

“VISION ALGORITHM DEVELOPMENT ARTIFICIAL TO DETECT THE DROWSINESS IN DRIVERS HEAVY MACHINERY MINERS”

Ryan Abraham León León¹; Brenda Mariana Figueroa Herrera²; Flavio Cesar Sánchez Burgos³
Universidad Privada del norte, Perú. ryan.leon@upn.edu.pe

Abstract- The main objective of this research is to develop an artificial vision algorithm that detects the drowsiness of heavy machinery mining drivers, using an artificial vision architecture with Python software, importing face detection libraries such as shape_predictor_68_face_landmarks with which it will be detected and They will identify each important point. In the input stage, the face will be detected with a camera placed in a strategic point of the vehicle and/or machine. Then the software detects and measures the required points. A threshold <0.22 was used at a time of 60 fps (1sec) to determine if the individual is blinking continuously or due to fatigue, if this is the case an alert message will be sent. In the tests carried out we obtained average positive results of 96.48%.

Keywords- Drowsiness, Python, computer vision, landmarks, threshold.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN,

ISBN: (to be inserted by LACCEI).

“DESARROLLO DE ALGORITMO DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA DETECTAR LA SOMNOLENCIA EN CONDUCTORES MINEROS DE MAQUINARIA PESADA”

Ryan Abraham León León¹; Brenda Mariana Figueroa Herrera²; Flavio Cesar Sánchez Burgos³
Universidad Privada del norte, Perú. ryan.leon@upn.edu.pe

Resumen- Esta investigación tiene como objetivo principal desarrollar un algoritmo de visión artificial que detecte la somnolencia de conductores mineros de maquinaria pesada, utilizando una arquitectura de visión artificial con el software Python importando librerías de detección de rostro como `shape_predictor_68_face_landmarks` con el cual se detectará y se identificarán cada punto importante. En la etapa input se detectará el rostro con una cámara colocada en un punto estratégico del vehículo y/o máquina. Para luego el software detecte y mida los puntos requeridos. Se utilizó un umbral < 0.22 en un tiempo de 60 fps (1seg) para determinar si el individuo está parpadeando de manera continua o por cansancio, si éste fuera el caso se enviará un mensaje de alerta. En las pruebas realizadas obtuvimos resultados positivos promedios de 96.48%

Palabras Clave- Somnolencia, Python, visión artificial, landmarks, umbral.

I. INTRODUCCIÓN

El trabajo es necesario para el desarrollo del ser humano y la sociedad. Cada proceso tiene exigencias diferentes y turnos, dependiendo del tipo de trabajo o proceso que se requiera. La falta de sistemas de seguridad y salud en el trabajo aumenta los riesgos de accidentes o poca eficiencia en los trabajadores. En respuesta a este último desafío se ha recurrido a la tecnología, no solo como un medio para distribuir o aligerar la carga laboral sino también para diseñar métodos y equipo que salvaguarde la vida [1]. La inteligencia artificial está cobrando cada vez mayor importancia y uno de los aspectos que está siendo grandemente explotado en la industria es la visión artificial. La visión artificial es una ciencia que incluye un conjunto de técnicas para capturar, procesar y analizar imágenes; el objetivo es que la computadora extraiga información útil para responder preguntas sobre su contenido, tales como: ¿Qué aparece en la imagen? ¿Hay algún público que te interese? ¿Es alguien que conoces? [2]. Entonces, al igual que en los humanos, la visión

artificial ofrece a los robots unos complejos mecanismos cognitivos que permiten responder inteligentemente a su entorno [3].

En la actualidad, ya existen herramientas maduras que se utilizan en diferentes campos sociales, como el entretenimiento, las tarjetas inteligentes (pasaporte, licencia de conducir), la seguridad de la información, la aplicación y vigilancia de la ley, etc. Aunque la detección de rostros es una tarea cotidiana para los humanos, la implementación del software no es trivial y requiere una investigación exhaustiva para mejorar el proceso [4]. Operaciones como recortar o escalar una imagen, cambiar el espacio de color o aplicar un filtro ayudan a llamar la atención sobre objetivos relevantes al facilitar la detección de bordes, esquinas y bordes o cualquiera de sus otras características definitorias [5].

Hoy en día, los expertos de todas las disciplinas utilizan la programación como una herramienta más para solucionar los problemas. Se agencian de distintos leguajes de programación y sus respectivas librerías para comunicar a detalle el objetivo al que están orientados. Se evidencia una gran tendencia a usar Python como leguaje principal y un claro ejemplo son grandes centros de investigación como el CERN (Organización Europea para investigación nuclear), así como también es utilizado por científicos en campos como Bioinformática, Neurofisiología, Física, Matemáticas, etc. Esto es porque disponibilidad de bibliotecas de visualización, procesamiento de señales, estadística, álgebra, etc.; es fácil de usar [6]. Además del complemento de OpenCV (Open Source Computer Vision Library) siendo una biblioteca de software de visión artificial y aprendizaje automático de código abierto, siendo creada para proporcionar una infraestructura común para aplicaciones de visión por computadora y para acelerar el uso de la percepción de la máquina en productos comerciales [7]. La somnolencia, o quedarse dormido con facilidad, es uno de los principales síntomas de diversas afecciones. Una razón es el insomnio, cuya medición se complica por sus diversos conceptos operativos, siendo el instrumento más utilizado el cuestionario de autoevaluación para medir la somnolencia [8]. Los conductores están expuestos a diferentes errores intencionales y/o no intencionales que conducen a muchos casos de accidentes. Los errores no intencionales ocurren por una variedad de razones, de las

cuales las principales son la somnolencia y la pérdida de concentración.[9].

En el 2016 en una encuesta de investigación en el sector minero, se buscó implementar un sistema inteligente para detectar fatiga y distracción en conductores de camiones de transporte pesado, se usó un video fragmentado usando ffmpeg para dividirlo. Los resultados muestran un desempeño aceptable del dispositivo final ya que elimina el uso de computación externa, integra ópticas externas y ensamblajes para uso de alto volumen (disponibilidad en minas y remolques) [10].

En el 2019 en Chuquicamata, se desarrolló un servicio de detección de Fatiga y somnolencia para operadores propios de empresas colaboradoras de la división de esta comunidad, es un claro ejemplo de la aceptabilidad y efectividad en la implementación de este servicio [11].

La privación aguda y crónica del sueño, así como la privación del sueño, han sido promovidas en la sociedad occidental desde la invención y popularización de la luz eléctrica, debido a la revolución industrial. Por lo tanto, no dormir se ha relacionado con el éxito profesional y un mejor desempeño laboral y escolar, lo que lleva a millones de personas a tener problemas para dormir todos los días [12] y no dormir por la noche tiene un efecto directo sobre la salud, según un estudio publicado en el Australian Medical Journal. una condición conocida como "trastorno del trabajo por turnos" que provoca somnolencia excesiva durante la vigilia e insomnio durante el día, lo que exagera los efectos de los patrones de sueño interrumpidos [13]. Las organizaciones son, en general, las encargadas de realizar la gestión de los riesgos laborales a los que puedan estar expuestos sus trabajadores, con independencia de su actividad económica. Por lo que planifican, implementan, verifican y modifican el sistema de gestión para garantizar la comodidad de los trabajadores y el bienestar de sus familias [14].

Debido al impacto de la somnolencia en el bienestar, la seguridad y en la productividad de individuos y empresas, todas las organizaciones que tienen turnos nocturnos deben fomentar programas de adaptación para sus trabajadores, sobre todo si está relacionado al transporte, salud y la Industria Energética. Se estima que cerca del 20% de la fuerza laboral en los países industrializados trabaja horas extras, es decir, horas extras, y en Estados Unidos y Canadá, más de un tercio de la población trabaja de noche [15]. Cuando el puesto de trabajo requiere una atención o concentración sostenida a la que el trabajador es incapaz de adaptarse y no puede recuperarse, nos referimos a fatiga persistente o fatiga crónica, irreversible, debida al simple descanso y por tanto tiene consecuencias mucho más graves para los trabajadores que la fatiga normal [16].

La Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico Resolución Ministerial N° 375-2008-TR tiene por objetivo principal establecer los parámetros que permitan la adaptación de las condiciones de trabajo a las características físicas y mentales de los trabajadores con el fin de proporcionarles bienestar, seguridad y mayor eficiencia en su desempeño,

tomando en cuenta que la mejora de las condiciones de trabajo contribuye a una mayor eficacia y productividad empresarial[17]. Más de la mitad de los españoles no duerme bien, y aprovecha los fines de semana para recuperarse del insomnio. El 58% reportan dormir mal que falta de sueño, muy bien 42%, lo que indica que el 13% de los encuestados "no han descansado nada"[18].

Con esta investigación se tiene como objetivo observar y analizar cómo actúa el algoritmo para detectar la somnolencia en conductores de maquinaria pesada en minería. Siendo esto una parte importante para seguridad y salud en el trabajo para que las empresas puedan implementar este sistema y así prevenir accidentes futuros. Además, se desarrollará nuevos conocimientos con relación al desarrollo de un software de visión artificial para estudios relacionados con la somnolencia.

II. METODOLOGÍA

Hoy en día existen herramientas que facilitan la elaboración de aplicaciones para el reconocimiento facial, en el que tenemos librerías como OpenCV, DLib, Face++, FaceMark. Todas estas herramientas alcanzan buenos resultados en imágenes de rostros cerca de la cámara y bien iluminado, eso puede llevarlos incluso a aplicaciones móviles [19]. Para esta investigación se ha propuesto un análisis de parpadeo en los conductores de maquinaria pesada en el sector minero, considerando la siguiente arquitectura mostrada en la figura 01.

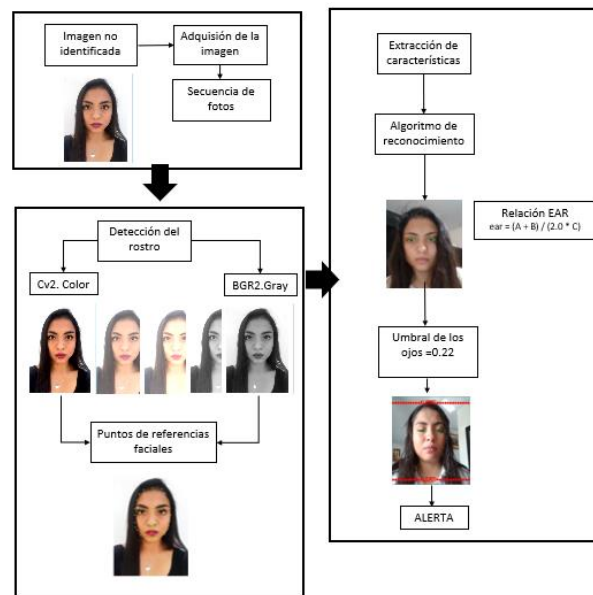


Figura 01. Arquitectura open Cv para shape_predictor_68_face_landmarks

En la arquitectura Dlib para "shape_predictor_68_face_landmarks"(ver figura 01) se puede observar ese una serie de capas de convolución y reducción en diferentes etapas para finalmente pasar a una capa clasificadora donde se obtendrá la imagen con los parámetros requeridos.

Se ha considerado en diferentes etapas: la primera etapa es del procesamiento de la información (ver figura 02), la cual incluye el análisis de las secuencias de fotos (video) para generar una data inicial de puntos importantes del rostro y la amplitud de la abertura de los ojos a través de una red neuronal. A partir de la detección de rostro, los ojos se ubican aplicando puntos de referencia faciales (landmarks) la cual se utiliza para localizar los 68 puntos faciales [20].

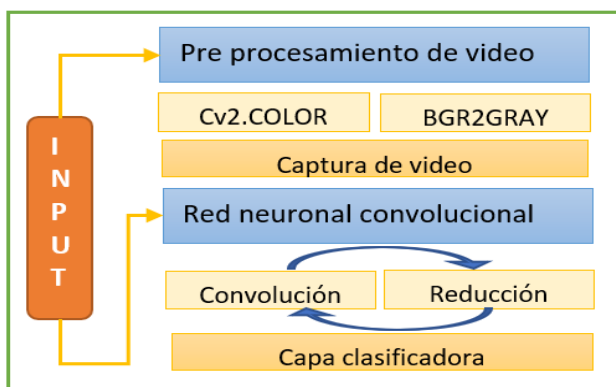


Figura 02. Etapa de procesamiento de la información

Esto se procesará en la librería Dlib para detectar el rostro importando de esta el archivo "shape_predictor_68_face_landmarks" y definiendo una función llamada "eye_aspect_ratio" que toma un ojo como entrada y calcula la relación de aspecto del ojo (EAR), que es una medida de qué tan abierto está el ojo. Basado en el algoritmo EAR como se puede ver en la figura 03, la imagen del ojo representa seis puntos de coordenadas.

```

Procesamiento con Dlib: importación de librerías
from scipy.spatial import distance
from imutils import face_utils
import imutils

Fórmula EAR: ratio de aspecto de ojo
def eye_aspect_ratio(eye):
    A = distance.euclidean(eye[1], eye[5])
    B = distance.euclidean(eye[2], eye[4])
    C = distance.euclidean(eye[0], eye[3])
    ear = (A + B) / (2.0 * C)

```

Figura 03. Procesamiento con Dlib y fórmula EAR

Luego usa la función `get_frontal_face_detector` de dlib para detectar rostros en la transmisión de video y la función `shape_predictor` de dlib para ubicar los puntos de referencia faciales. Se va a considerar 0.22 para el valor de EAR[21], si es mayor de este valor el algoritmo detectará cualquier parpadeo y si es menor el valor será menos sensible.

A continuación, utiliza los puntos de referencia faciales para calcular el EAR de ambos ojos y comprueba si el

EAR es inferior al umbral definido. Si el EAR es inferior al umbral durante un número consecutivo de fotogramas siendo establecido en "frame_check = 60(fps)", muestra un mensaje de "ALERTA" en la pantalla.

No buscamos detectar parpadeos sino, si los ojos están cerrados o no en un periodo mayor a 1 segundo.

El algoritmo seguirá de manera infinita, hasta que presionemos la letra "q" (if key == ord("q")) para que se detenga (break).

```

Output: mensaje de alerta - primera propuesta
thresh = 0.22

if ear < thresh:
    flag += 1
    print (flag)
    if flag >= frame_check:
        cv2.putText(frame, "*****ALERTA!*****", (10, 30),
            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (0, 0, 255), 2)
        cv2.putText(frame, "*****ALERTA!*****", (10,325),
            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (0, 0, 255), 2)
        #print ("Drowsy")

```

Figura 04. Procesamiento de datos de la primera propuesta

En la Figura 04. Se muestra el mensaje de alerta que enviaría el algoritmo en el momento que el valor de **thresh** sea menor a 0.22, los valores numéricos reflejan al color verde para los puntos de ambos ojos (0,0,255).

Como hemos podido observar, se tomó en cuenta mediante el software Python el comando distance. Euclidean para tener un valor que se pueda medir constantemente:

- **Para el ojo derecho:**

$$A = \text{distance.euclidean}(\text{eye}[1], \text{eye}[5]) \quad (1)$$

De acuerdo con (1), se medirá la distancia entre los puntos 1 y 5 para el ojo derecho y así obtener la distancia que será representada por la variable "A".

- **Para el ojo izquierdo:**

$$B = \text{distance.euclidean}(\text{eye}[2], \text{eye}[4]) \quad (2)$$

De acuerdo con (2), se medirá la distancia entre los puntos 2 y 4 para el ojo izquierdo y así obtener la distancia que será representada por la variable "B".

- **Distancia EAR:**

$$\text{ear} = (A + B) / (2.0 * C) \quad (3)$$

Habiendo obtenido los valores de A y B se divide entre 2 y el valor de C (3), se calcula la distancia que servía como ratio de aspecto de ojos bajo la fórmula EAR (eye aspect ratio). Estos valores los obtuvimos de (4):

$$EAR = \frac{\|p_2 - p_6\| + \|p_3 - p_5\|}{2\|p_1 - p_4\|} \quad (4)$$

En la figura 05 se muestra un flujograma de instalación donde una vez realizada la programación del algoritmo debe de instalarse el equipo de detección.



Figura 05. Flujograma del proceso de detección de somnolencia

A continuación, se mostrará los códigos utilizados en el algoritmo de detección de somnolencia. Ver tabla 1.

TABLA I
DESCRIPCIÓN DE LOS CÓDIGOS UTILIZADOS

CÓDIGOS	DESCRIPCIÓN
---------	-------------

Librerías: from scipy.spatial import distance from imutils import face_utils import imutils import cv2	Librerías utilizadas en nuestra investigación necesarias para detectar los rostros y cv2 es la librería de opencv que se utiliza para acceder a las cámaras y trabajar las imágenes
Aspecto del ojo – distancia euclidiana: * eye_aspect_ratio(eye): A = distance.euclidean(eye[1], eye[5]) B = distance.euclidean(eye[2], eye[4]) C = distance.euclidean(eye[0], eye[3])	Calcular la distancia euclidiana entre los ambos ojos. Calcular la relación de aspecto del ojo (EAR), que es una medida de qué tan abierto está el ojo, ya que es necesario para nuestro proyecto.
Parámetros de referencia de cada ojo: (lStart,lEnd)=face_utils.FACIAL_LANDMARKS_68_IDXS["left_eye"] (rStart, rEnd) = face_utils.FACIAL_LANDMARKS_68_IDXS["right_eye"] cap=cv2.VideoCapture(0)	Lee las imágenes de la Cámara de la laptop (cámara 0) // 1 para webcam y 0 para laptop, en este proyecto usaremos "0".
Escala de colores y grises: frame = imutils.resize(frame, width=450) gray=cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY) subjects = detect(gray, 0)	Foto en color de 450 pixeles pasa a escala de grises.
Ubicación de los puntos: shape =face_utils.shape_to_np(shape), shape = predict(gray, subject) leftEye = shape[lStart:lEnd] rightEye = shape[rStart:rEnd] leftEAR = eye_aspect_ratio(leftEye) rightEAR = eye_aspect_ratio(rightEye) ear = (leftEAR + rightEAR) / 2.0	Coordenadas para cada ojo
Detector de sueño – Alerta: * if ear < thresh: flag += 1 print(flag) if flag >= frame_check: cv2.putText(frame,"*****ALERT!*****", (10, 30), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (0, 0, 255), 2) cv2.putText(frame, "*****ALERT!*****", (10,325), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (0, 0, 255), 2)	Si el valor del thresh es menor a 0.22[21] en un frame check de 60 fps envía alertas

III. RESULTADOS

Se consideró las siguientes etapas:

- Obtención de imagen.
- Procesamiento y escalamiento de imagen.

- Extracción de fps y reconocimiento de rostro.
- Medición de distancias entre ambos ojos.
- Detección de ojos en conductos de maquinaria pesada
- Detección de ojos cerrados > 60fps

Cada una de estas cumplió con los requerimientos para la propuesta de la detección de somnolencia del conductor, medido por el valor de EAR.

Concluyendo que mediante la visión artificial y software como Python se puede desarrollar un algoritmo que fiable que detecte la somnolencia de un conductor de maquinaria por medio de los ojos cerrados por un determinado continuo de tiempo. En una mina se contratan entre 400-500 conductores [23], lo cual hemos realizado una prueba piloto con 30 tomas ya que la población es mayor de 300, para calcular la confiabilidad inicial y la validez del instrumento a implementar en este caso el software [24], obteniendo los resultados mostrados en la tabla 2.

Teniendo en cuenta que un conductor no puede estar al volante más de 5 horas continuas en el día y 4 horas en la noche [25]. Con un nivel de confianza al 95% obtuvimos en exactitud, 96.11% en fiabilidad 100% y 93.33% en velocidad.

TABLA II
VERIFICACIÓN DE ESTÁNDARES

N°	Etapas	Exactitud	Fiabilidad	Velocidad
1	Obtención de imagen	100	100	100
2	Procesamiento y escalamiento de imagen	100	100	100
3	Extracción de fps y reconocimiento de rostro	93.33	100	96.67
4	Medición de distancias entre ambos ojos	100	100	100
5	Detección de ojos en conductores de maq. pesada	90	100	83.33
6	Detección de ojos cerrados > 60fps	93.33	100	80

En la figura 06 podemos observar las pruebas tomadas por el software, donde detecta los ojos humanos con el color verde del software. Sea el caso, como plantas o animales; no lo reconocería ya que este software utilizó una librería detectora de rostros humanos. Y cuando el rostro llegaba a valores menor a 0.22 en un tiempo de 60 fps, esta manda una alerta como se muestra en la figura 07.



Figura 06. Ubicación de los puntos de ambos ojos



Figura 07. Detección de alerta en ojos por somnolencia

Como se muestra en la Figura 08, se realizaron pruebas con lentes de seguridad debido a que según el reglamento de SST de ministerio de energía y minas D.S N° 024-2016.EM; es obligatorio el uso de lentes, caretas y protectores faciales a los trabajadores dentro de la mina [26].

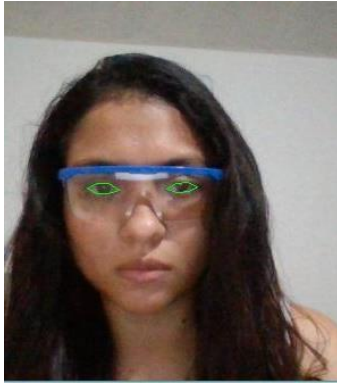


Figura 08. Ubicación de los puntos de ambos ojos con lentes de seguridad

Se comprobó que el software si identificaba el rostro con lentes al ver que se marcaba ambos ojos. En la figura 09. Se muestra que si manda la alerta.



Figura 09. Detección de alerta en ojos por somnolencia con lentes de seguridad

IV. DISCUSIÓN

Frente a [8] en su investigación desarrolló un sistema inteligente para la detección de fatiga y distracción en conductores de camión de acarreo, con el fin de disminuir los accidentes ocasionados por el desgaste físico y mental. Con la finalidad de implementar un método para la detección de rostro y ojos. Encontrando solución al problema existente.

A partir de los resultados encontrados, la cual tienen como respaldo de [20], el cual utiliza una técnica de procesamiento de imágenes para la detección del rostro, la cual incluye el análisis de los 68 puntos de referencia, evaluando la detección de somnolencia para la seguridad del conductor.

Al observar detenidamente la estrategia que utilizó [20], respecto a las técnicas de procesamiento de rostro, puede dar respaldo a nuestra investigación los resultados obtenidos de exactitud, 96.11% en fiabilidad 100% y 93.33% en velocidad. Se hicieron pruebas con lentes de seguridad verificando que el software funcionaba correctamente reconociendo el rostro y mandando la alerta. Coincidimos con estudios pasados con el que el

valor del umbral de 0.25 tiene poca precisión y se dijo que el valor 0.18 es el mejor, pero no para nuestra investigación que como se había mencionado anteriormente es de 0.22 lo cual el tamaño de los ojos afecta a los valores de EAR [27].

V. CONCLUSIONES

Finalizada las pruebas, podemos concluir que se cumplió con el objetivo principal de la investigación: observar y analizar cómo actúa el algoritmo para detectar la somnolencia en conductores de maquinaria pesada en minería.

Se diseñó una arquitectura Dlib para el desarrollo del algoritmo y las etapas de procesamiento de datos, lo cual nos permitió detectar el parpadeo y el umbral establecido a 0.22, ya que este detecta mayor precisión con lentes de seguridad puestos.

Se concluye según los resultados obtenidos, que el algoritmo de visión artificial funciona de manera eficiente cuando el conductor está frente a la cámara, no se han realizado pruebas si el conductor gira o mueve la cabeza en ángulos mayores a los 40°. Sin embargo, se recomienda llevar a cabo estudios posteriores para obtener conclusiones más precisas y detalladas sobre su capacidad y eficacia en diferentes situaciones y entornos. Esto permitirá mejorar la comprensión y optimización del algoritmo para su aplicación en futuros proyectos de visión artificial.

REFERENCIAS

- [1] Ydangely Tropiano y Atilio Nogueira (2020). Los efectos positivos de la tecnología en el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo. https://www.cielolaboral.com/wp-content/uploads/2020/03/tropiano_nogueira_noticias_cielo_n3_2020.pdf
- [2] Domínguez T. (2021). Visión artificial: Aplicaciones prácticas con OpenCv – Python. Primera edición. Marcombo. https://books.google.com.pe/books?id=FE1OEAAAQBAJ&pg=PT59&hl=es&source=gbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false
- [3] Acero, Cano, Builes y A. (2015). Sistema de clasificación por visión artificial de mangos tipo tommy. Colombia. <https://www.redalyc.org/pdf/5537/553756867002.pdf>
- [4] Alvear-Puertas, Vanessa, Rosero-Montalvo, Paul, Peluffo-Ordóñez, Diego, Pijal-Rojas, José Internet de las Cosas y Visión Artificial, Funcionamiento y Aplicaciones: Revisión de Literatura. Enfoque UTE [en línea]. 2017, 8(1), 244-256 [fecha de Consulta 11 de Enero de 2023]. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=572262176018>
- [5] Domínguez T. (2021). Visión artificial: Aplicaciones prácticas con OpenCv – Python. Primera edición. Marcombo. https://books.google.com.pe/books?id=FE1OEAAAQBAJ&pg=PT59&hl=es&source=gbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false
- [6] Challenger-Pérez, I., Díaz-Ricardo, Y., & Becerra-García, R. A. (2014). El lenguaje de programación Python. Ciencias Holguín, XX(2), 1-13. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181531232001>

- [7] Tungay K. (2020). Construyendo un reconocedor de color en Python. <https://ichi.pro/es/construyendo-un-reconocedor-de-color-en-python-78631720658006>
- [8] Antonio, Marín Hernández; José Alberto, Medina Covarrubias; Dino Alejandro, Pardo Guzmán (2016). Sistema inteligente para detección de fatiga y distracción en conductores de camión de acarreo pesado en minería de Cielo Abierto. <http://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/667/631>
- [9] Marco Flores, José Armingol, Arturo de la Escalera (2011). Sistema avanzado de asistencia a la conducción para la detección de la somnolencia. España. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1697791211000100>
- [10] Codelco (2019) Servicio de Detección de Fatiga y somnolencia para operadores propios de empresas colaboradoras de la división Chuquicamata. <https://www.codelco.com/rfi-servicio-de-deteccion-de-fatiga-y-somnolencia-para-operadores>
- [11] Escobar (2020). Somnolencia diurna excesiva e insomnio: males de los tiempos actuales. ed. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia, 298 p. <https://elibro.bibliotecaupn.elogim.com/es/ereader/upnorte/189690?page=23>.
- [12] Marta Chavarrías (27 de junio de 2019) Así afecta a la salud trabajar de noche. <https://www.eldiario.es/consumoclaro/cuidarse/afecta-salud-trabajar-noche-1-1485521.html>
- [13] CUADRA, R. G. (2017). Experiencia en la gestión de la somnolencia de conductores mineros peruanos a gran altitud, 2008-2014. ESPAÑA: Rev Asoc Esp Espec Med Trab. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1132-62552017000200137
- [14] Gomero Cuadra, Raúl. (2017). Experiencia en la gestión de la somnolencia de conductores mineros peruanos a gran altitud, 2008-2014. Revista de la Asociación Española de Especialistas en Medicina del Trabajo, 26(2), 137-145. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1132-62552017000200137&lng=es&tlng=es.
- [15] Ricardo Leonel Ignacio Inzunza Salazar (2018) Trastorno del sueño generado por turnicidad y carga mental en operadores de maquinaria pesada. <http://152.74.17.92/bitstream/11594/3320/4/Inzunza%20Salazar%2c%20Ricardo.pdf>
- [16] CUADRA, R. G. (2017). Experiencia en la gestión de la somnolencia de conductores mineros peruanos a gran altitud, 2008-2014. ESPAÑA: Rev Asoc Esp Espec Med Trab. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1132-62552017000200137
- [17] Ministerio del Trabajo y Promoción del Empleo (Lima, 28 de noviembre de 2008) Aprueban la Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico. <https://www.gob.pe/institucion/mtpe/normas-legales/394457-375-2008-tr>
- [18] Domínguez T. (2021). Visión artificial: Aplicaciones prácticas con OpenCv – Python. Primera edición. Marcombo. https://books.google.com.pe/books?id=FE1OEAAAQBAJ&pg=PT59&hl=es&source=gbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false
- [19] Rendón Villa, M., Vargas Castro, J. S. (2020). Analisis de algoritmos de procesamiento de imágenes para el reconocimiento facial de fatiga y somnolencia en conductores. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/750d0e00-fa69-4fb6-8eed-7bb48d71c64b/content>
- [20] Cárdenas R. (2018). Modelo para la detección de rostros en secuencias de video con baja calidad. Perú. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6453/ISMcatari.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [21] Rosebrock A. (2017). Facial landmarks whit dlib, OpenCV, and Python. <https://pyimagesearch.com/2017/04/03/facial-landmarks-dlib-opencv-python/#download-the-code>
- [22] Ghosh (2020). Drowsiness Detection System in Real-Time using OpenCV and Flask in Python. <https://learnopencv.com/driver-drowsiness-detection-using-mediapipe-in-python/>
- [23] Kitabayashi (2018). Komatsu: un conductor de camión minero gana entre US\$70,000 y US\$ 80,000 al año. Energiminas. <https://energiminas.com/komatsu-un-conductor-de-camion-minero-gana-entre-us70000-y-us80000-al-ano/>
- [24] Hernandez, Fernandez y Baptista (2006). Metodología de la investigación, Cuarta edición. Editorial Mc Graw-Hill. <http://187.191.86.244/rceis/registro/Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20Investigaci%C3%B3n%20SAMPIERI.pdf>
- [25] Boucher V. (2014). Guía para el transporte de carga, Compañía minera Antamina S.A. http://www.antamina.com/wp-content/uploads/2014/09/logistica_guia_transporte201403.pdf
- [26] Ministerio de energía y minas (2020). Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería. Perú. <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/LIBROS/RSSO/RSSO2020.pdf>
- [27] Dewi, C.; Chen, R.-C.; Chang, C.-W.; Wu, S.-H.; Jiang, X.; Yu, H. Eye Aspect Ratio for Real-Time Drowsiness Detection to Improve Driver Safety. Electronics 2022, 11, 3183. <https://doi.org/10.3390/electronics11193183>