

Sistema avanzado de asistencia al conductor para la detección de distracción y somnolencia utilizando puntos de referencia faciales

Advanced driver assistance system for distraction and drowsiness detection using facial landmarks

Luis Darío Sinche Cueva^{1,*}

¹ Carrera de Computación, Facultad de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

* Autor para correspondencia: luis.d.sinche@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 15/03/2023 Fecha de aceptación del manuscrito: 30/04/2023 Fecha de publicación: 30/06/2023

Resumen—En este artículo se presenta el desarrollo de un sistema avanzado de asistencia al conductor para la detección de somnolencia y distracción en tiempo real como una solución ante los accidentes de tránsito utilizando visión artificial. Inicialmente se aborda la problemática sobre los accidentes de tránsito en Ecuador en 2021, para luego definir la distracción y la somnolencia y sus diferentes clases. En un siguiente punto, se presentan los trabajos de investigación más sobresalientes relacionados con la detección de somnolencia y distracción con los tipos de detección utilizados. Luego, se da a conocer las metodologías aplicadas en esta investigación, para la revisión de literatura se utilizó la metodología para la revisión sistemática de la literatura aplicada a la ingeniería y la educación y para la implementación del proyecto la metodología SCRUM. Para la detección de somnolencia y distracción se realiza mediante puntos de referencia faciales; en cuanto a la somnolencia se utiliza la relación de aspecto del ojo EAR y como un aporte nuevo en la detección de distracción se aplica una diferencia de distancias horizontales.

Palabras clave—Puntos de referencia faciales, Detección de somnolencia, Detección de distracción, Visión por computadora.

Abstract—The following article presents the development of an advanced driver assistance system for detection of drowsiness and distraction in real time. This is a solution to traffic accidents using artificial vision. A discussion of the problem of traffic accidents in Ecuador in 2021 is initially offered, followed by a discussion of the different classes of distractions and drowsiness. In a next point, the most outstanding research works related to drowsiness and distraction are presented with the types of detection used. Then, the methodologies applied in this research are disclosed. For the literature review the Methodology for systematic literature review applied to engineering and education was employed and for the implementation of the project the SCRUM methodology. For the detection of drowsiness and distraction, it is carried out by facial reference points; Regarding drowsiness, the aspect ratio of the EAR eye is used and, as an innovative contribution in the detection of distraction, a difference in horizontal distances is incorporated.

Keywords—Facial landmark, Drowsiness detection, Distraction detection, Computer vision.

INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS), estima que, debido a los accidentes de tránsito, a nivel mundial, 1.35 millones de personas fallecen por año. Esto conlleva a que los accidentes de tránsito sean un problema de salud, que se intenta resolver a nivel mundial, incluyendo metas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (WHO, 2018). En Ecuador, en el año 2021, debido a los accidentes de tránsito, 17.532 personas resultaron heridas, mientras que 2.131 fallecieron.

Es así que una de las soluciones desarrolladas y en crecimiento, son los Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor (ADAS), con el objetivo de construir vehículos y ca-

rrteras más seguras, para los conductores y peatones. Este tipo de sistemas trabaja con un conjunto de sensores que reciben información en tiempo real, de la conducción y el ambiente externo donde se moviliza, y dan como respuesta advertencias al conductor o actúan directamente sobre los sistemas de control del vehículo (Zhao, 2015).

Antecedentes

En Ecuador, en el año 2021, existieron 21.352 siniestros de tránsito, dejando 17.532 personas lesionadas y 2.131 personas fallecidas, según datos de la agencia nacional de tránsito (Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador ANT, 2023).

El sistema que se presenta en este estudio, tiene como ob-

jetivo disminuir los accidentes de tránsito, por lo cual, se evalúa los accidentes de tránsito ocasionados por somnolencia y distracción. La somnolencia es una de las causas que provocan los siniestros de tránsito, pero, no es la razón principal, como algunos investigadores lo mencionan, al menos no en Ecuador. De los 21.352 siniestros de tránsito provocados en el año 2021 en Ecuador, el conducir desatento a las condiciones de tránsito (celular, pantallas de video, comida, maquillaje o cualquier otro elemento distractor), produjo 5.640 siniestros de tránsito, es decir, el 26% de los siniestros. Esta es la causa con mayor porcentaje de ocurrencia. El conducir en estado de somnolencia o malas condiciones físicas (sueño, cansancio y fatiga), produjo 128 siniestros, en el mismo año. El conducir bajo la influencia de alcohol, sustancias estupefacientes o psicotrópicas y/o medicamentos, produjo 1.656 siniestros; esta última causa se la tomará como parte de la detección de somnolencia, ya que el consumo de estas sustancias produce somnolencia al conductor, llevando así a un posible accidente de tránsito (Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador ANT, 2023).

Distracción

La Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras de los Estados Unidos, categoriza a la distracción en los siguientes grupos: distracción manual, distracción visual, cognitiva, auditiva, olfativa y gustativa (Regan *et al.*, 2008). A continuación, se describe cada uno de los tipos de distracciones:

- **Distracción manual:** Esta distracción es la más común entre los conductores, ya que la persona quita las manos del volante por un determinado tiempo para realizar una tarea distinta a la conducción segura. Se asocia con la postura del conductor cuando: interactúa con los pasajeros, manipula los sistemas de audio o navegación del tablero del vehículo, movimientos bruscos para agarrar objetos, beber, comer, arreglarse, maquillarse, entre otras actividades (Abouelnaga *et al.*, 2017).
- **Distracción visual:** este tipo de distracción desvía la atención visual de conductor. Entre estas distracciones se encuentra la somnolencia y miradas involuntarias fuera de la carretera por eventos llamativos al exterior, como, por ejemplo, el desvío ocular hacía el celular cuando suena por una llamada o un mensaje de texto (Fernández *et al.*, 2016).
- **Distracción Cognitiva:** este tipo de distracción ocurre cuando el conductor piensa en algo diferente mientras conduce (Maralappanavar *et al.*, 2016). El conductor puede tener sus ojos abiertos en dirección a la carretera, pero su mente se encuentra distraída, esto hace que este tipo de distracción sea la más peligrosa, ya que no hay indicadores que manifieste el conductor que se pueda medir para detectar la distracción (Azman *et al.*, 2012).
- **Distracción auditiva:** es debida a la atención que el conductor presta a el sonido que llama su atención. La más común, hablar por celular mientras se conduce (Regan *et al.*, 2008).

- **Distracción olfativa:** cuando un olor desagradable molesta al conductor, quitando su atención a una conducción segura (Regan *et al.*, 2008).
- **Distracción gustativa:** esta se puede presentar después de una distracción manual, cuando el conductor consume alimentos, y mientras realiza esta actividad, de su alimento puede surgir un sabor amargo o picante. El conductor centrará su atención en resolver este inconveniente de su alimentación, perdiendo la concentración en una conducción segura (Regan *et al.*, 2008).

Somnolencia

La somnolencia es la tendencia de una persona a quedarse dormida. La somnolencia se ha convertido en un problema dentro de la salud laboral, por lo que aumentan los estudios de esta sobre pilotos de aviación, conductores de vehículos o médicos. Aunque la somnolencia puede ser debida a diversas razones, se ha dividido en dos clases principales: la somnolencia patológica y la somnolencia normal (Rosales Mayor y Rey De Castro Mujica, 2010).

- **Somnolencia normal:** tiene como causa más común la privación del sueño, y es resultado del ritmo circadiano, específicamente, como dormir por la noche y estar despierto durante el día.
- **Somnolencia patológica:** en este tipo de somnolencia se encuentra el Síndrome de Apnea-Hipopnea del Sueño SAHS, disritmia circadiana, medicación, entre otras

Trabajos Relacionados

En la literatura, se encontró investigaciones relacionados con la detección de distracción, detección de somnolencia, y detección de somnolencia y distracción. Dentro de las investigaciones más citadas, en la detección de somnolencia, se encuentra Reddy *et al.* (2017), con su trabajo Real-time Driver Drowsiness Detection for Embedded System Using Model Compression of Deep Neural Networks. Aquí se presenta un enfoque de aprendizaje profundo basado en visión por computadora para detectar la somnolencia de un conductor. El estudio divide a su arquitectura en 2 partes, la primera es la detección y alienación del rostro y la segunda parte es el modelo de detección de somnolencia. Para la detección y alineación del rostro, utiliza las redes convolucionales en cascada de tarea múltiples por su rápida y precisa detección de rostro. El modelo alcanza una validación del 94,8 por ciento.

De la misma manera, la investigación más citada en cuanto a la detección de distracción, tenemos a Murphy-Chutorian y Trivedi (2010), esta investigación calcula la estimación inicial de la posición y orientación de la cabeza del conductor. Su trabajo comienza con detectores de rostro AdaBoost en cascada, histogramas LGO y regresores de vectores de soporte (SVR). Rastrea la cabeza del conductor en seis grados de libertad, utilizando una cámara que funciona a 30 fotogramas por segundo (fps). Además de esto presentan un algoritmo para el seguimiento visual en 3D.

En la investigación de Nambi *et al.* (2018), presentan Demo: HAMS: Driver and Driving Monitoring using a Smartphone, HAMS (Harnessing Auto-Mobiles for Safety), la cual, expone un sistema basado en teléfonos inteligentes

para el monitoreo del conductor y su conducción, con el objetivo de cumplir la misma funcionalidad de un sistema ADAS, pero a un bajo costo. Este proyecto comienza con la extracción de imágenes a través de un teléfono celular inteligente, el cual, extrae imágenes tanto de la cámara frontal para el conductor, como de la cámara trasera para la carretera. Con la cámara frontal se realiza la detección del rostro con los puntos de referencia faciales y localiza los puntos característicos. En los ojos se mide el cierre de los mismos, utilizando la métrica de la relación de aspecto del ojo EAR y se cuantifica su extensión de cierre con la métrica de PERCLOS. En la boca, la somnolencia se determina cuando la persona bosteza, y para detectar el bostezo se realiza con la métrica de la relación de aspecto de la boca MAR. Con la cámara trasera, el sistema detecta y delimita en un cuadro a los vehículos que se encuentran frente a él, e identifica la clase de vehículo, con esta información estima la distancia a los otros vehículos, también identifica el carril en el que se ubica el vehículo, para lograrlo entrena el sistema con una base de datos extensa y enfoques de aprendizaje. Los autores concluyen que su sistema funciona en carreteras bien señalizadas, como en carreteras urbanas sin marcar.

En Ahmed *et al.* (2015), se detecta la somnolencia de una persona mediante el comportamiento ocular. La toma de imagen se la realiza mediante una cámara pequeña y con el fotograma capturado se convierte de imagen en RGB a imagen en escala de grises. El siguiente proceso es aplicar la equalización del histograma de la imagen y eliminar el ruido binario. Ya con la imagen procesada, detecta el rostro con el algoritmo de Haar Cascade y selecciona la región de interés, es decir, el ancho y alto de la pupila. Con la ubicación de los ojos procede a determinar si los ojos están cerrados o abiertos. Para determinar si el ojo está abierto o cerrado utiliza el reflejo de la retina para descubrir los ojos en el rostro, este proceso lo repite con cada fotograma obtenido del video. Si el sistema encuentra cerrados los ojos del conductor por cinco cuadros consecutivos, asume que el conductor se está quedando dormido y se emite una señal de advertencia. El programa se desarrolló en C++ y utiliza bibliotecas de visión por computadora de OpenCV. El estudio demuestra que el programa presenta dificultades al detectar los ojos de una persona con gafas.

En Hossain y George (2018), IOT based Real-time Drowsy Driving Detection System for the Prevention of Road Accidents, el sistema realiza la detección de somnolencia del conductor mediante la detección del rostro. La detección es previamente entrenada por un conjunto de datos 300-VW, luego se detecta los puntos de referencia faciales utilizando un clasificador Haar Cascade. Si el sistema detecta que en el conductor existe somnolencia, emitirá una alerta tratando de despertar al conductor. Si el conductor tiene a quedarse dormido más de tres veces, se envía una notificación por correo electrónico al propietario del vehículo, esto en caso de que el vehículo sea de una compañía de alquiler de vehículos.

En Junaedi y Akbar (2018), realizan la detección de somnolencia mediante visión por computadora. Primero realiza la detección de la cara y los ojos en cada cuadro con el algoritmo de Viola y Jones. Con los ojos detectados, se calcula PERCLOS con las regiones del iris de ambos ojos. Para la extracción de la región del iris, utiliza la transformación circular de Hough para asilarlo y luego detecta los límites del

iris con el método de detección de bordes Sobel, según los autores, este método es el mejor para esta tarea.

MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo de esta investigación comienza con la revisión de la literatura sobre las investigaciones relacionadas con la detección de somnolencia y distracción. Para iniciar con la revisión de la literatura se implementa la metodología propuesta por Torres-Carrión *et al.* (2018), en su trabajo denominado “Methodology for systematic literature review applied to engineering and education”, en donde se presenta un método para la revisión sistemática de la literatura científica.

Para el desarrollo del proyecto, se extrae de la revisión sistemática de literatura, las técnicas existentes de detección de somnolencia y distracción de conductores de vehículos. A partir del análisis, se experimenta de forma iterativa las técnicas más relevantes para evaluar su rendimiento. En este punto se logra determinar técnicas de detección de somnolencia y distracción del conductor que se desarrollaran en el mismo código. Debido a la iteración e incremento en la gestión del proyecto se implementa la metodología scrum.

Para desarrollar la solución se presenta un sistema conformado por 4 etapas. Estas 4 etapas están constituidas por: la detección de rostro, la detección de ojos, la detección de distracción y somnolencia y finalmente por la activación de la alarma (Figura 1).

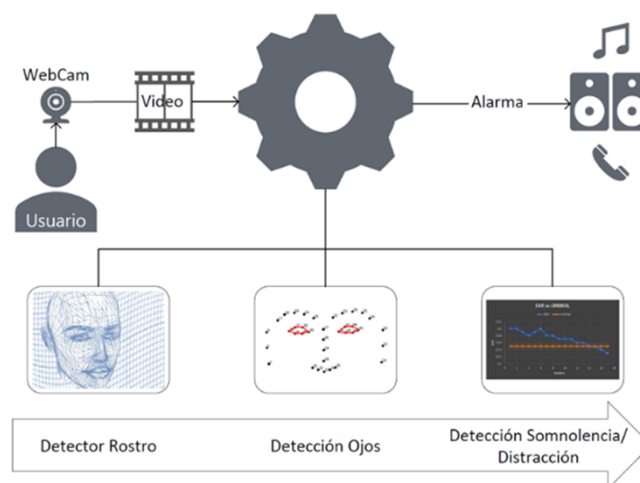


Fig. 1: Arquitectura de la solución planteada.

El sistema contempla una cámara instalada en la parte superior del tablero, detrás del volante, la cual captura en video la imagen del conductor en tiempo real y este será enviado al sistema para que cada fotograma sea procesado. En cada fotograma, se detectará el rostro, si lo detecta, determinará si existe o no somnolencia o distracción en el conductor, de ser así, se emitirá una alerta al conductor.

Detección de rostro y ojos

Con los datos obtenidos de la revisión de la literatura, se evaluó dos algoritmos: algoritmo de Viola y Jones y el algoritmo de Puntos de referencia faciales.

El algoritmo de Viola y Jones, aunque en muchas investigaciones este algoritmo ha dado buenos resultados, tiende a tener dificultades al detectar el rostro de una persona que

no se encuentra dentro de los rangos permitidos en la etapa de entrenamiento, como los giros laterales, giros hacia arriba o hacia abajo. No ocurre lo mismo con los puntos de referencia faciales, ya que este algoritmo es fuerte frente a estos inconvenientes (Cueva y Cordero, 2020).

El algoritmo de puntos de referencia faciales, se basa en la extracción de 68 puntos característicos del rostro, mediante un sistema pre entrenado para estimar la ubicación de los puntos faciales (Figura 2).



Fig. 2: Puntos de referencia faciales (Group, 2023).

Con la detección del rostro y la extracción de los puntos de referencia faciales logrados, el siguiente paso en esta investigación, es la detección de puntos de referencia únicamente de los ojos. Cada ojo está representado por 6 coordenadas (x, y), comenzando en la esquina izquierda del ojo, y luego trabajando en sentido horario alrededor del resto de la región (Soukupova y Cech, 2016), ver Figura 3.

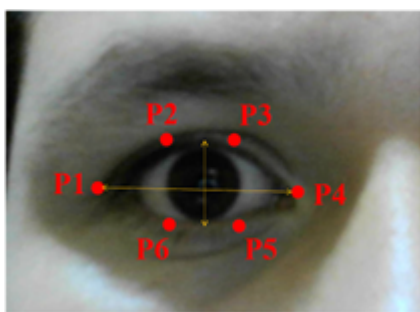


Fig. 3: Puntos de referencia del ojo.

DetECCIÓN DE SOMNOLENCIA

Con los puntos de referencia de los ojos extraídos, se comienza a determinar la manera de detectar la somnolencia en una persona. En Soukupova y Cech (2016), su trabajo, Real-Time Eye Blink Detection using Facial Landmarks, presenta un algoritmo que detecta en tiempo real, el parpadeo de una persona. De su investigación, se toma un punto clave, una cantidad escalar única, la Relación de Aspecto del Ojo EAR (eye aspect ratio). Esta medida caracteriza el nivel de la apertura del ojo en cada fotograma en tiempo real.

De la relación entre el ancho y el alto de las coordenadas de los ojos, se deriva la ecuación de la relación de aspecto

del ojo EAR, ver 1 y Figura 3.

$$EAR = \frac{\|p2 - p6\| + \|p3 - p5\|}{2\|p1 - p4\|} \quad (1)$$

Aplicando la ecuación 1 al algoritmo para obtener el EAR, dio como resultado que mientras se mantenía los ojos abiertos el EAR tenía un valor de 0,34, mientras que si los ojos se cerraban el valor de EAR bajaba a un valor de 0,13 (Figura 4). Con estos dos datos podemos determinar un umbral que permita determinar si la persona esta somnolienta o no.

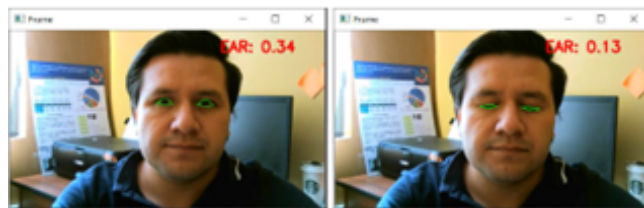


Fig. 4: Calculando el valor Relación de Aspecto del Ojo, EAR.

DETECCIÓN DE DISTRACCIÓN

Esta investigación brinda un aporte muy importante, en lo que se refiere a la distracción de un conductor, ya que no se plantea ninguna técnica propuesta en la literatura, sino, se presenta una técnica simple pero efectiva.

Si obtenemos la distancia horizontal de los puntos P1 y P4, referentes a la Figura 3, de cada ojo, obtendremos dos distancias horizontales que serán casi iguales. En la Figura 5, se puede observar que la distancia horizontal de cada ojo, son muy parecidas. Estas distancias deberían ser iguales, ya que nuestros ojos son simétricos, pero difieren en un valor mínimo, posiblemente a la inclinación o posición lateral mínima entre la cámara y el rostro.

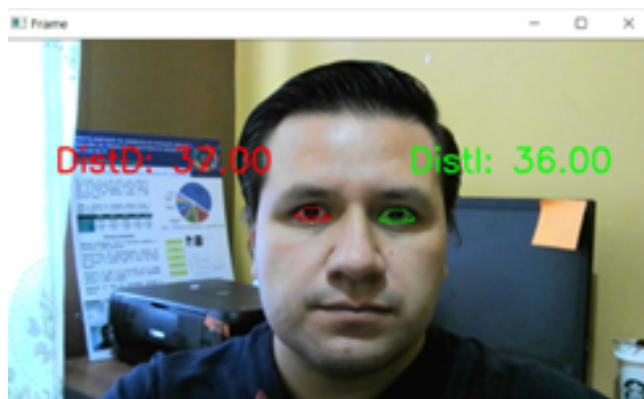


Fig. 5: Distancia horizontal entre los puntos de referencia de cada ojo.

Si la persona gira la cabeza levemente, la distancia horizontal entre estos puntos cambia. En la Figura 6, se puede ver que la distancia horizontal del ojo derecho toma un valor de 21, mientras que la distancia horizontal del ojo izquierdo toma un valor de 31. Luego de varias pruebas se pudo determinar lo siguiente: con los giros laterales de la cabeza, la distancia horizontal de los ojos varía, y si la diferencia entre estas dos distancias supera el valor de 4, se determina que la persona esta distraída. Esto lo representamos en 2:

$$\text{Distraccion} = |P1 - P4|_{\text{derecho}} - |P1 - P4|_{\text{izquierdo}} \quad (2)$$
$$\text{Distraccion} \geq 4 \rightarrow \text{Conductor distraido}$$

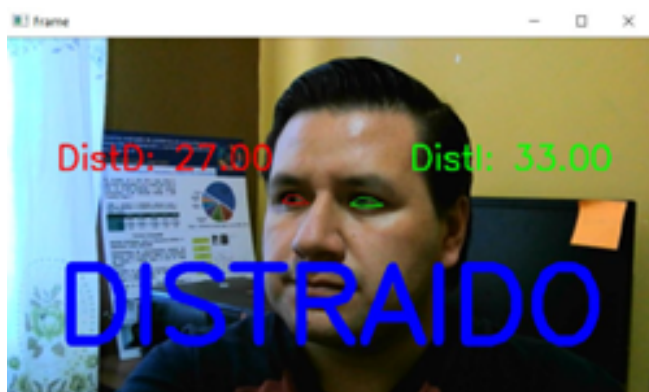


Fig. 6: Distancia horizontal entre los puntos de referencia de cada ojo con un movimiento lateral del rostro.

Evaluación de algoritmos

En toda la investigación los algoritmos fueron implementados y evaluados en Python 3.6, para ello fue necesario implementar varias bibliotecas como OpenCV e Imutils. Además, para la edición del código se utilizó Visual Studio Code.

El sistema fue puesto a prueba desde una laptop Asus i7, dando respuestas sin retrasos en la detección de somnolencia y distracción. La webcam utilizada en el tablero del vehículo fue una Logitech de 21 fps.

RESULTADOS

Para evaluar el algoritmo implementado, se toma 6 vídeos grabados en diferentes tiempos y ambientes, mientras se conduce el vehículo y cada vídeo tiene una duración de 10 minutos, en total se obtiene 60 minutos de conducción. Se registra los 3 eventos que detecta el sistema: somnolencia, distracción y ausente, y, se determina dos parámetros para evaluar el sistema: acierto y falla.

Si el sistema detecta la actividad que muestra el conductor en ese momento se la reconoce como acierto, y si el sistema detecta una actividad que no corresponde a lo que muestra el conductor se la reconoce como falla. Durante los 60 minutos de conducción se obtuvo el 87 por ciento de aciertos y 13 por ciento de falla.

Cuando la persona gira la cabeza y el sistema puede detectar parte del rostro, se toma como distracción, mientras que, si se tiene un giro mayor de la cabeza, de tal forma que no se pueda detectar el rostro, el sistema lo toma como ausencia del conductor. En cuanto a la somnolencia del conductor, se tiene una actividad llamada cabeceo, este cabeceo es mínimo al inicio de la somnolencia por lo que el sistema detecta los ojos que están cerrados y puede tomarlo como somnolencia. Si existe un cabeceo a tal punto que el conductor mantenga la cabeza hacia abajo por un tiempo igual o mayor al segundo y medio se tomará como ausencia del conductor para emitir la alerta.

El tiempo de detección del rostro y ojos para evaluar el EAR y la fórmula de distracción son inmediatos, es imperceptible al ojo humano. El tiempo para emitir la alarma de

somnolencia estimada en un segundo y medio, mientras que el tiempo para emitir la alarma de distracción fue mayor, debido a que el conductor debe mirar los retrovisores en cierto tiempo mientras conduce, por lo que fue estimado un tiempo de 2 segundos.

En la Figura 7 se observa la detección de somnolencia del conductor en tiempo real, mientras conduce por las calles. El valor de EAR para determinar si se encuentra somnoliento, fue menor a 0.23.



Fig. 7: Detección de somnolencia en conducción.

En la Figura 8, se observa la detección de distracción del conductor, al distraerse por el manejo de la pantalla táctil del automóvil. En este caso se utiliza (2), para determinar que la diferencia de las distancias horizontales del ojo izquierdo DistI con el ojo derecho DistD, es mayor a 4, por lo tanto, el conductor está distraído.

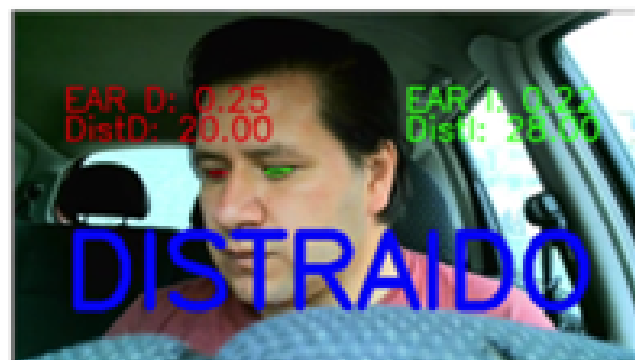


Fig. 8: Detección de distracción en conducción.

En la Figura 9, se observa que se activa la detección de distracción del conductor, por el uso del celular. Al igual que en el caso anterior se utiliza (2), y determinar que la diferencia de las distancias horizontales de los ojos es igual a 4, determinando así la distracción de la persona.

En la Figura 10, se observa una nueva alerta. En este caso no es detección de somnolencia ni distracción, sino, que el sistema alerta al conductor, ya que este, a salido del cuadro de detección que evalúa los puntos de referencia faciales.

CONCLUSIONES

La investigación en las metodologías de detección de somnolencia y distracción, determina que la implementación del método de visión por computadora es el más óptimo por su no intromisión, su buena precisión, su bajo costo al poner en marcha y su respuesta en tiempo real.

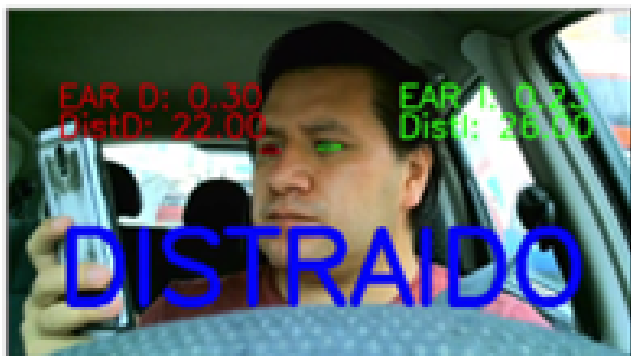


Fig. 9: Detención de distracción en conducción.



Fig. 10: Detención de distracción en conducción.

Con la aplicación de las técnicas de detección, basadas en visión por computadora, es posible concluir que el algoritmo de Viola y Jones y el algoritmo de puntos de referencia faciales detectan el rostro de la persona, pero el algoritmo de Viola y Jones al tener dificultades de detección del rostro fuera de los rangos permitidos en las etapas de entrenamiento, es descartado, por lo tanto, el algoritmo que demuestra un buen desempeño en la pruebas para la detección de rostro y ojos, es el algoritmo de puntos de referencia faciales.

Mediante la investigación se implementa un sistema que detecta la somnolencia y distracción del conductor utilizando puntos de referencia faciales que incide positivamente en la reducción de accidentes de tránsito por su rápido tiempo de respuesta, sin ningún tipo de retraso. El sistema detecta la somnolencia y distracción del conductor con una alta precisión, y es flexible a la postura y movimientos de la cabeza del conductor, a los distintos rasgos físicos de la persona, a el uso de lentes claros y a la conducción en diferentes tipos de carreteras.

REFERENCIAS

- Abouelnaga, Y., Eraqi, H. M., y Moustafa, M. N. (2017). Real-time distracted driver posture classification. *arXiv preprint arXiv:1706.09498*.
- Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador ANT, . (2023). *Visor de siniestralidad – estadísticas – agencia nacional de tránsito del ecuador – ant*. Descargado de <https://www.ant.gob.ec/visor-de-siniestralidad-estadisticas/>
- Ahmed, J., Li, J.-P., Khan, S. A., y Shaikh, R. A. (2015). Eye behaviour based drowsiness detection system. En *2015 12th international computer conference on wave-*

let active media technology and information processing (iccwamtip) (pp. 268–272).

- Azman, A., Meng, Q., Edirisinghe, E., y Azman, H. (2012). Eye and mouth movements extraction for driver cognitive distraction detection. En *2012 ieee business, engineering & industrial applications colloquium (beiac)* (pp. 220–225).
- Cueva, L. D. S., y Cordero, J. (2020). Advanced driver assistance system for the drowsiness detection using facial landmarks. En *2020 15th iberian conference on information systems and technologies (cisti)* (pp. 1–4).
- Fernández, A., Usamentiaga, R., Carús, J. L., y Casado, R. (2016). Driver distraction using visual-based sensors and algorithms. *Sensors*, *16*(11), 1805.
- Group, I. B. U. (2023). *i-bug - resources - facial point annotations*. Descargado de <https://ibug.doc.ic.ac.uk/resources/facial-point-annotations/>
- Hossain, M. Y., y George, F. P. (2018). Iot based real-time drowsy driving detection system for the prevention of road accidents. En *2018 international conference on intelligent informatics and biomedical sciences (iciibms)* (Vol. 3, pp. 190–195).
- Junaedi, S., y Akbar, H. (2018). Driver drowsiness detection based on face feature and perclos. En *Journal of physics: Conference series* (Vol. 1090, p. 012037).
- Maralappanavar, S., Behera, R., y Mudenagudi, U. (2016). Driver's distraction detection based on gaze estimation. En *2016 international conference on advances in computing, communications and informatics (icacci)* (pp. 2489–2494).
- Murphy-Chutorian, E., y Trivedi, M. M. (2010). Head pose estimation and augmented reality tracking: An integrated system and evaluation for monitoring driver awareness. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, *11*(2), 300–311.
- Nambi, A. U., Bannur, S., Mehta, I., Kalra, H., Virmani, A., Padmanabhan, V. N., ... Raman, B. (2018). Hams: Driver and driving monitoring using a smartphone. En *Proceedings of the 24th annual international conference on mobile computing and networking* (pp. 840–842).
- Reddy, B., Kim, Y.-H., Yun, S., Seo, C., y Jang, J. (2017). Real-time driver drowsiness detection for embedded system using model compression of deep neural networks. En *Proceedings of the ieee conference on computer vision and pattern recognition workshops* (pp. 121–128).
- Regan, M. A., Lee, J. D., y Young, K. (2008). *Driver distraction: Theory, effects, and mitigation*. CRC press.
- Rosales Mayor, E., y Rey De Castro Mujica, J. (2010). Somnolencia: Qué es, qué la causa y cómo se mide. *Acta médica peruana*, *27*(2), 137–143.
- Soukupova, T., y Cech, J. (2016). Eye blink detection using facial landmarks. En *21st computer vision winter workshop, rimske toplice, slovenia* (p. 2).
- Torres-Carrión, P. V., González-González, C. S., Aciar, S., y Rodríguez-Morales, G. (2018). Methodology for systematic literature review applied to engineering and education. En *2018 ieee global engineering education conference (educon)* (pp. 1364–1373).
- WHO, W. H. O. (2018). *Global status report on road safety 2018*. Descargado de <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>
- Zhao, M. (2015). Advanced driver assistant system, threats, requirements, security solutions. *Intel Labs*, 2–3.