los métodos Eigenfaces y Fisherfaces convierten la información de los rostros en matrices formadas por una serie de vectores con características principales, por lo que su implementación se ha realizado en Matlab, herramienta de programación que opera directamente con matrices matemáticas y arreglos vectoriales, además de tener integración de dispositivos hardware para gestionar los recursos de cámaras de diferentes fabricantes. Se utilizó el entorno gráfico (Guide), para el desarrollo de la interfaz de usuario del sistema de identificación de personas en un domicilio.

De los resultados obtenidos en la pruebas de identificación facial sobre la base de rostros pública (400 rostros) se comprueba tener un 96% de eficiencia el algoritmo Fisherfaces, seis por ciento más que Eigenfaces, sin embargo, al comprobar la eficiencia de éstos algoritmos sobre una base de rostros domiciliar (20 - 48 rostros) se determina que a distancias de 120 a 160 cm presentan una eficiencia superior al 80%, siendo un factor determinante para la ubicación de la cámara en un entorno de video vigilancia domiciliar, si se requiere una mayor distancia de reconocimiento (300 cm) se debe utilizar cámaras con mayor resolución a 8MP de 640x480, donde el algoritmo Fisherfaces aprovecha imágenes de baja resolución para la comprobación de características faciales, con una eficiencia de aproximadamente 10% más que el Eigenfaces en el reconocimiento de personas.

Se comprueba la hipótesis que al utilizar técnicas de procesamiento de imágenes permite desarrollar el sistema de reconocimiento domiciliar, utilizando el método estadístico ANOVA, se determina que no existe diferencias significativas entre las eficiencias de los dos algoritmos respecto a las distancias de reconocimiento que las cámaras proveen al sistema, ya que los datos en ambos casos presentan una distribución normal y de varianzas similares.

## **RECOMENDACIONES**

De los resultados obtenidos y descritos en el presente trabajo, demuestra que se debería realizar estudio más a detalle de las técnicas de detección facial y corrección de patrones en las imágenes, siendo una de las etapas iniciales en el sistema de reconocimiento de personas.

Investigar técnicas de procesamiento de imágenes en tiempo real, para determinar costo beneficio en la implementación, uso de recursos computaciones y materiales, para el diseño de una aplicación de un sistema de video vigilancia automática.

Buscar alternativas de métodos matemáticos para mejorar los umbrales en el reconocimiento de características faciales que utilizan técnicas estadísticas de clasificación de datos, para mejorar la eficiencia de los algoritmos y su clasificación de personas que no corresponden a la base de datos de la etapa de entrenamiento.

Se recomienda que al desarrollar cualquier técnica de reconocimiento facial sean evaluadas en condiciones reales para comprobar la efectividad de las mismas, y con ello tener la certeza de proponer una posible técnica de solución a un determinado problema, ya que la mayoría de las investigaciones sobre las técnicas actuales están sujetas a ambientes de laboratorio donde las condiciones y variables de investigación son exactas y rigurosas

## **BIBLIOGRAFÍA**

ANDREEA, P.V. (2016), “Aplicación para Detección y Reconocimiento Facial en Interiores” Sevilla: Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Sevilla.

BARTLETT M., et al., (2006), “Automatic Recognition of Facial Actions in Spontaneous Expressions”. Journal of multimedia. Vol 1, No 6.

BELHUMEUR P., HESPANHA J., KRIEGMAN D., (1997), “Eigenfaces vs. Fisherfaces” Recognition Using Class Specific Linear Projection, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp. 711-720.

BRAATHEN, B. (2001), “First Step Towards Automatic Recognition of Spontaneous Facial Action Units”. Institute for Neural Computation. University of California, USA.

BRAATHEN, B. (2002), “An Approach to Automatic Recognition of Spontaneous Facial Actions”. Institute for Neural Computation. University of California, USA.

BRAND J., MASON J., (2000), “A comparative assessment of three approaches to pixel-level human skin-detection”. 15th International Conference on Pattern Recognition; pp. 1056-1059 Vol.1.

CASTANEDA G. AND KHOSHGOFTAAR T, (2015), “A Survey of 2D Face Databases,” IEEE International Conference on Information Reuse and Integration, pp. 219–224.

DÍAZ, B. (2004), “Reconocimiento Facial Automático mediante Técnicas de Visión Tridimensional”. Universidad Politécnica de Madrid.

EKMAN AND FRIESEN, (1978), “Facial Action Coding System (FACS)”. Recuperado de: <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/face/www/facs.htm>.

GOTTUMUKKAL R., AND ASARI V., (2003). “System level design of real time face recognition architecture based on composite PCA”. In Proceedings of the 13th ACM Great Lakes symposium on VLSI (pp. 157–160). AMC

GROSS, R. (2005), "Face Databases," Springer-Verlag, pp. 1–22.

JIMÉNEZ, C.V. (2009), "Diseño y Desarrollo de un Sistema de Reconocimiento de Caras", Universidad Carlos III de Madrid.

KAPOOR Y., QI R.W., PICARD. (2003), "Fully automatic upper facial action recognition", IEEE International Workshop on Analysis and Modeling of Faces and Gestures.

KAWULOK M. M., (2016), "Advances in Face Detection and Facial Image Analysis," Springer.

LITTLEWORT, G., et al. (2005), "Dynamics of facial expression extracted automatically from video". Image and Vision Computing.

MARTÍNEZ A. M., AND KAK A. C., (2001), "PCA versus LDA. Pattern Analysis and Machine Intelligence", IEEE Transactions on, 228–233.

MAXIMILIANO C., GALVÁN Y., (2009), "Teoría de Comunicación". Universidad de Buenos Aires.

ORDOÑEZ, C.S. (2005), "La Escritura y los Soportes Digitales", Revista Digital Universitaria, vol. 6, no. 1, p. 7.

PANDYA J., RATHOD D., AND JADAV J., (2013), "A survey of face recognition approach," Int. J. Eng. Res. Appl., vol. 3, no. 1.

PÉREZ N.L. AND TORO A., (2012), "Técnicas de Biometría Basadas en Patrones Faciales del ser Humano". Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.

PETLANO B., MOGHAOOAM AND STARNER T., (1994), "Viewbased and modular eigenspaces for face recognition", IEEE Conf. On Computer Vision & Pattern Recognition. Seattle, WA.

QUEZADA, C. V. (2005). "Reconocimiento de rostros utilizando análisis de componentes principales, limitaciones del algoritmo". México, D.F: Universidad Iberoamericana.

SIROVITCH L. AND KIRBY M.,(1987), "Low-Dimensional Procedure for the Characterization of Human Faces," J. Optical Soc. of Am. A, vol. 2, pp. 519-524.

TOLBA S., EL-BAZ A.H., AND EL-HARBY A.A., (2006), "Face Recognition : A Literature Review," Int. J. Signal Process., vol. 2, no. 2, pp. 88–103.

TURK M. AND PENTLANO A., (1991), "Eigenfaces for recognition", J. Cognitive neuroscience, vol. 3, num 1.

VLADIMIR V., VASSILI S., ANDREEVA A., (2005), "A Survey on Pixel-Based Skin Color Detection Techniques". Machine Graphics & Vision International Journal, pp. 61-70 Vol. 14.

WAGNER P. (2012), "Face recognition with python," [Online]. Available: [http://www.bytefish.de/pdf/facerec\\_python.pdf](http://www.bytefish.de/pdf/facerec_python.pdf). [Accessed: 05-May-2017].

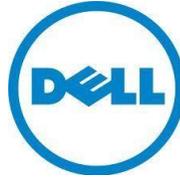
YANG M.H., KRIEGMAN D., AHUJA Y.N., (2002) "Detecting faces in images". A survey. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24:34–58.

ZARIT B. D., SUPER B. J., AND QUEK F. K., (1999), "Comparison of five color models in skin pixel classification". Recognition, Analysis and Tracking of faces and gestures in Real-Time systems, pp. 58-63.

ZHAO W., CHELLAPPA R., PHILLIPS P.J., AND ROSENFELD A., (2003), "Face recognition," ACM Comput. Surv. vol. 35, no. 4, pp. 399–458.

## ANEXOS

### ANEXO A.- Especificaciones Técnicas Del Computador



## INSPIRON 14Z N4050

CORE-I5

14I32354G500BK (NEGRA)

**CORE-I7**

14RI54G500GBK (NEGRA)

884116076674 (ROJA)



*Cuenta con rendimiento y capacidad de respuesta.*

Con la potencia eficaz que ofrecen los procesadores Intel® Core™ I3 o I5 de 2da generación y el Windows® 7 Home Basic original, podrá manejar casi cualquier multimedia y tarea múltiple que se le presente.

O puede ver sus películas favoritas con el DVD/RW incorporado y ejecutar sin el cable de alimentación **durante horas** con la batería de iones de litio de 4 celdas estándar o la de 6 celdas opcional.

La batería de 6 celdas aumenta la altura posterior de 25,35 mm (0.998”) a 35,35 mm (1.392”)



## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### Procesador

Intel® Core™ Core I3-2350M segunda generación de 2.40 GHz con tecnología Intel® Turbo

Boost 2.0 hasta 3.00 GHz

Intel® Core™ Core I5-2350M segunda generación de 2.40 GHz con tecnología Intel®

Turbo

Boost 2.0 hasta 3.00 GHz

### **Sistema operativo**

Windows Home Basic

### **Memoria**

4GB de memoria DDR3 doble canal compartido

### **Chipset**

Chipset móvil® Intel serie 6 Express (HM67)

### **Tarjeta de video**

Intel® Gráficos de alta definición (HD) 3000 hasta con 1.6GB de Memoria de video

Dinámico

### **Pantalla**

Pantalla LED de 14.0", Alta Definición (720p) LED con TrueLife™

### **Audio y parlantes**

SRS Premium Sound™ : 2 parlantes de 2 W cada uno

Micrófono incorporado

### **Disco duro**

SATA disco duro de hasta 500 GB (7200 rpm)

### **Unidad óptica**

Unidad combo DVD+/-RW o Blu-ray Disc opcional (lee BD, graba CD/DVD)™ con

bandeja de carga interna

### **Alimentación**

Batería de iones de litio de 6 celdas y 48 WHr

### **Cámara**

Cámara web integrada de alta definición de 1 MP nativa 1280 x 720

### **Conexiones inalámbricas**

Opciones de Wi-Fi:

Opciones para Wi-Fi Bluetooth:

Intel® Centrino® Wireless-N 1030 (1x2 bgn + Bluetooth)

Opciones de WiMax:

Intel® Centrino® Wireless-N + WiMAX 6150 (1x2 bgn + WiMax)

### **Puertos, ranuras y chasis**

HDMI

Acceso externo

2 puertos USB 3.0

1 puerto USB 2.0

1 puerto USB 2.0 con E-SATA y

Power Share Puerto HDMI v1.4

Puerto VGA

Conector de red integrado 10/100 LAN

(RJ45)

Conector de adaptador de CA

Fichas de audio (1 línea de salida, 1 entrada para micrófono) Lector de tarjetas de medios 8 en 1

Tarjeta de memoria Secure Digital (SD)

Secure Digital Extendido

Capacidad (SDXC)

Secure Digital alto  
Capacidad (SDHC) Tarjeta  
multimedia (MMC) Tarjeta  
multimedia Plus (MMC+)  
Memory Stick (MS)  
Memory Stick PRO (MS Pro)  
Tarjeta xD Picture (xD)

### **Dimensiones y peso**

Sistema estándar Ancho:

13,50" (343 mm)

Alto: 1,20" (30,4 mm) parte frontal / 1,29" (32,8 mm) parte posterior

Profundidad: 9,68" (245,8 mm)

Peso inicial de 4,89 lb (2,218 kg)

SWITCH de Design Studio

Ancho: 13,50" (343 mm)

Alto: 1,26" (31,9 mm) parte frontal / 1,35" (34,3 mm) parte posterior

Profundidad: 9,68" (245,8 mm)

Peso inicial de 5,24 lb (2,38 kg)

## ANEXO B.- Código de programación del sistema de identificación de personas.

```
function varargout = INTERSISTEMA(varargin)
% INTERSISTEMA MATLAB code for INTERSISTEMA.fig
%   INTERSISTEMA, by itself, creates a new INTERSISTEMA or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = INTERSISTEMA returns the handle to a new INTERSISTEMA or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   INTERSISTEMA('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in INTERSISTEMA.M with the given input arguments.
%
%   INTERSISTEMA('Property','Value',...) creates a new INTERSISTEMA or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before INTERSISTEMA_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to INTERSISTEMA_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help INTERSISTEMA

% Last Modified by GUIDE v2.5 03-Apr-2018 16:32:54

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @INTERSISTEMA_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @INTERSISTEMA_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [] , ...
                  'gui_Callback', []);
```

```

if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
% --- Executes just before INTERSISTEMA is made visible.
function INTERSISTEMA_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to INTERSISTEMA (see VARARGIN)
% Choose default command line output for INTERSISTEMA
handles.output = hObject;
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
% UIWAIT makes INTERSISTEMA wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);
% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = INTERSISTEMA_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;
% --- Executes on selection change in popupmenu1.
function popupmenu1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns popupmenu1 contents as cell array
%     contents{ get(hObject,'Value')} returns selected item from popupmenu1
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
    global vid
% ***** ACTIVACION DE CAMARA PARA CAPTURA DE IMAGEN *****
    set(handles.axes1,'visible','on');
    axes(handles.axes1);
    imaqhwinfo
    cam=imaqhwinfo;
    cam.InstalledAdaptors
    vid=videoinput('winvideo',1);
    vid.ReturnedColorSpace='rgb';
    VidRes=get(vid,'VideoResolution');
    nBands=get(vid,'NumberOfBands');
    hImage=image(zeros(VidRes(2),VidRes(1),nBands));
    preview(vid,hImage); %visualizar camara
    guidata(hObject, handles);
% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% ***** CAPTURA IMAGEN *****
    global vid foto
    foto = getsnapshot(vid); % CAPTURA
    % set(handles.axes2,'visible','on');
    % axes(handles.axes2);
%     imshow(foto);
    imag=foto;
%     faceDetector = vision.CascadeObjectDetector(); %barrido de toda la imagen encuentra rasgos rostro

```

```

%     BBOX = step(faceDetector,imag); %encuentra rostro posicion
% --- Executes on button press in pushbutton3.
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% ***** APAGAR CAMARA *****
    set(handles.axes1,'visible','off');
    closepreview;
%     axes(handles.axes1);
guidata(hObject, handles);
% --- Executes on button press in pushbutton4.
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
%***** BOTON PROCESAR INFORMACION *****
global foto areagris imag_procesar
    imag=foto;
    faceDetector = vision.CascadeObjectDetector(); %barrido de toda la imagen encuentra rasgos rostro
    BBOX = step(faceDetector,imag); %encuentra rostro posicion
    axes(handles.axes2);
    imshow(imag);
    pause(2);
    rectangle('position',BBOX(1,:), 'edgecolor','b','linewidth',2); %encuadra zona de interes para extraccion
de características
    k=imag;
    recortar=imcrop(k,BBOX); % recorta la imagen en la posicion de interes
    areatrabajo=imresize(recortar,[112,92]); % 112x92=10304  resolucion filas por columnas en una
vector vertical
    axes(handles.axes5);
    imshow(areatrabajo);
    areagris=rgb2gray(areatrabajo); %convierte escala de gris la matriz imagen
%     axes(handles.axes3);
%     imshow(areagris);
    imwrite(areagris,'areatrabajo1.pgm'); %imagen almacenada para LDA EN
test=reshape(areagris,1,10304); %convierte matriz a vector
    imag_procesar=test';
    %-----  almaceno imagen test para identificar en LDA  -----
    cd('s5');
    imwrite(areagris,'1.pgm','pgm')
    cd ('C:\Users\IVAN GRANJA\Documents\MATLAB\EIGENFACE_IDGH');
    guidata(hObject, handles);
% -----

```

```

% --- Executes on button press in pushbutton5.
function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, ~)
% hObject handle to pushbutton5 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
%close (INTER SISTEMA);
INTER SISTEMA2
% axes(handles.axes1);
a=imread('s1\1.pgm');
% imshow (a);
saplesm=[]; % dimension de la imagenes de entrada
%INGRESO LAS IMAGENES DE LA BASE DE DATOS ESTABLECIDA
% figure (2);
fot=0;
clase=4;
numclase=5;
for i=1:32 %
    for j=1:numclase
        a=imread(num2str(j),'.pgm');
        subplot(4,5,1+fot);
        imshow(a);
        fot=fot+1;
        b=a(1:m*n);
        b=double(b);
        allsamples=[allsamples;b];
    % drawnow;
    end
end
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function pop_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pop (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: popmenu controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

% --- Executes on selection change in pop.
function pop_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to pop (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns pop contents as cell array
%         contents{ get(hObject,'Value')} returns selected item from pop
global foto areagris imag_procesar
%***** OPCION MENU *****
valor_pop=get(handles.pop,'value');
axes(handles.axes3);
imshow(areagris);
switch valor_pop
    case 1
        closepreview;
        %% Loading the database into matrix v
        w=load_database_IDGH();
        tic
%         ri=17;
%         r=w(:,ri);
        r=imag_procesar;
        v=w;
        N=5;                % Número de clases usadas para cada imagen
        %% ELIMINANDO LA MEDIA DE v
        O=uint8(ones(1,size(v)));
        m=uint8((v,2));      % m tendra un vector de columna que contiene la media de cada fila de
todas la imagenes
        vzm=v-uint8(single(m)*single(O)); % vzm is v with the mean removed.
        %% calculo de eignevectors de matriz correlacion
        % We are picking N of the 400 eigenfaces.
        L=single(m)*single(m);
        [V,D]=eig(L);        % AUTO VECTORES & AUTO VALORES
        V=single(m)*V;        % VALORES VECTORES MAS REPRESENTATIVOS
        V=V(:,end:-1:end-(N-1)); % Elija los autovectores correspondientes a los 10 autovalores más
grandes
        %% Calculating the signature for each image
        cv=zeros(size(v,2),N);
        for i=1:size(v,2);

```

```

        cv(i,:)=single(vzm(:,i))*V; % Each row in cv is the signature for one image.
    end
%% PROCESO DE RECONOCIMIENTO
%     subplot(121);
%     imshow(reshape(r,112,92));title('procesar ...','FontWeight','bold','FontSize',16,'color','red');
%     subplot(122);
p=r-m; % imagen a procesar (test)- la media de todas las imagenes
s=single(p)*V; % vectores caracteristicos de la imagen procesada
z=[];
set(handles.axes7,'visible','on');
axes(handles.axes7);
for i=1:size(v,2)
    z=[z,norm((i)-s,2)];
    if(rem(i,90)==0),
        imshow(reshape(v(:,i),112,92)),
    end;
    drawnow;
end
[a,i]=min(z); %minima distancia del rostro mas cercano
set(handles.axes8,'visible','on');
axes(handles.axes8)
imshow(reshape(v(:,i),112,92));
toc
elapsedTime = toc;
set(handles.tiempo,'String',elapsedTime);
%     if (a<4999999) %VALOR UMBRAL EN LAS MISMAS CONDICIONES DE ILUMINACION
% %         axes(handles.axes8)
%         imshow(reshape(v(:,i),112,92));%title('semejante!','FontWeight','bold','FontSize',16,'color','red');
%     else
%         msgbox('no se encuentra');
%     end
guidata(hObject, handles);
case 2
%XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX FISHERFACES XXXXXXXXXXXX
a=imread('s1\1.pgm');
[m,n]=size(a);
allsamples=[]; % dimension de la imagenes de entrada
%INGRESO LAS IMAGENES DE LA BASE DE DATOS ESTABLECIDA

```

```

%         figure (2);
fot=0;
clase=4;
numclase=5;
for i=1:clase      %LEO LAS PRIMERAS 50 IMAGENES S1-S10 TODAS LAS S(1,2,3,4,5)
    for j=1:numclase
        a=imread(strcat('s',num2str(i),'\',num2str(j),'pgm'));
%         subplot(4,5,1+fot);
%         imshow(a);
%         fot=fot+1;
        b=a(1:n);
        b=double(b);
        allsamples=[samples;b];
%     drawnow;
    end
end
fot=0;
tic
[m1,n1]=size(allsamples);
samplemean=mean(allsamples); %la media de todas las imagenes
% figure (2);
for i=1: clase*numclase % total imagenes
    xmean(i,:)=allsamples(i,:)-samplemean; %normalizo restando la media de en todas las imag
FILA A FILA
end
[M1,N1]=size(xmean);
sigma=xmean*xmean'; % xmedia * traspuesta
% ----- EIGEN BASE DEL PCA -----
[v,d]=eig(sigma); % AUTO VALOR Y AUTO VECTOR
d1=diag(d); % DE MATRIZ DIAGONAL LOS VALORES AUTO VALORES EN UNA
COLUMNA
    dsort=flipud(c); % LOS VALORES DE LOS AUTO VALOR DE LA DIAGONAL SE
REORDENAN INVERTIDOS ARRIBA VA ABAJO
    vsort=fliplr(m); % LOS VALORES DE LOS AUTO VECTORES DE LA DIAGONAL SE
REORDENAN INVERTIDOS
    dsum=sum(dsort); % SUMA DE LOS AUTO VECTORES
    dsum_extract=0;
    p=0;

```

```

while(dsum_extract/dsum<0.9)
    p=p+1;
    dsum_extract=sum(dsort(1:p));
end
p %ENCUENTRO POSICION DONDE LA RELACION DSUM_EXTRACT ES MAYOR A 0.9
APROXIMADAMENTE EL VALOR DE LA MEDIA DE IMAGENES
%BASE DE ROSTROS PARA LA VARIANZA
base=xmean'*vsort(:,1:p)*diag(dsort(1:p).^(-1/2)); %base de rostros MEDIA t DE IMAGENES X
AUTO VALOR y AUTO VECTOR
% figure (3);
retro=reshape(base(:,1),[m,n]);
%     imshow(uint8(retro));
[m5,n5]=size(base);
allcoor=allsamples*base; % TODAS LA IMAGENES X LA BASE MEDIA DE AUTO
VECTOR Y VALOR
u=mean(allcoor);
% CLASIFICACION DE LAS CLASES DE LA IMAGENES UNA POR INDIVIDUO
sample1=allcoor(1:3,:);u1=mean(sample1);s1=cov(sample1); %SAMPLE 1 ELIJO LA IMAGEN
BASE 5; U1 LA MEDIA SAMPE1;S1 COVARIANZA
sample2=allcoor(6:8,:);u2=mean(sample2);s2=cov(sample2); %SAMPLE 2 ELIJO LA IMAGEN
BASE 10;
sample3=allcoor(11:13,:);u3=mean(sample3);s3=cov(sample3); %SAMPLE 3 ELIJO LA
IMAGEN BASE 15;
sample4=allcoor(16:18,:);u4=mean(sample4);s4=cov(sample4); %SAMPLE 4 ELIJO LA
IMAGEN BASE 20;
% sample5=allcoor(21:25,:);u5=mean(sample5);s5=cov(sample5); %SAMPLE 5 ELIJO LA
IMAGEN BASE 25;
% sample6=allcoor(26:30,:);u6=mean(sample6);s6=cov(sample6); %SAMPLE 6 ELIJO LA
IMAGEN BASE 30;
% sample7=allcoor(31:35,:);u7=mean(sample7);s7=cov(sample7); %SAMPLE 7 ELIJO LA
IMAGEN BASE 35;
% sample8=allcoor(36:40,:);u8=mean(sample8);s8=cov(sample8); %SAMPLE 8 ELIJO LA
IMAGEN BASE 40;
% sample9=allcoor(41:45,:);u9=mean(sample9);s9=cov(sample9); %SAMPLE 9 ELIJO LA
IMAGEN BASE 45;
% sample10=allcoor(46:50,:);u10=mean(sample10);s10=cov(sample10); %SAMPLE 10 ELIJO
LA IMAGEN BASE 50;

```

```

% sw=s1+s2+s3+s4+s5+s6+s7+s8+s9+s10; %MATRIZ DE COVARIANZA ENTRE CLASES
IMAGENES DE DISTINTAS PERSONAS
sw=s1+s2+s3+s4;
% sb=(u1-u)*(u1-u)+(u2-u)*(u2-u)+(u3-u)*(u3-u)+(u4-u)*(u4-u)+(u5-u)*(u5-u)+(u6-u)*(u6-
u)+(u7-u)*(u7-u)+(u8-u)*(u8-u)+(u9-u)*(u9-u)+(u10-u)*(u10-u);
% VARIANZA DENTRO DE LA CLASE MISMA PERSONA
sb=(u1-u)*(u1-u)+(u2-u)*(u2-u)+(u3-u)*(u3-u)+(u4-u)*(u4-u);
[w,d1]=eigs(inv(sw)*sb);
%eigs (A) devuelve una matriz diagonal D de los seis autovalores de mayor magnitud de A y una
z=allcoor*w; % TODAS LA IMAGENES X LA BASE MEDIA DE AUTO VECTOR Y
VALOR * MATRIZ 6 AUTOVECTORES MAYORES
accu=0;
%INICIAMOS LA COMPARACION ENTRE IMAGENES
for i=3:3 %10
    for j=1:1 %10
        a=imread(strcat('s',num2str(i),'\',num2str(j),'.pgm'));
%         figure (3);
%         imshow(a,[]);
%         title('IMAGEN A IDENTIFICAR','FontWeight','bold','FontSize',16,'color','red');
%         pause (0.2)
        b=a(1:10304);
        b=double(b);
        tcoor=b*base*w; %IMAGEN ENTRADA * BASE MEDIA DE IMAGENES * MATRIZ
AUTOVECTORE MAYORES VARIANZA
        for k=1:20 % IMAGENES EN TOTAL
            mdist(k)=norm(b-z(k,:)); %MINIMIZAR LA VARIANZA DE LA MISMA PERSONA
NORMA H2 SISTEMA LINEAL LDA
            end
            [dist,index2]=sort(mdist); %ordena vector orden ascendente
            class1=floor((index2(1)-1)/2)+1; %redondea al negativo inf
            class2=floor((index2(2)-1)/2)+1;
            class3=floor((index2(3)-1)/2)+1;
            if class1~=class2&&class2~=class3
                class=class1;
            elseif class2==class3
                class=class2;
            end
            if class==i

```

```

        accu=accu+1;
    end;
end;
end;
accuracy=accu/50 %SI TENGO VALOR CERO NO EXISTE EN LA BASE
toc
elapsedTime = toc;
set(handles.tiempo,'String',elapsedTime);
if (accuracy <0.01)
    msgbox('NO SE ENCUENTRA REGISTRADO ');
else
%       figure (4);
    set(handles.axes8,'visible','on');
    axes(handles.axes8)
    rostro=reshape(allsamples((class*5),:));
    imshow(uint8(rostro),[]);
%       title('IDENTIFICADO','FontWeight','bold','FontSize',16,'color','red');
%       pause(1)
    end
    guidata(hObject, handles);
otherwise
end
% --- Executes on key press with focus on pop and none of its controls.
function pop_KeyPressFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pop (see GCBO)
% eventdata  structure with the following fields (see MATLAB.UI.CONTROL.UICONTROL)
% Key: name of the key that was pressed, in lower case
% Character: character interpretation of the key(s) that was pressed
% Modifier: name(s) of the modifier key(s) (i.e., control, shift) pressed
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% --- Executes on button press in pushbutton8.
function pushbutton8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% CREDITOS DEL SISTEMA
creditos

```