

**SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE ROSTROS A TRAVÉS DEL CLASIFICADOR  
HAARCASCADE**

**EMMANUEL GRISALES LONDOÑO**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA  
MEDELLÍN  
2022**

**SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE ROSTROS A TRAVÉS DEL CLASIFICADOR  
HAARCASCADE**

**EMMANUEL GRISALES LONDOÑO**

**Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo en Electrónica**

**Asesor Técnico**

**Diego Hernando Orozco Gómez**

**Magíster en Ingeniería – Automatización Industrial**

**Asesor Metodológico**

**Jesús Ignacio Calle Pérez**

**Especialista en Administración de la Informática Educativa**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA**

**MEDELLÍN**

**2022**

## **Dedicatoria**

Este trabajo de grado quisiera dedicarlo a mi familia y compañeros de la Institución Universitaria Pascual Bravo, siempre estuvieron pendientes de cada proceso que hice, y tuvieron siempre la disposición de levantarse a la medianoche a solo ver como funcionaban los resultados del proyecto.

## **Agradecimientos**

Quisiera agradecer a los docentes Diego Hernando Orozco Gómez y Jesús Ignacio Calle Pérez de la Institución Universitaria Pascual Bravo por guiarme desde el primer semestre a trabajar en el área de la investigación, el trabajo que realizaron enseñándome a la búsqueda de conocimiento me ha forjado como un estudiante ejemplar y en su mayoría es en parte a ellos, en este trabajo ellos fueron los asesores y también en parte tienen mérito.

## Contenido

	Pág.
Introducción .....	12
1. Planteamiento del problema.....	14
1.1 Descripción.....	14
1.2 Formulación .....	14
2. Justificación .....	15
3. Objetivos.....	16
3.1 Objetivo general .....	16
3.2 Objetivos específicos.....	16
4. Marco teórico.....	17
4.1 La inteligencia artificial .....	17
4.2 ¿Cómo reconocer los rostros? .....	18
4.3 HaarCascade.....	18
5. Metodología.....	21
5.1 Tipo de proyecto.....	21
5.2 Método .....	21
5.3 Instrumentos de recolección de información .....	22
5.4.1 Fuentes primarias.....	22
5.4.2 Fuentes secundarias. ....	22
6. Resultados del proyecto.....	23
6.1 Colección de imágenes de rostros .....	23
6.2 Entrenamiento y obtención de modelos de reconocimiento de rostros .....	23
6.3 Evaluación funcional de los modelos entrenados en el proceso de reconocimiento de rostros.....	24
7. Conclusiones.....	29
8. Recomendaciones .....	30
9. Referencias bibliográficas.....	31
10. Bibliografía .....	34

## Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Referencia del pensamiento de la inteligencia artificial .....	17
<i>Figura 2.</i> Características de Haar aplicadas en una imagen de rostro .....	18
<i>Figura 3.</i> Clasificadores Haar .....	19
<i>Figura 4.</i> Diagrama de bloques del sistema de reconocimiento de rostros propuestos .....	23
<i>Figura 5.</i> Matriz de confusión obtenida con el método LBPH.....	26
<i>Figura 6.</i> Matriz de confusión obtenida con el método EF .....	26
<i>Figura 7.</i> Matriz de confusión obtenida con el método FF .....	27

## Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Características de los modelos obtenidos en el proceso de entrenamiento</i> .....	24
Tabla 2. <i>Cantidad de imágenes utilizadas en el proceso de evaluación del desempeño de los clasificadores</i> .....	24
Tabla 3. <i>Tiempos de procesamiento requeridos por el algoritmo de reconocimiento</i> .....	25
Tabla 4. <i>Desempeño del algoritmo de reconocimiento</i> .....	27

## Resumen

# SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE ROSTROS A TRAVÉS DEL CLASIFICADOR HAARCASCADE

EMMANUEL GRISALES LONDOÑO

Continuamente se observa el ingreso a lugares de mucha afluencia de personas, entre ellos el sistema de transporte público y accesos a los centros de salud. Ante esto se generan congestiones, lo que conlleva al estrés laboral. Una posible solución para un ágil ingreso es mediante un registro visual automático que sea rápido, fácil y seguro. Justamente el reconocimiento facial es el encargado de resolver estas necesidades permitiendo un acceso controlado, personalizado y un conteo de acceso de las personas que en realidad estén habilitadas para ingresar a un lugar determinado.

La inteligencia artificial en conjunto con una base de datos permite identificar rostros. Un clasificador de rostros tiene la capacidad no solamente de identificar sino además de reconocer. El clasificador HaarCascade se basa en clasificadores pequeños que analizan porciones diferentes de una imagen de rostro que al final se unen entre sí y proveen un resultado de detección que permite crear una base de datos con el objeto de ser entrenada por diversos clasificadores a fin de obtener un sistema de reconocimiento de rostros.

Este trabajo presenta un sistema de reconocimiento de rostros haciendo uso de un clasificador HaarCascade en el proceso de recolección de imágenes de rostros y de los clasificadores Histograma de Patrones Binarios Locales (LBPH), EigenFace (EF) y FisherFace (FF) en el proceso de reconocimiento. El proceso de recolección se realizó con rostros de seis personas y suministró 350 imágenes de rostros sin tapabocas y 350 imágenes de rostros con tapabocas, los cuales fueron entrenados en conjunto por persona. El tiempo de entrenamiento se localizó en el rango entre 8.9410 segundos y 6340.0947 segundos. Una vez generados los modelos entrenados, el tiempo de inicio de reconocimiento de rostro se ubicó en el rango de 0.0001 segundos a

0.4447 segundos con una precisión promedio de 98.4828% para el modelo LBPH, 92.3076% para el modelo EigenFace, y 77.1981% para el modelo FisherFace.

*Palabras claves:* algoritmo de clasificación, entrenador, inteligencia artificial, visión computacional.

## Abstract

### FACE RECOGNITION SYSTEM USING HAARCASCADE CLASSIFIER

EMMANUEL GRISALES LONDOÑO

The entrance to places of great influx of people is continuously observed, including the public transport system and access to health centers. Given this, congestion is generated, which leads to work stress. A possible solution for an agile entry is through an automatic visual registry that is fast, easy and secure. Facial recognition is precisely in charge of solving these needs, allowing controlled, personalized access and an access count of the people who are actually authorized to enter a given place.

Artificial intelligence in conjunction with a database makes it possible to identify faces. A face classifier has the ability not only to identify but also to recognize. The HaarCascade classifier is based on small classifiers that analyze different portions of a face image that at the end are joined together and provide a detection result that allows to create a database to be trained by different classifiers in order to obtain a face recognition system.

This document presents a face recognition system making use of a HaarCascade classifier in the face image collection process and the Local Binary Pattern Histogram (LBPH), EigenFace (EF) and FisherFace (FF) classifiers in the recognition process. The collection process was performed with faces of six people and provided 350 images of faces without face masks and 350 images of faces with face masks, which were trained together by person. The training time was located in the range between 8.9410 seconds and 6340.0947 seconds. Once the trained models were generated, the face recognition onset time ranged from 0.0001 seconds to 0.4447 seconds with an average accuracy of 98.4828% for the LBPH model, 92.3076% for the EigenFace model, and 77.1981% for the FisherFace model.

*Keywords:* artificial intelligence, classification algorithm, computer vision, trainer

## Glosario

**Clasificador EigenFace (EF):** este clasificador se basa en el método de la distancia euclidiana para calcular la distancia entre el EigenVector y el EigenFace. Si la distancia es pequeña, se identifica a la persona, mientras que una distancia demasiado grande indica que el modelo requiere más entrenamiento para realizar una correcta identificación.

**Clasificador FisherFace (FF):** este clasificador es una versión modificada del clasificador EigenFace. Mediante este método se determina el rostro promedio por clase.

**Clasificador HaarCascade:** el algoritmo HaarCascade propuesto por P. Viola and M. Jones es una técnica de aprendizaje automático comúnmente utilizada en procesos de detección de rostros humanos en imágenes a partir de características relevantes del rostro como lo son los labios, nariz, cejas y ojos.

**Clasificador Histograma de Patrones Binarios Locales (LBPH):** este clasificador apareció originalmente como un descriptor de textura. El operador asigna una etiqueta a cada valor de píxel de la imagen en un vecindario de 3 x 3 con un valor establecido en el píxel central, el algoritmo provee como resultado un valor binario representativo.

## Introducción

Actualmente, las investigaciones enfocadas en visión artificial se encuentran en un constante crecimiento debido a que esta tecnología provee un amplio rango de aplicaciones a un costo decreciente sostenido, posibilitando dar solución a diversas necesidades (S. O. Adeshina) mediante procesos de adquisición, preprocesamiento, análisis y extracción de información de imágenes y videos (P. A. Riyantoko). Continuamente se implementan diferentes técnicas y métodos de reconocimiento de objetos, varios de estos aplicados a la detección e identificación de rostros humanos, entre los que se encuentran espacio de rostros generado por el algoritmo EigenFace (M. Turk), estimación de máxima verosimilitud (B. Moghaddam), máquina de vectores de soporte (E. Osuna), red dispersa SNoW (M.-H. Yang), detector cascada (P. Viola), modelos de apariencia activa (T. F. Cootes), modelos de asociación-predicción (Q. Yin), modelo morphable 3D (V. Blanz) y modelo canónico del rostro (K.-K. Sung). La tecnología dedicada al desarrollo de sistemas de reconocimiento facial ha cobrado un interés significativo debido a las diversas aplicaciones de uso en procesos como educación (S. O. Adeshina), biometría (A. B. Shetty, S. Pal) seguridad (S. Srithar, F. M. J. M. Shamrat, A. H. Ahmad, M. S. Minu, Z. Abal Abas) y accidentalidad vehicular (B. G. Amira, N. Kamarudin).

La implementación de sistemas de reconocimiento requiere del uso de cámaras de vídeo que permitan adquirir información visual de un objeto específico. Por tanto, la calidad de la imagen, la distancia del objeto a la cámara, el ángulo de ubicación del sensor con el objeto a detectar, los cambios del fondo de la imagen, y las variaciones de iluminación son aspectos para tener en cuenta con el propósito de desarrollar un sistema de reconocimiento robusto (S. O. Adeshina). Además, dependiendo de las características físicas del objeto a reconocer es requerido sintonizar los parámetros de la cámara, entre los que se destacan tasa de muestreo y resolución espacial. En el caso del reconocimiento de rostros aspectos como los previamente indicados, así como la oclusión y las expresiones faciales (S. Pal), y adicionalmente la correcta sintonización de los parámetros de la cámara son fundamentales debido a las características propias de los rostros como ojos, nariz y boca. Este documento presenta el desarrollo e implementación de un sistema de reconocimiento de rostros haciendo uso de un clasificador HaarCascade en el proceso de

recolección de imágenes y de los clasificadores Histograma de Patrones Binarios Locales (LBPH), EigenFace (EF) y FisherFace (FF) en el proceso de reconocimiento.

## **1. Planteamiento del problema**

### **1.1 Descripción**

Día a día se observa control de acceso a muchos lugares, desde entrar a un sistema de transporte hasta acceder a una simple habitación de un hotel, todo requiere de un registro que al momento de alta afluencia de personas intentando acceder a la vez puede llegar a ser molesto, generar largas congestiones y altas tensiones en el trabajo, lo cual debería ser más fácil, seguro y automático posible.

La seguridad al momento de permitir el ingreso a un lugar es vital porque ese es un gran filtro de acceso de la persona correcta, que sí esté portando lo necesario para entrar al lugar o simplemente para llevar un conteo de las veces que la persona entra y sale; justamente este proyecto apuesta a generar a través de un sistema identificador de rostros la capacidad de con un simple aprendizaje semiautomático del acceso de personas, un control absoluto de la gestión de acceso de individuos con una simple cámara buscando reducir las demoras, evitando aglomeraciones y, en general, minimizando dolores de cabeza por las largas filas que se crean para permitir el acceso.

Es primordial partir del ahorro de tiempo que se genera con esto, permitiendo que la inteligencia artificial pueda buscar en su base de datos el rostro de la persona y así denegando o permitiéndole el acceso a un lugar de forma fácil, controlada y tranquila, siempre partiendo de la posibilidad de generar seguridad y confianza con un modelo matemático que garantiza la seguridad de quien accede y quién no a un lugar con esta inteligencia artificial, esta misma llega a formar un proceso inteligente capaz de mejorar los sistemas de control y acceso en definitiva con una simple recopilación de cortos fotogramas de un rostro en específico.

### **1.2 Formulación**

¿A partir de los clasificadores HaarCascade, Histograma de Patrones Binarios Locales, EigenFace y FisherFace será posible obtener un sistema de reconocimiento de rostros robusto?

## 2. Justificación

La visión artificial se ha forjado como una de las más prometedoras herramientas, encontrándose en crecimiento debido a que con esta tecnología se puede proveer un amplio rango de aplicaciones a un costo racional, estos reconocimientos además proveen una solución a muchas necesidades que se pueden generar por estas tecnologías basadas en software capaces de adquirir, preprocesar, analizar y extraer información de imágenes o videos.

Las técnicas que existen son muy diversas y hablando claramente se comprende como estas mismas pueden especificarse en varios enfoques que se pueden estudiar por la visión artificial, el uso y aplicaciones de esto crea un avance importante en la historia de la seguridad informática, muestra también la necesidad del ser humano en lograr tener una mejor calidad de filtros de seguridad, puesto que a través de los años se ha sabido estudiar y vulnerar estos filtros, los cuales son muy importantes para garantizar la seguridad.

Actualmente el reconocimiento de rostros tiene diversas aplicaciones, desde un desbloqueo sencillo de seguridad para el celular, hasta un desbloqueo de acceso a vivienda o acceso a un lugar protegido o solo apto para personal calificado; cuando se observan estas aplicaciones se comprende como su uso cada vez está más presente en la humanidad y es verdaderamente un presente de la tecnología y de la seguridad informática.

Cuando se empieza a comprender las técnicas que existen en el área de la visión artificial, se encuentra que existe la HaarCascade como una alternativa comprensiva y apta para la aplicación del reconocimiento de rostros, esta técnica actualmente tiene ventajas sobre las otras en la detección en tiempo real.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Proponer una metodología de reconocimiento de rostros por medio de un método de clasificación Haar.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Realizar una colección de imágenes de rostros de diversos individuos a fin de crear una base de datos.

Realizar un proceso de entrenamiento para la obtención de modelos de reconocimiento de rostros haciendo uso de la colección de imágenes previamente adquirida.

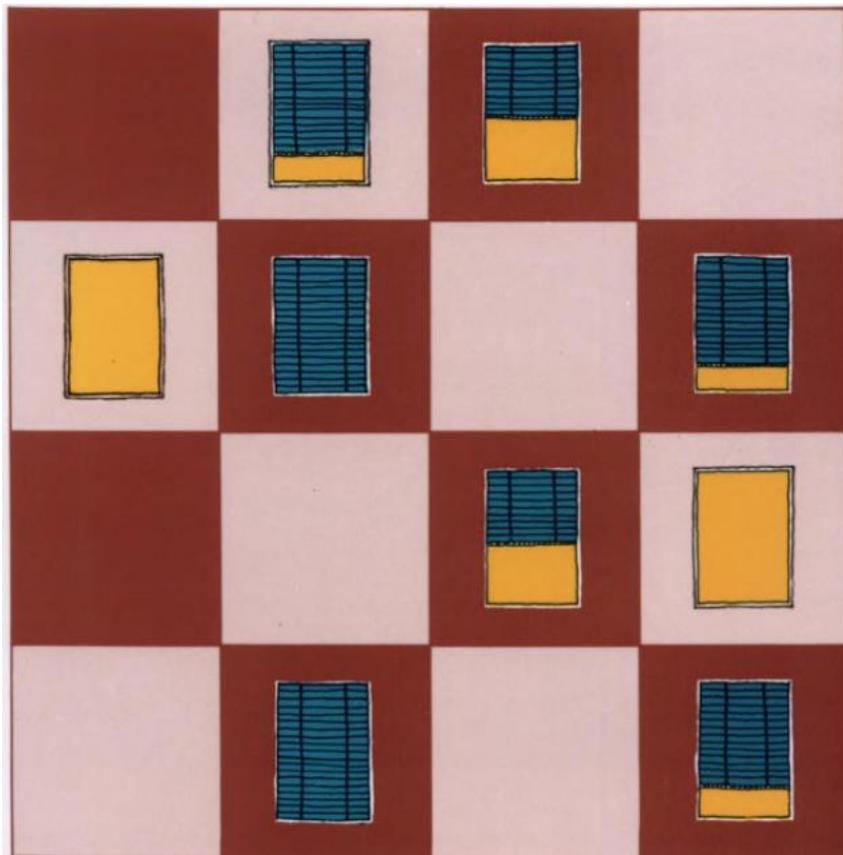
Evaluar la efectividad de los modelos entrenados para llevar a cabo el reconocimiento de rostros.

## 4. Marco teórico

### 4.1 La inteligencia artificial

*“la habilidad de los ordenadores para hacer actividades que normalmente requieren inteligencia humana” (Introducción a la inteligencia artificial, Lasse Rouhiainen, pg 17)*

La inteligencia artificial es la capacidad que se llega a conseguir por parte de las máquinas, o de la tecnología en realizar acciones comprendiendo lo aprendido anteriormente enseñado por el humano generando la inteligencia de tomar decisiones basándose en su aprendizaje inicial, algo muy parecido a lo que realizaría un humano, pero con la gran diferencia del no descanso por parte de la máquina y poder comprender información a altas velocidades y con alto flujo de información a la vez.



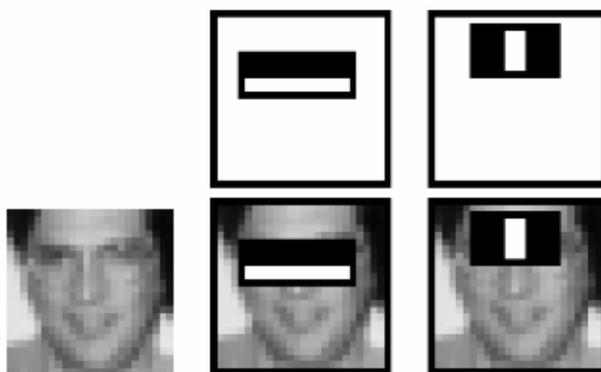
*Figura 1.* Referencia del pensamiento de la inteligencia artificial

Fuente: John Haugeland

## 4.2 ¿Cómo reconocer los rostros?

En la visión computacional se ha presenciado varios avances en la capacidad de reconocer rostros de una forma eficaz, rápida y eficiente con algunas técnicas que a lo largo del tiempo se han venido transformando en una oportunidad de oro para ofrecer detecciones y empezar a sectorizar diferentes tipos de rostros a los que se someta un algoritmo capaz de comprender, almacenar, sintetizar y arrojar un resultado con dichas imágenes, las cuales formarían parte de una “data” o base de datos. En la actualidad, la implementación de dichos algoritmos se convierte en una de las principales técnicas, las cuales requieren de alto porcentaje de efectividad y de eficiencia al momento de reconocer rostros.

En la técnica propuesta HaarCascade se pone a prueba su porcentaje de efectividad y de eficiencia al momento de reconocer rostros, es decir, se hace referencia a un modelo reconocedor, por lo cual lo principal es comprender el funcionamiento de cada uno de los segmentos que se puede tener y que conlleva a la ejecución de un algoritmo para realizar estas acciones propuestas.



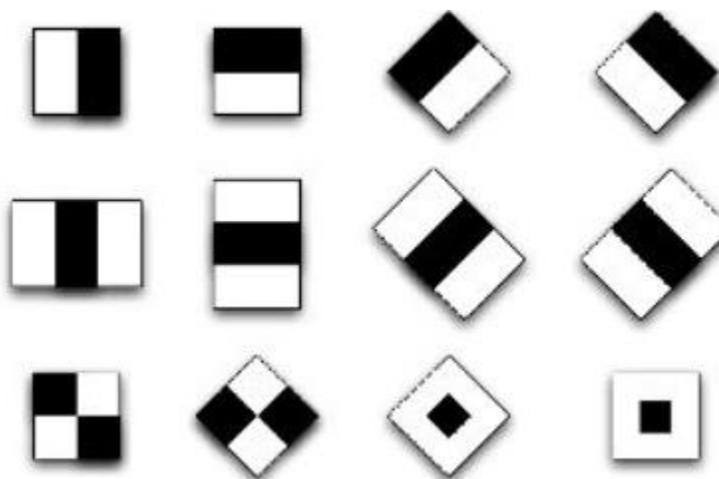
*Figura 2.* Características de Haar aplicadas en una imagen de rostro

Fuente: Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features (Viola & Jones 2001)

## 4.3 HaarCascade

El HaarCascade es un clasificador que opera con funciones en cascada de una forma eficaz en la detección de objetos, esto propuesto por Paul Viola y Michael Jones en su documento, “Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features” en 2001. Su enfoque se basa

principalmente en la capacidad que conlleva un aprendizaje automático en el que la función de cascada se llega a entrenar, todo esto se deriva de una recolección de muchas imágenes positivas y después comparándolas con un video (que puede ser en vivo o grabado) en el cual se realiza una comparación y detecta esas imágenes positivas en otras imágenes que esté viendo el algoritmo.



*Figura 3. Clasificadores Haar*  
Fuente: extraído de Unypython.com

*“En los últimos años, el reconocimiento facial es un área de investigación que se soporta con el desarrollo vertiginoso de las herramientas de programación y los sistemas digitales como los dispositivos procesadores y las memorias; involucra diversas disciplinas, como procesamiento de imágenes, reconocimiento de patrones, visión por computadora y redes neuronales”*  
(González y Woods, 2005)

Los reconocedores tienen una tendencia en crecimiento, el futuro inclusive se está observando en como hay una necesidad creciente de más opciones de seguridad, de modelado de los rostros y de usos en transformaciones físicas como lo pueden llevar las cámaras 3D que conllevan la particularidad de capturar datos sobre el rostro de alguien.

*“El sistema de reconocimiento facial se ha extendido también fuera del ámbito de los recintos policiales y las agencias de seguridad y ha entrado en nuestra vida cotidiana con demasiada facilidad”* (MERIDIONAL Revista Chilena de Estudios Latinoamericano, 2020, pg249).

Se comprueba por tanto la certeza y la importancia alta que generan los reconocedores de rostros en la actualidad. puesto que se ve más y más dispositivos, empresas y programas hasta gubernamentales que le apuestan a estas detecciones, con el fin de acelerar tiempos, dinero y en especial verlo como una herramienta más al ojo humano.

En el ámbito internacional se aplican tecnologías de reconocimiento facial directamente para el control de la trata de personas, como Thorn Tech TaskForce que, según indica en su informe (FightingChild Sexual Abuse,2015) implica estos avances como la rápida reacción ante páginas de la web oscura, acelera la identificación de víctimas, todo esto partiendo de la detección de rostros con técnicas como la mencionada.

## 5. Metodología

### 5.1 Tipo de proyecto

Se utilizó la estrategia exploratoria y experimental puesto que se está investigando un problema de cómo detectar rostros a través de las cascadas de Haar haciendo uso de un conocimiento existente.

### 5.2 Método

La estrategia es crear un sistema de recolección, detección e identificación de rostros, utilizando el ambiente de Anaconda, con el entorno de desarrollo Spyder mediante lenguaje de programación Python, con el cual se desarrollarán tres programas ejecutables tales que puedan solucionar lo planteado, de la siguiente manera:

¿Cómo trabajar la detección de rostros? Como se ha indicado anteriormente, se requiere de imágenes positivas para comprender el algoritmo y entrenar la detección de rostros. En los clasificadores se requiere el núcleo convolucional, el cual tiene la capacidad de dar una característica a cada imagen, se puede ver como un valor individual obtenido únicamente de esa imagen de muestra, la técnica de HaarCascade lo categoriza a través de rectángulos y puntos negros o blanco, dándoles valores únicos a cada imagen muestreada.

Adquisición de la imagen con técnicas de visión computacional. Se cuenta con un medio capaz de hacer esa obtención de rostros de forma digitalizada, se tiene en ellos varios aspectos en común como lo pueden ser la resolución de las imágenes, la calidad de las mismas, la cantidad de imágenes por rostro muestreado.

El procesado de las imágenes. Lo común entre estos métodos de reconocimiento de rostros es que tienen la particularidad que deben ser procesadas para la obtención de diversos parámetros de cada rostro, la función de esto es poder discriminar un rostro de otro teniendo las mismas bases para ser categorizada.

Extracción de particularidades y entrenamiento. Se pone en práctica el desempeño de la técnica entrenada debido a que las técnicas difieren en la forma de detectar.

*“En varias técnicas, las principales características que son extraídas de los rostros son aquellas que describen a cada uno de los componentes básicos del rostro tales como los ojos, la nariz, la boca, la barba, las cejas, y por supuesto, la relación que existe entre ellos, es decir, la distancia entre cada uno de estos componentes” (Sistemas de Reconocimiento de Rostros, L.I.D.I, Universidad de La Plata, Argentina).*

Reconocimiento del rostro entrenado. El proceso de reconocimiento hace uso de imágenes diferentes a la entrenadas para comprobar su funcionamiento.

### **5.3 Instrumentos de recolección de información**

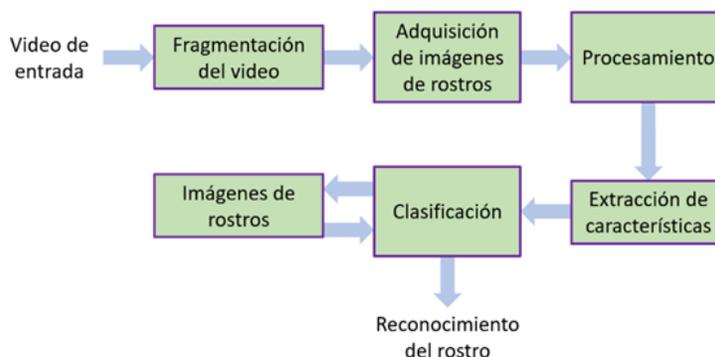
**5.4.1 Fuentes primarias.** La sección experimental es completamente autónoma y surge del trabajo y aprendizaje propio sobre la técnica HaarCascade, las bases teóricas son del trabajo de campo en conjunto con los profesores Diego Hernando Orozco Gómez y Jesús Ignacio Calle Pérez, ambos de la Institución Universitaria Pascual Bravo

**5.4.2 Fuentes secundarias.** La información adicional se obtuvo de trabajos experimentales e investigativos sobre las HaarCascade y varias aplicaciones de la visión computacional.

## 6. Resultados del proyecto

### 6.1 Colección de imágenes de rostros

El sistema de reconocimiento propuesto tuvo como estrategia crear procesos de recolección, entrenamiento y reconocimiento de rostros. Para tal propósito se desarrollaron tres códigos computacionales asociados a cada etapa haciendo uso del lenguaje de programación Python y la librería OpenCV. La Figura 4 detalla el diagrama de bloques del sistema de reconocimiento de rostros propuesto.



*Figura 4.* Diagrama de bloques del sistema de reconocimiento de rostros propuestos  
Fuente: diseño propio

La técnica HaarCascade que se implementó, requirió etiquetar por persona las imágenes con el fin de discriminar un rostro de otro. El conjunto de imágenes, por tanto, se almacenó en carpetas etiquetándolas como I1 a I6 para las personas de 1 a 6 ya que por persona se adjuntó en la carpeta imágenes de rostros con y sin tapabocas para su entrenamiento.

### 6.2 Entrenamiento y obtención de modelos de reconocimiento de rostros

Una vez ajustado el banco de imágenes se creó un código computacional con el objeto de llevar a cabo el proceso de entrenamiento haciendo uso de los métodos Histograma de Patrones Binarios Locales (LBPH), EigenFace (EF) y FisherFace (FF). Finalizado el entrenamiento se obtuvo un archivo XML por cada método con el modelo entrenado.

Los algoritmos de entrenamiento y reconocimiento de rostros se ejecutaron en un equipo de

cómputo con procesador AMD Ryzen 3400G a 4.20 GHz y memoria RAM de 16 GB. El tiempo que demandó el entrenamiento, así como el tamaño del modelo en formato XML provisto por cada método está indicado en la Tabla 1.

Tabla 1.

*Características de los modelos obtenidos en el proceso de entrenamiento*

	<b>LBPH</b>	<b>EF</b>	<b>FF</b>
<b>Tiempo de entrenamiento (s)</b>	<b>8.9410</b>	6262.6969	6340.0947
<b>Tamaño (KB)</b>	503.748	2.975.251	<b>4.644</b>

Fuente: diseño propio

Como se observa en la Tabla 1 no es un requisito tener un tiempo relevante en el entrenamiento para encontrar un modelo entrenado, el método LBPH requiere un tiempo corto, el cual difiere con el tiempo de entrenamiento del FF y del EF. Sin embargo, el modelo obtenido con el método LBPH tiene un tamaño considerable que puede generar inconvenientes en su portabilidad, lo mismo sucede con el modelo provisto por el método EF. Una vez obtenidos los modelos, estos se evaluaron en cada una de las imágenes de prueba.

### **6.3 Evaluación funcional de los modelos entrenados en el proceso de reconocimiento de rostros**

Se desarrolló un código computacional con el objeto de evaluar el desempeño de cada modelo para llevar a cabo el reconocimiento. Este proceso requirió de imágenes diferentes a aquellas utilizadas en el proceso de entrenamiento, estas imágenes corresponden a las seis personas que pueden tener puesto el tapabocas o no, y a una persona diferente sin y con tapabocas etiquetada como ID. La Tabla 2 detalla el número de imágenes de prueba utilizadas en el proceso de evaluación por cada rostro.

Tabla 2.

*Cantidad de imágenes utilizadas en el proceso de evaluación del desempeño de los clasificadores*

<b>I1</b>	<b>I2</b>	<b>I3</b>	<b>I4</b>	<b>I5</b>	<b>I6</b>	<b>ID</b>
654	641	638	570	662	627	689

Fuente: diseño propio

La Tabla 3 indica por clase, los tiempos de carga de los modelos para ser utilizados por el algoritmo de reconocimiento, así como los tiempos mínimo, máximo y promedio que demandó cada método en proveer una respuesta ante cada imagen de prueba.

Tabla 3.

*Tiempos de procesamiento requeridos por el algoritmo de reconocimiento*

	Tiempo de carga (s)			Tiempo mínimo (s)			Tiempo máximo (s)			Tiempo promedio (s)		
	LBPH	EF	FF	LBPH	EF	FF	LBPH	EF	FF	LBPH	EF	FF
<b>I1</b>	20.6437	70.5994	<b>0.1256</b>	0.2763	0.2005	<b>0.0001</b>	0.3336	0.2341	<b>0.0142</b>	0.2958	0.2181	<b>0.0020</b>
<b>I2</b>	19.8488	69.4512	<b>0.1253</b>	0.2733	0.2034	<b>0.0001</b>	0.3075	0.2974	<b>0.0142</b>	0.2936	0.2218	<b>0.0014</b>
<b>I3</b>	20.4387	68.4169	<b>0.1544</b>	0.3070	0.2030	<b>0.0001</b>	0.3228	0.2970	<b>0.0148</b>	0.3032	0.2241	<b>0.0019</b>
<b>I4</b>	21.9845	72.4155	<b>0.2013</b>	0.2847	0.2801	<b>0.0001</b>	0.6007	0.2841	<b>0.0143</b>	0.4227	0.2216	<b>0.0021</b>
<b>I5</b>	20.4778	74.6668	<b>0.1495</b>	0.2765	0.2498	<b>0.0001</b>	0.3145	0.2963	<b>0.0142</b>	0.2955	0.2320	<b>0.0021</b>
<b>I6</b>	19.1285	70.1843	<b>0.1376</b>	0.3014	0.2367	<b>0.0001</b>	0.3987	0.2813	<b>0.0142</b>	0.3500	0.2544	<b>0.0019</b>
<b>ID</b>	20.4996	69.4012	<b>0.1247</b>	0.2741	0.2145	<b>0.0001</b>	0.3249	0.2813	<b>0.0142</b>	0.2995	0.2517	<b>0.0015</b>

Fuente: diseño propio

Se observa en la Tabla 3 que el método FF demandó menores tiempos tanto de carga del modelo como de ejecución, aunque esto no es indicativo de un mejor desempeño por parte de este método en el proceso de reconocimiento. Comparando los métodos LBPH y EF se visualiza que el método LBPH provee un menor tiempo de carga del modelo en todas las clases, sin embargo, este método requiere mayor tiempo en suministrar una respuesta ante cada clase evaluada.

Con el objeto de determinar el desempeño de cada modelo en el proceso de reconocimiento, inicialmente se realiza para cada método una clasificación multiclase en una matriz de confusión. Por tanto, se definieron los conjuntos de Verdaderos Positivos los cuales corresponden a aquellas imágenes de cada rostro evaluado que son correctamente identificados, Falsos Positivos asociados a imágenes de rostros que el algoritmo predice erróneamente como correctamente identificados y Falsos Negativos relacionados a imágenes de cada rostro evaluado que son erróneamente identificados. Las Figuras 5, 6 y 7 muestran la matriz de confusión obtenida a partir de los métodos LBPH, EF y FF respectivamente.

Una vez adecuada la matriz de confusión se evaluó el sistema de reconocimiento a partir de las métricas Precisión, Sensibilidad y F1-Score. Las ecuaciones 1 a 3 establecen las fórmulas matemáticas en la obtención de cada métrica.

$$\text{Precisión} = \frac{\text{Verdaderos Positivos}}{\text{Verdaderos Positivos} + \text{Falsos Positivos}} \quad (1)$$

$$\text{Sensibilidad} = \frac{\text{Verdaderos Positivos}}{\text{Verdaderos Positivos} + \text{Falsos Negativos}} \quad (2)$$

$$\text{F1 - Score} = 2 \times \frac{\text{Precisión} \times \text{Sensibilidad}}{\text{Precisión} + \text{Sensibilidad}} \quad (3)$$

Matriz de confusión: método LBPH

Actual \ Predicción	I1	I2	I3	I4	I5	I6	ID
I1	652	0	0	0	0	0	0
I2	0	641	0	0	5	0	0
I3	0	1	638	0	0	1	0
I4	0	0	0	570	0	0	5
I5	6	17	10	0	662	0	0
I6	0	0	0	0	0	627	0
ID	2	0	20	0	2	0	689

Figura 5. Matriz de confusión obtenida con el método LBPH

Fuente: diseño propio

Matriz de confusión: método EigenFace

Actual \ Predicción	I1	I2	I3	I4	I5	I6	ID
I1	514	0	0	105	0	0	12
I2	0	601	0	0	5	0	70
I3	0	1	608	0	30	1	0
I4	0	0	0	550	10	0	5
I5	20	17	10	0	593	0	14
I6	0	0	0	0	0	627	0
ID	2	0	20	0	20	0	611

Figura 6. Matriz de confusión obtenida con el método EF

Fuente: diseño propio

Matriz de confusión: método FisherFace

Actual \ Predicción	I1	I2	I3	I4	I5	I6	ID
I1	372	0	0	7	10	0	89
I2	152	483	0	0	5	0	0
I3	70	20	538	0	1	1	0
I4	0	0	0	370	0	60	40
I5	30	17	10	0	462	0	70
I6	10	0	138	0	0	427	100
ID	21	0	20	0	20	40	500

Figura 7. Matriz de confusión obtenida con el método FF

Fuente: diseño propio

La métrica Precisión indica la calidad que el modelo provee en el proceso de reconocimiento de rostros. La sensibilidad indica la cantidad que el modelo es capaz de reconocer rostros. En tanto que la métrica F1-Score combina las métricas Precisión y Sensibilidad en un solo valor. El modelo relacionado al método LBPH suministró una precisión de 98.4828% mientras que para los otros métodos EF y FF las precisiones fueron de 92.3076% y 77.1981% respectivamente. La Tabla 4 indica los valores de las métricas obtenidas por clase con los tres métodos.

Tabla 4.

Desempeño del algoritmo de reconocimiento

	Precisión (%)			Sensibilidad (%)			F1-Score (%)		
	LBPH	EF	FF	LBPH	EF	FF	LBPH	EF	FF
<b>I1</b>	<b>98.7878</b>	95.8955	56.7938	<b>100</b>	91.4580	77.8224	<b>99.3902</b>	88.0891	65.6663
<b>I2</b>	<b>97.2685</b>	97.0920	92.8846	<b>99.2260</b>	88.9053	75.4687	<b>98.2337</b>	92.8185	83.2758
<b>I3</b>	<b>95.5089</b>	95.2978	76.2039	<b>99.6875</b>	95.0000	85.3968	<b>97.5535</b>	95.1486	80.5389
<b>I4</b>	<b>100</b>	83.9694	98.1432	<b>99.1304</b>	97.3451	78.7234	<b>99.5633</b>	90.1639	87.3671
<b>I5</b>	<b>98.9536</b>	90.1215	92.7710	<b>95.2517</b>	90.6727	78.4380	<b>97.0674</b>	90.3966	85.0045
<b>I6</b>	99.8407	<b>99.8470</b>	80.8712	<b>100</b>	<b>100</b>	63.2592	<b>99.9203</b>	99.9203	80.9891
<b>ID</b>	<b>99.2795</b>	85.8146	62.5782	<b>96.6333</b>	93.356	83.1946	<b>97.9388</b>	89.5238	71.4285

Fuente: diseño propio

Realizando una comparación en las siete clases, se observa que el modelo asociado al método LBPH provee seis valores más altos de precisión, siete valores más altos en sensibilidad y siete valores más altos en la medición F1-Score. El método EF puede llegar a tener valores similares en precisión y sensibilidad respecto al LBPH, y el modelo FF entrega valores muy inferiores

respecto a los otros modelos entrenados tanto en precisión, sensibilidad y F1-Score. En relación con la recolección de rostros de individuos con y sin tapabocas, utilizados en la misma base de datos, se entiende que el desempeño obtenido fue superior con el modelo LBPH.

## 7. Conclusiones

Los resultados obtenidos indican que, bajo el método de entrenamiento, el clasificador LBPH es el más viable para integrar en un sistema de reconocimiento aceptable, que implica el óptimo reconocimiento del rostro, aunque la persona tenga puesto o no el tapabocas.

Es importante decir que este proceso de recolección de rostros muestra diferentes limitantes que varían dependiendo de las condiciones de luminosidad del espacio en donde se lleve a cabo la recolección.

En la prueba de los métodos de entrenamiento, la precisión puede variar a partir de las condiciones del espacio en las que se esté realizando la prueba, respecto al espacio donde se esté realizando la recolección de rostros, por lo que es importante que se realice la recolección en el espacio en donde además se vaya a realizar la detección.

## **8. Recomendaciones**

Se recomienda que, al momento de realizar la recolección de rostros, se realice la toma de mediciones de lúmenes en el espacio en donde se adquieran las imágenes, debido que esto podría proveer un control más exacto al momento de realizar el reconocimiento.

Se recomienda para un próximo estudio realizar las recolecciones de los rostros con una luz natural, ya que las luces artificiales como la luz blanca, o luces cálidas pueden llegar a afectar el proceso al momento de realizar el entrenamiento.

## 9. Referencias bibliográficas

- A. B. Shetty, Bhoomika, Deeksha, J. Rebeiro, and Ramyashree, “Facial Recognition using Haar Cascade and LBP Classifiers,” *Glob. Transitions Proc.*, pp. 0–12, 2021, doi: 10.1016/j.gltp.2021.08.044.
- A. H. Ahmad *et al.*, “Real time face recognition of video surveillance system using haar cascade classifier,” *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 21, no. 3, pp. 1389–1399, 2021, doi: 10.11591/ijeecs.v21.i3.pp1389-1399.
- B. G. Amira, M. M. Zoulikha, and P. Hector, “Driver drowsiness detection and tracking based on Yolo with Haar cascades and ERNN,” *Int. J. Saf. Secur. Eng.*, vol. 11, no. 1, pp. 35–42, 2021, doi: 10.18280/ijssse.110104.
- B. Moghaddam and A. Pentland, “Probabilistic Visual Learning for Object Representation,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 19, no. 7, pp. 696–710, 1997, doi: 10.1109/34.598227.
- E. Osuna, R. Freund, and F. Girosi, “Training support vector machines: An application to face detection,” *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, pp. 130–136, 1997, doi: 10.1109/cvpr.1997.609310.
- F. M. J. M. Shamrat, A. Majumder, P. R. Antu, and S. K. Barmon, “Human Face Recognition Applying Haar Cascade Classifier,” in *International Conference on Pervasive Computing and Social Networking [ICPCSN 2021]*, 2021, no. March, pp. 0–15.
- K.-K. Sung and T. Poggio, “Example-based learning for view-based human face detection,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 20, no. 1, pp. 39–51, 1998, doi: 10.1109/34.655648.

- M.-H. Yang, D. Roth, and N. Ahuja, "A SNoW-Based Face Detector," *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, pp. 862–868, 1999.
- M. S. Minu, K. Arun, A. Tiwari, and P. Rampuria, "Face recognition system based on Haar cascade classifier," *Int. J. Adv. Sci. Technol.*, vol. 29, no. 5, pp. 3799–3805, 2020.
- M. Turk and A. Pentland, "Eigenfaces for Recognition," *J. Cogn. Neurosci.*, vol. 3, no. 1, pp. 71–86, 1991, doi: 10.1162/jocn.1991.3.1.71.
- N. Kamarudin *et al.*, "Implementation of Haar cascade classifier and eye aspect ratio for driver drowsiness detection using raspberry Pi," *Univers. J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 6, no. 5, pp. 67–75, 2019, doi: 10.13189/ujeee.2019.061609.
- P. A. Riyantoko, Sugiarto, and K. M. Hindrayani, "Facial Emotion Detection Using Haar-Cascade Classifier and Convolutional Neural Networks," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1844, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1844/1/012004.
- P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, vol. 1, 2001, doi: 10.1109/cvpr.2001.990517.
- P. Viola and M. Jones, "Robust Real-Time Face Detection," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 57, pp. 137–154, 2004, doi: 10.1023/B:VISI.0000013087.49260.fb.
- Q. Yin, X. Tang, and J. Sun, "An associate-predict model for face recognition," *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, pp. 497–504, 2011, doi: 10.1109/CVPR.2011.5995494.
- S. O. Adeshina, H. Ibrahim, S. S. Teoh, and S. C. Hoo, "Custom face classification model for classroom using haar-like and LBP features with their performance comparisons," *Electron.*, vol. 10, no. 2, pp. 1–15, 2021, doi: 10.3390/electronics10020102.

- S. Pal, "Human Face Detection Technique using Haar-like Features," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 175, no. 32, pp. 56–60, 2020, doi: 10.5120/ijca2020920883.
- S. Srithar, I. Mettildha Mary, P. Baskaran, and T. Maheswaran, "Improved Haar Cascade Feature Extraction and Access Control Framework for Rich Internet Applications," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1916, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1916/1/012019.
- T. F. Cootes, K. Walker, and C. J. Taylor, "View-based active appearance models," in *Proceedings Fourth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, 2000, pp. 227–232, doi: 10.1109/AFGR.2000.840639.
- V. Blanz and T. Vetter, "A morphable model for the synthesis of 3D faces," *Proc. 26th Annu. Conf. Comput. Graph. Interact. Tech. SIGGRAPH 1999*, pp. 187–194, 1999, doi: 10.1145/311535.311556.
- Z. Abal Abas *et al.*, "The implementation of personal monitoring system using Histogram of Gradient, Haar classifier and eigenfaces for human detection and recognition," *ARN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 19, pp. 8799–8806, 2015.

## 10. Bibliografía

- Abduljabbar Mohammed, M., Qader Zeebaree, D., Mohsin Abdulazeez, A., Asaad Zebari, D., Dlovan Fadhil, Z., Ahmed, F. Y. H., & Majed Rashed, E. (2021, July 10). Machine learning algorithm for developing classroom attendance management system based on haar cascade frontal face. *2021 IEEE Symposium on Industrial Electronics & Applications (ISIEA)*. <http://dx.doi.org/10.1109/isiea51897.2021.9509990>
- Churta, A. U. (2020). Desarrollo de un sistema de reconocimiento del estado de los cultivos de café en tiempo real usando redes neuronales artificiales. *Revista CINTEX*, 25(2), 37–44. <https://doi.org/10.33131/24222208.362>
- Correa, M. S. (n.d.). *Parte II – modelos de sistemas de reconocimiento de rostros. Inteligencia artificial : 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro*. (2019). Alienta Editorial
- Haugeland, J. (2003). *La inteligencia artificial*. Siglo XXI Ediciones. [https://books.google.com.co/books?id=BcKGEg\\_HBvYC&printsec=frontcover&dq=john+haugeland+artificial+intelligence&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjO4rjku4H4AhUUjIkEHe pJDdEQ6AF6BAgLEAI#v=onepage&q=john%20haugeland%20artificial%20intelligence&f=false](https://books.google.com.co/books?id=BcKGEg_HBvYC&printsec=frontcover&dq=john+haugeland+artificial+intelligence&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjO4rjku4H4AhUUjIkEHe pJDdEQ6AF6BAgLEAI#v=onepage&q=john%20haugeland%20artificial%20intelligence&f=false)
- J. B. Magaña, J. R. Atoche, J. Molina C., M. Blanco, & E. Pérez. (2017). Estimación de la Distancia a un Objeto con Visión Computacional. *Ingeniería*, 21(2), 31–40. <https://www.redalyc.org/journal/467/46753192004/html/>
- Kim, E.-J. K. (2021). A Study on the Use of Haar Cascade Filtering to check Wearing Masks and Fever Abnormality. Proceedings of the Korean Institute of Information and Commucation Sciences Conference. *Proceedings of the Korean Institute of Information and Commucation Sciences Conference*, 474–477. <https://www.koreascience.or.kr/article/CFKO202132348574253.page>

Ramyashree, & Venugopala, P. S. (2021, November 1). *Implementing face search using haar cascade*. SpringerLink. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-3342-3\\_22](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-3342-3_22)

*Rapid object detection using a boosted cascade of simple features*. (n.d.). IEEE Xplore.

Retrieved May 28, 2022, from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/990517>