

DETECCIÓN DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL PARA CONTROLAR AUTOMÁTICAMENTE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO MEDIANTE TÉCNICAS DE VISIÓN POR COMPUTADORA

DETECTION OF PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT OF AUTOMATIC WORKSTATION CONTROL USING COMPUTER VISION TECHNIQUES

DULCE MARIANA ALDABA LUCIO

CARLOS ALBERTO TORO ARCILA

JOSUÉ GÓMEZ CASAS

MARCO ANTONIO SILVA DE LEÓN

JONATHAN SEBASTIÁN OBREGÓN
FLORES

DANIELA ESTEFANÍA ORTIZ RAMOS

JESÚS SALVADOR GALINDO VALDÉS

Facultad de Ingeniería,
Unidad Surete, UAdeC.

RESUMEN

La presente investigación se enfoca en el desarrollo de un sistema automático para la detección de elementos de protección personal (EPP) en estaciones de trabajo, utilizando la técnica de patrones binarios locales (LBP, por sus siglas en inglés) y la biblioteca OpenCV en Python, con el objetivo de automatizar el control de seguridad en dichos entornos. De este modo, se plantea como objetivo desarrollar una herramienta que contribuya a la reducción de accidentes laborales mediante la supervisión automática del uso adecuado de los EPP. Los algoritmos de visión por computadora utilizados permiten que la estación de trabajo funcione cuando se detecta que el personal está utilizando el EPP, por ejemplo, cubrebocas y lentes de seguridad. De acuerdo con datos reportados por el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) es necesario implementar soluciones tecnológicas para la prevención de lesiones en estado de trabajo. La integración de inteligencia artificial en la detección de EPP no solo mitiga riesgos, sino que también fomenta la cultura de la seguridad y el cumplimiento en entornos industriales. En experimentos realizados en una estación de trabajo en el laboratorio, se logró una confiabilidad de 85 % en la detección de cubrebocas y un 93 % en la detección de lentes de seguridad.

Palabras clave: visión por computadora; reconocimiento facial; patrones binarios locales; automatización; inteligencia artificial; elementos de protección personal.

Correspondencia

vmartinezlanderos@uadec.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5881-4048>

Fecha de recepción

4 de abril de 2025.

Fecha de aceptación

14 de mayo de 2025.

ABSTRACT

This research focuses on developing an automated system for detecting personal protective equipment (PPE) in a workstation, using the Local Binary Patterns (LBP) technique and the OpenCV library in Python, to automate safety control in such environments. The objective is to develop a tool that contributes to reducing workplace accidents by automatically monitoring proper PPE usage. The computer vision algorithms enable the workstation to operate only when it detects personnel wearing the required PPE, such as face masks and safety glasses. According to data reported by the Mexican Social Security Institute (IMSS), it is necessary to implement technological solutions to prevent workplace injuries. Integrating artificial intelligence in PPE detection mitigates risks and promotes a culture of safety and compliance in industrial environments. In experiments conducted at a laboratory workstation, an 85% reliability rate was achieved for face mask detection and 93% for safety glasses detection

Keywords: computer vision; facial recognition; local binary patterns; automation; artificial intelligence; personal protective equipment.

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos antiguos los seres humanos han empleado nombres y apodos como mecanismos de identificación, sin embargo, el rostro constituye un elemento único e irrepetible que permite distinguir a cada individuo (Moreano y col., 2017). En este sentido, el reconocimiento facial adquiere relevancia por su alta versatilidad y amplio potencial de aplicación en diversos ámbitos, tales como la seguridad y el control de acceso, la automatización de procesos, la atención médica y la prevención durante pandemias, así como en contextos legales, educativos y de gestión de eventos públicos.

Diversas investigaciones han evidenciado que el rostro es uno de los rasgos más memorables para los seres humanos. A partir de este principio, se han desarrollado tecnologías que integran algoritmos avanzados para aplicaciones en reconocimiento de objetos, diagnóstico médico y sistemas de seguridad. En las primeras etapas del desarrollo del reconocimiento facial se utilizaron algoritmos simples basados en técnicas estadísticas y análisis



CienciAcierta

geométrico de las características faciales. No obstante, estas metodologías presentaban limitaciones, como la propensión a errores de identificación que derivaban en falsos positivos (Moreano y col., 2017).

En el ámbito industrial el uso inadecuado de los equipos de protección personal (EPP), como cubrebocas y lentes de seguridad, así como la falta de mecanismos de control eficaces, incrementa significativamente el riesgo de accidentes laborales y, en consecuencia, de incapacidades. Esto compromete la seguridad del trabajador en las estaciones de trabajo. Frente a este problema, las técnicas de visión por computadora basadas en algoritmos de reconocimiento facial representan una alternativa viable para detectar automáticamente el uso correcto de EPP. De este modo, es posible implementar sistemas de control que regulen el encendido y apagado automático de estaciones de trabajo con el fin de salvaguardar la integridad física del operador (Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2021).

De acuerdo con el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), los accidentes laborales se originan, en su mayoría, por condiciones peligrosas asociadas a equipos, herramientas e instalaciones, así como por actos inseguros cometidos por los propios trabajadores. Muchos de estos incidentes podrían evitarse mediante la promoción de una auténtica cultura de prevención. Según datos del IMSS, excluyendo los años afectados por la pandemia debido a la alteración en el mercado laboral, se ha registrado un promedio anual de 410 mil accidentes laborales en la última década, lo que equivale a 2.2 eventos por cada cien trabajadores. Por su parte, la Organización Internacional del Trabajo (OIT) estima que aproximadamente 1.9 millones de personas fallecen cada año a nivel mundial como consecuencia de accidentes y enfermedades ocupacionales. En este contexto, el IMSS identifica al menos doce condiciones peligrosas y actos inseguros que generan accidentes laborales, entre los cuales destaca la omisión en el uso del equipo de protección personal (Instituto Mexicano del Seguro Social, s.f.).

El objetivo de la presente investigación es desarrollar e implementar un algoritmo de control automático para el encendido y apagado de una estación de trabajo en un entorno de laboratorio, utilizando técnicas de visión por computadora para la detección del uso correcto de EPP (cubrebocas y lentes de seguridad) por parte del operador.

Este estudio emplea técnicas clásicas de visión por computadora con el propósito de garantizar la correcta utilización de los equipos de protección

personal en estaciones de trabajo. Dado que la omisión del uso de EPP constituye una de las principales causas de accidentes laborales, según estadísticas del IMSS, el presente proyecto busca, además, establecer una interfaz de comunicación entre el sistema computacional y los dispositivos de potencia (motores) de la estación de trabajo, a fin de automatizar su operación en función del cumplimiento de las medidas de seguridad.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Figura 1 presenta la metodología utilizada en el desarrollo del proyecto, cuyo objetivo principal fue diseñar e implementar algoritmos capaces de controlar de forma automática el arranque y paro de una estación de trabajo, en función del uso correcto del equipo de protección personal (EPP). Para ello se emplearon dos bancos de imágenes de dominio público: uno con fotografías de personas con y sin cubrebocas (GabySol, 2021) y otro con imágenes de personas con y sin lentes de seguridad.

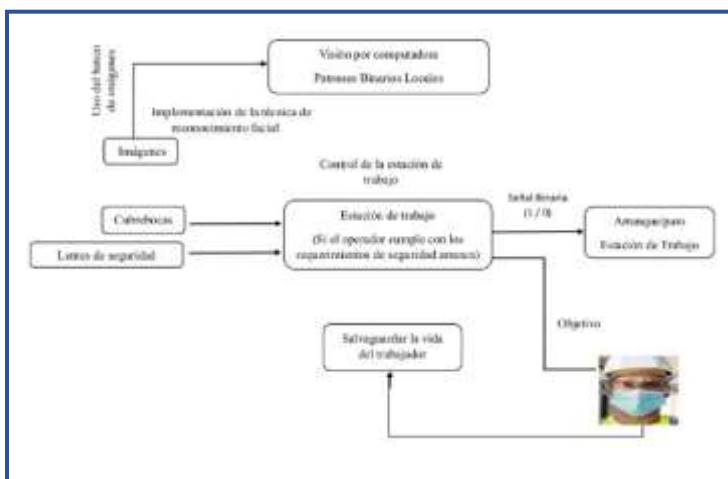


Figura. 1. Metodología experimental.

A partir de estos bancos de datos se entrenaron dos algoritmos de reconocimiento facial utilizando la técnica de patrones binarios locales (LBP), implementada con la biblioteca OpenCV en Python. Uno de los algoritmos se encargó de detectar el uso de cubrebocas, y el otro, la presencia de lentes de seguridad. Ambos modelos procesan imágenes captadas por una cámara web, generando dos salidas: una predicción binaria (1 = porta EPP; 0 = no

porta EPP) y un valor de confiabilidad, expresado como porcentaje, que indica la certeza de la predicción.

Con base en estas predicciones se desarrolló un sistema de comunicación entre la computadora portátil y los componentes eléctricos de la estación, como el motor. Si la predicción es positiva (1), se permite el encendido de la estación; si es negativa (0), se bloquea el paso de corriente al motor, asegurando que el sistema sólo funcione cuando el operador porta el EPP requerido, lo que garantiza un entorno de trabajo seguro.

Para la implementación del sistema se utilizaron diversos equipos y materiales. La computadora principal fue una laptop Lenovo con procesador Intel i5-1155G7 a 2.5 GHz, 8 GB de RAM, disco SSD de 512 GB y sistema operativo Windows 11 Home SL. La estación de trabajo incluía una banda transportadora construida con tubulares de PTR, con dimensiones aproximadas de dos metros de largo por un metro de ancho. Esta cinta giraba de forma continua sobre dos rodillos en los extremos, accionada por un motor Dayton, modelo 5K342, referencia M61183 GZ, con una potencia de 1 HP, velocidad de 1725 RPM, frecuencia de 60 Hz y voltaje de 115/208–230 V.

El sistema de control utilizó un microcontrolador Arduino Uno, que ejecutaba de forma autónoma un programa cargado previamente desde el ordenador. Este microcontrolador, según Peña (2020), puede tomar decisiones y controlar dispositivos mediante sensores y actuadores. Para encender o apagar el motor se usó un relevador de potencia de 5V, actuando como un interruptor electromagnético (Das, 2018). El motor, que opera en un rango de 110 a 210 V, convierte energía eléctrica en energía mecánica para mover la banda transportadora (Gómez Suárez, 2020). Asimismo, se emplearon cables eléctricos para interconectar todos los componentes del sistema (Oña & Ruales, 2024). La metodología aplicada se desarrolló en tres etapas principales:

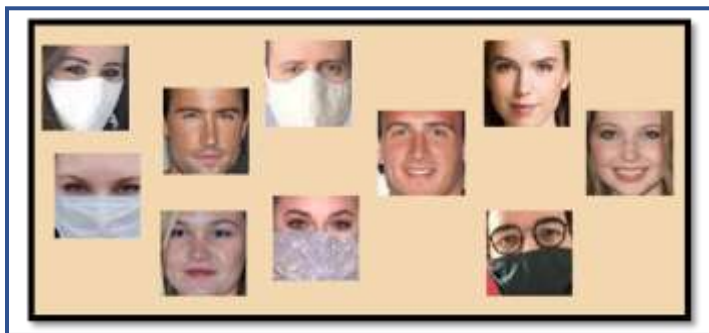


Figura. 2. Recopilación de rostros para emplear el banco de imágenes.

ETAPA 1. ACOPIO DE IMÁGENES

Se recopilaron bancos de imágenes de dominio público como se muestra en la Figura 2. El primero contenía dos mil imágenes clasificadas en dos categorías: con cubrebocas y sin cubrebocas.

El segundo banco también incluía dos mil imágenes divididas entre personas con y sin lentes de seguridad, como se observa en la Figura 3.



Figura 3. Imagen de cómo debe quedar el banco de imágenes en las dos carpetas.

ETAPA 2. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Los detectores de EPP fueron entrenados con estas imágenes utilizando la técnica LBP y OpenCV en Python. Los modelos resultantes fueron guardados en archivos XML para su uso posterior.

ETAPA 3. ANÁLISIS Y TOMA DE DECISIONES

Una vez entrenados, los modelos recibían imágenes RGB desde la cámara web, procesaban la información y generaban la predicción binaria. Se diseñó un algoritmo en Python para establecer la comunicación entre la computadora y el motor, enviando una señal a través del puerto serie al Arduino Uno. Este, a su vez, activaba o desactivaba el relevador de potencia, permitiendo o interrumpiendo el paso de corriente al motor según la predicción. De este modo, la estación solo se pone en funcionamiento si el operador porta adecuadamente el EPP requerido.

POBLACIÓN Y MUESTRA

Este proyecto va dirigido a trabajadores de entre 18 y 50 años porque representan la población laboralmente activa con mayor adaptabilidad, experiencia y capacidad productiva. Además, este rango permite un enfoque más eficiente en términos de impacto y ejecución del proyecto.

Se tomó la decisión de utilizar bancos de imágenes de dominio público para evitar problemas de licenciamiento y permisos de uso.

ANÁLISIS Y TOMA DE DECISIONES

Con los modelos entrenados para la detección de los EPP (cubrebocas y lentes de seguridad) se diseñó un algoritmo el cual toma como entrada la imagen RGB de la cámara web, luego pasa la imagen por el modelo de detección de EPP (cubrebocas o lentes de seguridad) y obtiene la predicción binaria, 1 = con EPP o 0 = sin EPP, según sea el caso. Además, se diseñó una interfaz para establecer la comunicación entre la computadora y el motor de la estación de trabajo, para lo cual se creó un algoritmo en Python que toma como entrada la predicción (0 o 1) del detector y dependiendo del valor de esta envía una señal por puerto serie al Arduino Uno, el cual activa o desactiva el relevador, permitiendo o interrumpiendo el paso de corriente al motor.

LIMITACIONES

Algunos aspectos que se deben tomar en cuenta para el correcto funcionamiento del algoritmo son: las condiciones de iluminación, que la persona debe permanecer con los ojos abiertos y que no realice movimientos bruscos: en la Figura 4 se pueden observar algunos de los fallos generados por este tipo de condiciones.

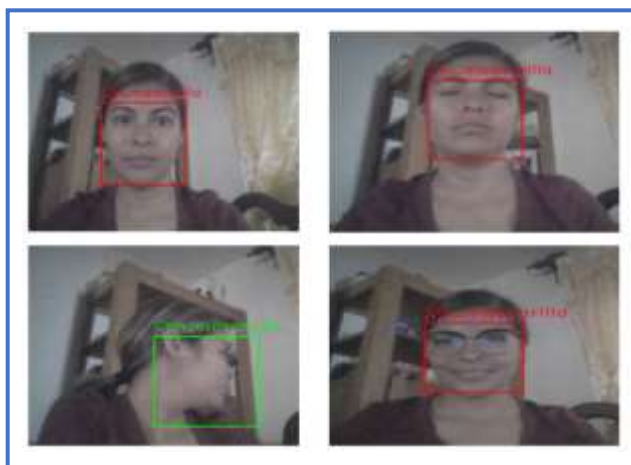


Figura 4. Imágenes de las limitaciones del algoritmo.

SET EXPERIMENTAL

En la Figura 5 se presenta el diagrama de conexión eléctrica del sistema compuesto por el motor, el Arduino Uno y el Relevador. En la Figura 6 se muestra una imagen lateral de la estación de trabajo (banda transportadora) y la cámara web utilizadas para los experimentos.

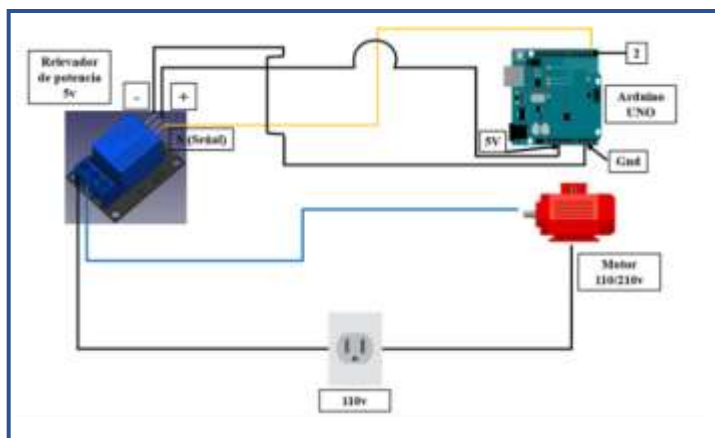


Figura 5. Diagrama eléctrico de la conexión de la banda transportadora.

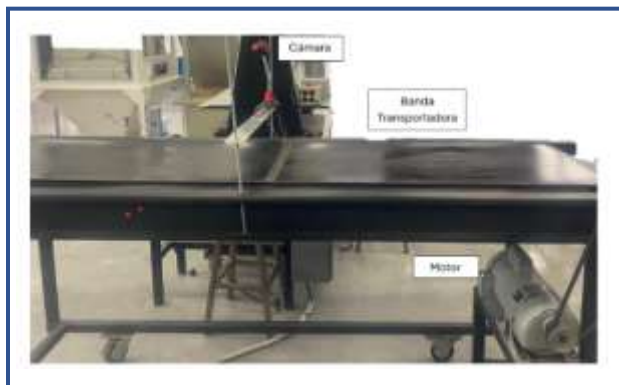


Figura 6. Imagen de la banda transportadora.

RESULTADOS

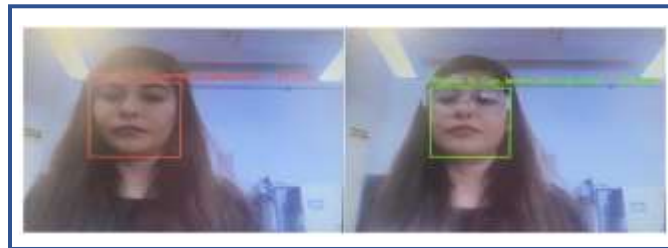
Para la detección del cubrebocas se empezó con un banco de 770 imágenes, obteniendo una confiabilidad de 52 %. Con el objetivo de mejorar este resultado se aumentó el conjunto de datos a dos mil imágenes, lo que permitió alcanzar una confiabilidad de 85 %. Posteriormente, se aumentó el banco de imágenes a cuatro mil, sin embargo, en lugar de aumentar, la confiabilidad disminuyó. Por lo tanto, se optó por mantener el banco de dos mil imágenes, ya que resultó ser el más confiable. En la Figura 7 se presentan los resultados del algoritmo de detección de cubrebocas: en el lado izquierdo se muestra la detección "Sin cubrebocas" con una confiabilidad de 81.5 % y a la derecha se puede observar la detección "Con cubrebocas" con 82.6 % de confiabilidad (Ver video en https://drive.google.com/file/d/1yOvfzglf_Zb750uGhEqQ3DUyVICNRHc8/view?usp=sharing).



Figura 7. Resultado de las imágenes de la detección de cubrebocas después de correr el programa.

Para el entrenamiento del modelo de detección de los lentes de seguridad se inició con un banco de quinientas de imágenes, con el cual se obtuvo una confiabilidad de 79 %. Luego se aumentó a dos mil imágenes, el cual arrojó una confiabilidad de 93 %. En la Figura 8 se presentan los resultados obtenidos con el modelo para la detección de lentes de seguridad, a la izquierda la detección “Sin lentes de seguridad” con 91.4 % de confiabilidad y a la derecha la detección “Con lentes de seguridad” con 92.4 % de confiabilidad (Ver video en <https://drive.google.com/file/d/1Zg9NRhWJgyAwPWZUEFhBxNGLXzxZ2Rpg/view?usp=sharing>).

Figura 8. Resultado de las imágenes de la detección de lentes de seguridad después de correr el programa.



Con los resultados obtenidos se puede observar que es posible integrar tecnologías de vanguardia, como lo son la visión por computadora, la programación y la automatización industrial para generar soluciones a problemas del área de la salud y la seguridad en entornos industriales (Almonacid Díaz, 2020). Además, es de remarcar que es factible generar soluciones prácticas, efectivas y de bajos requerimientos técnicos, utilizando técnicas clásicas de visión por computadora como lo son los patrones binarios locales (LBP).

CONCLUSIONES

- 1- Este proyecto demuestra que es posible diseñar e implementar un sistema de control automático en estaciones de trabajo utilizando técnicas de visión por computadora para detectar el uso de elementos de protección personal (cubrebocas y lentes de seguridad).
- 2- El sistema desarrollado representa una contribución significativa a la mejora de la seguridad laboral en entornos industriales. Al garantizar el uso de los EPP mediante una detección automatizada, se reducen los riesgos de accidentes relacionados con el no uso de estos.

- 3- La integración de herramientas como OpenCV, Python y el modelo basado en patrones binarios locales (LBP) demuestra que es posible desarrollar soluciones avanzadas, utilizando técnicas clásicas de visión por computadora y recursos físicos de bajo costo. Además, es de recalcar que con técnicas clásicas de visión por computadora y recursos de bajo costo (computadora sin GPU), se logró una confiabilidad de 85% en la detección del cubrebocas y de 93% en la detección de los lentes de seguridad.
- 4- Como plan futuro se plantea continuar trabajando con el algoritmo de detección para aumentar la confiabilidad en la detección de los EPP, especialmente en condiciones de iluminación adversas y con cambios en los ángulos de inclinación del rostro. Además, se pretende trabajar en la unificación de ambos sistemas de detección (cubrebocas y lentes de seguridad) en un solo detector, lo que haría más sencilla su implementación y mejoraría la eficiencia del procesamiento en tiempo real.
- 5- Por último, se propone la incorporación de técnicas más avanzadas de aprendizaje profundo, tales como redes neuronales convolucionales más complejas (Yolov12) para mejorar la detección de los EPP.

REFERENCIAS

- Almonacid Díaz, C. (2020). Theoretical and ethical considerations of facial recognition of emotions in the context of a pandemic. *Veritas*, 46: 55-75.
- Das, J. (2018). Power System Protective Relaying. CRC Press, Taylor; Francis Group.
- Gómez Suarez, Iván. (2020). Mantenimiento electromecánico de motores eléctricos. Ediciones Paraninfo, SA.
- GabySol. (2021). OmesTutorials2021/Mascarillas dataset. <https://github.com/GabySol/OmesTutorials2021/tree/main/Mascarillas%20dataset>.
- Instituto Mexicano del Seguro Social. (s.f.). Gobierno de México [s. f.]. <https://www.gob.mx/imss>.
- Moreano, J. A. C., Pulloquinga, R. H. M., Lagla, G. A. F., Chisag, J. C. C., & Pico, O. A. G. (2017). Reconocimiento facial con base en imágenes. *Revista Boletín Redipe*, 6(5): 143-151.

Oña, J. O., & Ruales, L. E. (2024). Análisis de sobrevoltajes por impulso atmosférico en sistemas de Transmisión con discontinuidades líneas de transmisión aéreas y cables aislados, usando ATP. *Revista Técnica energía*, 20(2): 1-10.

Peña, C. (2020). Introducción a Arduino (Vol. 88). RedUsers.

Softonic. (s.f.). Arduino IDE - Descargar [s. f.]. <https://arduino-ide.softonic.com/>.