

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS					   	
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 1

Neiva, 23 de enero de 2023

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

NEIVA

El (Los) suscrito(s): Daniel Felipe Tovar Sánchez, con C.C. No. 1003812204, Yamileth Fernández cortés, con C.C. No. 1081161087, Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado Diseño de un prototipo para el control de acceso a personas en una empresa del sector manufacturero, basado en reconocimiento facial utilizando el clasificador Haarcascade y el método LBPH presentado y aprobado en el año 2023 como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Daniel Felipe Tovar Sánchez

Firma:

C.C. 1003812204

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Yamileth Fernández cortés

Firma:

C.C. 1081161087

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 4

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

Diseño de un prototipo para el control de acceso a personas en una empresa del sector manufacturero, basado en reconocimiento facial utilizando el clasificador Haarcascade y el método LBPH.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Tovar Sánchez	Daniel Felipe
Fernández Cortés	Yamileth

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Ramírez Gutiérrez	Julián Adolfo
Bravo Obando	Martín Diomedes

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Salgado Patrón	José de Jesús

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero electrónico

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería electrónica

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2023

NÚMERO DE PÁGINAS: 77

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 4

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una **X**):

Diagramas **X** Fotografías **X** Grabaciones en discos Ilustraciones en general **X** Grabados
 Láminas Litografías Mapas Música impresa Planos Retratos Sin ilustraciones Tablas
 o Cuadros **X**

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser *LAUREADAS* o *Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Reconocimiento facial	Facial recognition	6. Prototipo	Prototype
2. Visión artificial	Artificial vision	7. Tkinter	Tkinter
3. Interfaz gráfica	Graphic interface	8. MySQL	MySQL
4. Método LBPH	LBPH method		
5. Clasificador Haarcascade	Haarcascade classifier		

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El presente trabajo expone la implementación de un prototipo de sistema para el control y registro de acceso del personal corporativo de una empresa del sector manufacturero utilizando técnicas de reconocimiento facial. Para ello, se hace uso del *clasificador Haarcascade* que permitirá la obtención de las diferentes características primordiales del rostro y el método de *Histogramas de Patrones Binarios Locales (LBPH)* que evaluará las características locales de la imagen de manera correcta y adaptable ante distintos cambios de iluminación del entorno.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

3 de 4

En adición, se diseña un sistema de verificación previa capaz de identificar y evitar los posibles casos de fraude por suplantación de identidad a la hora de ingresar a las instalaciones de la empresa. Para ello, se hace uso de los recursos de *Face detection* y *Face mesh* brindados por la librería *Mediapipe*, cuyo propósito es establecer puntos de referencia en una región del rostro de interés precisa, en este caso, la localización y la relación de aspecto de los ojos.

La visualización de los datos se detalla a través de una interfaz gráfica de usuario (GUI) utilizando la librería que ofrece Python llamada *Tkinter*, la cual permite a su vez el tratamiento de la información de los usuarios que trabajan en estas instalaciones por medio de un *CRUD* conectado a una base de datos administrada por *MySQL* de manera local. Esto con el fin de garantizar la exportación de la información a los servicios de software que posee la empresa.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

This paper presents the implementation of a prototype system for access control and registration of corporate personnel of a manufacturing company using facial recognition techniques. For this purpose, the *Haarcascade classifier* is used to obtain the different primary characteristics of the face and the *Local Binary Pattern Histograms (LBPH)* method that will evaluate the local characteristics of the image in a correct and adaptable way when faced with different changes in the illumination of the environment.

In addition, a pre-verification system is designed to identify and avoid possible cases of fraud due to identity theft when entering the company's facilities. For this purpose, use is made of *Face detection* and *Face mesh* resources provided by the *Mediapipe* library, whose purpose is to establish reference points in a region of the face of precise interest, in this case, the location and aspect ratio of the eyes.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

4 de 4

The visualization of the data is detailed through a graphical user interface (GUI) using the Python library called *Tkinter*, which in turn allows the processing of information from users working in these facilities through a *CRUD* connected to a database managed by *MySQL* locally. This in order to guarantee the export of the information to the software services owned by the company.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado

José Luis Salgado Páez

Firma:

Nombre Jurado

Martin Bravo Obando

Firma:

Nombre Jurado:

Julian Adolfo Ramirez

Firma:

DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA EL CONTROL DE ACCESO A PERSONAS
EN UNA EMPRESA DEL SECTOR MANUFACTURERO, BASADO EN
RECONOCIMIENTO FACIAL UTILIZANDO EL CLASIFICADOR HAARCASCADE
Y EL METODO LBPH

DANIEL FELIPE TOVAR SANCHEZ
YAMILETH FERNANDEZ CORTES

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA
2022

DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA EL CONTROL DE ACCESO A PERSONAS
EN UNA EMPRESA DEL SECTOR MANUFACTURERO, BASADO EN
RECONOCIMIENTO FACIAL UTILIZANDO EL CLASIFICADOR HAARCASCADE
Y EL METODO LBPH

DANIEL FELIPE TOVAR SANCHEZ
YAMILETH FERNANDEZ CORTES

Trabajo de grado presentado
para optar al título de Ingeniero Electrónico

Director del proyecto
JOSE DE JESUS SALGADO PATRÓN
Ingeniero Electrónico

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA
2022

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Ciudad y Fecha (día, mes, año) (Fecha de entrega)

DEDICATORIAS

Este proyecto de grado se lo dedico primeramente a Dios, a mis padres y hermana quienes fueron un apoyo incondicional en mi proceso de formación personal y profesional, a mi compañero de tesis por su apoyo, entrega y dedicación en el desarrollo del presente proyecto de tesis.

YAMILETH FERNANDEZ CORTES

Este trabajo de grado se lo dedico principalmente a Dios;
A mi familia, por el apoyo que me han brindado durante estos años;
A mi compañera y tutor de tesis por sus valiosas y constructivas sugerencias
durante la planificación y desarrollo de este trabajo de investigación.
Y a todas las personas que a lo largo de este trayecto educativo han aportado
positivamente a mi formación personal y profesional.

DANIEL FELIPE TOVAR SANCHEZ

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios, a mis padres y hermana por brindarme su apoyo incondicional y motivación para seguir cumpliendo mis metas. A la Universidad Surcolombiana por abrirme sus puertas y permitir prepararme a nivel profesional. A mis docentes que me han proporcionado los conocimientos necesarios durante los años de estudio. A mi asesor y compañero de tesis por compartir sus conocimientos y tiempo para la realización de este trabajo.

Finalmente, quiero agradecer a toda mi familia y amigos que hicieron parte de esta importante etapa de mi vida, donde aprendí y logré superarme a nivel personal y profesional.

YAMILETH FERNANDEZ CORTES

Al concluir esta etapa maravillosa de mi vida me gustaría extender un profundo agradecimiento a quienes hicieron posible este sueño, aquellos que junto a mí caminaron a lo largo de este trayecto profesional y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza. Esta mención es en especial para Dios, mis padres, mi padrastro, mis hermanos, mis abuelos, mi pareja y mis amigos más cercanos. Muchas gracias a ustedes por demostrarme que «El esfuerzo no es simplemente una opción, es una decisión que toman todos aquellos que desean otorgarse el triunfo, que por muy pequeño que sea para otros, este siempre será su triunfo.»

Mi gratitud, también es para mí Alma Máter La Universidad Surcolombiana, por permitirme experimentar este proceso integral de formación; mi agradecimiento sincero al asesor de mi tesis, mi compañera de trabajo de grado y a cada docente quienes con su apoyo y enseñanzas constituyen la base de mi vida profesional.

Gracias, infinitas a todos.

DANIEL FELIPE TOVAR SANCHEZ

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	18
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
3. JUSTIFICACIÓN	21
4. OBJETIVOS	22
4.1 OBJETIVO GENERAL	22
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
5. MARCO TEÓRICO	23
5.1 BIOMETRÍA	23
5.2 RECONOCIMIENTO FACIAL	23
5.2.1 Adquisición de la imagen	25
5.2.2 Detección del rostro	25
5.2.3 Acondicionamiento y Normalización	25
5.2.4 Extracción de características	25
5.2.5 Algoritmo de reconocimiento.....	25
5.2.6 Base de datos	25
5.3 ALGORITMOS	26
5.3.1 Clasificador en cascada tipo Haar.....	26
5.3.2 Imagen integral	27
5.3.3 Algoritmo Adaboost.....	27

5.3.4 Clasificador en cascada	28
5.3.5 Histograma de patrones binarios locales (LBPH).....	28
5.4 MEDIAPIPE FACE MESH.....	32
5.4.1 Modelo MediaPipe Face Detection	33
5.4.2 Modelo Face Landmark.....	34
5.4.3 Detección de parpadeos de ojos.....	34
5.5 BASE DE DATOS MYSQL.....	35
6. METODOLOGÍA	37
6.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.....	38
6.1.1 Necesidades del usuario	38
6.1.2 Requerimientos funcionales.....	38
6.1.3 Requerimientos no funcionales.....	39
6.1.4 Casos de uso	40
6.2 DESARROLLO Y EVALUACIÓN DEL ALGORITMO DE RECONOCIMIENTO FACIAL.	47
6.3 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS DEL SISTEMA.....	50
6.4 DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO.....	53
6.5 DISEÑO DEL ALGORITMO DE DOBLE AUTENTICACIÓN.....	60
7. ANALISIS DE RESULTADOS.....	63
8. CONCLUSIONES	70
9. TRABAJO A FUTURO	72
BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS.....	76

TABLA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Registro del usuario.....	41
Cuadro 2. Visualizar usuarios registrados.....	42
Cuadro 3. Actualizar datos personales	43
Cuadro 4. Buscar y eliminar datos	43
Cuadro 5. Exportar historial de datos.....	44
Cuadro 6. Reconocimiento facial	45
Cuadro 7. Validación algoritmo de reconocimiento facial.....	63
Cuadro 8. Resultado detección de rostros.	65
Cuadro 9. Resultado reconocimiento de rostros sin tapabocas.	67
Cuadro 10. Resultado reconocimiento de rostros con tapabocas.....	67

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema de reconocimiento facial general.....	24
Figura 2. Clasificadores Haar.....	26
Figura 3. Valor LBP del píxel.....	29
Figura 4. Clasificación de los vecindarios sobre LBP circular.	30
Figura 5. Robustez del algoritmo ante transformaciones monotónicas de escala de grises.	31
Figura 6. Histograma de Patrones Locales Binarios	32
Figura 7. Disposición de los 468 puntos de referencia en 3D	33
Figura 8. Puntos de referencia asociados al ojo.	34
Figura 9. Estructura básica cliente-servidor.	36
Figura 10. Diagrama de casos de uso del sistema de reconocimiento facial.....	40
Figura 11. Frame extraído en a) RGB, b) escala de grises c) ecualizado.	47
Figura 12. Localización y registro del rostro en 4 posiciones diferentes	48
Figura 13. Almacenamiento en carpeta de las muestras tomadas del rostro.....	49
Figura 14. Asociación de etiquetas a rostros obtenidos.....	49
Figura 15. Etiqueta y valor de confianza asociado al rostro evaluado.	50
Figura 16. Inicialización de los módulos Apache y MySQL desde el panel de control de XAMPP.....	51
Figura 17. Interfaz de administración para la base de datos.....	52
Figura 18. Diagrama de entidad de la base de datos.....	52
Figura 19. Interfaz de inicio del aplicativo.	53

Figura 20. Interfaz de inicio de sesión.....	54
Figura 21. Mensaje de ingreso al sistema a) Inicio se sesión incorrecto b) Inicio de sesión correcto.....	54
Figura 22. Manual de usuario.....	55
Figura 23. Barra lateral del menu principal	56
Figura 24. Activacion del algoritmo de reconocimiento facial en segundo plano. .	56
Figura 25. Página para visualizar datos usuarios registrados	57
Figura 26. Página para registrar usuario	57
Figura 27. Página para actualizar datos usuario	58
Figura 28. Página para eliminar usuario	58
Figura 29. Historial del registro de ingreso/salida de los usuarios.	59
Figura 30. Subventana para escoger el historial del mes solicitado.....	59
Figura 31. Exportación base de datos a Excel	60
Figura 32. Orden de los puntos de referencia asociados al ojo en sentido horario.	61
Figura 33. Puntos de referencia ubicados en el ojo izquierdo y derecho del rostro.	61
Figura 34. Distancia vertical y horizontal entre los puntos de referencia asociados al ojo.	61
Figura 35. Resultado Reconocimiento Facial.....	62
Figura 36. Detección facial entrada principal a) Usuario 1. b) Usuario 2.	64
Figura 37. Detección facial zona de descarga. c) Usuario 3. d) Usuario 4.....	64
Figura 38. Resultado reconocimiento facial sin tapabocas.	66
Figura 39. Resultado reconocimiento facial con tapabocas	66

Figura 40. Validación del algoritmo de doble autenticación.	68
Figura 41. Cantidad de horas laboradas en una jornada de trabajo.	68
Figura 42. Análisis de registro de acuerdo con la cantidad de horas laboradas. ..	69

LISTA DE ANEXOS

	Pág
ANEXO 1. Presentación y solicitud para realizar pruebas de implementación en la empresa.	76
ANEXO 2. Autorización para realizar pruebas de implementación del prototipo en la empresa.	77

GLOSARIO

CLASIFICADOR DE OBJETOS: Secuencia de procesamiento que toma como referencia un objeto o imagen entrante no etiquetada y lo asigna o agrupa a una categoría en concreto ya establecida.

CLASIFICADOR DÉBIL: Es un clasificador de objetos de bajo rendimiento, que normalmente su respuesta levemente mejor que una decisión al azar.

CLASIFICADOR FUERTE: Suma ponderada de varios clasificadores débiles y que representa un mejor desempeño en cuanto a precisión, en comparación a un clasificador débil.

ECUALIZACIÓN DEL HISTOGRAMA: Método que se usa generalmente para aumentar el contraste local de muchas imágenes, especialmente cuando el contraste de los datos útiles de la imagen es bastante cercano. De esta forma, el brillo de una imagen se puede distribuir mejor en el histograma.

FALSOS POSITIVOS: Objetos que son detectados pero que resultan ser muestras erróneas que no deberían ser obtenidas en el proceso de detección.

FRAME: Imagen individual dentro de una sucesión de imágenes en movimiento, en este caso, un Video.

HISTOGRAMA: Para una imagen, es la representación gráfica de la distribución que existe de las distintas tonalidades de grises con relación al número de píxeles o porcentaje de estos.

MEDIAPIPE FACE MESH: Solución basada en la geometría de rostros que considera en tiempo real un total de 468 puntos de referencia en 3D.

MÉTODO LBPH: Histograma de patrones binarios, método que asigna etiquetas a cada uno de los píxeles de un frame teniendo en cuenta la distribución de los píxeles vecinos.

OPENCV: Biblioteca libre de visión artificial originalmente desarrollada por Intel.

PÍXEL: Es el elemento o cuadro más pequeño que forma parte de una imagen digital. Por lo que, la combinación de un conjunto de píxeles constituye como resultado una imagen.

TECNICA HAARCASCADE: Técnica basada en la concatenación de varios clasificadores débiles, donde cada uno analiza una porción diferente de un frame.

XAMPP: Paquete de software libre, que consiste en el sistema de gestión de bases de datos MySQL, el servidor web Apache y los interpretes para lenguajes de script PHP y Perl.

XML: Siglas de Extensible Markup Language, es un estándar para el intercambio de información estructurada entre diferentes plataformas. Los archivos XML pueden considerarse como bases de datos basadas en texto.

RESUMEN

El presente trabajo expone la implementación de un prototipo de sistema para el control y registro de acceso del personal corporativo de una empresa del sector manufacturero utilizando técnicas de reconocimiento facial. Para ello, se hace uso del *clasificador Haarcascade* que permitirá la obtención de las diferentes características primordiales del rostro y el método de *Histogramas de Patrones Binarios Locales (LBPH)* que evaluará las características locales de la imagen de manera correcta y adaptable ante distintos cambios de iluminación del entorno.

En adición, se diseña un sistema de verificación previa capaz de identificar y evitar los posibles casos de fraude por suplantación de identidad a la hora de ingresar a las instalaciones de la empresa. Para ello, se hace uso de los recursos de *Face detection* y *Face mesh* brindados por la librería *Mediapipe*, cuyo propósito es establecer puntos de referencia en una región del rostro de interés precisa, en este caso, la localización y la relación de aspecto de los ojos.

La visualización de los datos se detalla a través de una interfaz gráfica de usuario (GUI) utilizando la librería que ofrece Python llamada *Tkinter*, la cual permite a su vez el tratamiento de la información de los usuarios que trabajan en estas instalaciones por medio de un *CRUD* conectado a una base de datos administrada por *MySQL* de manera local. Esto con el fin de garantizar la exportación de la información a los servicios de software que posee la empresa.

Finalmente, se realiza una serie de recomendaciones y conclusiones de acuerdo con las dificultades como a los sesgos que se presentaron en la instalación del sistema y su respectivo periodo de prueba dentro de la empresa.

ABSTRACT

This paper presents the implementation of a prototype system for access control and registration of corporate personnel of a manufacturing company using facial recognition techniques. For this purpose, the *Haarcascade classifier* is used to obtain the different primary characteristics of the face and the *Local Binary Pattern Histograms (LBPH)* method that will evaluate the local characteristics of the image in a correct and adaptable way when faced with different changes in the illumination of the environment.

In addition, a pre-verification system is designed to identify and avoid possible cases of fraud due to identity theft when entering the company's facilities. For this purpose, use is made of *Face detection* and *Face mesh* resources provided by the *Mediapipe* library, whose purpose is to establish reference points in a region of the face of precise interest, in this case, the location and aspect ratio of the eyes.

The visualization of the data is detailed through a graphical user interface (GUI) using the Python library called *Tkinter*, which in turn allows the processing of information from users working in these facilities through a *CRUD* connected to a database managed by *MySQL* locally. This in order to guarantee the export of the information to the software services owned by the company.

Finally, a series of recommendations and conclusions are made according to the difficulties and biases that occurred during the installation of the system and its respective test period within the company.

1. INTRODUCCIÓN

Con el transcurso del tiempo, el constante desarrollo de la automatización de procesos basados en software se ha convertido en una herramienta fundamental en la agilización de tareas cotidianas. Por esta razón, diferentes instituciones del sector tanto público como privado, han decidido invertir y emplear estos sistemas con el fin de optimizar sus recursos ya existentes. Como, por ejemplo, el control de ingreso, registro o asistencia a un sitio determinado, esto ha dado lugar al desarrollo de técnicas como lo es el reconocimiento automático basado en rasgos biométricos, que son aquellas características únicas tanto físicas como de comportamiento que permiten realizar el reconocimiento de personas¹. Entre las técnicas de reconocimiento automático basado en rasgos biométricos, últimamente se está profundizando mucho en el estudio del método de reconocimiento facial, debido a su baja intrusividad y buenos resultados, la cual se convierte en una gran candidata para ser aplicada en entornos donde otras técnicas no son factibles. Para realizar dicho proceso se requiere de la aplicación de un software, técnicas y algoritmos que permitan extraer una serie de patrones del rostro de los individuos², es aquí donde empieza a tener un papel fundamental el campo de la visión por computador, ya que este se encarga del estudio de los diferentes procesos asociados a la visión natural, y que tiene como fin entender estos procesos y construir máquinas con capacidades similares³. Entre los métodos de reconocimiento facial se pueden clasificar en procedimientos "*geométricos*" y "*fotométricos*". La primera categoría se basa en extraer características específicas de imágenes de personas. Por ejemplo, el sistema puede analizar la posición relativa, el tamaño y la forma de ojos, boca, nariz, mejillas, etc. La segunda categoría es más un método estadístico. Utiliza una base de datos de imágenes, en donde se extrae caras de ella, se normaliza y comprime los datos. Y luego, se cuantifica la imagen de prueba basándose en estos datos⁴.

¹ Pavón, S. D. Reconocimiento facial mediante el análisis de componentes principales [En línea] [Consultado el 17 de junio de 2021]. Disponible en: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91426/fichero/TFG_SARA_DOMINGUEZ_PAVON.pdf

² Ponce, R.A. El auge del reconocimiento facial y los nuevos desafíos en cuanto a privacidad de datos. [En línea]. [Consultado el 18 de junio de 2021]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/RamiroPonce4/el-auge-del-reconocimiento-facial-y-los-nuevos-desafos-en-cuanto-a-privacidad-de-datos-70356200>

³ Barriga, E. R. Aplicación práctica de la visión artificial para el reconocimiento de rostros en una imagen, utilizando redes neuronales y algoritmos de reconocimiento de objetos de la biblioteca OpenCV. [En línea]. [Consultado el 18 de junio de 2021]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6104/CaballeroBarrigaEdisonRene2017.pdf?sequence=1>

⁴ Andreea, P. V. Aplicación para detección y reconocimiento facial en interiores. Sevilla: Dep. Ingeniería de Sistemas y Automática Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla.

Basado en lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo diseñar un prototipo de sistema que permita realizar el control de acceso a las instalaciones de una empresa del sector manufacturero, a través de análisis de rasgos biométricos utilizando el método de *Histogramas de Patrones Binarios Locales (LBPH)* y el clasificador *Haarcascade* por medio de software de licencia libre, evaluando y clasificando en tiempo real los diferentes rasgos faciales de las personas registradas en la base de datos en entornos de iluminación variable y los posibles sesgos que este sistema conlleve.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una empresa del sector manufacturero en la ciudad de Neiva ha presentado fallas en el cumplimiento de los horarios por parte de los empleados y posibles casos de suplantación de identidad con tal de cubrir su jornada establecida. Esto se debe a que las instalaciones de trabajo carecen de un registro y monitoreo óptimo que asegure un correcto horario laboral. Como consecuencia, se ha visto reflejado una disminución en la producción en el área de carpas para vehículos de carga frente a los pedidos pendientes que ha tenido la empresa, llevando a que ésta última genere pérdidas en los últimos meses.

Teniendo en cuenta la situación anterior, se ha decidido evaluar la posibilidad de implementar un prototipo de un sistema fundamentado en técnicas de reconocimiento facial que permita llevar un control y registro en tiempo real del ingreso y salida de los empleados a las instalaciones de la empresa. Gracias a esto, se podrá corroborar y realizar un correcto ajuste de nómina regulando el pago de los empleados de acuerdo con la cantidad de horas trabajadas. Por lo tanto, se propone abarcar dicha problemática mediante la siguiente pregunta:

¿Es posible implementar un prototipo de un sistema con reconocimiento facial basado en técnicas de visión artificial que permita llevar un control y registro en tiempo real del acceso al personal laboral de una empresa del sector manufacturero, garantizando así el correcto cumplimiento de su plantilla de nómina?

3. JUSTIFICACIÓN

El reconocimiento facial como herramienta para la identificación de personas ha sido un desafío para algunas disciplinas como la visión por computador y la biometría. Ya que, en condiciones controladas, estos sistemas tienen la ventaja de ser rápidos, precisos, económicos y de utilizar métodos no invasivos. Sin embargo, en condiciones no controladas, se enfrentan a diferentes problemas relacionados con los datos a analizar, como cambios de proporciones, orientación, expresiones faciales, condiciones de iluminación, oclusión, etc.

Por otra parte, el uso tradicional de sistemas de identificación biométrica utiliza recursos que se pueden perder, olvidar, compartir, manipular o robar; ocasionando problemas desde económicos hasta asuntos de seguridad. Debido a estos inconvenientes, diferentes instituciones del sector tanto público como privado, han decidido invertir en nuevos sistemas de reconocimiento facial desarrollados mediante técnicas y métodos más óptimos con un mejor rendimiento de software y bajo coste computacional permitiendo ser usados en tiempo real.

Por lo tanto, debido a la naturaleza del problema en que se expone este proyecto, el presente trabajo provee una solución viable y eficiente, fundamentada en el uso de tecnologías de procesamiento de imagen y la automatización de procesos permitiendo así una mayor optimización en el control y registro del acceso a todo el personal vinculado a la empresa.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar e implementar un prototipo de un sistema de reconocimiento facial en tiempo real a través de una aplicación dirigida por computador que permita la identificación, el registro y control del proceso de acceso y salida para el personal profesional de una empresa del sector manufacturero en la ciudad de Neiva.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar un algoritmo que sea capaz de identificar y registrar en tiempo real la cantidad de empleados que ingresan y salen de las instalaciones de la empresa.
- Evaluar la exactitud que presenta la técnica de *histograma de patrones binarios locales (LBPH)* frente a los métodos tradicionales y las diferentes formas de registro de acceso en un entorno laboral.
- Establecer una base de datos local que permita almacenar y gestionar los datos de acceso y salida del personal laboral según su horario de trabajo.
- Diseñar una interfaz gráfica mediante un lenguaje de programación de entorno libre, que permita la adquisición, clasificación y almacenamiento de imágenes faciales a través de una cámara web.
- Garantizar el respaldo de la información de registro a los diferentes servicios de software que dispone la empresa, en este caso, los servicios de *Microsoft Excel*.
- Implementar un algoritmo de doble verificación de identidad que permita la autenticación y validación del usuario frente a los posibles sesgos que trae el reconocimiento de rostros

5. MARCO TEÓRICO

5.1 BIOMETRÍA

La biometría hace referencia al conjunto de características fisiológicas o de comportamiento que pueden ser utilizados en la verificación de identidad de una persona. Esto incluye reconocimiento visual, reconocimiento de iris, huellas digitales, geometría de la mano, entre otras técnicas⁵.

En diferentes ámbitos empresariales se hace uso del método de reconocimiento facial, con el fin de poder reconocer y clasificar el personal de la empresa de manera automática teniendo como entrada la imagen de la persona en tiempo real, la cual es evaluada mediante la extracción de sus características faciales que, al ser comparadas con la base de datos, se determina si hace parte del talento humano administrativo de la misma, permitiendo así, una rápida y eficaz respuesta en comparación con los registros tradicionales.

5.2 RECONOCIMIENTO FACIAL

El reconocimiento facial se define como "una aplicación de software biométrico que puede identificar o verificar de manera única a una persona mediante la comparación de patrones y el análisis basado en los contornos faciales"⁶

Con el pasar de los años, el reconocimiento facial se ha convertido en un amplio campo de investigación, apoyado por el rápido desarrollo de herramientas de programación y sistemas digitales (como equipos de procesamiento y memoria); En donde se involucran diversas disciplinas, como el procesamiento digital de imágenes, el reconocimiento de patrones, visión por computadora y las redes neuronales. Se le asocia a este tipo de procesos el campo del reconocimiento de objetos, donde un rostro humano se considera un objeto afectado por condiciones variables de iluminación, distancia, orientación y su posición en tres dimensiones.

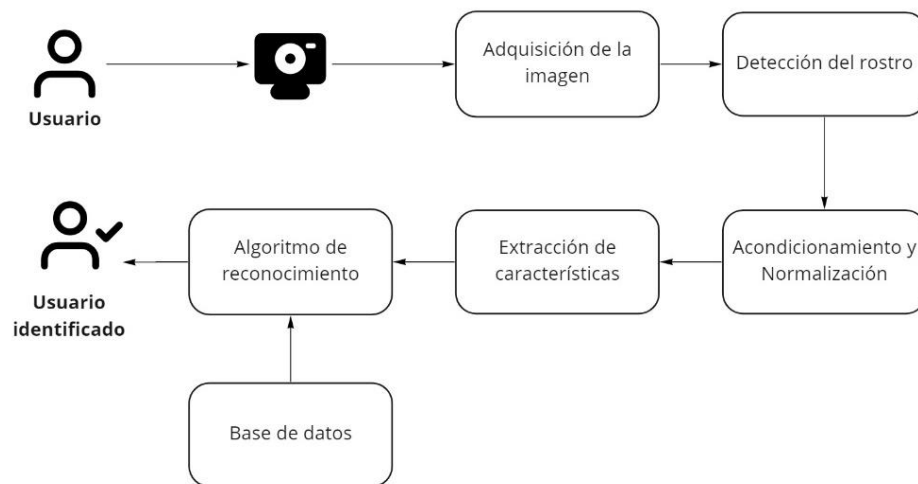
⁵ M. Mora C. Sanz Sistemas Biométricos [Informe]. - 2021.

⁶ CABALLERO et al Reconocimiento facial por el metodo de Eigenfaces [Informe].México: Tecnológico Nacional de Mexico/ Instituto Tecnológico de Oaxaca, 2017.

Entre los métodos de identificación más populares, cabe mencionar el método Eigenfaces, el método de Histograma de Patrones Binarios Locales, el algoritmo Fisherface, el análisis Lineal Discriminar, el Modelo de Markov Oculto, el Subespacio de Aprendizaje Multilineal y la Contrapartida de Enlace Dinámico, los cuales brindan unos resultados con buena precisión. Según avances en el reconocimiento facial se marca una tendencia representada en el reconocimiento facial en tercera dimensión. Este método utiliza una cámara 3D para capturar datos sobre el rostro de alguien. En comparación con el reconocimiento 2D tradicional, esta tecnología tiene mejores resultados porque no es sensible a los cambios en la luz, las diferentes expresiones faciales, el maquillaje y puede reconocer la perspectiva e incluso los contornos⁷.

Una ejemplificación del funcionamiento de un sistema de reconocimiento facial general se desarrolla como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Sistema de reconocimiento facial general



Fuente: Fases básicas en el reconocimiento facial. [imagen]. DEEBA, Farah. Memon, Hira. DHAREJO, Aliz. AHMED, Aftab. GHAFAR, Abddul. Reconocimiento facial mejorado en tiempo real basado en LBPH.

⁷ VIORICA Aplicación para Detección y Reconocimiento Facial en Interiores [Informe]. Sevilla: Universidad de Sevilla, 2016

5.2.1 Adquisición de la imagen

En esta primera parte, se obtiene la imagen que será posteriormente procesada mediante el uso de una cámara web.

5.2.2 Detección del rostro

Se encarga de detectar el rostro en la imagen que ha sido previamente adquirida sin identificarla. Si se trata de un video, también se puede realizar un seguimiento al rostro mediante un recuadro proporcionando así su localización dentro de la imagen.

5.2.3 Acondicionamiento y Normalización

Se localiza los componentes del rostro, normalizándose respecto a ciertas propiedades, por ejemplo, el tamaño, la posición y la iluminación. Para realizar el proceso de normalización en el rostro de la imagen se puede seguir diferentes pautas como la posición de la nariz, la distancia entre las pupilas, la distancia entre las comisuras de los labios, la distancia entre el trago de cada oreja. También es necesario definir la gama de colores y el tamaño de la imagen ya que de esta manera se disminuye el coste computacional del sistema, también se realiza la ecualización del histograma con el fin de obtener en la imagen un histograma con distribución uniforme.

5.2.4 Extracción de características

En este bloque se adquiere la información para distinguir entre los rostros de las diferentes personas de acuerdo con sus variaciones fotométricas.

5.2.5 Algoritmo de reconocimiento

Se realiza la comparación entre el vector de características del rostro de entrada con el vector de características extraídas de los rostros que se encuentran guardados en la base de datos. Si la comparación presenta un nivel de similitud alta, el sistema de reconocimiento facial mostrará la identidad del usuario, de lo contrario indicará que el usuario no ha sido identificado.

5.2.6 Base de datos

Se almacena las imágenes de los rostros que posteriormente serán comparadas con la nueva imagen de entrada con su respectiva información.

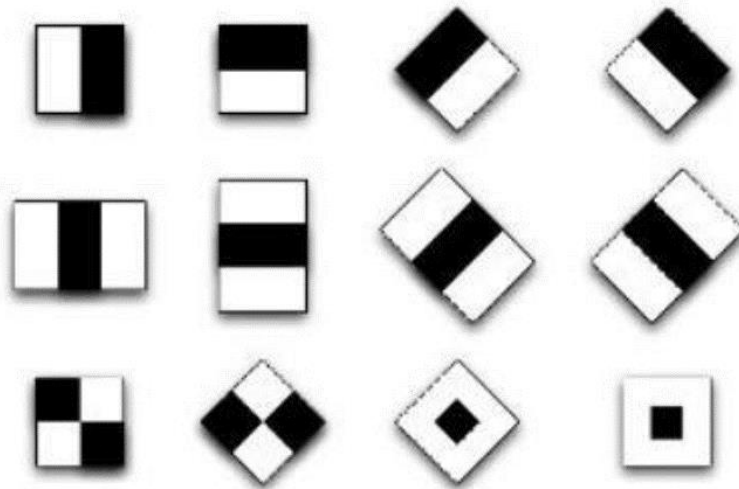
5.3 ALGORITMOS

5.3.1 Clasificador en cascada tipo Haar.

La detección de objetos mediante el uso de un *clasificador en cascada* basado en la *función Haar* es un método preciso para la detección de objetos propuesto por Paul Viola y Michael Jones en su artículo “Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features” basado en aprendizaje automático⁸, que a partir de esto entrena la función en cascada a través de muchas imágenes de características positivas y otras de características negativas del objeto para así lograr detectar objetos en otras imágenes.

Al trabajar con detección de rostros, el algoritmo requiere una base de datos donde haya imágenes positivas (Caras/Rostros) y una base de datos de imágenes negativas (Objeto diferente a un rostro) para lograr entrenar el clasificador, el cual bajo un “núcleo convolucional” constituido por características Haar en donde cada una brindará un valor individual que se obtiene restando la suma de píxeles bajo rectángulo blanco de la suma de píxeles bajo rectángulo negro como se evidencia en la Figura 2.

Figura 2. Clasificadores Haar



Fuente: Unipython. Clasificadores Haar. [Imagen]. Detección de rostros, caras y ojos con Haar Cascade. [Consultado el 22 de junio de 2021]. Disponible en: <https://unipython.com/deteccion-rostros-caras-ojos-haar-cascad/>

⁸ VIOLA JONES Rapid object detection using a boosted cascade of simple features [Informe]. [s.l.] Actas de conferencia de la sociedad de computadoras IEEE de 2001 sobre visión por computadora y Reconocimiento de Patrones, 2001

Sin embargo, al utilizar todos los diferentes clasificadores en varios tamaños y ubicaciones posibles, cada núcleo calculará un gran número de características (Ej: una ventana de 24×24 resultará con más de 160.000 características), dado a que para cada cálculo de características se debe encontrar la suma de píxeles bajo rectángulos blancos y negro; debido a este problema se introduce el concepto de *Imagen integral* ⁹.

5.3.2 Imagen integral

Consiste en un método rápido y eficiente para calcular la suma de los valores de los píxeles en cualquier zona rectangular de una imagen dada. Aquí su función será en particular simplificar el cálculo de la suma de píxeles, que tan grande puede ser el número de píxeles, a una operación que involucra sólo cuatro píxeles. Pero entre todas estas características que se calculan, la mayoría de ellas son irrelevantes. Por ejemplo, si se considera la imagen de un rostro, el primer rasgo que selecciona podría centrarse en la propiedad de que la región de los ojos es un poco más oscura que la región de la nariz y las mejillas. Otra posible característica a seleccionar se basa en la propiedad de que los ojos son más oscuros que el puente de la nariz. Pero las mismas ventanas que se aplican en las mejillas o cualquier otro lugar dará algunos resultados irrelevantes¹⁰. Para lograr un buen proceso de selección se requiere el uso del algoritmo *Adaboost*.

5.3.3 Algoritmo Adaboost

Su término *Adaboost* proviene del inglés “Adapting Boosting” (Boost adaptativo) y se refiere a un meta algoritmo de machine learning creado por Robert Schapire y Yoav Freund en 2003, cuyo objetivo es combinar la salida de algunos clasificadores débiles en una suma ponderada, creando así un clasificador final robusto, cuyo error tiende exponencialmente a cero”¹¹.

En su proceso, cada característica encuentra el mejor umbral que clasifica a los objetos (Rostros) en positivos o negativos. A pesar de haber algunos errores, se selecciona las características bajo una tasa de error mínima, ya que, al principio cada imagen tiene el mismo peso. Después de cada clasificación, se aumenta el peso de las imágenes mal clasificadas. De nuevo se hace el mismo proceso, se vuelven a calcular nuevas tasas de error y también nuevos pesos. Así hasta que el proceso alcanza la precisión o la tasa de error requerida o se encuentra el número

⁹ LAHOTI Implementing face detection using the Haar Cascades and AdaBoost algorithm [En línea].20 de Febrero de 2018.[Consultado el 21 de Junio de 2021] Disponible en: <https://hub.packtpub.com/implementing-face-detection-using-haar-cascades-adaboost-algorithm/>.

¹⁰VIOLA JONES, Op. Cit.

¹¹InteractiveChaos AdaBoost [En línea].2018. [Consultado el 22 de Junio de 2021] Disponible en: <https://interactivechaos.com/es/manual/tutorial-de-machine-learning/adaboost>.

requerido de características. Por lo tanto, las mejores características clasificarán las imágenes en objetos faciales o no faciales¹².

Por último, se establece a un clasificador final con las características cuya tasa de error sea mínima, este será una suma ponderada de clasificadores débiles que opte por evaluar cada una de ellas (Ej: si la ventana 24x24 tenía más de 160.000 características, el algoritmo entregará alrededor de 6.000 características eliminando las irrelevantes). Este proceso se verá mejor en el siguiente apartado.

5.3.4 Clasificador en cascada

El clasificador en cascada consiste en una serie de clasificadores organizados como una cascada de nodos de rechazo. Este proceso en cascada agrupa las características una por una en una serie de nodos. Para cada nodo, un candidato será clasificado como “not in class” (“no de esta clase”) para que así se termine instantáneamente el cálculo computacional. Tan sólo el candidato (característica) que logre atravesar la cascada entera será clasificado como una zona de rostro. Por lo tanto, el coste computacional se reduce significativamente, ya que la mayoría de las áreas que no contienen el objeto de interés serán rechazadas en alguna de las etapas de este clasificador¹³

5.3.5 Histograma de patrones binarios locales (LBPH)

El algoritmo de *histograma de patrones binarios locales* se propuso en 2006. Del cual se basa en operadores binarios locales, que consiste en un operador de textura sencillo pero muy eficaz que etiqueta los píxeles de una imagen mediante el umbral de la vecindad de cada píxel y considera el resultado como un número binario¹⁴.

Si se requiere obtener buenas tasas de reconocimiento se necesitan al menos 8(+1) imágenes para cada persona, es por esto que algunas investigaciones se han centrado en la extracción de características locales de las imágenes. La idea no es considerar toda la imagen como un vector de alta dimensión, sino describir sólo las características locales de un objeto. Las características que se extraigan de este modo tendrán una baja dimensionalidad implícita. Pero pronto se observa que la representación de la imagen que se nos da no sólo sufre variaciones de iluminación, sino también en temas como la escala, la traslación o la rotación en las imágenes,

¹² UNIPYTHON Detección de rostros, caras y ojos con Haar Cascad [En línea]. [Consultado el 22 de Junio de 2021] Disponible en: <https://unipython.com/deteccion-rostros-caras-ojos-haar-cascad/>.

¹³ VIOLA JONES, Op. Cit.

¹⁴ OpenGenusIQ LBPH algorithm for Face Recognition [En línea]. 2020.[Consultado el 22 de Junio de 2021] Disponible en: <https://iq.opengenus.org/lbph-algorithm-for-face-recognition/>

por lo que la descripción local tiene que ser al menos un poco robusta contra esas cosas. Por lo tanto, la metodología de los *Patrones Binarios Locales* tiene sus raíces en el análisis de texturas 2D. cuya idea básica se enfoca en tomar un píxel como centro y se hace un umbral con sus vecinos. Si la intensidad del píxel central es mayor-igual que la de su vecino, entonces se denota con 1 y 0 si no¹⁵

Una descripción más formal del *operador LBP* se puede dar como:

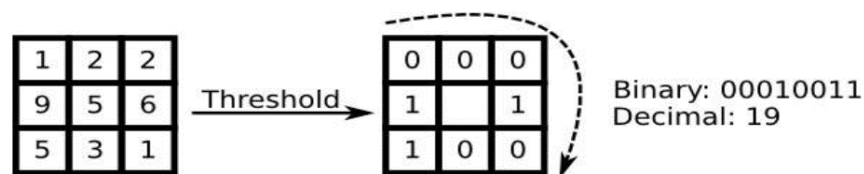
$$LBP_{(x_c, y_c)} = \sum_{p=0}^{P-1} 2^p S(i_p - i_c) \quad \text{Ec. (1)}$$

con (xc, yc) como píxel central con intensidad (ic); y siendo (ip) la intensidad del píxel vecino. Utilizando el valor medio del píxel como umbral, se compara un píxel 15 con sus 8 píxeles más cercanos. Por lo tanto, (s) que es la función de signo definida como:

$$s(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{Ec. (2)}$$

Si el valor del vecino es mayor o igual que el valor central se establece como 1, de lo contrario se establece como 0. Así, se obtiene un total de 8 valores binarios de los 8 vecinos. Después de combinar estos valores obtenemos un número binario de 8 bits que se traduce a un número decimal para nuestra comodidad. Este número decimal se denomina *valor LBP* del píxel y su rango es de 0 a 255, así como se observa en la Figura 3.

Figura 3. Valor LBP del píxel

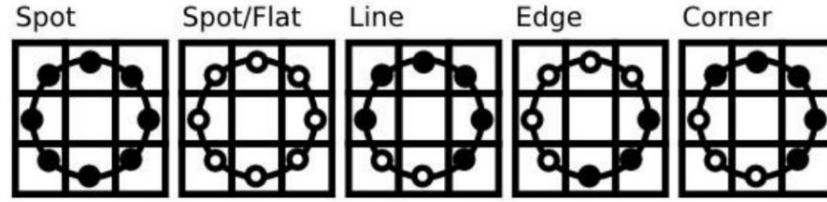


Fuente: OpenCV. Valor LBP del píxel. [Imagen]. Face Recognition with OpenCV. [Consultado el 22 de junio de 2021]. Disponible en: https://docs.opencv.org/4.2.0/da/d60/tutorial_face_main.html#tutorial_face_eigenfaces

¹⁵ TROYA LBP y ULBP. Local Binary Patterns y Uniform Local Binary Patterns [En línea]. 26 de Febrero de 2016.[Consultado el 22 de Junio de 2021]. Disponible en: <https://cesartroyasherdek.wordpress.com/2016/02/26/deteccion-de-objetos-vi/>

Más tarde se observó que un vecindario fijo no lograba codificar los detalles que variaban en la escala. Es así que, el algoritmo se mejoró para utilizar un número diferente de radios y vecinos, el cual ahora se conoce como LBP circular. La idea es alinear un número arbitrario de vecinos en un círculo con un radio variable. De esta manera se capturan los siguientes vecindarios:

Figura 4. Clasificación de los vecindarios sobre LBP circular.



Fuente: OpenCV. Valor LBP del pixel. [Imagen]. Face Recognition with OpenCV. [Consultado el 22 de junio de 2021]. Disponible en: https://docs.opencv.org/4.2.0/da/d60/tutorial_face_main.html#tutorial_face_eigenfaces

Para un punto dado (x_c, y_c) la posición del vecino (x_p, y_p) , $p \in P$ se puede calcular mediante:

$$\begin{aligned} x_p &= x_c + R \cos\left(\frac{2\pi p}{P}\right) \\ y_p &= y_c - R \sin\left(\frac{2\pi p}{P}\right) \end{aligned} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde R es el radio del círculo y P es el número de puntos de muestra.

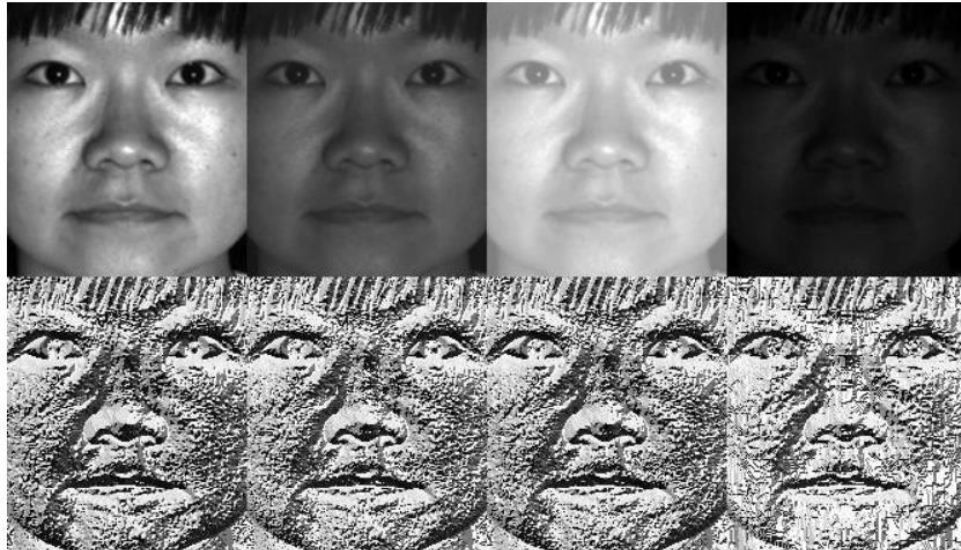
Si las coordenadas de un punto en el círculo no se corresponden con las coordenadas de la imagen, se interpolan generalmente por interpolación bilineal:

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} 1-x & x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) \\ f(1,0) & f(1,1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1-y \\ y \end{bmatrix} \quad \text{Ec. (4)}$$

Por definición, el *operador LBP* es robusto frente a las transformaciones monotónicas de la escala de grises, como se observa en la Figura 5. Así que lo que

queda por hacer es incorporar la información espacial en el modelo de reconocimiento facial implementado¹⁶.

Figura 5. Robustez del algoritmo ante transformaciones monotónicas de escala de grises.



Fuente: OpenCV. Robustez del algoritmo ante transformaciones monotónicas de escala de grises. [Imagen]. Face Recognition with OpenCV. [Consultado el 22 de junio de 2021]. Disponible en:

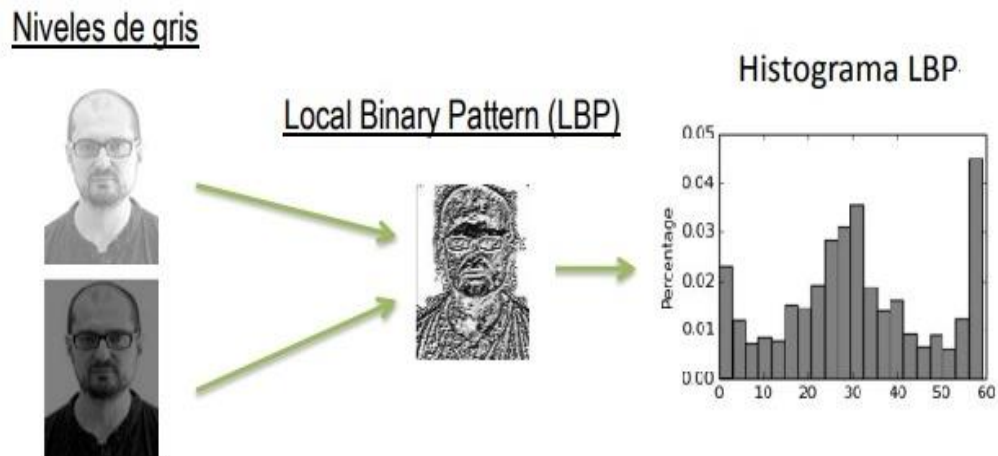
https://docs.opencv.org/4.2.0/da/d60/tutorial_face_main.html#tutorial_face_lbph

Sin embargo, para desarrollar la representación de este algoritmo se propone dividir la imagen LBP en m regiones locales y extraer un histograma de cada una. El vector de características espacialmente mejorado se obtiene entonces concatenando los histogramas locales (sin fusionarlos). La implementación de estos histogramas frente al algoritmo LBP es lo que se denomina *Histogramas de Patrones Binarios Locales*¹⁷

¹⁶OpenCV Face Recognition with OpenCV [En línea]. 20 de Diciembre de 2019. [Consultado el 22 de Junio de 2021]. Disponible en: https://docs.opencv.org/4.2.0/da/d60/tutorial_face_main.html#tutorial_face_eigenfaces.

¹⁷ AHONEN, Timo; HADID, Abdenour y PIETIKÄINEN, Matti. Face recognition with local binary patterns. In Computer vision-eccv 2004, pages 469–481. Springer, 2004

Figura 6. Histograma de Patrones Locales Binarios



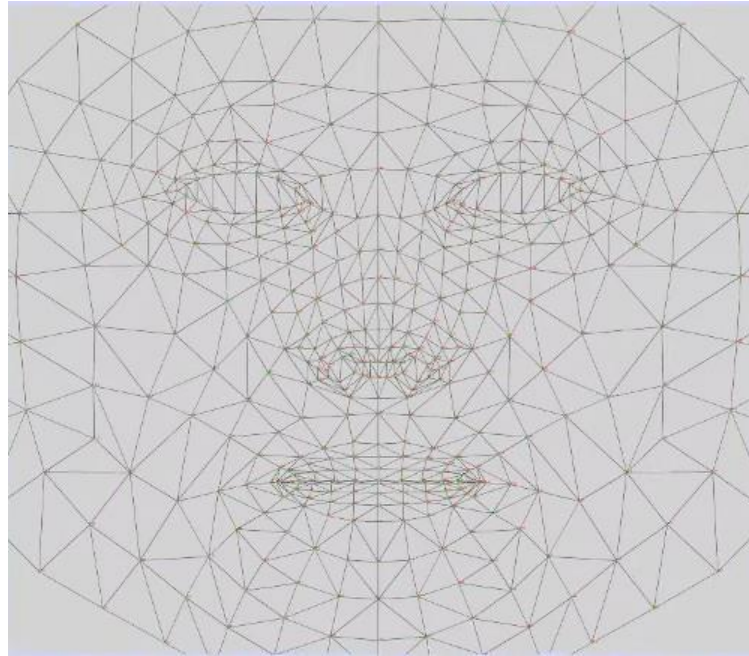
Fuente: Clasificación de objetos: local binary patterns. Departamento de ciencias de la computación, Universitat Autònoma de Barcelona. 2015.

5.4 MEDIAPIPE FACE MESH

MediaPipe Face Mesh o también conocida como malla facial, es una solución basada en la geometría de rostros que considera en tiempo real un total de 468 puntos de referencia en 3D. Debido a que esta solución utiliza el modelo de aprendizaje automático Machine learning (ML) para inferir la geometría de la superficie en 3D, se requiere solo como entrada una cámara sin necesidad de usar sensores de profundidad¹⁸

¹⁸ MediaPipe. MediaPipe Face Mesh. [En línea] [Consultado el 24 de marzo de 2022]. Disponible en: https://google.github.io/mediapipe/solutions/face_mesh

Figura 7. Disposición de los 468 puntos de referencia en 3D



Fuente: Disposición de los 468 puntos de referencia en 3D[Imagen]. Malla Facial (MediaPipe Face Mesh), Python-MediaPipe-OpenCV. [Consultado el 24 de marzo de 2022]. Disponible en: https://omesva.com/wpcontent/uploads/2021/06/468_puntos_facemesh.jpeg

Este sistema de solución requiere de dos modelos de redes neuronales profundos que funcionan juntos en tiempo real.

5.4.1 Modelo MediaPipe Face Detection

El modelo de detección de rostros es una solución basada en *BlazeFace*, el cual es un detector facial de buen rendimiento, diseñado para interferencias de GPU móviles con una excelente precisión. La solución también incluye seis puntos de referencia y afinidad con múltiples rostros ubicados en el centro del ojo derecho, centro del ojo izquierdo, nariz, centro de la boca, trago de la oreja derecha y trago de la oreja izquierda¹⁹. Luego, de tener ubicados los puntos de referencia anteriormente mencionados en el rostro de la imagen, se aplica el siguiente modelo:

¹⁹ MediaPipe. MediaPipe Face Detection. [En línea]. [Consultado el 25 de marzo de 2022]. Disponible en: https://google.github.io/mediapipe/solutions/face_detection.html

5.4.2 Modelo Face Landmark

El modelo *Face Landmark*, se aplica sobre el rostro que es detectado generando las posiciones de los puntos 3D. Dichos puntos de referencia van surgiendo a partir del seguimiento de fotogramas anteriores.

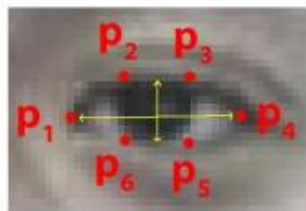
El entrenamiento del aprendizaje de los puntos de referencia del rostro en 3D, se hace con el fin de que la red cumpla con los siguientes objetivos: permita predecir simultáneamente coordenadas de puntos de referencia 3D en datos renderizados sintéticos y contornos semánticos en 2D en datos anotados del mundo real; la red obtenida debe ser capaz de proporcionar predicciones de puntos de referencia 3D correctos no solo en datos sintéticos sino también en datos del mundo real²⁰.

5.4.3 Detección de parpadeos de ojos

El proceso de detección de parpadeo es de gran utilidad en sistemas relacionados con el control de vigilancia de un operador humano, estado de somnolencia de un conductor, etc.

Al ser *MediaPipe Face Mesh* una solución que localiza regiones importantes del rostro, facilita la extracción de estructuras específicas del mismo teniendo en cuenta el valor de los puntos o índices de referencia de la parte facial a trabajar. En este caso, se hizo uso de los puntos referencia que se localizan en la región visual del rostro. Como se puede observar en la Figura 8, existen seis puntos de referencia faciales asociados a cada ojo (coordenadas x, y), que se ubican iniciando en la esquina izquierda del ojo siguiendo el orden en dirección de las manecillas del reloj.

Figura 8. Puntos de referencia asociados al ojo.



Fuente: Puntos de referencia asociados al ojo [Imagen]. Real-Time Eye Blink Detection using Facial Landmarks. [Consultado el 29 de marzo de 2022]. Disponible en: <http://vision.fe.uni-lj.si/cvww2016/proceedings/papers/05.pdf>

²⁰ MediaPipe. MediaPipe Face Mesh, Op. Cit.

Basado en la ubicación de los puntos de referencia del ojo, existe una ecuación que calcula la relación que existe entre el ancho y largo del ojo, conocida como *Relación de aspecto del ojo (EAR)*:

$$EAR = \frac{||p_2 - p_6|| + ||p_3 - p_5||}{2||p_1 - p_4||} \quad \text{Ec. (5)}$$

La ecuación 5 permite evaluar la proporción de las distancias de los puntos de referencia de cada ojo. Teniendo en cuenta la ubicación de dichas coordenadas (x,y) dentro de la ecuación, se observa que el numerador corresponde al cálculo de la distancia que existe entre los puntos de referencia verticales y el denominador a dos veces la diferencia que existe entre los puntos de referencia horizontales del ojo.

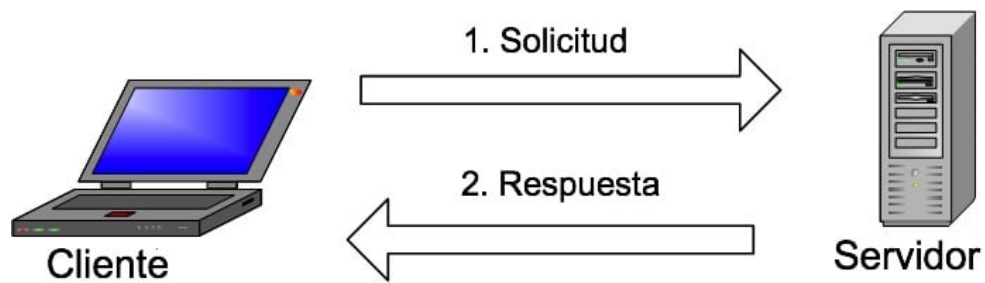
Lo anterior nos permite concluir que la *relación de aspecto del ojo* es constante mientras este se encuentra abierto y disminuye de manera rápida al valor cero cuando se genera el parpadeo.

5.5 BASE DE DATOS MYSQL

MySQL es un sistema de gestión de base de datos relacional (Database Management System, DBMS) de código abierto y uso gratuito que permite archivar datos en tablas separadas en lugar de guardar todos los datos en un archivo de gran tamaño, haciendo que este tenga mayor velocidad y flexibilidad. Estas tablas están relacionadas de formas definidas, por lo que se hace posible combinar distintos datos en varias tablas y conectarlos²¹.

²¹ MySQL [en línea]. [Consultado el 26 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://hostingpedia.net/mysql.html>

Figura 9. Estructura básica cliente-servidor.



Fuente: Estructura básica cliente-servidor [Imagen]. B, Gustavo. ¿Qué es MySQL? Explicación detallada para principiantes. Hostinger.mx [página web]. (27, mayo, 2022). Disponible en Internet: <<https://www.hostinger.mx/tutoriales/que-es-mysql>>.

Para la estructura básica cliente-servidor como se observa en la Figura 9, uno o más dispositivos (clientes) se conectan a un servidor a través de una red específica. Cada cliente puede realizar una solicitud desde la interfaz gráfica de usuario (GUI) en sus pantallas, y el servidor producirá el output deseado, siempre que ambas partes entiendan la instrucción. Sin meternos demasiado a fondo en temas técnicos, los procesos principales que tienen lugar en un entorno *MySQL* son los mismos, y son:

- *MySQL* crea una base de datos para almacenar y manipular datos, definiendo la relación de cada tabla.
- Los clientes pueden realizar solicitudes escribiendo instrucciones SQL específicas en *MySQL*.
- La aplicación del servidor responderá con la información solicitada y esta aparecerá frente a los clientes.

Es por ello, que para el presente proyecto se creó una base de datos local con ayuda de *MySQL* que permite almacenar y manipular los datos que corresponden a información básica del personal que a su vez se encuentra asociada al sistema de reconocimiento y dependerá del horario de ingreso y salida que se le haya establecido para acceder a las instalaciones de la empresa, en donde para la administración de bases de datos web, la opción que se escoge es *phpMyAdmin* a través de la paquetería para gestión de base de datos *XAMPP*.

6. METODOLOGÍA

Para el diseño del sistema de reconocimiento facial fue necesario estructurar el desarrollo del proyecto en 6 secciones que describe el uso de las herramientas, los requisitos y los métodos que se implementaron en una decisión conjunta con la empresa que requiere este aplicativo.

En primera instancia, se define los requerimientos del sistema de reconocimiento facial según la necesidad del usuario, los requerimientos funcionales, los requerimientos no funcionales y los casos de uso que tendrá el aplicativo dentro del área de trabajo; esto se evidenciará en la sección 6.1 a mayor detalle. Luego, para la siguiente sección, se explica el proceso que lleva a cabo el algoritmo *LBPH* para el reconocimiento facial evaluando sus principales características en relación a la exactitud en la detección e identificación de rostros, el tiempo de respuesta frente a cada predicción, el número de falsos positivos que se presentan con relación al tamaño de imágenes almacenadas en la base de datos y principalmente, a la robustez frente los diferentes cambios de iluminación que presenta cada uno de los escenarios ejemplo que se plantean como prueba, esto con el fin de realizar ajustes al algoritmo antes de ser implementado; esta información está relacionada en la sección 6.2.

En la sección 6.3 se explica el diseño de la base de datos que almacenará y gestionará los datos de acceso a todo el personal, en este caso, se establece una base de datos local de fácil y rápido acceso a la gran cantidad de datos que se va a procesar. En adición se evalúa la compatibilidad que tiene esta base de datos con el software que maneja la empresa

La sección 6.4 explica el desarrollo de la interfaz gráfica de usuario GUI, para la cual se hace uso de la librería que ofrece Python llamada *Tkinter*, ya que permite una mayor efectividad y una baja latencia a la hora de trabajar con imágenes para su respectivo procesamiento en comparación a otros entornos de interfaces graficas. En la sección 6.5 se describe el proceso para exportar y gestionar los datos almacenados en la base de datos local a los servicios de *Microsoft Excel* a través de la librería *xlwt* que ofrece Python, con el fin de poder visualizar y manejar la información correspondiente al registro de los horarios de ingreso/salida del personal de nómina.

Por último, en la sección 6.6 se implementa un algoritmo a solicitud de la empresa que permite realizar una doble verificación de identidad al personal, esto con el fin de evitar fraudes frente a los sesgos que conlleva el proceso de reconocimiento facial. Para ello, se introduce un modelo de malla facial con énfasis en los puntos de referencia asociados a la región visual del rostro.

6.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

A la hora de realizar el diseño del sistema de reconocimiento facial, se es importante definir las necesidades que tiene el usuario final para lograr resolver la problemática que se ha planteado desde un principio, es así que, a través del desarrollo de este proyecto se plantea una serie de secciones que permitirán estructurar de manera sólida cada uno de los objetivos planteados durante el desarrollo de este sistema. Por lo tanto, estos son:

6.1.1 Necesidades del usuario

Para esta sección se define el tipo de usuario al cual irá dirigido este aplicativo. Es decir, este sistema se enfocará en el seguimiento y registro de un grupo selecto de personas que estarán diariamente accediendo al área de trabajo dentro de las instalaciones que posee la empresa. Esto garantizará tanto para el usuario como para la empresa un resultado confiable dentro del conjunto de datos de rostros que serán analizados para el correcto registro de horario que tiene el trabajador.

6.1.2 Requerimientos funcionales

Se define como requerimientos funcionales a todas las acciones que deberá realizar el sistema frente a las condiciones en las que se plantea su implementación. Dentro de estos requerimientos se enlistan las siguientes actividades.

- El sistema requiere la creación de un usuario administrador que logre acceder a todas las funciones que ofrece el aplicativo.
- Antes de iniciar sesión, el sistema debe estar correctamente enlazado a la base de datos local para permitir el acceso del mismo.
- Establecer una conexión exitosa a los servicios de la cámara web que se utilice en ese momento.
- El sistema debe localizar el rostro dentro de la imagen e identificar la identidad de la persona antes de realizar su registro ya sea de ingreso o salida.

- El sistema debe garantizar la diferencia entre una persona y una imagen o video a la hora de realizar el reconocimiento facial.
- Para el registro de usuario, el personal puede en conjunto con el administrador configurar sus datos personales y realizar su respectivo registro facial.
- El administrador puede modificar, eliminar y agregar datos ya sea de rostros o de registro a la base de datos local.
- El usuario y el administrador pueden consultar los resultados que brinda el sistema ya sea dentro del aplicativo o exportando los datos a los servicios de *Microsoft Excel*.

6.1.3 Requerimientos no funcionales

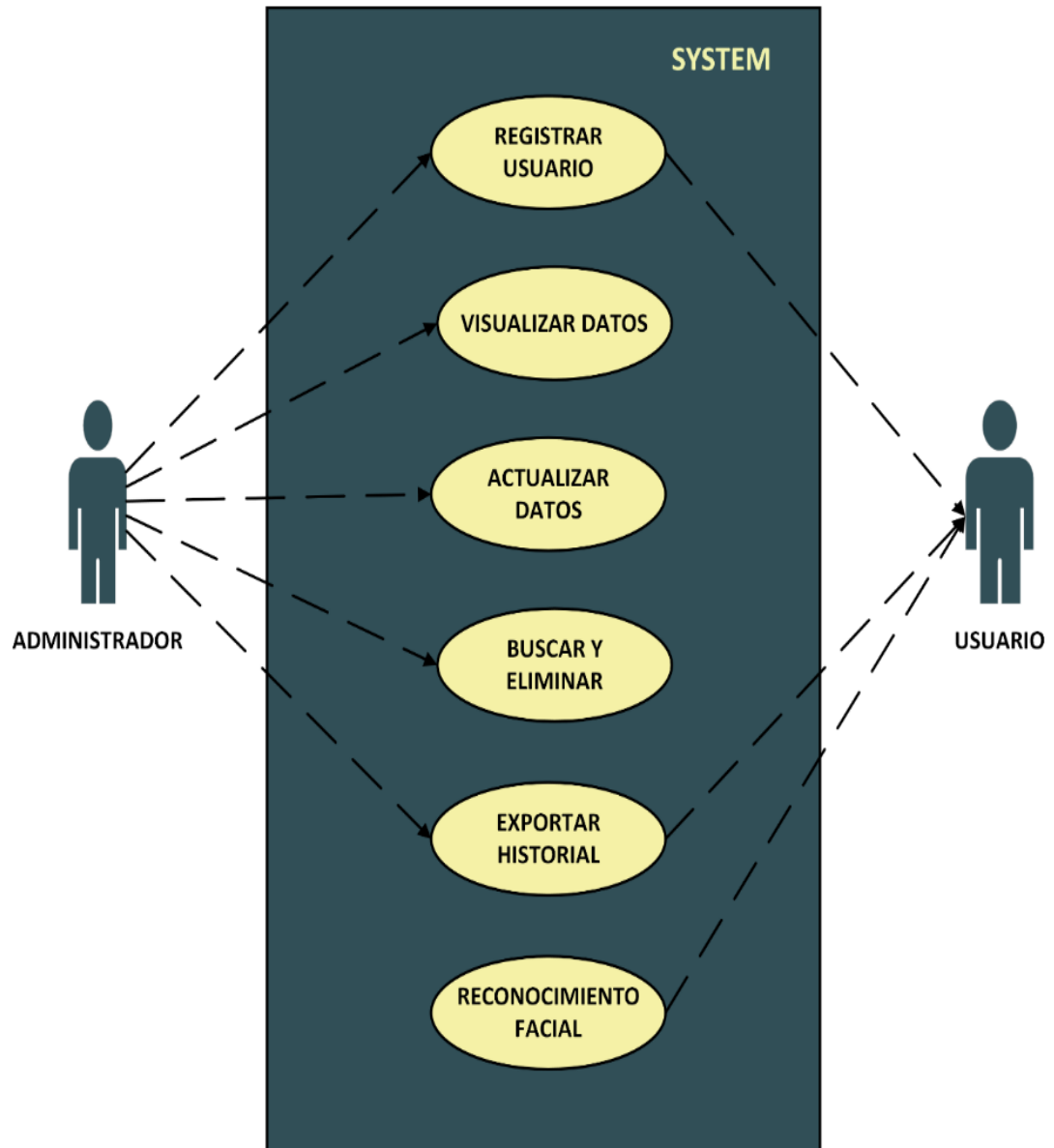
Los requerimientos no funcionales son aquellas características que pueden limitar o restringir la funcionalidad del sistema, esto ajeno al desarrollo de la aplicación. Entre estas se pueden definir como requerimientos no funcionales los siguientes:

- El rendimiento del software debe ser optimo en el procesamiento de las imágenes faciales, requiriendo de muy poco tiempo en realizar sus diferentes funciones sin importar el tipo de rostro.
- Para la captura de imágenes se requiere del uso de una cámara web de interfaz USB con una alta resolución y un lente de enfoque manual.
- La posición de la cámara debe ser sin obstáculos, con una iluminación estable y acorde al promedio de la altura de los empleados dentro del área de trabajo.
- Para un desempeño optimo, se recomienda que el rostro del usuario se encuentre en posición frontal ante la cámara al momento de realizar el reconocimiento facial.
- El equipo de cómputo debe garantizar un buen rendimiento a la hora de adquirir y/o almacenar recursos en la base de datos local. Para ello, este debe contar con características mínimas de procesador, memoria RAM y disco duro de estado sólido.

6.1.4 Casos de uso

En esta sección, se ilustra a través de diagramas de caso las funciones y procedimientos que lleva a cabo el sistema de reconocimiento facial a la hora de ser utilizada por un usuario dentro de las instalaciones de la empresa.

Figura 10. Diagrama de casos de uso del sistema de reconocimiento facial



A continuación, se realiza la descripción textual de cada caso de uso que envuelve el sistema de reconocimiento facial:

Cuadro 1. Registro del usuario

Caso de uso	Registro del usuario
Actor	Administrador y Usuario
Descripción	Se realiza el registro del personal vinculado en la empresa, agregando los siguientes datos: nombre, apellido, Identificación y cargo laboral. Posteriormente, se adquieren las muestras del rostro del usuario registrado.
Precondición	Tener inicializada la base de datos, la cámara web activa.
Postcondición	El usuario queda registrado en la base de datos, se almacena las muestras de rostro de manera normalizada y clasificada. Por último, se extraen las características del mismo para entrenar el algoritmo de red neuronal.
Flujo principal	
Paso 1	El administrador en compañía del usuario diligencia los datos personales dentro de las casillas predeterminadas.
Paso 2	El administrador dentro de la opción del menú, oprime el botón registrar para guardar los datos.
Paso 3	El administrador verifica que los datos han sido guardados de manera exitosa a través de un mensaje que aparece debajo de los datos predeterminados.
Paso 4	Luego de oprimirse el botón registrar aparecerá automáticamente una sub-ventana que permite tomar las muestras faciales ya sea a través de la cámara web o un video.
Paso 5	El usuario seguirá los pasos que indique el sistema, sean estos: ubicarse de manera frontal a la cámara, de perfil derecho, de perfil izquierdo y rostro frontal con tapabocas.
Paso 6	El sistema almacenará los datos, extraerá las características del rostro y clasificará esta información para entrenar el modelo de red neuronal; esto tomará aproximadamente unos minutos.
Paso 7	Una vez terminado el entrenamiento de la red neuronal, el sistema notificará al administrador que ha finalizado el proceso, esto por medio de un cuadro de texto.
Flujo alternativo	Error al conectar con la base de datos
Paso 1	El sistema a través de un texto debajo de los campos de registro, indicará que no fue posible almacenar la información en la base de datos, ya sea por campos vacíos o por un error en conexión.
Paso 2	Si existe algún problema de conexión se recomienda al administrador recargar la opción del menú o bien, verificar la conexión a la base de datos.
Flujo alternativo	Error al adquirir muestras de rostro

Cuadro 1. Continuación

Paso 1	El sistema no permitirá visualizar en la sub-ventana la extracción de rostros ya sea por cámara web o video.
Paso 2	El administrador debe verificar que este bien conectada la cámara web para evitar conflictos a la hora de acceder a ella. Si se requiere extraer rostro a través de un video, se tiene en cuenta que el sistema de cómputo no tenga la memoria RAM sin espacio disponible.

Cuadro 2. Visualizar usuarios registrados

Caso de uso	Visualizar usuarios registrados
Actor	Administrador
Descripción	Se muestra una tabla actualizada de la información de todos los usuarios registrados en la base de datos.
Precondición	Tener inicializada la base de datos local
Postcondición	La información de la base de datos se visualizará a través de una tabla con toda la información disponible de los usuarios registrados.
Flujo principal	
Paso 1	El administrador dentro de la opción del menú oprime el botón actualizar, lo cual permitirá visualizar los últimos registros que se hayan hecho en tiempo real.
Paso 2	El administrador podrá a través de una barra de desplazamiento dentro de la tabla podrá navegar desde el primer usuario registrado hasta el último.
Flujo alternativo	Tabla vacía.
Paso 1	Si existe un error de conexión el sistema no permitirá visualizar los datos de ningún usuario que se haya registrado.
Paso 2	Si el problema persiste se debe identificar que la base de datos este conectada.
Flujo alternativo	No se actualizan los datos de registro
Paso 1	El usuario no podrá visualizar el ultimo registro que se hizo dentro de la base de datos.
Paso 2	Si el problema persiste, el administrador debe verificar la conexión con la base de datos o seguir actualizando hasta que el dato final aparezca dentro de la tabla.

Cuadro 3. Actualizar datos personales

Caso de uso	Actualizar datos personales
Actor	Administrador
Descripción	Se realiza la actualización de la información suministrada por el personal vinculado en la empresa en el proceso de registro.
Precondición	Tener inicializada la base de datos.
Postcondición	La información del usuario se encuentra actualizada
Flujo principal	
Paso 1	El administrador inicia sesión y selecciona la opción actualizar en el menú del aplicativo.
Paso 2	Dentro de la casilla superior derecha, el administrador escribe algún dato del personal el cual quiere buscar su información, ya sea nombre, apellido o código.
Paso 3	El administrador oprime el botón buscar y aparecerán automáticamente los datos del personal buscado, en este caso, ID, nombre, apellido, identificación y cargo.
Paso 4	Se realiza el proceso de actualización del usuario modificando los datos en los campos requeridos y se oprime el botón actualizar.
Paso 5	El aplicativo devuelve un mensaje indicando que los datos han sido correctamente actualizados.
Flujo alternativo	Usuario no está registrado en la base de datos
Paso 1	El aplicativo devuelve un mensaje indicando que el usuario no existe en la base de datos.
Paso 2	Si no está registrado, se es necesario su respectivo registro de datos entro de la opción específica del menú para esto.
Flujo alternativo	No es posible actualizar los datos
Paso 1	El administrador debe verificar la conexión con la base de datos o seguir actualizando hasta que el sistema indique que se ha hecho todo de manera correcta final.

Cuadro 4. Buscar y eliminar datos

Caso de uso	Buscar y eliminar datos
Actor	Administrador
Descripción	Se realiza la búsqueda de los datos del usuario que posteriormente será eliminado de la base de datos del aplicativo.
Precondición	Tener inicializada la base de datos, el usuario se encuentre correctamente registrado.
Postcondición	La información del usuario ha sido eliminada.

Cuadro 4. Continuación

Flujo principal	
Paso 1	El administrador identifica previamente la identificación del personal que quiere eliminarse de la base de datos.
Paso 2	El administrador escribe dentro de la casilla el número de identificación correspondiente y oprime el botón “Buscar por Identificación”.
Paso 3	Dentro de la tabla de datos, se visualiza toda la información correspondiente de la persona que tiene ese respectivo ítem.
Paso 4	Se selecciona la fila correspondiente a la información del usuario buscado y se oprime en el botón eliminar
Paso 5	El sistema mostrará un mensaje previo a eliminar la información para que el administrador confirme la acción.
Paso 6	El sistema devuelve un mensaje indicando que el usuario ha sido eliminado correctamente de la base de datos.
Flujo alternativo	Usuario no registrado en la base de datos
Paso 1	El aplicativo devuelve un mensaje indicando que el usuario buscado no existe en la base de datos.
Paso 2	Se corrobora que el usuario esté registrado con el ID que se está buscando

Cuadro 5. Exportar historial de datos

Caso de uso	Exportar historial de datos
Actor	Administrador y Usuario
Descripción	Se realiza la exportación de los datos de registro que haya dentro de la base de datos; Estos se pueden elegir ya sea por un día en específico, un mes en concreto o bien exportar todos los datos disponibles. Los datos exportados se podrán visualizar a través de un archivo Excel que se descargará automáticamente al equipo de cómputo.
Precondición	Tener inicializada la base de datos, Se encuentren almacenados o existan datos de registro con la fecha en que se quiera exportar.
Postcondición	La información de la base de datos es correctamente exportada para ser utilizada en un archivo Excel.
Flujo principal	
Paso 1	El administrador o usuario identifica dentro del calendario la fecha en que quiera exportar la información, moviéndose por medio de las flechas disponibles en este ya sea el mes o si no, el año.

Cuadro 5. Continuación

Paso 2	El administrador o usuario oprime el botón “Escoger Fecha”.
Paso 3	El sistema indicará que se escogió la fecha especificada y automáticamente se procederá a descargarse el archivo Excel.
Flujo alternativo	Se requieren los datos de un mes en específico
Paso 1	El administrador o usuario oprime el botón “Escoger Mes”.
Paso 2	Automáticamente el sistema abrirá una sub-ventana con un listado de meses para escoger.
Paso 3	Dentro del listado, se escoge el mes que se quiere exportar los datos.
Paso 4	El sistema indicará que se escogió el mes especificado y automáticamente se procederá a descargarse el archivo Excel.
Flujo alternativo	Se requieren todos los datos dentro de la base de datos
Paso 1	El administrador o usuario oprime el botón “Descargar Todo”.
Paso 2	El sistema indicará que se escogió esta opción y automáticamente procederá a descargarse el archivo Excel.
Flujo alternativo	No es posible exportar los datos
Paso 1	El administrador debe verificar la conexión con la base de datos.
Paso 2	Verificar que los datos de la opción escogida existan dentro de la base de datos.

Cuadro 6. Reconocimiento facial

Caso de uso	Reconocimiento Facial
Actor	Usuario
Descripción	Se realiza la identificación del personal a través del <i>método LBPH</i> y el algoritmo de doble autenticación según los datos que se encuentre almacenados. Como resultado se verá reflejado a través de un mensaje de audio de bienvenida personalizado la entrada o salida de cada persona a las instalaciones; en caso contrario, se escuchará un mensaje de ‘Usuario Desconocido’.
Precondición	Tener inicializada la base de datos, se encuentren almacenados los respectivos datos de registro personales y de rostro, el usuario se encuentre frente a la cámara
Postcondición	La información del usuario es correctamente identificada, por lo tanto, se obtiene un registro exitoso.
Flujo principal	

Cuadro 6. Continuación

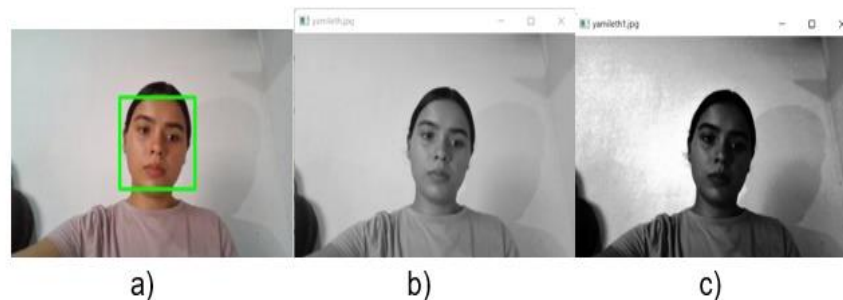
Paso 1	El usuario que requiera entrar o salir a las instalaciones debe posicionarse frente a la cámara web para que así su rostro sea detectado a través del algoritmo de doble autenticación.
Paso 2	Una vez detectado y haber sido corroborada su identidad como persona, se procederá automáticamente a activar el algoritmo de reconocimiento facial brindando así al sistema su respectiva información personal.
Paso 3	El usuario deberá elegir a través de un tablero de mando si el registro que se hace es de ingreso a las instalaciones o si es de salida. Así, el sistema mediante audio confirmará si el proceso de reconocimiento es exitoso o bien, si hubo algún problema.
Flujo alternativo	Usuario no se encuentra registrado en el sistema
Paso 1	El aplicativo devuelve un mensaje por audio indicando que el usuario buscado no existe en la base de datos.
Paso 2	Se corrobora que el usuario esté registrado dentro de la base de datos.
Flujo alternativo	No se activa el algoritmo de reconocimiento facial
Paso 1	Al oprimir algún botón dentro del tablero el sistema no brinda ningún mensaje corroborando el registro del personal.
Paso 2	Se verifica que el usuario esté frente a la cámara web a una distancia razonable sin tapar por completo su rostro.
Paso 3	Se corrobora que el algoritmo de doble autenticación identifique de manera correcta el área del rostro evaluada para la activación del siguiente paso.
Paso 4	Se observa que el tablero de mando esté en óptimas condiciones.
Flujo alternativo	No se identifica al usuario aun estando sus datos dentro del sistema
Paso 1	El sistema devuelve un mensaje de 'Usuario Desconocido' no permitiendo el registro dentro del mismo.
Paso 2	Se registra que no haya objetos que estén obstruyendo la mayor parte del rostro del usuario, en este caso, el usuario debe mostrar por lo menos el área de los ojos para realizar un registro correcto.
Paso 3	Si el problema persiste, se debe realizar de nuevo el registro del usuario dentro del sistema.

6.2 DESARROLLO Y EVALUACIÓN DEL ALGORITMO DE RECONOCIMIENTO FACIAL

Como primera instancia dentro del algoritmo de reconocimiento facial, se inicializa la detección de rostros a través de la captura de video que se realiza por medio de la cámara web o bien desde un video local, mediante estos, se almacenará cada captura de la imagen presente en el video desde 3 posiciones distintas del rostro y 1 con tapabocas puesto con la resolución en que se filma el mismo (alrededor de 720p con Webcam), este proceso estará dentro de una matriz que contendrá la información de cada una de esta, esta matriz dentro del algoritmo se llamará *Frame*.

Para cada uno de los Frames extraídos dentro del video se realiza el proceso de detección del rostro, extracción de características y su respectivo preprocesamiento mediante el uso del *clasificador Haarcascade*. Este estará contenido en 2 archivos de detección de rostro que serán activados cada vez que se detecte en cada Frame un rostro respecto a cada posición en que se plantee la persona, estos son: *haarcascade_frontalface_alt.xml* y *haarcascade_profileface.xml*. Una vez cargado los archivos, cada Frame que se toma se convierte a escala de grises, debido a que, este clasificador trabaja bajo un único canal de color. A partir de esto, se realiza una ecualización del histograma cuyo objetivo es ajustar el contraste global del frame que se toma en escala de grises, esto brindará una mejor distribución de la intensidad de los pixeles en el histograma aportando así una detección de rostro más eficiente, tal como se observa en la Figura 11.

Figura 11. Frame extraído en a) RGB, b) escala de grises c) ecualizado.

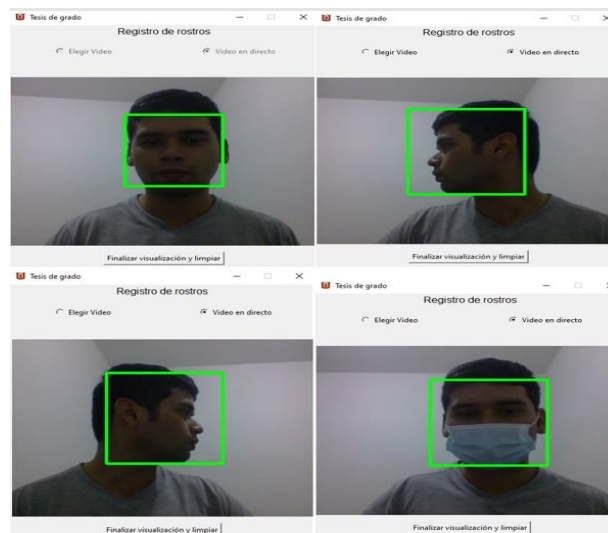


Una vez implementado esto, cada frame ecualizado se procesa a través de la función del *clasificador Haarcascade* llamada *detectMultiScale* que se encargará de detectar regiones rectangulares en cada Frame que contengan objetos (en este

caso, rostros) para los que se ha entrenado el clasificador y devuelve esas regiones como una secuencia de rectángulos para los rostros detectados²².

Con esto, los rectángulos se dibujarán alrededor de los rostros detectados mediante el método del rectángulo del *módulo cv2*, iterando sobre cada resultado y obteniendo a través de un promedio, un rectángulo único que contiene todos los rostros detectados. Este proceso se realiza en 4 aspectos del rostro: Vista frontal, Vista de perfil Izquierdo, perfil derecho y, por último, Vista frontal con tapabocas, tal como se observa en la Figura 12.

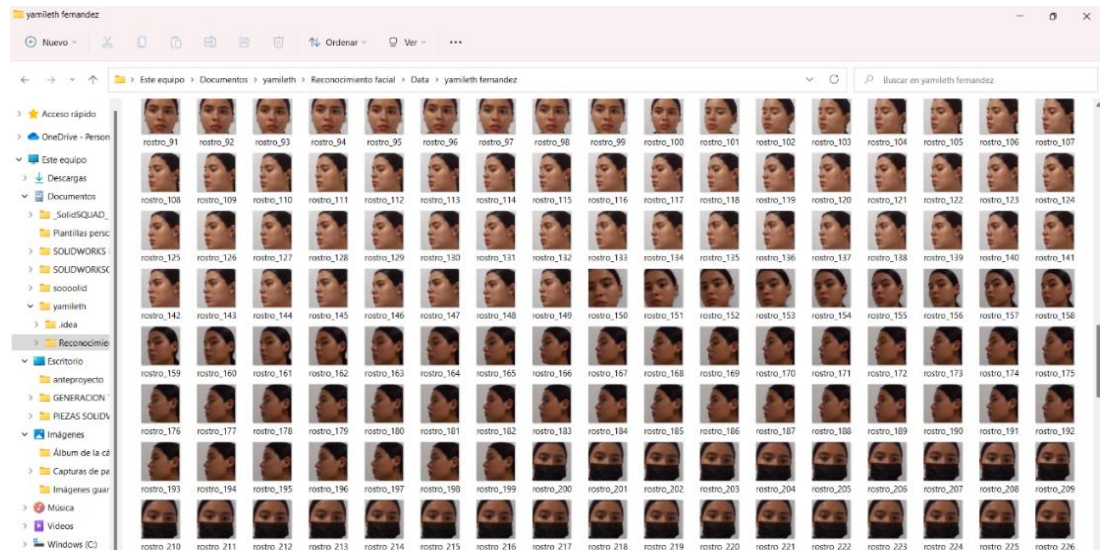
Figura 12. Localización y registro del rostro en 4 posiciones diferentes



Una vez realizado esto, se procede a almacenarse los rostros que se obtienen en la detección facial dentro de una carpeta única en el disco local del PC y vinculada a una base de datos. Estas imágenes se normalizan en tamaño de 150x150 píxeles con el fin de reducir la carga de procesamiento a la hora de generar el algoritmo de reconocimiento facial y se organizan de tal forma que haya una cantidad limitada de rostros que serán procesados, en este caso se escoge 200 muestras del rostro en vista frontal, 100 muestras de perfil izquierdo, 100 muestras de perfil derecho y 200 muestras en vista frontal con tapabocas, para un total de un conjunto de imágenes positivas de rostro de 600 muestras, tal como se observa en la Figura 13.

²² OPENCV. Cascade classifier class for object detection [en línea]. detectMultiScale. 24, junio, 2022. Disponible en Internet: <https://docs.opencv.org/3.4/d1/de5/classcv_1_1CascadeClassifier.html#details>.

Figura 13. Almacenamiento en carpeta de las muestras tomadas del rostro.



A partir de estas muestras adquiridas, se prepara cada una de estas para ser entrenadas dentro del *algoritmo LBPH*, es por esto que, como primera instancia se asocia una etiqueta a cada una de las imágenes de los rostros que representará a partir de ahora a cada muestra que posee cada persona evaluada, esto con el fin de hacer entender al sistema que las imágenes que se van a procesar corresponden a personas diferentes, tal como se observa en la Figura 14.

Figura 14. Asociación de etiquetas a rostros obtenidos.



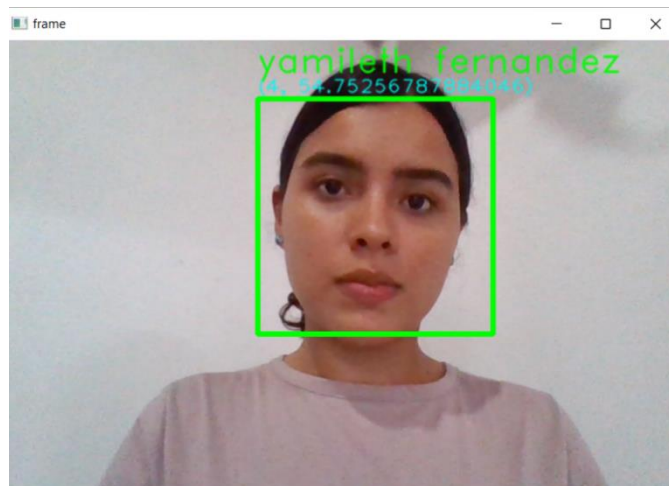
Ahora que se tiene listo los datos de imágenes y etiquetas dentro de un conjunto de arrays, se procede a realizar el entrenamiento del algoritmo. Para ello se crea el modelo a través de la función `cv2.face.LBPHFaceRecognizer_create` en donde se procederá a cargar la información, esto se hará haciendo uso de otra función llamada `face_recognizer.train`, ya que, con esta se especificará dos parámetros

esenciales para el entrenamiento del modelo, el array en donde están contenidos los rostros de entrenamiento y el segundo con las etiquetas generadas para cada persona.

A partir de esto, se almacena este modelo ya entrenado a través de la extensión XML, esto permitirá leer el modelo cada vez que se solicite sin necesidad de estar cargando y entrenando de nuevo la información.

Ya como última instancia, se corrobora que el *algoritmo LBPH* esté funcionando de manera correcta, para ello se especifica la ruta en donde se han almacenado los rostros y cargo el *modelo LBPH* que se entrenó de manera previa. Luego, a través de la función *face_recognizer.predict()*, se obtendrá la predicción de la etiqueta a la cual se asocia más el rostro que se está evaluando y el valor de confianza asociado que permitirá aceptar o descartar el reconocimiento del rostro. Para el valor de confianza asociado, se ajusta que todo frame cuyo valor asociado sea menor a 70 se opta como un reconocimiento válido, por otro lado, si el valor es mayor, se asocia el reconocimiento como no válido. Tal y como se observa en la Figura 15.

Figura 15. Etiqueta y valor de confianza asociado al rostro evaluado.



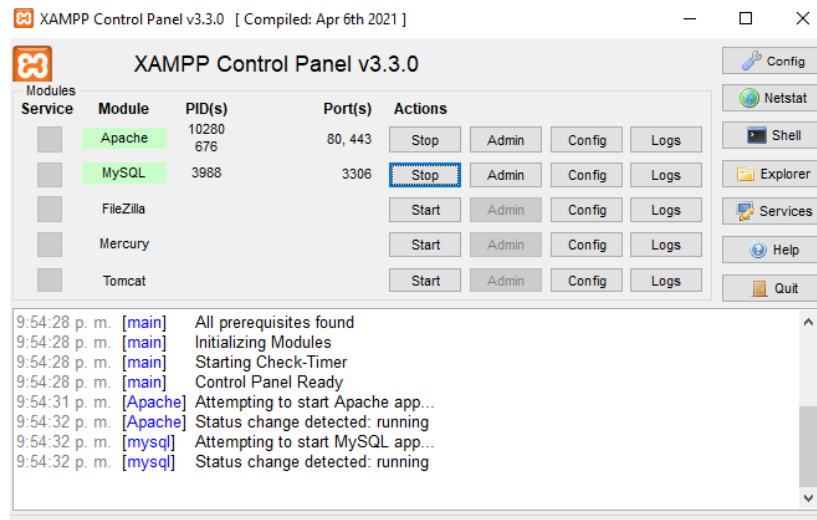
6.3 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS DEL SISTEMA

Debido a la naturaleza de la necesidad del sistema, se opta por implementar una base de datos local que supla las necesidades en la que se plantea el desarrollo del sistema de reconocimiento facial. Es por esto que, se utiliza como base de datos local a *MySQL* accediendo a esta por medio de *phpMyAdmin* a través de la

paquetería para gestión de base de datos *XAMPP*. Esta base de datos permitirá acceder y gestionar toda la información que se implemente dentro del sistema tal como: información personal del usuario, información de acceso a las instalaciones y las credenciales del aplicativo, contando además con una rápida respuesta de consulta y almacenamiento como su facilidad para gestionarse a través de múltiples entornos de programación, en este caso, a través de la librería *mysql.connector* de Python. Esta librería permite acceder a las bases de datos *MySQL* utilizando una *API* que cumple con la Especificación de *API* de la Base de Datos Python v2.0²³.

Por lo tanto, para realizar la conexión a la base de datos, primero se ejecuta la paquetería *XAMPP* y se inicializan los módulos de *Apache* y *MySQL*, en donde *Apache* funcionará como Servidor Web (Para servicios remotos) y *MySQL* será el Sistema relacional de administración de base de datos. Si se realiza una correcta conexión los módulos habilitarán un puerto para trabajar y cambiará su estado a “running”, en la siguiente figura, se muestra la ejecución del programa.

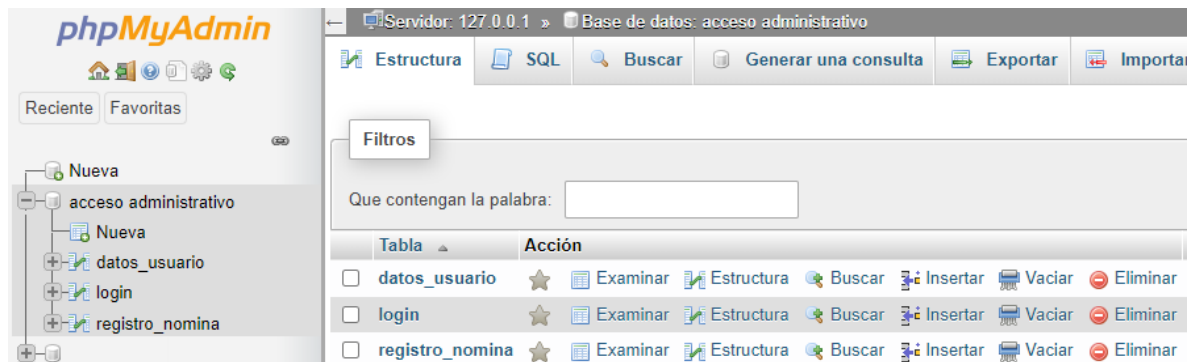
Figura 16. Inicialización de los módulos *Apache* y *MySQL* desde el panel de control de *XAMPP*.



Una vez habilitados estos, a través de la opción *Admin* de *MySQL* se accede a la interfaz de administración para la base de datos, en este caso *phpMyAdmin*. Es aquí en donde se diseña la base de datos llamada *Acceso Administrativo*, que contendrá el diccionario de información en forma de tablas con los atributos que usarán en el desarrollo del aplicativo, tal como se observa en la Figura 17.

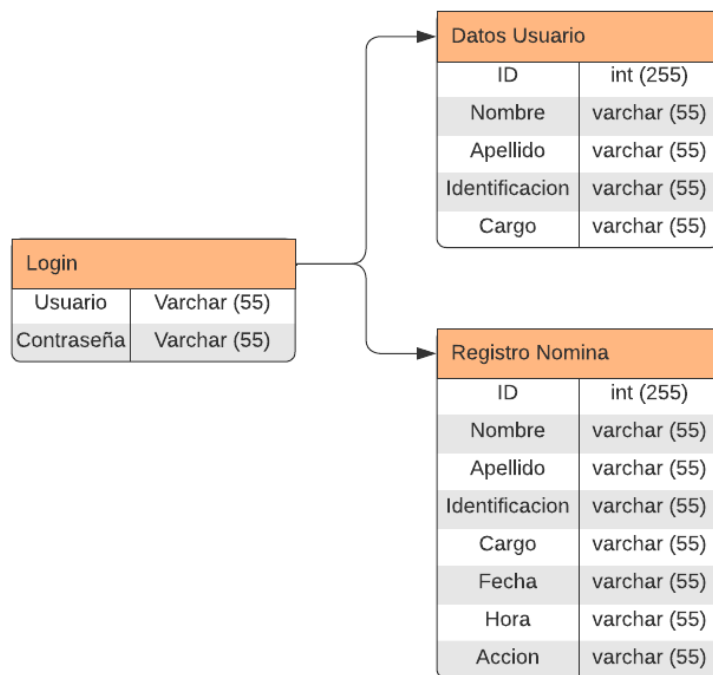
²³ MySQL, «Chapter 1 Introduction to MySQL Connector/Python,» 2019. [En línea]. Available: <https://dev.mysql.com/doc/connector-python/en/connector-python-introduction.html>.

Figura 17. Interfaz de administracion para la base de datos.



Para ejemplificar cada una de las tablas que contienen los atributos en los que trabajará el sistema, en las siguientes figuras, se evidencia la estructura que contiene cada diccionario de datos.

Figura 18. Diagrama de entidad de la base de datos



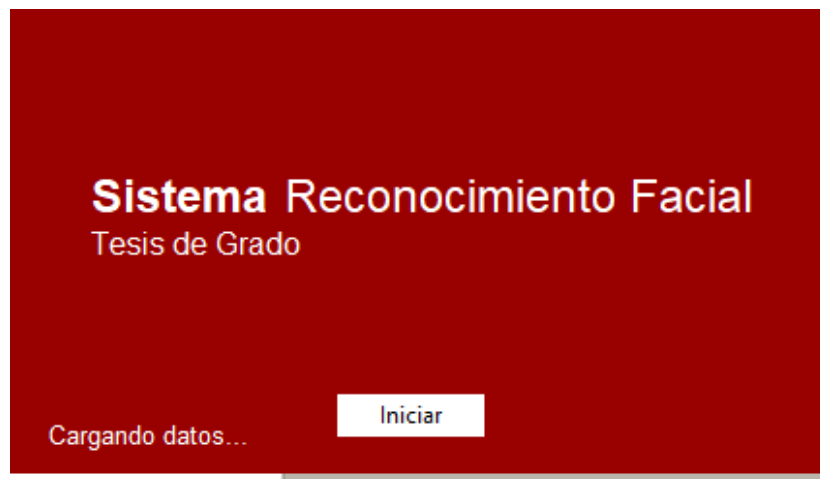
Estos atributos estarán relacionados a cada una de las acciones que realice el sistema de reconocimiento facial y serán editados o agregados a través de una interfaz gráfica de usuario.

6.4 DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO

Para realizar la interfaz gráfica de usuario se tuvo presente dos aspectos importantes para la estructura del sistema: El tiempo de respuesta para cada acción que se implemente en el procesamiento de imágenes y la gestión de información de manera local sin la necesidad de depender de alguna conectividad a internet, por lo que, para este proyecto se opta por diseñar el sistema de reconocimiento facial en *Tkinter*, que es la interfaz estándar de Python para el conjunto de herramientas *Tcl/Tk GUI* y que brinda la mayor rapidez a la hora de procesar todo el conjunto de imágenes junto con los datos que se requieren en éste.

En el entorno gráfico el sistema se divide a su vez en dos partes: La interfaz de inicio de sesión y la interfaz de menú principal. Para la interfaz de inicio de sesión el usuario administrador tendrá acceso a una ventana de inicio que describe al aplicativo y permite cargar los archivos de la siguiente ventana con anterioridad, tal como se observa en la Figura 19.

Figura 19. Interfaz de inicio del aplicativo.



Una vez cargada la información, el usuario accederá a un formulario en donde ingresará sus credenciales (Usuario y Contraseña) los cuales fueron creados con anterioridad con el fin de que solo esa persona pueda acceder a las funciones del aplicativo, un botón que permite ingresar al menú principal y una etiqueta de texto que brindará información al usuario si llega a tener problemas al ingresar.

Figura 20. Interfaz de inicio de sesión.



Menú Principal

UNIVERSIDAD
SURCOLOMBIANA

Usuario

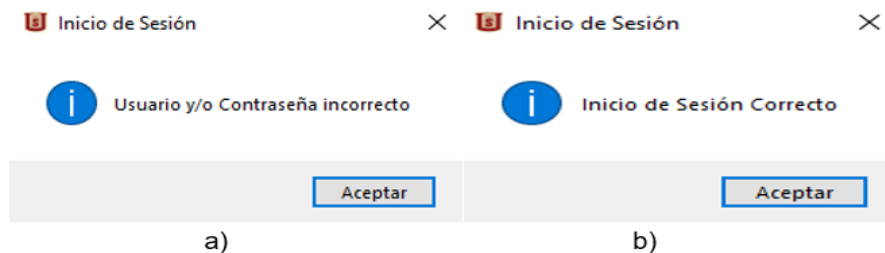
Contraseña

INGRESAR

¿Tienes problemas para ingresar?

Para el acceso al menú principal a través de las credenciales el usuario verá 2 opciones a través de un mensaje del sistema: Inicio de sesión Correcto o Usuario/Contraseña incorrecta. Estas dos opciones abarcan los posibles accesos que pueda hacer el usuario administrador y los errores que conlleve el acceder de manera incorrecta o los existentes casos de acceso a la fuerza al aplicativo, tal como se ve en la Figura 21.

Figura 21. Mensaje de ingreso al sistema a) Inicio de sesión incorrecto b) Inicio de sesión correcto.



Inicio de Sesión

Inicio de Sesión

Usuario y/o Contraseña incorrecto

Inicio de Sesión Correcto

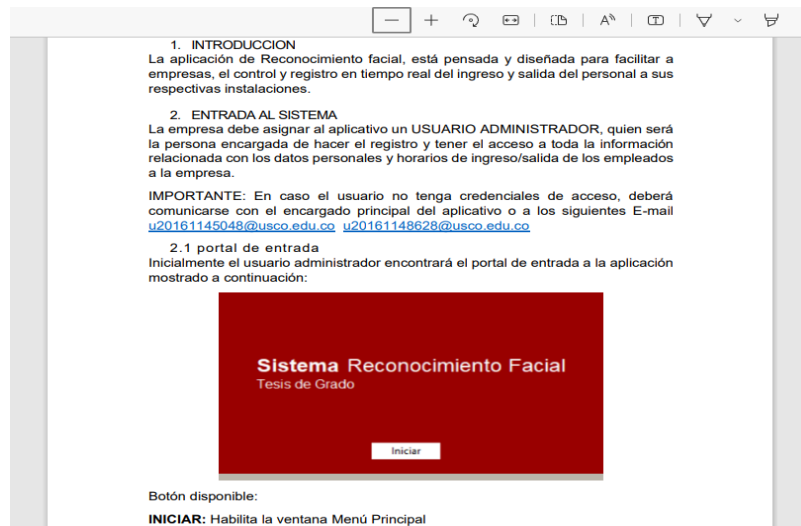
Aceptar

Aceptar

a) b)

Si el usuario tiene problemas al iniciar sesión, puede acceder dando clic a la etiqueta de texto debajo del botón de ingreso y éste descargará un manual de instrucciones en PDF de las diferentes soluciones a los eventos que surjan a la hora de acceder al aplicativo, en este caso, mayormente por problemas de conectividad a la base de datos. La parte introductoria del manual para el usuario se expone como ejemplo en la Figura 22.

Figura 22. Manual de usuario.



Una vez ingresado las credenciales de manera correcta, se habilitará el menú principal que contiene todas las acciones del sistema divididas en páginas en donde se exponen 6 acciones principales:

- Inicio de Reconocimiento Facial
- Visualización Base de datos
- Registro de usuario
- Actualización datos de usuario
- Eliminar Usuario
- Historial de datos

Dentro de cada una de estas acciones, el usuario administrador podrá visualizar cada una de ellas a través de iconos que representa de manera gráfica la acción a implementar o bien, podrá desplegar la barra lateral del menú para acceder a los nombres de estos iconos para un mejor entendimiento. Cabe resaltar que, el tamaño y proporción de cada una de las páginas se configura según esté desplegado o no el menú lateral, tal como se visualiza en la Figura 23.

Figura 23. Barra lateral del menu principal



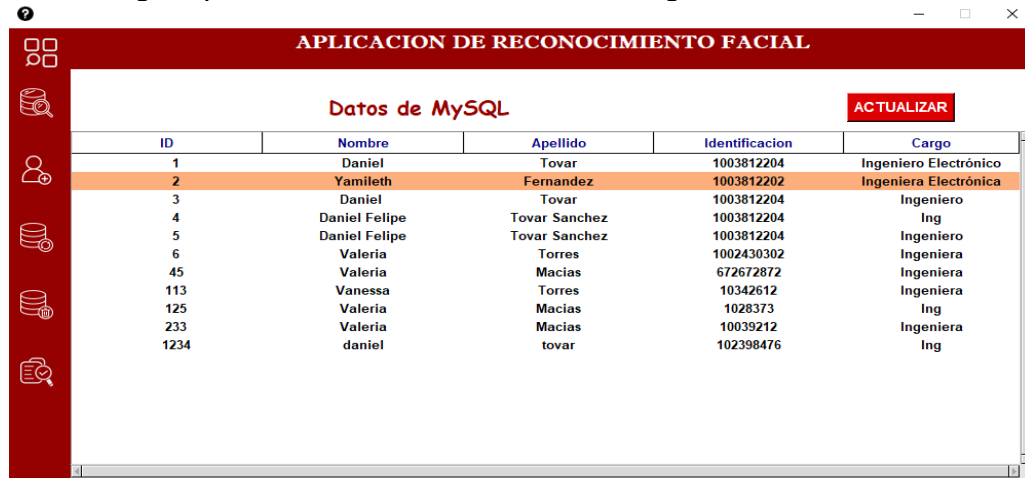
Para la acción de inicio de reconocimiento facial, el menú del sistema despliega a ésta como página principal, es aquí donde el usuario administrador podrá inicializar el algoritmo de reconocimiento facial que se abrirá a través de una sub-ventana que permitirá manejar todas las opciones dentro del menú como mantener ejecutado el algoritmo en segundo plano sin interrupciones. La sub-ventana de reconocimiento tiene un tamaño fijo y solamente se puede cerrar a través de un comando especial de teclado que se le brinda al usuario administrador, el resultado de esta acción se puede observar en la Figura 24.

Figura 24. Activacion del algoritmo de reconocimiento facial en segundo plano.



Si se desea visualizar los usuarios que se encuentran registrados en la base de datos, el usuario administrador puede hacer uso de la siguiente página de base de datos, la cual permite visualizar los datos de cada usuario por medio de una tabla organizada de manera ascendente a través del ID al que se le asigna a cada persona, este a su vez puede ser actualizado en tiempo real y señalar a un usuario en concreto para corroborar que sus datos son correctos. Un ejemplo de cómo se puede visualizar los datos de cada usuario se encuentra en la Figura 25.

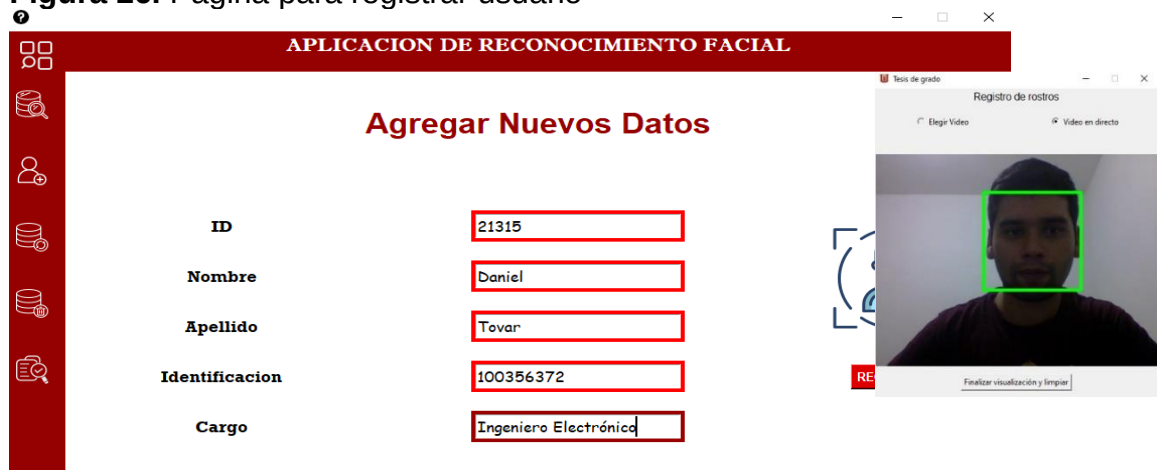
Figura 25. Página para visualizar datos usuarios registrados



ID	Nombre	Apellido	Identificacion	Cargo
1	Daniel	Tovar	1003812204	Ingeniero Electrónico
2	Yamileth	Fernandez	1003812202	Ingeniera Electrónica
3	Daniel	Tovar	1003812204	Ingeniero
4	Daniel Felipe	Tovar Sanchez	1003812204	Ing
5	Daniel Felipe	Tovar Sanchez	1003812204	Ingeniero
6	Valeria	Torres	1002430302	Ingeniera
45	Valeria	Macias	672672872	Ingeniera
113	Vanessa	Torres	10342612	Ingeniera
125	Valeria	Macias	1028373	Ing
233	Valeria	Macias	10039212	Ingeniera
1234	daniel	tovar	102398476	Ing

Para aquellos usuarios que no se encuentran en la base de datos, el menú en su acción de registrar usuario, se habilita una página en donde el usuario nuevo junto al administrador pueden agregar los datos que se solicitan dentro del sistema para actualizar dentro de la base de datos. luego, se abrirá por medio de una sub-ventana la toma de rostros en tiempo real para finalizar su proceso de registro.

Figura 26. Página para registrar usuario



APLICACION DE RECONOCIMIENTO FACIAL

Agregar Nuevos Datos

ID: 21315

Nombre: Daniel

Apellido: Tovar

Identificacion: 100356372

Cargo: Ingeniero Electrónica

Registro de rostros

Elige Video: ☐ Video en directo

Finalizar visualización y limpiar

Si algunos de los datos se ingresan de manera incorrecta y se desean corregir, en la página de “actualizar datos” el usuario administrador podrá modificar los datos de las casillas que se muestran en la misma página buscando su información ya sea a partir de su documento, su nombre o su apellido, y estos se mostrarán de manera inmediata si el usuario existe para su respectiva actualización, un ejemplo de esto se puede visualizar en la Figura 27.

Figura 27. Página para actualizar datos usuario

Si se desea eliminar al usuario de la base de datos y a su vez el registro de rostros, en la página “eliminar” el usuario administrador puede acceder a esta acción buscando los datos del usuario a través de su número de identificación, si este existe, los datos se mostrarán en la tabla y desde allí se podrá seleccionar para su respectiva eliminación, antes de hacerlo, el sistema expone un mensaje de verificación para indicar si realmente se desea hacer la acción, como se observa en la Figura 28.

Figura 28. Página para eliminar usuario

Por último, dentro de las acciones del menú principal, se podrá exportar el registro de datos dentro de un archivo de formato *Excel* basado en la fecha en que se quiere visualizar la información, entre estas se despliegan 3 opciones: Visualizar por Día, por Mes y Todos los registros disponibles.

Dentro de la visualización por día, el usuario administrador a través de un calendario interactivo podrá escoger la fecha específica a la que quiere exportar los datos dándole clic en la fecha solicitada y luego en el botón “Escoger Fecha”, como se observa en la Figura 29.

Figura 29. Historial del registro de ingreso/salida de los usuarios.



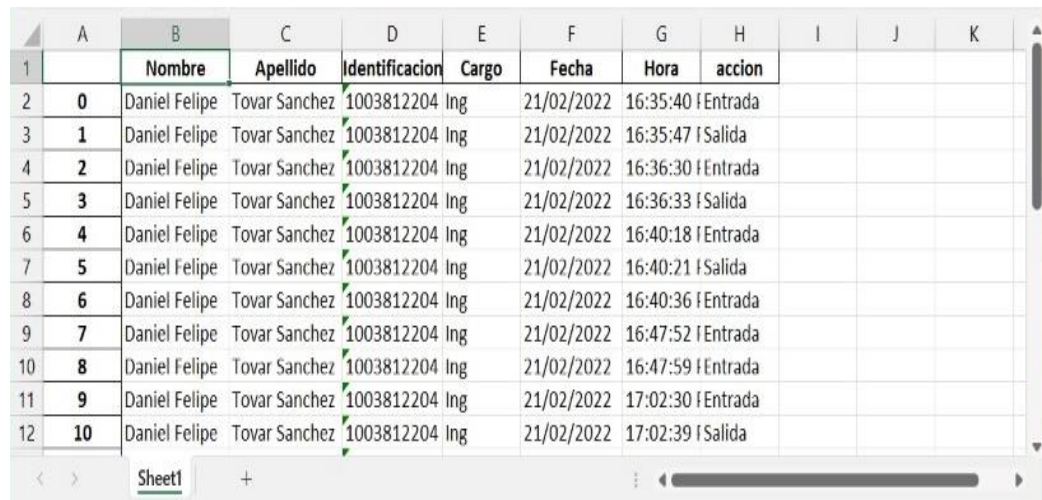
Para exportar la información de un mes específico, el sistema desplegará una sub-ventana que permitirá al usuario administrador escoger el mes que desea y automáticamente obtener su información, tal como se ilustra en la Figura 30.

Figura 30. Subventana para escoger el historial del mes solicitado.



De igual forma, dentro de la opción “Descargar Todo” se exportará toda la información almacenada dentro de la base de datos. Estos archivos serán descargados automáticamente y se podrán utilizar para su respectivo tratamiento dentro de las operaciones de la empresa de la siguiente forma como se observa en un ejemplo dentro de la Figura 31.

Figura 31. Exportación base de datos a Excel



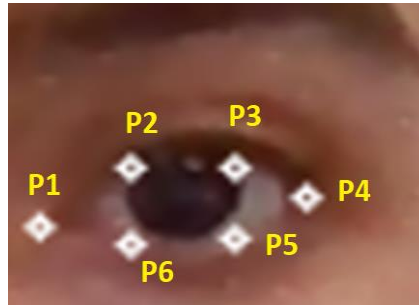
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
		Nombre	Apellido	Identificación	Cargo	Fecha	Hora	accion			
2	0	Daniel Felipe	Tovar Sanchez	1003812204	Ing	21/02/2022	16:35:40	Entrada			
3	1	Daniel Felipe	Tovar Sanchez	1003812204	Ing	21/02/2022	16:35:47	Salida			
4	2	Daniel Felipe	Tovar Sanchez	1003812204	Ing	21/02/2022	16:36:30	Entrada			
5	3	Daniel Felipe	Tovar Sanchez	1003812204	Ing	21/02/2022	16:36:33	Salida			
6	4	Daniel Felipe	Tovar Sanchez	1003812204	Ing	21/02/2022	16:40:18	Entrada			
7	5	Daniel Felipe	Tovar Sanchez	1003812204	Ing	21/02/2022	16:40:21	Salida			
8	6	Daniel Felipe	Tovar Sanchez	1003812204	Ing	21/02/2022	16:40:36	Entrada			
9	7	Daniel Felipe	Tovar Sanchez	1003812204	Ing	21/02/2022	16:47:52	Entrada			
10	8	Daniel Felipe	Tovar Sanchez	1003812204	Ing	21/02/2022	16:47:59	Entrada			
11	9	Daniel Felipe	Tovar Sanchez	1003812204	Ing	21/02/2022	17:02:30	Entrada			
12	10	Daniel Felipe	Tovar Sanchez	1003812204	Ing	21/02/2022	17:02:39	Salida			

6.5 DISEÑO DEL ALGORITMO DE DOBLE AUTENTICACIÓN

Dentro del requerimiento brindado por el personal de la empresa, se hace uso de una solución al problema de autenticación de usuario que provee *MediaPipe* llamada *Face Mesh*. Esta se basa en la geometría de rostros que permite obtener un total de 468 puntos ubicados en un rostro detectado en tiempo real.

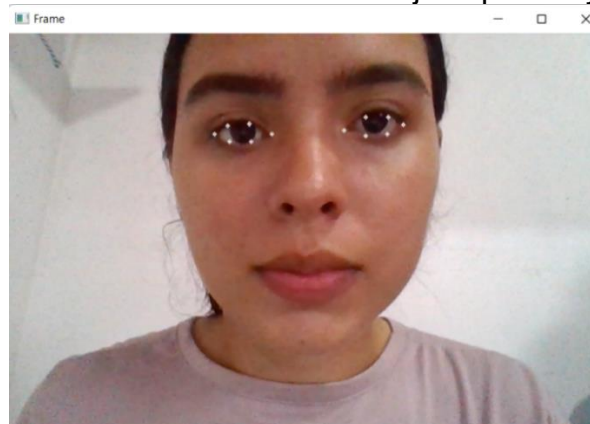
Inicialmente, se llama la solución de *Face Mesh* que ofrece la librería *MediaPipe* conocida como *mp.solutions.face_mesh*, la cual presenta diferentes opciones de configuración. A esta se implementa la opción de configuración *static_image_mode* que permite tomar valores True o False, en este caso se especifica el valor False para que la solución trate a las imágenes de entrada como un video en vivo. Una vez la solución realiza la detección del rostro, esta ubicará los puntos de referencia en el mismo basándose en el frame anterior. Luego, aplica la opción de configuración *max_num_faces* la cual indicará el valor máximo de rostros a detectar, en este caso será de 1. Teniendo especificadas las anteriores opciones de configuración, se procede a leer los fotogramas del video en vivo. Luego, se declara el índice del valor de los seis puntos de referencia del ojo izquierdo y del ojo derecho, siguiendo el orden de estos en sentido horario.

Figura 32. Orden de los puntos de referencia asociados al ojo en sentido horario.



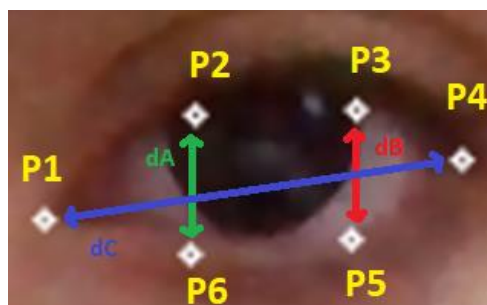
Para graficar los puntos de referencia del ojo izquierdo y derecho, se hace un recorrido sobre estos extrayendo sus coordenadas (x,y) como se puede observar en la Figura 33.

Figura 33. Puntos de referencia ubicados en el ojo izquierdo y derecho del rostro.



Luego, se almacenan en dos listas vacías las coordenadas anteriormente obtenidas de los puntos de referencia de cada ojo para poder calcular las distancias verticales y horizontales de cada ojo como se observa en la Figura 34.

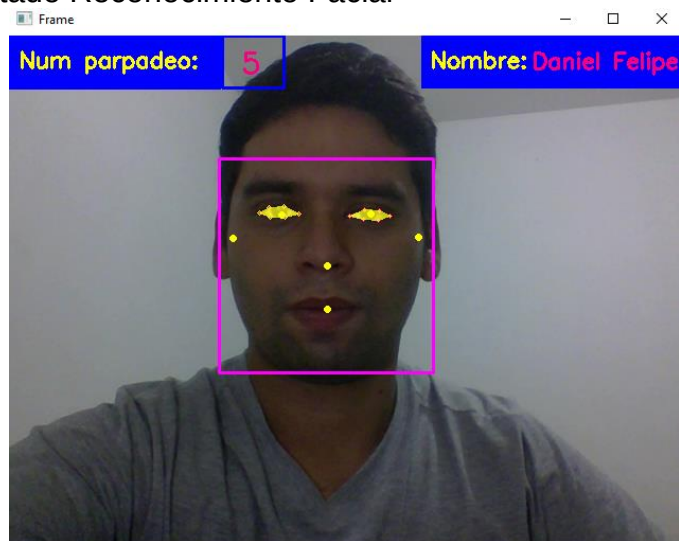
Figura 34. Distancia vertical y horizontal entre los puntos de referencia asociados al ojo.



Lo anterior, se realiza con el fin de calcular la relación que existe entre el ancho y largo de cada ojo, conocida como *relación de aspecto del ojo (EAR)* y se calcula teniendo en cuenta la *Ecuación 5*. Esta, es constante mientras el ojo se encuentra abierto y disminuye de manera rápida al valor cero cuando se genera el parpadeo.

Para determinar el valor umbral mediante el cual la *EAR* indica que el ojo se encuentra abierto, se obtiene el promedio de los datos generados al momento de realizarse el parpadeo; si el valor obtenido de la ecuación que permite evaluar la proporción de las distancias de los puntos de referencia de cada ojo es menor al umbral escogido (umbral de 0.20) y si los ojos se encuentran cerrados durante mínimo dos frame consecutivos, el sistema determina que el usuario ha parpadeado. Adicional, se crea un contador para que indique las veces en que el usuario ha parpadeado.

Figura 35. Resultado Reconocimiento Facial



7. ANALISIS DE RESULTADOS

En el capítulo anterior se describió la metodología aplicada en este proyecto. El propósito del presente apartado es el de exponer los resultados obtenidos en cuanto a la eficacia, fiabilidad, desempeño y robustez del sistema de reconocimiento facial evaluando de manera cuantitativa las etapas fundamentales en donde se implementa el procesamiento de imágenes.

Para la etapa de validación del algoritmo de reconocimiento facial, se realiza el mismo procedimiento de detección y reconocimiento de rostro, evaluando el tiempo de entrenamiento del algoritmo, la eficiencia en la predicción de respuesta y el tiempo de respuesta ante cada predicción de rostro. Esto con el fin de observar el resultado de cada uno de los sistemas que también cumplen con la misma tarea y poder corroborar la elección correcta del algoritmo implementado.

En el proceso de prueba se tomó como referencia 3 algoritmos de reconocimiento facial: *EigenFaces*, *LBPH* y *FisherFaces*, los cuales fueron evaluados con un conjunto de entrenamiento de 400 imágenes positivas y 30 predicciones de reconocimiento bajo condiciones de ambiente controlado, los resultados de la prueba realizada se evidencian en el cuadro 7.

Cuadro 7. Validación algoritmo de reconocimiento facial

EigenFaces			LBPH			FisherFaces		
Tiempo Ent. (seg)	Eficiencia algoritmo (%)	Tiempo Resp. (seg)	Tiempo Ent. (seg)	Eficiencia algoritmo (%)	Tiempo Resp. (seg)	Tiempo Ent. (seg)	Eficiencia algoritmo (%)	Tiempo Resp. (seg)
128.95	97	0.2020	34.67	96	0.069	134.42	37	0.0036

Por lo tanto, debido a la alta eficiencia de predicción y a la rápida de respuesta de entrenamiento como de reconocimiento se corrobora que el mejor algoritmo a implementar es el algoritmo de reconocimiento *LBPH*. Por ello, a continuación, se describirá el proceso de implementación del mismo en el desarrollo del sistema de reconocimiento facial.

Para la realización de las pruebas en la empresa, se dispone en primera instancia el lugar en donde se evaluarán a los usuarios. Se realiza un análisis preliminar con el algoritmo de detección facial para evaluar la precisión en la toma de rostros y así escoger el lugar dentro del área de trabajo que brinde los mejores resultados, esto cumpliendo con las mejores características de: Iluminación, distancia al equipo de

cómputo y el ángulo de enfoque en donde se dispone la ubicación de la cámara web. Se observa que en el interior de las instalaciones de la empresa los lugares que posiblemente brindarían mejor resultado son: la entrada principal y zona de descarga de material.

En este caso, se realiza el análisis de las muestras con la ayuda de 4 trabajadores dentro del personal que labora constantemente en estas áreas de trabajo y se evalúa la precisión de detección por medio de 100 muestras de rostro para cada uno de ellos dividiéndolos en 2 grupos, un grupo ubicado en la Entrada principal y otro grupo en la zona de descarga.

Figura 36. Detección facial entrada principal a) Usuario 1. b) Usuario 2.

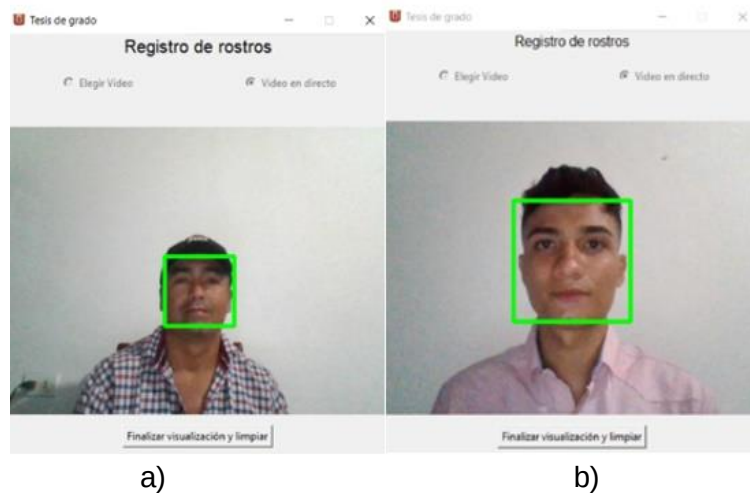


Figura 37. Detección facial zona de descarga. c) Usuario 3. d) Usuario 4.



El valor de resultado se puede expresar en dos tipos de muestras, Aquella en donde se detecta el rostro sin inconveniente a la persona se define como: *Real Positivo* y aquella en donde NO se detecta el rostro, pero si algún otro objeto se define como: *Falso positivo*. El resultado de este análisis se puede observar en el cuadro 8.

Cuadro 8. Resultado detección de rostros.

	Resultado Detección de Rostros (%)	
	Entrada principal	Zona de descarga
Reales Positivos	97%	64%
Falsos positivos	3%	36%

Debido al porcentaje de efectividad en la detección de rostros, se opta por ubicar la cámara que tiene el sistema de reconocimiento facial dentro del área de la entrada principal ya que dentro de la zona de descarga, varias muestras tomadas de objetos que estaban alrededor de la persona el algoritmo las tomaba como muestras de rostro, degradando así la información de imágenes que se preprocesaban para el algoritmo de reconocimiento facial, es por esto que, se les comenta a los empleados evaluados la decisión de ubicar la cámara dentro de las instalaciones de la entrada principal para los registros que se harán a futuro.

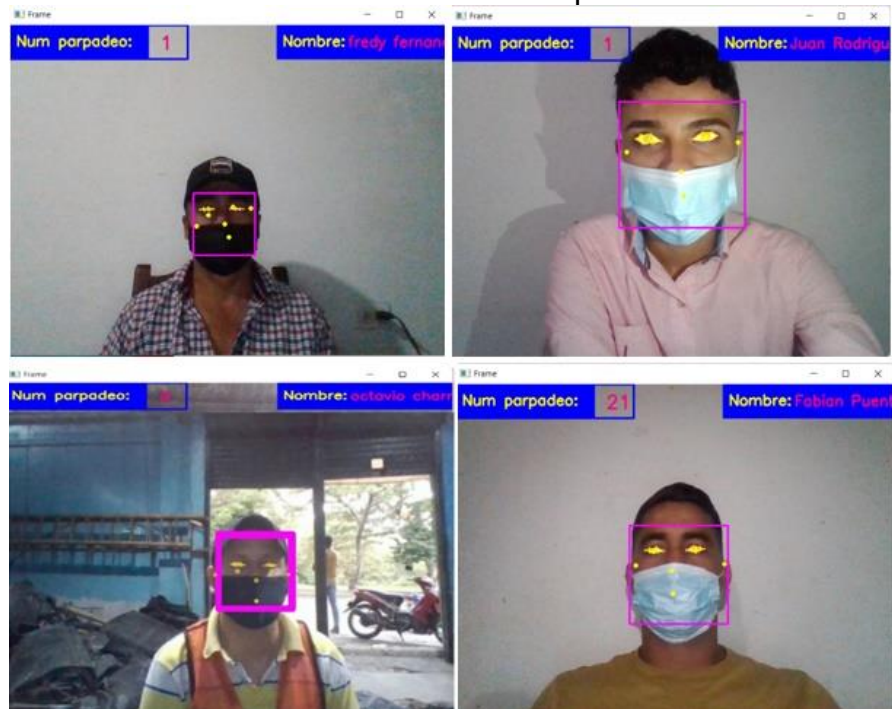
Una vez realizado el proceso de ubicación, se procede a ejecutar el sistema de reconocimiento facial y se crea la base de datos con los cuatro usuarios evaluados y se asigna un usuario administrador que realice el proceso de registro, en este caso, se designa como administrador del sistema al gerente de la empresa.

Para cada una de las personas evaluadas, se tiene en cuenta los diferentes pasos que conlleva el registro de sus datos personales como de la toma de la información de sus rostros con y sin cubrebocas para establecer la base de datos inicial. De igual forma al análisis anterior, dentro de la ejecución del algoritmo de reconocimiento facial, se evalúa la precisión de predicción de éste a través de 100 muestras de rostro que se toma a cada uno de ellos, dando como resultado las siguientes predicciones:

Figura 38. Resultado reconocimiento facial sin tapabocas.



Figura 39. Resultado reconocimiento facial con tapabocas



A continuación, se analiza la variación de porcentaje de acierto a medida en que se toma las muestras de rostro. Los resultados de esta prueba se encuentran consignados en las siguientes tablas:

Cuadro 9. Resultado reconocimiento de rostros sin tapabocas.

	Resultado Reconocimiento de Rostros (%)			
	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 4
Tasa de aciertos	100%	99%	99%	98%

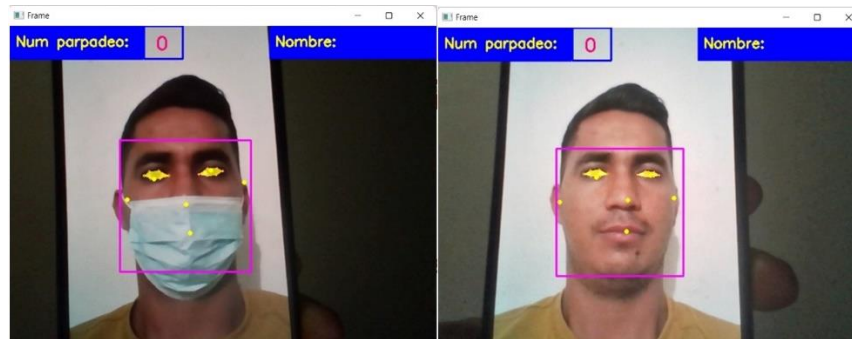
Cuadro 10. Resultado reconocimiento de rostros con tapabocas.

	Resultado Reconocimiento de Rostros (%)			
	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 4
Tasa de Aciertos	95%	92%	97%	93%

Como se puede observar, para los resultados de reconocimiento de rostros sin tapabocas se obtiene una variación mínima en la tasa de aciertos no mayor al 2%, indicando que las muestras entrenadas aportan un gran valor de confiabilidad en las predicciones de rostro. En cambio, al limitar la información del rostro cuando el usuario cubre su rostro con un tapabocas, el algoritmo presenta algunos inconvenientes a la hora de evaluar las predicciones hechas, esto es debido a que, el algoritmo toma como referencia únicamente la información del área de los ojos y parte de la nariz para evaluar la información con la que se tiene en la base de datos. Es por esto que, para minimizar este evento se recomienda al personal cuando se registre acercarse lo mayormente posible a la cámara web y si el reconocimiento no es posible, descubrir parcialmente el área de la nariz para incrementar la información que evalúa el algoritmo y obtener una correcta predicción del rostro.

De igual forma, se evalúa el algoritmo de doble autenticación tomando como muestras de entrada imágenes y videos desde un celular de una persona ya registrada dentro del sistema para corroborar que no se realice ningún registro indebido. Al identificar que no es una persona sino una imagen el algoritmo tendrá como valor cero dentro de la detección de parpadeo y por ende no permitirá seguir con el procedimiento de reconocimiento facial, tal como se observa en la Figura 40.

Figura 40. Validación del algoritmo de doble autenticación.



Por último, se realiza un seguimiento de la tasa de registros de los empleados según su horario de trabajo durante un periodo de 90 días, esto con el fin de corroborar junto al personal de nómina de la empresa que se esté cumpliendo la jornada laboral total de 48 horas semanales o según el caso, jornada especial.

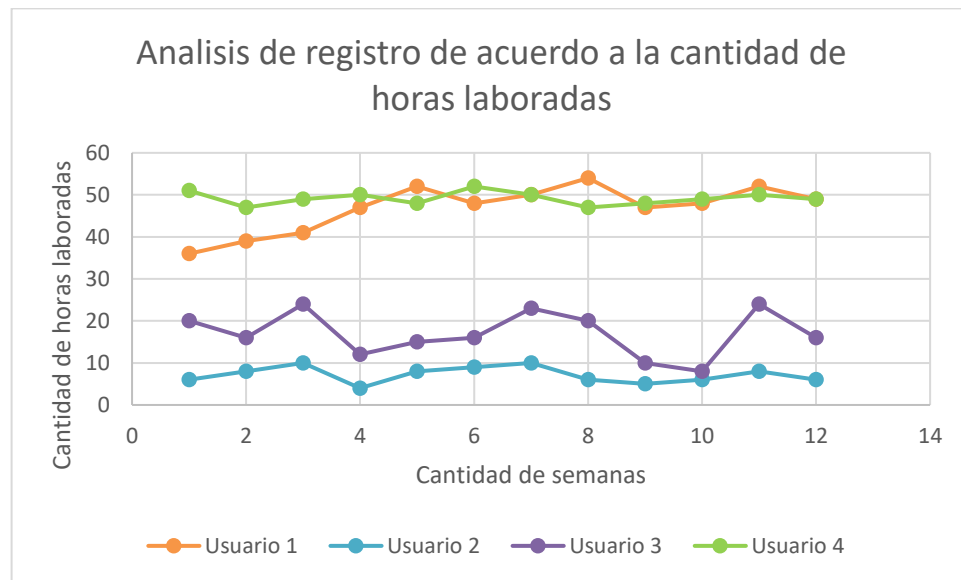
A la hora de exportar la información de la base de datos a Excel, el personal de nómina puede organizar la información a través de filtros, los cuales permiten escoger a la persona a la que se va a evaluar su jornada laboral y obtener la cantidad de horas que ha trabajado usando una simple resta dentro de cada una de las casillas designadas como hora, un ejemplo practico se puede observar en la Figura 41.

Figura 41. Cantidad de horas laboradas en una jornada de trabajo.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Nombre	Apellido	Identificaci	Cargo	Fecha	Hora	accion		Horas Trabajadas	Total
0	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	2/05/2022	8:35:40	Entrada		3:36:07	51:16:30
1	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	2/05/2022	12:11:47	Salida			
2	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	2/05/2022	14:12:30	Entrada		4:23:10	
3	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	2/05/2022	18:35:40	Salida			
4	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	3/05/2022	8:11:40	Entrada		5:14:00	
5	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	3/05/2022	13:25:40	Salida			
6	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	3/05/2022	14:45:40	Entrada		4:50:00	
7	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	3/05/2022	19:35:40	Salida			
8	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	4/05/2022	9:05:40	Entrada		3:08:00	
9	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	4/05/2022	12:13:40	Salida			
10	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	4/05/2022	14:23:12	Entrada		3:48:00	
11	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	4/05/2022	18:11:12	Salida			
12	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	5/05/2022	8:10:20	Entrada		4:21:14	
13	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	5/05/2022	12:31:34	Salida			
14	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	5/05/2022	14:04:23	Entrada		3:24:59	
15	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	5/05/2022	17:29:22	Salida			
16	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	6/05/2022	7:24:21	Entrada		6:08:01	
17	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	6/05/2022	13:32:22	Salida			
18	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	6/05/2022	14:10:11	Entrada		4:13:10	
19	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	6/05/2022	18:23:21	Salida			
20	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	7/05/2022	8:05:22	Entrada		3:56:39	
21	Fabian	Puentes	1081137468	Supervisor	7/05/2022	13:02:01	Salida			

Con los datos de cada semana, se puede realizar un resumen sobre el total de horas laboradas durante los 90 días de prueba para evaluar la tasa de ingreso y salida del personal laboral tal como se observa en la Figura 42.

Figura 42. Análisis de registro de acuerdo con la cantidad de horas laboradas.



De los datos se puede corroborar la jornada laboral de cada uno de los 4 usuarios evaluados, en donde 2 de ellos cumplen una jornada laboral de 48 horas y los 2 restantes cumplen una jornada laboral especial de medio tiempo. A método de comparación se puede observar progresivamente una normalización en la jornada laboral del usuario 1 con respecto a la jornada establecida de 48 horas que sigue regularmente el usuario número 2, por lo que gracias a este seguimiento se puede llevar un mejor control del tiempo y realizar las orientaciones pertinentes a fin de mejorar el rendimiento dentro de la empresa. En cuanto a los usuarios 2 y 3, debido a la naturaleza de su jornada laboral, con esta información se puede llevar un mejor registro de las horas laboradas para así mismo hacer efectivo el valor que corresponde en proporción a su tiempo trabajado.

8. CONCLUSIONES

En este trabajo se detalla el proceso de desarrollo de un prototipo de sistema de reconocimiento facial para las instalaciones de una empresa del sector manufacturero, haciendo uso de metodologías ágiles y herramientas informáticas en el área de visión artificial. Además, se realiza un análisis de prueba a modo de dar uso e interpretación a los datos que se obtienen al operar este sistema. Por lo que, las reflexiones que se obtuvieron al realizar este prototipo fueron las siguientes:

- La implementación del prototipo de sistema de reconocimiento facial como herramienta en la identificación y registro de personal laboral cumple con su propósito planteado, en donde a través de una interfaz sencilla y rápida, permite ejercer un control de acceso a las instalaciones de la empresa en tiempo real evitando a su vez los posibles eventos de seguridad que se ejerza en la aplicación de esta nueva herramienta en el día a día de cada trabajador dentro de la empresa.
- Los resultados del reconocimiento facial fueron óptimos en un entorno con buenas características de trabajo, brindando a su vez un alto porcentaje de precisión a la hora de discernir entre cada uno de los datos de cada usuario. Si se cambia o altera estas características, se irá degradando progresivamente la calidad de extracción de información en cada imagen del rostro evaluado, información como las características de los bordes de la imagen, sombras, brillo, contraste o incluso la totalidad de la imagen del rostro se verán afectadas y, por ende, el sistema difícilmente asociará el valor de predicción a una de las personas registradas en la base de datos.
- La autenticación de identidad funciona con una alta precisión, ya que no presenta problemas al detectar y diferenciar rostros en diferentes condiciones de iluminación ni de posición frente a la cámara, esto es gracias a que al adicionar el algoritmo de malla facial, junto a sus puntos de referencia implementados, permite procesar de manera más robusta y confiable la información de rostros que son evaluados eliminando la mayor cantidad de sesgos planteados y sin representar una carga mayor en procesamiento al algoritmo principal de reconocimiento facial *LBPH*.
- El diseño de una base de datos local por medio de *MySQL* brindó un efectivo, rápido y seguro acceso a la cantidad de datos que se evaluaron dentro del lapso de tiempo establecido. En adición, la facilidad en que se puede exportar la información desde la base de datos a otros sistemas brindó la posibilidad de analizar e interpretar la información de manera gráfica, en este caso, en *Microsoft Excel* y así, vincular estos resultados a formatos previamente

implementados en la gestión de la empresa, ahorrando así la tarea de revisión de horario laboral trabajado que se llevaba a cabo la última semana de cada mes, a llevar el registro de esta información en tiempo real.

- Al analizar los datos de ingreso y salida de los usuarios evaluados se observa que, en el transcurso de la implementación del sistema, el comportamiento del horario de los trabajadores se va normalizando cada vez más a las jornadas en que plantea la empresa y a medida en que se adaptan progresivamente a la nueva herramienta, brindando mayor seguridad en el cumplimiento de turnos laborales y extra-turnos trabajados.
- El desarrollo de este proyecto brinda un primer acercamiento a lo que significa la relación entre empresa y academia, una forma de reforzar el conocimiento a través de la solución de problemas que surgen de manera cotidiana en un entorno laboral a través de Ingeniería. Esto genera un impacto positivo no solo a la economía sino también al desarrollo de la región brindando una visión mayor a lo que la tecnología hoy en día ofrece a las tareas que anteriormente se hacían de manera tradicional.

9. TRABAJO A FUTURO

Dentro del desarrollo del proyecto se logró evidenciar diferentes limitaciones que pueden ser mejoradas a través de la inclusión o la actualización de procesos que ya se llevan a cabo dentro del sistema de reconocimiento facial.

La primera recomendación es implementar un algoritmo de reconocimiento facial sustentado en la identificación y entrenamiento de imágenes en 3D, esto permite no solo evaluar la información que se obtiene del rostro en diferentes ángulos, si no que también permite eliminar diferentes variables que reducen la calidad de extracción de características dentro del algoritmo en que se plantea previamente el proyecto. Por lo que ya no es necesario integrar una funcionalidad adicional dentro de un sistema de reconocimiento facial para evitar los sesgos que se producen a la hora de verificar la información de cada persona evaluada.

Explorar diferentes entornos gráficos basados en la tecnología de desarrollo web que permita sustentar el algoritmo de reconocimiento facial, garantizar el acceso de la información de registro tanto al administrador como al usuario a través de cualquier dispositivo conectado a internet y que sea replicable para ser implementado a múltiples áreas dentro de una empresa. En este caso, se sugiere trabajar con *frameworks* como *Flask* o *Django* que son compatibles con Python.

De igual forma, para la exportación de la información de la base de datos se plantea mejorar la forma en como se trabaja la obtención de las horas laboradas para cada persona dentro de la empresa, esto con el fin de automatizar aun más el proceso de obtención de datos sin que halla una persona que evalúe y certifique que no exista errores dentro de la información suministrada. Es por esto que, se revisará a mayor profundidad las herramientas que provee la librería *x/wt* para realizar este proceso.

BIBLIOGRAFÍA

AHONE, T., & HADID, A. y. (2004). Face recognition with local binary patterns. In computer vision-eccv. Springer.

al, C. e. (2017). Reconocimiento facial por el metodo de Eingenfaces. México: Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca.

Andreea, P. (s.f.). Aplicación para detección y reconocimiento facial en interiores. . Sevilla: Dep. Ingenieria de Sistemas y Automatica Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla.

B., G. (27 de Marzo de 2022). ¿Qué es MySQL? Explicación detallada para principiantes. Obtenido de Hostinger.mx: <https://www.hostinger.mx/tutoriales/que-es-mysql>

Barriga, E. (s.f.). Aplicacion práctica de la visión artificial para el reconocimiento de rostros en una imagen, utilizando redes neuronales y algoritmos de reconocimiento de objetos de la biblioteca OpenCV. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6104/CaballeroBarrigaEdisonRene2017.pdf?sequence=1>

InteractiveChaos AdaBoost. (2018). Obtenido de <https://interactivechaos.com/es/manual/tutorial-de-machine-learning/adaboost>.

JONES, V. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. Actas de conferencia de la sociedad de computadoras IEEE de 2001 sobre visión por computadora y Reconocimiento de patrones.

LAHOTI. (20 de Febrero de 2018). Implementing face detection using the Haar Cascades and AdaBoost algorithm. Obtenido de <https://hub.packtpub.com/implementing-face-detection-using-haar-cascades-adaboost-algorithm/>

MediaPipe. (s.f.). MediaPipe Face Detection. Obtenido de https://google.github.io/mediapipe/solutions/face_detection.html

MediaPipe. (s.f.). MediaPipe Face Mesh. Obtenido de https://google.github.io/mediapipe/solutions/face_mesh

MYSQL. (2019). Chapter 1 Introduction to MySQL Connector/Python. Obtenido de <https://dev.mysql.com/doc/connector-python/en/connector-python-introduction.html>

OPENCV. (s.f.). Cascade classifier class for object detection. DetectMultiScale. Obtenido de https://docs.opencv.org/3.4/d1/de5/classcv_1_1CascadeClassifier.html#details.

OpenCV Face Recognition with OpenCV. (20 de Diciembre de 2019). Obtenido de https://docs.opencv.org/4.2.0/da/d60/tutorial_face_main.html#tutorial_face_eigenfaces.

OpenGenusIQ. (2020). LBPH algorithm for face recognition. Obtenido de <https://iq.opengenus.org/lbph-algorithm-for-face-recognition/>

Pavón, S. (17 de junio de 2021). Reconocimiento facial mediante el análisis de componentes principales. Obtenido de http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91426/fichero/TFG_SARA_DOMINGUEZ_P_AVON.pdf

Ponce, R. (s.f.). El auge del reconocimiento facial y los nuevos desafíos en cuanto a privacidad de datos. Obtenido de <https://es.slideshare.net/RamiroPonce4/el-auge-del-reconocimiento-facial-y-los-nuevos-desafos-en-cuanto-a-privacidad-de-datos-70356200>

Sanz, M. M. (2021). Sistemas Biométricos.

Sherdek, C. T. (26 de Febrero de 2016). LBP y ULBP. Local binary patterns y uniform local binary patterns. Obtenido de <https://cesartroyasherdek.wordpress.com/2016/02/26/deteccion-de-objetos-vi/>

UNIPYTHON. (s.f.). Detección de rostros, caras y ojos con Haar Cascad. Obtenido de <https://unipython.com/deteccion-rostros-caras-ojos-haar-cascad/>

VIOLA, J. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. Actas de conferencia de la sociedad de computadoras IEEE de 2001 sobre visión por computadora y Reconocimiento de Patrones.

VIORICA. (2016). Aplicación para Detección y Reconocimiento Facial en Interiores. Sevilla: Universidad de Sevilla.

ANEXOS

ANEXO 1. Presentación y solicitud para realizar pruebas de implementación en la empresa.



UNIVERSIDAD
SURCOLOMBIANA
NIT 891180084-2

ACREDITADA DE
ALTA CALIDAD
Resolución 112331-2018 - MEN

Neiva, 9 de marzo de 2022

Señor
OCTAVIO CHARRY PERALTA
Gerente Carpas Charry
Ciudad

Referencia: Presentación Prototipo para el control de acceso a personas, basado en reconocimiento facial y solicitud para realizar pruebas de implementación.

Cordial saludo.

En atención al asunto de manera formal se solicita sea agendada una cita, con el objetivo de realizar la presentación del prototipo para el control de acceso a personas, basado en reconocimiento facial; además, autorizar a los estudiantes DANIEL FELIPE TOVAR SÁNCHEZ, identificado con la cédula de ciudadanía Nro. 1003812204 y YAMILETH FERNÁNDEZ CORTÉS, identificada con la cédula de ciudadanía Nro. 1081161087; quienes se encuentran cursando el último semestre del programa de Ingeniería Electrónica en nuestra Alma Mater, para que realicen las pruebas de implementación del mencionado prototipo.

Agradecemos que la presente solicitud sea tenida en cuenta, por lo que estaremos atentos a su favorable respuesta.

Atentamente,



JOSE DE JESUS SALGADO PATRÓN
Jefe programa Ingeniería Electrónica

Enlace: Anexo 1

♥ Sede Central / Av. Pastrana Borrero - Cra. 1
♥ Sede Administrativa / Cra. 5 No. 23 - 40
♥ www.usco.edu.co / Neiva - Huila

☎ PBX: 875 4753
☎ PBX: 875 3686
☎ Línea Gratuita Nacional: 018000 968722



Weglad a Mineducación

ANEXO 2. Autorización para realizar pruebas de implementación del prototipo en la empresa.

Neiva, Marzo 11 de 2022

Señores:
**PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**

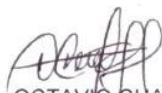
Referencia: Autorización para realizar pruebas de implementación de un prototipo para el control de acceso a personas, basado en reconocimiento facial.

Atento saludo,

Comedidamente, me permito autorizar a los estudiantes Daniel Felipe Tovar Sánchez, identificado con la cédula de ciudadanía Nro. 1003812204 y Yamileth Fernández Cortés, identificada con la cédula de ciudadanía Nro. 1081161087; para la realización de las pruebas de implementación del prototipo para el control de acceso del personal corporativo de la empresa Carpas Charry.

Atentamente,

CARPAS CHARRY
Octavio Alfonso Charry G.
C.C. 16.650.429 Cali Valle



OCTAVIO CHARRY PERALTA
CC. 7732090
Gerente Carpas Charry
Neiva-Huila