

—
Vol. 1
Núm. 1

2024
—



REVISTA _____
Datos, Políticas
e Innovación Pública



IIEG
Instituto de Información
Estadística y Geográfica
de Jalisco

Arreola Marín, María Esmeralda; Chávez Marcial, Mariela; Alcantar Al-cantar, José Iraic
Control de acceso biométrico a espacios públicos con base en tecnologías emergentes
Datos, Políticas e Innovación Pública, vol. 1, núm. 1, marzo; 2024, pp. 30 - 38.
Instituto de Información Estadística y Geográfica

Control de acceso biométrico a espacios públicos con base en tecnologías emergentes

María Esmeralda Arreola Marín, Mariela Chávez Marcial & José Iraic Alcantar Al-cantar
Tecnológico Nacional de México / 2ITS de Ciudad Hidalgo, México
marreola@cdhidalgo.tecnm.mx, mchavez@cdhidalgo.tecnm.mx, jiraic@cdhidalgo.tecnm.mx

Abstract The purpose of this research is to generate knowledge about a biometric system. Through this system, we sought to control access to both public and private institutions. Efficient technology was integrated to allow accurate identification of people without the need to enter passwords, as well as the realization of quick access actions, including temperature measurement. In addition, the security of the technological equipment, which is difficult to breach, stands out. This automated system aims to provide secure and efficient access to both the parking lot and the main entrance of the Instituto Tecnológico Superior de Cd. Hidalgo (ITSCH), where both workers and students are registered. This translates into accurate, fast, secure, hygienic and personalized access. Compared to other biometric systems, facial recognition has proven to be an accurate identification technology for companies, whether public or private. Its algorithmic method of automatic programming, responsible for verifying and recognizing a person's identity from their facial features, provides greater security, control and accuracy in facial data, which is unique to each individual. This research focused on a qualitative approach to evaluate the fulfillment of the operational functionalities of the facial recognition system. Prototyping was developed in order to measure the fulfillment of the objectives. To carry out this study, the TensorFlow library for facial recognition and the Python programming language were used, using the prototype model. The result obtained is a biometric facial recognition system capable of registering the entrances and exits of students and employees of the university.

Keywords: *biometrics, facial recognition, TensorFlow, CNN, microcontrollers.*

1. Introducción

Tras la pandemia, muchas instituciones públicas y privadas actualizaron sus sistemas de acceso, incorporando tecnología eficiente para minimizar el contacto físico y eliminar la manipulación directa por parte del usuario. Se buscó evitar que los antiguos registros en máquinas de tickets, bitácoras o tarjetas de identificación se convirtieran en posibles focos de contagio.

Los beneficios de la implementación de sistemas biométricos de acceso son notables. Incluyen una mayor precisión en la identificación, la promoción de la higiene, la eliminación de la necesidad de ingresar contraseñas y la agilización de acciones como la medición de la temperatura y el registro, incluso cuando se utiliza cubrebocas. Además, estos sistemas son altamente seguros y difíciles de vulnerar.

Este sistema automatizado garantiza un acceso seguro y eficiente tanto al estacionamiento como a la entrada principal de la institución, en este caso, del Instituto Tecnológico Superior de Cd. Hidalgo (ITSCH), donde se encuentran registrados tanto estudiantes como trabajadores. Esto se traduce en un acceso preciso, rápido, seguro, higiénico y personalizado. Si una persona ajena a la institución desea ingresar, deberá ponerse en contacto con los responsables para obtener la autorización necesaria, lo que garantiza tanto la seguridad como el control del tráfico de visitantes.

En comparación con otros sistemas biométricos, el reconocimiento facial se ha convertido en una tecnología de identificación precisa para diversas empresas, ya sean públicas o privadas. Su método algorítmico de programación automática se encarga de verificar y reconocer la identidad de una persona a partir de sus rasgos faciales, proporcionando un alto nivel de seguridad, control y precisión en los datos faciales, que son únicos para cada individuo.

El desarrollo está basado en una combinación de tecnologías de internet de las cosas (IoT) con inteligencia artificial, de tal forma que desde un dispositivo en la entrada se permita enviar una imagen a un servidor, que, mediante una red neuronal, identifique a la persona.

Esta investigación, además de ofrecer precisión, calidad y eficiencia en su servicio, puede resultar útil tanto para empresas privadas como para instituciones de diferentes sectores, ya que puede adaptarse a las necesidades específicas de cada uno. Esto lo convierte en una exploración con un potencial significativo para la integración de tecnología vanguardista.

Para el desarrollo de este sistema biométrico, se empleó el diseño de un prototipo siguiendo el "Modelo de Prototipos", también conocido como modelo de desarrollo evolutivo, que se utiliza principalmente en proyectos de desarrollo de software. El proceso comienza con la definición de los objetivos, tanto generales como específicos para el software. Posteriormente, se identifican los requerimientos y las áreas del proyecto que requieren una mayor conceptualización. Los procesos de prototipado están estrechamente relacionados con la mejora continua y siguen el ciclo de Deming, que

se enfoca en un proceso iterativo diseñado para planificar, implementar, medir y ajustar. La figura 1 muestra la representación de la arquitectura del prototipo.

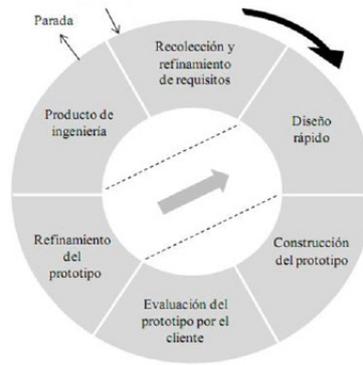


Figura 1. Arquitectura de prototipo

El proceso comienza con la definición de los requerimientos y las variables a explorar, identificando los elementos necesarios para el diseño del prototipo. Al concebir el prototipo, se analizan aspectos como el tipo de prototipo más adecuado, y se evalúan factores como el diseño, el montaje, la ergonomía, los materiales, las formas y las dimensiones, entre otros. Se procede al testeo, donde se presenta el prototipo a los usuarios, se observa y registra su rendimiento y se les permite aportar sus ideas. Una vez completado este proceso, se examinan los resultados y los aprendizajes adquiridos, lo que permite perfeccionar el concepto de solución.

2. Marco Teórico

El desarrollo de la investigación implica el uso de redes neuronales, para el proceso de clasificación de imágenes en este caso específico redes neuronales convolucionales.

Las redes neuronales convolucionales son un subconjunto de aprendizaje automático y están en el centro de los algoritmos de aprendizaje profundo. Estas estructuras se componen de capas de nodos, englobando una capa de entrada, una o más capas ocultas y, al fin, una capa de salida. Cada nodo se encuentra interconectado con otros, cargando consigo un peso y un umbral específico. Si el rendimiento de cualquier nodo individual supera el umbral prescrito, este se activa, transmitiendo así datos a la subsiguiente capa de la red; de lo contrario, se omite el envío de información.

Las redes neuronales convolucionales, abreviadas como ConvNets o CNN, hallan su máximo esplendor en tareas de clasificación y visión artificial. Destacan entre las demás variantes neuronales por su notoria aptitud para procesar entradas de señales de imagen, voz o sonido.

Las CNN orquestan el discernimiento de imágenes y las arduas labores de visión artificial, un nicho de la inteligencia artificial (IA) que permite a sistemas y dispositivos extraer conocimiento sustancial de imágenes digitales, vídeos y otros registros visuales. En la actualidad, existen diversa forma de llevar a cabo la programación de estas, en ese sentido TensorFlow es una famosa plataforma de código abierto que permite facilitar esto, generando así un modelo neuronal capaz de realizar el reconocimiento de imágenes.

Este software, fruto del ingenio de Google, proporciona una amplia gama de herramientas y recursos para diseñar, entrenar y evaluar modelos de aprendizaje profundo. Esto incluye capas predefinidas para construir redes neuronales, optimizadores para ajustar los parámetros del modelo, y herramientas para visualizar y analizar el proceso de entrenamiento y los resultados. Además de la biblioteca principal, cuenta con una API para JavaScript y otra para dispositivos IoT y móviles.

Por otro lado, para la captura de fotos, se empleó una cámara conectada a un microcontrolador en cual fue programado bajo la plataforma Arduino.

Arduino, su concepción resulta de la amalgama de tres elementos esenciales:

- Una placa de hardware de código abierto, con diversos modelos de placas de desarrollo con microcontroladores.
- Software gratuito y multiplataforma, que incluye un entorno de desarrollo (IDE) para escribir, compilar y cargar código en el microcontrolador.
- Un lenguaje de programación de acceso libre, basado en C y enriquecido con múltiples bibliotecas que simplifican la programación de microcontroladores.

Un **microcontrolador** se puede considerar como un ordenador en un único chip. La palabra micro indica que el dispositivo es pequeño, y controlador indica que el dispositivo se puede usar en aplicaciones de control, esto son capaces de trabajar con sensores y actuadores.

Un **sensor** es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Por ejemplo, las cámaras.

Los **actuadores** son los componentes que interactúan con el mundo físico externo a la placa. Los actuadores transforman la señal eléctrica en energía que actúa directamente con el mundo, por ejemplo, los motores.

La biometría, se trata de una ciencia dedicada al análisis estadístico de las características biológicas. Se emplea en el contexto de evaluación de rasgos humanos con fines de seguridad. En ese sentido, el modelo CNN se encarga de almacenar los rasgos de la cara, relacionándolos a una etiqueta o identificador, en este caso se usó el número de control de cada alumno o trabajador, el cual a su vez está almacenado en una base de datos relacional, con toda la información adicional, donde se puede obtener datos como nombre, y si es activo actualmente.

A continuación, se presenta el modelo relacional, que representa la relación entre las tablas contenidas en la base de datos y la interacción, conexión y flujo de datos de cada tabla. Este modelo proporciona una visión unificada de los datos y un entendimiento claro de la función del sistema propuesto. Se puede consultar la figura 2 misma que representa el modelo relacional.

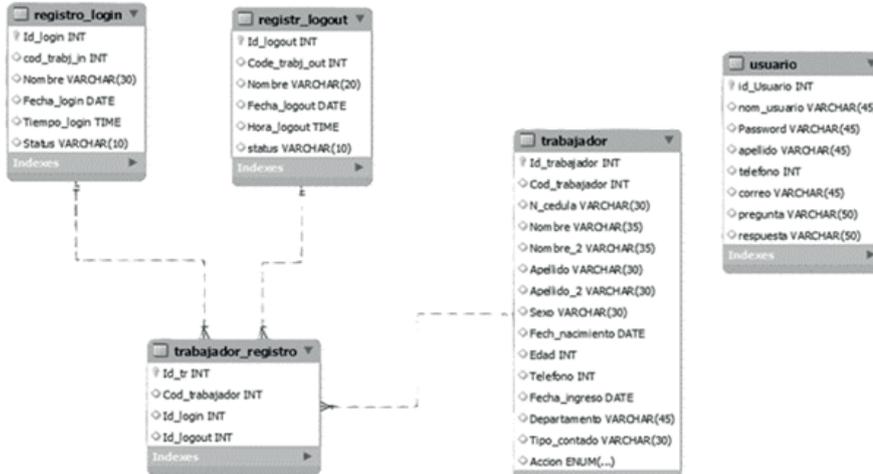


Figura 2. Modelo relacional de la DB del sistema biométrico

3. Métodos

Esta indagación se enfocó en la aplicabilidad de la tecnología de reconocimiento facial para resolver un desafío que en el ITSCH se presentó, siguiendo un enfoque cualitativo para definir el cumplimiento de las funcionalidades operativas del sistema propuesto y determinar qué tan efectivo es el reconocimiento de rostros utilizando una CNN con una cámara genérica a baja resolución. De esta forma, la estructura de sistema general es la siguiente, ver figura 3.

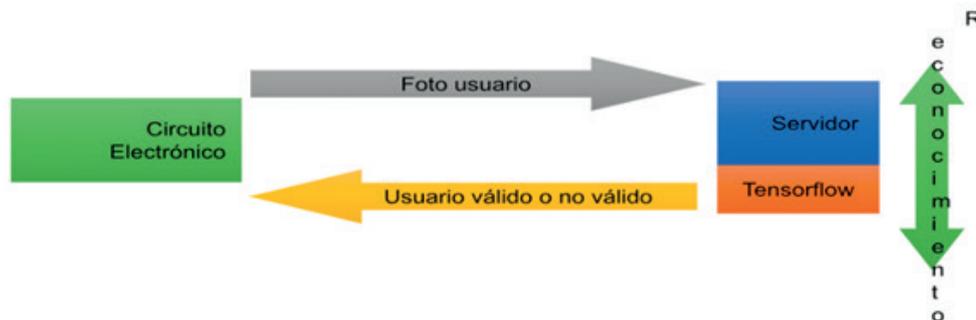


Figura 3. Esquema funcional

1. Un circuito electrónico en la entrada toma una captura de imagen y la envía a través de la red a un servidor, mediante protocolo HTTP.
2. El servidor recibe la imagen y la somete al modelo de red neuronal previamente entrenado con las fotos y a quién corresponde cada foto, de manera que puede determinar quién es.
3. El servidor envía la respuesta, ya sea indicando si el usuario, alumno o trabajador en este caso, es válido o en caso contrario indicar si no se reconoce.
4. El circuito electrónico recibe la respuesta y en base a ella decidirá si permite la entrada, activando el servomotor.

La recolección de requisitos se realizó mediante encuestas al personal y estudiantes que utilizan los sistemas de entrada y salida actuales en la institución, así como a través de observación directa e indirecta del proceso de control de accesos y análisis de documentos, lo que proporcionó una base sólida para el desarrollo. En este sentido, se determinó que el prototipo del circuito electrónico utilizara un microcontrolador con capacidad wifi, conectado a los sensores y actuadores ya mencionados, ver figura 4.

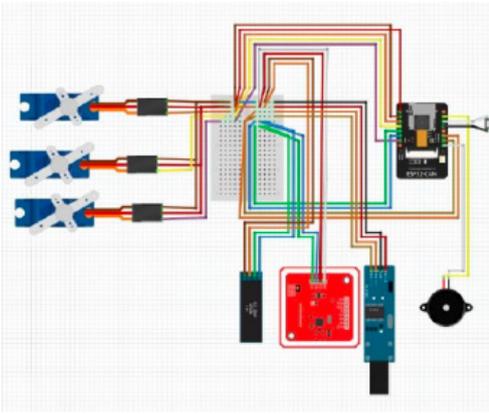


Figura 4. Módulo de sensor Arduino

Microcontrolador: Aunque la programación del microcontrolador, se empleó el software y el lenguaje de Arduino, ninguna placa Arduino fue necesaria, ya que se optó por el ESP3, el cual, además de ofrecer prestaciones avanzadas, se ajustaba perfectamente al propósito del prototipo, destacando la capacidad de comunicación inalámbrica WiFi, necesaria para la comunicación con el servidor. La placa elegida es ESP32-Cam, que incluye conexión a la cámara OV2640, como se aprecia en la figura 5.



Figura 5. Captura de imagen

Sensores:

1. PN532 NFC. Es un circuito integrado desarrollado por NXP Semiconductors que habilita la tecnología NFC para la comunicación inalámbrica entre dispositivos compatibles, a través de radiofrecuencia. Ofrece modos de operación versátiles para aplicaciones como control de acceso mediante tarjetas RFID, pudiendo leer y escribir chip de tarjetas que soporten esta tecnología. En el prototipo, se integró como medida adicional de acceso.
2. Cámara OV2640. Es un sensor de imagen CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) fabricado por OmniVision Technologies. Este sensor está diseñado para capturar imágenes fijas y video en aplicaciones electrónicas. Presenta una resolución de 2 megapíxeles. Integrada en la placa Esp32 Cam y en el prototipo fue utilizada para tomar la captura de imágenes desde el microcontrolador.
3. PIR. Se trata de un sensor de infrarrojos, que permite determinar la presencia de alguna persona, en este caso usada para saber si se toma la foto.
4. Botón. Un simple botón que al presionar permite el paso de una señal, se utilizó como alternativa para que un guardia pueda permitir el paso a personas visitantes o externas que no puedan ser reconocidas por el sistema.

Actuadores: Son los componentes que interactúan con el mundo físico externo a la placa. Los actuadores transforman la señal eléctrica en energía que actúa directamente con el mundo. Los actuadores utilizados son:

1. Servomotores MG90. Es un actuador de tamaño compacto y bajo costo. Suele tener una estructura interna que incluye un motor eléctrico, una caja de engranajes y un circuito de control que permite recibir señales de control, mediante pulsos digitales, para establecer su posición. Puede rotar en un rango específico de grados (generalmente entre 0 y 180 grados) en respuesta a las señales de control enviadas por un microcontrolador u otro dispositivo. Aunque en el circuito se usaron tres, para simular las puertas de acceso principal solo se usó el primero, ya que los otros dos implican tener una cámara para cada uno.
2. Oled 0.91". Una pantalla OLED con un tamaño de 0.91 pulgadas. Las pantallas OLED (Organic Light Emitting Diode) son un tipo de tecnología de visualización que utiliza materiales orgánicos para emitir luz y crear imágenes. Son conocidas por ofrecer colores vibrantes, negros profundos y un alto contraste en comparación con otras tecnologías de pantallas. El objetivo de usar esta pequeña pantalla es mostrar mensajes sencillos del estado de funcionamiento del microcontrolador.
3. Buzzer o zumbador. Es un pequeño altavoz que es capaz de vibrar si se le aplica un pulso eléctrico (una onda

digital o cuadrada) emitiendo un sonido constante a cierta frecuencia, utilizado para enviar mensajes sonoros a los usuarios.

La fase de modelado permitió crear un diseño preliminar del sistema, estableciendo así los cimientos para el diseño final. Luego, se fabricó un prototipo en 3D (figura 6) y se comenzaron las pruebas para entrenar el algoritmo, avanzando hacia la fase de desarrollo y retroalimentación del producto final.

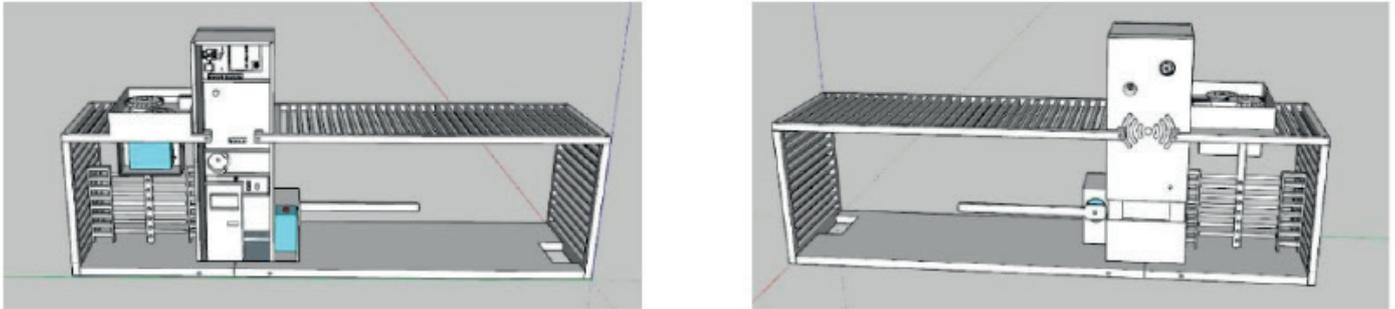


Figura 6. Maquetación de entrada

Este prototipo permite determinar cuándo tomar una foto y enviar al servidor, esperando la respuesta para establecer si se apertura la puerta o no, bajo la siguiente lógica:

```

Si (verificarPresencia() == Verdadero)
    foto = tomarFoto()
    enviarFotoAlServidor(foto)
    respuesta = esperarRespuesta()

```

```

Si (respuesta == "valida") {
    activarServo()
}
Sino
    emitirSeñalDeError()
Fin si

```

Fin si

Las principales funciones que se desarrollaron en esta exploración fueron: el desarrollo de un prototipo funcional de la entrada principal a la Institución y un sistema de reconocimiento usando redes neuronales. El modelo entidad-relación, representa la relación entre entidades con sus respectivos atributos; este determina los datos que se manejarán en el sistema. Cada una de ellas guarda información importante para la correcta funcionalidad del sistema. Además, un algoritmo que, mediante técnicas de comparación, permite determinar el reconocimiento facial de las personas, figura 7

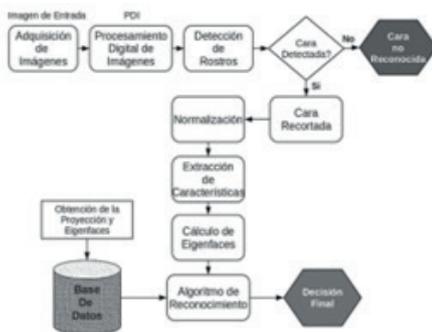


Figura 7. Algoritmo de detección de rostros del sistema de reconocimiento facial

Para este algoritmo de reconocimiento se implementó una CNN en TensorFlow. Desafortunadamente la API para dispositivos IoT, TensorFlow Lite, no se implementó directamente en el microcontrolador debido a que las capacidades para almacenar y procesar son insuficientes para este caso, ya que se pretende aplicar para alrededor de 2000 personas entre Alumnos y Trabajadores de la institución, por lo que, se utilizó la biblioteca principal mediante el lenguaje de programación JavaScript y Python para implementar el modelo un servidor.

Para realizar el entrenamiento del modelo de CNN, se utilizaron fotos de prueba de un grupo de estudiantes todas estas debidamente etiquetadas con su número de control a una resolución de 512x512 pixeles, para posteriormente mandarlas al servidor y este realice el entrenamiento de la red neuronal, esto mediante una interfaz web, ver figura 8.



Figura 8. Esquema de entrenamiento

Finalmente, se obtuvo un sistema de reconocimiento facial basado en la automatización de entradas y salidas de los estudiantes y personal del ITSCH. El producto resultante cuenta con seis funciones principales: registrar características faciales, identificar y reconocer a un estudiante y/o trabajador ya registrado en el sistema, identificar los rostros no registrados, registrar la hora de entradas y salidas, llevar control de registro de datos de un trabajador (administrativo o docente) y generar reportes (figura 9).

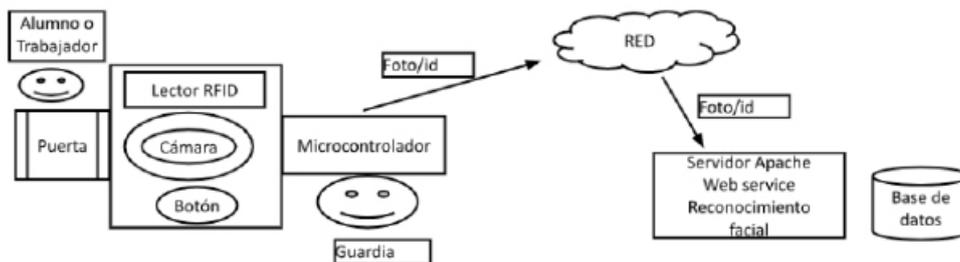


Figura 9. Proceso biométrico final

Los resultados experimentales fueron satisfactorios, las funcionalidades propuestas fueron ejecutadas de manera correcta. En la tabla 1 se aprecian las evaluaciones resultantes.

Funcionalidades	Cumplida	No cumplida
Registro de características faciales	X	
Identificación de rostros	X	
Registro de Entradas y salidas	X	
Detección de rostros no registrados	X	
Control de Registro	X	
Reportes	X	

Tabla 1. Cumplimiento de funcionalidades del sistema de reconocimiento facial

4. Resultados

El sistema será capaz de tener un control en las entradas y salidas de estacionamientos públicos y privados. El equipo de trabajo realizó lo siguiente:

Maquetación. El equipo de trabajo realizó el prototipo en 3d, se imprimió para cumplir el objetivo del proyecto y se implementó la instalación de sensores que tienen la capacidad de controlar los procesos que llevarán a cabo el prototipo. Se realizaron pruebas, figura 10 y 11.

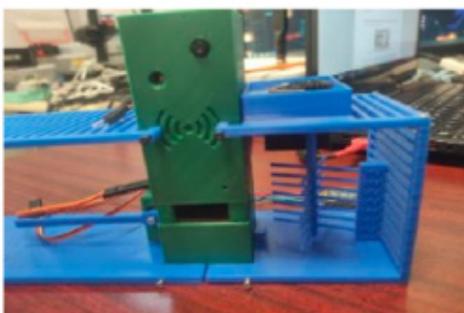


Figura 10. Instalando focos led



Figura 11. Instalación de cámara y conexión

Programación. Se desarrolló la programación del Arduino, los servomotores y del código para el sistema biométrico. En este último se realizó el entrenamiento del modelo de Red Neuronal Convolutiva para las pruebas bajo los siguientes parámetros:

- Se utilizó un modelo Secuencial
- Fotos de 33 alumnos a una resolución de 512 * 512 píxeles, ver figura 12
- En este caso cada alumno corresponde a una clase, relacionada a su número de control
- Tres capas convolucionales (de 32, 64 y 128 con activación "relu")
- Una capa de salida con activación "softmax"
- Para el optimizador se utilizó "Adam" y función de pérdida "Sparse Categorical Cross Entropy"



Figura 12. Resultado de entrenamiento: precisión y pérdida.

Se realizó un entrenamiento durante 1000 épocas donde se puede apreciar que la mayor precisión se logra a partir de la época 750 con un 90% (línea azul) mientras que la precisión en la validación fue más baja, de un 50% aproximadamente (línea naranja), como se puede ver en el gráfico figura 13.

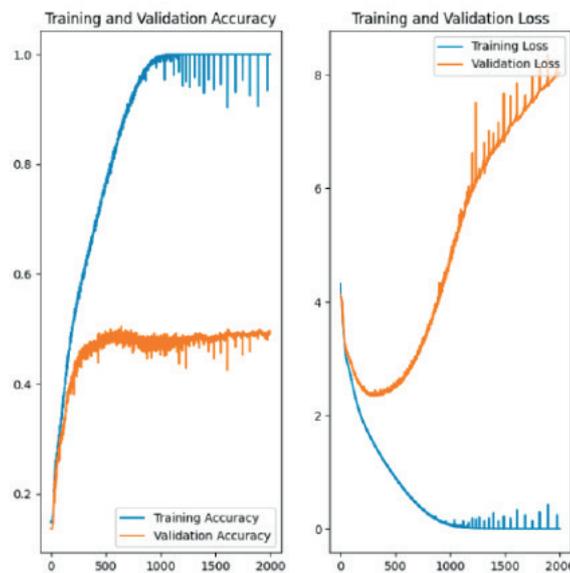


Figura 13. Resultado de entrenamiento: precisión y pérdida.

Finalmente, se logró que la red neuronal pueda devolver el número de control reconocido según el rostro o foto validada con una precisión promedio de 50%.

5. Discusión

La automatización de accesos a estacionamientos y las entradas principales a instalaciones se vislumbra como un tema de gran relevancia en las próximas décadas. El desarrollo de estos sistemas no solo contribuye a la seguridad, sino que también promueve el ahorro energético y mejora la comodidad. Los resultados experimentales de este proyecto demuestran que su desarrollo e implementación podrían abordar los desafíos que enfrentan las personas que son parte del ITSCH.

Un ejemplo significativo en esta línea proviene del trabajo de Calles Carrasco & Becerra Arévalo (2019), quienes crearon un sistema informático de reconocimiento facial para el registro y control de asistencia de los socios de la cooperativa de taxis y camionetas Puyo. Este sistema permite mantener un registro preciso de las asistencias de los socios de la cooperativa y emplea el algoritmo de Viola-Jones, la librería TensorFlow de Python y SQL Server como gestor de base de datos.

En una línea similar, Wang & Siddique (2020) proponen un sistema de reconocimiento facial que utiliza el reconocedor facial de histograma de patrones binarios locales montado en tecnología de drones. Los autores sostienen que este sistema puede identificar a las personas con una precisión cercana al 89.1%. Un antecedente adicional es el trabajo de Portilla Jiménez (2018), quien desarrolló un sistema de reconocimiento facial para la detección e identificación de intrusos. Utilizó la metodología de prototipo, el algoritmo de método comparativo, PhpMyAdmin como gestor de base de datos (XAMPP), Python y la librería OpenCV.

Es innegable que el campo del reconocimiento facial ha experimentado un avance significativo, con múltiples algoritmos y metodologías propuestas para sistemas basados en esta tecnología. Sin embargo, en el desarrollo de este sistema particular, se optó por Python como lenguaje de programación y se incorporó la librería TensorFlow, que desempeña una función crucial en el entrenamiento de la visión por computadora. Además, se empleó MySQL como administrador de la base de datos del sistema, encargado de almacenar los datos de todos los usuarios registrados. Para la interfaz del sistema, se recurrió a Tkinter, una herramienta multiplataforma que se incluye con Python y se considera un estándar en el diseño de interfaces gráficas de usuario. Esto garantiza un funcionamiento eficiente y de alta calidad, con la posibilidad de ser implementado tan pronto como las autoridades de la institución den su aprobación.

6. Conclusiones

El sistema propuesto se basó en el concepto de sistema biométrico para el reconocimiento facial, utilizando un reconocedor facial incorporado en la librería TensorFlow. Este sistema fue entrenado para gestionar las entradas y salidas de estudiantes y empleados del ITSCH.

Aunque las funcionalidades se cumplieron satisfactoriamente, es importante considerar que los experimentos se llevaron a cabo en un entorno controlado y presentaron limitaciones en términos de la calidad de las cámaras y la iluminación. El éxito de la implementación depende en gran medida de aspectos como la iluminación, que permite que el sistema reconozca con precisión los rasgos faciales, y de la calidad de la cámara digital, ya que menos estática y ruido en las imágenes aumenta la precisión del sistema. El sistema propuesto representa una mejora beneficiosa para el control de registro de entradas y salidas de estudiantes y trabajadores de la institución. Como plan a futuro, se busca mejorar la precisión del sistema, esto aumentando el número de imágenes para el entrenamiento, de manera que el modelo pueda generalizar más características, además, se tiene la intención de combinarlo con un modelo ya entrenado, aplicando el aprendizaje por transferencia.

La implementación de este proyecto aportará beneficios tanto a empresas públicas como privadas que requieran un control eficiente de las entradas y salidas, así como a aquellas que buscan mejorar el acceso a sus instalaciones. El Instituto Tecnológico de Ciudad Hidalgo, en particular, ha considerado esta propuesta, teniendo en cuenta los aspectos de seguridad, precisión, higiene y rapidez. De esta manera, el tecnológico se posiciona a la vanguardia de la tecnología, automatizando incluso los procesos más simples.

7. Referencias

A.W. Ahmad, (2011). "Implementation of Zigbee-GSM based Home Security Monitoring and Remote Control System".

Circuits and Systems (MWSCAS). IEEE 54th International Midwest Symposium on.

Alexandre, Luis, (2010). Tecnología NFC, Ecuador, Monografía.

Analog Devices, (2014). "MP36 Data Sheet": www.analog.com

Andrejevic, M., & Selwyn, N. (2020). Facial recognition technology in schools: critical questions and concerns.

Learning, Media and Technology, 45(2), 115-128. <https://doi.org/10.1080/17439884.2020.1686014>

Banzi, Massimo (2009). Getting Started with Arduino (en inglés) (1ª edición). Make Books. p. 128.

Calles Carrasco, M. F., & Becerra Arévalo, N. P. (2019). Sistema informático de reconocimiento facial para el registro y control de asistencia de los socios de la cooperativa de taxis y camionetas puyo, 8(5).

Garduño Santana, M. A., Díaz-Sánchez, L. E., Tabarez Paz, I., & Romero Huertas, M. (2017). Estado del arte en reconocimiento facial. Research in Computing Science, 140(1), 19-27.

Granado, Emanuel, (2011). Sistemas con Radiofrecuencia, Venezuela.

Microchip Technology, (2014). "DSPIC30FXX Data Sheet High-Performance, 16-bit Microcontrollers". Chandler, Arizona: <http://www.microchip.com>

Mikroelektronika, (2014). "GSM Click Manual": www.mikroe.com

Monroy, F. (2018). Estacionamientos automatizados. Disponible en: <https://multiplojp.wordpress.com/2018/07/26/estacionamientos-automatizados/>

Noble, J. (2009). Programming Interactivity: A Designer's Guide to Processing, Arduino, and openFrameworks (1ª edición). O'Reilly Media. p. 768. ISBN 0596154143.

Panasonic, (2014). "DN6851 Data Sheet". <http://www.semicon.panasonic.co.jp/>

Portilla Jimenez, J. J. (2018). Análisis y Diseño de un Sistema de Reconocimiento Facial aplicando Machine Learning para detectar e identificar intrusos. En Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/32954>

Ruiz, José Manuel, (2007). Manual de Programación Arduino, México.

Uber facial recognition. (2016). <https://www.techinasia.com/uber-china-facial-recognition>

Wadham, Rachel, (2003). "Radio Frequency Identification". Library Mosaics.

Wang, L., & Siddique, A. A. (2020). Facial recognition system using TensorFlow face recognizer for anti-theft and surveillance application based on drone technology. Measurement and Control, 53(7-8), 1070-1077. <https://doi.org/10.1177/0020294020932344>

Zumba Gamboa, J. P., & León Arreaga, C. A. (2018). Evolución de las Metodologías y Modelos utilizados en el Desarrollo de Software. INNOVA Research Journal, 3(10).



www.iieg.gob.mx

Dirección de Información de Gobierno, Seguridad Pública e Impartición de Justicia