



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

TESIS

**Comparación de Técnicas de Reconocimiento Facial para
Controlar la Asistencia de los Estudiantes de nivel
Secundario de una Institución Educativa**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
DE SISTEMAS**

Autor

Bach. Olivos Julca Charles
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1488-0654>

Asesor

Mg. Asenjo Carranza Enrique David
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9705-5347>

Línea de Investigación

**Ciencias de la información como herramientas
multidisciplinarias y estratégicas en el contexto industrial y de
organizaciones**

Sublínea de Investigación

**Informática y transformación digital en el contexto industrial y
organizacional**

Pimentel – Perú

2024


DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien(es) suscribe(n) la DECLARACIÓN JURADA, soy(somos) **egresado (s)** del Programa de Estudios de **Ingeniería de Sistemas** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro (amos) bajo juramento que soy (somos) autor(es) del trabajo titulado:

COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE RECONOCIMIENTO FACIAL PARA CONTROLAR LA ASISTENCIA DE LOS ESTUDIANTES DE NIVEL SECUNDARIO DE UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Olivos Julca Charles	DNI: 46445062	
----------------------	---------------	---

Pimentel, 19 de diciembre de 2024.

REPORTE DE SIMILITUD TURINITIN

Olivos Julca Charles

Comparación de Técnicas de Reconocimiento Facial para Controlar la Asistencia de los Estudiantes de

 Universidad Señor de Sipan

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::26396:432400960

Fecha de entrega
20 feb 2025, 4:08 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
20 feb 2025, 4:10 p.m. GMT-5

Nombre de archivo
turnitin Olivos Julca Charles - 2025 Corregido (1).docx

Tamaño de archivo
2.1 MB

42 Páginas

6,630 Palabras

36,086 Caracteres



Página 2 of 47 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid:::26396:432400960




14% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 13%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

**COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE RECONOCIMIENTO FACIAL PARA
CONTROLAR LA ASISTENCIA DE LOS ESTUDIANTES DE NIVEL
SECUNDARIO DE UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA**

Aprobación del jurado

Mg. Tuesta Monteza Victor Alexci

Presidente del Jurado de Tesis

Mg. Arcila Diaz Juan Carlos

Secretario del Jurado de Tesis

Mg. Asenjo Carranza Enrique David

Vocal del Jurado de Tesis

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación dedico a Dios por darme su bondad, amor y su bendición divina. Con infinita gratitud, a mi querida madre Eusebia Julca Huamán por su expresión de amor, apoyo moral y económico, por su constancia infinita para guiarme por el camino de la superación anteponiéndose a las dificultades y avatares de la vida, incentivando siempre optimismo y confianza en todo momento. A mi hija Abigail Olivos Flores que su llegada a este mundo me motiva a seguir adelante superándome cada día. A mi hermano Yoni Olivos Julca por confiar siempre en mí, al profesor José Eber Castro Tapia por el apoyo incondicional que me brinda en todo momento.

Charles Olivos

Agradecimientos

Dar las infinitas gracias a Dios todo poderoso por darnos la capacidad y fortaleza de seguir adelante y enfrentar los obstáculos que se presenta en vida diaria y en la formación como profesionales, también a mi madre y a hermano por apoyarme para seguir adelante, de igual manera a nuestros Docentes de la Escuela de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Señor de Sipán por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión y de manera especial al Mg. MEJIA CABRERA HEBER IVAN principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento y enseñanza permitió el desarrollo de este trabajo. A todas las instituciones públicas que me abrieron sus puertas para realizar mi práctica preprofesional de ingeniería de sistemas.

Índice

Resumen	xiii
Abstract.....	xiv
I. INTRODUCCIÓN	15
II. MATERIALES Y MÉTODO	18
2.1. Materiales	18
2.2. Método.....	19
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
3.1. Resultados.....	35
3.2. Discusión	49
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	55
4.1. Conclusiones	55
4.2. Recomendaciones	55
REFERENCIAS	57
ANEXOS.....	61

Índice de Figuras

Fig. 1. Representación gráfica del método utilizado.	20
Fig. 2. Representación del protocolo de adquisición de imágenes utilizado.	21
Fig. 3. Representación del procesamiento de imágenes.	21
Fig. 4. Interfaz gráfica de la captura de imágenes, procesamiento y entrenamiento.	24
Fig. 5. Parte del sistema correspondiente al reconocimiento facial.	25
Fig. 6. Organización de las imágenes capturadas de rostros de los alumnos mediante el protocolo de adquisición planteado.	36
Fig. 7. Figura comparativa de los tiempos de respuesta de cada técnica de reconocimiento facial evaluada.	38
Fig. 8. Figura comparativa de los tiempos empleados en el entrenamiento.	39
Fig. 9. Figura comparativa de ratio de FPS por cada técnica de reconocimiento facial.	40
Fig. 10. Figura comparativa del consumo de CPU de cada técnica de reconocimiento facial aplicada.	41
Fig. 11. Figura comparativa del consumo de CPU de cada técnica de reconocimiento facial en el proceso de entrenamiento.	42
Fig. 12. Figura comparativa del incremento porcentual de consumo de memoria RAM por cada técnica de reconocimiento facial.	43
Fig. 13. Figura comparativa del incremento cuantitativo en MB de consumo de memoria RAM en el proceso de entrenamiento.	44
Fig. 14. Figura comparativa de la exactitud de cada técnica de reconocimiento facial.	45
Fig. 15. Figura comparativa de la precisión de cada técnica de reconocimiento facial.	46
Fig. 16. Figura comparativa de la especificidad de cada técnica de reconocimiento facial.	47
Fig. 17. Figura comparativa de la sensibilidad de cada técnica de reconocimiento facial.	48
Fig. 18. Figura de la calificación de usabilidad alcanzado.	49
Fig. 19. Procedimiento de construcción de base de datos.	51
Fig. 20. Representación de las posiciones recomendadas de los rostros para la adquisición	

de imágenes.	53
Fig. 21. Cuadro de video generado por la cámara web detectando el rostro.	54
Fig. 22. Imágenes capturadas de los rostros de los alumnos aplicando el protocolo de adquisición de imágenes planteado.	54
Fig. 23. Carta de aceptación brindada por la directora del colegio secundario Jorge Basadre Grohmann.....	65
Fig. 24. Autorizaciones de los padres de familia de los alumnos involucrados en la investigación.	67
Fig. 25. Archivo txt del registro de los tiempos de procesamiento por fotograma procesado.	68
Fig. 26. Entorno visual del software PerfMonitor, validado por Intel.	69
Fig. 27. Entorno visual del software Monitor de recursos, propiedad y validado por Microsoft.	69
Fig. 28. Logs de los registros de ingreso.....	70
Fig. 29. Registro en archivo .xlsx de los ingresos de alumnos.	70
Fig. 30. Ficha de registro de reconocimiento facial.	71
Fig. 31. Encuesta de usabilidad del sistema.	72
Fig. 32. Fragmento del código fuente utilizado en la captura de las imágenes.....	74
Fig. 33. Fragmento del código fuente utilizado en el procesamiento de las imágenes.....	75
Fig. 34. Fragmento del código utilizado para el entrenamiento de la base de datos, el código mostrado realiza un listado de la base de datos y etiquetas.....	76
Fig. 35. Fragmento del código utilizado para el entrenamiento, el código mostrado realiza el entrenamiento de la técnica LBPH y escritura del archivo yml de salida.	76
Fig. 36. Fragmento del código utilizado para el entrenamiento, el código mostrado realiza el entrenamiento de la técnica Fisher Faces y escritura del archivo yml de salida	76
Fig. 37. Fragmento del código utilizado para el entrenamiento, el código mostrado realiza el entrenamiento de la técnica Eigen Faces y escritura del archivo yml de salida.....	77

Fig. 38. Fragmento del código utilizado para seleccionar la técnica de reconocimiento facial y leer el archivo generado con el entrenamiento previo de la técnica..... 78

Fig. 39. Fragmento del código utilizado para aplicar el reconocimiento facial y evaluar el límite de confianza definido. 80

Fig. 40. Muestra de una evaluación, la respuesta de la evaluación es en este caso un verdadero positivo..... 80

Fig. 41. Muestra de una evaluación, la respuesta de la evaluación es en este caso un falso positivo..... 81

Índice de Tablas

Tabla 1. Representación de tiempo invertido en la toma de asistencia a clases de los alumnos de la forma tradicional.	17
Tabla 3. Características del dispositivo de adquisición de imágenes digitales.....	18
Tabla 4. Características del dispositivo usado para la implementación del sistema y pruebas.....	18
Tabla 5. Cadenas de búsqueda aplicadas en los repositorios científicos.	22
Tabla 6. Investigaciones revisadas para el desarrollo de esta investigación.	22
Tabla 7. Discriminantes para determinar la población de técnicas de reconocimiento facial.	23
Tabla 9: Población de Técnicas de reconocimiento facial	27
Tabla 10: Muestra de Técnicas de reconocimiento facial	27
Tabla 11. Variables de la fórmula de Tiempo de Respuesta	29
Tabla 12. Variables de la fórmula para calcular los FPS	29
Tabla 13. Variables del consumo de CPU.....	30
Tabla 14. Variables de la fórmula de consumo de memoria ram	30
Tabla 15. Variables de la fórmula para calcular la Exactitud	31
Tabla 16. Variable de la fórmula para calcular la Precisión	31
Tabla 17. Variable de la fórmula para calcular la Sensibilidad.....	32
Tabla 18. Variable de la fórmula para calcular la Especificidad.....	32
Tabla 19. Variables de la fórmula para determinar la usabilidad.	33
Tabla 20. Rango de escalas y valores de Usabilidad.	33
Tabla 21. Configuración del dispositivo de adquisición de imágenes digitales.	51
Tabla 22. Tiempo empleado en el entrenamiento de las técnicas de reconocimiento facial.	77
Tabla 23. Límite de confianza determinado para cada técnica de reconocimiento facial.	79

Tabla 8: Matriz de Operacionalización de Variables de la Investigación	82
---	-----------

Índice de Anexos

Anexo 1. Resolución de aprobación del proyecto de investigación.....	61
Anexo 2. Carta de aceptación de la institución para la recolección de datos.	64
Anexo 3. Consentimiento informado, que se utilizaron en el desarrollo de la investigación.	66
Anexo 4. Ficha de registro de rendimiento	68
Anexo 5. Ficha de observación de control de asistencia con reconocimiento facial.	71
Anexo 6. Encuesta de usabilidad del sistema.....	72
Anexo 7. Fragmentos del código fuente del sistema de reconocimiento facial.	73

COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE RECONOCIMIENTO FACIAL PARA CONTROLAR LA ASISTENCIA DE LOS ESTUDIANTES DE NIVEL SECUNDARIO DE UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA

Resumen

El uso de la tecnología para el ser humano se ha vuelto muy recurrente en la actualidad, lo podemos apreciar por el desarrollo e innovación tecnológica exponencial que trata de satisfacer la necesidad de agilizar y automatizar tareas, lo que vuelve a la tecnología indispensable. Centrándonos en la visión por computador y en los usos esenciales enfocadas a la seguridad y control, como el reconocimiento facial, reconocimiento dactilar, reconocimiento de patrones oculares, entre muchos otros, es cada vez habitual en nuestro día a día, como identificar el dueño de teléfono móvil, el conteo de personas en determinada área, el registro automático de los colaboradores de una organización.

La implementación de estos sistemas de control por lo general es costosa de realizar y mantener, por ello, esta investigación se desarrolló con el fin de aportar una solución para la necesidad de registrar la asistencia de estudiantes de una institución educativa mediante reconocimiento facial, en la que se pueda implementar con equipos básicos y accesibles económicamente.

Esta investigación realizó una comparación de técnicas de reconocimiento facial basándose en investigaciones previas, se identificó 3 técnicas que tenían mejor desempeño FisherFaces, EigenFaces y LBPH, pero que aplicadas al entorno de investigación se demostró que FisherFisher es más ligero en costo computacional, sobreponiéndose sobre EigenFaces y LBPH, sin embargo, el que demostró mejor desempeño en reconocimiento facial fue LBPH con 92% de exactitud y 86.4% de precisión, siendo más eficiente frente a EigenFaces y FisherFaces.

Palabras Clave: visión artificial, reconocimiento facial, procesamiento de imágenes, control

de asistencia.

Abstract

The use of technology for the human being has become very recurrent actually, we can appreciate it by the exponential technological development and innovation that tries to satisfy the need to streamline and automate tasks, which makes technology indispensable. Focusing on computer vision and essential uses focused on security and control, such as facial recognition, fingerprint recognition, eye pattern recognition, among many others, is becoming increasingly common in our daily lives, such as identifying the owner of a cell phone, counting people in a certain area, the automatic registration of employees of an organization.

The implementation of these control systems is usually expensive to implement and maintain, therefore, this research was developed in order to provide a solution for the need to record the attendance of students of an educational institution through facial recognition, which can be implemented with basic and affordable equipment.

This research made a comparison of face recognition techniques based on previous research, 3 techniques were identified as having better performance as FisherFaces, EigenFaces and LBPH, but applied to the research environment showed that FisherFisher is lighter in computational cost, overcoming EigenFaces and LBPH, however, the one that showed better performance in face recognition was LBPH with 92% of accuracy and 86.4% of precision, being more efficient against EigenFaces and FisherFaces.

Keywords: artificial vision, facial recognition, image processing, attendance control.

I. INTRODUCCIÓN

La tendencia al uso de los aparatos tecnológicos en las empresas, organizaciones, centros de estudio, hogares, incluso las mismas personas del mundo va en alza cada día de manera exponencial, no solo porque existen evidencias cuantificables de ello, sino porque es una situación que se hace evidente ante la humanidad. La instauración de mecanismos tecnológicos para el control de asistencia al contexto laboral es uno de esos ejemplos. Desde hace muchos años atrás, existe en el mercado mundial programas automatizados y digitales que cumplen esta función en aras de mantener de alguna manera el control de entrada y salida de personas y vehículos, con la finalidad de control o monitoreo [1].

Sin embargo, las fallas presentes en estos sistemas y el constante crecimiento evolutivo de la tecnología han conducido a los eruditos en sistemas tecnológicos y programación a crear nuevas alternativas de respuesta viable a las organizaciones en cuanto a precisión operativa de los sistemas. Es así como, en algunos países desarrollados con mayor acceso económico los sistemas de control de asistencia para el personal que trabaja en la industria, sector público y privado, se han vuelto indispensables, ya que los mismos sirven para verificar la asistencia de cierto trabajador y salida de este, transformándose en un instrumento aliado al área de recursos humanos. Esto ha llevado a diseñar sistemas de control de asistencia, más eficientes, con un menor tiempo de respuesta en el procesamiento de imágenes, dichos controles se lo han realizado con el reconocimiento de las huellas dactilares, ingresando un dedo o toda la mano en dispositivos electrónicos diseñados para este efecto, cambiando la tecnología de la tarjeta o chip electrónico que cumplía un fin similar o de acceso [1].

Al respecto, se sabe que los dispositivos de biometría son una tecnología de seguridad usada por sistemas computarizados, primordialmente para reconocer rasgos físicos como atributos faciales, patrones oculares, huellas dactilares, patrones de la voz y patrones de escritura, que están implementados para estándares de seguridad muy altos [2]

Pero la volatilidad de la tecnología y la existencia cambiante del mercado cada vez

más competitivo y globalizado, ha conducido a las empresas e industrias a desarrollar casi que por obligación métodos más eficientes que los tradicionales en el control de asistencia de su personal. Esto ha permitido que hoy en día, exista la versatilidad de la tecnología de visión artificial utilizada en tareas de verificación y comparación de imágenes la misma que es de vital importancia en el procesamiento y reconocimiento de imágenes para el posterior control de asistencia de personal en empresas, industrias, sector educativo y otros sectores en todo el mundo.

Durante los últimos años el uso de “Tecnologías de la Información (TI)” se ha convertido en uno de los campos que más interacción tiene con los seres humanos debido a sus grandes avances tecnológicos, tales como el desarrollo de los sistemas biométricos de reconocimiento por huella digital, voz, iris y facial; entre estos, el más prometedor es el reconocimiento facial debido a la idea innovadora que un computador procese imágenes faciales, identifique rasgos y detecte la identidad de una persona [1].

En el Perú, la mayoría de empresas tienen ya dispositivos que hacen el reconocimiento facial, pero con costos elevados, lo cual es un problema ya que antes de invertir es importante que los empresarios conozcan cual sistema les es más eficiente económicamente y en operatividad.

Y si se toma la atención en las instituciones educativas de las zonas rurales, no se cuenta con la estabilidad económica suficiente para implementar sistemas automatizados para realizar tareas cotidianas, entre ellas, el registro de asistencia de los alumnos, una tarea que recorta el tiempo invertido en la realización de clases, dependiendo del número de estudiantes matriculados, por ejemplo.

Tabla 1. Representación de tiempo invertido en la toma de asistencia a clases de los alumnos de la forma tradicional.

		Escalas		
		Alumno / Dia	Aula / Dia	Aula / Semana
Variables	Alumno	1	30	30
	Tiempo	00:00:10	00:05:00	00:25:00
	Materia	3	3	3
Tiempo Total		00:00:30	00:15:00	01:15:00

Nota: La tabla representa los cálculos del tiempo aproximado invertido para tomar asistencia a clases en las aulas de un colegio, considerando la manera tradicional. Elaboración propia.

Es allí donde nace la necesidad de desarrollar este proyecto, utilizando dispositivos mucho más económicos y un sistema eficiente, podemos agilizar este proceso de registro de asistencia a clases, si se considera la toma de asistencia de los alumnos al ingresar a la institución educativa, liberamos el tiempo empleado por cada docente para tomar asistencia y por consecuencia se cumpliría el tiempo programado para desarrollar cada clase.

En la presente investigación se ha formulado el siguiente problema, ¿Qué técnica de reconocimiento facial se desempeña mejor para realizar el control de asistencia de alumnos de la institución educativa secundaria Jorge Basadre Grohmann? Y se ha planteado la siguiente hipótesis, la técnica de Histograma de Patrones Locales Binarios (LBPH) se desempeña mejor en el control de asistencia de alumnos de la institución educativa secundaria “Jorge Basadre Grohmann”, basado en la conclusión y ambiente utilizado en los estudios recientes [3] y [4] donde [3] concluyen que LBPH es la técnica más adecuada para el control e identificación de personas en el ingreso de un condominio, además que ha sido evaluado en un ambiente similar al de esta investigación. Y [4] concluye que LBPH es el sistema en comparación óptimo para integrar un sistema de reconocimiento aceptable.

Para el presente trabajo de investigación tiene como objetivo general; Determinar cuál

técnica de reconocimiento facial es mejor para controlar la asistencia de los estudiantes de nivel secundario de una institución educativa Jorge Basadre Grohmann.

Para lograr el objetivo general se realizó los siguientes objetivos específicos. Construir una base de datos de imágenes digitales de los rostros, Seleccionar las técnicas de reconocimiento facial, Implementar en una aplicación las técnicas de reconocimiento facial, Evaluar los resultados de reconocimiento facial en la institución educativa Jorge Basadre Grohmann.

II. MATERIALES Y MÉTODO

2.1. Materiales

Los materiales utilizados en esta investigación se detallan a continuación, la cámara utilizada para la captura de las imágenes se detalla en la tabla 3.

Tabla 2. Características del dispositivo de adquisición de imágenes digitales.

Característica	Detalle
Resolución	2.07 MP
Sensor	1/2.7" CMOS
Apertura	f/2.2
Distancia Focal	1.82mm
Cantidad de Pixeles	1080x1920 (2073600)

Nota: Elaboración propia

A continuación, el equipo de cómputo utilizado para la implementación del sistema y ejecución de cada

Tabla 3. Características del dispositivo usado para la implementación del sistema y pruebas.

Característica	Detalle
Laptop	Acer Nitro 5 AN515-55

SO	Windows 11 Pro 24H2
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-10750H CPU @ 2.60GHz
Velocidad Base CPU	2.60 GHz
Núcleos CPU	6
Memoria RAM	24.0 GB
Ranuras de Memoria	2/2
Espacio Total	23.8GB
Velocidad	2933 MT/s

Nota: Elaboración propia

2.2. Método

El método de la investigación realizada estuvo compuesto por 4 etapas, como se

muestra en la figura 4.

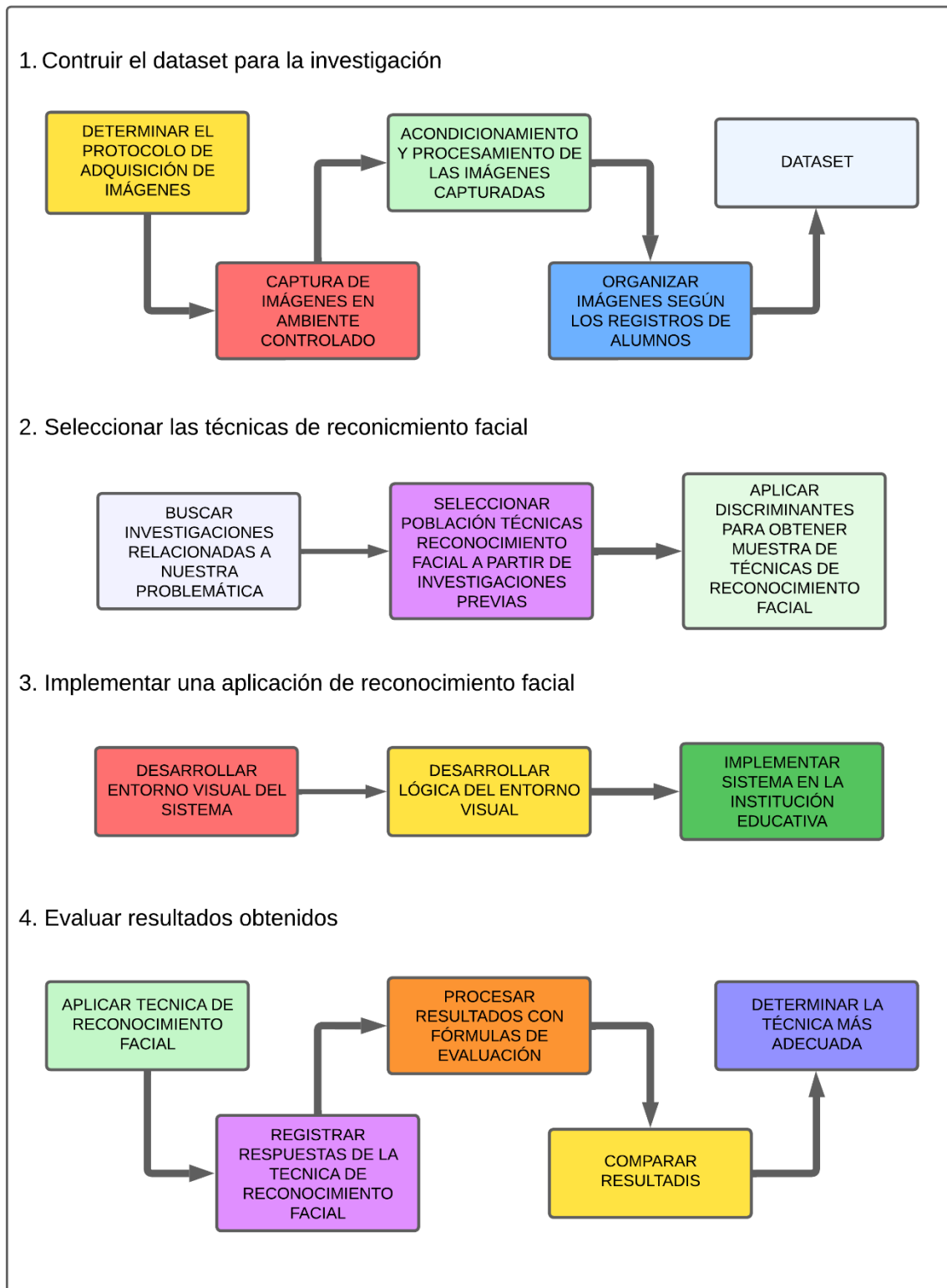


Fig. 1. Representación gráfica del método utilizado.

Primero se desarrolló la primera etapa que consistió en la construcción del dataset

que nos sirvió para aplicar las técnicas de reconocimiento facial, la que a su vez estuvo compuesta de 4 pasos. Inicia con la determinación del protocolo de la adquisición de las imágenes, que sirvió para tener las mismas condiciones de adquisición de imágenes para todos los estudiantes considerados en la investigación, como se muestra la figura 4.

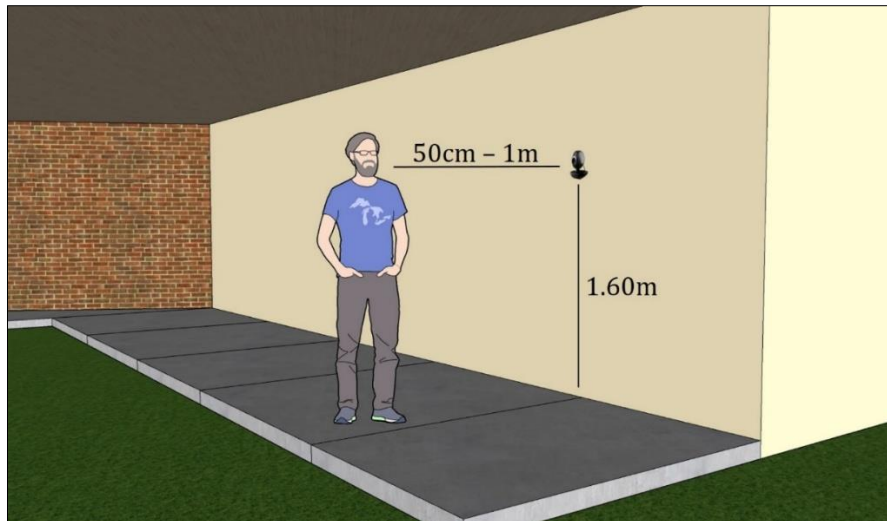


Fig. 2. Representación del protocolo de adquisición de imágenes utilizado.

Se obtuvo la captura de 50 fotografías por alumno. Como segundo paso se hizo la captura de las imágenes, seguido del acondicionamiento de y procesamiento de las imágenes tal como se representa en la imagen 6.

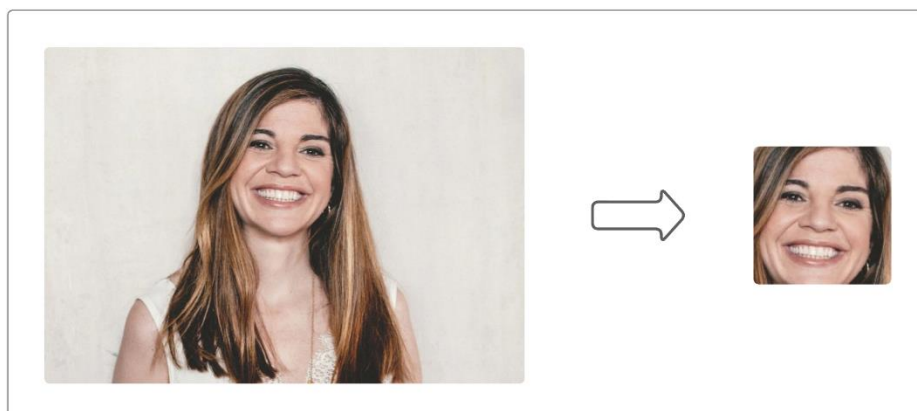


Fig. 3. Representación del procesamiento de imágenes.

La segunda etapa consistió en revisar las investigaciones previas e ir recolectando

información de las técnicas que los autores habían aplicado en sus investigaciones. Para empezar, se hizo una búsqueda en fuentes científicas sobre siguiendo una secuencia de palabras clave, como se detalla en la tabla 5.

Tabla 4. Cadenas de búsqueda aplicadas en los repositorios científicos.

Cadenas de Búsqueda
“facial recognition techniques”
“facial recognition techniques for attendance control”
“comparison of facial recognition techniques”
“techniques for attendance control by images”
“attendance control by webcam”

Nota: Elaboración propia

Después se seleccionó una población de investigaciones de las cuales obtendremos referencias en cuento al desempeño de las técnicas usadas por los autores correspondientes a cada investigación, según nuestra revisión la población quedó determinada de la siguiente manera representada en la tabla 6.

Tabla 5. Investigaciones revisadas para el desarrollo de esta investigación.

Referencia	Técnica Usada
González & Velásquez [22]	HOG
Mundial et. al [23]	Red Neuronal
Verdaguer y Campos [3]	Fisher Faces
Grisales [4]	Eigen Faces
Manjurul et al. [24]	LBP
Patil et al. [25]	LDA + KNN LDA + SVM
Liu [20]	Resnet-50
Sawhney et al. [26]	Nuevo*
Hapani et al. [27]	Fisher Faces
Chrity et al. [28]	SVM

Nota: Elaboración propia

A continuación, se aplicaron discriminantes para obtener solo una muestra de toda la población obtenida, los criterios para discriminar las técnicas de reconocimiento facial se detallan en la tabla 7.

Tabla 6. *Discriminantes para determinar la población de técnicas de reconocimiento facial.*

Nro	Detalle
1	Habían sido usadas en investigaciones que probaron estas técnicas en tiempo real
2	Las investigaciones también estaban enfocadas en controles de asistencia, registro de personas
3	Valores de precisión relativamente altos.

Nota: Elaboración propia

Finalmente, tras aplicar los discriminantes, la muestra quedó determinada como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. *Técnicas de reconocimiento facial seleccionadas*

Nro	Nombre
1	Eigen Faces
2	Fisher Faces
3	LBPH

Nota: Elaboración propia

La tercera etapa de este método consistió en el desarrollo de un sistema de reconocimiento facial, se consideró desarrollarlo en dos partes, la primera parte enfocada en la captura de las imágenes, procesamiento de datos y entrenamiento de las técnicas de

reconocimiento facial, la figura 7 muestra la interfaz gráfica desarrollada.



Fig. 4. Interfaz gráfica de la captura de imágenes, procesamiento y entrenamiento.

La primera ventana de la interfaz gráfica permite al usuario interactuar con la cámara de su dispositivo o una cámara web externa, hacer los registros de los alumnos o la validación y creación automática de los folders correspondientes a cada alumno, el sistema cuenta la cantidad de fotografías capturadas y muestra el número de fotos capturadas, también permite configurar la manera de obtener las fotos.

La segunda ventana de la interfaz corresponde al procesamiento de las imágenes que a su vez consta del acondicionamiento y procesamiento las imágenes, donde se redimensiona, convierte a escala de grises, y el método HarrCascade de extracción de características realiza un recorrido por el fotograma y se hace el recorte de las imágenes del rostro reconocido.

La tercera ventana correspondiente al entrenamiento, se lista todos los folders con la información adjunta y cada método se encarga de entrenar para finalmente generar un documento de tipo yml.

La segunda parte del sistema fue desarrollado con la intención de cumplir únicamente

la tarea del reconocimiento facial, por ella se hizo una exclusión del entorno gráfico inicial. Esta parte del sistema hace una lectura inicial de los datos entrenados por las técnicas seleccionadas, seguidamente según la configuración definida y la puesta en marcha de la cámara, empieza con la tarea del reconocimiento facial.

Según la técnica utilizada, hace una comparación de los datos faciales reconocidos en el fotograma transmitido por la cámara y los datos previamente entrenados, de encontrar coincidencias muestra el nombre la persona con las características reconocidas. Entre las probabilidades de predicción se encuentran 3 posibles resultados, la primera opción cuando la predicción es correcta el sistema muestra el nombre correcto de la persona, la segunda opción es cuando la predicción es incorrecta muestra el nombre de otra persona que no corresponde a la persona en cámara, la tercera opción es que el sistema no reconoce las características de la persona en cámara y muestra el resultado de "Desconocido". La segunda parte del sistema queda contemplada en la figura 8.

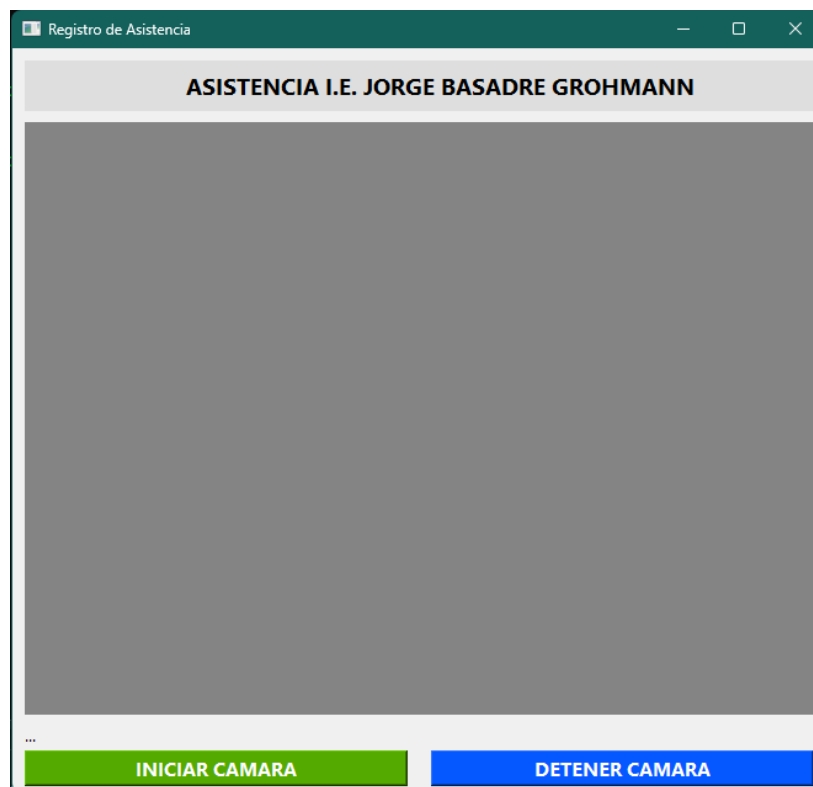


Fig. 5. Parte del sistema correspondiente al reconocimiento facial.

2.3. Tipo y Diseño de la Investigación

2.3.1. Tipo de Investigación

El tipo que comprende la presente investigación hace referencia a una del tipo cuantitativa tecnológica, debido a que se trabajará con datos cuantitativos, específicamente estadísticos, dentro de un ambiente tecnológico donde predomina el conocimiento sobre las técnicas de reconocimiento facial, resaltando el conocimiento científico validado por medio de la ciencia computacional.

2.3.2. Diseño de Investigación

Para llevar a cabo el presente estudio se tomó como referencia el diseño pre-experimental planteado por [30] el cual consiste en diseñar un grupo, donde es mínimo el nivel de control y que, en líneas generales, se usan para obtener un acercamiento inicial del problema dentro de estudio contemplados en escenarios reales. De ese modo, la propuesta es pre-experimental, con un boceto pre y post test de un único grupo. Su representación se muestra a continuación:

$$G \quad O_1 \quad X \quad O_2$$

Dónde:

G : Grupo de estudio experimental.

O_1 : Observación de reconocimiento de imágenes faciales de estudiantes.

X : Variable independiente: algoritmo de procesamiento de rostros.

O_2 : Observación de reconocimiento de rostros después del desarrollo de un método de detección facial.

2.4. Población de Estudio, Muestra, Muestreo y Criterios de Selección

En el estudio, la población se halla compuesta por las 7 técnicas de reconocimiento facial. Estas fueron obtenidas de los artículos revisados en la sección de trabajos previos, la población queda compuesta por:

Tabla 7: Población de Técnicas de reconocimiento facial

Nº	Técnica de Reconocimiento Facial
1	VGG-Face
2	Fisher Faces
3	Eigen Faces
4	LBPH
5	K-means
6	PCA
7	Dlib

Nota: Elaboración propia.

A partir de ellas, se seleccionó una muestra de 3 técnicas de reconocimiento facial.

Tabla 8: Muestra de Técnicas de reconocimiento facial

Nº	Técnica de Reconocimiento Facial
1	LBPH
2	Fisher Faces
3	Eigen Faces
4	VGG-Face

Nota: Elaboración propia.

Los criterios para la selección de las técnicas elegidas fueron:

- Habían sido usadas en investigaciones que probaron estas técnicas en tiempo real.
- Las investigaciones también estaban enfocadas en controles de asistencia, registro de personas.
- Valores de precisión relativamente altos.
- En el caso de VGG-FACE es un modelo utilizado en el algoritmo DeepFace, desarrollado por Facebook, del cual se propone como un sobresaliente

modelo de reconocimiento facial.

2.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos, Validez y Confiabilidad

La técnica de recolección de datos utilizada para esta investigación fue:

- **Observación:** se utilizó esta técnica en el desarrollo del proyecto, pues está basada en la observación directa de los resultados mostrados por los algoritmos al realizar una tarea.

Y el instrumento de recolección de datos utilizada para esta investigación fue:

- **Bitácora de Resultados:** Este instrumento de recolección de datos nos permitió llevar un control de los detalles obtenidos en el desarrollo de cada tarea. Estos instrumentos se muestran en los anexos 4 y 5.
- **Encuesta:** Este instrumento nos permitió evaluar la usabilidad del sistema, basado en el System Usability Scale (SUS), aplicando las encuentra predefinida para ese propósito, tomando como métricas de evaluación la escala de Likert. Este instrumento se muestra en el anexo 6.
- **Monitor de Recursos:** Estos instrumentos proporcionados por mifrosoft / Intel, nos permitieron mantener un registro del consumo de recursos, antes, durante y después de la ejecución del sistema de prueba.

2.6. Procedimiento de Análisis de Datos

Para los análisis de datos, iniciando por analizar la rapidez del sistema en ejecución de las tareas se considera los siguientes indicadores.

2.6.1. Tiempo de Respuesta

Es el tiempo que dura un proceso para dar una respuesta, calculado con la siguiente fórmula:

$$TR = \frac{\sum TF - TI}{\#procesos}$$

Donde:

Tabla 9. Variables de la fórmula de Tiempo de Respuesta

Variable	Descripción
TR	Tiempo de respuesta
TF	Hora de finalización
TI	Hora de inicio
#procesos	Cantidad de procesos ejecutados

Nota: Elaboración propia

2.6.2. FPS

Es la velocidad de tratamiento de los fotogramas del video, calculado con la siguiente fórmula:

$$FPS = \frac{F}{T_f - T_i}$$

Donde:

Tabla 10. Variables de la fórmula para calcular los FPS

Variable	Descripción
FPS	Fotogramas por segundo
F	Fotogramas o cuadros procesados
T_f	Hora de finalización
T_i	Hora de inicio

Nota: Elaboración propia

A continuación, se tiene en cuenta el rendimiento del hardware / carga computacional que genera la ejecución de las tareas, para ello se consideran los siguientes indicadores.

2.6.3. Consumo de CPU

Es el nivel de carga que utiliza un proceso en ejecución respecto al procesador y se calculó con la siguiente formula:

$$CPU = \frac{\sum CPU\%_f}{\#procesos} - CPU\%_i$$

Donde:

Tabla 11. Variables del consumo de CPU

Variable	Descripción
CPU	Consumo de CPU
CPU_f	Porcentaje durante proceso
CPU_i	Porcentaje antes del proceso
#procesos	Cantidad de procesos ejecutados

Nota: Elaboración propia

2.6.4. Consumo de Memoria RAM

Es el nivel de carga que utiliza un proceso en ejecución respecto a la memoria RAM y se calculó con la siguiente formula:

$$M = \frac{\sum RAM_f}{\#procesos} - RAM_i$$

Donde:

Tabla 12. Variables de la fórmula de consumo de memoria ram

Variable	Descripción
M	Consumo de memoria ram
RAM_f	Porcentaje durante el proceso
RAM_i	Porcentaje antes del proceso
#procesos	Cantidad de procesos ejecutados

Nota: Elaboración propia

Para medir la confiabilidad de los métodos evaluados, se tuvo en consideración los siguientes indicadores basados en la matriz de confusión.

2.6.5. Exactitud

Es un porcentaje que refiere la cercanía de una predicción al valor real y se calcula con la siguiente fórmula correspondiente a la matriz de confusión:

$$E = \frac{VP + VN}{PT}$$

Donde:

Tabla 13. Variables de la fórmula para calcular la Exactitud

Variable	Descripción
E	Exactitud
VP	Verdaderos positivos
VN	Verdaderos negativos
PT	Predicciones totales

Nota: Elaboración propia

2.6.6. Precisión

Refiere al porcentaje de aciertos reales y se calcula con la siguiente fórmula correspondiente a la matriz de confusión:

$$P = \frac{VP}{VP + FP}$$

Donde:

Tabla 14. Variable de la fórmula para calcular la Precisión

Variable	Descripción
P	Precisión
VP	Reales positivos
FP	Falsos positivos

2.6.7. Sensibilidad

Es el valor que representa la proporción de predicciones positivas correctamente identificadas y se calcula con la siguiente fórmula correspondiente a la matriz de confusión:

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

Donde:

Tabla 15. Variable de la fórmula para calcular la Sensibilidad

Variable	Descripción
S	Sensibilidad
VP	Verdaderos Positivos
FN	Falsos negativos

Nota: Elaboración propia

2.6.8. Especificidad

Es el valor que representa el porcentaje de predicciones negativas correctamente identificadas y se calcula con la siguiente fórmula correspondiente a la matriz de confusión:

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

Donde:

Tabla 16. Variable de la fórmula para calcular la Especificidad

Variable	Descripción
E	Especificidad
VN	Verdaderos Negativos
FP	Falsos Positivos

Nota: Elaboración propia

En cuanto a la dimensión usabilidad se consideró el indicador Escala de Usabilidad que está representada de la siguiente manera.

2.6.9. Escala de Usabilidad

Esta escala representa la satisfacción del usuario final con respecto al funcionamiento de un sistema, considerando simplicidad, gestión interna de errores, buena experiencia de usuario, entre otros principios. Este indicador se mide con la siguiente fórmula:

$$SUS = \left\{ \left[\left(\sum_{X=1}^5 2X - 1 \right) - 5 \right] + \left[25 - \left(\sum_{X=1}^5 2X \right) \right] \right\} * 2.5$$

Donde:

Tabla 17. Variables de la fórmula para determinar la usabilidad.

Variable	Descripción
SUS	Escala de Usabilidad
$\sum_{X=1}^5 2X - 1$	Sumatoria de las respuestas de las preguntas de índice impar
$\sum_{X=1}^5 2X$	Sumatoria de las respuestas de las preguntas de índice par

Nota: Elaboración propia

Con el resultado obtenido del SUS, se evalúa de acuerdo con el siguiente cuadro comparativo.

Tabla 18. Rango de escalas y valores de Usabilidad.

Escala	Estado
0 - 50	Inaceptable
51 - 68	Marginal
68 - 100	Aceptable

Nota: Elaboración propia

2.7. Criterios Éticos

El código de ética en investigación de la universidad señor se rige por normas establecidas, que salvaguardan el proceso de investigación como los criterios éticos. Por lo tanto, los investigadores son responsables de los resultados de este estudio, el cual se centra en la actitud y el compromiso de tiempo necesarios para lograr un trabajo satisfactorio y cumplir el objetivo.

Además, con el fin de evitar cualquier situación en la que se pueda ver afectada la investigación, esta fue realizada con base en el principio de no maleficencia pues en la investigación se trataron rostros de menores de edad, se especifica que, el deber ético fundamental de esta investigación fue no provocar ningún daño alguno (moral, legal), de modo que la información sensible solo fue utilizada para los fines establecidos de estudio e investigación. Los datos e imágenes de personas involucradas en la investigación fueron tratados con total seriedad, respetando los derechos civiles y morales de cada ser humano.

A continuación, los criterios éticos tomados en cuenta.

a. Criterio de confiabilidad:

En cuanto a los datos e información personal necesaria en esta investigación fue obtenida de manera que no se afecte a las personas involucradas, dentro del marco legal y con profesionalismo; en el marco de la ley N° 29733: “Ley de protección de datos personales”, en su título IV: “Obligaciones del titular y del encargado del banco de datos personales” artículo 28 en la que dice: Que está penado por estado peruano recopilar datos personales por medios ilícitos, fraudulentos o desleales.

b. Criterio de Conformabilidad

Al realizar la investigación se obtuvo resultados y afirmaciones los cuales fueron

confirmados y validados por un perito experto dando cumplimiento: Al Código Deontológico del Colegio de Ingenieros del Perú en su apartado III “Faltas Contra la Ética Profesional y Sanciones”, Artículo 105 menciona: Que los ingenieros deben ser objetivos y veraces en la información, declaración y opiniones en temas de ingeniería.

Cabe resaltar que los datos faciales de los menores de edad fueron tratados y almacenados con total responsabilidad, respetando los criterios acordados en el consentimiento informado que se tuvo por cada participante y su apoderado respectivamente, tratando la información solo para fines educativos y de investigación. Ver anexos 2 y 3.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

La creación de la base de datos de las imágenes o dataset, fue creado y organizado de manera exitosa, organizarlas en carpetas de archivos nombradas con el nombre, apellido paterno y grado del alumno, permitió tener control en todo el procesamiento de información.

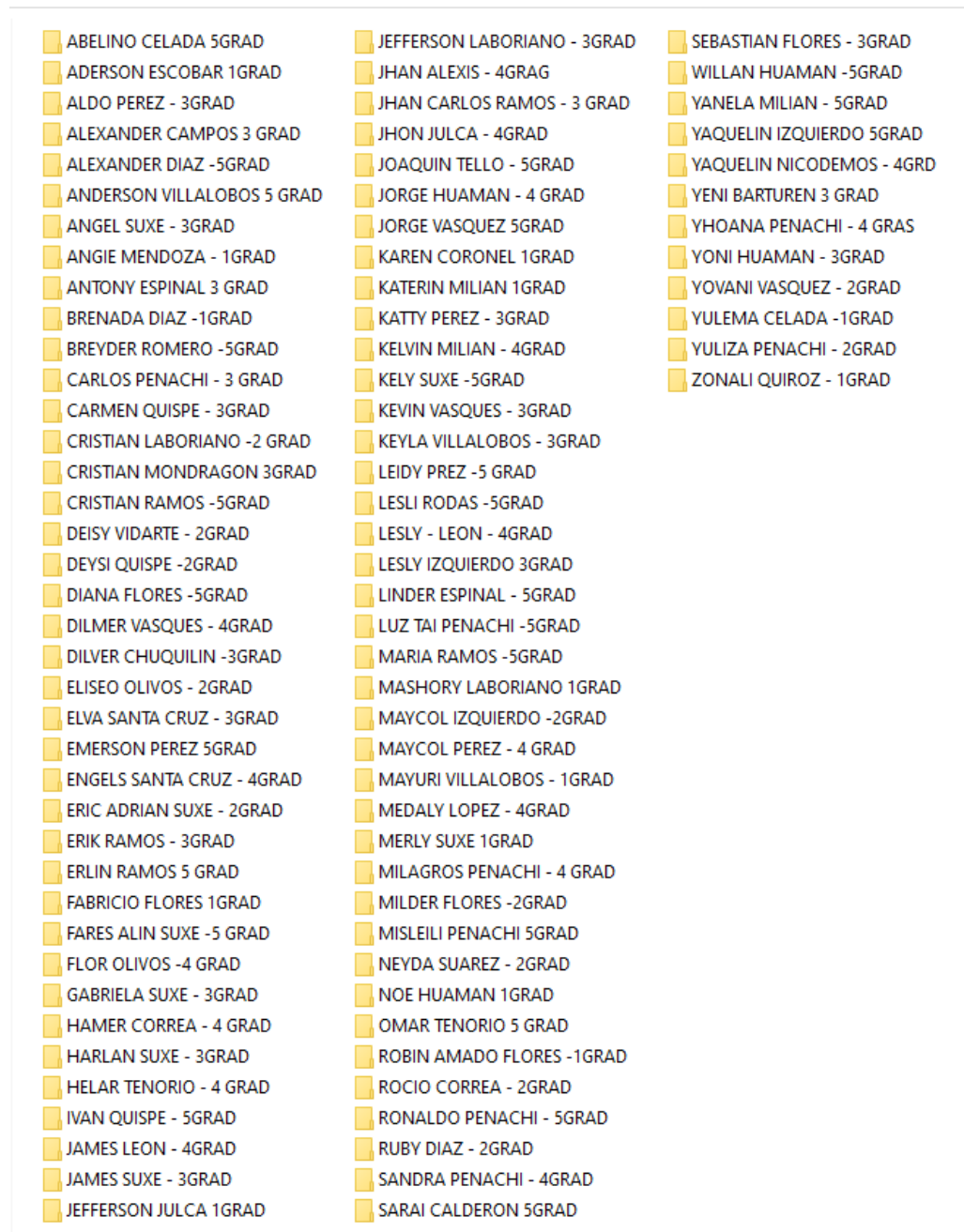


Fig. 6. Organización de las imágenes capturadas de rostros de los alumnos mediante el protocolo de adquisición planteado.

La búsqueda de literatura realizada en repositorios científicos dio mayor confiabilidad a la investigación, pues está basada en información seria, probada y validada, además de ofrecer seguridad, basarnos en sus resultados previos nos orientó a seleccionar

correctamente las técnicas adecuadas para el entorno de investigación que se enfrentó.

La implementación del sistema se basó en la facilidad de uso por el usuario final, pues con la intención de cumplir las recomendaciones técnicas del desarrollo de sistemas informáticos, se implementó una interfaz gráfica predecible y sencilla, por el lado de la lógica detrás de esta vista, se implementó de forma que sea entendible y organizado según la secuencia de funcionamiento, utilizando librerías de código abierto con finalidad que otros autores puedan reutilizar información registrada en esta investigación.

Esta investigación evaluó el desempeño de 3 técnicas de reconocimiento facial, Fisher Faces, Eigen Faces e Histograma de Patrones Locales Binarios, estos aplicados en el control de asistencia de alumnos de una institución educativa. La cantidad de alumnos por reconocer fueron 90, pero considerando no pasar por alto las probabilidades de reconocer erróneamente una persona ajena a la lista de alumnos, se decidió evaluar 45 personas ajenas a esta lista de alumnos y 45 ambientes sin personas.

Los resultados obtenidos fueron en base a la evaluación de procesos, estos resultados por proceso fueron tabulados y expresados como valor promedio.

El tiempo de respuesta representa el tiempo que toma un proceso en dar una respuesta. En esta investigación se evaluó el tiempo de respuesta de reconocimiento facial por fotograma, cada fotograma del video generado por la cámara web es avaluado por la técnica de reconocimiento facial. El tiempo de respuesta se calcula desde la apertura de un nuevo fotograma hasta la finalización de la evaluación de dicho fotograma. Los resultados de tiempos de respuesta obtenidos por la técnica fueron promediados en el total de fotogramas evaluados.

La técnica de Eigen Faces demostró un tiempo de respuesta promedio de 0.129 segundos por fotograma, la técnica Fisher Faces demostró un tiempo de respuesta de 0.034 segundos por fotograma, el método LBPH con un tiempo de respuesta de 0.227 segundos por fotograma, esto debido a que LBPH realiza un proceso extra frente a las otras técnicas, evaluar los vecinos, transformar la matriz a un lista de valores binarios y finalmente la

generación de un histograma, esto explica el proceso tardío de LBPH para reconocer los objetos en el fotograma; y por último VGGFace tiene un tiempo de respuesta promedio de 0.531s.

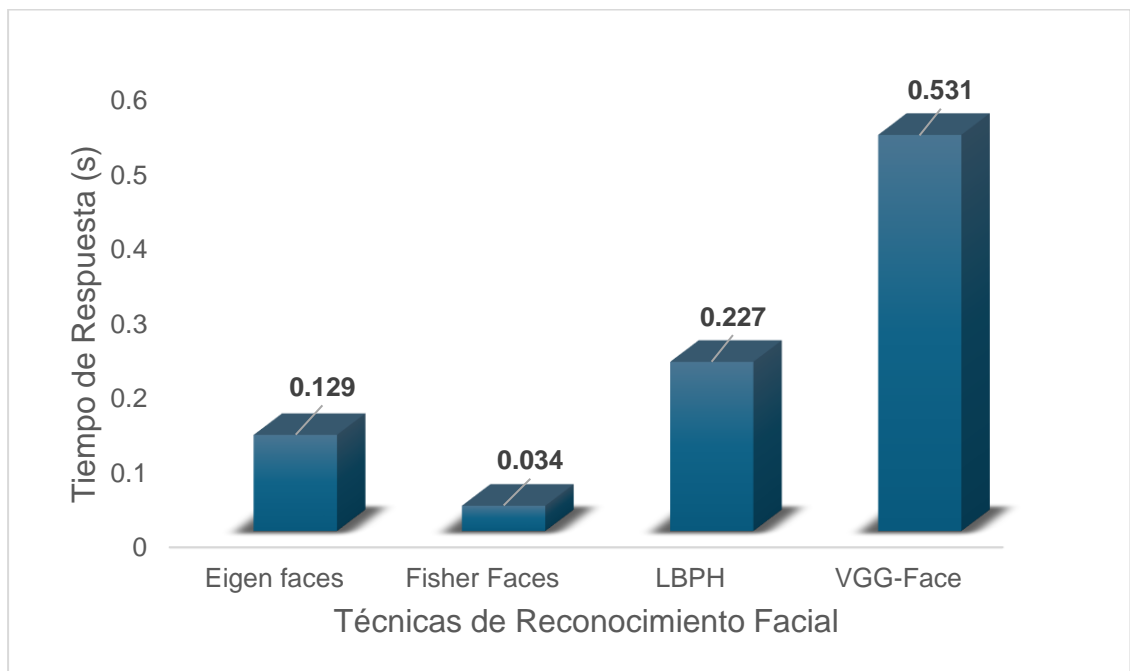


Fig. 7. Figura comparativa de los tiempos de respuesta de cada técnica de reconocimiento facial evaluada.

Con respecto al entrenamiento de las técnicas, se midió el tiempo desde que inicia el proceso de entrenamiento hasta que finaliza. De esa forma se pudo validar que LBPH es mucho más rápido con un tiempo total de 0.33 minutos, frente a VVGFace con 4.416 minutos, Fisher Faces con 17.72 minutos y Eigen Faces con 114.32 minutos.

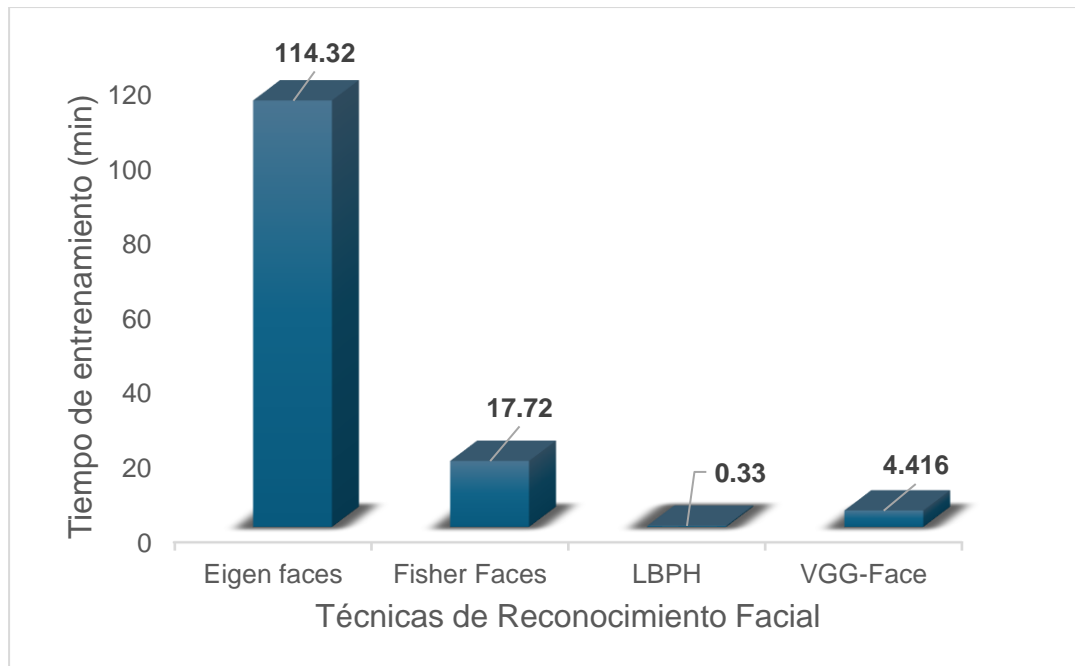


Fig. 8. Figura comparativa de los tiempos empleados en el entrenamiento.

Los FPS (Fotogramas por Segundo), es la manera de medir la velocidad de una secuencia de imágenes (fotogramas) que forman la perspectiva del video. La visualización del video en tiempo real se vería afectado en la variación de FPS, de modo que cada técnica tiene un efecto distinto sobre este. La variación entre la velocidad de fotogramas por segundo es afectada directamente por el tiempo de procesamiento de cada técnica, a su vez este directamente afectado por el consumo mayor o menor de recursos computacionales. La técnica Fisher Faces obtuvo la ratio más alto calculando 19.35 fotogramas por segundo aproximadamente, esto significa que dicha técnica puede procesar más fotogramas, por ende, una tasa de reconocimiento mayor a las otras técnicas. Seguido, la técnica Eigen Faces calculando 13.26 fotogramas por segundo, el método LBPH, procesó 7.33 fotogramas por segundo, esto guarda relación con las métricas de consumo de CPU y memoria RAM, pues un alto consumo de recursos afecta directamente la velocidad del procesamiento de fotogramas. Por último, el modelo más lento es el VGGFace con 6.54 fotogramas por segundo en promedio.

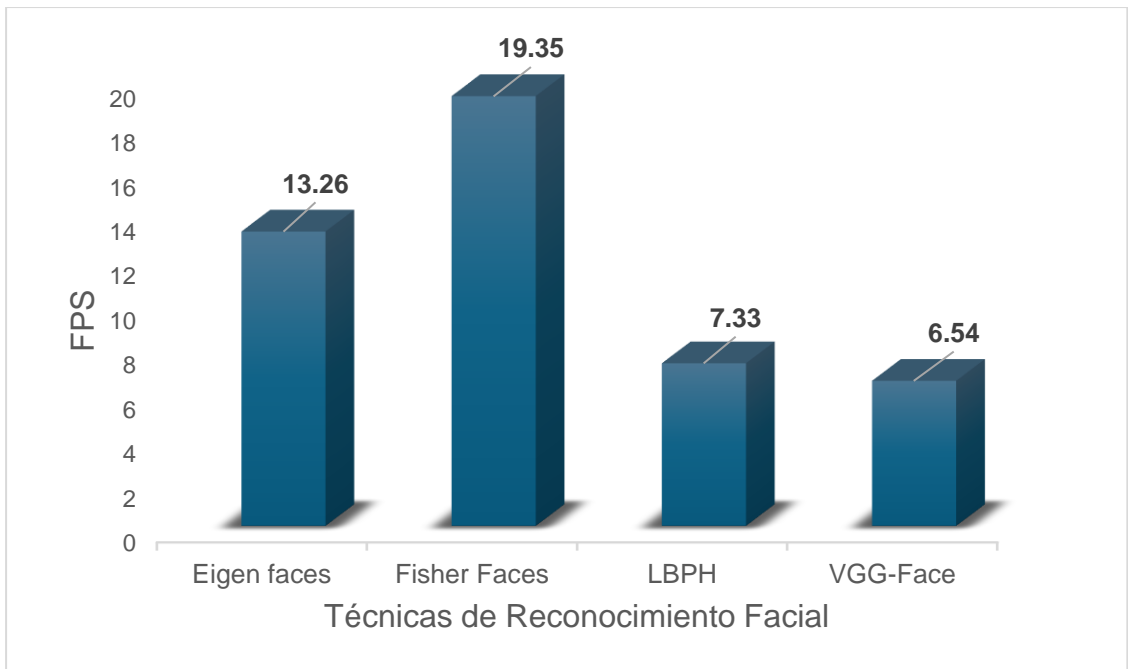


Fig. 9. Figura comparativa de ratio de FPS por cada técnica de reconocimiento facial.

El consumo de CPU representa la carga de una tarea en ejecución para el procesador, de manera que en esta investigación se tomó como referencia el incremento del porcentaje usado del procesador, hallando la diferencia entre el porcentaje en uso antes de ejecutar la tarea de reconocimiento facial y el promedio de porcentajes de uso durante la ejecución de una tarea de la evaluación de cada fotograma procesado.

La técnica Eigen Faces demostró un incremento promedio del 2.75% del uso de CPU para ejecutar un proceso de reconocimiento facial, el método LBPH demostró un incremento promedio de 1.75% del uso de CPU durante la evaluación de los fotogramas, la técnica Fisher Faces demostró ser la técnica que menos recursos de CPU consume en promedio por la ejecución de tareas de reconocimiento facial, con un incremento promedio del 1.25% de CPU por proceso. Por el contrario, VGGFace con una diferencia enorme, hace un consumo de 61.54% de CPU en el proceso de reconocimiento facial.

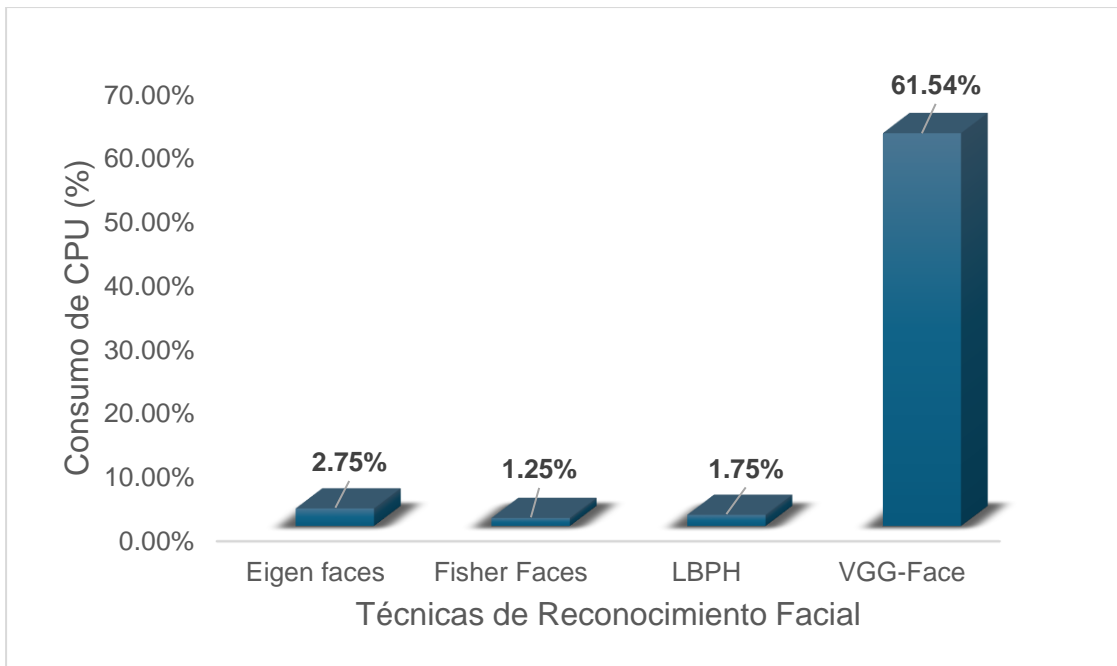


Fig. 10. Figura comparativa del consumo de CPU de cada técnica de reconocimiento facial aplicada.

Con respecto al consumo de CPU durante el proceso de entrenamiento, se evidenció que LBPH es más ligero de usar tan solo incrementando el uso de CPU en 1.82%, seguido de Fisher Faces consumiendo 6.1%, Eigen Faces con 6.85%. Y de igual forma que el indicador anterior VGGFace usó el 64.6% del CPU en promedio durante el entrenamiento.

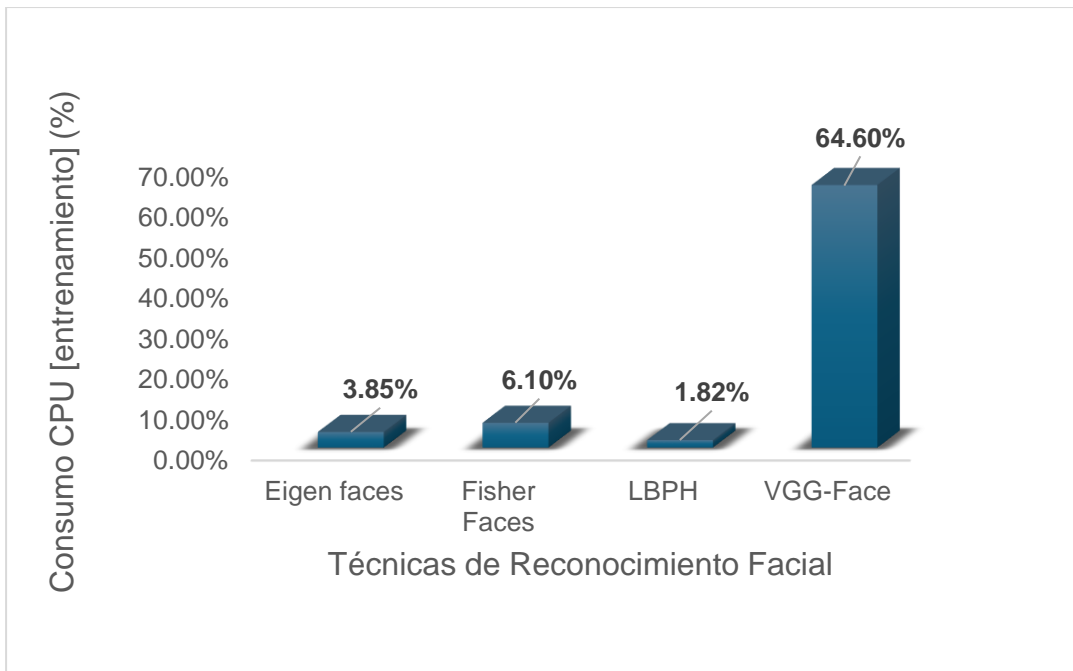


Fig. 11. Figura comparativa del consumo de CPU de cada técnica de reconocimiento facial en el proceso de entrenamiento.

El consumo de memoria RAM representa la carga de una tarea en ejecución para la memoria, esta investigación tomó como referencia el incremento del porcentaje usado de la memoria, hallando la diferencia entre el porcentaje en uso antes de ejecutar una tarea y el promedio de porcentajes de uso durante la ejecución de una tarea de la evaluación de cada fotograma procesado.

La técnica Eigen Faces demostró un incremento promedio del 2.10% del uso de memoria RAM para ejecutar un proceso de reconocimiento facial, la técnica Fisher Faces demostró un incremento promedio de 0.80% de uso de memoria RAM durante la evaluación de los fotogramas, siendo esta la técnica que menos recursos de memoria consume, por último, el método LBPH demostró un incremento promedio de 2.75% de RAM por proceso. VGGFace hace el mayor consumo de memoria, registrando un consumo de 9.92%.

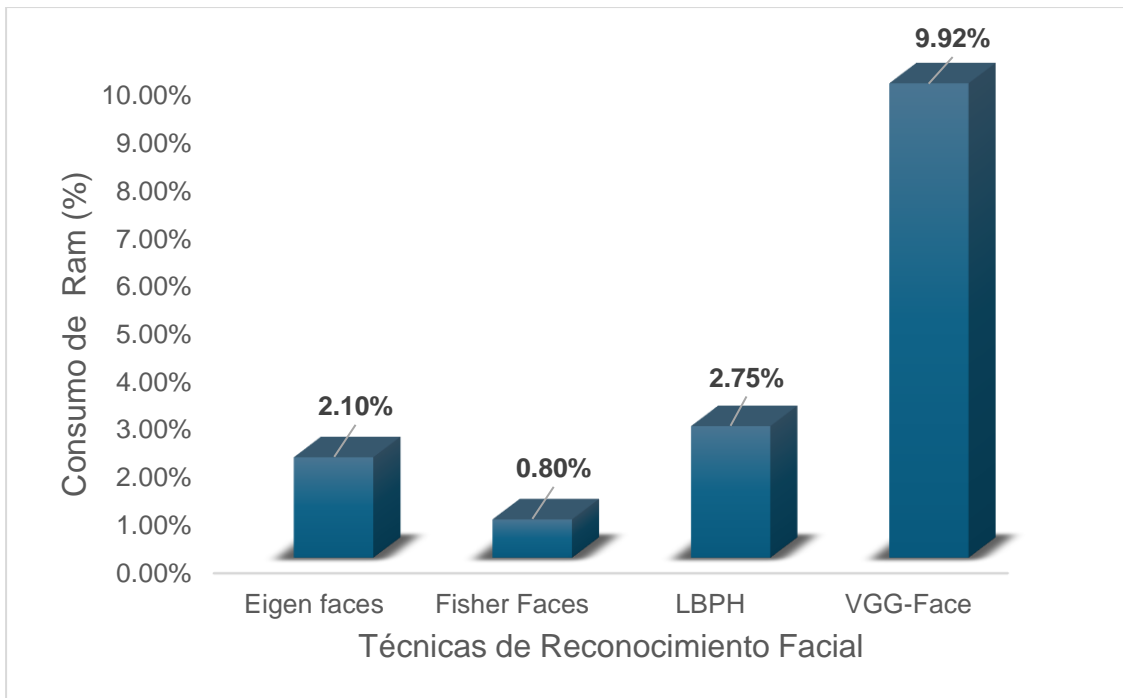


Fig. 12. Figura comparativa del incremento porcentual de consumo de memoria RAM por cada técnica de reconocimiento facial.

Y correspondiente al consumo de memoria RAM durante el proceso de entrenamiento, LBPH demostró ser más ligero con un consumo de 404.124 MB, frente a Fisher Faces que obtuvo un consumo de 1.317 GB, Eigen Faces con 1.728 GB y VGGFace usando 2.568GB en promedio.

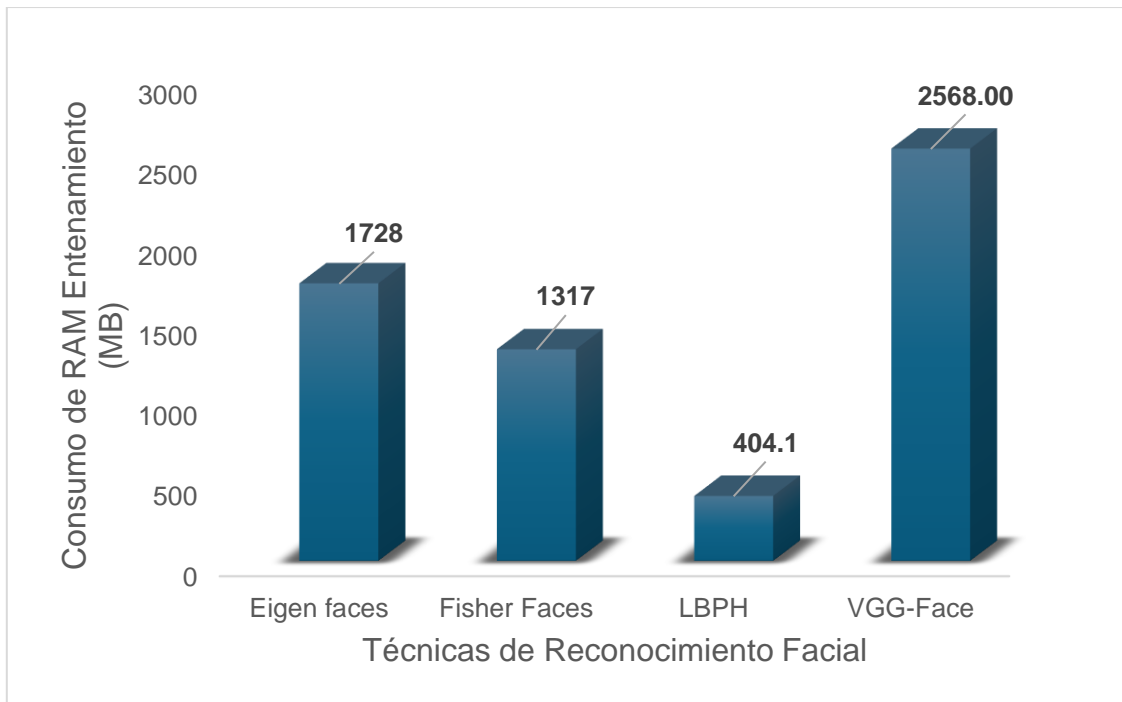


Fig. 13. Figura comparativa del incremento cuantitativo en MB de consumo de memoria RAM en el proceso de entrenamiento.

Haciendo uso de la matriz de confusión se realizó el tratamiento de los resultados obtenidos tras realizar las evaluaciones del control de asistencia, para esto se evaluó el reconocimiento de 90 alumnos registrados en el entrenamiento de las técnicas de reconocimiento facial, 45 rostros aleatorios ajenos los alumnos registrados previamente, también 45 ambientes sin rostros. De esta manera se emparejó la evaluación, tratando 90 entradas positivas y 90 entradas negativas.

La exactitud refiere la proporción de detecciones realizadas de manera correcta de la cantidad total de las detecciones realizadas. La figura 6 muestra los resultados obtenidos, siendo el método LBPH más exacto con 92.2%, seguido de la técnica Eigen Faces con 60% de exactitud y finalmente Fisher Faces con 50% de exactitud. Esto determina que la manera más adecuada para realizar detecciones de manera correcta es haciendo uso del método VGGFace o LBPH, pues tienen los porcentajes de exactitud más altos.

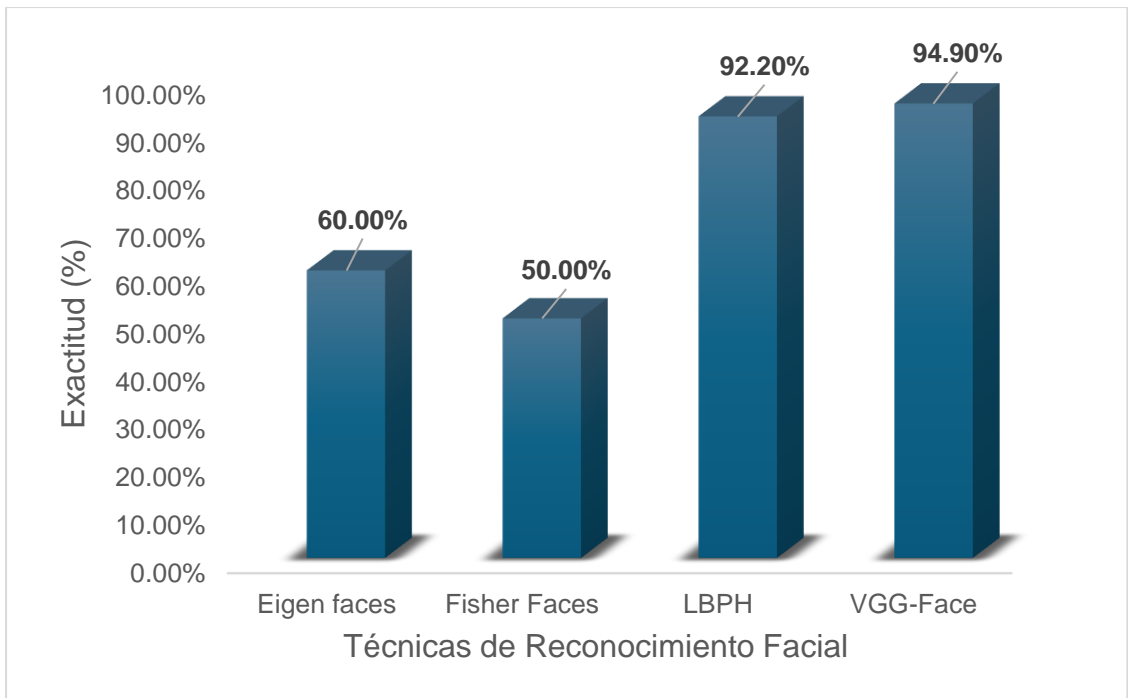


Fig. 14. Figura comparativa de la exactitud de cada técnica de reconocimiento facial.

La precisión representa la probabilidad de realizar correctamente las detecciones positivas (Verdaderos Positivos + Falsos Positivos). La figura 7 muestra la comparativa de precisión entre las técnicas, siendo VGGFace y LBPH más precisos, alcanzando 91% y 86.4% respectivamente de probabilidades de realizar correctamente las detecciones positivas. Seguido de Fisher Faces, esta técnica alcanzó 34% de precisión y por último Eigen Faces, que alcanzó una precisión de 25.7%.

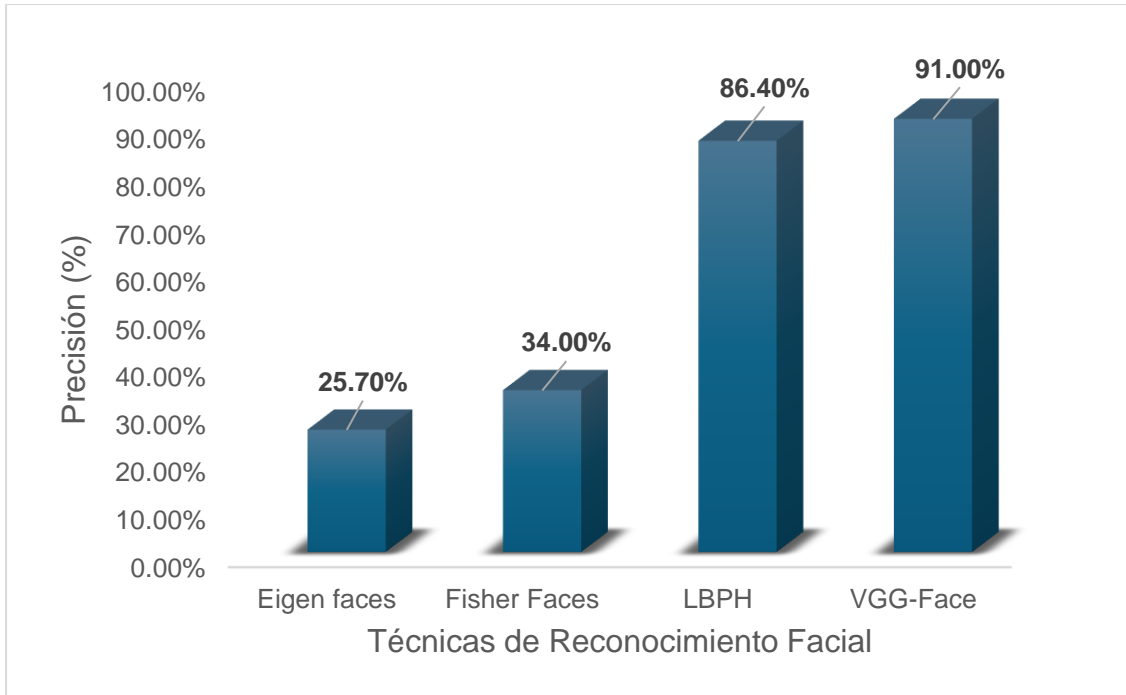


Fig. 15. Figura comparativa de la precisión de cada técnica de reconocimiento facial.

La especificidad o Tasa de Verdaderos Negativos refiere a la proporción de casos negativos correctamente identificados, eso determina cuál de las técnicas comparadas es mejor para detectar entradas negativas. El método LBPH demostró ser el mejor para detectar correctamente entradas negativas con un porcentaje de 88.2%, seguido del modelo VGGFace 84.5, seguido de la técnica Fisher Faces con un porcentaje de 74.4% y por último Eigen Faces con 63.4% de probabilidades de detectar correctamente entradas negativas.

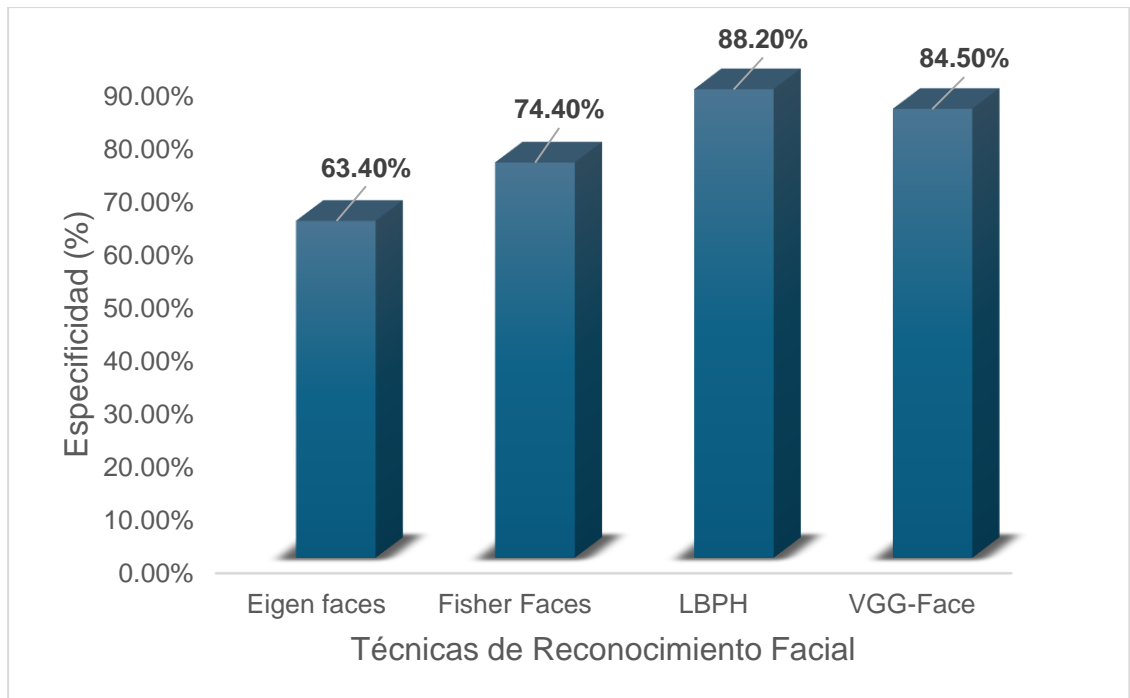


Fig. 16. Figura comparativa de la especificidad de cada técnica de reconocimiento facial.

La sensibilidad o Tasa de Verdaderos Positivos refiere a la proporción de casos positivos correctamente identificados. VGGFace alcanzó una especificidad de 99.1%, asimismo LBPH obtuvo un porcentaje de 97.4% de probabilidades para detectar correctamente entradas positivas, Eigen Faces obtuvo 47.4% de probabilidades de detectar correctamente entradas positivas y finalmente Fisher Faces con 17.6% de sensibilidad.

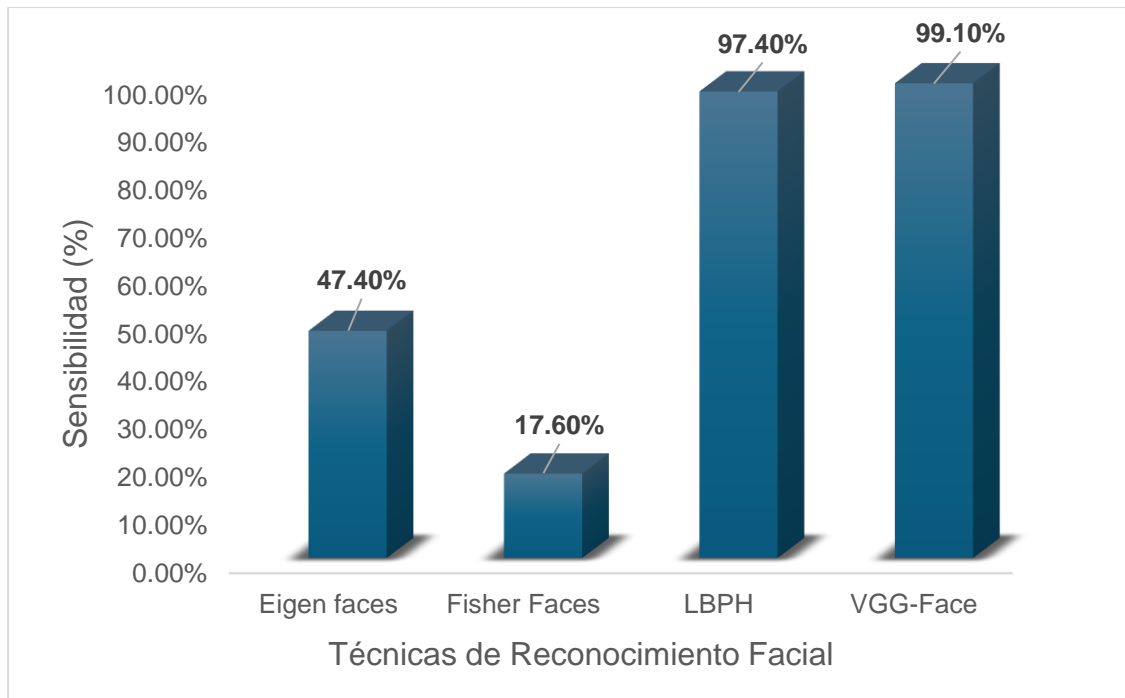


Fig. 17. Figura comparativa de la sensibilidad de cada técnica de reconocimiento facial.

La usabilidad del sistema implementado fue medida de acuerdo con la fórmula de SUS (Escala del Sistema de Usabilidad), realizado en la encuesta al usuario final, cuyas respuestas están medidas de acuerdo con la escala de Likerd.

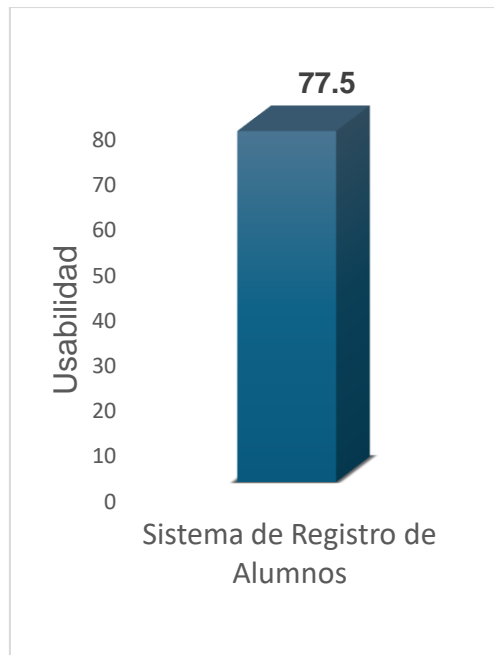


Fig. 18. Figura de la calificación de usabilidad alcanzado

3.2. Discusión

Tras realizar las evaluaciones a las técnicas de detección de rostros y su desempeño simulando el control de asistencia de los alumnos de una institución educativa, se obtuvo lo siguiente, en cuanto a desempeño propio de cada técnica, se determinó que Fisher Faces sería la más adecuada en este campo, por razones del tiempo que implica procesar la información, pues Fisher faces obtuvo el tiempo de respuesta más corto, significa que tiene la capacidad de procesar más fotogramas por segundo frente a las otras técnicas y tiene mayor cantidad de intentos realizados. Además del consumo de recursos computacionales, se demostró que mientras se utilizaba Fisher Faces para detectar los rostros este implicaba un leve incremento de uso en memoria RAM y CPU, inferior a lo utilizado por Eigen Faces y LBPH.

Pero teniendo en cuenta el proceso de entrenamiento, cambia por completo las estadísticas ya que LBPH tuvo un tiempo de procesamiento de tan solo 0.33 minutos, FisherFaces terminó de procesar luego de 17.72 minutos y Eigen Faces demoró 114032 minutos, en cuanto a consumo de CPU y memoria RAM, VGGFace tiene muy buenas

probabilidades de aciertos, pero debido al consumo de recursos computacionales, se eligió la técnica LBPH como la más adecuada, ya que tiene eficiencia alta con pocos recursos computacionales.

En cuanto al desempeño dependiente al control de asistencia, se determinó que VGGFace es mejor, pues obtuvo resultados en exactitud de 94.9%, aún así cabe destacar el desempeño de LBPH que alcanzó un 92.2%, siendo superior a Eigen Faces en 32.2% y Fisher Faces en 42.2%.

En comparación a los resultados obtenidos por Kiran et. al [31], se observa una clara diferencia de resultados pues Fisher Faces demostró una tasa de éxito (exactitud) del 97%. Aunque no mencionan la cantidad de imágenes extraídas por persona para el entrenamiento, de detalla que la cantidad de estudiantes fue de 70 alumnos, además para el control de asistencia se dividió en 7 grupos de 10 personas.

En cuanto la métrica de precisión nuevamente LBPH se sobrepuso a las otras técnicas con un porcentaje de 86.4%, 52.4% más preciso que Fisher Faces y 60.7% más preciso que Eigen Faces. En comparación a los resultados obtenidos por Hapani et al. [27], dicha investigación logra porcentajes de precisión de 45% y 50% en dos pruebas con Fisher Faces, las condiciones de la evaluación fueron, una población de 14 alumnos y se aplicó en reconocimiento a todas las personas dentro de un solo fotograma, tampoco mencionan la cantidad de imágenes extraídas por persona para un próximo entrenamiento. En cuanto a la evaluación de los alumnos de la institución Jorge Basadre Grohmann, Fisher faces obtuvo porcentaje de precisión de 34%.

Evaluando la especificidad, probabilidad que cada técnica reconozca detecciones negativas correctamente, LBPH obtuvo el porcentaje más alto con 88.2%, valores cercanos de VGGFace con 84.5%, Fisher Faces con 74.4% y Eigen Faces con 63.4%.

En cuanto a sensibilidad, probabilidad de reconocer correctamente detecciones positivas, VGGFace y LBPH estuvieron los porcentajes más altos nuevamente con 99.1 y 97.4%, seguido de Eigen Faces con 47.4% y Fisher Faces con 17.6%.

Es necesario mencionar, que en esta investigación las tres técnicas utilizadas fueron aplicadas bajo las mismas condiciones, la misma población, el mismo ambiente, siendo así LBPH quién mejor resultados obtuvo.

3.3. Aporte Práctico

En esta investigación, se creó un procedimiento para construir la base de datos de las fotografías que se han usado para llevar a cabo esta investigación, dicho procedimiento fue formulado de la siguiente manera:

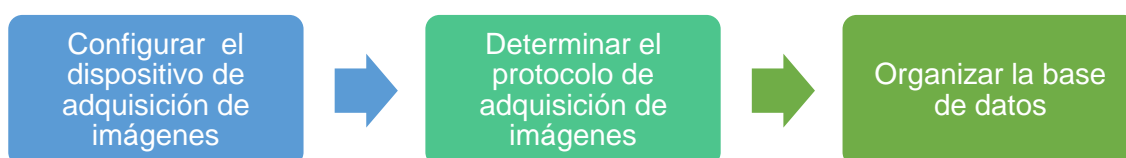


Fig. 19. Procedimiento de construcción de base de datos.

El dispositivo de adquisición de imágenes quedó configurado de la siguiente manera, la disposición de configuración quedó determinado para usar las características por defecto de la cámara, pues al tratarse de una cámara web no es posible manipular su configuración.

Tabla 19. Configuración del dispositivo de adquisición de imágenes digitales.

Característica	Detalle
Resolución	2.07 MP
Relación de aspecto	1.78
Apertura	f/2.2
Valor ISO	100
Distancia focal	1.82mm
Saturación	4.80%
Dimensión de Fotografía	1080p x 1920p
Flash	No
Balance de Blancos	0 (AWB)
Exposición (EV)	44.84%

Nota: Elaboración propia

La adquisición de imágenes se llevó a cabo en un ambiente controlado bajo las siguientes disposiciones, allí determinando el protocolo: la cámara web se ubicó en la pared de un pasadizo de la institución, con la luz natural del ambiente, bajo sombra, a fin de no tener variación de brillo en el cambio de horario durante el día, la variación de luz solar y/o clima, la ubicación de la cámara web se dispuso en una altura de 1.60 metros, con un enfoque directo a la persona y una distancia de persona – cámara de 70cm aproximadamente.

Se estableció la distancia de 1.60m en la altura de la ubicación de la cámara debido a ser un cálculo de altura promedio de los estudiantes, y la distancia entre persona y cámara desde 50cm a 1m debido a que mientras mayor sea la distancia de la cámara hacia el objeto de interés, el área de visualización será mayor también, de esta manera los rostros de los alumnos quedarían dentro del área de visualización de la cámara web.

La captura de las imágenes de los rostros se realizó haciendo distintas expresiones y en distintas posiciones, haciendo leves giros hacia los laterales, hacia arriba y abajo, esto con el motivo de tener mayor probabilidad de reconocer los rostros de los alumnos durante el control de asistencia.

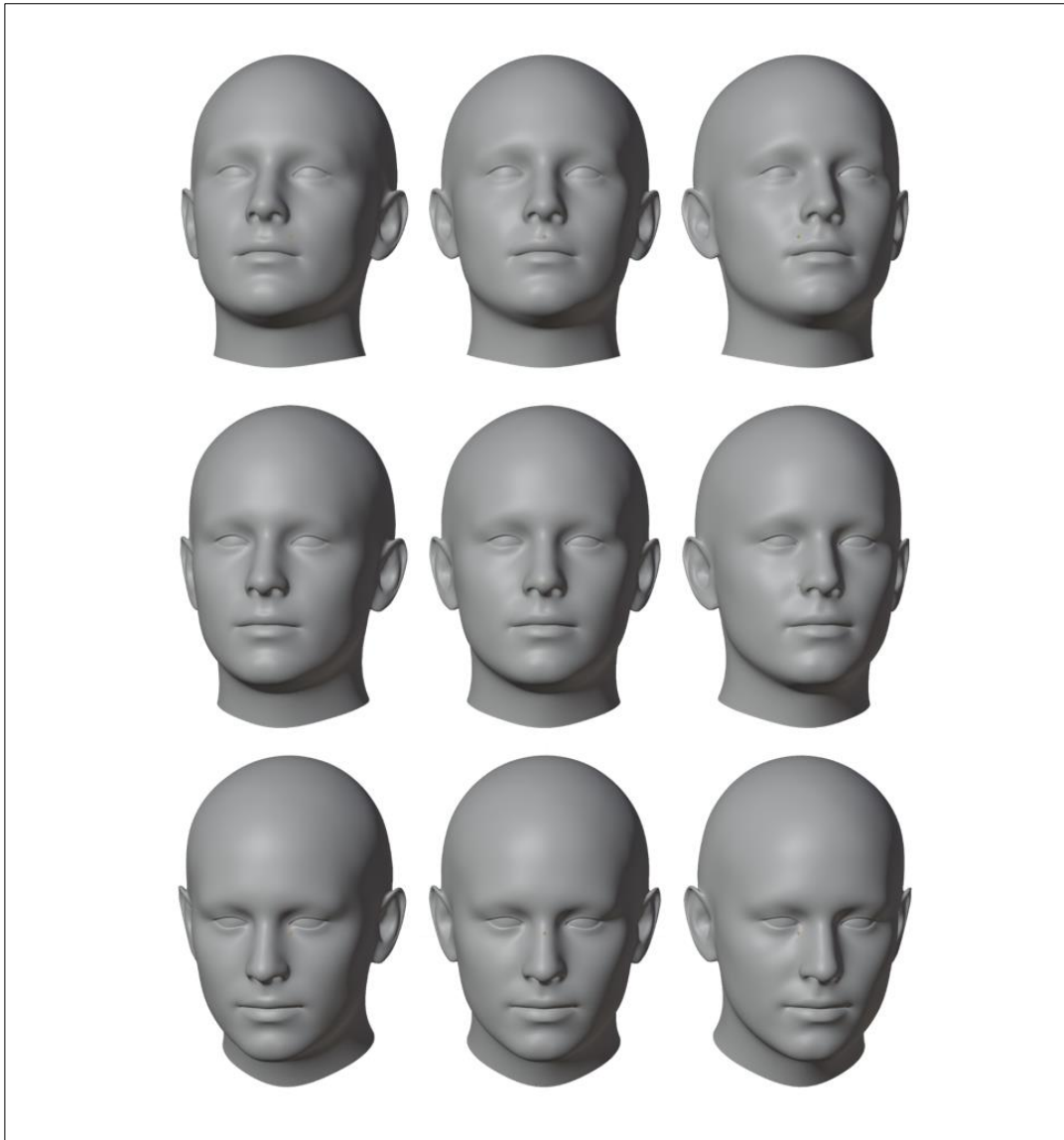


Fig. 20. Representación de las posiciones recomendadas de los rostros para la adquisición de imágenes.

Parte del proceso de la captura de las imágenes digitales de los rostros fue realizado mediante el uso de fragmentos de código para detectar el rostro, pues este optimizaba la tarea al reconocer los rostros en cada cuadro del video generado por la cámara web.



Fig. 21. Cuadro de video generado por la cámara web detectando el rostro.

Después de haber reconocido en rostro en un cuadro de video, se hace el recorte de la imagen, y este recorte se guardó para realizar el posterior entrenamiento. Algunas muestras de los recortes realizados quedan presentadas a continuación.



Fig. 22. Imágenes capturadas de los rostros de los alumnos aplicando el protocolo de adquisición de imágenes planteado.

El código fuente del desarrollado en el sistema implementado, está contemplado en el anexo 7.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se determinó que LBPH es la más adecuada en esta investigación, a pesar de tener elevado consumo de recursos computacionales y tiempos de respuesta mayores a las otras técnicas, sin embargo, se considera que las deficiencias encontradas no afectan la estabilidad de los equipos computacionales utilizados. VGGFace a pesar de tener los mejores resultados de eficiencia, no se considera el método adecuado para este caso porque lleva consigo un consumo muy elevado de recursos computacionales.
- Se confirmó la hipótesis planteada, el método Histograma de Patrones Locales Binarios (LBPH) es el más eficiente para desarrollar esta investigación, aun así los resultados no son considerados óptimos, pues tiene una tasa de error no aceptable tratando controles de asistencia.
- Se demostró incongruencia con resultados basados en la técnica Fisher Faces y los resultados obtenidos con otras investigaciones, se puede considerar que las investigaciones pueden estar basadas en distintas condiciones y/o ambientes, además en esta investigación se trató con personas y ambientes ajenos a los entrenados para forzar errores en las técnicas de entrenamiento. Esto sustentaría la diferencia de resultados.
- Se determinó a la técnica Eigen Faces como la técnica menos indicada para realizar este proceso de reconocimiento facial, sumando el mal desempeño de reconocimiento, un punto medio en consumo de recursos y tiempo de respuesta, además al realizar el entrenamiento fue quién más recursos consumió, mayor tiempo procesando el entrenamiento y el archivo de salida generado más pesado.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar la base de datos con mayor cantidad de imágenes a entrenar, aplicando la mayor cantidad de ángulos y gestos en la captura de las imágenes. Esto

brindará mayor información a la técnica de reconocimiento y las probabilidades de reconocimiento correcto serán mucho más altas.

- Se recomienda realizar las pruebas de reconocimiento bajo las mismas condiciones aplicadas en captura de las imágenes para la creación de la base de datos, esto dará mayor probabilidad a la técnica evaluada a reconocer correctamente el objeto de interés.

REFERENCIAS

- [1] L. G. Culquichicón Vílchez, «Análisis Comparativo de Métodos de Reconocimiento Facial en Plataforma Android para Resolver Problemas de Seguridad e Iluminación en Ambientes no Controlados,» Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2018.
- [2] O. Olazabal, M. Gofman, Y. Bai, Y. Choi, N. Sandico, S. Mitra y K. Pham, «Multimodal Biometrics for Enhanced IoT Security,» 2019 IEEE 9th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC), Las Vegas, 2019.
- [3] D. Verdaguer-Valderrama y N. Campos-Vasquez, «Diseño e Implementación de un sistema de identificación de personas para la seguridad de los accesos a condominios, basado en el algoritmo de reconocimiento facial LBPH Faces,» The 19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Prospective and trends in technology and skills for sustainable social development” “Leveraging emerging technologies to construct the future”, Trujillo, 2021.
- [4] E. Grisales Londoño, «Sistema De Reconocimiento De Rostros A Través Del Clasificador Haarcascade,» Institución Universitaria Pascual Bravo, Medellín, 2022.
- [5] Ikusmen Visión Artificial S.L., «Sitio Web de la Corporación,» 2024. [En línea]. Available: <https://ikusmen.com/ikusmen/>.
- [6] SimpliLearn, «Image Processing : Overview, Applications, Benefits, and More,» 13 Agosto 2024. [En línea]. Available: <https://www.simplilearn.com/image-processing-article>.
- [7] T. Abayomi, O. Olugbara y D. Heukelman, «Recognition of Human Emotion using Radial Basis Function Neural Networks with Inverse Fisher Transformed Physiological Signals,» *International Journal of Integrated Engineering*, 2021.
- [8] E. Jeremías-Ambrogio, «Reconocimiento de objetos a través de la metodología Haar

Cascades,» *Revista Argentina De Ingeniería*, Córdoba, 2020.

- [9] W. Chi-Feng, «Towards Data Science,» 2018. [En línea]. Available: <https://towardsdatascience.com/whats-the-difference-between-haar-feature-classifiers-and-convolutional-neural-networks-ce6828343aebhttps://towardsdatascience.com/>.
- [10] D. Sáez, L. Meng y M. Harnett, «Generating photo-realistic training data to improve face recognition accuracy,» *Neural Networks*, vol. Volume 134, pp. Pages 86-94, 2021.
- [11] E. Vezzetti y F. Marcolin, «Geometrical descriptors for human face morphological analysis and recognition,» *Robotics and Autonomous Systems*, 2012.
- [12] S. Hangaragi, T. Slngh y N. N, «Face Detection and Recognition Using Face Mesh and Deep Neural,» *International Conference on Machine Learning and Data Engineering*, p. *Procedia Computer Science* 218 (2023) 741–749, 2023.
- [13] C. Benavides-Alvarez, G. Román-Alonso, J. Villegas-Cortez y C. Aviles-Cruz, «Identificación de rostros por técnica de puntos de interés SURF,» Instituto Tecnológico de Celaya, México, 2015.
- [14] G. Salvatierra, Desarrollo de un sistema de control de asistencia estudiantil mediante reconocimiento facial, Portoviejo, España: UNIR, 2018.
- [15] J. Caldera y F. Renero, «Quantification of Facial Movements of Healthy Individuals Using Viola-Jones and Otsu,» *Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)*, 2018.
- [16] OpenCV.org, «OpenCV Documentation,» OpenCV, 2024. [En línea]. Available: https://docs.opencv.org/3.4/da/d60/tutorial_face_main.html.
- [17] Analytics Vidhya, «Algoritmo LBPH,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/07/understanding-face-recognition-using-lbph-algorithm/>.
- [18] J. A. Vallejos Rodríguez, «Comparación de algoritmos de detección de bordes y

vectorización de imágenes de moldes textiles,» Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2021.

- [19] P. Singh, N. Singh, K. Singh y A. Singh, «Chapter 5 - Diagnosing of disease using machine learning,» de *Machine Learning and the Internet of Medical Things in Healthcare*, Academic Press, 2021.
- [20] J. Liu, «Face recognition technology based on ResNet-50,» *Applied and Computational Engineering* 39(1):160-165, 2024.
- [21] V. Maeda, «Comparación de Arquitecturas de Redes Neuronales Convolucionales para la Clasificación de Enfermedades en Tomate,» Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, 2019.
- [22] H. Gonzalez y S. Velásquez, «Reconocimiento facial utilizando viola-jones y patrones binarios,» Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre” (UNEXPO), 2019.
- [23] I. Mundial, M. Tiwana, W. Shahid, S. Hassan y E. Alanazi, «Towards Facial Recognition Problem in COVID-19 Pandemic,» 2020 4rd International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM), 2020.
- [24] Manjurul, Li, Zhang, Tanvir y Datta, «Evaluating the Performance of Eigenface, Fisherface, and Local Binary Pattern Histogram-Based Facial Recognition Methods under Various Weather Conditions,» MDPI, 2021.
- [25] V. Patil, A. Narayan, A. Dinesh y V. Ausecar, «Automatic Students Attendance Marking System Using Image Processing And Machine Learning,» 2020 International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC), 2020.
- [26] S. Sawhney, K. Kacker, S. Jain, S. Narayan y R. Garg, «Real-Time Smart Attendance System using Face Recognition Techniques,» 2019 9th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence), 2019.

- [27] S. Hapani, N. Parakhiya, N. Prabhu y M. Paghdal, «Automated Attendance System Using Image Processing,» 2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA), Pune - India, 2018.
- [28] A. Charity, K. Okokpujie y N.-O. Etinosa, «A bimodal biometric student attendance system,» 2017 IEEE 3rd International Conference on Electro-Technology for National Development (NIGERCON), 2017.
- [29] S. Kumar, D. Kathpalia, D. Singh y M. Vats, «Convolutional Neural Network based Automated Attendance System by using Facial Recognition Domain,» 2020 4th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), 2020.
- [30] R. Hernández, C. Fernández y M. d. P. Baptista, «Metodología de la Investigación,» de *Metodología de la Investigación - Sexta Edición*, 2014.
- [31] T. Aadithya Kiran, N. Dileep Kanth Reddy y A. Isaac Ninan, «Reconocimiento facial basado en PCA para asistencia,» *Actas de la Conferencia Internacional sobre Electrónica Inteligente y Comunicación (ICOSEC 2020)*, pp. 1-5, 2020.
- [32] C. Silva, T. Bouwmans y C. Frélicot, «An eXtended Center-Symmetric Local Binary Pattern for Background Modeling and Subtraction in Videos,» *HAL Open Science*, 2015.
- [33] D. Burgos, «Detección y clasificación de plaga pulgilla en el cultivo de aguaymanto mediante redes neuronales,» Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2023.

ANEXOS

Anexo 1. Resolución de aprobación del proyecto de investigación



FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO RESOLUCIÓN N°0451-2021/FIAU-USS

Pimentel, 28 de mayo de 2021

VISTO:

El Acta de reunión N°1305-2021 del Comité de investigación de la Escuela profesional de INGENIERÍA DE SISTEMAS remitida mediante oficio N°0227-2021/FIAU-IS-USS de fecha 19 de mayo de 2021, y;

CONSIDERANDO:

Que, de conformidad con la Ley Universitaria N° 30220 en su artículo 48° que a letra dice: "La investigación constituye una función esencial y obligatoria de la universidad, que la fomenta y realiza, respondiendo a través de la producción de conocimiento y desarrollo de tecnologías a las necesidades de la sociedad, con especial énfasis en la realidad nacional. Los docentes, estudiantes y graduados participan en la actividad investigadora en su propia institución o en redes de investigación nacional o internacional, creadas por las instituciones universitarias públicas o privadas.";

Que, de conformidad con el Reglamento de grados y títulos en su artículo 21° señala: "Los temas de trabajo de investigación, trabajo académico y tesis son aprobados por el Comité de Investigación y derivados a la Facultad o Escuela de Posgrado, según corresponda, para la emisión de la resolución respectiva. El periodo de vigencia de los mismos será de dos años, a partir de su aprobación. En caso un tema perdiera vigencia, el Comité de Investigación evaluará la ampliación de la misma.

Que, de conformidad con el Reglamento de grados y títulos en su artículo 24° señala: La tesis es un estudio que debe denotar rigurosidad metodológica, originalidad, relevancia social, utilidad teórica y/o práctica en el ámbito de la escuela profesional. Para el grado de doctor se requiere una tesis de máxima rigurosidad académica y de carácter original. Es individual para la obtención de un grado; es individual o en pares para obtener un título profesional. Asimismo, en su artículo 25° señala: "El tema debe responder a alguna de las líneas de investigación institucionales de la USS S.A.C."

Que, según documentos de Vistos el Comité de investigación de la Escuela profesional de INGENIERÍA DE SISTEMAS acuerdan aprobar los temas de las Tesis a cargo de los estudiantes del curso de Investigación II que se detallan en el anexo de la presente Resolución.

Estando a lo expuesto, y en uso de las atribuciones conferidas y de conformidad con las normas y reglamentos vigentes;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO 1°: APROBAR, el tema de la Tesis perteneciente a la línea de investigación de INFRAESTRUCTURA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE, a cargo de los estudiantes del Programa de estudios de INGENIERÍA DE SISTEMAS según se detalla en el anexo de la presente Resolución.

ARTÍCULO 2°: ESTABLECER, que la inscripción del Tema de la Tesis se realice a partir de emitida la presente resolución y tendrá una vigencia de dos (02) años.

ARTÍCULO 3°: DEJAR SIN EFECTO, toda Resolución emitida por la Facultad que se oponga a la presente Resolución.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE




Dr. Mario Fernando Ramos Mescol
Decano - Facultad de Ingeniería,
Arquitectura y Urbanismo
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN S.A.C.




MBA María Noelia Siales Rivera
Secretaría Académica / Facultad de Ingeniería,
Arquitectura y Urbanismo
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN S.A.C.

Cc: Interesado, Archivo

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
RESOLUCIÓN N°0451-2021/FIAU-USS

Pimentel, 28 de mayo de 2021

ANEXO

N°	AUTOR (ES)	TEMA DE TESIS
1	BECERRA SANCHEZ MIGUEL ANGEL	EVALUACION DE RENDIMIENTO DE PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN DE IOT EN EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE
2	BOCANEGRA PINCHI YAN CARLOS	DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA ADQUISICIÓN DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN ORIENTADA A PEQUEÑAS ORGANIZACIONES BASADA EN ESTÁNDARES
3	BRENIS LLAGUENTO JULIO ANTONIO	COMPARACIÓN DE PROTOCOLOS DE AUTENTICACIÓN EN CONEXIONES DE REDES PRIVADAS VIRTUALES PARA USO EN TRABAJO REMOTO. CASO DE ESTUDIO: MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE FERREÑAFE
4	- CARREÑO CASTILLO JORGE LUIS - SALAZAR AGUILAR LUIS	EVALUACIÓN DE ALGORITMOS PARA MEDIR EFICIENCIA EN EL TRAFICO OCULTO DE VOZ IP
5	CARREÑO GUERRERO SANTIAGO ANIBAL	MODELO PREDICTIVO DEL PROCESO DE VENTAS UTILIZANDO INTELIGENCIA DE NEGOCIOS Y DATA ANALYTICS EN LA EMPRESA CENTRO TEXTIL DE LA MATTA S.A.C.
6	CARRERA SANCHEZ JOSE ANTONIO	EVALUACIÓN DE MARCOS DE TRABAJO PHP PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES WEB, BAJO LA NORMA ISO/IEC 25010, ENFOCADA A LA CALIDAD EN USO DEL PRODUCTO
7	CASTILLO CARDENAS JOSE LEONARDO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE TÉCNICAS DE EVALUACIÓN EN USABILIDAD PARA MEDIR CALIDAD EN USO DE APLICACIONES WEB EN PEQUEÑAS EMPRESAS
8	CHIMPEN SERQUÉN MERLINA JESSICA	DISEÑO DE UNA MESA DE AYUDA BASADO EN BPMN E ITIL V3 PARA EL AREA DE TI DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE LAMBAYEQUE
9	CORONEL CAJAN ERICK ARTURO	RECONOCIMIENTO DE EXPRESIONES FACIALES DE TRISTEZA UTILIZANDO APRENDIZAJE PROFUNDO
10	- CORTEZ BURGOS JOHANDER ENRIQUE - MEDRANO MORI JOSE LUIS	DESARROLLO DE UN MODELO DE PROCESOS PARA UNA FÁBRICA PERUANA DE SOFTWARE BASADA EN METODOLOGÍAS ÁGILES CASO DE ESTUDIO CONASTEC S.R.L.
11	CRUZADO PEREZ SANDRA MARIANA	EVALUACIÓN DE EFECTIVIDAD DE UNA METODOLOGÍA ÁGIL DE ARQUITECTURA EMPRESARIAL PARA ALINEAR LOS SERVICIOS DE TI CON LOS OBJETIVOS DEL NEGOCIO EN UNA MICRO EMPRESA PERUANA DEL RUBRO DE MARKETING
12	FLORES ALEJANDRIA RONY ASUNCION	MODELO DE CALIDAD BASADO EN ESTANDARES PARA LOS PROCESOS DE DESARROLLO DE SOFTWARE EN PEQUEÑAS ORGANIZACIONES. Caso de estudio: Soluciones Virtuales VAIXS
13	- HUAMAN CASAS JUNIOR ALDAIR - SERRATO VILCHERRES FERNANDO JOSE	DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA DETECCIÓN DE FRAUDES DE PAGOS EN LÍNEA UTILIZANDO APRENDIZAJE AUTOMÁTICO
14	MARTINEZ MONTENEGRO FERNANDO DANIEL	EVALUACIÓN DE ARQUITECTURA BLOCKCHAIN MA-ABS PARA LA GESTIÓN DE HISTORIAS CLÍNICAS ELECTRÓNICAS PERUANAS
15	PEREZ AVELLANEDA FRANKLIN	EVALUACIÓN DE ARQUITECTURA BLOCKCHAIN BASADO EN GUANG YANG PARA LA GESTIÓN DE HISTORIAS CLINICAS ELECTRONICAS PERUANAS
16	MENDOZA RENGIFO GENARO	DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA ÁGIL AD HOC PARA LA CREACIÓN DE APLICACIONES WEB EN PEQUEÑAS EMPRESAS. CASO DE ESTUDIO: SOLTI S.A.C
17	- MONTALVO SANDOVAL JOSE LUIS - RUBIO OTERO DANIEL	DESARROLLO DE UN MÉTODO DE IDENTIFICACIÓN DE DEFECTOS EXTERNOS DEL MANGIFERA INDICA L USANDO PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DIGITALES Y APRENDIZAJE DE MÁQUINA
18	OLIVOS JULCA CHARLES	COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE RECONOCIMIENTO FACIAL PARA CONTROLAR LA ASISTENCIA DE LOS

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

RESOLUCIÓN N°0451-2021/FIAU-USS

Pimentel, 28 de mayo de 2021

N°	AUTOR (ES)	TEMA DE TESIS
		ESTUDIANTES DE NIVEL SECUNDARIO DE UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA
19	ORTEGA PUENTE OSCAR FERNANDO	DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL DE REPORTE CIUDADANO UTILIZANDO IMÁGENES Y GEOLOCALIZACIÓN
20	PISFIL JAUREGUI JOSE LAURENT	SISTEMA WEB BASADO EN MICROSERVICIOS PARA MEJORAR LA INTEROPERABILIDAD DEL PROCESO DE CONSULTAS DE ARBITRIOS TRIBUTARIOS EN MUNICIPALIDADES
21	RAVELO RUIZ ALLEN MARCEL	EVALUACIÓN DE ALGORITMOS DE PREDICCIÓN APLICADOS AL MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS
22	SUCLUPE CHAPOÑAN MANUELA DEL ROSARIO	SISTEMA DE INFORMACIÓN LOGÍSTICA PARA MEJORAR LA GESTIÓN Y CONTROL DEL PROCESO DE ALMACENAMIENTO DE LA CONSTRUCTORA YAVARI S.R.L. - PROVINCIA DE MAYNAS-LORETO.
23	VILLEGAS CASTAÑEDA CESAR RUDECINDO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE SISTEMAS GESTORES DE BASE DE DATOS RELACIONAL Y NO RELACIONAL EN EL CONTEXTO DEL MANEJO DE INFORMACIÓN DE GRUPOS DE RESCATE INTERNACIONAL EN DESASTRES

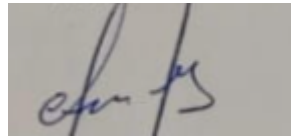

Anexo 2. Acta de aprobación de asesor



ACTA DE APROBACIÓN DEL ASESOR

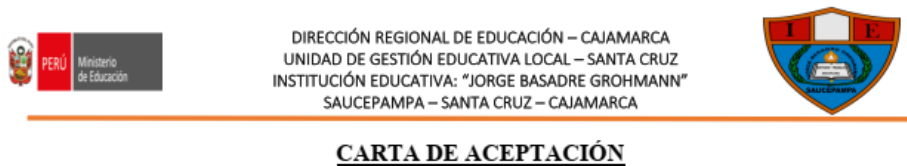
Yo, **Enrique David Asenjo Carranza** quien suscribe como asesor designado mediante Resolución de Facultad N° **0876-2024/FIAU-USS**, del proyecto de investigación titulado **Comparación de Técnicas de Reconocimiento Facial para Controlar la Asistencia de los Estudiantes de nivel Secundario de una Institución Educativa**, desarrollado por el(los) estudiante(s): **Charles Olivos Julca**, del programa de estudios de **Ingeniería de Sistemas**, acredito haber revisado y declaro expedito para que continúe con el trámite pertinentes.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Mg. Enrique David Asenjo Carranza (Asesor)	DNI: 16753899	
Olivos Julca Charles (Autor)	DNI: 46445062	

Pimentel, 16 de diciembre del 2024

Anexo 3. Carta de aceptación de la institución para la recolección de datos.



Saucapampa 18 de octubre del 2021

Sr. Charles Olivos Julca.
Estudiante de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo.
Universidad Señor de Sipán.

Asunto: Aceptación para realizar trabajos de investigación.

Presente.-

REF: SOLICITUD DE FECHA 11 DE OCTUBRE DE 2021.

Tengo el agrado de dirigirme a Usted, con la finalidad de hacer de su conocimiento que en reunión de profesores de la institución educativa que me honró en dirigir, por acuerdo unánime se ha decidido brindarle las facilidades y cederle el permiso a que realice la recolección de imágenes de estudiantes para que realice su trabajo de investigación; pidiéndole que dichas imágenes sean utilizadas de manera responsable sin perjudicar su integridad de los estudiantes. Además, solicito que realice una autorización para que el padre o madre de familia de los menores firmen el consentimiento.

Aprovecho la oportunidad para expresarle mi consideración y estima personal.

Atentamente,

Scadual.
Lic. Soledad M. Cadena Calderón
DIRECTORA
I.E. JORGE BASADRE GROHMANN

Calle Marino Becerra S/N-Saucapampa Cel.: 920673796
Sitio Web: iejbg.edu.pe

Fig. 23. Carta de aceptación brindada por la directora del colegio secundario Jorge Basadre Grohmann

Anexo 4. Consentimiento informado, que se utilizaron en el desarrollo de la investigación.

AUTORIZACIÓN

Yo Glades Flores Huamán..... Identificado con DNI N° 41240862..... En condición de padre y/o apoderado de Katy Vanesa Suxa Flores....., estudiante de la Institución Educativa "Jorge Basadre Grohmann", **AUTORIZO** a mi menor hijo(a) para que su fotografía sea utilizada para un proyecto de investigación del alumno de la Universidad Señor de Sipán, Charles Olivos Julca. Para conformidad ubico mi firma respectiva.

Saucepampa, 26 de Octubre del 2021.

Glades Flores H.
DNI: 41.24.0862

AUTORIZACION

Yo Antero Penachi Fernández..... Identificado con DNI N° 28105390..... En condición de padre y/o apoderado de Johana Rubi Penachi Gabriel....., estudiante de la Institución Educativa "Jorge Basadre Grohmann", **AUTORIZO** a mi menor hijo(a) para que su fotografía sea utilizada para un proyecto de investigación del alumno de la Universidad Señor de Sipán, Charles Olivos Julca. Para conformidad ubico mi firma respectiva.

Saucepampa, 26 de Octubre del 2021.

Antero Penachi
DNI: 28105390

AUTORIZACIÓN

Yo María Noime Chugulin Rosales..... Identificado con DNI N° 28.13.11.38..... En condición de padre y/o apoderado de Homer Israel Correa Chugulin....., estudiante de la Institución Educativa "Jorge Basadre Grohmann", **AUTORIZO** a mi menor hijo(a) para que su fotografía sea utilizada para un proyecto de investigación del alumno de la Universidad Señor de Sipán, Charles Olivos Julca. Para conformidad ubico mi firma respectiva.

Saucepampa, 26 de Octubre del 2021.

María Noime
DNI: 28.13.11.38

AUTORIZACIÓN

Yo Adelinda Suxa De Suxa..... Identificado con DNI N° 28.13.1403..... En condición de padre y/o apoderado de Juan Alexis Hernández Suxa....., estudiante de la Institución Educativa "Jorge Basadre Grohmann", **AUTORIZO** a mi menor hijo(a) para que su fotografía sea utilizada para un proyecto de investigación del alumno de la Universidad Señor de Sipán, Charles Olivos Julca. Para conformidad ubico mi firma respectiva.

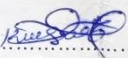
Saucepampa, 26 de Octubre del 2021.

Adelinda Suxa
DNI: 28.13.1403

AUTORIZACION

Yo Kely Soxe Celada Identificado con DNI N° 42252493 En condición de padre y/o apoderado de Leidy Zonalay Guirao Soxe estudiante de la Institución Educativa "Jorge Basadre Grohmann", **AUTORIZO** a mi menor hijo(a) para que su fotografía sea utilizada para un proyecto de investigación del alumno de la Universidad Señor de Sipán, Charles Olivos Julca. Para conformidad ubico mi firma respectiva.

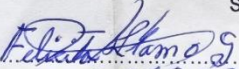
Saucepampa, 26 de Octubre del 2021.


.....
DNI:

AUTORIZACION

Yo Felicita Llamo Graniel Identificado con DNI N° 28105236 En condición de padre y/o apoderado de Lucy Hisley Li Penachi Llamo estudiante de la Institución Educativa "Jorge Basadre Grohmann", **AUTORIZO** a mi menor hijo(a) para que su fotografía sea utilizada para un proyecto de investigación del alumno de la Universidad Señor de Sipán, Charles Olivos Julca. Para conformidad ubico mi firma respectiva.

Saucepampa, 26 de Octubre del 2021.


.....
DNI: 28105236

AUTORIZACION

Yo Neide Odali Olivos Mendoza Identificado con DNI N° 41936764 En condición de padre y/o apoderado de Abatellon Juedel N. Cademús Olivos estudiante de la Institución Educativa "Jorge Basadre Grohmann", **AUTORIZO** a mi menor hijo(a) para que su fotografía sea utilizada para un proyecto de investigación del alumno de la Universidad Señor de Sipán, Charles Olivos Julca. Para conformidad ubico mi firma respectiva.

Saucepampa, 26 de Octubre del 2021.


.....
DNI: 41936764

AUTORIZACION

Yo Amado Flores Calderón Identificado con DNI N° 28112277 En condición de padre y/o apoderado de Robin Amado Flores Padilla estudiante de la Institución Educativa "Jorge Basadre Grohmann", **AUTORIZO** a mi menor hijo(a) para que su fotografía sea utilizada para un proyecto de investigación del alumno de la Universidad Señor de Sipán, Charles Olivos Julca. Para conformidad ubico mi firma respectiva.

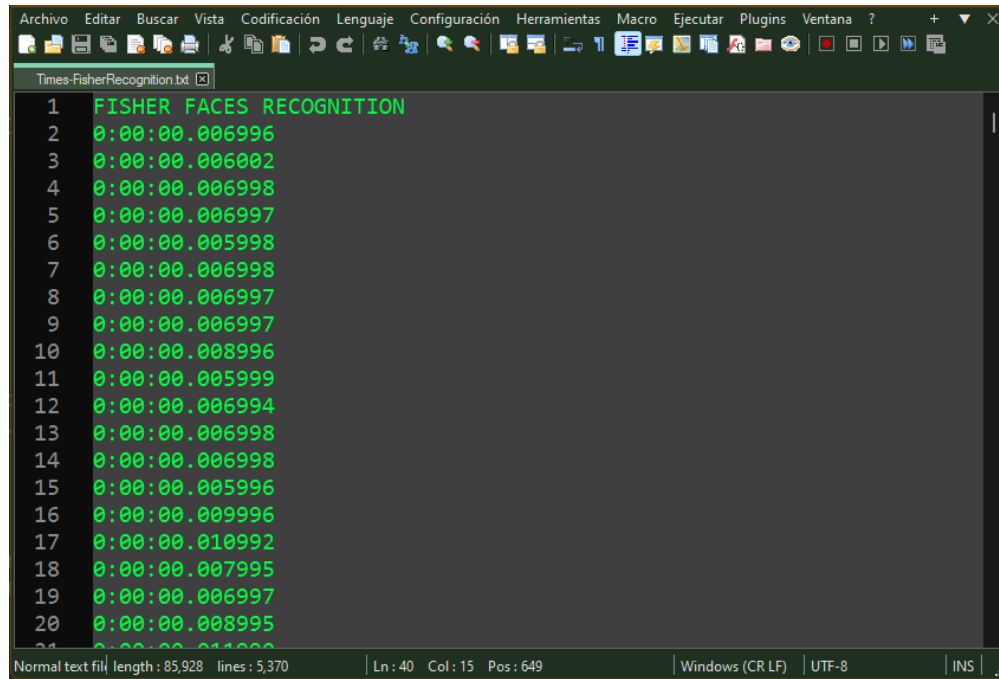
Saucepampa, 26 de Octubre del 2021.


.....
DNI: 28112277

Fig. 24. Autorizaciones de los padres de familia de los alumnos involucrados en la investigación.

Anexo 5. Ficha de registro de rendimiento

El procesamiento de estos datos se hizo mediante controladores dentro del código fuente, de tal forma que al ejecutar los procesos se va transcribiendo la información relevante para la evaluación del rendimiento del hardware en archivos de tipo .txt en tiempo real.



```
1 FISHER FACES RECOGNITION
2 0:00:00.006996
3 0:00:00.006002
4 0:00:00.006998
5 0:00:00.006997
6 0:00:00.005998
7 0:00:00.006998
8 0:00:00.006997
9 0:00:00.006997
10 0:00:00.008996
11 0:00:00.005999
12 0:00:00.006994
13 0:00:00.006998
14 0:00:00.006998
15 0:00:00.005996
16 0:00:00.009996
17 0:00:00.010992
18 0:00:00.007995
19 0:00:00.006997
20 0:00:00.008995
21 0:00:00.011000
```

Fig. 25. Archivo txt del registro de los tiempos de procesamiento por fotograma procesado.

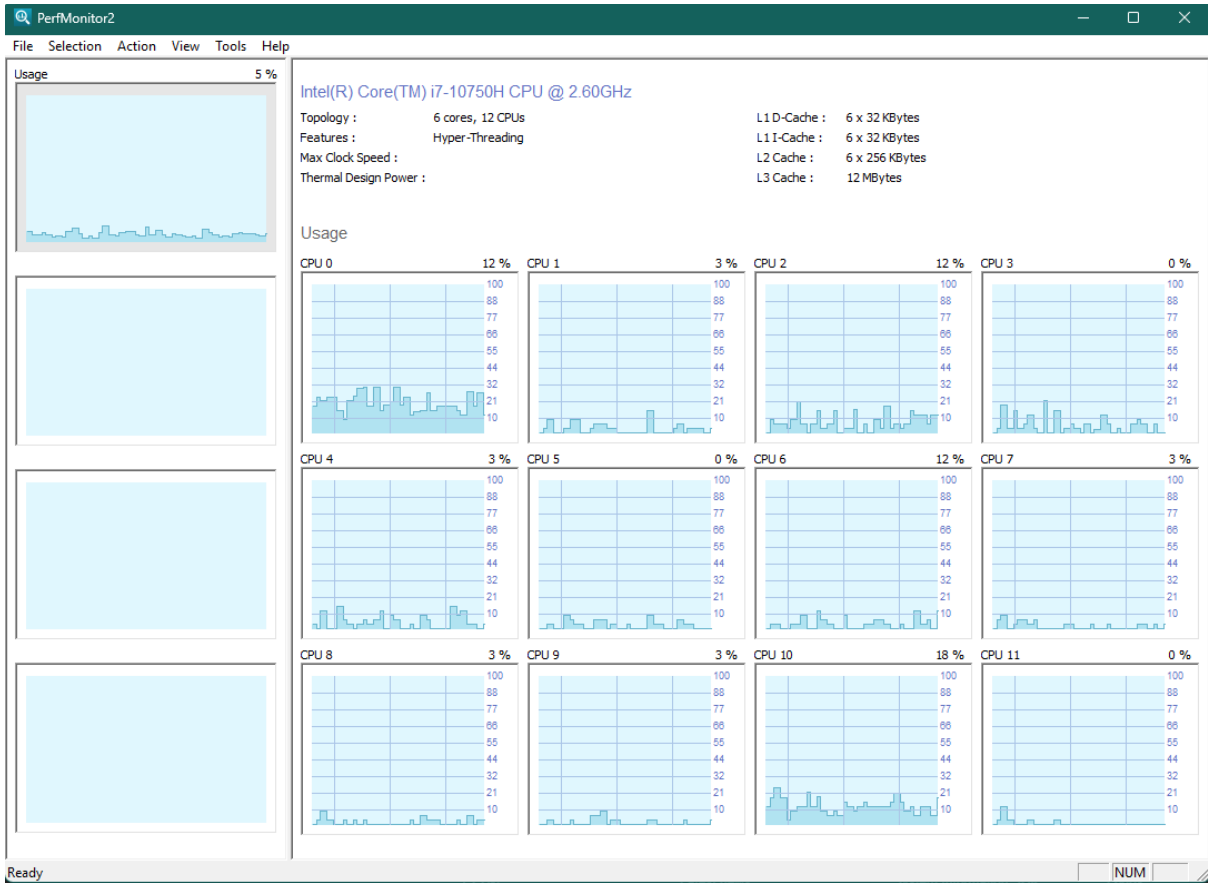


Fig. 26. Entorno visual del software PerfMonitor, validado por Intel.

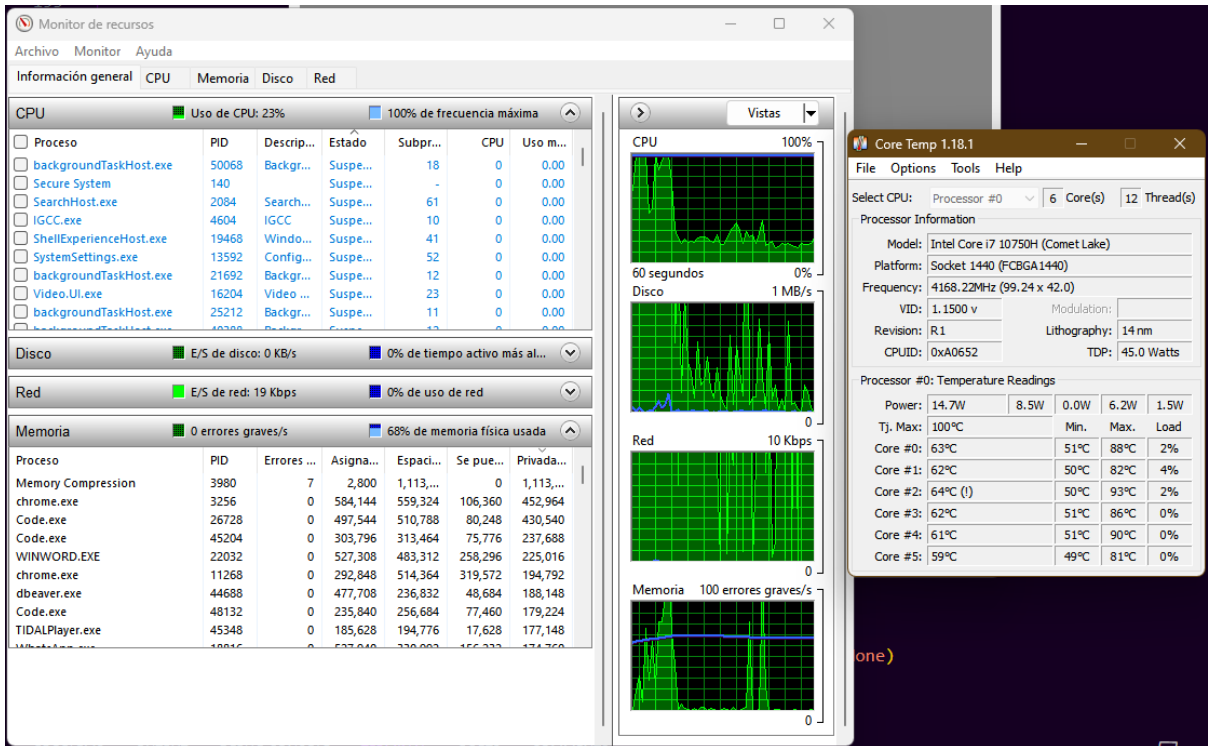


Fig. 27. Entorno visual del software Monitor de recursos, propiedad y validado por Microsoft.

Posteriormente se procesa la información mediante Excel, promediando los valores obtenidos.

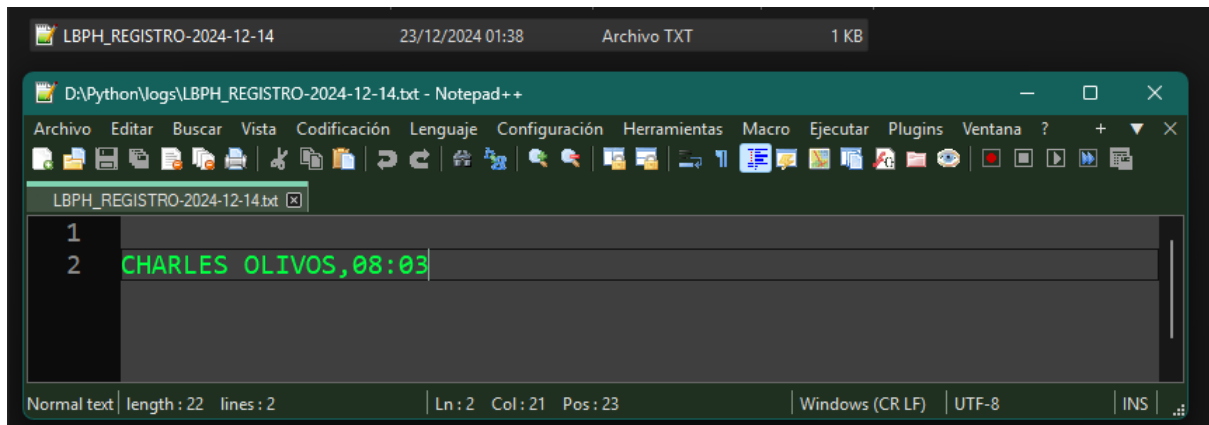


Fig. 28. Logs de los registros de ingreso.

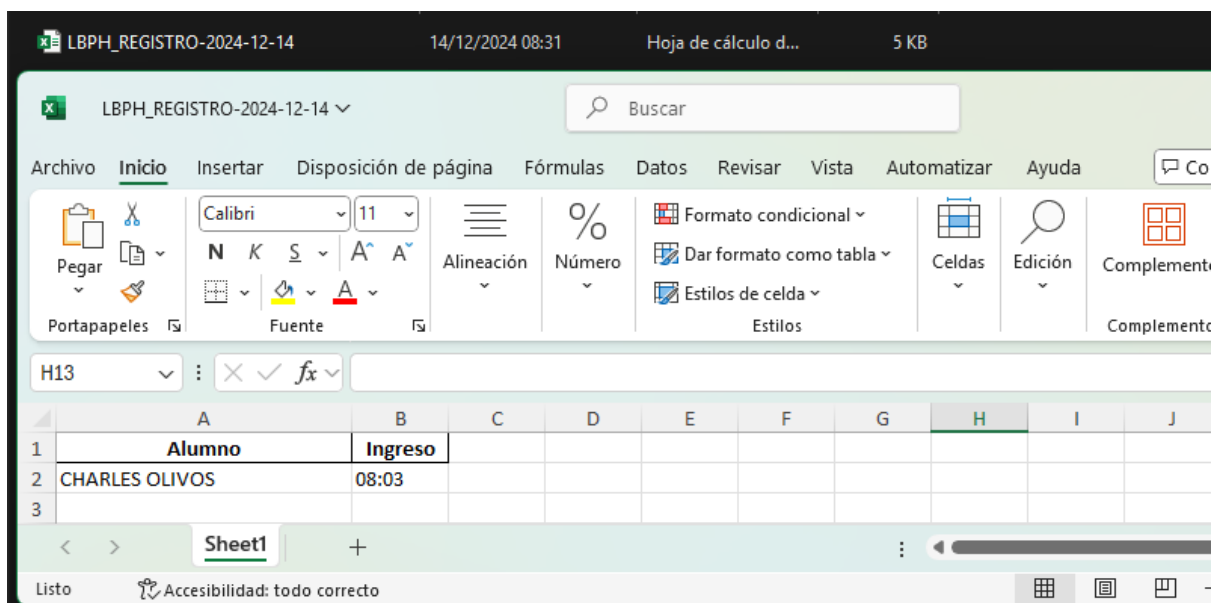


Fig. 29. Registro en archivo .xlsx de los ingresos de alumnos.

Anexo 7. Encuesta de usabilidad del sistema.

Encuesta de Usabilidad

Lee atentamente y responde según la escala de Likert, donde: 1 = Totalmente en desacuerdo, 2 = En desacuerdo, 3 = Neutro, 4 = De acuerdo o 5 = Totalmente de acuerdo.

PREGUNTA	1	2	3	4	5
1. Creo que me gustaría utilizar este sistema con frecuencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Encontré el sistema innecesariamente complejo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Pensé que el sistema era fácil de usar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Creo que necesitaría el apoyo de un técnico para poder utilizar este sistema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Encontré que las diversas funciones de este sistema estaban bien integradas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Pensé que había demasiada inconsistencia en este sistema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Me imagino que la mayoría de la gente aprendería a utilizar este sistema muy rápidamente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Encontré el sistema muy complicado de usar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Me sentí muy seguro usando el sistema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Necesitaba aprender muchas cosas antes de empezar con este sistema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fig. 31. Encuesta de usabilidad del sistema.

Anexo 8. Fragmentos del código fuente del sistema de reconocimiento facial.

Para la captura de las imágenes se hizo uso de la cámara web y mediante un fragmento de código se hace una revisión del video en tiempo real mostrado por la cámara, además evalúa cada cuadro del video y mediante la técnica haar cascade realiza el reconocimiento de los rostros, se delimitó la amplitud del rostro reconocido en 150 x 150 píxeles con la razón de no tener interferencia del fondo de la imagen captada, esto significa algo benéfico al comparar únicamente imágenes de rostros, sin interferencia de regiones que no son de nuestro interés. Se determinó la captura de 45 imágenes por cada alumno, de modo que en el código se incluyó un contador de capturas.

```
def run(self):
    self.cap = cv2.VideoCapture(0)
    while self.cap.isOpened():
        _,frame = self.cap.read()
        video = self.cvimage_to_video(frame)
        self.frame_signal.emit(video)

def cvimage_to_video(self,image):
    frame = imutils.resize(image,width = 640)
    frame = cv2.flip(image, 1)
    aux = cv2.cvtColor(frame,cv2.COLOR_BGR2RGB)
    image = QImage(aux,
                  image.shape[1],
                  image.shape[0],
                  QImage.Format.Format_RGB888)
    return image

def take_photo(self):
    if self.ipt_name.text() == '':
        self.msg_box.critical(self, "Error", 'Ingrese nombre del alumno')
        return

    if self.counter >= cf.LIMIT_PHOTOGRAMS:
        if self.clean_camera():
            self.msg_box.information(self, "Informativo", 'Se ha alcanzado
```

```

    el limite de fotos')
        self.stop_camera()
        return
self.counter += 1
self.lbl_count.setText(f'{self.counter}')
self.lbl_video.grab().save(f'{self.student_path}/img{self.counter}.png')

```

Fig. 32. Fragmento del código fuente utilizado en la captura de las imágenes.

```

def process_images(self):
    if self.lst_images.count() == 0:
        self.msg_box.critical(self, "Error", 'No se encontraron imágenes')
        return

    list = os.listdir(self.ipt_path.text())
    if os.path.exists(f'{self.ipt_path.text()}/rostros'):
        self.msg_box.information(self, "Informativo", 'Carpeta ya
        Procesada!')
        self.clean_process()
        return

    self.btn_process.setText('Procesando...')
    self.btn_process.setEnabled(False)
    os.makedirs(f'{self.ipt_path.text()}/rostros', exist_ok=True)
    faceClassif = cv2.CascadeClassifier(cv2.data.harcascades + 'haarcascade_frontalface_
    _default.xml')
    for i in range(self.lst_images.count()):
        image = cv2.imread(f'{self.ipt_path.text()}/{list[i]}')
        imageAux = image.copy()
        gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
        faces = faceClassif.detectMultiScale(gray, 1.3, 5)
        for (x,y,w,h) in faces:
            cv2.rectangle(image, (x,y),(x+w,y+h),(128,0,255),2)
            rostro = imageAux[y:y+h,x:x+w]
            rostro = cv2.resize(rostro, (150,150),
            interpolation=cv2.INTER_CUBIC)
            cv2.imwrite(f'{self.ipt_path.text()}/rostros/{i}.jpg', rostro)
        cv2.waitKey(1)

```

```

        break
self.msg_box.information(self, "Informativo", 'Proceso Finalizado!')
self.btn_process.setText('PROCESAR IMÁGENES')
self.btn_process.setEnabled(True)
self.clean_process()

```

Fig. 33. Fragmento del código fuente utilizado en el procesamiento de las imágenes.

Tras haber obtenido la base de datos requerida se realizó en entrenamiento de las técnicas de reconocimiento facial, para ello se utilizó la librería openCv que implementa las 3 técnicas de reconocimiento facial seleccionadas.

```

def start_training(self):
    if self.cmb_models.currentIndex() == -1:
        self.msg_box.critical(self, "Error", 'Seleccione un modelo')
        return

    self.msg_box.setText("Iniciando entrenamiento")
    people_list = os.listdir(self.ipt_path_2.text())
    labels = []
    facesData = []
    label = 0
    for person in people_list:
        path = f'{self.ipt_path_2.text()}/{person}/rostros'
        files = os.listdir(path)
        for file in files:
            if file.endswith('.jpg') or file.endswith('.png'):
                labels.append(label)
                facesData.append(cv2.imread(f'{path}/{file}',0))
                image = cv2.imread(f'{path}/{file}',0)
                cv2.imshow('image', image)
                cv2.waitKey(10)
            label += 1

    model = self.cmb_models.currentIndex()
    if model == 0:
        face_recognizer = cv2.face.FisherFaceRecognizer_create()
        face_recognizer.train(facesData, np.array(labels))
        face_recognizer.write(f'{cf.ROOT_PATH}/Training-
FisherFaceRecognizer.yml')

```

```

elif model == 1:
    face_recognizer = cv2.face.EigenFaceRecognizer_create()
    face_recognizer.train(facesData, np.array(labels))
    face_recognizer.write(f'{cf.ROOT_PATH}/Training-
EigenFaceRecognizer.yml')
elif model == 2:
    face_recognizer = cv2.face.LBPHFaceRecognizer_create()
    face_recognizer.train(facesData, np.array(labels))
    face_recognizer.write(f'{cf.ROOT_PATH}/Training-
LBPHRecognizer.yml')

self.msg_box.information(self, "Informativo", 'Modelo entrenado')
return

```

Fig. 34. Fragmento del código utilizado para el entrenamiento de la base de datos, el código mostrado realiza un listado de la base de datos y etiquetas.

```

face_recognizer = cv2.face.LBPHFaceRecognizer_create()
face_recognizer.train(facesData, np.array(labels))
face_recognizer.write(f'{cf.ROOT_PATH}/Training-LBPHRecognizer.yml')

```

Fig. 35. Fragmento del código utilizado para el entrenamiento, el código mostrado realiza el entrenamiento de la técnica LBPH y escritura del archivo yml de salida.

```

face_recognizer = cv2.face.EigenFaceRecognizer_create()
face_recognizer.train(facesData, np.array(labels))
face_recognizer.write(f'{cf.ROOT_PATH}/Training-
EigenFaceRecognizer.yml')

```

Fig. 36. Fragmento del código utilizado para el entrenamiento, el código mostrado realiza el entrenamiento de la técnica Fisher Faces y escritura del archivo yml de salida

```

face_recognizer = cv2.face.FisherFaceRecognizer_create()
face_recognizer.train(facesData, np.array(labels))
face_recognizer.write(f'{cf.ROOT_PATH}/Training-
FisherFaceRecognizer.yml')

```

Fig. 37. Fragmento del código utilizado para el entrenamiento, el código mostrado realiza el entrenamiento de la técnica Eigen Faces y escritura del archivo yml de salida.

El entrenamiento de las técnicas de reconocimiento se realizó con la base de datos conformada por 90 carpetas, a su vez conformada por 45 imágenes cada una. El tiempo de entrenamiento y el peso del archivo de salida generado por cada técnica empleada se muestra a continuación.

Tabla 20. Tiempo empleado en el entrenamiento de las técnicas de reconocimiento facial.

Técnica	Tiempo registrado	Peso Archivo de Entrenamiento
Eigen Faces	2h 24min 19s	2 836 114 KB
Fisher Faces	17min 43s	63 698 KB
LBPH	20s	409 988 KB

Nota: Elaboración propia

Tras el entrenamiento de las técnicas de reconocimiento facial se llevó a cabo las pruebas de reconocimiento de los alumnos, para ello se tomaron en cuenta disposiciones como: mantener el lugar empleado para la captura de las imágenes, de ser posible mantener las condiciones de luz que el momento de la captura de las imágenes, esto a razón que será mucho más preciso el reconocimiento si los cuadros de video a evaluar son lo más similares posible a las imágenes entrenadas.

El código empleado para realizar las pruebas de reconocimiento facial en el control de asistencia es el siguiente. Primero se realiza la selección de la técnica de reconocimiento facial y la selección del archivo de entrenamiento generado.

```
if model == 0:
    face_recognizer = cv2.face.FisherFaceRecognizer_create()
    face_recognizer.read(f'{cf.ROOT_PATH}/Training-
    FisherFaceRecognizer.yml')
    max_rate = cf.FF_MAX_RANGE
    file_name = cf.FF_NAME

elif model == 1:
    face_recognizer = cv2.face.EigenFaceRecognizer_create()
    face_recognizer.read(f'{cf.ROOT_PATH}/Training-
    EigenFaceRecognizer.yml')
    max_rate = cf.EF_MAX_RANGE
    file_name = cf.EF_NAME

elif model == 2:
    face_recognizer = cv2.face.LBPHFaceRecognizer_create()
    face_recognizer.read(f'{cf.ROOT_PATH}/Training-LBPHRecognizer.yml')
    max_rate = cf.LBPH_MAX_RANGE
    file_name = cf.LBPH_NAME
```

Fig. 38. Fragmento del código utilizado para seleccionar la técnica de reconocimiento facial y leer el archivo generado con el entrenamiento previo de la técnica.

Posteriormente se realiza la revisión de los cuadros del video, se hace el reconocimiento y recorte del rostro haciendo uso del método de haar cascade. Luego se hace la predicción del rostro detectado, la predicción devolverá dos datos de salida: posición del alumno en la lista de la ruta leída y el nivel de confianza entre la similitud de las imágenes de rostros entrenadas y las imágenes de rostros que se están leyendo en tiempo real. Se recalca, que el valor de confianza devuelto en los 3 tipos de reconocedores que se utilizó varía entre uno y otro, EigenFaces retorna valores de confianza en escala de miles, Fisher faces retorna

valores de confianza en escala de cientos y LBPH retorna valores de confianza en escala de decenas. De esta manera, al hacer la comparación de similitud de los datos entrenados y los datos mostrados en tiempo real tienen variación.

Además, se determinó límites para los valores de confianza retornados, estos valores se definieron haciendo una práctica previa a las pruebas de reconocimiento, esto sirvió para calibrar un valor medio en la evaluación, a fin de evitar excesos de falsos positivos y falsos negativos en las pruebas.

Al hacer la comparación se aplicó un condicional de la confianza, si la confianza es menor al límite entonces se muestra el nombre del alumno que está reconociendo y verificar el correcto reconocimiento, por otro lado, si la confianza es mayor al límite mostrará al alumno con el nombre de otra persona siendo el caso de un falso positivo y será un reconocimiento incorrecto, y al nivel de confianza se considera un valor falso positivo.

Tabla 21. Límite de confianza determinado para cada técnica de reconocimiento facial.

Técnica de Reconocimiento Facial	Límite de Confianza
Eigen Faces	4700
Fisher Faces	450
LBPH	73

Nota: Elaboración propia

```

faces = faceClassif.detectMultiScale(gray, 1.3, 5)
for (x, y, w, h) in faces:
    rostro = auxFrame[y:y + h, x:x + w]
    rostro = cv2.resize(rostro, (150, 150), interpolation=cv2.INTER_CUBIC)
    result = face_recognizer.predict(rostro)
    if result[1] < max_rate:
        cv2.putText(frame, '{}'.format(imagePaths[result[0]]), (x, y -
            25), 2, 1.1, (0, 255, 0), 1, cv2.LINE_AA)
        cv2.rectangle(frame, (x, y), (x + w, y + h), (0, 255, 0), 2)

    if result[0] not in daylist:
        daylist.append(result[0])

```

```

with open(str(file), "a") as file_object:
    file_object.write("\n" +
str(f'{imagePaths[result[0]]},{ahora.date()
cf.REGISTRY_MODE == 2 else ahora.strftime("%H:%M")}')')
    file_object.flush()
    file_object.close()
else:
    cv2.putText(frame, 'Desconocido', (x, y - 20), 2, 0.8, (0, 0,
255), 1, cv2.LINE_AA)
    cv2.rectangle(frame, (x, y), (x + w, y + h), (0, 0, 255), 2)

```

Fig. 39. Fragmento del código utilizado para aplicar el reconocimiento facial y evaluar el límite de confianza definido.

A continuación, se muestra unas referencias gráficas de los resultados obtenidos durante la evaluación de las técnicas de reconocimiento facial.

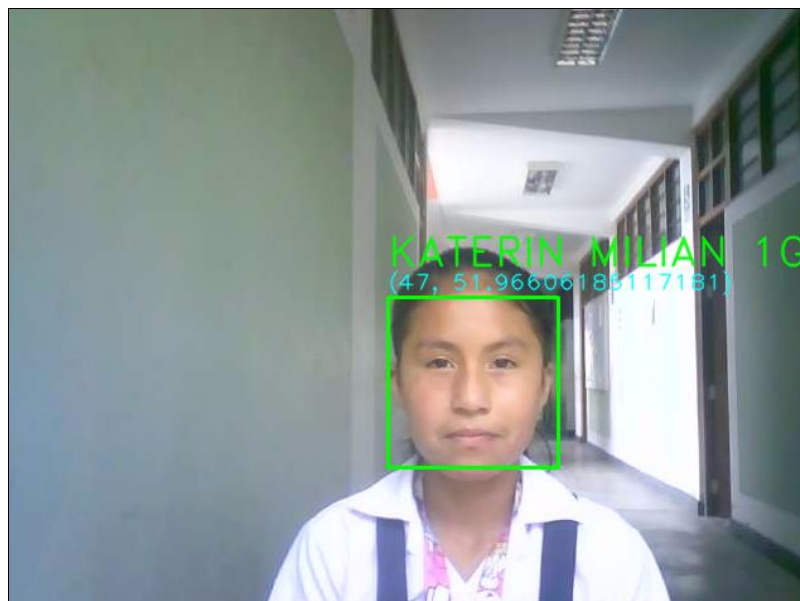


Fig. 40. Muestra de una evaluación, la respuesta de la evaluación es en este caso un verdadero positivo.

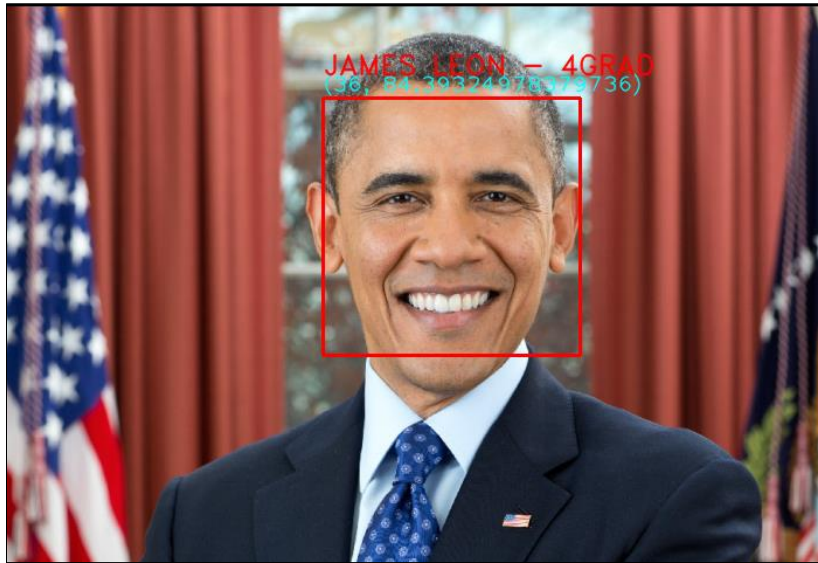


Fig. 41. Muestra de una evaluación, la respuesta de la evaluación es en este caso un falso positivo.

Anexo 9. Variable de operacionalización.

Tabla 22: Matriz de Operacionalización de Variables de la Investigación

Variable Independiente	Dimensión	Indicadores	Formula	Instrumento de Investigación
(Variable Independiente)	Rapidez	Tiempo de Respuesta	$TR = \frac{\sum TF - TI}{\#procesos}$	Bitácora de Resultados / Monitor de Recursos
		FPS	$FPS = \frac{F}{T_f - T_i}$	
Técnica de reconocimiento facial	Rendimiento	Consumo de RAM	$RAM = \frac{\sum RAM_f}{\#procesos} - RAM_i$	
		Consumo de CPU	$CPU = \frac{\sum CPU_f}{\#procesos} - CPU_i$	
(Variable Dependiente)	Confiabilidad	Exactitud	$E = \frac{VP + VN}{PT}$	Observación / Bitácora de Resultados
		Precisión	$P = \frac{VP}{VP + FP}$	
		Sensibilidad	$S = \frac{VP}{VP + FN}$	
		Especificidad	$TE = \frac{VN}{VN + FP}$	
Control de asistencia	Usabilidad	Escala de Usabilidad	$SUS = \left\{ \left[\left(\sum_{x=1}^5 2X - 1 \right) - 5 \right] + \left[25 - \left(\sum_{x=1}^5 2X \right) \right] \right\} * 2.5$	Encuesta

Nota: Elaboración propia basado en Vallejos Rodríguez [18].