

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecatrónica

Tesis

**Design of a control and monitoring system to  
reduce traffic accidents due to drowsiness through  
image processing**

Bruno Adriano Eraldo Kepler

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Mecatrónico

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

# Design of a control and monitoring system to reduce traffic accidents due to drowsiness through image processing

Bruno Eraldo  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Continental  
Huancayo, Peru  
48308279@continental.edu.pe

Grimaldo Quispe  
Ingeniería Industrial  
Universidad Nacional Autónoma  
Altoandina de Tarma  
Tarma, Peru  
gquispe@unaat.edu.pe

Heyul Chavez-Arias  
Ingeniería de Telecomunicaciones y Redes  
Universidad Peruana de Ciencias  
Aplicadas (UPC)  
Lima, Peru  
u812426@upc.edu.pe

Carlos Raymundo-Ibañez  
Dirección de Investigación  
Universidad Peruana de Ciencias  
Aplicadas (UPC)  
Lima, Peru  
carlos.raymundo@upc.edu.pe

Francisco Dominguez  
Escuela Superior de Ingeniería Informática  
Universidad Rey Juan Carlos  
Mostoles-Madrid, España  
francisco.dominguez@urjc.es

**Abstract**—It is known that 33% of traffic accidents worldwide are caused by drunk driving or drowsiness [1] [2], so a drowsiness level detection system that integrates image processing was developed with the use of Raspberry Pi3 with the OpenCV library; and sensors such as MQ-3 that measures the percentage of alcohol and the S9 sensor that measures the heart rate. In addition, it has an alert system and as an interface for the visualization of the data measured by the sensors a touch screen. With the image processing technique, facial expressions are analyzed, while physiological behaviors such as heart rate and alcohol percentage are measured with the sensors. In image test training you get an accuracy of  $x$  in a response time of  $x$  seconds. On the other hand, the evaluation of the operation of the sensors is 90% effective. So the method developed is effective and feasible.

**Index Terms**—Image processing, sensor, Raspberry Pi 3, interface, drowsiness.

## I. INTRODUCCION

Los accidentes de conducción son generados debido a la irresponsabilidad del conductor por consumo de alcohol, excesivo trabajo, mucho tiempo al conducir, cansancio excesivo. Debido a ello se hallaron altos porcentajes de accidentes automovilísticos[2]. Para reducir los accidentes de tránsito por somnolencia se desarrollaron diferentes estudios como procesamiento de imágenes con un diseño de un sistema de control y monitoreo que analiza las relaciones faciales y tomas decisiones[3]. También algunos se enfocaron en modelar circuitos con FPGAs[4][5]. O simplemente con implementar sensores que son encargados de medir las pulsaciones del corazón [6][7]. Pero hay algunos sistemas más robustos que fueron desarrollados por redes neurales produciendo

mejores resultados[8] que también integra reconocimiento facial [9] [10][11][12]. También se desarrollaron chips para vehículos[13] Entre los diferentes sistemas desarrollados un problema común es que la medición en tiempo real por lo que para disminuir los accidentes de es imprescindible este requisito debido a ello se propone un sistema de control y monitoreo que consiste en lo siguiente: Medición de ritmos cardiacos, de porcentaje de alcohol y sistema de procesamiento de imágenes que analiza en tiempo real el nivel de somnolencia del conductor en tiempo real.

## II. ESTADO DEL ARTE Y TECNOLOGÍA

### A. Métodos para medir el nivel de somnolencia

De acuerdo a la documentación realizada los métodos existentes para detectar la somnolencia se clasifican de la siguiente manera.

Análisis basados en patrones de conducción:

- Análisis basados en cambios de físicos de los ojos, así como expresiones faciales usando procesamiento de imágenes.
- Análisis basados en la variación de patrones fisiológicos.

También se pueden clasificar en dos tipos: Métodos intrusivos y métodos no intrusivos. El primer método se denomina así porque afectan de alguna forma la comodidad del conductor porque emplea sensores que necesariamente deben estar en contacto con alguna parte del cuerpo del conductor, como el uso de electrodos en la cabeza del conductor para medir diferentes señales fisiológica, en cambio el método no-intrusivos usan técnicas que no interfieren en la forma de conducir minimizando las molestias, por lo general usan visión artificial.[14]

## B. Visión artificial

La visión artificial o visión computacional es una disciplina que tiene como finalidad la extracción automática de información del mundo real a partir de imágenes, utilizando como herramienta un ordenador. Abarca muchos y muy diversos usos, como pueden ser la detección y reconocimiento de objetos, evaluación de resultados, mapeo de imágenes...etc. Desde un punto de vista técnico, un sistema de visión computacional o artificial es un conjunto de elementos que permiten obtener imágenes del entorno, procesarlas y tomar ciertas decisiones basadas en la evaluación de las imágenes adquiridas.[15] Básicamente la visión artificial se puede definir como el proceso y análisis de sistemas industriales que funcionan en base a la captura y el procesamiento de imágenes. La visión artificial abarca todas las aplicaciones industriales y no industriales fusionando hardware y software (Definición de la Asociación de imágenes automatizadas AIA).

## III. MATERIALES

En general el sistema propuesto consta de 3 partes principales sensores, procesamiento de imágenes y el sistema de alerta.

### A. Sensores, procesamiento de imágenes y sistema de alerta

1) *Sensores:* Sensor de alcohol Mide el porcentaje de alcohol en los conductores. Sensor de ritmo cardiaco Mide la frecuencia de ritmo cardiaco de las personas.

2) *Procesamiento de imágenes:* Se realiza con una cámara infrarroja para la adquisición de datos y un controlador Raspberry Pi 3 para procesar las imágenes.

3) *Sistema de alerta:* Consta de un parlante que emite voces de alerta.

4) *Interface:* Se emplea una pantalla táctil donde se muestra de manera didáctica los valores adquiridos por los sensores.

### B. Análisis de funcionamiento y fase de implementación

El funcionamiento del sistema propuesto sigue la siguiente secuencia:

- Encender el vehículo
- Encender el equipo
- Capturar imágenes
- Sensar el porcentaje de alcohol
- Sensar el ritmo cardiaco
- Procesar datos adquiridos
- Accionar el sistema de alerta según el nivel de somnolencia

## IV. APLICACIONES PROPUESTAS Y DESARROLLO

Para desarrollar el sistema de detección de somnolencia, se propone fusionar dos técnicas: En el análisis de los rasgos faciales con una cámara web empleando procesamiento de imágenes y también se hará un análisis con el empleo de sensores mediante la tecnología del internet de las cosas, estos consisten en medir el ritmo cardiaco por medio del sensor denominado pulso cardiaco S9, Aparte de ello se implementa un alcoholímetro MQ-3 para descartar que el conductor este

ebrio. Se decidió usar estos sensores debido a su simplicidad de manejar y calibrar. Al hacer una revisión de la bibliografía se encontró que con el uso de una cámara se logra que el sistema no esté en contacto directo con el conductor. Lo anterior permite que el conductor no esté conectado a cables y de esta forma se garantiza su comodidad al momento de conducir, para el sensor de nivel cardiaco si bien es cierto que el sensor debe estar en contacto con el cuerpo del conductor, pero transmitirá datos vía bluetooth. Para la detección de somnolencia mediante una cámara se captura las imágenes del rostro y mediante el procesamiento de imágenes se podrá identificar el nivel de somnolencia del conductor; el proceso se realizará en el rastreo del estado de los ojos, la frecuencia del bostezo y la cantidad de cabeceo del conductor. Y para darle robustez al sistema se le agregará un giroscopio que irá en la cabeza del conductor, esto para analizar el cabeceo o la inclinación de la cabeza del conductor cuando esté cansado. Se eligió este sensor porque es fácil adquirir datos, además el dispositivo tiene una conexión inalámbrica.

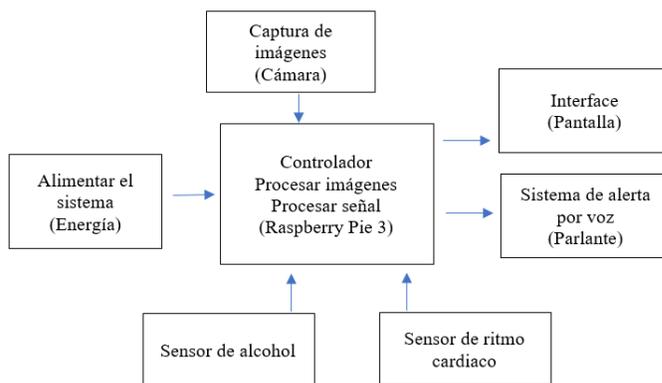


Fig. 1. Modelo Propuesto

El estudio se basó en la implementación de un sistema de control y monitoreo de somnolencia que constituye principalmente de tres partes: la primera sirve para analizar el rostro en función a la variación de los parámetros es decir ojos abiertos o cerrados, la frecuencia con que bosteza el conductor, y a postura de la cabeza del conductor cuando se encuentra frente al volante; para lo cual se emplea la técnica de procesamiento de imágenes (visión artificial). Los materiales utilizados están constituidos por: cámara, iluminación (para trabajos nocturnos) y como procesador el Raspberry Pi 3. La otra parte consta de sensor el ritmo cardiaco, sensor el porcentaje de alcohol para o cual ser hará usos de sensores y finalmente como parte de la salida del sistema estará constituido por un sistema de alerta que se encargará de alertar al conductor por medio de una voz artificial de la presencia de somnolencia en él.

### A. Captura de imagen del rostro

Con una cámara se obtiene las capturas del rostro para poder realizar un análisis mediante procesamiento de imágenes.

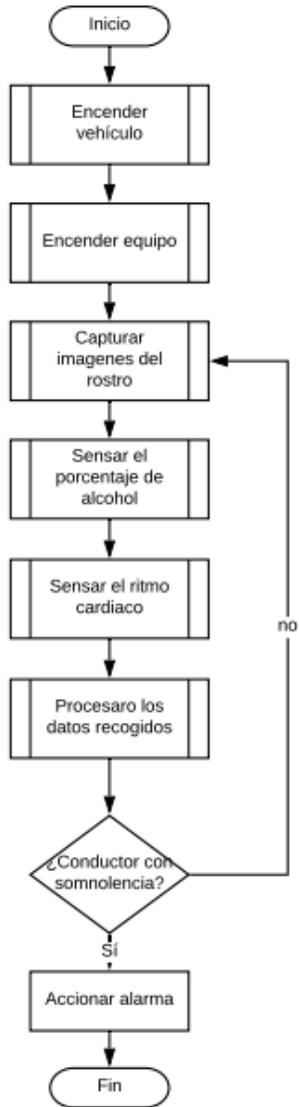


Fig. 2. Método Propuesto

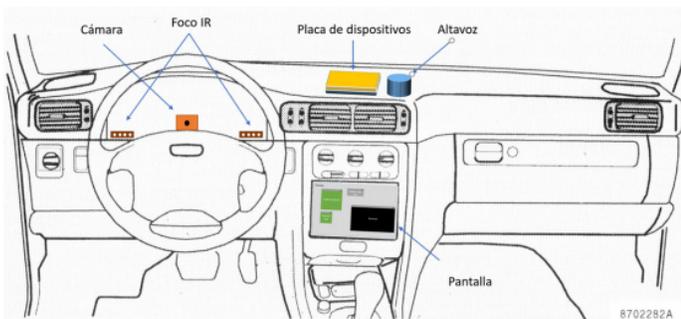


Fig. 3. Posición de componentes en el vehículo

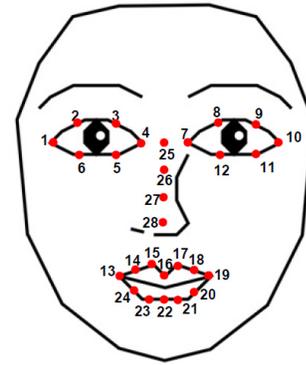


Fig. 4. Puntos en el rostro

**Relación del aspecto del ojo (EAR):** Calcula distancia de apertura del ojo con respecto a la longitud de los extremos del ojo. La fórmula esta dad por:

$$EAR = \frac{(P2 - P6) - (P3 - P5)}{2(P4 - P1)} \quad (1)$$

**Relación de la apertura de la boca (MOR):** Esta relación se calcula para detectar bostezos durante la somnolencia, la fórmula es similar a EAR.

$$MOR = \frac{(P15 - P23) - (P16 - P22) - (P17 - P21)}{2(P19 - P13)} \quad (2)$$

**Relación de la longitud de la Nariz (NLR):** Esta relación se usa para calcular como varia la relación de la longitud de la nariz cuando el conductor esta despierto y cuando esta con somnolencia.

$$NLR = \frac{LongituddeNariz(P28 - P25)}{LongitudmediadelaNariz} \quad (3)$$

### B. Cámara

Debido a que la función principal de la cámara es capturar imágenes en tiempo real. Esta debe cumplir ciertos requisitos, por lo que se tiene que estimar estos valores.

1) *Campo de visión (FOV)*[18]: El área de enfoque depende del tamaño del rostro del conductor por lo que se establece los siguientes márgenes.

$$FOV = d_0 + t_{mx} + m_c \quad (4)$$

Donde:

- $d_0$ : Dimensiones del rostro.
- $t_{mx}$ : Traslación y orientación máxima.
- $m_c$ : márgenes del cuadro.

Luego:  $FOV = 180 \times 140 \text{mm}$ . Resolución: El software puede no ser capaz de detectarlos. Según el algoritmo de reconocimiento de regiones se recomiendan 3 pixeles para mapear el defecto más pequeño.

$$Rc = \frac{FOV}{Rs} \quad (5)$$

Donde:

- d: Dimensión del efecto más pequeño
- px: Pixeles para representar el defecto más grande (3)
- Rs: Resolución espacial(d/px)

Luego: Rc= 540x420 pixeles.

2) *Tiempo de exposición (te)*: Permite pasar luz al sensor cuando se captura la imagen. A menor tiempo de exposición de exposición más definidos son los objetos de una imagen en movimiento.

$$te = \frac{Rs}{Vf} \quad (6)$$

Donde:

- Rs : Resolución de la cámara.
- Vf: velocidad del movimiento de la cabeza del conductor.

Con las capturas se pasa a procesar las imágenes (se entrena las imágenes mediante algoritmos de redes neuronales artificiales) como sigue a continuación.

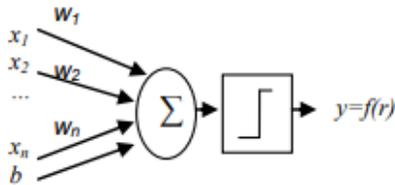


Fig. 5. Modelo red neuronal con salida binaria[19].

Obtención de la red neuronal:

$$\begin{aligned} \phi_5 &= (n_{30} - 3n_{12})(n_{30} + n_{12})((n_{30} + n_{12})^2 - 3(n_{21} + n_{03})^2) + (3n_{21} - n_{03})(n_{21} \\ &\quad + n_{03}) \times (3(n_{30} + n_{12})^2 - (n_{21} + n_{03})^2), \\ \phi_6 &= (n_{20} - n_{02})((n_{30} + n_{12})^2 - (n_{21} + n_{03})^2) + 4n_{11}(n_{30} + n_{12})(n_{21} + n_{03}) \\ \phi_7 &= (3n_{21} - n_{03})(n_{30} + n_{12})((n_{30} + n_{12})^2 - 3(n_{21} + n_{03})^2) - (n_{30} - 3n_{12})(n_{21} \\ &\quad + n_{03}) \times (3(n_{30} + n_{12})^2 - (n_{21} + n_{03})^2) \end{aligned}$$

Fig. 6. Red Neuronal (formula)

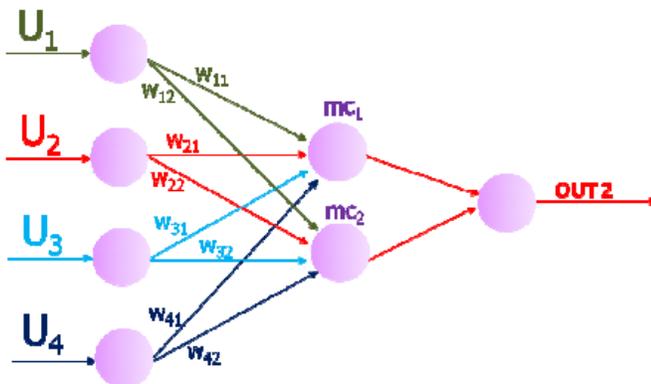


Fig. 7. Diseño de Red Neuronal

Las capturas se ordenan en matrices U1, U2, U3, U4  
Escalamiento lineal:

TABLE I  
DATOS

X1	X2	Y1	Y2
*	*	*	*
*	*	*	*
*	*	*	*
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
*	*	*	*
5000	0.12	4000	10000
-200	0.01	2500	-6000

TABLE II  
ESCALADO

X1 orig	X1 escalado
5000	3
-200	-3

$$\frac{X1escalado - 3}{3 - (-3)} = \frac{X1orig - 5000}{5000 - (-200)} \quad (7)$$

$$x1escalado = \frac{6(X1orig - 5000)}{5000}$$

$$Y1 = f(y1, escalado)$$

## V. RESULTADOS

### A. Resultado 1



Fig. 8. Sensor de alcohol

En el caso del sensor de alcohol, el conductor debe realizar la prueba antes de comenzar a conducir, sobre la marcha y al finalizar el recorrido. Este proceso el conductor debe realizarlo, no se realiza de forma automática.

### B. Resultado 2

Los rangos de valores para medir el ritmo cardiaco normal oscilan entre 60 a 100 pulsaciones por minuto. Donde los valores fuera de estos rangos nos indica que el conductor esta indicios de somnolencias.

## VI. DISCUSIÓN

El sensor del ritmo cardiaco resulta muy útil a la hora de detectar si el conductor se encuentra estresado o relajado. En este sistema se han obtenido una serie de valores fijos, tras ser alcanzados activa la alarma sonora. Dichos rangos de pulsaciones pueden suelen ser comunes para la mayor parte de la población, pero en algunas personas estos valores pueden variar. La ventaja de este tipo de sensor es que transmite las pulsaciones del corazón en forma inalámbrica lo negativo es que puede ocasionar incomodidad al conductor porque este sensor va impregnado en el cuerpo cerca del corazón. Otro de los datos importantes en este proyecto es la detección y medida del parpadeo. El parpadeo se realiza de forma óptima sin embargo se recomienda no usar gafas porque el sistema dejara de funcionar dando lecturas erróneas lo que puede activar la alarma innecesariamente.

## VII. CONCLUSIÓN

El objetivo principal de este proyecto ha sido crear un sistema capaz de medir el nivel de somnolencia en los conductores y advertir de la situación de riesgo de la que se encuentran. Dichos han sido correctamente detectados en las simulaciones y en las pruebas individuales tal como se esperaba Se realizó un diseño de la caja donde se podrá colocar los componentes de todo el sistema haciendo que esta sea portable, estético y no genere distracción al conductor. El sensor de frecuencia cardiaca requiere estar colocado en alguna parte del cuerpo por ser del tipo intrusivo. Se recomienda colocarlo donde no haya movimiento porque el sensor no podría funcionar correctamente. El sistema de alarma aún no se llegó a implementar porque requiera de la integración de todos los elementos del sistema. Con respecto al sistema de reconocimiento facial hasta el momento se logró hacer simulaciones de la parte del parpadeo del ojo y en condiciones de iluminación óptimas porque aún falta interrelacionar con la iluminación infrarroja.

## REFERENCIAS

- [1] Oficina General de Defensa Nacional - Ministerio de Saud, "Accidentes de tránsito problema de Salud Pública - Informe Nacional," p. 65, 2009.
- [2] J. Rey de Castro Mujica, E. Rosales Mayor, and M. Egoavil Rojas, "Somnolencia y cansancio durante la conducción: accidentes de tránsito en las carreteras del Perú," Acta Médica Peru., vol. 26, no. 1, pp. 48–54, 2009.
- [3] A. Kumar and R. Patra, "Driver drowsiness monitoring system using visual behaviour and machine learning," ISCAIE 2018 - 2018 IEEE Symp. Comput. Appl. Ind. Electron., pp. 339–344, 2018.
- [4] F. Moreno, J. Alarcón, R. Salvador, and T. Riesgo, "FPGA implementation of an image recognition system based on tiny neural networks and on-line reconfiguration," IECON Proc. (Industrial Electron. Conf., pp. 2445–2452, 2008.
- [5] H. Qi, Z. J. Wang, and C. Miao, "Non-contact driver cardiac physiological monitoring using video data," 2015 IEEE China Summit Int. Conf. Signal Inf. Process. ChinaSIP 2015 - Proc., pp. 418–422, 2015.
- [6] S. E. Shan, M. F. Faisal, S. Rezaul Haque, and P. Saha, "IoT and Computer Vision Based Driver Safety Monitoring System with Risk Prediction," Int. Conf. Comput. Commun. Chem. Mater. Electron. Eng. IC4ME2 2018, pp. 1–4, 2018.
- [7] C. Ganeshan and S. K. Singh, "Smart Industrial System for Monitoring, Control and Security Using Internet of Things," Proc. 2nd Int. Conf. Trends Electron. Informatics, ICOEI 2018, no. Icoei, pp. 958–963, 2018.



Fig. 9. Sensor del ritmo cardiaco

TABLE III  
VALORES DEL RITMO CARDIACO

Rango de frecuencia	Factor aportado
60ppm	Alto
60ppm a 100ppm	OK
100ppm a 130ppm	Medio
>130	Alto

### C. Resultado 3

Los resultados para la cámara se midió los parpadeos por segundo donde los valores que están entre 400 a 800 parpadeos por minuto nos indican que el conductor se encuentra en estado normal.

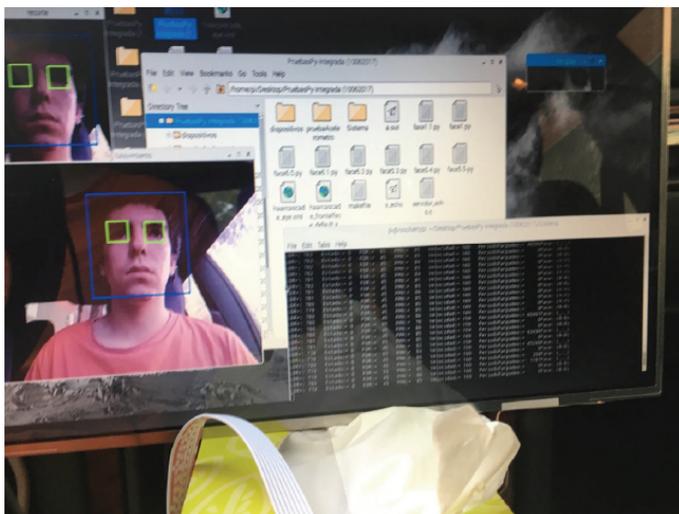


Fig. 10. Cámara infrarroja

TABLE IV  
VALORES DE DURACIÓN DE PARPADO

Duración	Factor aportado
<500	OK
400ms a 800m	Bajo
801ms a 1500ms	Medio
>1500ms	Alto

- [8] L. Constantin, C. Fosalau, C. Zet, and D. Petrisor, "Driver Monitoring Using Face Detection and Facial Landmarks," *EPE 2018 - Proc. 2018 10th Int. Conf. Expo. Electr. Power Eng.*, pp. 385–390, 2018.
- [9] I. Chatterjee, Isha, and A. Sharma, "Driving Fitness Detection: A Holistic Approach For Prevention of Drowsy and Drunk Driving using Computer Vision Techniques," *South-East Eur. Des. Autom. Comput. Eng. Comput. Networks Soc. Media Conf. SEEDA\_CECNSM 2018*, pp. 1–6, 2018.
- [10] J. Belga, H. Gibilisco, M. Laubenberger, J. O. Hallstrom, P. R. Peluso, and V. Spiridonov, "A Multi-Modal Approach to Sensing Human Emotion," *2018 IEEE Int. Conf. Big Data (Big Data)*, pp. 2499–2502, 2019.
- [11] K. Sandeep, P. Ravikumar, and S. Ranjith, "Novel Drunken Driving Detection and Prevention Models Using Internet of Things" *Proc. - 2017 Int. Conf. Recent Trends Electr. Electron. Comput. Technol. ICRTEECT 2017*, vol. 2017-Decem, pp. 145–149, 2017.
- [12] E. Kanjo, E. M. G. Younis, and C. S. Ang, "Deep learning analysis of mobile physiological, environmental and location sensor data for emotion detection," *Inf. Fusion*, vol. 49, pp. 46–56, 2019.
- [13] G. Juan, E. Eliud, Diego Pineda, and L. Alexander, "Design and implementation of a system on chip for navigating and recognizing transit signals on a mobile robotic system *INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA*," vol. 23, no. 2, p. 15, 2012.
- [14] A. García, "Sistema de Control de somnolencia al Volante," p. 75, 2017.
- [15] I. M. Vargas Quispe, "Diseño de sistema mecatrónico para el control de calidad de envases de embutidos utilizando visión por computadora," *Pontif. Univ. Católica del Perú*, 2019.