



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES  
INDUSTRIALES**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONDUCCIÓN  
ASISTIDO PARA CONDUCTORES DE AUTOMÓVILES EN CASO DE  
DESLUMBRAMIENTO EMPLEANDO TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO  
DIGITAL DE IMÁGENES”**

**Trabajo de titulación**

**Tipo:** Dispositivo Tecnológico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES  
INDUSTRIALES**

**AUTOR:** JUAN DANIEL ARÉVALO MANZANO

**DIRECTOR:** ING. JOSÉ LUIS TINAJERO LEÓN

Riobamba – Ecuador

2021

**©2021, Juan Daniel Arévalo Manzano**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Juan Daniel Arévalo Manzano, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 22 de julio del 2021.

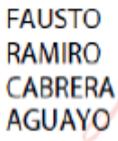


---

**Juan Daniel Arévalo Manzano**  
**C.I: 0604255570**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Dispositivo Tecnológico: “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONDUCCIÓN ASISTIDO PARA CONDUCTORES DE AUTOMÓVILES EN CASO DE DESLUMBRAMIENTO EMPLEANDO TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES**”, de responsabilidad del señor **Juan Daniel Arévalo Manzano**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
<p>Ing. Jorge Luis Paucar Samaniego Msc.  <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b></p>	 JORGE LUIS PAUCAR SAMANIEGO Estoy aprobando este documento 2021.09.15 14:05:14 -05'00'	<p>2021-09-15</p>
<p>Ing. José Luis Tinajero León Msc.  <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b></p>	 Firmado electrónicamente por: <b>JOSE LUIS TINAJERO</b>	<p>2021-09-15</p>
<p>Ing. Fausto Ramiro Cabrera Aguayo Msc.  <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b></p>	 FAUSTO RAMIRO CABRERA AGUAYO Digitally signed by FAUSTO RAMIRO CABRERA AGUAYO Date: 2021.09.15 15:14:20 -05'00'	<p>2021-09-15</p>

## **DEDICATORIA**

A mis padres Roberto y Elisa por ser el pilar fundamental de mi vida, por su apoyo incondicional a través del tiempo. A mis hermanos Paulo y Marcelo, quienes son las personas que me motivan a seguir adelante a toda mi familia que me apoyaron, con amor este triunfo es por ustedes y para ustedes.

Juan

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por haberme guiado y acompañado a lo largo de mi carrera, por brindarme una vida llena de aprendizaje, experiencia y sobre todo felicidad y por ser la mayor fortaleza en momentos de debilidad.

A la facultad de Informática y Electrónica por impartir los conocimientos técnicos y humanísticos que me permitirán desenvolverme en el mundo laboral. A cada uno de mis maestros en especial a mi director de tesis, ingeniero José Luis Tinajero por haberme dado la oportunidad de recurrir a sus conocimientos.

A mis padres y hermanos por ser el mejor ejemplo de: trabajo, dedicación, constancia y esfuerzo.

De manera especial a Alexandra y a toda su familia quienes siempre han demostrado incondicionalmente su gran calidad humana en cada uno de sus actos, quiero agradecerle por toda la ayuda siempre tan oportuna brindada a lo largo de la carrera.

Juan

## TABLA DE CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>xvi</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xviii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1 Conducción asistida</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1.1 Sistema de alerta de cambio involuntario de carril LDW</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1.1.1 LDW - Sensores infrarrojos</b> .....	<b>7</b>
<b>1.1.1.2 LDW - Visión artificial</b> .....	<b>8</b>
<b>1.1.1.3 LDW- Scanner Láser</b> .....	<b>8</b>
<b>1.1.1.4 Condiciones de funcionamiento del LDW</b> .....	<b>8</b>
<b>1.1.1.5 Componentes del sistema</b> .....	<b>9</b>
<b>1.1.1.6 Sistemas comercializados en el mercado</b> .....	<b>9</b>
<b>1.1.1.7 Sistemas de aviso de alertas para el conductor</b> .....	<b>14</b>
<b>1.2 El sentido luminoso en la conducción</b> .....	<b>16</b>
<b>1.2.1 Visión fotópica, escotópica y mesópica</b> .....	<b>16</b>
<b>1.2.2 Agudeza visual y conducción nocturna</b> .....	<b>17</b>
<b>1.2.3 Deslumbramiento</b> .....	<b>18</b>
<b>1.3 Visión Artificial</b> .....	<b>19</b>
<b>1.3.1 Tipos de sistemas de visión artificial</b> .....	<b>20</b>
<b>1.3.1.1 Sensores de visión</b> .....	<b>20</b>
<b>1.3.1.2 Cámaras inteligentes y sistemas de visión integrados</b> .....	<b>20</b>
<b>1.3.1.3 Sistemas de visión avanzados</b> .....	<b>20</b>
<b>1.3.2 Etapas en el proceso de Visión Artificial</b> .....	<b>20</b>

1.3.2.1	<i>Adquisición de imágenes</i> .....	21
1.3.2.2	<i>Pre procesamiento</i> .....	21
1.3.2.3	<i>Segmentación</i> .....	21
1.3.2.4	<i>Reconocimiento e interpretación</i> .....	21
<b>1.3.3</b>	<b><i>Aplicaciones de la Visión Artificial</i></b> .....	<b>22</b>
<b>1.3.4</b>	<b><i>Elementos de los sistemas de visión artificial</i></b> .....	<b>22</b>
1.3.4.1	<i>Sistema de iluminación</i> .....	23
1.3.4.2	<i>Cámaras y Tarjeta de captura</i> .....	23
1.3.4.3	<i>Módulo de proceso y software</i> .....	23
<b>1.4</b>	<b><i>Procesamiento digital de imágenes</i></b> .....	<b>24</b>
<b>1.4.1</b>	<b><i>Color</i></b> .....	<b>24</b>
1.4.1.1	<i>Modelos de color</i> .....	25
<b>1.4.2</b>	<b><i>Ruido</i></b> .....	<b>28</b>
<b>1.4.3</b>	<b><i>Bordes y esquinas</i></b> .....	<b>28</b>
<b>1.4.4</b>	<b><i>Morfología</i></b> .....	<b>29</b>
<b>1.4.5</b>	<b><i>Histograma</i></b> .....	<b>29</b>
<b>1.4.6</b>	<b><i>Filtro</i></b> .....	<b>30</b>
1.4.6.1	<i>Filtros de paso bajo</i> .....	31
1.4.6.2	<i>Filtros de paso alto</i> .....	31
1.4.6.3	<i>Filtros Paso Banda</i> .....	31
<b>1.5</b>	<b><i>Python</i></b> .....	<b>31</b>
<b>1.6</b>	<b><i>Raspberry</i></b> .....	<b>32</b>
<b>1.7</b>	<b><i>Arduino</i></b> .....	<b>33</b>
<b>1.8</b>	<b><i>Luxómetro</i></b> .....	<b>33</b>
<b>1.9</b>	<b><i>Señales electromiográficas</i></b> .....	<b>34</b>
<b>CAPÍTULO II</b>		
<b>2.</b>	<b><i>METODOLOGÍA</i></b> .....	<b>35</b>
<b>2.1</b>	<b><i>Definición de requerimientos</i></b> .....	<b>35</b>
<b>2.1.1</b>	<b><i>Requerimientos funcionales del prototipo</i></b> .....	<b>35</b>

2.1.2	<b>Requerimientos de Hardware .....</b>	<b>36</b>
2.1.3	<b>Requerimientos de Software .....</b>	<b>36</b>
2.2	<b>Arquitectura del prototipo.....</b>	<b>37</b>
2.3	<b>Hardware .....</b>	<b>37</b>
2.3.1	<b>Hardware - Adquisición de información.....</b>	<b>38</b>
2.3.2	<b>Hardware - Unidad de Procesamiento .....</b>	<b>39</b>
2.3.3	<b>Arduino UNO .....</b>	<b>40</b>
2.3.4	<b>Hardware – Elementos de aviso para el conductor.....</b>	<b>41</b>
2.3.4.1	<i>DF Player Mini .....</i>	<i>42</i>
2.3.4.2	<i>Generador de pulso eléctrico .....</i>	<i>43</i>
2.3.5	<b>Brazalette MYO .....</b>	<b>45</b>
2.3.6	<b>Luxómetro.....</b>	<b>46</b>
2.3.7	<b>Cockpit Simulator.....</b>	<b>47</b>
2.3.8	<b>Conexiones del hardware .....</b>	<b>47</b>
2.3.9	<b>Configuración del Hardware.....</b>	<b>49</b>
2.3.9.1	<i>Configuración de inicial de la Raspberry .....</i>	<i>49</i>
2.3.9.2	<i>Configuración del microcontrolador sobre la plataforma Arduino .....</i>	<i>50</i>
2.4	<b>Software .....</b>	<b>50</b>
2.4.1	<b>Desarrollo del Algoritmo para el procesamiento de imágenes. ....</b>	<b>50</b>
2.4.1.1	<i>Importación de librerías .....</i>	<i>50</i>
2.4.2	<b>Detección de líneas del carril .....</b>	<b>51</b>
2.4.2.1	<i>Adquisición de imágenes .....</i>	<i>52</i>
2.4.2.2	<i>Desenfoco de imágenes .....</i>	<i>52</i>
2.4.2.3	<i>Detección de bordes en las imágenes .....</i>	<i>53</i>
2.4.2.4	<i>Identificación de Zona de interés.....</i>	<i>54</i>
2.4.3	<b>Detección de cambio de carril .....</b>	<b>59</b>
2.4.4	<b>Deslumbramiento en la conducción nocturna .....</b>	<b>60</b>
2.4.4.1	<i>Detección de Encandilado.....</i>	<i>61</i>
2.4.5	<b>Comunicación con el exterior .....</b>	<b>62</b>

### **CAPITULO III**

<b>3.</b>	<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS .....</b>	<b>63</b>
<b>3.1</b>	<b>Validación del sistema .....</b>	<b>63</b>
<b>3.1.1</b>	<i>Pruebas y resultados para el reconocimiento del carril. ....</i>	<b>64</b>
<b>3.1.2</b>	<i>Pruebas y resultados para la identificación del cambio de carril. ....</i>	<b>75</b>
<b>3.1.3</b>	<i>Pruebas y resultados para la detección del encandilado.....</i>	<b>77</b>
<b>3.1.4</b>	<i>Caracterización de las acciones en la conducción .....</i>	<b>83</b>
<b>3.1.5</b>	<i>Pruebas y resultados de los protocolos de comunicación para el conductor.....</i>	<b>89</b>
<b>3.1.5.1</b>	<i>Pruebas realizadas en la vía.....</i>	<b>92</b>
<b>3.2</b>	<b>Consumo de energía del dispositivo .....</b>	<b>102</b>
<b>3.3</b>	<b>Tiempo de respuesta del sistema .....</b>	<b>102</b>
<b>3.4</b>	<b>Gestión del proyecto .....</b>	<b>103</b>
<b>3.4.1</b>	<i>Cronograma.....</i>	<b>103</b>
<b>3.4.2</b>	<i>Recursos y materiales .....</i>	<b>104</b>
<b>3.4.3</b>	<i>Costos Directos .....</i>	<b>104</b>
<b>3.4.4</b>	<i>Talento Humano.....</i>	<b>104</b>
<b>3.4.5</b>	<i>Recursos Materiales .....</i>	<b>105</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>106</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>107</b>
	<b>GLOSARIO</b>	
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Ejemplos sistemas asistencia en la conducción comercializados en el mercado .....	10
<b>Tabla 1-2:</b> Especificaciones técnicas Cámara WideCam F100.....	38
<b>Tabla 2-2:</b> Especificaciones técnicas de la Raspberry Pi 4 .....	39
<b>Tabla 3-2:</b> Características del computador .....	40
<b>Tabla 4-2:</b> Especificaciones técnicas de la placa Arduino UNO R3 .....	41
<b>Tabla 5-2:</b> Especificaciones técnicas DF Player Mini .....	42
<b>Tabla 6-2:</b> Descripción de funciones de terminales del DF Player Mini. ....	43
<b>Tabla 7-2:</b> Elementos del generador de descarga eléctrica .....	45
<b>Tabla 8-2:</b> Especificaciones técnicas del Luxómetro.....	46
<b>Tabla 9-2:</b> Elementos del generador de descarga eléctrica .....	49
<b>Tabla 1-3:</b> Descripción de la Zonas definidas en la programación para el procesamiento.....	63
<b>Tabla 2-3:</b> Variables resultantes definidas para la calibración del algoritmo.....	67
<b>Tabla 3-3:</b> Resultados calibración del algoritmo con la cámara en el techo del automóvil.....	68
<b>Tabla 4-3:</b> Resultados calibración del algoritmo con la cámara entre el capó y el parabrisas....	70
<b>Tabla 5-3:</b> Resultados de la calibración del algoritmo con la cámara en la parte frontal .....	71
<b>Tabla 6-3:</b> Respuesta del algoritmo con la cámara en el techo del automóvil. ....	73
<b>Tabla 7-3:</b> Respuesta algoritmo con la cámara entre el capó y el parabrisas del automóvil. ....	74
<b>Tabla 8-3:</b> Respuesta del algoritmo con la cámara en la parte frontal del automóvil.....	75
<b>Tabla 9-3:</b> Resultado de las pruebas realizadas a 30m, para determinar el deslumbramiento....	77
<b>Tabla 10-3:</b> Resultado pruebas realizadas a 15 m, para determinar el deslumbramiento. ....	78
<b>Tabla 11-3:</b> Resultado de la evaluación del algoritmo de visión a fuentes luminosa.....	79
<b>Tabla 12-3:</b> Resultado de la evaluación del algoritmo de visión a fuentes luminosa.....	81
<b>Tabla 13-3:</b> Resultados de la interpretación de la curva de aceleración.....	86
<b>Tabla 14-3:</b> Resultados de la interpretación de la curva de velocidad angular. ....	88
<b>Tabla 15-3:</b> Resultados de los tres tipos de alerta realizados en el simulador.....	92
<b>Tabla 16-3:</b> Resultados de las pruebas de los tres tipos de alerta realizados en la vía .....	101
<b>Tabla 17-3:</b> Consumo de energía del sistema .....	102
<b>Tabla 18-3:</b> Tiempo de ejecución del sistema .....	103
<b>Tabla 19-3:</b> Cronograma. ....	103
<b>Tabla 20-3:</b> Costo de implementación del prototipo.....	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1.</b> Sistema de conducción asistida para detección de otros vehículos alrededor. ....	6
<b>Figura 2-1.</b> Representación modo de funcionamiento del LDW .....	7
<b>Figura 3-1.</b> Ubicación de sensores infrarrojos en la parte inferior del parachoques delantero .....	7
<b>Figura 4-1.</b> Ubicación de cámara parte superior interna del parabrisas .....	8
<b>Figura 5-1.</b> Sistema de asistencia en la conducción – Ford. ....	12
<b>Figura 6-1.</b> Sistema de asistencia en la conducción – Mercedes Benz. ....	12
<b>Figura 7-1.</b> Sistema de asistencia en la conducción – Citroën.....	13
<b>Figura 8-1.</b> Sistema de asistencia en la conducción – Honda. ....	13
<b>Figura 9-1.</b> Sistema de asistencia en la conducción – Nissan. ....	13
<b>Figura 10-1.</b> Sistema de asistencia en la conducción – BMW.....	14
<b>Figura 11-1.</b> Dispositivos de alerta visuales .....	14
<b>Figura 12-1.</b> Dispositivo de vibración colocado en el asiento del conductor.....	15
<b>Figura 13-1.</b> Par de giro aplicado al volante.....	15
<b>Figura 14-1.</b> Condiciones de iluminación, rangos de funcionamiento de la visión.....	16
<b>Figura 15-1.</b> Recursos de un sistema de visión artificial de Renault. ....	19
<b>Figura 16-1.</b> Espectro de color al pasar luz blanca a través de un prisma.....	25
<b>Figura 17-1.</b> Diagrama esquemático del cubo RGB y el cubo a 24 bits .....	26
<b>Figura 18-1.</b> Representación de una imagen en modelo CMY. ....	26
<b>Figura 19-1.</b> Deducción del modelo HSI a partir del cubo RGB .....	27
<b>Figura 20-1.</b> Diagrama cromático del modelo HSV .....	28
<b>Figura 21-1.</b> Cuatro tipos de imágenes y sus correspondientes histogramas. ....	30
<b>Figura 22-1.</b> (a) Imagen original. (b) filtro promedio 3 × 3. (c) filtro Laplaciano .....	30
<b>Figura 23-1.</b> Python logo.....	31
<b>Figura 24-1.</b> Raspberry Pi 3 .....	32
<b>Figura 25-1.</b> Arduino UNO distribución de pines .....	33
<b>Figura 26-1.</b> Luxómetro .....	34
<b>Figura 1-2.</b> Arquitectura del sistema detector de cambio de carril .....	37
<b>Figura 2-2.</b> Cámara WideCam F100 para adquisición de información.....	38
<b>Figura 3-2.</b> Raspberry Modelo Pi 4 .....	39
<b>Figura 4-2.</b> Tarjeta Arduino UNO R3 .....	41
<b>Figura 5-2.</b> Distribución de terminales del DF Player Mini .....	42
<b>Figura 6-2.</b> Esquema eléctrico generador de descarga eléctrica .....	44
<b>Figura 7-2.</b> Brazalete MYO.....	45
<b>Figura 8-2.</b> Luxómetro UNI-T UT 383 .....	46

<b>Figura 9-2.</b> Cockpit simulator Logitech .....	47
<b>Figura 10-2.</b> Esquema de conexión de las señales de alerta. ....	48
<b>Figura 11-2.</b> Diagrama eléctrico de conexiones. ....	48
<b>Figura 12-2.</b> Imagen adquirida. ....	52
<b>Figura 13-2.</b> Imagen adquirida aplicada filtro para transformación a escala de grises. ....	53
<b>Figura 14-2.</b> Extracción de bordes de la imagen tomada en escala de grises. ....	53
<b>Figura 15-2.</b> Identificación de píxeles de las líneas del carril con el cursor. ....	54
<b>Figura 16-2.</b> Mascará de zona de interés. ....	55
<b>Figura 17-2.</b> Unión de imagen Filtro Canny y máscara zona de interés .....	55
<b>Figura 18-2.</b> Identificación de líneas mediante la transformada de Hough. ....	56
<b>Figura 19-2.</b> Superposición de la imagen con líneas y la imagen original .....	56
<b>Figura 20-2.</b> Identificación de líneas de carril derechas e izquierdas .....	57
<b>Figura 21-2.</b> Agrupación de pequeños segmentos de línea en una única línea .....	57
<b>Figura 22-2.</b> Predicción de la recta con la pendiente correspondiente .....	58
<b>Figura 23-2.</b> Escenas de video procesado. ....	58
<b>Figura 24-2.</b> Superposición recursos gráficos para el monitoreo del seguimiento de carril .....	59
<b>Figura 25-2.</b> Identificación de cambio de carril. ....	60
<b>Figura 26-2.</b> Creación de cuadrículas. ....	61
<b>Figura 1-3.</b> Zonas y parámetros dentro del proceso de calibración del sistema de visión .....	63
<b>Figura 2-3.</b> Posiciones de la cámara para la adquisición de imágenes .....	64
<b>Figura 3-3.</b> Prueba en día-noche posición de cámara entre el capó y el parabrisas. ....	66
<b>Figura 4-3.</b> Monitoreo video adquirido en el día y noche. ....	66
<b>Figura 5-3.</b> Ubicación geográfica y forma de trayectoria de la vía de experimentación .....	67
<b>Figura 6-3.</b> Resultados calibración del algoritmo con la cámara en el techo del automóvil .....	68
<b>Figura 7-3.</b> Identificación carril con la cámara en el techo del automóvil. ....	69
<b>Figura 8-3.</b> Resultados calibración del algoritmo con la cámara entre capó y parabrisas .....	70
<b>Figura 9-3.</b> Identificación carril con la cámara entre el capó y el parabrisas del automóvil. ....	71
<b>Figura 10-3.</b> Resultados de la calibración del algoritmo con la cámara en la parte frontal .....	71
<b>Figura 11-3.</b> Identificación carril con la cámara en la parte frontal del automóvil .....	72
<b>Figura 12-3.</b> Intervalos para la evaluación del algoritmo de reconocimiento de carril .....	73
<b>Figura 13-3.</b> Intervalos para la evaluación del algoritmo de reconocimiento de carril .....	76
<b>Figura 14-3.</b> Ambiente generado para prueba de sistema de visión y alertas .....	76
<b>Figura 15-3.</b> Evaluación brillo en fuentes luminosas .....	80
<b>Figura 16-3.</b> Evaluación brillo en fuentes luminosas .....	80
<b>Figura 17-3.</b> Trayectoria sin identificación de encandilado, 9.5% de secciones activas .....	81
<b>Figura 18-3.</b> Trayectoria con identificación de encandilado 20,5% de secciones activas .....	82
<b>Figura 19-3.</b> Ambiente generado para detectar un deslramiento .....	82

<b>Figura 20-3.</b> Brazo Myo en el antebrazo del conductor.....	83
<b>Figura 21-3.</b> Interfaz gráfica de la aplicación Myo Diagnostic. ....	84
<b>Figura 22-3.</b> Interfaz gráfica de la aplicación MYO Visualizador.....	84
<b>Figura 23-3.</b> Curva de aceleración obtenida del brazalete Myo en Myo Visualizador .....	85
<b>Figura 24-3.</b> Curva de velocidad angular obtenida del brazalete Myo en Myo Visualizador ....	87
<b>Figura 25-3.</b> Entorno de simulación para evaluación de los tipos de alertas. ....	90
<b>Figura 26-3.</b> Circuito electrónico y test de señales electromiográficas.....	90
<b>Figura 27-3.</b> Entorno de simulación para evaluación de los tipos de alertas – alerta visual. ....	91
<b>Figura 28-3.</b> Instalación de hardware para gestión de señales de alerta en el auto .....	93
<b>Figura 29-3.</b> Instalación de hardware para gestión de señales de alerta en el auto .....	93
<b>Figura 30-3.</b> Evaluación en la conducción de los tipos de alertas – alerta visual.....	95
<b>Figura 31-3.</b> Señales electromiográficas antebrazo del conductor – respuesta visual.....	96
<b>Figura 32-3.</b> Evaluación en la conducción de los tipos de alertas – alerta auditiva .....	97
<b>Figura 33-3.</b> Señales electromiográficas antebrazo del conductor – respuesta auditiva.....	98
<b>Figura 34-3.</b> Evaluación en la conducción de los tipos de alertas – alerta descarga .....	99
<b>Figura 35-3.</b> Señales electromiográficas antebrazo del conductor – respuesta descarga .....	100
<b>Figura 36-3.</b> Sistema prototipo instalado en el auto. ....	101

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1.</b> Etapas del proceso de visión artificial .....	22
<b>Gráfico 1-2.</b> Diagrama de flujo procesamiento de imágenes para la detección de líneas .....	51

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**Anexo A:** Programación Algoritmo Visión Artificial

**Anexo B:** Equipo de medición (Luxómetro)

## RESUMEN

El presente trabajo describe el diseño e implementación del prototipo de conducción asistida empleando técnicas de procesamiento digital de imágenes, para proporcionar a los conductores de automóviles ayuda cuando sean deslumbrados por encandilado producido por otro vehículo que circula en sentido contrario. Inicialmente se indagó sobre sistemas existentes y se investigó sobre los efectos del deslumbramiento en los conductores por la noche, aspectos que determinaron los requerimientos para el prototipo. Se desarrolló un algoritmo de visión artificial sobre la plataforma Python haciendo uso de herramientas con la librería OpenCV para el reconocimiento del carril y detectar los niveles de luz que pueden producir encandilamiento, se vinculó a éste un protocolo de señales de alerta gestionado por un microcontrolador sobre la plataforma Arduino UNO. Mediante pruebas de posicionamiento para equipo con adquisición de imágenes se verificó una eficiencia con el 100% en reconocimiento del carril cuando la cámara se ubica en la parte frontal del automóvil, del 97.74% en el techo y 90.09% entre el capó y el parabrisas, la evaluación se realizó en una vía idealmente señalizada de trayectorias rectas, curvas abiertas y curva cerrada, en esta última se generó márgenes de error en los casos que no alcanzaron la eficiencia total. Se empleó un brazalete Myo para adquisición de señales electromiográficas ubicado en el antebrazo del conductor para evaluar respuestas del conductor ante un estímulo visual, auditivo y una descarga eléctrica, determinando en la conducción real una eficiencia del 100% de los tres tipos de señales de alerta y en un entorno simulado que, de un total de 10 alertas generadas aleatoriamente para cada tipo de estímulo el 100% de las auditivas y por descarga eléctrica fueron percibidas por el conductor, mientras que las visuales en un 80%. En conclusión, el sistema de alertas combinando los tres tipos experimentales sería el idóneo.

**Palabras clave:** <VISIÓN ARTIFICIAL>, <RECONOCIMIENTO DE CARRIL>, <PROGRAMACIÓN EN PYTHON>, <PROTOCOLO DE ALERTA>, <ARDUINO>



Firmado electrónicamente por:  
ELIZABETH  
FERNANDA AREVALO  
MEDINA



1755-DBRAI-UPT-2021

## ABSTRACT

This research describes the design and implementation of the assisted driving prototype using digital image processing techniques to help car drivers when they are dazzled by glare produced by another vehicle circulating in the opposite direction. Existing systems were initially investigated, and the effects of glare on drivers at night determined the prototype's requirements. An artificial vision algorithm was developed on the Python platform using tools with the OpenCV library for lane recognition and detect the light levels that can produce glare, an Alert signal protocol managed by a microcontroller on the Arduino UNO platform.

Through positioning tests for equipment with image acquisition, it was verified 100% lane recognition efficiency when the camera is positioned on the side front of the car, 97.74% on the roof, and 90.09% between the hood and the windshield; the evaluation was carried out on an ideally marked road with straight paths, open and closed curves, generating margins of error were in cases that did not reach total efficiency. A Myo bracelet was used to acquire electromyographic signals located on the forearm of the driver to evaluate driver response with a visual stimulus, auditory, and an electric discharge, determining in natural conduction efficiency of 100% of the three types of alert signals and a simulated environment that, out of a total of 10 alerts generated randomly for each kind of stimulus, 100% of the auditory and electric shock were perceived by the driver, while the visual by 80%. In conclusion, the system of alerts combining the three experimental types would be the ideal one.

**Keywords:** <ARTIFICIAL VISION>, <LANE RECOGNITION>, <ALERT PROTOCOL>, <PYTHON (SOFTWARE)>, <ARDUINO (SOFTWARE -HARDWARE)>

LENIN IVAN  
LARA OLIVO  
Firmado digitalmente  
por LENIN IVAN LARA  
OLIVO  
Fecha: 2021.09.09  
22:00:33 -05'00'

## 1. INTRODUCCIÓN

La modernidad refleja un fenómeno de permanente cambio en la vida contemporánea, es por esto que no podemos permanecer ajenos a los desafíos a futuro que nos exigirán estos cambios en los patrones de crecimiento de la población. La inclusión del concepto de "movilidad urbana" y la respuesta eficiente a ella, ha significado un importante crecimiento económico en diversas ciudades que han sabido visualizar sus ventajas. En esta línea, métodos como "transit oriented development" han sido introducidos en el desarrollo de diversas ciudades de Estados Unidos y Canadá (ciudades nuevas, como las nuestras), que han entendido que el mejoramiento de la calidad de vida pasa por una reestructuración de la forma de hacer ciudad y donde la manera más efectiva de transportar determinada cantidad de personas lógicamente no es promoviendo el uso del automóvil sino mejorando los sistemas de transporte colectivo. Al trasladarse a ciudades europeas (ciudades antiguas) se puede encontrar que el desarrollo de ciudades en Suecia, Holanda y Alemania, entre otros, ha sido conducido por estos patrones con basta anterioridad y que una política urbana apoyada por un sistema de transporte público eficaz produce no sólo una mejor calidad de vida, cuidado del medio ambiente y crecimiento económico, sino fundamentalmente una sociedad que tiene más oportunidades dentro de su ciudad, en términos de recreación y trabajo, por ejemplo (Jans B. Margarita, 2009, pp. 1-6).

Como parte de ese gran todo que es la movilidad de las personas y mercancías, comienza la necesidad de establecer, regular y fomentar los Sistemas Inteligentes de Transporte (Intelligent transportation systems). Desde España, es la Dirección General de Tráfico (DGT) la que lleva décadas impulsando el despliegue de sistemas, aplicaciones y servicios con el principal objetivo de aportar seguridad, disminuir las demoras aumentando la precisión en la predicción de los tiempos de viaje y mejorar la calidad del transporte por carretera y la comodidad de los que se desplazan por ellas. Aunque el entorno tecnológico está evolucionando hacia los sistemas integrados en vehículos y converge hacia la conectividad total, aún nos queda un largo camino por recorrer, al menos en lo que se refiere al desarrollo de estándares adecuados y a implementaciones de equipamiento eficientes y sobre todo seguras, tanto desde el punto de vista de los procesos de ingeniería como desde el punto de vista del usuario final (Santos Florido A, 2017, pp. 9-10), razón por la cual gracias al desarrollo tecnológico latente en los últimos años ha crecido sustancialmente el desarrollo de aplicaciones enfocadas a la tecnología de Visión por Computador, cuyo objetivo principal es proporcionar al sistema de las sensaciones realistas del mundo. Uno de los conceptos que caracteriza la Visión por Computador es la sensación tridimensional que se consigue mediante la obtención de imágenes (Rueda López Juan, 2007, pp. 1-28). Con los aparatos telemáticos existentes se han perfeccionado sistemas para la aplicación

específica en el transporte. Existen numerosos sistemas para control centralizado del tráfico, diseñados de acuerdo con unos principios más o menos genéricos y luego adaptados a las características de cada instalación particular (Suárez Flores Mercedes, 2001, pp. 39-45).

## **Planteamiento del Problema**

La humanidad en forma creciente, ha incorporado sistemas y procesos informáticos a su diario vivir, con lo cual busca optimizar los recursos disponibles en la incansable búsqueda por lograr mejorar la calidad de vida. El transporte, no puede ser ajeno a la marcha veloz de la tecnología, de hecho, es una actividad imprescindible en la vida moderna, aparte de las cuantiosas sumas que se han invertido tanto en la infraestructura fija del transporte (vías, puentes, terminales aéreas, etc.) como en la infraestructura móvil (vehículos). El vertiginoso avance tecnológico de la planta móvil en el último siglo, sumado al aumento poblacional, demanda una cuantiosa y permanente inversión en infraestructura: Terminales aéreas y terrestres, puentes, túneles, etc. Sin embargo, la movilización de pasajeros y carga genera todo tipo de problemas de control de tránsito (Suárez Flores Mercedes, 2001, pp. 39-45).

En países con un gran crecimiento de la vanguardia tecnológica, en la actualidad la seguridad en la movilidad urbana y de carretera con respecto a los sistemas inteligentes de transporte hacen que sea común el uso de estos sistemas en vehículos de alta gama, una situación opuesta en países en desarrollo como es el caso de Ecuador ya que los vehículos convencionales en el país no están dotados de un sistema inteligente que dirija a los conductores en la situación de un deslumbramiento cuando transitan por la misma vía en sentido contrario, creando directamente molestias visuales hasta provocar ceguera por unos determinados segundos a los usuarios de automotores, la mayoría de las veces el deslumbramiento es causado por la ligereza e impericia de los conductores, esto ha forjado muchos accidentes de tránsito, con consecuencias de índole : leves, graves e incluso mortales, por este motivo es de vital importancia precautelar la vida del conductor y acompañantes del vehículo dotándolos de sistemas inteligentes de seguridad, cuidando cada detalle para una conducción segura es así que la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial en su decreto con respecto a las contravenciones leves de tercera hace referencia a: “Quien conduzca un vehículo sin luces, en mal estado de funcionamiento, no realice el cambio de las mismas en las horas y circunstancias que establece el reglamento o no realice señales luminosas antes de efectuar un viraje o estacionamiento” (A.N.T., 2015, pp. 1-66), debido a estas consideraciones es necesario la integración de sistemas que permitan afirmar la seguridad vial en el país, permitiendo reducir así la accidentabilidad y siniestros a causa de una conducción insegura.

## **Justificación del proyecto**

La implementación del prototipo planteado en el presente trabajo de titulación pretende ser la base para el futuro desarrollo de dispositivos genéricos adaptables a cualquier tipo de vehículos convencionales, generando una solución accesible a los múltiples usuarios sin la necesidad de cambiar de vehículo para gozar de este servicio, actualmente existen autos que ya tienen integrados este tipo de tecnología por distintas marcas reconocidas, pero que su costo es muy elevado y solo se encuentra disponible para determinados modelos.

Como parte del desarrollo de este trabajo se plantea el indagar sobre la existencia de dispositivos para alertar al conductor en el momento de salirse del carril e investigar sobre el deslumbramiento y su afectación a conductores durante la noche; por medio de un estudio del arte sobre los temas propuestos se determinarán ciertos aspectos característicos de sistemas existentes que sirvan como base para la generación de requerimientos para el prototipo a desarrollarse.

Con la implementación de un prototipo se busca evidenciar el uso de un algoritmo basado en visión artificial empleado para asistir en el proceso de conducción dirigiendo a los conductores en la situación de un deslumbramiento cuando transitan otros vehículos en la noche encendidas sus luces por la misma vía en sentido contrario lo que genera directamente molestias visuales hasta provocar ceguera por unos determinados segundos a los usuarios de los automotores y provocar que salgan de su carril de circulación generando colisiones o desbordes de la carretera que suelen desembocar en graves consecuencias. Se pretende con este trabajo ensayar con diferentes tipos de señales de alerta y de cierto modo definir aquella que resulta más eficiente al momento de alertar al conductor para la corrección de desvió del carril.

El desarrollo de este proyecto enfocado al Plan del Buen Vivir busca mejorar la calidad de la vida de las personas, siendo un aporte para disminuir la cantidad de accidentes que se dan en las carreteras a causa del deslumbramiento de conductores.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Diseño e implementación de un prototipo de conducción asistida para conductores de automóviles en caso de deslumbramiento empleando técnicas de procesamiento digital de imágenes.

### **Objetivos Específicos**

Indagar la existencia de dispositivos para alertar al conductor en el momento de salir del carril.

Investigar sobre el deslumbramiento y su afectación a conductores durante la noche.

Diseñar y desarrollar un protocolo de comunicación apropiado para asistir al conductor en caso de presentarse un riesgo latente para su pronta reacción.

Evaluar los resultados obtenidos del sistema a implementar.

### **Alcance**

El trabajo de titulación está encaminado a desarrollar un prototipo basado en visión artificial para la conducción asistida el cual estará destinado principalmente a conductores de automóviles, mismo que tiene como objetivo fundamental asistir al conductor en el momento de ser deslumbrado por un vehículo que circule en sentido contrario a través de técnicas de procesamiento digital de imágenes, por tanto el trabajo hace referencia a los sistemas inteligentes de transporte los cuales en la actualidad constituyen un pilar fundamental dentro de la conducción asistida precautelando la integridad del usuario, cabe recalcar que mencionado sistema está actualmente en vigencia en países desarrollados industrial y tecnológicamente siendo de gran ventaja para una conducción segura, de modo que para países en vías de desarrollo como Ecuador es casi imposible contar con esta tecnología al alcance de todo tipo de automóviles, pero gracias al uso de la tecnología tipo open source y al gran número de recursos disponibles es posible replicar e introducir mencionada tecnología en nuestro medio por tal motivo el sistema se plantea diseñarlo para el funcionamiento en carretera, el mismo receptorá y analizará las imágenes para alertar a través de una señal al conductor si se llega a presentar una anomalía en el trayecto.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

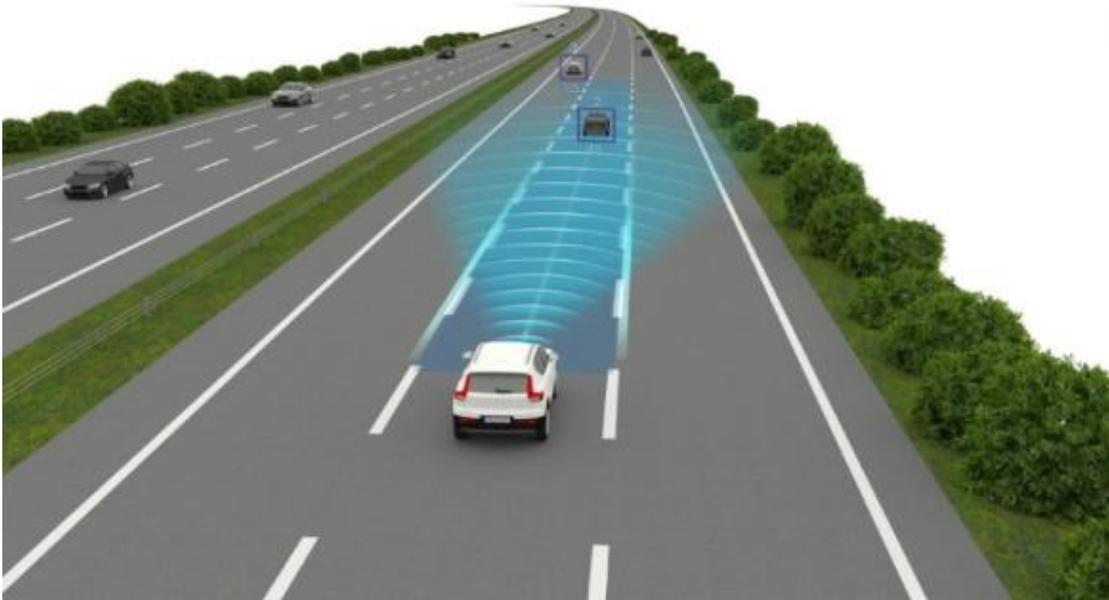
En este capítulo se citan definiciones de ciertos términos relacionados con sistemas, hardware y software considerados importantes para el desarrollo del trabajo, que fueron concebidos como sustento para el planteamiento de la solución a la problemática identificada.

### 1.1 Conducción asistida

La seguridad vial es un aspecto fundamental en la protección de las personas, por lo cual cada vez es más necesario recurrir a las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para mejorar la seguridad. Las tecnologías que hoy por hoy se utilizan en los vehículos deben considerarse como asistencia a la conducción o a la seguridad, lo que definitivamente asigna la responsabilidad de la conducción al conductor. La conducción asistida engloba a todos los sistemas de ayuda a la conducción. Un coche con sistema de control de velocidad adaptativo es un coche que proporciona asistencia a la conducción. Cualquier ayuda al conductor, por insignificante que parezca, entra dentro de este esquema. Es cierto que existen sistemas más o menos sofisticados, y otros que son tan habituales que no se los considera, como podrían ser los siguientes sistemas de conducción asistida (Viso, 2019):

- Aviso de cambio involuntario de carril con/sin asistente de dirección.
- Control de velocidad adaptativo.
- Frenado de emergencia autónomo.
- Sistema de asistencia al aparcamiento.
- Sistema de salida marcha atrás.
- Sistema de reconocimiento de señales de tráfico.
- Sistema de detección de ángulos muertos.
- Asistente de cambio de dirección.
- Frenada de emergencia ante la presencia de peatones en la trayectoria.

Los Sistemas Avanzados para la Asistencia al Conductor se han desarrollado para asistir al conductor por medio de señales visuales y acústicas en la conducción, en tiempo real mediante avisos o por actuación directa en los sistemas de control del vehículo. Se convierten en múltiples aplicaciones que al final se transforman en las asistencias y ayudas para el conductor. La figura 1-1 representa un sistema de conducción asistida para detección de otros vehículos alrededor.



**Figura 1-1.** Sistema de conducción asistida para detección de otros vehículos alrededor.

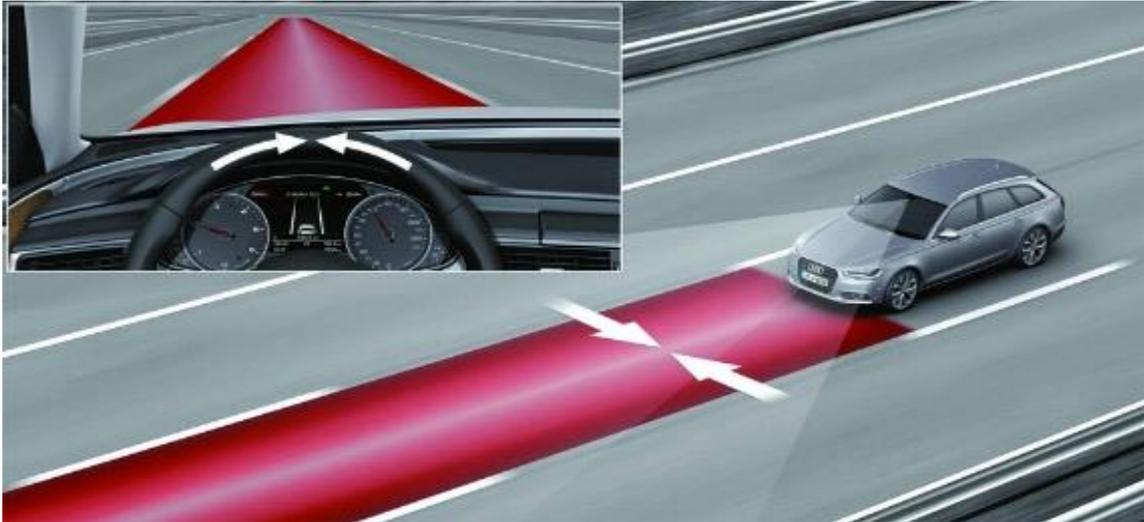
Fuente: (Viso, 2019)

Para el desarrollo de este proyecto se enfocará la atención a los sistemas de conducción asistida para la detección de cambio de carril.

### ***1.1.1 Sistema de alerta de cambio involuntario de carril LDW***

Definido como **LDW** (*Lane Departure Warning System*) por sus siglas en inglés, permite detectar si el vehículo ha cruzado una línea divisoria de carril de forma involuntaria, con el fin de alertar al conductor para que pueda corregir la trayectoria.

Son varias las marcas de vehículos que en sus modelos de gama media y alta han incorporado este sistema de conducción asistida considerado como un nuevo elemento de seguridad, enfocados en disminuir el número de accidentes provocados por situaciones de cansancio, sueño o distracción durante la conducción (José, 2014).



**Figura 2-1.** Representación modo de funcionamiento del LDW

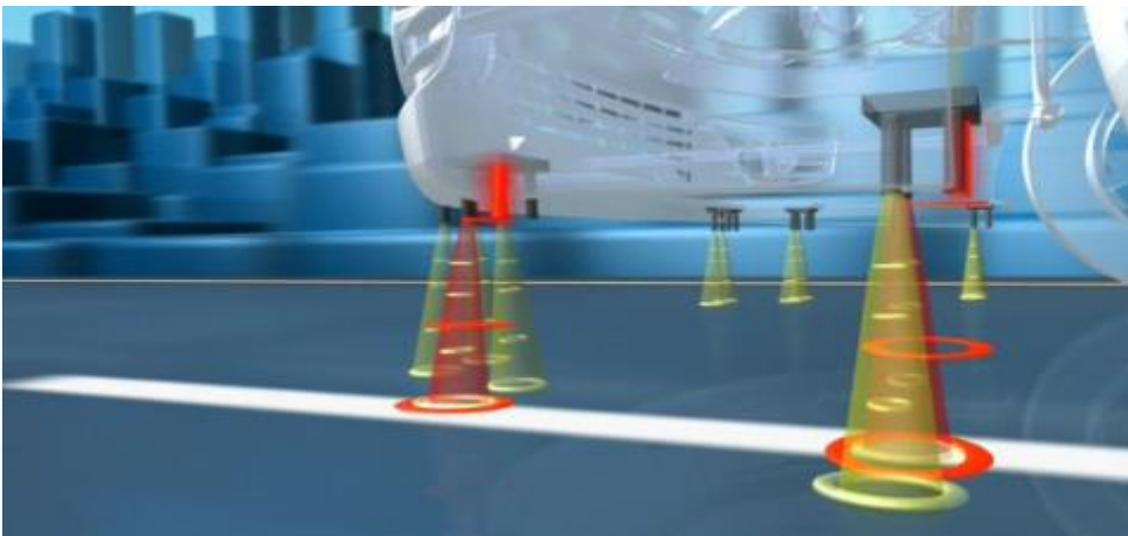
Fuente: <https://n9.cl/6fj4g>

Para la detección de las líneas de carril se utilizan actualmente tres tecnologías:

#### *1.1.1.1 LDW - Sensores infrarrojos*

Se ubican en la parte inferior del paragolpes delantero es un sistema sencillo de bajo costo que podría considerarse como una de sus ventajas. Su funcionamiento se basa en la emisión de una luz infrarroja que es proyectada sobre la calzada y reflejada al incidir sobre las líneas de carril, esta reflexión permite al sistema conocer cuando el vehículo se encuentra sobre las mismas (José, 2014).

La figura 3-1 representa la ubicación de sensores infrarrojos en la parte inferior del parachoques delantero.



**Figura 3-1.** Ubicación de sensores infrarrojos en la parte inferior del parachoques delantero

Fuente: <https://n9.cl/6fj4g>

### *1.1.1.2 LDW - Visión artificial*

Se fundamenta en una cámara dinámica ubicada detrás del parabrisas que registra y detecta de manera continua las marcas viales en carretera. Estas imágenes son analizadas y permiten conocer de antemano la trayectoria correcta que debe seguir el vehículo. Si la trayectoria difiere de la correcta, el sistema puede reaccionar antes de que se produzca la salida de carril (José, 2014). La figura 4-1 muestra la ubicación de una cámara en la parte superior interna del parabrisas.

g



**Figura 4-1.** Ubicación de cámara parte superior interna del parabrisas

**Fuente:** <https://n9.cl/xoh1d>

### *1.1.1.3 LDW- Scanner Láser*

Es un sistema eficiente, pero de muy alto costo, se mantiene como un sistema basado en visión artificial con implementación de tecnología láser. Analiza la velocidad y a cualquier cambio fuera de los límites determinados que no vaya acompañado de la correspondiente señalización a través de los intermitentes, será considerada como cambio involuntario de carril y el sistema procederá a informar al conductor, bien mediante la iluminación de un testigo en el cuadro, bien mediante un aviso sonoro o bien mediante la vibración del asiento del conductor (José, 2014).

### *1.1.1.4 Condiciones de funcionamiento del LDW*

La activación del sistema está condicionada a ciertos aspectos, entre ellos los siguientes:

- Si el vehículo circula a velocidad inferior a 60 - 80 km/h (según vehículo).
- Cuando el sistema no puede detectar las líneas divisorias de carril.
- Si hay condiciones ambientales adversas, como fuerte lluvia, nieve, radiación solar directa o sombras.

El sistema no emitirá ninguna alerta cuando se produzca alguna de las siguientes condiciones en los últimos tres segundos:

- Si se activa el intermitente correcto.
- Cuando el conductor efectúa una maniobra brusca.
- Mientras el conductor pisa el pedal de freno.
- Si se realiza un cambio voluntario de carril.

#### *1.1.1.5 Componentes del sistema*

Se establecen como elementos principales de un sistema de alerta por cambio involuntario de carril los siguientes (José, 2014):

**Unidad de mando:** Se lo puede considerar como una unidad electrónica central de procesamiento que adquiere la información de los sensores del sistema y actúa en caso de tener que alertar al conductor.

**Sensores de carril:** Referenciados en las líneas trazadas en la calzada determinan la posición del vehículo. Como se mencionó en los ítems 1.1.1.1, 1.1.1.2 y 1.1.1.3 estos pueden basarse en infrarrojos, de visión artificial o scanner láser.

**Elementos de aviso al conductor:** Para alertar al conductor en caso de desviarse de su trayectoria se pueden emplear dispositivos visuales, sonoros o de movimiento.

**Dispositivos para el control:** Considerados aquellos dispositivos como pantallas de información, testigos luminosos, interruptores que gestionan el funcionamiento del sistema.

#### *1.1.1.6 Sistemas comercializados en el mercado*

Actualmente, marcas destacadas como el caso de Audi, Ford, Mercedes Benz, Citroën, Honda, Toyota, Nissan, Volkswagen y BMW han implementado en varios de sus modelos de alta gama

sistemas para la asistencia en la conducción basados en cámaras y sensores con el fin de evitar hechos catastróficos. La tabla 1-1 muestra algunos ejemplos de sistemas de asistencia en la conducción comercializados en el mercado.

**Tabla 1-1:** Ejemplos de sistemas de asistencia en la conducción comercializados en el mercado

<b>FABRICANTE DE VEHÍCULO</b>	<b>CARACTERISTICAS DEL SISTEMA</b>
<b>FORD</b>	<p>La figura 5-1 representa el Sistema de Mantenimiento de Carril de Ford que detecta las líneas marcadas en la calzada y ayuda al conductor a mantenerse en el centro del carril. Fundamenta su funcionamiento en una cámara frontal para monitorear la posición del vehículo y alertar cuando este tiende a desviarse involuntariamente. El sistema puede ser configurado en 3 estados (Ford, 2020):</p> <p><b>Alerta.</b> Ante un cambio de carril sin activación de la luz de giro, el sistema alerta al conductor mediante una vibración en el volante y una señal luminosa en el panel de instrumentos.</p> <p><b>Asistencia.</b> El sistema automáticamente provee asistencia en la dirección para volver el vehículo a su curso normal.</p> <p><b>Alerta + Asistencia.</b> Provee asistencia, y luego activa la alerta si continúa la desviación del carril.</p>
<b>MERCEDES BENZ</b>	<p>Mercedes-Benz fue uno de los primeros en incorporar el sistema de Crucero Adaptativo (ACC) capaz de obtener la distancia del vehículo a los obstáculos delante del mismo, a través de un sensor de radar ubicado en la parte delantera del vehículo.</p> <p>La figura 6-1 representa a <i>Distronic</i>, un sistema de control de Crucero Adaptativo (ACC), que permite mantener una distancia acorde, respecto al vehículo enfrente basado en la regulación de la aceleración y el frenado del vehículo.</p> <p>Modelos desarrollados a partir del año 2006 permiten aplicar un frenado de emergencia o emitir una alerta sonora, en caso de detectar un vehículo muy cercano en condiciones extremas como cansancio o mala visibilidad.</p>
<b>CITROEN</b>	<p>Citroën emitió su propio sistema LDWS (Lane Departure Warning System), considerado como uno de los sistemas de detección de carriles más simples del mercado. Surgió a partir de la necesidad de reducir accidentes ocasionados, por ejemplo, por micro sueños que producen un cambio involuntario de carril. La figura 7-1 muestra el sistema LDWS que consiste en 6 sensores ubicados debajo del paragolpes, los cuales permiten detectar cuando el vehículo se encuentra posicionado sobre la línea. Una vez detectada esta acción, se procesa la información y se emite una advertencia por medio de una vibración en la parte inferior del asiento, logrando alertar automáticamente al conductor.</p>

<b>HONDA</b>	Honda HIDS (Honda Intelligent Driver Support), al igual que el sistema Distronic de Mercedes-Benz, utiliza un sensor de radar que le permite detectar la posición de los objetos situados al frente y la velocidad entre el vehículo y uno situado enfrente, La figura 8-1 representa el patrón de control de este sistema. Por otro lado, cuenta con una cámara ubicada cerca del espejo retrovisor, que permite identificar el carril de conducción. Esta cámara toma imágenes correspondientes a la superficie del camino y marcas y es capaz de detectar cuando el vehículo se desvía de su carril, disparando una alerta. Por último, este sistema también permite tomar ciertas acciones como ajustar el cinturón de seguridad ante una supuesta colisión.
<b>TOYOTA</b>	Toyota AODS (Advanced Obstacle Detection System), fundamenta su funcionamiento en un sensor de radar para la detección de vehículos, similar a Distronic de Mercedes-Benz, y una cámara estéreo ubicada debajo del espejo retrovisor. Estos sistemas resultan funcionales tanto en el día como la noche, pero tienen la desventaja de no lograr detectar ciertos obstáculos, como animales o peatones. Sí permite obtener la distancia a estos objetos. En caso de detectar una posible colisión, se emite una alerta sonora al conductor. Al igual que en Honda HIDS, en caso de colisión inevitable, ajusta el cinturón de seguridad y frena el vehículo.
<b>NISSAN</b>	Nissan ICC (Intelligent Cruice Control), a comparación del resto de los sistemas basados en el uso de radares, utiliza un sistema de sensor infrarrojo, logrando así detectar otro tipo de obstáculos como animales y peatones sin necesidad de incorporar cámaras para esto. La figura 9-1 muestra la forma en la que el sensor permite controlar la distancia a vehículos ubicados enfrente, y también reducir la velocidad del vehículo ante ciertos eventos, tales como detectar una señal de “stop” o una curva. Tiene una desventaja, y es que no logra funcionar con exactitud en condiciones extremas, tales como neblina o lluvia.
<b>VOLKSWAGEN</b>	Volkswagen ACC cuenta con un sensor de radar basado en MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit), el cual permite obtener la posición y la velocidad relativa de varios vehículos al frente a la vez. Estos sistemas basados en radares cuentan con la ventaja de que su correcto funcionamiento no depende de ciertas condiciones extremas, como neblina o lluvia, como ocurre en los sistemas basados en sensores infrarrojos.
<b>BMW</b>	BMW ACC desarrollado por Bosch, utiliza como varios de los anteriores, se observa en la figura 10-1 emplea tecnología de radar. Permite detectar vehículos a una velocidad que alcanza los 180 km/h y detectar vehículos a larga distancia.

**Realizado por:** Arévalo, Juan, 2020

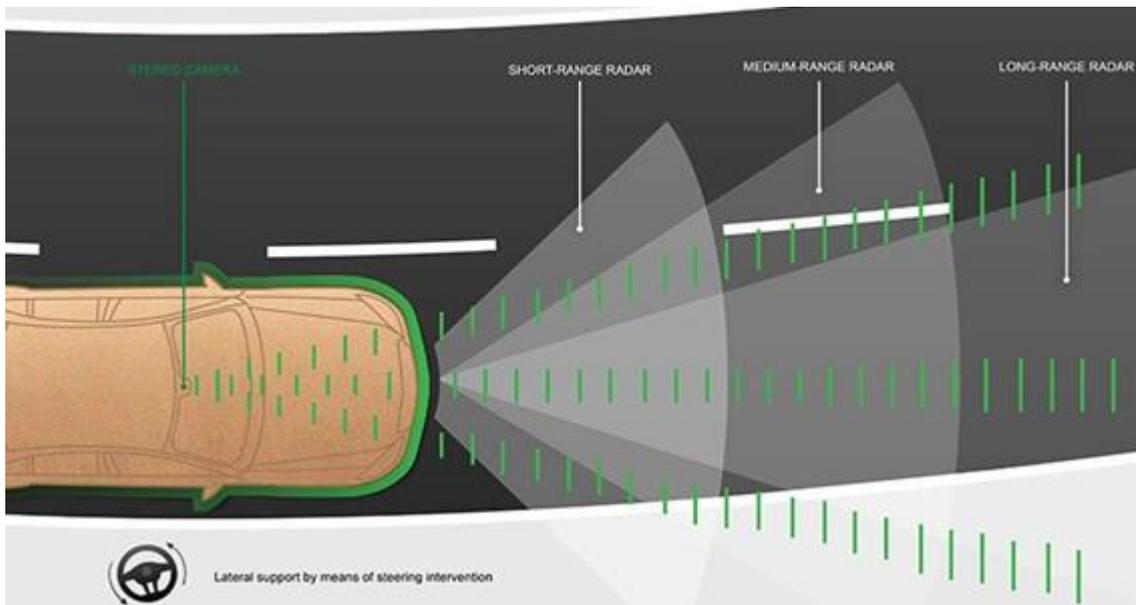
**Fuente:** (Espada, y otros, 2017)

Las figuras 5-1, 6-1, 7-1, 8-1, 9-1, 10-1 permiten complementar la parte teórica expuesta en la tabla anterior respecto a los ejemplos citados de sistemas de asistencia en la conducción ofertados en el mercado.



**Figura 5-1.** Sistema de asistencia en la conducción – Ford.

Fuente: (Espada, y otros, 2017)



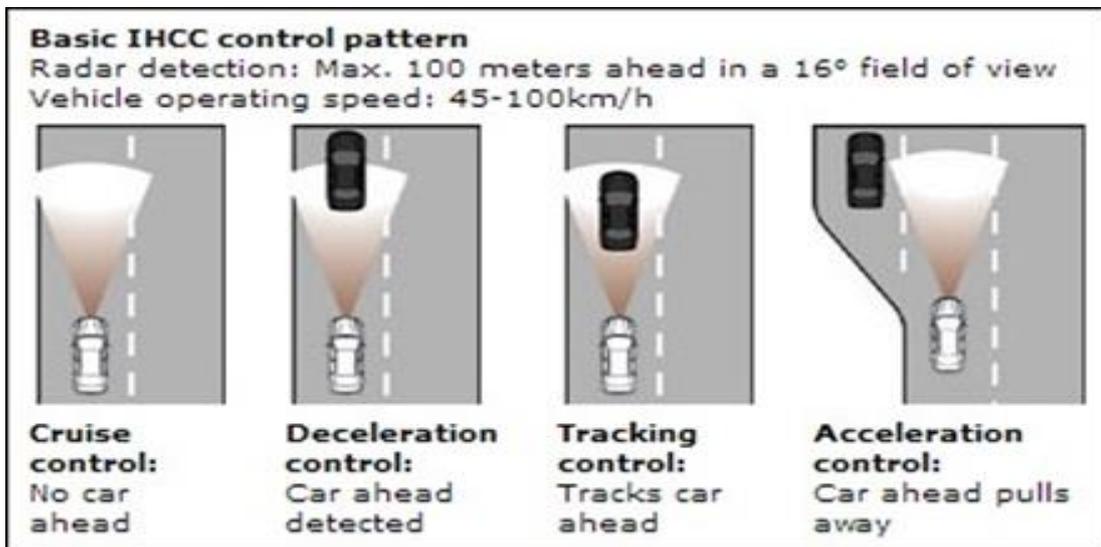
**Figura 6-1.** Sistema de asistencia en la conducción – Mercedes Benz.

Fuente: (Espada, y otros, 2017)



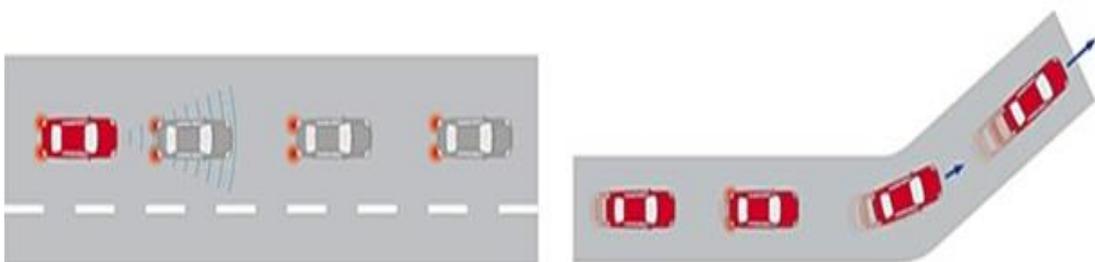
**Figura 7-1.** Sistema de asistencia en la conducción – Citroën

Fuente: (Espada, y otros, 2017)



**Figura 8-1.** Sistema de asistencia en la conducción – Honda.

Fuente: (Espada, y otros, 2017)



**Figura 9-1.** Sistema de asistencia en la conducción – Nissan.

Fuente: (Espada, y otros, 2017)



**Figura 10-1.** Sistema de asistencia en la conducción – BMW.

**Fuente:** (Espada, y otros, 2017)

### *1.1.1.7 Sistemas de aviso de alertas para el conductor*

Como se manifestó anteriormente y generalizando los sistemas ejemplos citados, los sistemas de aviso de alertas para el conductor como resultado de la evaluación de los sistemas de asistencia en la conducción pueden emplear:

- **Dispositivos visuales:** Como se puede observar en la figura 11-1 los sistemas de asistencia para conducción pueden incluir pantallas y en ellas disponer de interfaces gráficas que ayuden a generar tipos de alertas visuales, o simplemente en el tablero del vehículo incluir la iluminación de un testigo.

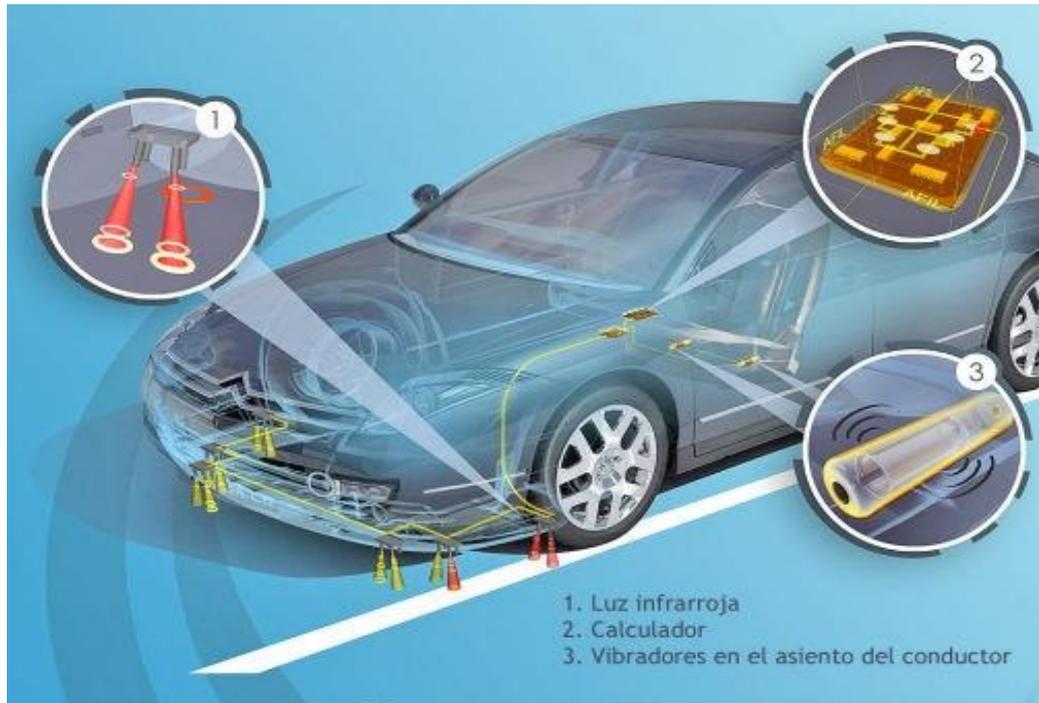


**Figura 11-1.** Dispositivos de alerta visuales

**Fuente:** <https://n9.cl/pq48n>

- **Dispositivos sonoros:** éstos resultan complementarios a los elementos mencionados en los dispositivos visuales.

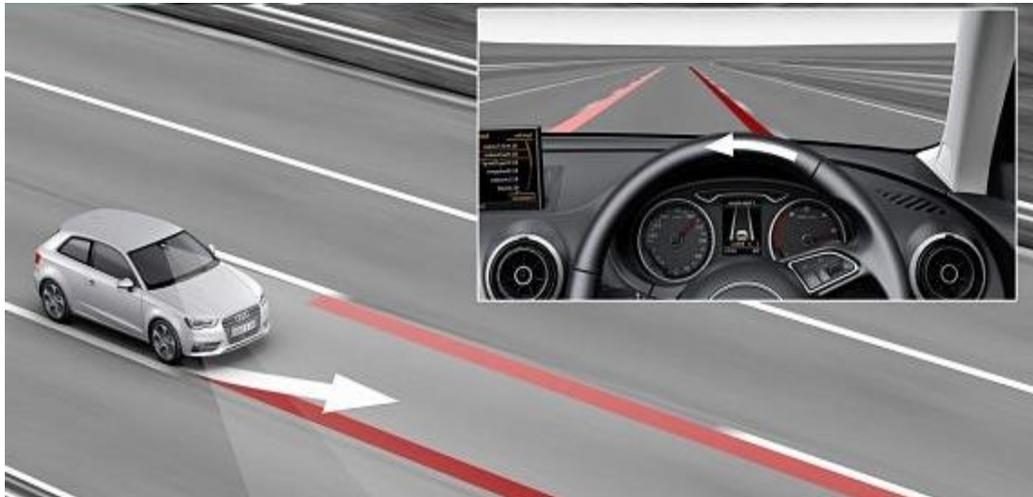
- **Sistemas de vibración:** La figura 12-1 muestra un sistema de alerta basado en dispositivos vibradores colocados en el asiento del conductor. El mismo efecto de vibración en otros sistemas se lo incluye en el volante.



**Figura 12-1.** Dispositivo de vibración colocado en el asiento del conductor.

Fuente: <https://n9.cl/0q5b9>

- **Par de giro aplicado al volante:** Se emplea para informar al conductor y corregir la trayectoria aplicando como se observa en la figura 13-1 un leve par de giro al volante indicando en qué sentido debe hacer girar las ruedas para corregir la desviación involuntaria sufrida por el vehículo.



**Figura 13-1.** Par de giro aplicado al volante

Fuente: <https://n9.cl/0q5b9>

## 1.2 El sentido luminoso en la conducción

El sentido luminoso es considerado como la capacidad que posee el ojo para adaptarse a entornos que disponen de diferentes grados de luz (MAPFRE, 2020) y, un ojo adaptado a la luz en la transición a la oscuridad tarda cierto tiempo, al contrario, una vez adaptado a la oscuridad su sensibilidad incrementa notablemente, siendo así que en el caso de recibir un impacto luminoso sufre molestias subjetivas con impotencia funcional, hasta reestablecer la adaptación a la luz que había perdido (Arévalo, 2020).

Los factores mencionados anteriormente afectan directamente el rendimiento visual de un conductor nocturno y generan problemas importantes en caso de deslumbramiento; en consideración a esto se puede definir el sentido luminoso como el tiempo que tarda en adaptarse la vista a variaciones de intensidad luminosa (Arévalo, 2020).

### 1.2.1 Visión fotópica, escotópica y mesópica

La figura 14-1 representa las condiciones de iluminación y los rangos de funcionamiento que determinan los tipos de visión al momento de conducir.



**Figura 14-1.** Condiciones de iluminación, rangos de funcionamiento de la visión

Fuente: (Sánchez, 2012)

Al conducir durante horas de luz solar o en entornos de vías fuertemente iluminadas en la noche se emplea la visión denominada fotópica.

La visión escotópica es aquella percepción visual que se produce con niveles muy bajos de iluminación que estén por debajo del umbral luminoso absoluto. (Arévalo, 2020)

La conducción que se realiza con luz natural en los crepúsculos matutino y vespertino, o con luz artificial atravesando túneles iluminados y vías insuficientemente iluminadas mediante la luz de los faros del vehículo se denomina mesotópica. (MAPFRE, 2020)

Durante la conducción nocturna la visión mesotópica determina el tráfico nocturno y se caracteriza por la visión de siluetas y formas, perceptibles en función de su superficie ante todo, de su contraste. Durante esta conducción el ojo siempre tiene cierto grado de midriasis (aumento del diámetro o dilatación de la pupila) (MAPFRE, 2020).

### ***1.2.2 Agudeza visual y conducción nocturna***

En el tráfico nocturno el color de un objeto, su capacidad reflectora, el contraste con el fondo, la distancia, el movimiento, la situación del objeto con el haz luminoso de los faros, de la fatiga y la capacidad de adaptación del conductor a las variaciones de la luz propia y ajena son factores que inciden en la agudeza visual de un conductor en la noche (MAPFRE, 2020).

En la conducción nocturna se tiene una estimación deficiente en las distancias, el movimiento, los colores y disminuye la velocidad de percepción de los objetos. En este sentido, el color se va a distinguir por su luminancia relativa; por eso, un coche rojo parecerá más alejado de lo que realmente está (Arévalo, 2020).

Para el cambio de visión fotópica a mesópica se requiere generalmente cinco minutos, normalmente esto ocurre en forma progresiva durante los crepúsculos. No obstante, al ingresar bruscamente a un túnel la visión es insuficiente, resultando necesario que el conductor se asista con las luces de su vehículo, aunque parezca que no son necesarias (MAPFRE, 2020).

A causa de patologías como el glaucoma o en el tratamiento con fármacos mióticos, enfermedades degenerativas de la retina y distrofias retinianas que por ser progresivas y acompañarse de otras limitaciones visuales, reducen la agudeza visual mesópica en ciertos casos impidiendo la conducción en general (MAPFRE, 2020).

La edad juega un papel importante en la visión pues con el envejecimiento el conductor requiere de más luz y circunstancialmente el conductor mayor tiende a abusar de las luces largas, que son más potentes pero que pueden deslumbrar al vehículo que circula en sentido contrario (MAPFRE, 2020).

### ***1.2.3 Deslumbramiento***

El sistema visual es una herramienta fundamental con la que contamos para adquirir información sobre el medio en que nos desenvolvemos. Nuestras capacidades visuales nos permiten desarrollar muchas actividades de nuestra vida cotidiana, siendo la conducción vehicular de las que mayor exigencia requiere al sistema visual.

El deslumbramiento se produce en el ojo al momento de penetrar en su interior un exceso de luz o una gran intensidad de luz, la cual produce una enérgica reacción fotoquímica en las células de la retina que impiden el paso del impulso al nervio óptico y no transmita nada al cerebro y se pierda la visión, el deslumbramiento en los conductores se debe en gran parte a causa de los faros de los vehículos que circulan en sentido opuesto, presentando una agresión para el ojo del conductor los cuales son causa de los accidentes viales (Ruiz, 2015).

Este exceso de luz provoca una miosis máxima que representa una contracción de la pupila y molestias visuales transitorias como lagrimeo, frecuente parpadeo y pérdida momentánea de la vista o agujero negro, especialmente si los ojos están adaptados a la oscuridad. Se sigue de una lenta recuperación de las funciones visuales, en un tiempo máximo considerado normal de 50 segundos (MAPFRE, 2020).

El deslumbramiento agudo aumenta el cansancio, perturba el sentido cromático, el campo visual, la sensibilidad al contraste y la visión de profundidad, además se agrava con la edad, el alcohol, la fatiga, diversas drogas, algunas enfermedades y ciertos medicamentos.

Es diferente del bache negro, que es el punto en el que la luz del vehículo que viene, llena por completo el campo visual del conductor, impidiéndole ver lo que se encuentra detrás de la barrera luminosa. Su duración es variable dependiendo de la velocidad a la que circulen los vehículos.

El conductor que no tiene buena recuperación tras el deslumbramiento no tiene tratamiento.

La adaptación a la oscuridad es considerablemente más lenta que la adaptación a la luz y tiene más importancia. Requiere un periodo de unos 30 minutos, lo que permite distinguir los objetos en la oscuridad, aunque no se puedan distinguir los colores (MAPFRE, 2020).

Según (Camarero, 2016), actualmente existen diferentes test experimentales para medir la discapacidad por deslumbramiento, pero ninguno de ellos es tomado como test clínico de referencia. Esto se debe a la falta de estandarización de las condiciones de iluminación y deslumbramiento, la carencia de validez científica, la dificultad en la interpretación, el largo tiempo para realizar las pruebas y el coste de ellas hace que sea complicado estandarizar la medida. Aunque existe varios test clínicos que se realizan a los conductores en situaciones

estáticas simulando las situaciones producidas en conducción en carretera, éste tipo de test adolecen de falta o imposibilidad de repetitividad y reproducibilidad, debido a parámetros que en situaciones de conducción real no son posibles de proveer como la aceleración o mantenimiento estrictos de la velocidad del vehículo por parte del conductor, o el mantenimiento o seguimiento visual de la fuente de deslumbramiento por parte del conductor en función de cómo se quiera evaluar la influencia del ángulo formado entre la línea de visión y la fuente de deslumbramiento.

### 1.3 Visión Artificial

Consiste básicamente en la deducción automática de la estructura y propiedades de un mundo tridimensional, posiblemente dinámico, a partir de una o varias imágenes bidimensionales de ese mundo. En esta área de conocimiento se aúnan conceptos de la física del color, óptica, electrónica, geometría, algorítmica, sistemas de computación, etc. El propósito de este capítulo es introducir los conceptos básicos sobre los dispositivos y tecnologías que componen un sistema de visión. Empezando por los diferentes tipos de fuentes de iluminación, describiendo brevemente los diversos dispositivos que permiten controlar la transmisión de la luz, además de los dispositivos de transducción y posteriormente de transmisión de información durante el proceso de formación y captura de imágenes (Pajares y Escalera, 2016, p. 11). La figura 15-1 representa los recursos de un sistema de visión artificial de Renault.



**Figura 15-1.** Recursos de un sistema de visión artificial de Renault.

**Fuente:** <https://n9.cl/4qubk>

### ***1.3.1 Tipos de sistemas de visión artificial***

Aunque los productos de visión artificial estén muy poco definidos, se puede hablar de varias categorías y destacar algunas características relevantes de algunos de ellos.

#### ***1.3.1.1 Sensores de visión***

Son sensores con tecnología de visión más sofisticada que los tradicionales sensores fotoeléctricos, sin embargo, sus limitaciones en la toma de decisiones son más significativas que en el caso del resto de productos conectados a un software, por lo que sus trabajos se limitan más a detectar resultados de paso o fallo. Tiene la ventaja que su integración y puesta en marcha es muy sencilla y rápida, debido a su tamaño reducido, así como por el coste de la tecnología. (INFAIMON, 2019)

#### ***1.3.1.2 Cámaras inteligentes y sistemas de visión integrados***

Se destacan por su potencia de cálculo capaz de dar solución a cualquier necesidad de visión industrial, resolución de imagen y fácil instalación, siendo la tecnología más avanzada en relación a sensores de visión, lo cual facilita su amplia aplicación sin importar actividad o fase de la cadena de producción. Su aspecto más relevante destaca en su capacidad de procesamiento, el cual le dota de almacenamiento y disponibilidad para conectar con otros sistemas automatizados, gracias a los mecanismos de entrada y salida (INFAIMON, 2019).

#### ***1.3.1.3 Sistemas de visión avanzados***

Similares a los sistemas de visión integrados, con la diferencia que cuentan con un hardware más sofisticado y completo, permitiendo mejorar procesamiento de datos y analizar múltiples datos de manera simultánea. Es ideal aplicar trabajos de mayor complejidad, obviamente por la gran potencia de cálculo desarrollada que posee esta tecnología (EDS Robotics, 2020).

### ***1.3.2 Etapas en el proceso de Visión Artificial***

En el proceso de visión artificial destacan ciertas actividades enunciadas a continuación

### *1.3.2.1 Adquisición de imágenes*

En este primer paso se necesitan sensores que permitan conseguir que la imagen sea lo más adecuada posible y la capacidad para digitalizar la señal producida por el sensor, siendo de gran importancia para este paso el sistema de hardware de visión artificial y el entorno y posicionamiento de los elementos (Alejandro, y otros, 2009).

### *1.3.2.2 Pre procesamiento*

Toda imagen que ha sido adquirida por medios ópticos o electrónicos tienden a sufrir degradación, pérdida de definición y fidelidad de la imagen, las mismas que son provocadas por el ruido de los sensores de captura, imprecisiones en el enfoque de la cámara, movimiento de la misma o perturbaciones aleatorias. Siendo este el proceso que pretende reparar en la imagen los desperfectos producidos o no eliminados por el hardware. Una parte importante en el pre procesado es la realización de un filtrado que ayude a eliminar el ruido existente (Alejandro, y otros, 2009).

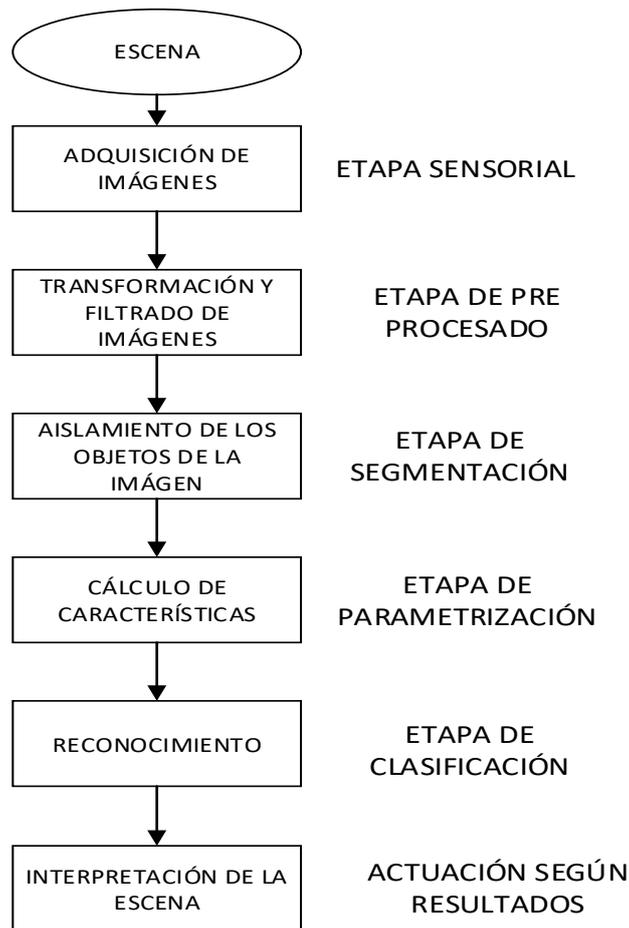
### *1.3.2.3 Segmentación*

Consiste en diferenciar los diferentes objetos que componen la señal y determinar su posición con respecto al fondo de la imagen. El objetivo de esta etapa es conocer perfectamente los objetos que hay para extraer las características propias de cada uno de ellos (Alejandro, y otros, 2009).

### *1.3.2.4 Reconocimiento e interpretación*

El proceso que asigna una etiqueta a un objeto basada en la información que proporcionan los descriptores. Mientras que la interpretación lleva a asignar significado al conjunto de objetos reconocidos. (Alejandro, y otros, 2009)

El diagrama del gráfico 1-1 representa las etapas del proceso de visión artificial definidas anteriormente.



**Gráfico 1-1.** Etapas del proceso de visión artificial

Realizado por: Arévalo, J., 2021

Fuente: (Alejandro, y otros, 2009)

### ***1.3.3 Aplicaciones de la Visión Artificial***

Según (ETI, 2010) la visión artificial tiene un amplio campo de aplicación entre las principales se tiene:

- Identificación e inspección de objetos.
- Determinación de la posición de los objetos en el espacio.
- Establecimiento de relaciones espaciales entre varios objetos (guiado de robots)
- Determinación de las coordenadas importantes de un objeto y mediciones angulares.
- Mediciones tridimensionales.

### ***1.3.4 Elementos de los sistemas de visión artificial***

Un sistema de visión artificial para cumplir con su objetivo debe constar de ciertos elementos principales a continuación, se detallan:

#### *1.3.4.1 Sistema de iluminación*

Para la obtención de buenos resultados la iluminación es un elemento de vital importancia en el desarrollo de sistemas de visión artificial, al elegir la iluminación adecuada se puede obtener una mayor exactitud en las medidas, un sistema confiable y un menor tiempo de operación. Los principales objetivos respecto a la iluminación en los sistemas de visión artificial son: mantener constante la intensidad, dirección de la luz y optimizar el contraste para diferenciar los objetos presentes del fondo (Viera, 2017).

#### *1.3.4.2 Cámaras y Tarjeta de captura*

Una cámara digital es una cámara cuyo principal fin es captar fotografías en un formato digital y almacenar imágenes de manera digital, mediante un dispositivo denominado sensor. La cantidad de píxeles suele ser un indicativo de la calidad de imagen midiéndose estos en millones. Por lo general, las cámaras digitales utilizan CCD (Charge-Coupled Device) o un sensor CMOS. Los dispositivos CCD transportan la carga a través del chip hasta un conversor analógico-digital. Éste convierte el valor de cada uno de los píxeles en un valor digital midiendo la carga que le llega. Por otro lado, los aparatos CMOS contienen varios transistores en cada píxel. El proceso de conversión digital se produce en la propia estructura del sensor, por lo que no necesita un conversor añadido. La calidad de la resolución de una cámara digital no depende únicamente del número y distribución de píxeles que me puede dar la cámara, sino también de otros factores como las características del sensor y características del lente (Viera, 2017).

#### *1.3.4.3 Módulo de proceso y software*

Puede ser una computadora o un sistema integrado, este sistema recibe y almacena las imágenes para luego procesarlas a través de algoritmos adecuados para extraer la información necesaria para la toma de decisiones según la aplicación del sistema de visión artificial. Los sistemas integrados incorporan el software y el hardware necesario en un mismo sistema. El software de procesamiento de imágenes es el conjunto de herramientas que analizan la imagen y extraen información de la misma utilizando algoritmos en los que estén basados dichas herramientas (Viera, 2017).

## **1.4 Procesamiento digital de imágenes**

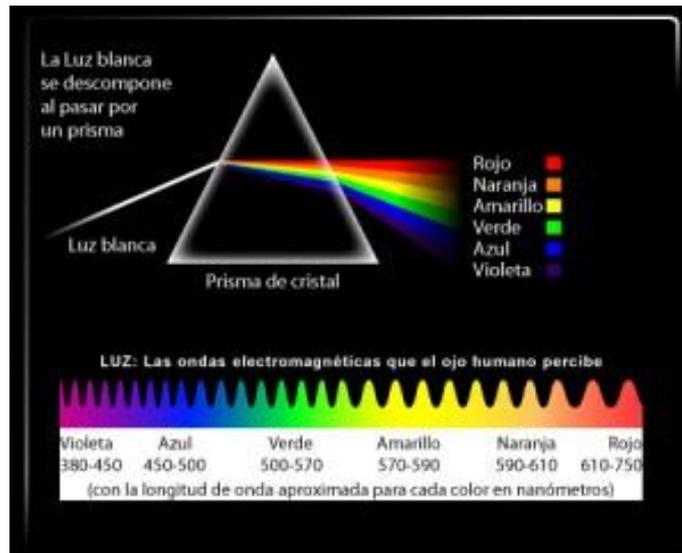
Una imagen digital es una representación bidimensional de una imagen a partir de una matriz numérica, frecuentemente binaria. Estas imágenes, generalmente se obtienen al convertir señales continuas en formato digital, las cuales se pueden visualizar en diversos medios como impresoras digitales, monitores y dispositivos de proyección digital. Hoy en día, la frecuencia en la cual esta información se transmite, almacena, procesa y visualiza en formato digital está aumentando rápidamente, por lo cual, el diseño de métodos de ingeniería para mejorar la integridad visual y facilitar la búsqueda de información ha tenido un alto interés (Catalán, 2019, p. 68).

La vista del ser humano es el sentido más avanzado, y no es sorprendente que las imágenes desempeñen el papel más importante en la percepción humana. Sin embargo, los seres humanos están limitados a la banda visible del espectro electromagnético (EM), siendo las máquinas quienes pueden percibir casi todo el espectro, desde los rayos gamma hasta las ondas de radio. Las máquinas también pueden percibir y procesar imágenes generadas por fuentes que los humanos no asocian con imágenes, siendo estos el ultrasonido, la microscopía de electrones, etc. Por lo cual el procesamiento de imágenes digitales abarca un amplio y variado campo de aplicaciones (Gonzalez, y otros, 2018).

No existe acuerdo específico sobre el concepto de procesamiento digital de imágenes alguna relación, el análisis de imágenes y visión por computadora, otros lo ven como una disciplina que tanto de entrada y salida de un proceso son imágenes, por otro lado, la visión por computador tiene como objetivo final el utilizar computadoras para simular la visión humana y tomar decisiones acordes a las entradas visuales (Gonzalez, y otros, 2018).

### ***1.4.1 Color***

Aunque el proceso empleado por el ser humano para percibir e interpretar el color es un fenómeno fisiopsicológico que no se comprende en su totalidad, por lo que la naturaleza física del color se puede expresar de manera formal con el apoyo de experimentos y resultados teóricos (Gonzalez, y otros, 2018). La figura 16-1 representa el espectro de color al pasar luz blanca a través de un prisma.



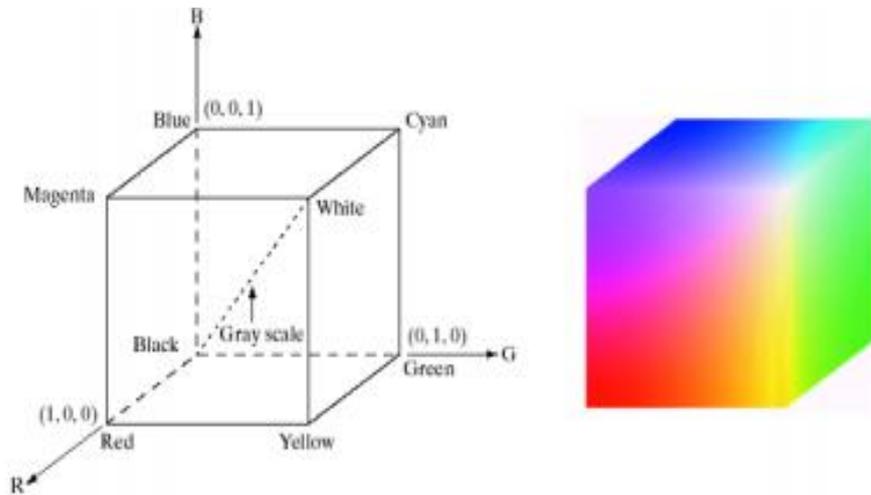
**Figura 16-1.** Espectro de color al pasar luz blanca a través de un prisma.

Fuente: <https://n9.cl/qevt5>

#### 1.4.1.1 Modelos de color

El propósito de un modelo de color es facilitar la especificación de colores de alguna manera estándar. En esencia, un modelo de color es una especificación de un sistema de coordenadas, y un subespacio dentro de ese sistema, de modo que cada color en el modelo está representado por un único punto contenido en ese subespacio. La mayoría de los modelos de color que se utilizan hoy en día están orientados hacia el hardware o hacia aplicaciones donde la manipulación de colores es el objetivo para la creación de gráficos a color. En el caso del procesamiento digital de imágenes los modelos orientados al hardware más comúnmente utilizado en la práctica son el modelo RGB (rojo, verde, azul) sin exceptuar otros modelos empleados en el procesamiento de imágenes (Gonzalez, y otros, 2018).

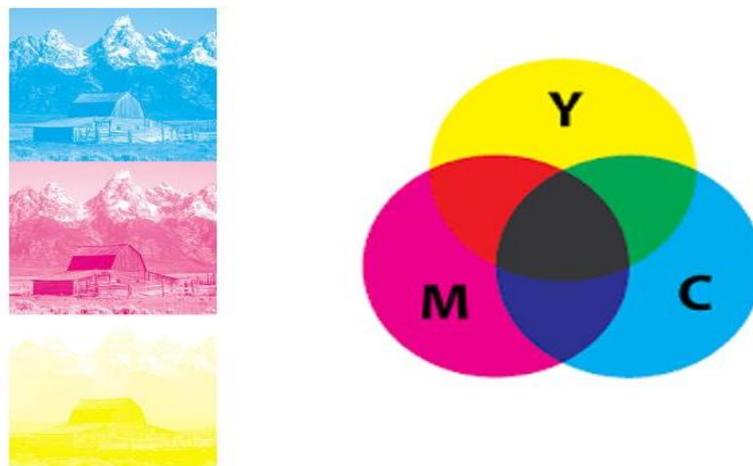
- **El modelo RGB:** En el modelo RGB, cada color aparece en sus componentes primarios del espectro de rojo, verde, y azul. Este modelo se basa en un sistema de coordenadas cartesianas que forma un cubo en el que los valores RGB están en 3 esquinas. Las imágenes representadas en el modelo RGB consisten en 3 imágenes componentes, cada una de un color primario. El número de bits utilizado para representar cada pixel en el espacio RGB se llama profundidad de pixel (Mejía, 2005). La figura 17-1 representa el diagrama esquemático del cubo RGB y el cubo a 24 bits (Gonzalez, y otros, 2018).



**Figura 17-1.** Diagrama esquemático del cubo RGB y el cubo a 24 bits

Fuente: (Mejía, 2005)

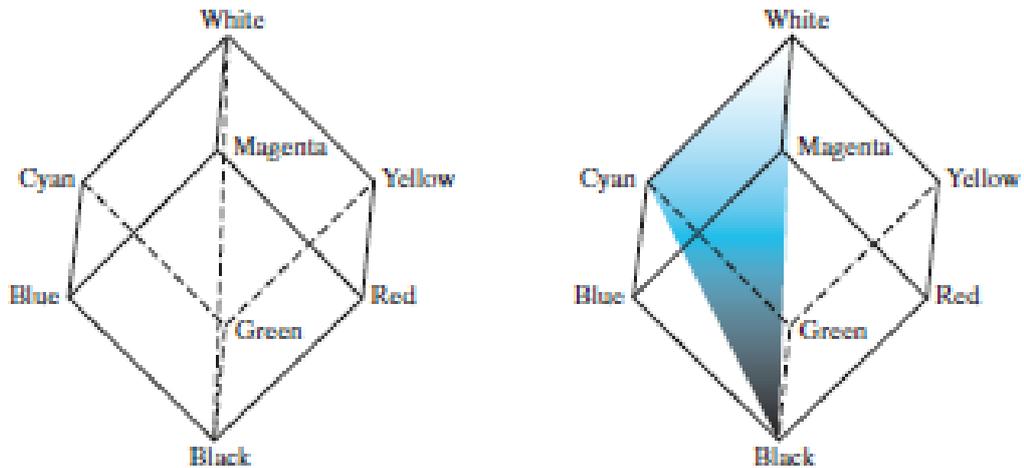
- **Los modelos CMY y CMYK:** El modelo de síntesis del color CMY (del inglés Cyan-Magenta-Yellow), es un modelo de color sustractivo empleado en la impresión a colores, las tintas que se usan son los tres colores primarios cian, magenta y amarillo. Cian es el opuesto al rojo, lo que significa que actúa como un filtro que absorbe dicho color ( $-R +G +B$ ). La cantidad de cian aplicada a un papel controlará cuanto rojo mostrará. Magenta es el opuesto al verde ( $+R -G +B$ ) y amarillo el opuesto al azul ( $+R +G -B$ ). Con este conocimiento se puede afirmar que hay infinitas combinaciones posibles de colores. Teóricamente, si los colores primarios son puros, es posible sintetizar toda la gama de colores existente, sin embargo, en la práctica se usan también otros modelos para obtener otras ventajas (Gonzalez, y otros, 2018) (R, 2019). La figura 18-1 representa una imagen en modelo CMY.



**Figura 18-1.** Representación de una imagen en modelo CMY.

Fuente: <https://n9.cl/wl48p>

- **El modelo HSI:** El modelo de color HSI (hue, saturation, intensity: tono, saturación e intensidad) o denominado también HSL, separa el componente de intensidad de la información de color en una imagen de color. Como resultado, este modelo es una herramienta ideal para desarrollar algoritmos basados en descripciones de color naturales e intuitivas para los seres humanos. El modelo RGB, después de todo, es ideal para generación de imágenes a color, pero su uso para la descripción de color es limitado. La figura 19-1 representa la deducción del modelo HSI del cubo RGB (Gonzalez, y otros, 2018).



**Figura 19-1.** Deducción del modelo HSI a partir del cubo RGB

Fuente: (Gonzalez, y otros, 2018)

- **El modelo HSV:** El modelo HSV o determinado también como HSB, se deriva del espacio RGB y representa los colores combinando tres valores: el tono en sí (H), la saturación o cantidad de color (S) y el brillo del mismo (B). Estos valores suelen representarse en un diagrama circular. La figura 20-1 representa el modelo HSV (R, 2019).

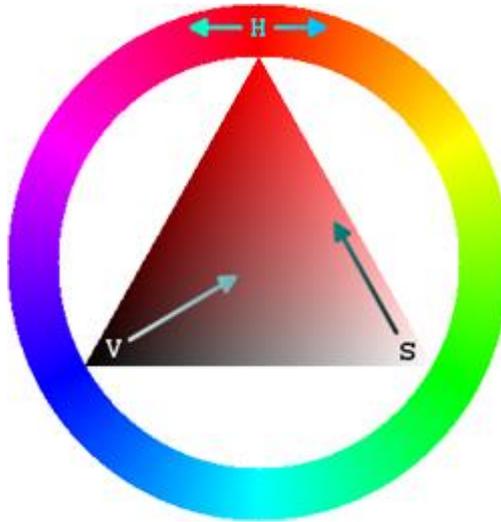
Estas tres magnitudes pueden tener los siguientes valores (R, 2019):

H (color en concreto). Valores de 0-360°. La gama cromática se representa en una rueda circular y este valor expresa su posición.

S (Saturación). Valores de 0-100%. De menos a más cantidad de color.

B (Brillo). Valores de 0-100%. De totalmente oscuro a la máxima luminosidad.

Este modelo fue creado para aportar tanto información sobre el color en sí como sobre la cantidad y brillo del mismo, HSV presenta los colores y sus diferentes grados de brillo y saturación en un único diagrama cónico o circular. La figura 20-1 representa el diagrama cromático del modelo HSV.



**Figura 20-1.** Diagrama cromático del modelo HSV

Fuente: <https://n9.cl/2tjr7>

### ***1.4.2 Ruido***

En una imagen digital es la información presente no deseada, lo que provoca una oscilación en el valor de sus píxeles alrededor de su valor real, se entiende como un efecto no deseado. Generalmente, el ingreso de ruido a la imagen se produce durante la adquisición y/o transmisión de imágenes, el rendimiento de los sensores de imagen se ve afectado por factores como las condiciones ambientales durante la adquisición de imágenes, y la sensibilidad de los mismos elementos sensores (Viera, 2017).

Según (CAPTURE THE ATLAS, 2019) existen tres formas de ruido en fotografía según la fuente y forma en que se produce:

- **Ruido de fotones:** Pertenece al ruido aleatorio correspondiente a los fotones.
- **Ruido Front end:** Este tipo de ruido está relacionado con la construcción del sensor.
- **Ruido Back end:** Este ruido tiene lugar cuando el procesador de nuestra cámara convierte la señal en un archivo digital.

### ***1.4.3 Bordes y esquinas***

Los bordes son un conjunto de puntos (píxeles) en una imagen en los cuales el nivel de intensidad en una determinada dirección cambia drásticamente y definen los límites de los objetos. El valor

de los píxeles en el borde de una imagen depende del cambio presentado en la intensidad, este cambio normalmente es calculado a partir de la derivada. Las esquinas son puntos prominentes contenidos en una imagen que se caracterizan por presentar un alto valor del gradiente, pero a diferencia de los bordes, este alto valor del gradiente se presenta en varias direcciones. Se puede considerar a las esquinas como puntos en la imagen que colindan con diferentes bordes a la vez (Viera, 2017).

#### ***1.4.4 Morfología***

La morfología matemática es una técnica para extraer elementos de la imagen que son útiles en la representación y descripción de la forma de la región, tales como límites, esqueletos, etc. Las operaciones morfológicas binarias son las operaciones de deslizamiento de un elemento estructurante sobre la imagen. La forma y el tamaño escogido del elemento estructurante depende de las características seleccionadas de los objetos analizados (Viera, 2017).

Hay dos operaciones principales del procesamiento morfológico: la dilatación y la erosión

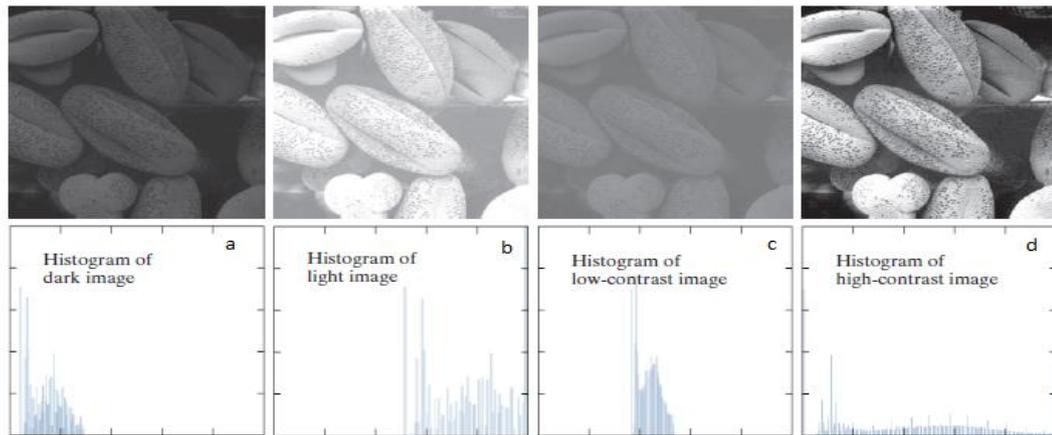
- **La dilatación:** consiste en incorporar en un objeto todos los puntos de fondo que se conectan al objeto.
- **La erosión:** consiste en eliminar todos los puntos de contorno del objeto, estos puntos son píxeles que se encuentran en el objeto, pero tiene al menos un píxel vecino fuera del objeto.

La dilatación se puede utilizar para reducir las diferencias entre dos objetos separados. La erosión es útil para eliminar, de una imagen, detalles demasiado pequeños.

#### ***1.4.5 Histograma***

Permite mostrar de forma gráfica la distribución estadística de los valores de color, además de controlar el equilibrio adecuado de la fotografía, es la representación gráfica de los tonos en una imagen digital, siendo importante al momento de brindar información para la corrección de color. El histograma tiene 2 ejes: eje horizontal que representan las intensidades de gris (a mayor dispersión del eje, mayor es el contraste de la imagen) y en el eje vertical se encuentran la cantidad de estos niveles. La imagen tendrá poco contraste si los niveles se concentran en la derecha, por otro lado, si los niveles se concentran a la izquierda, la imagen estará oscura. Si se desea que haya un equilibrio entre blanco y negro, la distribución del histograma deberá tener una distribución

uniforme (Ortiz, 2016). La figura 21-1 representa cuatro tipos de imágenes y sus correspondientes histogramas.



**Figura 21-1.** Cuatro tipos de imágenes y sus correspondientes histogramas. (a) oscuro; (b) luz; (c) bajo contraste; (d) alto contraste.

**Fuente:** (Gonzalez, y otros, 2018)

#### 1.4.6 Filtro

El filtrado es una técnica para modificar o mejorar a una imagen, un filtro puede atenuar o resaltar algunas características de la imagen, el filtrado es una operación de vecindario, en la que el valor de un pixel dado en la imagen procesada se calcula por medio de algún algoritmo que toma en cuenta los valores de pixeles de la vecindad de la imagen original. (Esqueda, y otros, 2005)

Según (Viera, 2017) el principal objetivo y uso de los filtros son para suavizar la imagen que consiste en uniformizar la intensidad de los pixeles vecinos, realzar la imagen que consiste en aumentar los niveles de intensidad, eliminar ruido y detectar bordes. La figura 22-1 muestra una imagen aplicada un filtro promedio  $3 \times 3$  y un filtro Laplaciano.



**Figura 22-1.** (a) Imagen original. (b) Aplicación de filtro promedio  $3 \times 3$ . (c) Aplicación de filtro Laplaciano

**Fuente:** (Viera, 2017)

Según las imágenes resultantes que se quiera obtener, los filtros se clasifican en:

#### *1.4.6.1 Filtros de paso bajo*

Los filtros paso bajo atenúan las frecuencias altas y dejan intactas las frecuencias bajas en función de la frecuencia, siendo el resultado equivalente a un filtro de suavizado. Se usan para eliminar ruido de alta frecuencia, es decir no dejan pasar componentes de frecuencia alta. Este tipo de filtro es utilizado para eliminar todo lo que no sean variaciones suaves de nivel de gris, reduciendo el ruido y suavizando las transiciones existentes (Querejeta, 2015).

#### *1.4.6.2 Filtros de paso alto*

El objetivo de este filtro es destacar las zonas de mayor variabilidad, eliminando la componente media, lo que precisamente detectan los filtros de paso bajo. Los filtros de paso alto eliminan la contaminación de los píxeles vecinos ya que la radicación reflejada por un píxel se reparte hacia los píxeles vecinos (UM, 2006).

#### *1.4.6.3 Filtros Paso Banda*

El término pasa banda se refiere a que deja pasar los componentes de cierto rango de frecuencia., eliminando las bajas y altas frecuencias. Las principales aplicaciones de este tipo de filtro es aislar los efectos de ciertas bandas de frecuencias seleccionadas sobre una imagen y eliminar ruido, pero son poco usados porque elimina mucho contenido de las imágenes (Viera, 2017).

## **1.5 Python**

La figura 23-1 muestra el logotipo del software Python, lenguaje de desarrollo de acceso libre.



**Figura 23-1.** Python logo.

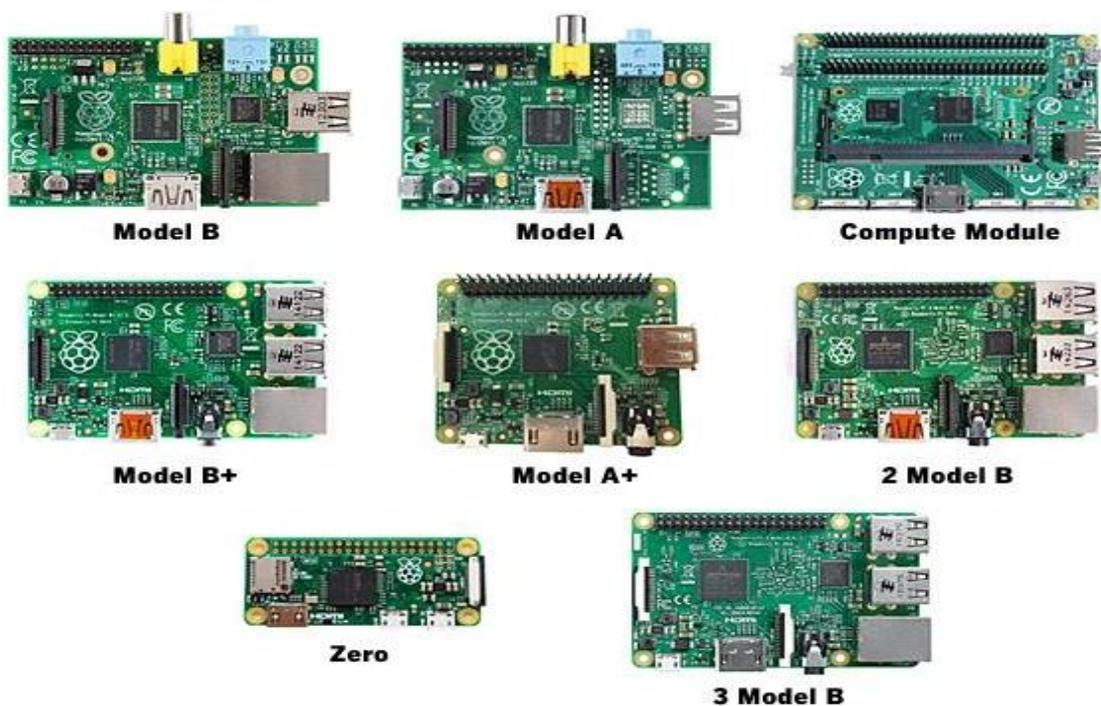
Fuente: <https://bit.ly/2sK3Eqd>

Python es un lenguaje de "dirección" para códigos científicos escritos en otros idiomas. Sin embargo, con herramientas básicas adicionales, Python se transforma en un lenguaje de alto nivel adecuado para el código científico y de ingeniería que a menudo es lo suficientemente rápido como para ser inmediatamente útil, pero también lo suficientemente flexible como para ser acelerado con extensiones adicionales. (Oliphant, 2007, pp. 10-20)

## 1.6 Raspberry

Raspberry Pi es considerada como una minicomputadora funcional con todos sus componentes, pertenece a la gama de hardware open source, una placa del tamaño un poco mayor a una tarjeta de crédito, tan solo basta con conectar una memoria con una imagen del sistema operativo, un teclado, mouse, monitor y parlantes para enseguida disfrutar de sus capacidades (Stasi, 2020), sus aplicaciones se expanden desde el ámbito educativo para estudiantes del área de informática y electrónica principalmente .

Las partes principales que constituyen una Raspberry son un procesador, memoria RAM, puertos USB, GPU, HDMI, ETHERNET, requiere de una microSD al ser que no incluye memoria interna (Salcedo, y otros, 2006 págs. 63-64). La Figura 24-1 es la representación física de la Raspberry modelo Pi3 B.



**Figura 24-1.** Raspberry Pi 3

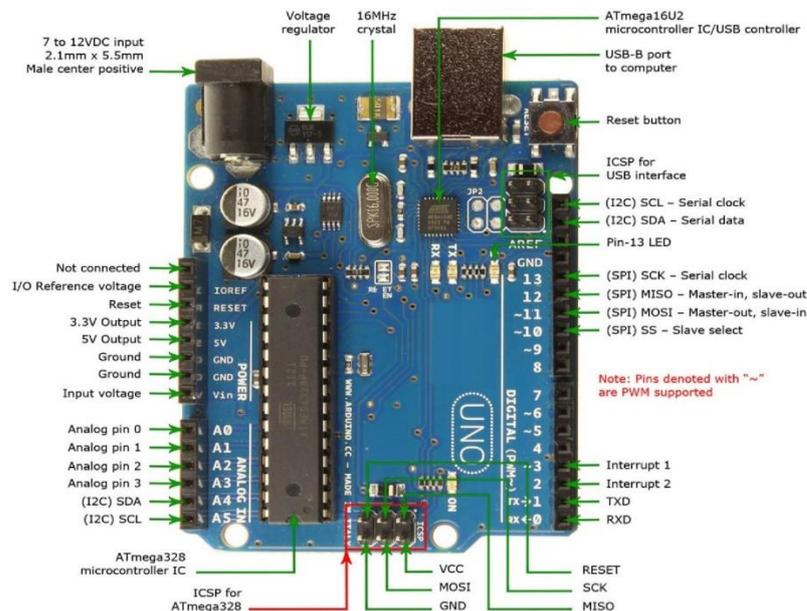
Fuente: (Raspberry PI, 2019)

## 1.7 Arduino

Según (Peña, 2020) es una plataforma de hardware libre creada por David Cuartielles y Massimo Banzi, la cual está basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, creada con el objetivo de facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. Arduino es a la vez un sistema de procesamiento, un microcontrolador y una placa que también integra un entorno de desarrollo además de ser una plataforma de hardware open source.

De manera simplificada se puede decir que Arduino es una plataforma de hardware de código abierto, basada su funcionamiento en una placa con entradas y salidas (analógicas y digitales).

La figura 25-1 representa la tarjeta Arduino UNO con su distribución de pines que alberga el microcontrolador ATMEGA 328<sup>a</sup>.



**Figura 25-1.** Arduino UNO distribución de pines

Fuente: <https://n9.cl/1098f>

## 1.8 Luxómetro

El luxómetro es una herramienta de medición con la que se puede obtener de forma estricta los niveles de iluminación, esta herramienta se apoya en una célula fotoeléctrica que, al incidir la luz sobre su área, crea una débil corriente eléctrica que se incrementa en funcionalidad de la luz

incidente. Esa corriente se mide con un miliamperímetro, de manera analógica o digital, calibrado de manera directa en luxes. (Ruiz, 2015)

La figura 26-1 es la representación física del Luxómetro.



**Figura 26-1.** Luxómetro

Fuente: <https://bit.ly/3BI1aHu>

## 1.9 Señales electromiográficas

Las señales electromiográficas son producidas por las neuronas motoras para activar los músculos del cuerpo, las neuronas motoras tienen su origen en la corteza cerebral motora, dichas señales viajan por las astas anteriores de la medula espinal terminando en un actuador como los músculos. Las señales mioeléctricas generadas en los músculos son de naturaleza aleatoria y sus valores de voltaje se encuentran en el rango de 0 a 6 mV. Las frecuencias generadas por una señal mioeléctrica se encuentran en el rango de 0 a 500 Hz y con mayor intensidad entre 50 y 150 Hz. (Sarmiento, 2019)

Existen 2 formas de capturar estas señales, a través de electrodos tipo aguja que son de carácter invasivo, y electrodos superficiales que poseen la ventaja de no ser invasivos y poder colocarlos sobre el músculo del que se desea adquirir o capturar la bioseñal. (Arteaga, 2015)

## CAPÍTULO II

### 2. METODOLOGÍA

Conceptualizados en el Capítulo 1 varios términos pertinentes para la ejecución de este trabajo, en este capítulo se menciona la metodología empleada para alcanzar los objetivos planteados, partiendo de la definición de requerimientos, la determinación del hardware y software necesarios, así como la configuración e implementación del prototipo, la descripción de las pruebas realizadas para la obtención y análisis de resultados.

#### 2.1 Definición de requerimientos

Se planteó como objetivo general el diseño e implementación de un prototipo de conducción asistida para conductores de automóviles en caso de deslumbramiento empleando técnicas de procesamiento digital de imágenes, generando como requerimiento inicial la indagación sobre la existencia de dispositivos para alertar al conductor en el momento de salir del carril así como también estudiar el efecto del deslumbramiento en conductores durante la noche, aspectos cubiertos en el Capítulo 1, información que sirve de referencia para la determinación de requerimientos más específicos para la ejecución de este trabajo.

##### *2.1.1 Requerimientos funcionales del prototipo*

Considerando el fundamento teórico, se determinó que el prototipo debe cumplir con tres funciones específicas:

- Detectar parámetros que determinen un posible deslumbramiento en la vista del conductor.
- Detectar el seguimiento del vehículo por el carril en una carretera señalizada (línea de borde y línea(s) de separación de carril), empleando como herramienta de desarrollo la visión artificial.
- Alertar al conductor en caso de cambio de carril.

En este último requerimiento se planteó la evaluación de un protocolo de comunicación apropiado para asistir al conductor en caso de presentarse un riesgo latente al salirse del carril, se definió evaluar tres tipos de sistemas de alerta:

- Visual
  
- Auditiva
  
- Una señal invasiva al conductor (Pulso eléctrico).

Además, se consideró que el sistema pueda ser un sistema de bajo costo y emplee hardware y software de acceso libre.

### ***2.1.2 Requerimientos de Hardware***

Conociendo fundamentalmente que el prototipo estaría basado en visión artificial, se procedió a detallar las necesidades de hardware para cubrir sus requerimientos funcionales:

- Definir el hardware a emplearse para la adquisición de imágenes.
  
- Determinar el hardware que de soporte para el procesamiento de imágenes.
  
- Establecer el hardware necesario para la implementación de los sistemas de alerta planteados.
  
- Determinar el hardware necesario para la evaluación de la respuesta del conductor ante los sistemas de alerta planteados.

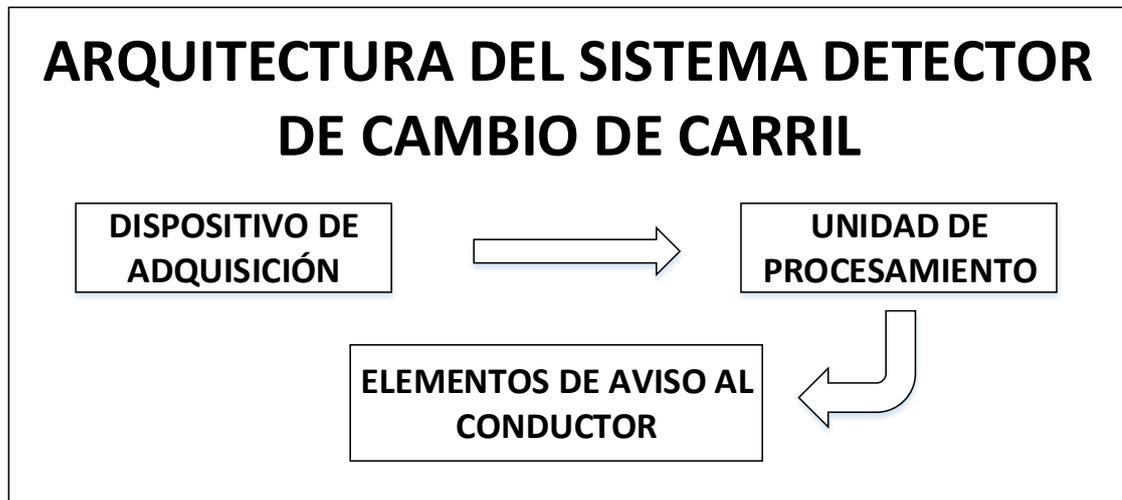
### ***2.1.3 Requerimientos de Software***

Siendo que el prototipo fundamenta su funcionalidad en el procesamiento de imágenes, se requirió el uso de una plataforma software para la codificación de un algoritmo basado en visión artificial, que permita la evaluación de imágenes adquiridas a lo largo del recorrido por la carretera para asistir al conductor para el mantenimiento del vehículo por el carril correcto de circulación.

Además, acorde al hardware empleado se tendrían también plataformas específicas para su respectiva configuración.

## 2.2 Arquitectura del prototipo

La figura 1-2 representa la arquitectura del sistema detector de cambio de carril del prototipo, se considera un bloque general con sub etapas que parten desde la adquisición de la información hacia su procesamiento y la interacción con los elementos de aviso al conductor.



**Figura 27-2.** Arquitectura del sistema detector de cambio de carril

**Realizado por:** Arévalo, J., 2021

El sistema realiza la captación de información a través de un dispositivo de adquisición, en este caso una cámara, el flujo de información se direcciona a una unidad de procesamiento, en la que se encuentra residente el algoritmo para el tratamiento de las imágenes, el objetivo de éste, el detectar las líneas de señalización en la carretera para asistir al conductor a la verificación del mantenimiento de carril, en caso de darse un desvío el prototipo interactúa con el conductor directa e indirectamente por medio de elementos de aviso para inducir la corrección de la trayectoria y retomar el carril correcto.

El prototipo basado específicamente para asistir al conductor en caso de deslumbramiento, considera que dicho parámetro sea su señal de activación. Es decir, en el caso de deslumbramiento se activa el algoritmo de visión y por medio de los elementos de aviso alerta al conductor en caso de ocurrir un desvío de la trayectoria de su carril.

## 2.3 Hardware

En este apartado se establece las características del hardware empleado en la implementación del prototipo.

### 2.3.1 Hardware - Adquisición de información

Como componente para la adquisición de información se empleó una cámara comercial de la marca Genius modelo WideCam F100 Ultra Amplia Full HD. En la figura 2-2 se puede observar la cámara, considerada como idónea para el prototipo por su lente gran angular que cubre un ángulo de hasta 120 grados, lo que permite tener una buena cobertura de la carretera. Adicionalmente permite extender el cable de hasta tres metros más sin atenuación, lo que ayudó al momento de la instalación para las pruebas del prototipo.



**Figura 28-2.** Cámara WideCam F100 para adquisición de información

Fuente: <https://n9.cl/13im>

En la tabla 1-2 se mencionan las especificaciones más relevantes de la cámara empleada para el prototipo.

**Tabla 1-2:** Especificaciones técnicas Cámara WideCam F100

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Sensor de imagen CMOS de píxeles	Sensor de imagen CMOS de píxeles Full HD 1080p
Tipo de lente	Objetivo de enfoque manual
Formato de archivo	MPEG/WMV
Resolución (DPI)	12MP (interpolación), 1920 x 1080, 1280 x 720, 640 x 480 píxeles
Dimensiones	(A x A x P) 150 x 49 x 48 mm

Fuente: (Enfasis, 2014)

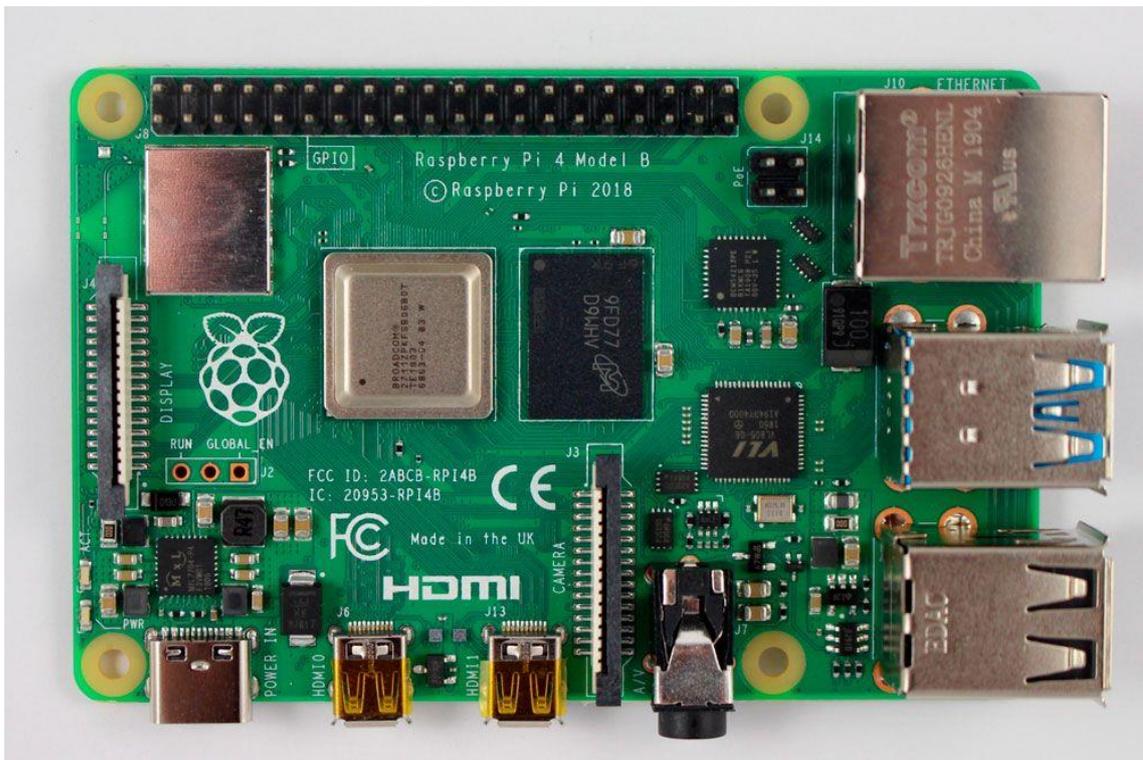
Realizado por: Arévalo, J., 2021

### 2.3.2 Hardware - Unidad de Procesamiento

Como soporte para el procesamiento de imágenes en base a la codificación de un algoritmo basado en visión artificial se propuso la evaluación del prototipo en una mini computadora Raspberry Pi 4 capaz de conseguirla fácilmente en el mercado.

Adicional a cumplir con el procesamiento de la información adquirida por la cámara, este dispositivo será encargado de gestionar señales hacia los elementos de alerta como resultado de la ejecución del algoritmo de visión artificial.

La figura 3-2 representa el modelo de Raspberry Pi 4 y asociada con la tabla 2-2 describen las especificaciones técnicas del dispositivo.



**Figura 29-2.** Raspberry Modelo Pi 4

Fuente: <https://n9.cl/hwyun>

**Tabla 2-2:** Especificaciones técnicas de la Raspberry Pi 4

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Procesador	ARM Cortex-A72
Frecuencia de reloj	1,5 GHz
GPU	Video Core VI (con soporte para OpenGL ES 3.x)

Memoria	1 GB / 2 GB / 4 GB LPDDR4 SDRAM
Conectividad	Bluetooth 5.0, Wi-Fi 802.11ac, Gigabit Ethernet
Puertos	GPIO 40 pines 2 x micro HDMI 2 x USB 2.0 2 x USB 3.0 CSI (cámara Raspberry Pi) DSI (pantalla tácil) Micro SD Conector de audio jack USB-C (alimentación)

**Fuente:** (Rus, 2019)

**Realizado por:** Arévalo, J., 2021

Paralelamente se dispuso de un computador con características superiores a las de la Raspberry Pi 4, para evaluar la velocidad de procesamiento entre los dos dispositivos, en la tabla 3-2 se muestran las características del computador disponible.

**Tabla 3-2:** Características del computador

CARACTERÍSTICA	DISPONIBLE
PROCESADOR	Procesador: Intel ® Core (TM) i7
SISTEMA OPERATIVO	Windows 10
RAM / MEMORIA EN DISCO	8 GB / 1 TB
PANTALLA	1024 x 768

**Realizado por:** Arévalo, J., 2021

### 2.3.3 *Arduino UNO*

Los resultados obtenidos de la evaluación del algoritmo de visión ejecutado en la unidad de procesamiento fueron vinculados con los elementos de aviso para el conductor por medio de un microcontrolador sobre la plataforma Arduino.

La gestión de señales de la unidad de procesamiento para el manejo de alarmas se planificó realizarla a través de comunicación serial, dichas señales de control se manejarían como discretas, e igualmente la ejecución de señales del microcontrolador para las alertas tendría la misma consideración.

La tarjeta Arduino UNO, proporciona la facilidad de comunicación serial y consta de 13 terminales digitales que se pueden manejar como entradas y salidas discretas por lo que resultó idónea para el prototipo.

En conjunto la figura 4-2 y la tabla 4-2 muestran la forma física y las especificaciones técnicas de la tarjeta Arduino UNO R3 respectivamente.



**Figura 30-2.** Tarjeta Arduino UNO R3

Fuente: <https://n9.cl/8v16e>

**Tabla 4-2:** Especificaciones técnicas de la placa Arduino UNO R3

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Microcontrolador:	ATmega328
Voltaje Operativo	5V
Voltaje de Entrada	7-12V
Voltaje de Entrada (límites)	6-20V
Terminales digitales de Entrada/Salida:	14 (6 proveen salida PWM)
Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida	40 Ma
Corriente DC entregada en el Pin	3,3V: 50 Ma
Memoria Flash	32 Kb de los cuales 0,5 KB usados por el bootloader
Memoria SRAM	2KB
Memoria EEPROM	1KB
Velocidad de Reloj	16 MHz
Forma de alimentación	Fuente externa o por USB
Interfaz de comunicación	USB/Serial

Fuente: (Guerrero, 2014)

Realizado por: Arévalo, J. 2021

### ***2.3.4 Hardware – Elementos de aviso para el conductor***

Al tratarse de una comunicación para asistir al conductor se hizo uso de tres tipos de señales de aviso planteadas para el prototipo, para lo cual se consideraron los siguientes elementos hardware.

### 2.3.4.1 DF Player Mini

Esta placa electrónica de tamaño reducido es un reproductor de audio Mp3 consta de un amplificador integrado al que se lo puede conectar directamente un altavoz de 4 a 8 Ohm. Puede funcionar de manera independiente añadiendo pulsadores para gestionar la reproducción de archivos almacenados en una tarjeta de memoria Micro SD. El módulo proporciona dos modos de funcionamiento, uno de ellos conectando pulsadores para el manejo de acciones de play, stop, etc. y otro empleando comunicación serial que le permite conectarse a cualquier microcontrolador con terminales TX/RX, como por ejemplo los de la familia Arduino. (Vázquez, 2016)

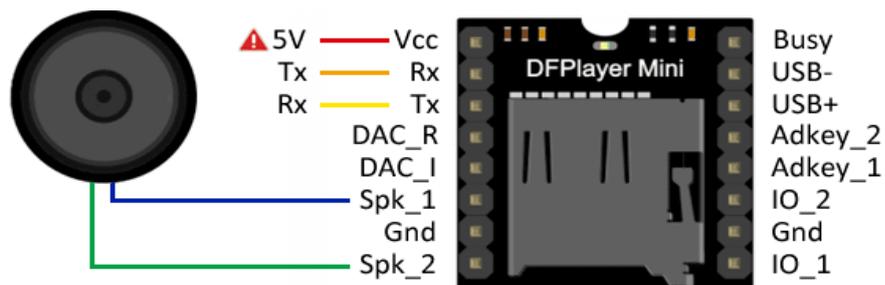
La tabla 5-2 contiene las especificaciones técnicas del módulo DF Player mini y la figura 5-2 muestra su distribución de terminales.

**Tabla 5-2:** Especificaciones técnicas DF Player Mini

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Modelo:	Mini Reproductor Mp3
Dimensiones:	21 mm x 21 mm x 12 mm
Voltaje de alimentación mínimo:	3.3 V
Voltaje de alimentación máximo:	5 V
Admite tasas de muestreo (KHz):	8/11.025/12/16/22,05/24/32/44,1/48
Salida DAC:	24 bits
Rango dinámico:	90dB
Soporte SNR:	85dB
Compatibilidad:	FAT16, sistema de archivos FAT32, tarjeta TF de soporte máximo de 32G, ¿soporte de disco U a 32G 64 G bytes
MicroSD:	Si, soporta hasta 32 Gb
Bocina:	Sí, no exceder los 3W

Fuente: (Vázquez, 2016)

Realizado por: Arévalo, J. 2021



**Figura 31-2.** Distribución de terminales del DF Player Mini

Fuente: <https://n9.cl/r9wq>

A continuación, la tabla 6-2 contiene la descripción de las funciones de los terminales del módulo DF Player Mini.

**Tabla 6-2:** Descripción de funciones de terminales del DF Player Mini.

NO	PIN	DESCRIPCIÓN	NOTA
1	VCC	Input Voltage	DC3.2~5.0V; Type: DC4.2V
2	RX	UART serial input	
3	TX	UART serial output	
4	DAC_R	Audio output right channel	Drive earphone and amplifier
5	DAC_L	Audio output left channel	Drive earphone and amplifier
6	SPK2	Speaker-	Drive speaker less than 3W
7	GND	Ground	Power GND
8	SPK1	Speaker+	Drive speaker less than 3W
9	IO1	Trigger port 1	Short press to play previous (long press to decrease volume)
10	GND	Ground	Power GND
11	IO2	Trigger port 2	Short press to play next (long press to increase volume)
12	ADKEY1	AD Port 1	Trigger play first segment
13	ADKEY2	AD Port 2	Trigger play fifth segment
14	USB+	USB+ DP	USB Port
15	USB-	USB- DM	USB Port
16	BUSY	Playing Status	Low means playing \High means no

Fuente: (Vázquez, 2016)

#### 2.3.4.2 Generador de pulso eléctrico

Con la finalidad de experimentar con un protocolo de señal de aviso considerado invasivo para el conductor se determinó el uso de un generador de pulso, el mismo que requiere producir una señal de descarga capaz de alertar pero que resulte inofensiva.

El principio de funcionamiento del generador empleado se basa en la aplicación de un voltaje a un inductor que crea un campo electromagnético, el valor de inductancia incide en la velocidad con la que se dé dicho proceso, este valor tiene relación de proporcionalidad directa respecto al número de espiras del inductor.

$$E = -\frac{d\phi}{dt} = -L\frac{dI}{dt} \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

E = Fuerza electromotriz inducida

$d\phi$  = Variación de flujo magnético

$dt$  = Variación del tiempo

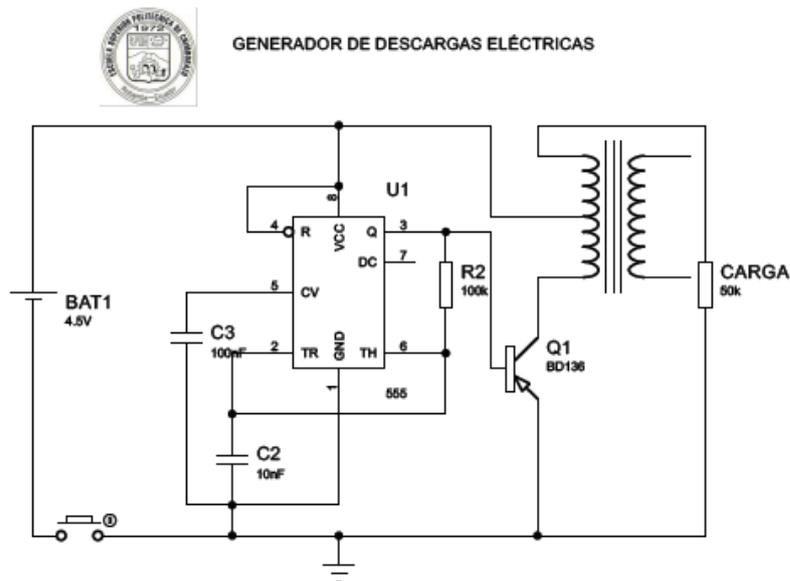
L= Valor de inductancia del inductor

$dI$  = Variación de corriente

Considerando la ecuación Ec-1 se menciona que al circular una corriente alterna a través de un inductor, ésta genera un flujo magnético el mismo que al variar respecto al tiempo induce una fuerza electromotriz. Paralelamente se establece que el valor de inductancia de la bobina en producto con la variación de corriente respecto al tiempo describe también la generación de una tensión inducida.

Cuando a través de una bobina circula una corriente y esta es cortada bruscamente se producen picos de tensión y por ende se eleva la corriente también.

La figura 6-2 representa el esquema eléctrico del generador de descarga eléctrica que se emplea para inducir un pulso al conductor como forma de alerta.



**Figura 32-2.** Esquema eléctrico generador de descarga eléctrica

Fuente: <https://n9.cl/7rv9b>

Se utilizó como base del generador uno extraído de las bromas de descarga eléctrica comerciables que maneja en este caso los siguientes elementos que se describen en la Tabla 7-2.

**Tabla 7-2:** Elementos del generador de descarga eléctrica

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Autotransformador	Su función es elevar los picos de tensión
Oscilador	Representado como un interruptor, es una placa con una gota de resina Epoxi, diseñada para conectar y desconectar con una frecuencia de 150Hz
Fuente de alimentación	Es un arreglo de 3 pilas de 1,5 [v]

**Fuente:** (Guzmán, 2020)

**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

### 2.3.5 Brazalette MYO

Desarrollado por Thalmic Labs, una compañía con sede en Canadá, Myo es un brazalette inalámbrico con 8 sensores muy sensibles que permite controlar un dispositivo de forma inalámbrica por medio de señales mioeléctricas que producen los músculos cuando estos están contraídos y relajados, según (Arias, y otros, 2018) el dispositivo se compone de:

- 8 sensores EMG,
- Una unidad de medición inercial o IMU de 9 ejes
- Un procesador Cortex
- M4 de bajo consumo
- Un modulo bluetooth low energy tranceiver/processor



**Figura 33-2.** Brazalette MYO

**Fuente:** <https://n9.cl/ty5c>

Su funcionamiento se basa en los impulsos eléctricos generados por los músculos por medio de los 8 sensores EMG que responden y reconocen cada gesto, siendo necesario que cada usuario

calibre el brazalete debido a que los sensores responden de acuerdo al tamaño del músculo y tipo de piel.

El brazalete MYO es compatible con los sistemas operativos Windows 7, Windows 8 y Windows 10 y Mac OS X 10.8 y superior, dispositivos con iOS 7.0 y superior, así también como dispositivos con Android 4.3 o superior que cuenten con soporte para bluetooth 4.0 LE. (Arteaga, 2015)

### 2.3.6 Luxómetro

El equipo utilizado para la medición de luz es un LUXÓMETRO digital, modelo UT383, con un sensor que registra la cantidad de luz emitida por las fuentes productoras de luz, en este caso del reflejo producido por los faros del auto.

El Luxómetro no tiene la capacidad de registrar medidas a altas distancias, ya que su uso básicamente es para medir la cantidad de luz que tienen las localidades donde opera las personas. En este caso para medir la cantidad de luz que hay en el habitáculo del conductor haciendo una comparación con la cantidad de brillo que detecta el algoritmo de procesamiento de imágenes. La figura 8-2 representa un mini Luxómetro UT383



**Figura 34-2.** Luxómetro UNI-T UT 383  
Fuente: <https://bit.ly/3BI1aHu>

**Tabla 8-2:** Especificaciones técnicas del Luxómetro

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Luminancia	0 ~ 9999Lux
Rango de medición	0 ~ 200,000
Frecuencia de muestreo	0 ~ 9999Fc
Exactitud	± 4% rdg + 5dgts
Resolución	10LUX
Alimentación	Batería de 1,5 V (R03) x 3

Fuente: (AibiTech, 2021)

Realizado por: Arévalo, J. 2021

### ***2.3.7 Cockpit Simulator***

Para poder determinar el protocolo de comunicación adecuado para asistir al conductor se consideró utilizar un simulador de vehículo, con el fin de complementar las pruebas y los resultados tomados en la vía al momento de evaluar los tres tipos de sistemas de alerta.

Para ello se utilizó el cockpit simulator que no es más que una cabina de simulación o un bastidor de carreras que simula el estar sentado en un vehículo, con el fin de generar un ambiente con distractores. La figura 9-2 muestra el cockpit simulator Logitech que fue el empleado en la experimentación.



**Figura 35-2.** Cockpit simulator Logitech

**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

### ***2.3.8 Conexiones del hardware***

La figura 10-2 representa el esquema de conexiones con elementos físicos realizado para la gestión de las señales de alerta que se evalúan como protocolo de asistencia al conductor. La figura 11-2 muestra el diagrama eléctrico de conexiones.

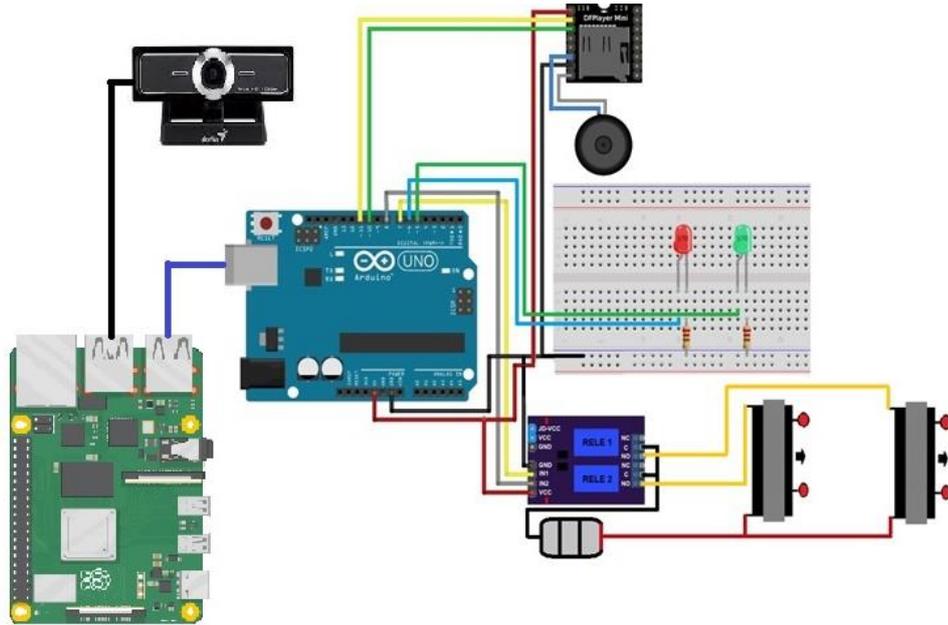


Figura 36-2. Esquema de conexión de las señales de alerta.

Realizado por: Arévalo, J. 2021

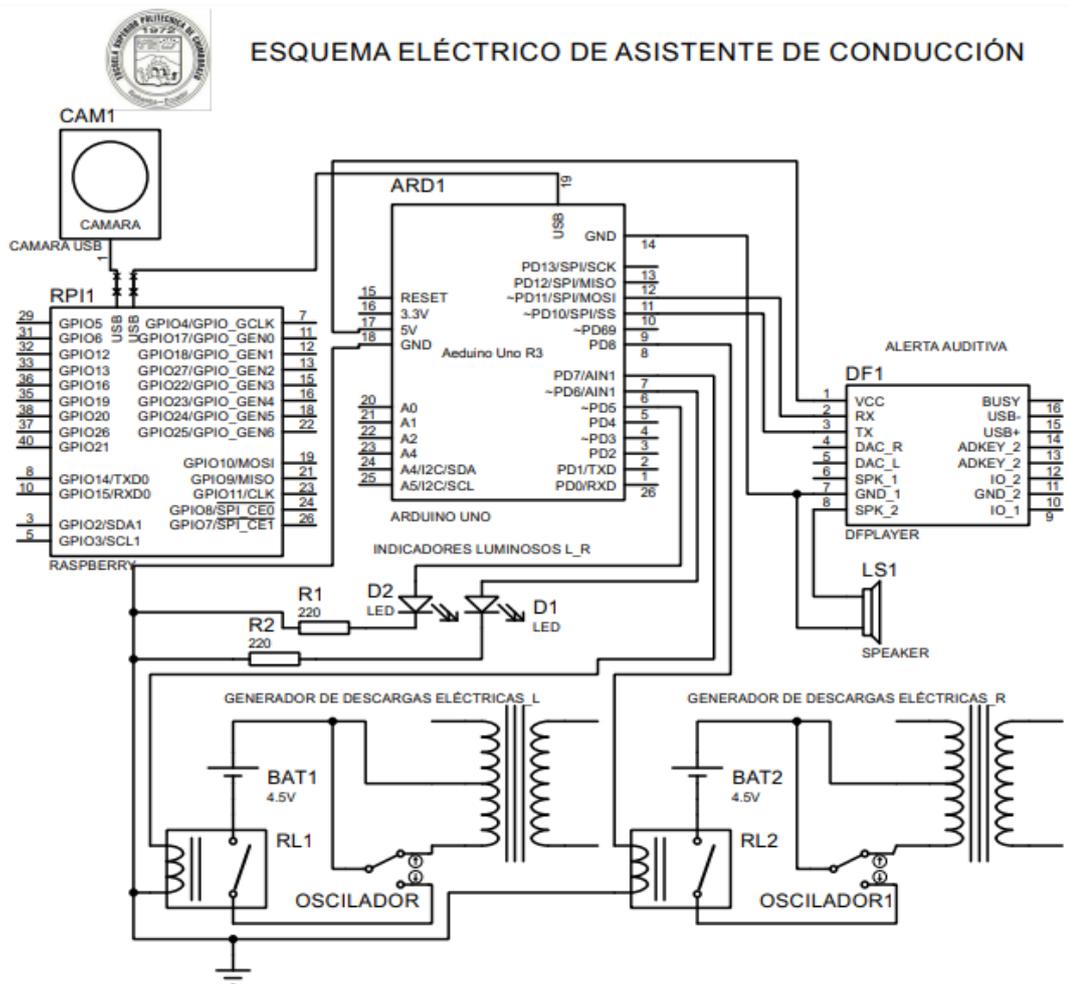


Figura 37-2. Diagrama eléctrico de conexiones.

Realizado por: Arévalo, J. 2021

La tabla 9-2 determina los pines y la manera en la que se asocian los elementos del circuito eléctrico descrito anteriormente.

**Tabla 2-2:** Elementos del generador de descarga eléctrica

ARDUINO	DF PLAYERMINI	BOCINA	LED 1	LED 2	MÓDULO RELE 1	MÓDULO RELE 2
Pin 11	Rx					
Pin 10	Tx					
	Spk_1	Pin (+)				
	Spk_2	Pin (-)				
Pin 5			Pin (+)			
Pin 6				Pin (+)		
Pin 7					IN 1	
Pin 8						IN2

**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

### 2.3.9 Configuración del Hardware

#### 2.3.9.1 Configuración inicial de la Raspberry

Tanto en la Raspberry como en el microcontrolador empleados como unidades de procesamiento se requiere de una configuración inicial.

Montado el sistema operativo en la Raspberry se realizó:

- La expansión del sistema de archivos con el fin de optimizar recursos, en vista de que en la instalación de Raspbian Buster en la tarjeta SD éste ocupa poco espacio de memoria, se procedió a la asignación del espacio libre para el almacenamiento de datos.
- A través del terminal actualizar los paquetes existentes, instalar dependencias, bibliotecas de E / S y paquetes de optimización para OpenCV.
- Montar paquetes de E/S de imagen para cargar varios formatos de archivo de imagen desde el disco.
- Se debe incluir paquetes de E / S de video.

Se recomienda que al trabajar con Python se emplee un entorno virtual, considerado como un espacio virtual de desarrollo / prueba / producción aislada en su sistema; está completamente

aislado de otros entornos y permite administrar los paquetes de Python dentro de su entorno virtual con *pip* que es uno de los gestores de entornos y paquetes virtuales existentes.

Realizadas las configuraciones descritas, la Raspberry se encuentra lista para desarrollar el algoritmo para el procesamiento de imágenes.

### *2.3.9.2 Configuración del microcontrolador sobre la plataforma Arduino*

Empleando el IDE de Arduino v.1.8.13 se procedió a la programación del microcontrolador ATMEGA 328A albergado en la placa Arduino UNO. Se plantea como requerimiento el abrir el puerto serial del microcontrolador porque es el medio de vinculación con la Raspberry, la misma que gestionará las señales de control para el manejo de los sistemas de alerta.

Se requirió instalar la librería *Firmata* que implementa el protocolo *Firmata* para comunicarse con el software en la computadora host, convirtiendo al Arduino en una pasarela de información desde la Raspberry hacia los sistemas de alerta.

## **2.4 Software**

En este punto se describe el desarrollo del algoritmo para el procesamiento de imágenes fundamentado con la representación de instrucciones, secuencias y comandos empleados.

### *2.4.1 Desarrollo del Algoritmo para el procesamiento de imágenes.*

Para el desarrollo del software, se trabajó en el lenguaje de programación Python, a continuación, se describen las líneas de código más relevantes utilizadas para el desarrollo del mismo, especificando cada uno con su respectiva acción.

Se empezó importando librerías necesarias con las que se dará tratamiento a las imágenes mediante algoritmos de visión artificial.

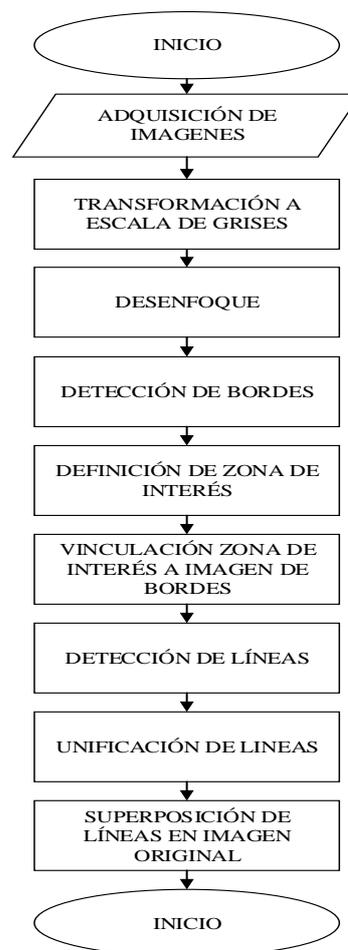
#### *2.4.1.1 Importación de librerías*

Se importó la librería OpenCV que es una librería de software open-source de visión artificial y machine learning, que posee más de 2500 algoritmos, incluidos los de machine learning y visión

artificial listos para usar. Se importaron también algunas librerías de uso específico como la *matplotlib* para trabajar con gráficos, *math* empleada para el manejo de operaciones con matrices, *playsound* para el manejo de recursos de audio y *pyfirmata* que es la librería que permite la interacción del algoritmo de visión con el entorno físico a través del Arduino.

#### 2.4.2 Detección de líneas del carril

Una vez cargadas las librerías que proporcionen los recursos necesarios para el desarrollo del algoritmo de visión artificial, se procedió a definir a la implementación del mismo. A continuación, en el gráfico 1-2 se detalla como diagrama de flujo la secuencia de pasos para el procesamiento de las imágenes para la detección de líneas.



**Gráfico 3-2.** Diagrama de flujo para el procesamiento de imágenes para la detección de líneas

Realizado por: Arévalo, J., 2021

#### 2.4.2.1 Adquisición de imágenes

El algoritmo parte de la adquisición de la imagen, se consideró inicialmente trabajar con imágenes estáticas, para posteriormente realizar la evaluación en forma de adquisición en video en tiempo real. La imagen se carga a través de la instrucción `cv2.imread('imagen_prueba.jpg')`, posteriormente empleando la función `cv2.COLOR_BGR2GRAY` convertir a la imagen en escala de grises, se realiza esta acción con el fin de poder trabajar la imagen con mayor facilidad, pues los tres canales se reducen a un solo canal que representa la intensidad de la imagen, facilitando la extracción de información y características propias de la imagen a analizar posteriormente (Tutorialspoint, 2021). La figura 12-2 representa la imagen adquirida en la carretera experimental.



**Figura 38-2.** Imagen adquirida.

Realizado por: Arévalo, J. 2021

#### 2.4.2.2 Desenfoque de imágenes

Con la finalidad de eliminar el ruido de alta frecuencia, esto es, zonas en las que los pixeles cambian muy rápido en una imagen, OpenCV dispone de la función *GaussianBlur* que es una operación que permite aplicar un filtro de desenfoque a una imagen para suavizarla. El efecto visual generado por esta técnica es un desenfoque suave se lo puede asemejar a una imagen vista a través de una pantalla translúcida, esto se diferencia del efecto bokeh que es resultado de una lente desenfocada o la sombra de un objeto bajo iluminación ambiente. El tamaño de núcleo cuanto más grande sea, mayor será el desenfoque, se utilizó tamaño de núcleo aconsejable de 5x5 (Tutorialspoint, 2021). La figura 13-2 representa la imagen adquirida aplicada filtro para transformación a escala de grises.

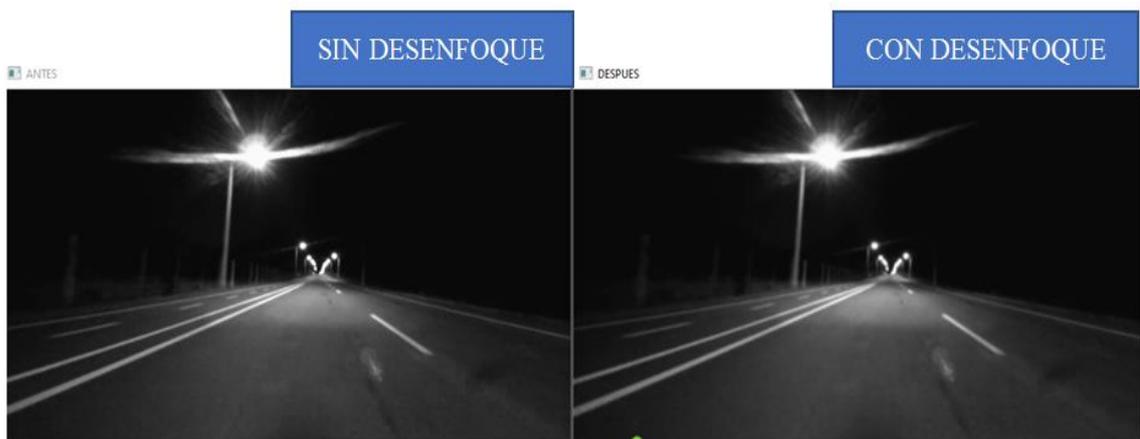


**Figura 39-2.** Imagen adquirida aplicada filtro para transformación a escala de grises.

**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

#### 2.4.2.3 Detección de bordes en las imágenes

A continuación, sobre la imagen resultante de la aplicación del desenfoque se aplica la función Canny con el comando `cv2.Canny()` empleada para la detección de bordes en el procesamiento de imágenes. Los bordes son considerados como una agrupación de puntos en una imagen en los cuales el nivel de intensidad en una determinada dirección cambia drásticamente y definen los límites de los objetos. La función Canny hace uso de filtros de paso alto, esto se refiere a que deja pasar los componentes de frecuencia alta y por el contrario, no deja pasar los componentes de frecuencia baja. La principal aplicación de este tipo de filtro es la detección de zonas de contraste elevado como los bordes generando una imagen binaria que marca los bordes detectados (Tutorialspoint, 2021). La figura 14-2 muestra la extracción de bordes de la imagen tomada en escala de grises.



**Figura 40-2.** Extracción de bordes de la imagen tomada en escala de grises.

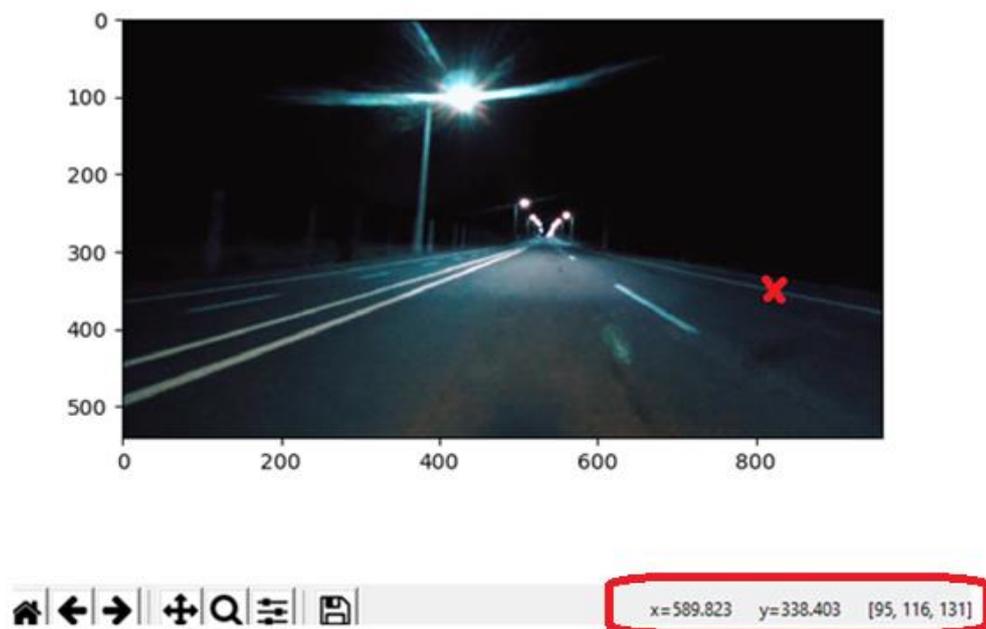
**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

#### 2.4.2.4 Identificación de Zona de interés

Una zona de interés puede ser definida como el área de una imagen en la que se desea enfocar el análisis de imagen. Para definir la zona de interés fue preciso realizar ciertas acciones, partiendo de la identificación de píxeles sobre las líneas del carril, esta acción sirve para definir los puntos de referencia para el trazo de asíntotas para la zona de interés.

Considerando que las imágenes se codifican como matrices y específicamente al tratarlas en escala de grises, se codifican como una matriz de dos dimensiones, representando cada elemento perteneciente a ella la intensidad de un píxel.

Se empleó la librería *matplotlib* que permite visualizar las imágenes empleando su módulo *pyplot* y a su vez éste con su función invocada por el comando *plt.imshow* muestra las matrices y recibe la imagen como parámetros (Tutorialspoint, 2021). La figura 15-2 permite visualizar la identificación de las coordenadas X, Y de las líneas del carril con ayuda del cursor.



**Figura 41-2.** Identificación de píxeles de las líneas del carril con el cursor.

**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

Los píxeles definidos para la identificación de los carriles serán variables de acuerdo al posicionamiento de la cámara de adquisición de imágenes. Con esta acción se pudo determinar la altura máxima de la imagen y asignar a una variable a través de la librería *numpy* una matriz de cuatro puntos para formar un polígono que especifique la zona de interés.

Se define la zona de interés con la finalidad de agilizar el procesamiento sobre los píxeles y establecerla como el único y principal objetivo para la detección de las líneas del carril y más no las líneas de toda la carretera ni mucho menos el resto del escenario.

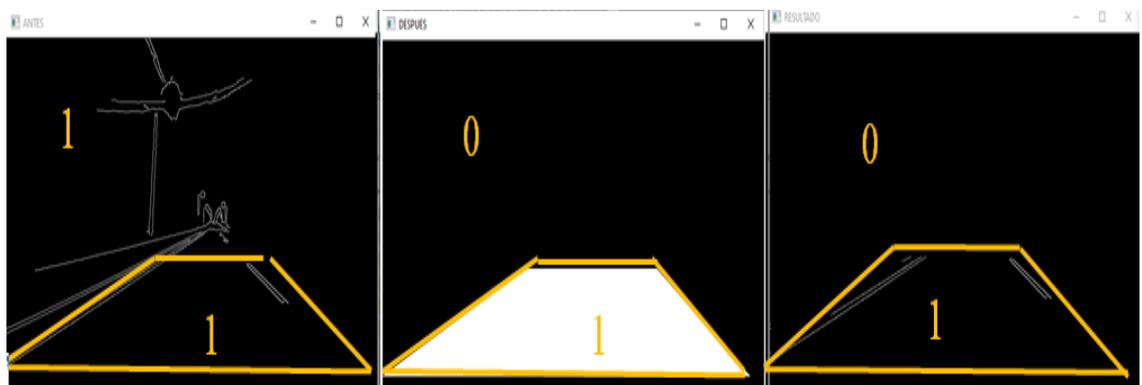
Se creó una matriz de ceros con las mismas dimensiones de la matriz generada con la imagen adquirida que actúe como máscara con la función `np.zeros_like()` y sobre ésta máscara se dibujó y rellenó la zona de interés con un color específico empleando la función `fillPoly`. La figura 16-2 representa la máscara en la que se dibujó la zona de interés delimitada por los cuatro puntos obtenidos como referencia de las líneas del carril.



**Figura 42-2.** Mascará de zona de interés.

**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

Para continuar con el procesamiento como muestra la figura 17-2, se unió la imagen resultado de la detección de bordes con la función Canny y la imagen donde se define la zona de interés, se usó el comando `cv2.bitwise_and(imagen 1, imagen 2)`.

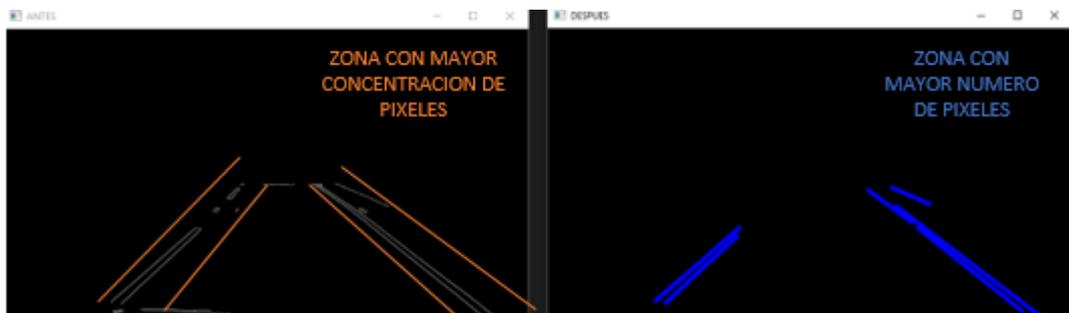


**Figura 43-2.** Unión de imagen Filtro Canny y máscara zona de interés

**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

Para la identificación de líneas dentro de la zona de interés se lo realizó mediante la técnica de la transformada de Hough que es una herramienta utilizada para detectar figuras en una imagen digital y ser expresadas matemáticamente, tales como rectas, círculos o elipses. En sus inicios esta técnica se aplicaba solo a la detección de rectas en una imagen, y posteriormente se amplió para la identificación de cualquier figura que se pudiera ser descrita con unos cuantos parámetros. Debido a las imperfecciones, ya sea de la imagen captada o del detector de bordes, existen muchos puntos que pertenecen a la línea y que faltan en la imagen; también pueden existir separaciones espaciales entre la figura ideal (por ejemplo, una recta) y los puntos ruidosos del borde detectado. El objetivo de la transformada de Hough es resolver este problema, haciendo posible realizar agrupaciones de los puntos que pertenecen a los bordes de posibles figuras a través de un procedimiento de votación sobre un conjunto de figuras parametrizadas (Tutorialspoint, 2021).

Para parametrizar esta función se empleó el comando `cv2.HoughLinesP(cropped_image, 2, np.pi/180, 100, np.array([]), minLineLength=40, maxLineGap=5)` que representa en sus atributos la imagen a tratar, el recorrido de los 360°, longitud mínima de línea y la distancia máxima para que detecte que es una línea. La figura 18-2 muestra la identificación de líneas mediante la transformada de hough identificando la zona con mayor concentración de pixeles.



**Figura 44-2.** Identificación de líneas mediante la transformada de Hough

**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

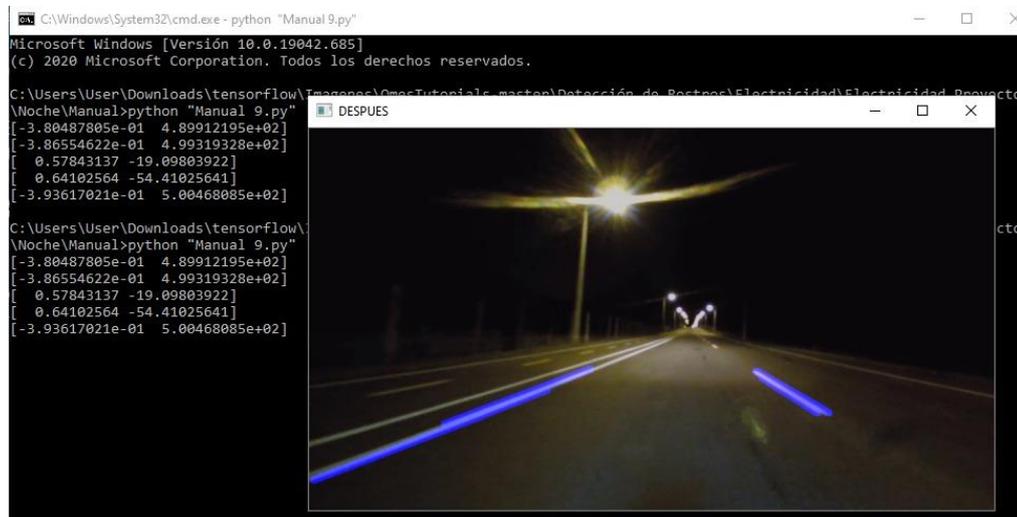
La imagen de líneas tiene una intensidad mayor en sus pixeles, para compensar con la imagen original se reduce a 80% = (0.8) la figura 19-2 representa la superposición de las líneas y la imagen original.



**Figura 45-2.** Superposición de la imagen con líneas y la imagen original

**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

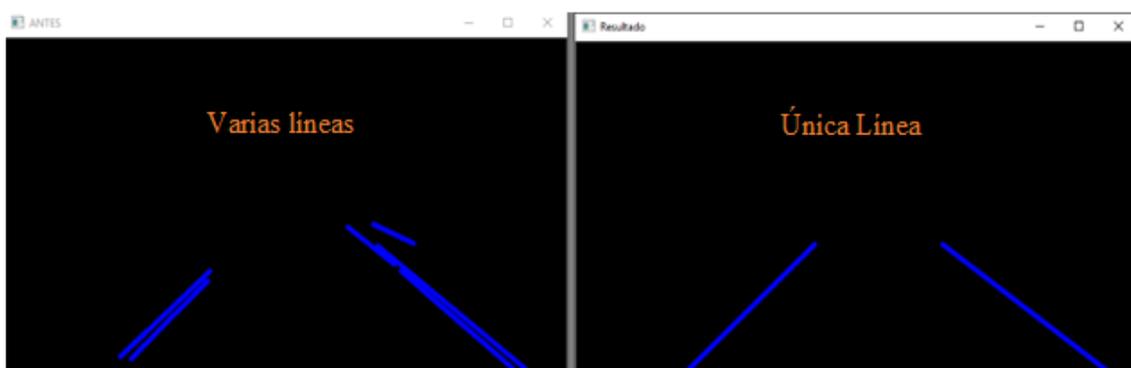
Identificadas las líneas en la zona de interés se procede a establecer el lado al que corresponden, es decir si son líneas derechas o izquierdas, para ello se calcula la pendiente de las rectas. Cuando la pendiente es positiva ( $m > 0$ ) la gráfica de la recta se inclina hacia la derecha y si es negativa ( $m < 0$ ) la recta se inclina hacia la izquierda. La figura 20-2 representa la identificación de líneas de carril derechas e izquierdas mediante la evaluación de la pendiente con el monitoreo de valores desde el terminal.



**Figura 46-2.** Identificación de líneas de carril derechas e izquierdas

Realizado por: Arévalo, J. 2021

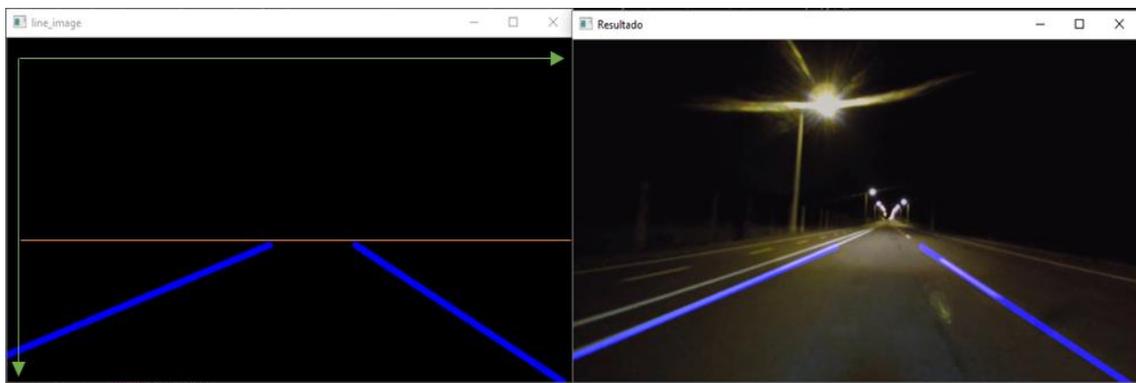
Considerando que las líneas de división de carriles suelen ser continuas y entre cortadas se procedió a agrupar pequeños segmentos de línea, creando una única línea, con pendiente y longitud, se usó el comando `np.average(left_fit , axis=0)` que actúa como una función de promedio, es decir suma todas las rectas derechas e izquierdas correspondientemente y genera una recta promedio por lado. La figura 21-2 representa la agrupación de pequeños segmentos de línea en una sola línea única.



**Figura 47-2.** Agrupación de pequeños segmentos de línea en una única línea

Realizado por: Arévalo, J. 2021

Finalmente, en esta sección se procedió a determinar un límite para la detección de líneas. Mediante la pendiente y un punto situado, se predice dónde debe encontrarse la recta. Este procedimiento ayuda a la detección rápida de carril. Mediante el punto inicial en el punto x se crea una recta con la pendiente correspondiente. Está limitado en cierto porcentaje, porque se encuentra dentro de la zona de interés que será calibrada acorde a la posición de la cámara. La figura 22-2 representa la predicción de la recta con la pendiente correspondiente.



**Figura 48-2.** Predicción de la recta con la pendiente correspondiente

Realizado por: Arévalo, J. 2021

Para una adquisición continua de imágenes por medio de un video predefinido o cargado en tiempo real desde el dispositivo de adquisición se debe incluir todo el código en una función de repetición While y seleccionar una tecla de interrupción. A continuación, se presenta el extracto del código para la adquisición de un video guardado y en la figura 23-2 se exponen algunas escenas de video procesado.

```
cap=cv2.VideoCapture('test.mp4')
while(cap.isOpened()):
    _, video = cap.read()
    canny_image = canny(video)
```



**Figura 49-2.** Escenas de video procesado

Realizado por: Arévalo, J. 2021

### 2.4.3 Detección de cambio de carril

Inicialmente, se superpuso en la pantalla de procesamiento de las imágenes entrantes a través de video una ventana con las coordenadas de las líneas tanto izquierda, derecha y central, esta última generada como recurso para la determinación de un cambio de carril. Se colocaron tres indicadores que representan la tendencia al desvío.

Adicionalmente, se caracterizó con color el área comprendida entre las líneas definidas izquierda y derecha de la zona de interés para un mejor monitoreo del seguimiento del carril

La figura 24-2 representa la superposición de recursos gráficos para el monitoreo del seguimiento de carril.



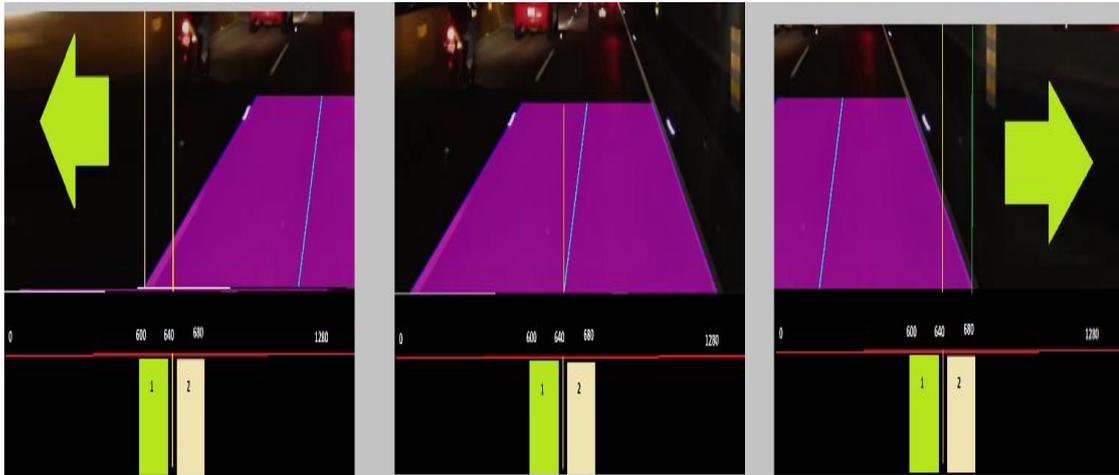
**Figura 50-2.** Superposición de recursos gráficos para el monitoreo del seguimiento de carril

Realizado por: Arévalo, J. 2021

De manera específica para la verificación de cambio de carril se consideró generar una recta de referencia central, una recta que atraviesa la superficie marcada del carril por la mitad, es el resultado de  $media\_linea2 = (coordenadas\_linea\_izquierda + coordenadas\_linea\_derecha) / 2$  el proceso consiste en sacar las coordenadas medias de la recta de carril izquierda y derecha, esta recta sirve como guía y pueden ser omitida.

El algoritmo programado para la detección del cambio de carril maneja la creación de una recta central fija y una dinámica que se actualiza según la trayectoria del vehículo. La comparación entre el punto medio de la imagen y el punto medio entre los carriles con

(*coordenadas\_linea\_central2 - centro\_image*) determinan el proceso de cambio de carril. La figura 25-2 representa gráficamente la identificación de cambio de carril.



**Figura 51-2.** Identificación de cambio de carril.

**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

Cabe indicar que dentro de la programación se estableció un tiempo que determine qué, si el desvió de la línea central supera ese tiempo, se considere un cambio de carril, sino simplemente se mantenga evaluando.

#### ***2.4.4 Deslumbramiento en la conducción nocturna***

Para determinar el deslumbramiento en los conductores, el cual es causado principalmente por los faros de los vehículos que circulan en sentido opuesto, se realizó una serie de pruebas para determinar de manera experimental el porcentaje o nivel de umbral luminoso al cual una persona se deslumbra.

También se estipuló que en la actualidad no hay una prueba estándar normalizada para poder contabilizar el deslumbramiento generado en la conducción en carretera, esto en base a la investigación realizada sobre el deslumbramiento y la afectación a los conductores la cual se encuentra detallada en el marco teórico.

#### 2.4.4.1 Detección de Encandilado

La detección del encandilado se la trabajó en base al análisis del brillo, por lo que inicialmente a la imagen se la lleva al modelo de color HSV y se extrajo los canales como imágenes únicas empleando el código `split = cv2.split(Elemento)`, para finalmente trabajar solo con el canal que describe el brillo.

De la imagen adquirida se seccionó con la creación de una máscara superpuesta de cuadrículas, se creó una zona base `Base = video2 [0: round (HEIGHT/nY),0: ancho]` desde donde se consideró trazar la máscara. La figura 26-2 representa la creación de cuadrículas.



**Figura 52-2.** Creación de cuadrículas

**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

Creada la mascarará de cuadrículas, a cada cuadro se le determina como una zona de imagen en base a sus coordenadas, con el fin de evaluar la cantidad de brillo que concentra cada una de ellas. A continuación, el código empleado

```
Base = video2[0: round (HEIGHT/nY),0: ancho]
```

```
for Ca in Cap:
```

```
    SEL = cv2.calcHist(Ca, [2], None, [histSize], histRange, accumulate=accumulate)
```

Se secciono el área de análisis de la imagen en 200 cuadros y se estableció mediante código que el programa detecte un encandilamiento de acuerdo al porcentaje de cuadrículas que detecten un

nivel de brillo alto, dicho porcentaje se lo definió a través de la experimentación, en base a las pruebas realizadas para obtener un valor al que se genera el deslumbramiento.

La razón por la cual se determinó establecer así el umbral, fue debido a que en la actualidad aún no hay una prueba estándar normalizada para poder contabilizar el deslumbramiento, es por ello que para determinarlo se tomó como referencia el reglamento de iluminación y señalización vehicular (Sanleón, 2011), para el control del efecto deslumbrante de un faro, el cual se rige a través de la directiva que considera nulo el deslumbramiento cuando la iluminación a 25 m de distancia, a la altura del centro del faro, no excede de 1 lux, es decir que si la iluminancia medida a través del luxómetro da un valor mayor a 1 lux se considera un deslumbramiento.

El proceso consistió en realizar pruebas con 5 conductores, a los que se les pidió que informen cuando perciban un deslumbramiento, conjuntamente a esto se midió la cantidad de luxes producidos en ese momento, los cuales sirvieron para poder relacionar y determinar un valor de iluminancia, posterior a eso con la cantidad de luxes medidos se procedió a analizar el video a través del algoritmo que detecta un cambio brusco en la intensidad de los píxeles. Determinando así que cuándo el fondo y la cuadrícula tienen distintos valores de brillo, una se tornará de color oscuro y la otra tomará una tonalidad casi blanca por el encandilado.

Se visualizó cuáles son las celdas activas, se realizó la comparación de cuadrícula en cuadrícula y si la cuadrícula vecina está activa, por cada vecino activo se suma 1. Determinando así que el valor medio de celdas que detectan un nivel de brillo alto es de 40 con un flujo luminoso de 52 lux. Obteniendo así que el porcentaje óptimo de sensibilidad del algoritmo era del 20%, es decir si de las 200 secciones generadas en la zona de cuadrícula se activan 40 o más secciones con un nivel de brillo alto, el sistema de reconocimiento de carril se activa.

#### ***2.4.5 Comunicación con el exterior***

Planteada la interacción del algoritmo de visión con señales de alerta para el conductor en caso de anomalías ya determinadas, se había anteriormente establecido el uso de un microcontrolador albergado sobre una plataforma Arduino, el mismo que por medio de comunicación serial recibiría señales de control desde la Raspberry Pi 4. Para realizar esta comunicación dentro del algoritmo se importó la librería *firmata* y con la ejecución de la línea de comandos `PORT = pyfirmata2.Arduino.AUTODETECT` se detectó el puerto al que está conectado el microcontrolador y con `board = pyfirmata2.Arduino(PORT)`.

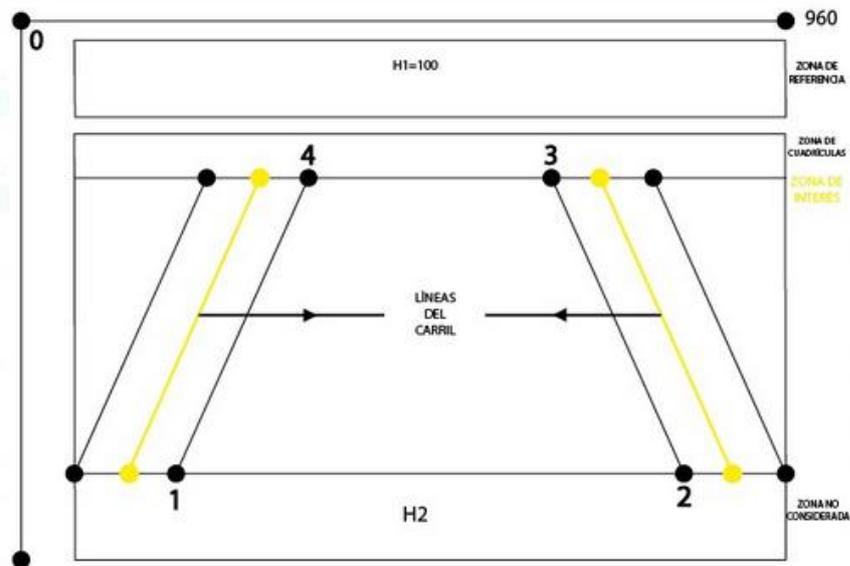
## CAPITULO III

### 3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este punto se establecen las pruebas realizadas y los resultados obtenidos en el sistema para la detección de carril y el protocolo de señales de alerta para el conductor.

#### 3.1 Validación del sistema

Como resultado del tratamiento de las imágenes para la detección del carril se establecieron criterios importantes para la calibración del mismo, la figura 1-3 muestra las zonas y parámetros a considerarse dentro del proceso de calibración del sistema de visión para la detección de líneas del carril, desvío de carril y encandilado.



**Figura 53-3.** Zonas y parámetros dentro del proceso de calibración del sistema de visión

Realizado por: Arévalo, J. 2021

La tabla 1-3 muestra una descripción de cada zona resultante definida en la programación para el procesamiento de imágenes.

**Tabla 4-3:** Descripción de la Zonas definidas en la programación para el procesamiento.

ZONA	DESCRIPCIÓN
ZONA DE INTERÉS	Es el área delimitada por los pixeles tomados con la librería <i>matplotlib</i> para la identificación de las líneas del carril y delimitada por la profundidad del alcance.

ZONA DE REFERENCIA	Esta zona es el espacio que se deja como no procesado para acortar el área de análisis considerando que no tendría sentido analizar toda la imagen pues puede darse el caso de que exista un automóvil más adelante.
ZONA NO CONSIDERADA	Esta zona hace referencia al espacio que se visualiza del automóvil, que no representa un área de análisis.
ZONA DE CUADRÍCULAS	Establece la zona de interés para la identificación del encendido, está compuesta de 200 secciones.
H1	Es el valor en Pixeles (100) que determina la extensión de la zona de referencia.
H2	Es el valor en Pixeles que determina la extensión de la zona no considerada.
ASINTOTAS IZQUIERDA	Son las líneas que contienen la recta izquierda del carril (Amarilla), representan la tolerancia para no ser considerado como un cambio de carril.
ASINTOTAS DERECHA	Son las líneas que contienen la recta derecha del carril (Blanca), representan la tolerancia para no ser considerado como un cambio de carril.

Realizado por: Arévalo, J. 2021

### 3.1.1 Pruebas y resultados para el reconocimiento del carril.

Para la evaluación del algoritmo que rige el sistema de visión artificial se consideraron dos situaciones experimentales:



**Figura 54-3.** Posiciones de la cámara para la adquisición de imágenes

Realizado por: Arévalo, J. 2021

La primera consiste en el posicionamiento de la cámara, la figura 2-3 representa las tres posiciones asignadas para el hardware de adquisición para las pruebas:

Sobre el techo del automovil.

Entre el espacio del capó y el parabrisas.

En la parte frontal del automovil.

Se seleccionó estas posiciones de experimentación basado en el factor de la cobertura de la iluminación, pues al definir lux como medida de iluminación por metro cuadrado y lúmenes como la cantidad de luz existente en un área total de cobertura, se consideró que los faros de los autos alumbran un área establecida acorde a su tipo y potencia, según reglamento las luces de los autos no deben superar los 2.400 lúmenes, la disipación de luz es en forma triangular. La cámara empleada como se manifestó es de un ángulo de cobertura de 120° al posicionarlo en el centro del auto la cobertura es de 60° por lado que resulta óptimo para cubrir el ancho de la calzada de 3,5 metros. Se presenta un cálculo para determinar si la cobertura de la cámara disponible es la ideal para el trabajo:

**Dcs:** Distancia de la cámara a la superficie que se desea observar: 6m

**As:** Ancho de la superficie que se desea observar: 3,5m

**Ts:** Tamaño del sensor de la cámara 1/2" equivalente a 1,2cm

Tamaño del lente= $(Dcs/As)*Ts$

**Tamaño del lente**= 2,057mm

Enfoque vertical aproximado= $As*0,75$

Enfoque vertical aproximado= 2,625 m

Con estos valores se determina que a los 6 metros de distancia de la cámara se podrá tener una buena imagen en la cobertura horizontal, y de cobertura vertical los 2,625 m que son un buen parámetro ya que supera la altura del auto. Éstos parámetros determinan cómo la cámara proyecta los puntos del mundo 3D al plano de la imagen en 2D.

La segunda fue evaluar el sistema en el día y en la noche experimentando también en todas las posiciones determinadas. La figura 3-3 representa la prueba con la cámara posicionada entre el capó y el parabrisas del automóvil en la noche. La figura 4-3 permite visualizar el monitor VNC montado en la laptop para monitoreo de la señal de video a procesarse y la acción de respuesta del algoritmo de visión.



**Figura 55-3.** Prueba en día-noche posición de cámara entre el capó y el parabrisas.

Realizado por: Arévalo, J. 2021

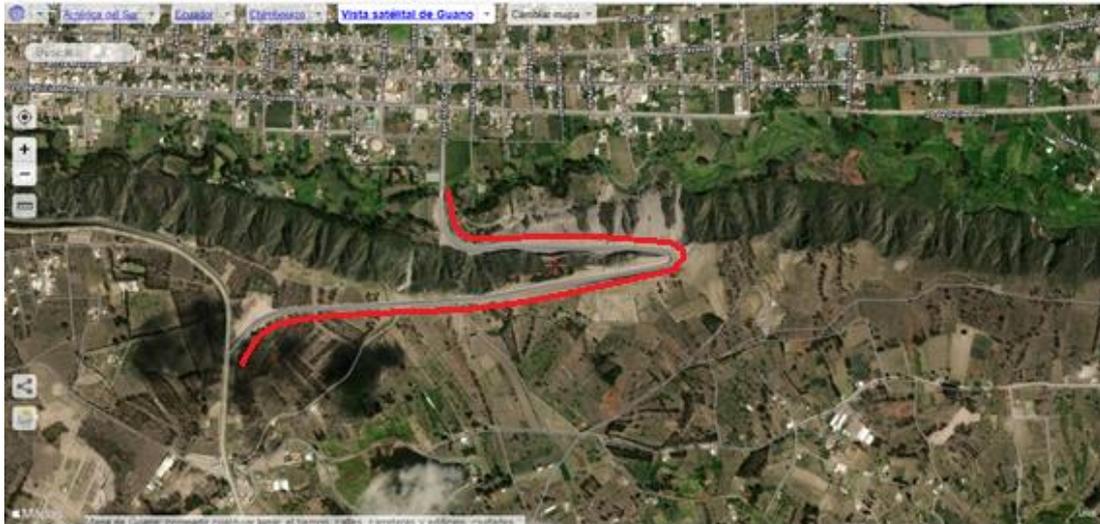


**Figura 56-3.** Monitoreo video adquirido en el día y noche.

Realizado por: Arévalo, J. 2021

Se optó inicialmente en las pruebas tomar videos de recorridos experimentales para realizar la calibración del prototipo con el fin de establecer en el programa parámetros específicos y valorar la respuesta de los procesadores de la Raspberry Pi 4 y el ordenador disponible para la ejecución del algoritmo de procesamiento de imágenes.

Se tomó como referencia de experimentación una vía totalmente señalizada como es la del nuevo acceso vial de ingreso al cantón Guano que inicia en la loma de Langos y termina en el barrio La Inmaculada del referido cantón, se recorrió una distancia de 2.17 Km. Se verificó también que la calzada mantiene el estándar de 3,5 metros por cada carril. La figura 5-3 representa la ubicación geográfica y la descripción de la gráfica de la forma de la trayectoria de la vía de experimentación.



**Figura 57-3.** Ubicación geográfica y forma de trayectoria de la vía de experimentación  
**Fuente:** (Satélites maps, 2021)

Una vez tomada la muestra de videos lo primero que se analizó es la resolución de los mismos que estaba dada por 1920x1080, valor que fue escalado al cincuenta por ciento para disminuir el uso de recursos del procesador y el tiempo de procesamiento de las imágenes estableciendo una resolución de trabajo de 960x540 pixeles.

La tabla 2-3 muestra las variables resultantes definidas para la calibración del algoritmo para el procesamiento de imágenes.

**Tabla 5-3:** Variables resultantes definidas para la calibración del algoritmo.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
H1	Es el valor en Pixeles (100) que determina la extensión de la zona de referencia.
H2	Es el valor en Pixeles que determina la extensión de la zona no considerada.
Ys	Valor de la asíntota horizontal para delimitar la parte superior de la zona de interés.
Yi	Valor de la asíntota horizontal para delimitar la parte inferior de la zona de interés.
(Xris, Ys)	Coordenada para especificar la arista superior izquierda del polígono que define la zona de interés.
(Xrii, Yi)	Coordenada para especificar la arista inferior izquierda del polígono que define la zona de interés.
(Xrds, Ys)	Coordenada para especificar la arista superior derecha del polígono que define la zona de interés.
(Xrdi, Yi)	Coordenada para especificar la arista inferior derecha del polígono que define la zona de interés.

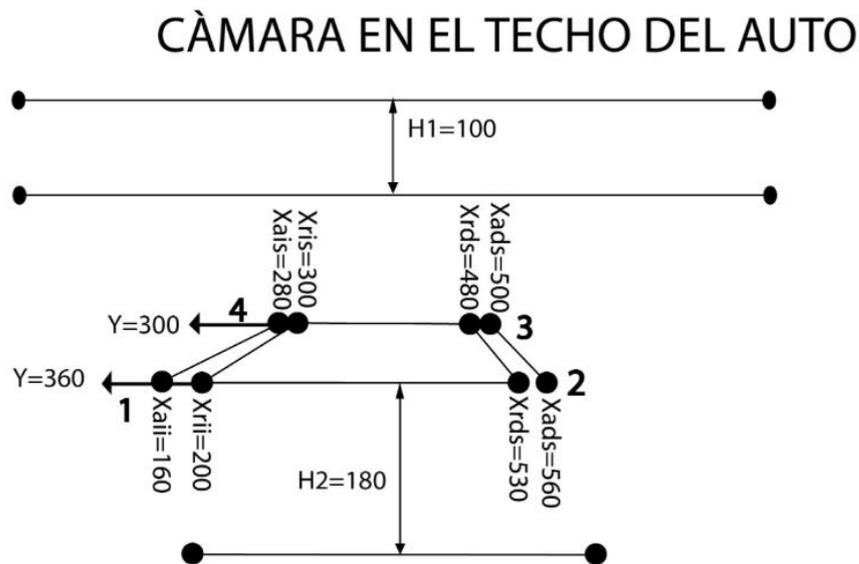
(Xais, Ys) (Xaii, Yi)	Coordenada punto inicial (Xais, Ys) y final (Xaii, Yi) de la recta de tolerancia de la detección de la línea izquierda del carril, en caso de ser superada esta asíntota se detecta un desvío a la izquierda.
(Xads, Ys) (Xadi, Yi)	Coordenada punto inicial (Xads, Ys) y final (Xadi, Yi) de la recta de tolerancia de la detección de la línea derecha del carril, en caso de ser superada esta asíntota se detecta un desvío a la derecha.

Realizado por: Arévalo, J. 2021

Durante el proceso de pruebas y calibración del algoritmo de visión se pudo determinar que actúa de igual manera tanto en el día como en la noche por lo que los parámetros de calibración son los mismos.

Particular que se pudo apreciar también fue el desempeño de los procesadores puestos a prueba, donde se valoró que los recursos para el procesamiento de la Raspberry Pi 4 fueron los suficientes para procesar la señal adquirida en tiempo real desde la cámara.

A continuación, en conjunto la figura 6-3 y la tabla 3-3 presentan los resultados de la calibración para el entorno de día y noche cuando la cámara se ubica en el techo del automóvil.



**Figura 58-3.** Resultados de la calibración del algoritmo con la cámara en el techo del automóvil

Realizado por: Arévalo, J. 2021

**Tabla 6-3:** Resultados de la calibración del algoritmo con la cámara en el techo del automóvil

VARIABLE	VALOR DE LA VARIABLE
H1	100
H2	180

Ys	300
Yi	360
(Xris, Ys)	(300, 300)
(Xrii, Yi)	(200, 360)
(Xrds, Ys)	(480, 300)
(Xrdi, Yi)	(530, 360)
(Xais, Ys)	(475, 300)
(Xaii, Yi)	(410, 360)
(Xads, Ys)	(500, 300)
(Xadi, Yi)	(560,360)

Realizado por: Arévalo, J. 2021

De acuerdo a los resultados obtenidos para la posición de la cámara en el techo del automovil se sacaron relaciones tales como: La calzada de 3,5 metros es equivalente a 360 pixeles en el primer enfoque de la cámara (Yi) y de 300 pixeles en su ultima apreciación (Ys). La parte frontal del auto genera una zona no considerada de 180 pixeles. La zona de interés se extiende 360 pixeles. La figura 7-3 representa la identificación del carril con la cámara en el techo del automóvil enmarcado en la zona de interés resaltada en color violeta.

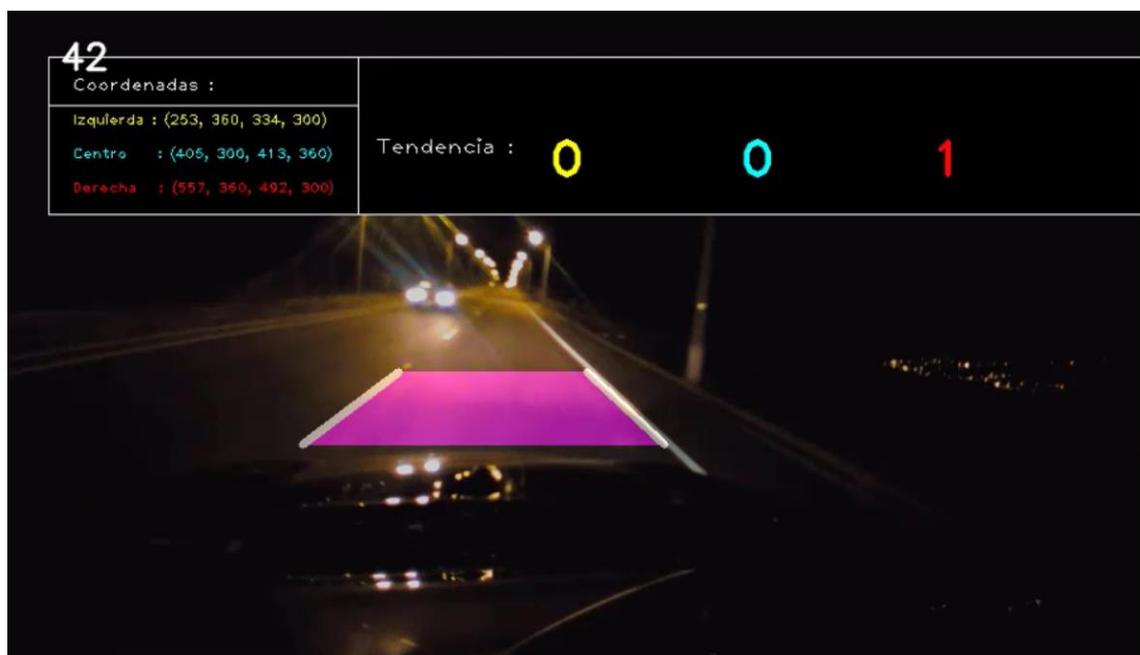
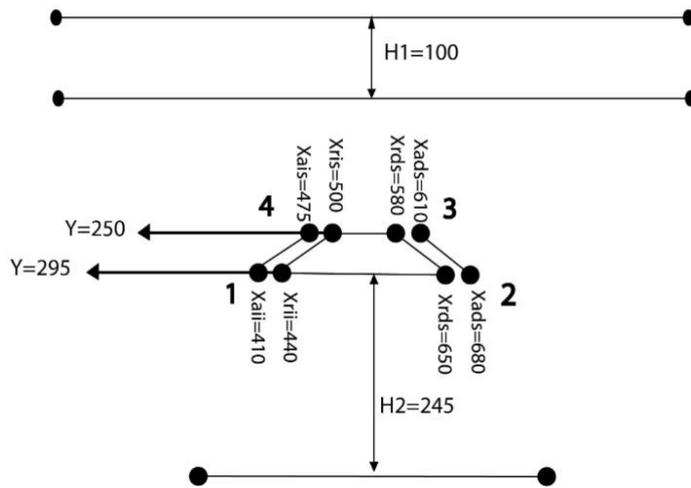


Figura 59-3. Identificación carril con la cámara en el techo del automóvil.

Realizado por: Arévalo, J. 2021

La figura 8-3 y la tabla 4-3 presentan los resultados de la calibración para el entorno de día y noche cuando la cámara se ubica entre el capó y el parabrisas del automóvil.

## CÁMARA ENTRE CAPÓ Y PARABRISA DEL AUTO



**Figura 60-3.** Resultados de la calibración del algoritmo con la cámara entre capó y parabrisas

Realizado por: Arévalo, J. 2021

**Tabla 7-3:** Resultados calibración del algoritmo con la cámara entre el capó y el parabrisas

VARIABLE	VALOR DE LA VARIABLE
H1	100
H2	245
Ys	250
Yi	295
(Xris, Ys)	(500, 250)
(Xrii, Yi)	(440, 295)
(Xrds, Ys)	(580, 250)
(Xrdi, Yi)	(650, 295)
(Xais, Ys)	(475, 250)
(Xaii, Yi)	(410, 295)
(Xads, Ys)	(610, 300)
(Xadi, Yi)	(680, 360)

Realizado por: Arévalo, J. 2021

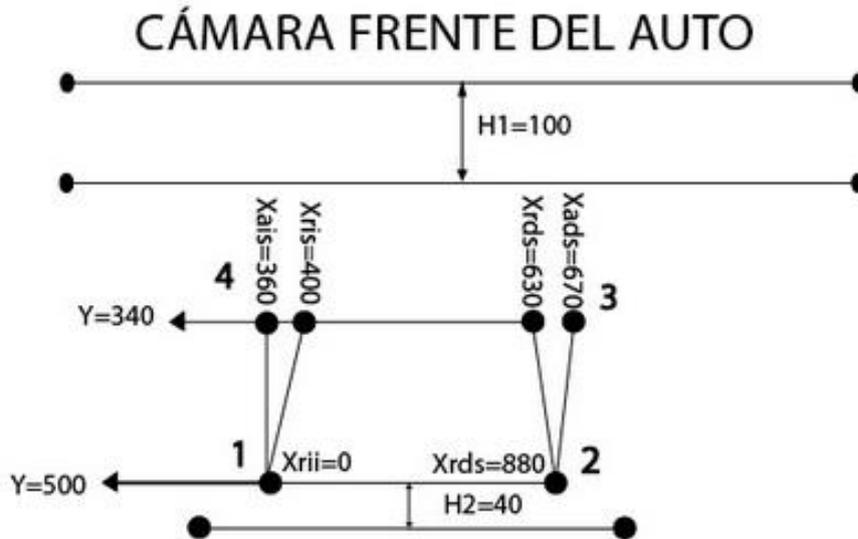
Según los resultados obtenidos para la cámara posicionada entre el capó y el parabrisas se sacaron relaciones tales como: La calzada de 3,5 metros es equivalente a 295 píxeles en el primer enfoque de la cámara ( $Y_i$ ) y de 250 píxeles en su última apreciación ( $Y_s$ ). La parte frontal del auto genera una zona no considerada de 245 píxeles. La zona de interés se extiende 45 píxeles. La figura 9-3 representa la identificación del carril con la cámara entre el capó y el parabrisas del automóvil enmarcado en la zona de interés resaltada en color violeta.



**Figura 61-3.** Identificación carril con la cámara entre el capó y el parabrisas del automóvil.

Realizado por: Arévalo, J. 2021

La figura 10-3 y la tabla 5-3 presentan los resultados de la calibración para el entorno de día y noche cuando la cámara se ubica el parte frontal del automóvil.



**Figura 62-3.** Resultados de la calibración del algoritmo con la cámara en la parte frontal

Realizado por: Arévalo, J. 2021

**Tabla 8-3:** Resultados de la calibración del algoritmo con la cámara en la parte frontal

VARIABLE	VALOR DE LA VARIABLE
H1	100
H2	40
Ys	340

Yi	500
(Xris, Ys)	(400,340)
(Xrii, Yi)	(0, 500)
(Xrds, Ys)	(630, 340)
(Xrdi, Yi)	(880, 500)
(Xais, Ys)	(360,340)
(Xaai, Yi)	(0,500)
(Xads, Ys)	(670, 340)
(Xadi, Yi)	(880,500)

Realizado por: Arévalo, J. 2021

Según los resultados obtenidos para la posición de la cámara en la parte frontal del automóvil se sacaron relaciones tales como: La calzada de 3,5 metros es equivalente a 500 píxeles en el primer enfoque de la cámara (Yi) y de 340 píxeles en su última apreciación (Ys). La zona no considerada resulta nula, para efecto de diferenciar la marca se le asignó una franja de 40 píxeles. La zona de interés se extiende 160 píxeles. La figura 11-3 representa la identificación del carril con la cámara en la parte frontal del automóvil enmarcado en la zona de interés resaltada en color violeta.

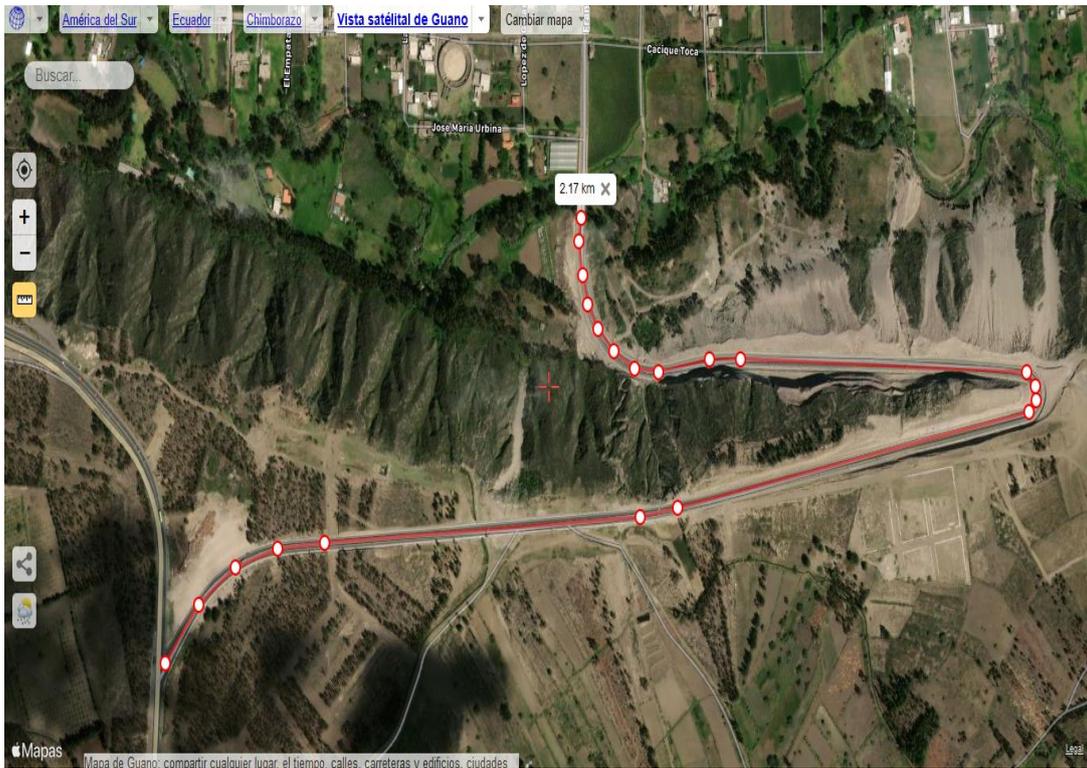


**Figura 63-3.** Identificación carril con la cámara en la parte frontal del automóvil

Realizado por: Arévalo, J. 2021

Realizando un análisis de los resultados obtenidos para las variables de calibración del algoritmo de visión se establece que la cámara ubicada en la parte frontal resultaría ser la más óptima por presentar una zona de interés mayor, dicha teoría se la puso igualmente a prueba dividiendo en intervalos la vía de experimentación, contemplando que la trayectoria tiene cambios importantes de forma en su recorrido tales como trayectos rectos, trayecto con curva abierta y cerrada.

La figura 12-3 representa los intervalos generados para la evaluación del algoritmo de reconocimiento de carril en la vía experimental, se consideró para la asignación de los intervalos determinarlos cada vez que exista una variación de la trayectoria del recorrido.



**Figura 64-3.** Intervalos para la evaluación del algoritmo de reconocimiento de carril  
Fuente: (Satélites maps, 2021)

Las tablas 6-3, 7-3 y 8-3 representan la respuesta del algoritmo de visión con la cámara en las tres posiciones experimentales en los intervalos definidos en el recorrido de la trayectoria de la vía tanto de subida como de bajada, se adoptó para la evaluación una escala de tres opciones:

- SI: Detecta las líneas del carril sin error
- CON FALLO: Detecta las líneas del carril con un grado de error
- NO: No detecta las líneas del carril.

**Tabla 9-3:** Respuesta del algoritmo con la cámara en el techo del automóvil.

DISTANCIA RECORRIDA [Km]	DESCRIPCIÓN TRAYECTORIA	RECONOCIMIENTO CARRIL (SUBIDA)	RECONOCIMIENTO CARRIL (BAJADA)
0	Punto de partida	SI	SI
0,07 - 0,14	Trayectoria recta	SI	SI
0,14 - 0,21	Trayectoria curva abierta	SI	SI
0,21 - 0,28	Trayectoria curva abierta	SI	SI
0,28 - 0,75	Trayectoria curva abierta	SI	SI

0,75 - 0,81	Trayectoria recta	SI	SI
0,81 - 1,35	Trayectoria levemente curva	SI	SI
1,35 - 1,37	Trayectoria recta	SI	SI
1,37 - 1,39	Trayectoria curva cerrada	SI	SI
1,39 - 1,41	Trayectoria curva cerrada	SI	CON FALLO
1,41 - 1,84	Trayectoria curva cerrada	SI	SI
1,84 - 1,87	Trayectoria recta	SI	SI
1,87 - 1,95	Trayectoria recta	SI	SI
1,95 - 1,98	Trayectoria curva abierta	SI	SI
1,98 - 2,02	Trayectoria curva abierta	SI	SI
2,02 - 2,05	Trayectoria curva abierta	SI	SI
2,05 - 2,08	Trayectoria curva abierta	SI	SI
2,08 - 2,11	Trayectoria curva abierta	SI	SI
2,11 - 2,15	Trayectoria curva abierta	SI	SI
2,15 - 2,17	Trayectoria curva abierta	SI	SI
2,17	Punto de llegada	SI	SI

Realizado por: Arévalo, J. 2021

**Tabla 10-3:** Respuesta del algoritmo con la cámara entre el capó y el parabrisas del automóvil.

<b>DISTANCIA RECORRIDA [Km]</b>	<b>DESCRIPCIÓN TRAYECTORIA</b>	<b>RECONOCIMIENTO CARRIL (SUBIDA)</b>	<b>RECONOCIMIENTO CARRIL (BAJADA)</b>
0	Punto de partida	SI	SI
0,07 - 0,14	Trayectoria recta	SI	SI
0,14 - 0,21	Trayectoria curva abierta	SI	SI
0,21 - 0,28	Trayectoria curva abierta	SI	SI
0,28 - 0,75	Trayectoria curva abierta	SI	SI
0,75 - 0,81	Trayectoria recta	SI	SI
0,81 - 1,35	Trayectoria levemente curva	SI	SI
1,35 - 1,37	Trayectoria recta	SI	SI
1,37 - 1,39	Trayectoria curva cerrada	SI	CON FALLO
1,39 - 1,41	Trayectoria curva cerrada	CON FALLO	CON FALLO
1,41 - 1,84	Trayectoria curva cerrada	SI	CON FALLO
1,84 - 1,87	Trayectoria recta	SI	SI
1,87 - 1,95	Trayectoria recta	SI	SI
1,95 - 1,98	Trayectoria curva abierta	SI	SI
1,98 - 2,02	Trayectoria curva abierta	SI	SI
2,02 - 2,05	Trayectoria curva abierta	SI	SI
2,05 - 2,08	Trayectoria curva abierta	SI	SI
2,08 - 2,11	Trayectoria curva abierta	SI	SI
2,11 - 2,15	Trayectoria curva abierta	SI	SI
2,15 - 2,17	Trayectoria curva abierta	SI	SI
2,17	Punto de llegada	SI	SI

Realizado por: Arévalo, J. 2021

**Tabla 11-3:** Respuesta del algoritmo con la cámara en la parte frontal del automóvil.

<b>DISTANCIA RECORRIDA [Km]</b>	<b>DESCRIPCIÓN TRAYECTORIA</b>	<b>RECONOCIMIENTO CARRIL (SUBIDA)</b>	<b>RECONOCIMIENTO CARRIL (BAJADA)</b>
0	Punto de partida	SI	SI
0,07 - 0,14	Trayectoria recta	SI	SI
0,14 - 0,21	Trayectoria curva abierta	SI	SI
0,21 - 0,28	Trayectoria curva abierta	SI	SI
0,28 - 0,75	Trayectoria curva abierta	SI	SI
0,75 - 0,81	Trayectoria recta	SI	SI
0,81 - 1,35	Trayectoria levemente curva	SI	SI
1,35 - 1,37	Trayectoria recta	SI	SI
1,37 - 1,39	Trayectoria curva cerrada	SI	SI
1,39 - 1,41	Trayectoria curva cerrada	SI	SI
1,41 - 1,84	Trayectoria curva cerrada	SI	SI
1,84 - 1,87	Trayectoria recta	SI	SI
1,87 - 1,95	Trayectoria recta	SI	SI
1,95 - 1,98	Trayectoria curva abierta	SI	SI
1,98 - 2,02	Trayectoria curva abierta	SI	SI
2,02 - 2,05	Trayectoria curva abierta	SI	SI
2,05 - 2,08	Trayectoria curva abierta	SI	SI
2,08 - 2,11	Trayectoria curva abierta	SI	SI
2,11 - 2,15	Trayectoria curva abierta	SI	SI
2,15 - 2,17	Trayectoria curva abierta	SI	SI
2,17	Punto de llegada	SI	SI

**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

Analizando los resultados obtenidos en la prueba descrita se determina que la mayor eficiencia para el reconocimiento de las líneas del carril de la vía tiene el algoritmo calibrado para la cámara en la posición de la parte frontal del automóvil, se comprobó que la zona de interés determinada para este algoritmo al ser superior permite una mejor predicción de la trayectoria de las líneas del carril.

La calibración para las posiciones de la cámara, en el techo, entre el capó y el parabrisas cumple con la identificación de las líneas del carril en una trayectoria recta y de curvas no pronunciadas, genera errores cuando las curvas son demasiado cerradas.

### ***3.1.2 Pruebas y resultados para la identificación del cambio de carril.***

Las rectas blancas que bordean el área de interés resaltada en violeta se trazaron sobre las líneas del carril tomadas como referencia al momento de la calibración y además, para no considerar movimientos pequeños como un desvío se generó áreas de tolerancia establecidas, las mismas

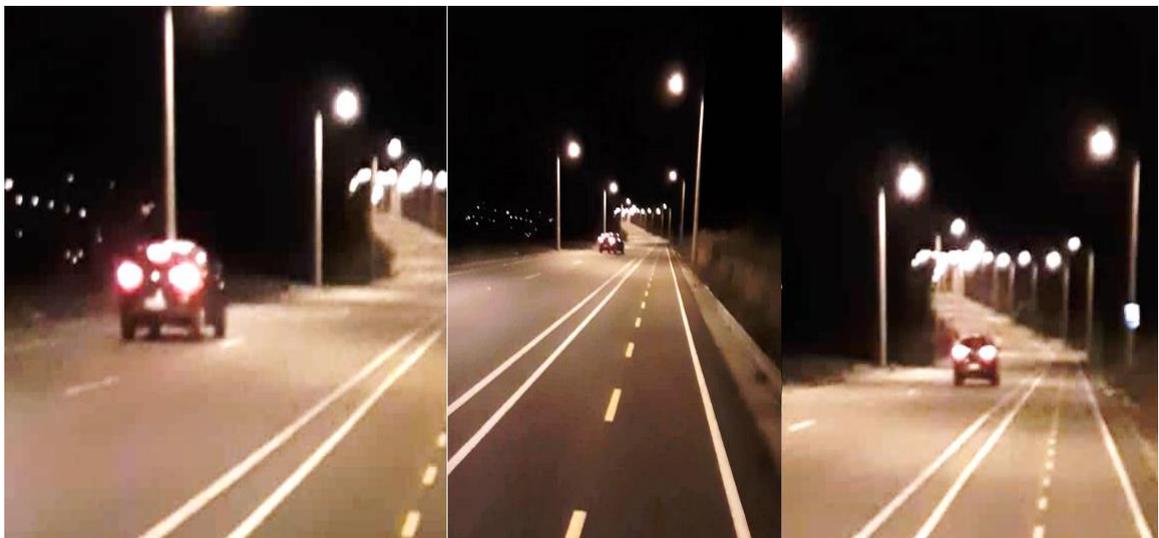
que al ser superadas activan recursos gráficos que se añadieron a la interfaz tales como el mensaje de la magnitud en metros del desvío y dos contadores que indican la cantidad de veces que el sistema ha identificado un desvío, en la figura 13-3 se puede observar la evaluación del algoritmo de reconocimiento de carril.



**Figura 65-3.** Intervalos para la evaluación del algoritmo de reconocimiento de carril

Realizado por: Arévalo, J. 2021

La figura 14-3 representa un collage de las pruebas ejecutadas en el vehículo provocando desvíos del carril para evaluar la funcionalidad de los sistemas de visión artificial para la detección de las líneas de carril y los mencionados desvíos.



**Figura 66-3.** Ambiente generado para prueba de sistema de visión y alertas

Realizado por: Arévalo, J. 2021

### 3.1.3 Pruebas y resultados para la detección del encandilado

La detección del encandilado se la consideró dentro de la programación como una señal discreta de activación para la ejecución del algoritmo de visión, es decir, el conductor puede viajar tranquilamente sin ningún distractor en la pantalla (resaltado del área de interés) y el sistema se activará precisamente para asistir al conductor cuando detecte un encandilado provocado por un auto que venga con las luces intensas en sentido contrario y provoque deslumbramiento, se consideró que el sistema una vez activado funcione un lapso de 50 segundos que es el tiempo aproximado en el que una persona reestablece su visibilidad posterior a un deslumbramiento como se lo determinó en la revisión bibliográfica.

Las pruebas se realizaron en una carretera de características similares a lo largo de su extensión se tomó como referencia de análisis para calibración de la detección del deslumbramiento un segmento de trayectoria de 80 metros. En las pruebas realizadas para determinar un porcentaje de sensibilidad de deslumbramiento, se pudo establecer un valor constante de sensibilidad del 20%, El proceso consistió en tomar una cantidad mínima pero suficiente de videos que permitieron calcular el promedio de celdas que tengan un valor de brillo alto, las pruebas se las realizaron en 2 escenarios uno a 30 metros y otro a 15 metros en relación con el auto que viene en sentido contrario, para poder determinar el valor de iluminancia a la que los conductores se deslumbran.

Se describe las pruebas realizadas para poder determinar el porcentaje de sensibilidad de deslumbramiento, con un grupo de cinco conductores, en la tabla 9-3 se puede observar que a los 30 metros de distancia con relación al auto que viene en sentido contrario con luces en altas uno de los cinco conductores percibió un deslumbramiento no segador, mientras que los otros conductores no percibieron deslumbramiento, esto debido a que según la revisión bibliografía la sensibilidad del ojo humano no es la misma para todos, obtenido así una iluminancia media que alcanza los 30 lux, determinando así que a esa cantidad de lux los cuadros activos que detecta el algoritmo de visión artificial del prototipo es de 23celdas con alto brillo, determinando así que a los 30 lux con 23 celdas activas no existe encandilado, es decir que el sistema de asistencia al conductor para esa cantidad de iluminación no se activará.

**Tabla 12-3:** Resultado de las pruebas realizadas a 30m, para determinar el deslumbramiento.

<b>Pruebas a 30m con respecto al auto en sentido contrario a una velocidad de 50km/h</b>				
<b># conductores</b>	<b># pruebas</b>	<b>Detecto Deslumbramiento</b>	<b>Cantidad lux</b>	<b>Cuadros activados</b>
<b>1</b>	<b>5</b>	<b>No</b>	<b>31</b>	<b>25</b>

<b>2</b>	<b>5</b>	<b>No</b>	27	22
<b>3</b>	<b>5</b>	<b>No</b>	27	21
<b>4</b>	<b>5</b>	<b>No</b>	31	24
<b>5</b>	<b>5</b>	<b>Si</b>	32	25
<b>Promedio</b>			30	23

Realizado por: Arévalo, J. 2021

Una vez realizadas las pruebas a una distancia de 30 metros y al obtener como resultado que a esa distancia con un determinado número de luxes los conductores no percibieron un deslumbramiento significativo, se procedió a realizar pruebas con los mismos conductores, pero a una distancia diferente. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 10-3 en la cual se puede observar que a los 15 metros de distancia con relación al auto que viene en sentido contrario con las luces altas, los 5 conductores percibieron un deslumbramiento segador, con una iluminancia media que alcanza los 53 lux, relacionando que la cantidad de cuadros activos que detecta el algoritmo de visión artificial del prototipo para esa cantidad de lux es de 41 celdas con alto brillo, determinando así que existe encandilado, cuando se detecte un valor igual o mayor a las celdas establecidas.

**Tabla 13-3:** Resultado de las pruebas realizadas a 15 m, para determinar el deslumbramiento.

<b>Pruebas a 15m con respecto al auto en sentido contrario a una velocidad de 50km/h</b>				
<b># conductores</b>	<b># pruebas</b>	<b>Detecto Deslumbramiento</b>	<b>Cantidad lux</b>	<b>Cuadros activados</b>
<b>1</b>	<b>5</b>	<b>Si</b>	61	47
<b>2</b>	<b>5</b>	<b>Si</b>	51	40
<b>3</b>	<b>5</b>	<b>Si</b>	51	40
<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Si</b>	49	34
<b>5</b>	<b>5</b>	<b>Si</b>	52	42
<b>Promedio</b>			53	41

Realizado por: Arévalo, J. 2021

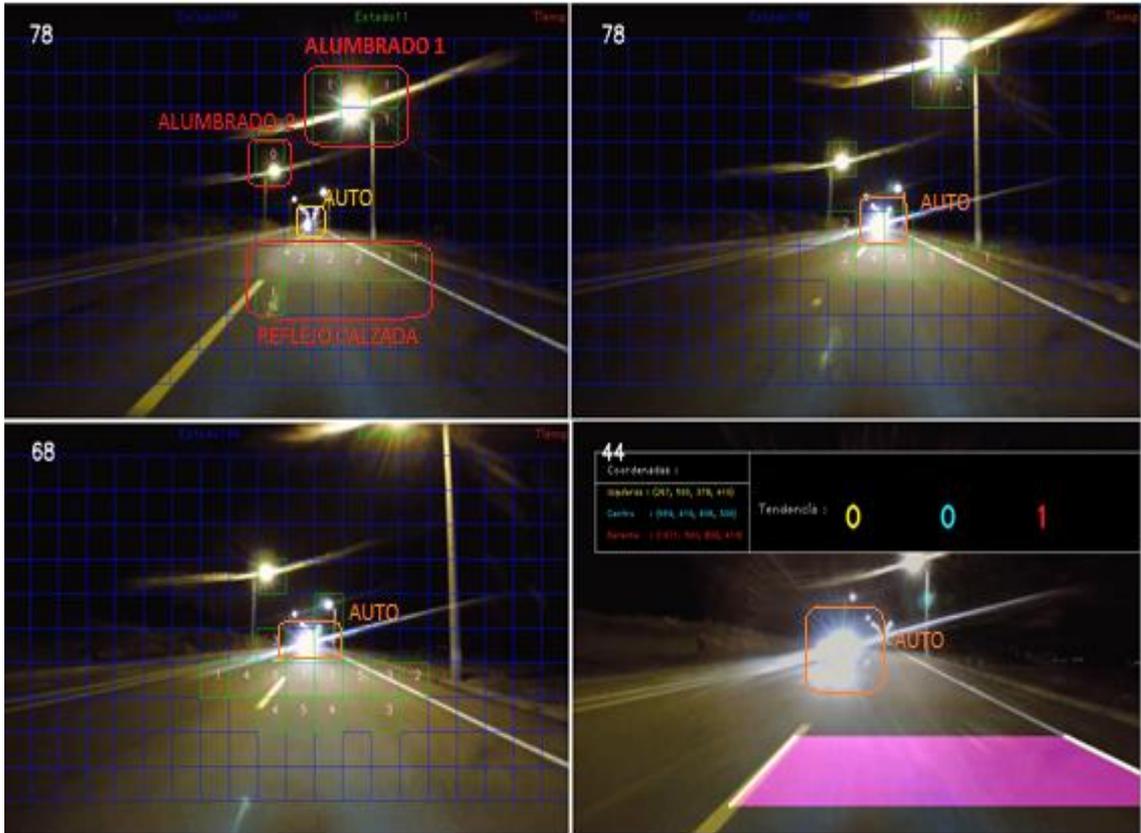
En la tabla 11-3 se muestra los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a través del sistema de detección de encandilado, en la tabla se incluyen los valores de distancia del auto a las fuentes luminosas, la cantidad de iluminancia dada en lux y la cantidad de cuadrículas detectadas como brillo por el algoritmo de visión.

**Tabla 14-3:** Resultado de la evaluación del algoritmo de visión a fuentes luminosa

# pruebas	OBJETO LUMINOSO	DISTANCIA AL AUTO (m)	CANTIDAD DE LUX	MODO DE ACTIVACIÓN DE CELDAS	OBSERVACIONES
3	LÁMPARA ALUMBRADO PÚBLICO (1)	40	0	1-6	
3	REFLEJO DE LÁMPARA ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CALZADA (1)	40	0	1-6	
3	LÁMPARA ALUMBRADO PÚBLICO (2)	60	0	1-2	
3	LÁMPARA ALUMBRADO PÚBLICO (1)	20	0	1-5	
3	REFLEJO DE LÁMPARA ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CALZADA (1)	20	0	1-6	
3	LÁMPARA ALUMBRADO PÚBLICO (2)	40	0	1	
3	LÁMPARA ALUMBRADO PÚBLICO (1)	10	0	-	Ya está fuera de la zona de análisis
3	REFLEJO DE LÁMPARA ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CALZADA (1)	10	0	1-13	
3	LÁMPARA ALUMBRADO PÚBLICO (2)	30	0	1-2	
3	LÁMPARA ALUMBRADO PÚBLICO (1)	5	-	-	Ya está fuera de la zona de análisis
3	REFLEJO DE LÁMPARA ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CALZADA (1)	5	-	-	Ya está fuera de la zona de análisis
3	LÁMPARA ALUMBRADO PÚBLICO (2)	15	-	-	Ya está fuera de la zona de análisis

Realizado por: Arévalo, J. 2021

En la figura 15-3 se señalan 4 fuentes de luz que generan brillo, alumbrado 1, alumbrado 2, reflejo en la calzada y un auto con las luces en alta, en la cual se puede observar la cantidad de celdas activas para cada escenario.



**Figura 67-3.** Evaluación brillo en fuentes luminosas

Realizado por: Arévalo, J. 2021

Los niveles expresados en la tabla anterior se refieren al número de celdas activas alrededor de la fuente luminosa, se emplea las escalas de valores del 1 al 8 para establecer el número de agrupaciones de celdas activas por el brillo. La figura 16-3 muestra la escala de celdas activas empleada conocida como la evaluación de vecinos.



**Figura 68-3.** Evaluación brillo en fuentes luminosas

Realizado por: Arévalo, J. 2021

En la tabla 12-3 se muestra los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a través del sistema de detección de encandilado, en la tabla se puede observar los valores en lux que generan los faros de los autos a las diferentes distancias con respecto al auto que viene de frente en sentido contrario, obteniendo un valor de iluminancia de 15 lux a una distancia de 80 metros, 30 lux a una distancia de 30 metros y 53 lux a una distancia de 15 metros, esta última generando molestias en la visión al conductor cuando el auto circula con las luces altas, activando así el sistema de

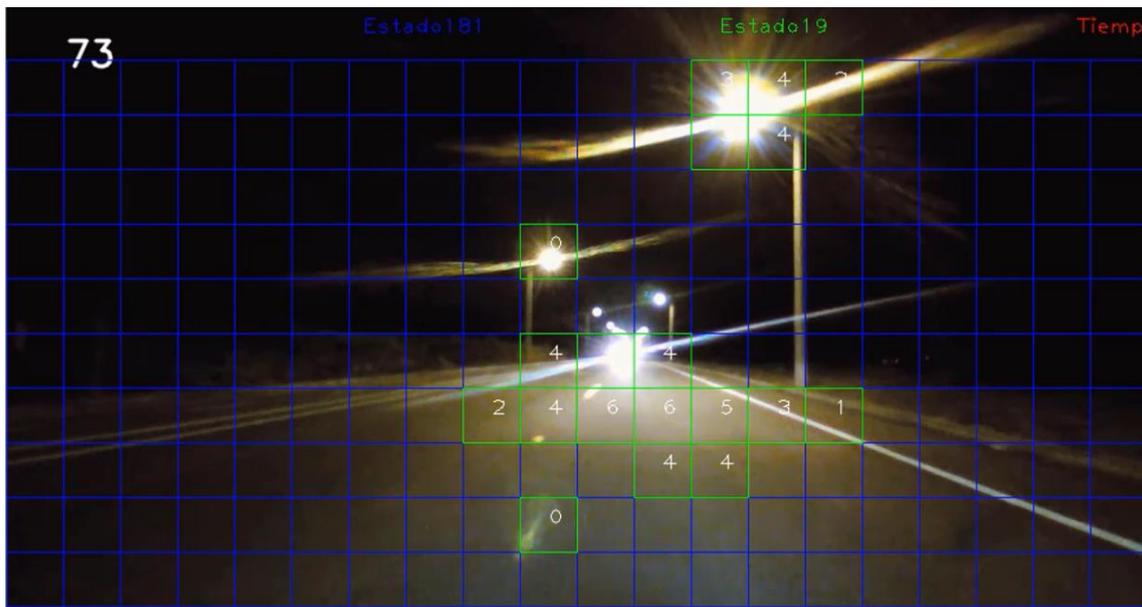
deslumbramiento, mientras que si el auto está circulando con las luces bajas se obtiene un valor de iluminancia de 0 lux.

**Tabla 15-3:** Resultado de la evaluación del algoritmo de visión a fuentes luminosa

# pruebas	OBJETO LUMINOSO		DISTANCIA AL AUTO (m)	CANTIDAD DE LUX	MODO DE ACTIVACIÓN DE CELDAS	OBSERVACIONES
3	LUCES DEL AUTO	ALTAS	80	0	-	Aún las luces del auto no son valoradas
		BAJAS	80	0	-	Aún las luces del auto no son valoradas
3	LUCES DEL AUTO	ALTAS	50	15	10	
		BAJAS	50	0	1-2	
3	LUCES DEL AUTO	ALTAS	30	30	15-20	
		BAJAS	30	0	5-10	
3	LUCES DEL AUTO	ALTAS	15	53	$\geq 40$	Supera el Umbral luminoso y se activa el sistema de asistencia
		BAJAS	15	0	15-20	

Realizado por: Arévalo, J. 2021

Se agregó marcadores numéricos de la cantidad de celdas con nivel de brillo alto (verde) y bajo (azul) las mismas que señalan en la figura 17-3 valores de 181 y 19 respectivamente, en la figura se identifican las fuentes luminosas y las celdas que poseen alto brillo, las cuales no generan encandilado pues las 19 celdas activas representan tan solo el 9.5% del total de celdas.



**Figura 69-3.** Trayectoria sin identificación de encandilado, 9.5% de secciones activas

Realizado por: Arévalo, J. 2021

En la figura 18-3 se observan valores de 159 celdas desactivadas y 41 con nivel alto de brillo por lo que se representa una trayectoria con identificación de una fuente luminosa que puede generar encandilado pues las 41 celdas activas representan el 20.5% del total de celdas con un valor de iluminancia de 52 lux.



**Figura 70-3.** Trayectoria con identificación de encandilado 20,5% de secciones activas

Realizado por: Arévalo, J. 2021

La figura 19-3 representa el ambiente generado en el campo, donde se contrapuso dos autos, uno aquel que no dispone del sistema de visión y que incide con las luces en alta para provocar el deslumbramiento y permitir que en el otro auto pueda calibrar el sistema.



**Figura 71-3.** Ambiente generado para detectar un deslumbramiento

Realizado por: Arévalo, J. 2021

Previo a la evaluación de las señales de alerta se realizó pruebas para la caracterización de las acciones al conducir.

### 3.1.4 Caracterización de las acciones en la conducción

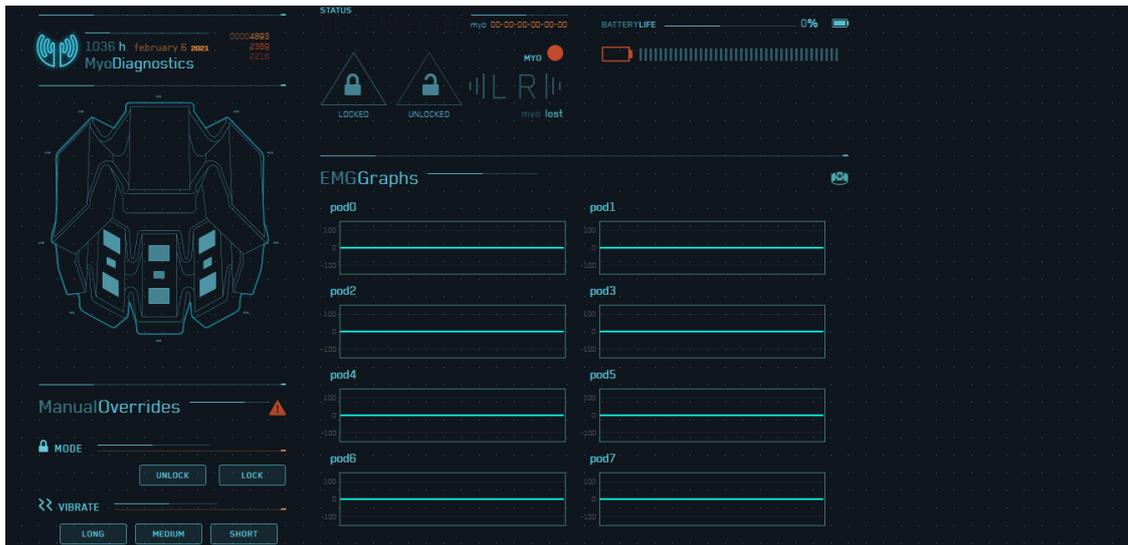
Para caracterizar las acciones de la conducción y la reacción a los estímulos de las alertas se adoptó como estrategia el adquirir a través del brazalete Myo (definido y descrito anteriormente en la parte de hardware) las señales electromiográficas que genera el antebrazo de una persona al momento de conducir y ser alertado. La figura 20-3 muestra el brazalete Myo en el antebrazo del conductor.



**Figura 72-3.** Brazo Myo en el antebrazo del conductor

**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

El Myo maneja comunicación serial, se conectó el adaptador bluetooth al ordenador y a través de la aplicación en línea se realizó un test de conexión del brazalete para comprobación de la comunicación, la figura 21-3 representa la interfaz de la aplicación Myo Diagnostico, no obstante esta aplicación se la empleó únicamente para el test de conexión debido a que el barrido de las señales electromiográficas que ofrecía era demasiado rápido y no regulable, resultando no ideal para el propósito de verificar cambios en un tiempo asignado para la prueba.



**Figura 73-3.** Interfaz gráfica de la aplicación Myo Diagnostic.

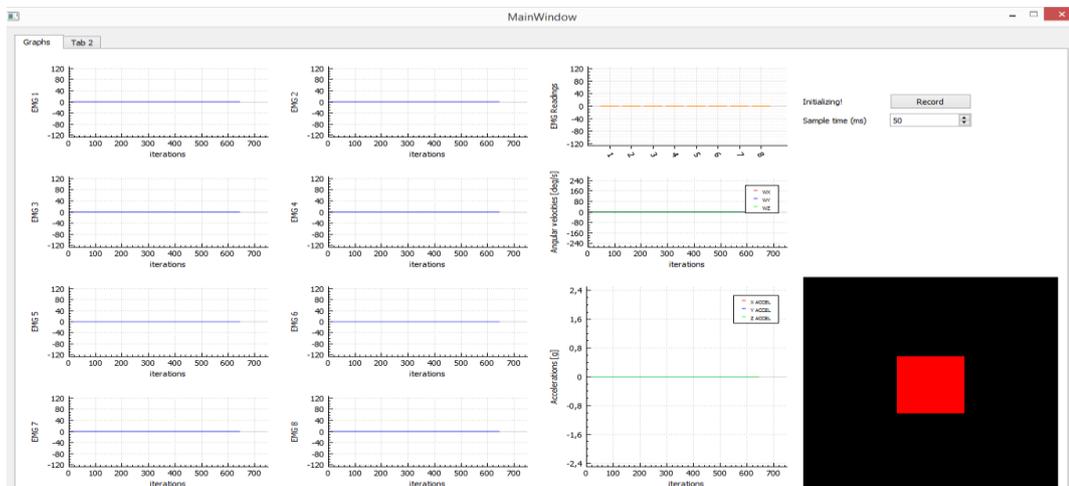
**Fuente:** Myo Diagnostico

**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

Se optó por el uso de Myo Visualizador, aplicación propia de Thalmic Labs creadores del brazalete, en ésta se realizó el monitoreo de los niveles de señales electromiográficas captadas por cada uno de los ocho sensores que conforman el brazalete.

La aplicación MYO Visualizador además de permitir monitorear las señales de los sensores EMG del brazalete, muestra también el resultado de la evaluación de sus acelerómetros y giroscopio generando una relación en términos de aceleración y velocidad angular en el cambio de estado de las señales electromiográficas, precisamente para caracterizar acciones al conducir se hicieron uso de esas prestaciones.

La figura 22-3 representa la interfaz gráfica de la aplicación MYO Visualizador.



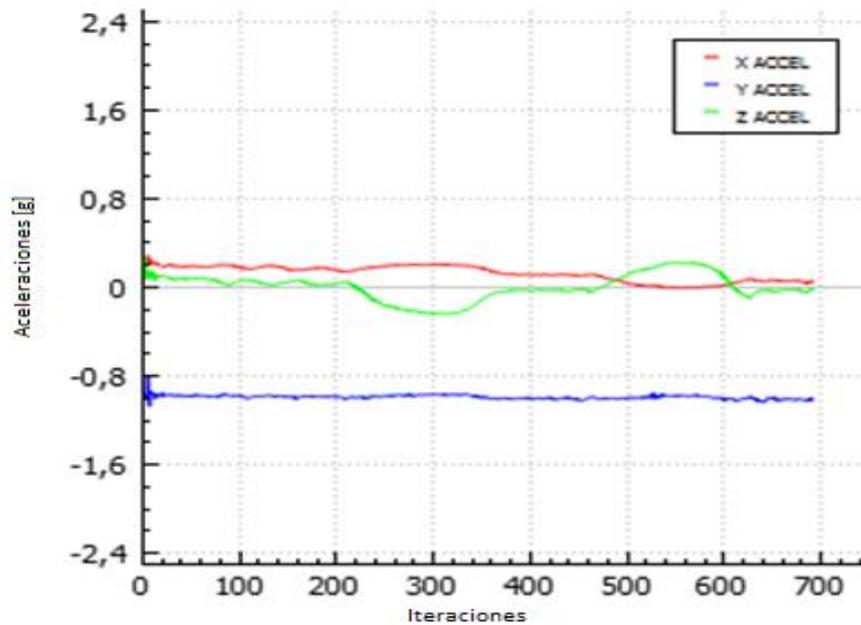
**Figura 74-3.** Interfaz gráfica de la aplicación MYO Visualizador.

**Fuente:** Myo Visualizador

**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

Previamente a la ejecución de las pruebas específicas en los entornos de evaluación se interpretó la respuesta de señales proporcionadas por la aplicación Myo Visualizador con las acciones al conducir tales como desplazar el volante a la izquierda, derecha o mantener el curso del auto.

En la ejecución de una prueba de conducción programada se obtuvo lo representado en la figura 23-3, la curva de aceleración obtenida del brazalete Myo en Myo Visualizador.



**Figura 75-3.** Curva de aceleración obtenida del brazalete Myo en Myo Visualizador

**Fuente:** Myo Visualizador

**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

La tabla 13-3 contiene los resultados del análisis de la gráfica de aceleraciones obtenida en la figura anterior que se lo interpreta de la siguiente manera. Se realizó un análisis en intervalos del número de muestras versus el comportamiento del valor del acelerómetro de cada eje (acelerómetro x, acelerómetro y, acelerómetro z) para describir la acción del conductor sobre el volante.

- En el intervalo de [0-220] muestras, el valor de los acelerómetros es estable no sufre variaciones considerables, por observación directa en el entorno experimental se determina que el conductor lleva el volante sin generar mayor desplazamiento angular.
- En el intervalo de [200-380] muestras, el valor del acelerómetro X asciende, del acelerómetro Y es estable y del acelerómetro Z desciende, por observación directa en el entorno experimental se determina que el conductor lleva el volante a un desplazamiento angular en sentido antihorario, es decir maniobra para realizar una curva hacia la derecha.

- En el intervalo de [380-470] muestras, el valor de los acelerómetros recuperan la estabilidad, no sufre variaciones considerables por lo que por observación directa en el entorno experimental se determina que el conductor lleva el volante sin generar mayor desplazamiento angular, en consideración a la acción del intervalo anterior significa que terminó la curva y regresó a una trayectoria recta.
- En el intervalo de [470-620] muestras, el valor del acelerómetro X desciende, del acelerómetro Y es estable y del acelerómetro Z asciende, por observación directa en el entorno experimental se determina que el conductor lleva el volante a un desplazamiento angular en sentido horario, es decir maniobra para realizar una curva hacia la izquierda.
- En el intervalo de [620-700] muestras, el valor de los acelerómetros recuperan la estabilidad, no sufre variaciones considerables por lo que por observación directa en el entorno experimental se determina que el conductor lleva el volante sin generar mayor desplazamiento angular, en consideración a la acción del intervalo anterior significa que terminó la curva y regresó a una trayectoria recta.

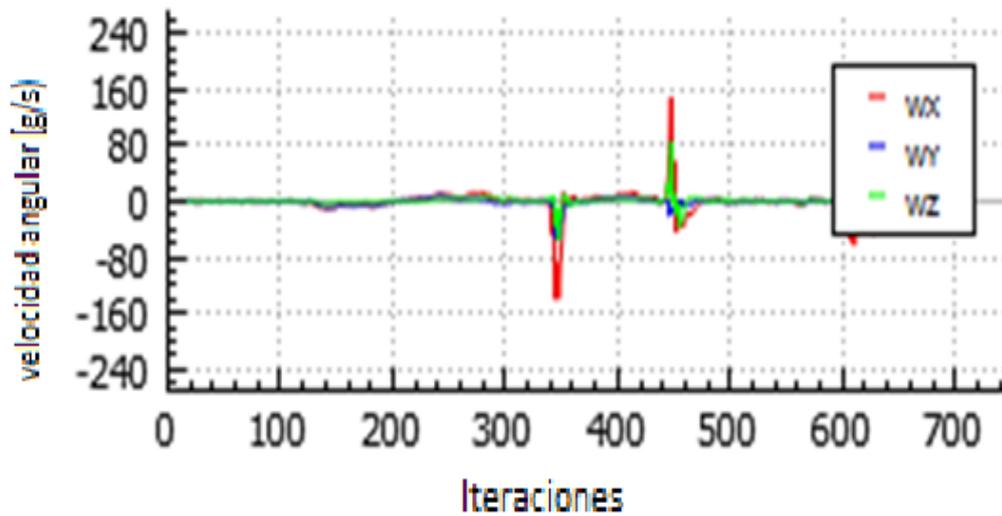
Adicionalmente se puede acotar que el acelerómetro Y no sufre cambios porque representa un dato de profundidad y el volante maneja un desplazamiento angular bidimensional en los ejes X y Z.

**Tabla 16-3:** Resultados de la interpretación de la curva de aceleración.

INTERVALO DE ITERACIONES	ACELERÓMETRO X	ACELERÓMETRO Y	ACELERÓMETRO Z	CONDUCTOR
[0-220]	Estable	Estable	Estable	Mantiene la trayectoria
[220-380]	Asciende	Estable	Desciende	Desplaza volante hacia la izquierda
[380-470]	Estable	Estable	Estable	Recupera y mantiene la trayectoria
[470-620]	Desciende	Estable	Asciende	Desplaza volante hacia la derecha
[620-700]	Estable	Estable	Estable	Recupera y mantiene la trayectoria

Realizado por: Arévalo, J. 2021

La figura 24-3 representa la curva de velocidad angular obtenida del brazalete Myo en Myo Visualizador, se empleó para caracterizar la velocidad con la que el conductor realiza un cambio de trayectoria.



**Figura 76-3.** Curva de velocidad angular obtenida del brazalete Myo en Myo Visualizador

Fuente: Myo Visualizador

Realizado por: Arévalo, J. 2021

La tabla 14-3 contiene los resultados del análisis de la gráfica de velocidad angular obtenida en la figura anterior que se lo interpreta de la siguiente manera. Se realizó un análisis en intervalos del número de muestras versus el comportamiento del valor de la velocidad angular de cada eje para describir la acción del conductor sobre el volante.

- En el intervalo de [0-130] muestras, el valor de la velocidad angular es estable no sufre variaciones considerables, por observación directa en el entorno experimental se determina que el conductor lleva el volante sin generar mayor desplazamiento angular.
- En el intervalo de [130-200] muestras, el valor de la velocidad angular de los tres ejes desciende ligeramente, por observación directa en el entorno experimental se determina que el conductor maniobra de manera lenta para realizar una curva hacia la izquierda (Trayectoria de curva abierta).
- En el intervalo de [200-300] muestras, el valor de la velocidad angular de los tres ejes asciende ligeramente, por observación directa en el entorno experimental se determina que el conductor maniobra de manera lenta para realizar una curva hacia la derecha (Trayectoria de curva abierta).

- En el intervalo de [300-340] muestras, el valor de la velocidad angular es estable no sufre variaciones considerables, por observación directa en el entorno experimental se determina que el conductor lleva el volante sin generar mayor desplazamiento angular.
- En el intervalo de [340-360] muestras, el valor de la velocidad angular de los tres ejes desciende generando un pico máximo negativo, por observación directa en el entorno experimental se determina que el conductor maniobra de manera rápida para realizar una curva hacia la izquierda (Trayectoria de curva cerrada o acción evasiva).
- En el intervalo de [360-440] muestras, el valor de la velocidad angular es estable no sufre variaciones considerables, por observación directa en el entorno experimental se determina que el conductor lleva el volante sin generar mayor desplazamiento angular.
- En el intervalo de [440-460] muestras, el valor de la velocidad angular de los tres ejes asciende generando un pico máximo positivo, por observación directa en el entorno experimental se determina que el conductor maniobra de manera rápida para realizar una curva hacia la derecha (Trayectoria de curva cerrada o acción evasiva).
- En el intervalo complementario de muestras los valores de velocidad angular se mantienen estables.

**Tabla 17-3:** Resultados de la interpretación de la curva de velocidad angular.

<b>INTERVALO DE ITERACIONES</b>	<b>VELOCIDAD ANGULAR X</b>	<b>VELOCIDAD ANGULAR Y</b>	<b>VELOCIDAD ANGULAR Z</b>	<b>CONDUCTOR</b>
[0-130]	Estable	Estable	Estable	Mantiene la trayectoria
[130-200]	Ligera variación en descenso	Ligera variación en descenso	Ligera variación en descenso	Desplazamiento lento del volante hacia la izquierda
[200-300]	Ligera variación en ascenso	Ligera variación en ascenso	Ligera variación en ascenso	Desplazamiento lento del volante hacia la derecha
[300-340]	Estable	Estable	Estable	Recupera y mantiene la trayectoria
[340-360]	Variación brusca en descenso	Variación brusca en descenso	Variación brusca en descenso	Desplazamiento rápido del volante hacia la derecha

[360-440]	Estable	Estable	Estable	Recupera y mantiene la trayectoria
[440-460]	Variación brusca en ascenso	Variación brusca en ascenso	Variación brusca en ascenso	Desplazamiento rápido del volante hacia la izquierda
[460-700]	Estable	Estable	Estable	Recupera y mantiene la trayectoria

Realizado por: Arévalo, J. 2021

De esta manera se caracterizó la conducción en términos de aceleraciones y velocidades angulares.

### ***3.1.5 Pruebas y resultados de los protocolos de comunicación para el conductor***

Antes de montar el sistema en el vehículo y con el fin de comprobar la eficiencia de los tres tipos de sistemas de alertas y teniendo en cuenta el peligro que puede representar probar el sistema en carretera se optó por realizar las pruebas en un entorno seguro y libre de riesgos, para ello se hizo uso de un simulador el cual se menciona en el capítulo anterior. Con el sustento de la averación que presenta (Castro, 2017) se planteó el uso de una aplicación interactiva orientada al entrenamiento, ya que según estudios realizados las personas que interactúan demasiado tiempo con este tipo de aplicaciones presentan rapidez en la toma de decisiones, gran habilidad para la interpretación y mayor capacidad de atención tal como debería actuar un conductor en la vía.

Para evaluar las respuestas de las señales de alerta, el conductor interactuó en el simulador, en donde se emuló un entorno de conducción durante un tiempo determinado y en instantes aleatorios se generaron las señales de alerta y así se valoró la incidencia en el conductor. La figura 25-3 muestra el entorno de simulación para la evaluación de la respuesta a los estímulos que representan los tres tipos de señales de alerta. Se enmarca en el círculo color rojo la señal de alerta visual, en el círculo azul la auditiva y en el naranja la de pulso eléctrico.



**Figura 77-3.** Entorno de simulación para evaluación de los tipos de alertas.

Realizado por: Arévalo, J. 2021

En esta prueba se caracterizó la reacción a los estímulos de las alertas con el uso del brazaletes Myo evaluando las señales electromiográficas que genera el antebrazo del conductor al momento de conducir y ser alertado.

La figura 26-3 representa la sección del circuito electrónico y la toma de señales electromiográficas al momento de la interacción del conductor con el simulador. Para esta prueba se optó por usar la aplicación Myo visualizador.



**Figura 78-3.** Circuito electrónico y test de señales electromiográficas.

Realizado por: Arévalo, J. 2021

Para la evaluación de la señal de alerta visual, se empleó dos luces leds colocadas una al lado derecho y otra al lado izquierdo donde cada vez que una de ellas se encendía señalaba un desvío en esa dirección, alertando al conductor para que ejecutó una acción de corrección.

La figura 27-3 (a) representa la activación de alerta de desvío hacia la derecha y la 27-3 (b) el desvío hacia la izquierda.



**Figura 79-3.** Entorno de simulación para evaluación de los tipos de alertas – alerta visual.

Realizado por: Arévalo, J. 2021

### **Alerta Visual**

Se realizaron 10 iteraciones aleatorias para la generación de la alarma visual para el conductor, donde se obtuvo como resultado que el conductor ignoró dos de las señales de alerta y las ocho restantes las visualizó y ejecutó la acción de corrección, se interpreta que esto fue debido al grado de concentración que el usuario experimentó en la aplicación interactiva.

### **Alerta auditiva**

Para la valoración de la incidencia de la alerta auditiva en el conductor se realizaron también 10 iteraciones, donde se obtuvo como resultado que el conductor detectó y ejecutó la acción de corrección en todas las pruebas.

### **Alerta de descarga eléctrica**

Finalmente, para la evaluación de la señal de alerta con una descarga eléctrica controlada, se colocó en el brazo derecho el dispositivo de descarga. Para la valoración de su incidencia se realizaron también 10 iteraciones aleatorias, en el cual se obtuvo como resultado que el conductor detectó la alerta en todas las pruebas.

Al comparar los resultados de los tres tipos de alerta realizados al conductor en el simulador se determinó que la alerta visual alcanzó una efectividad del 80%, la auditiva y por descarga eléctrica el 100% como se puede observar en la tabla 15-3, cabe indicar que los resultados obtenidos pueden cambiar de acuerdo a la persona que se evalúe, según (Castro, 2017) las aplicaciones interactivas tendrán su incidencia en el grado de concentración acorde al número de horas que se le dedique a esto.

Para evaluar el protocolo de comunicación se dan valores de cero y uno, donde cero representa que el conductor no detectó la alerta y uno que el conductor detectó la alerta, esta consideración se realizó en las tablas 15-3 y 16-3.

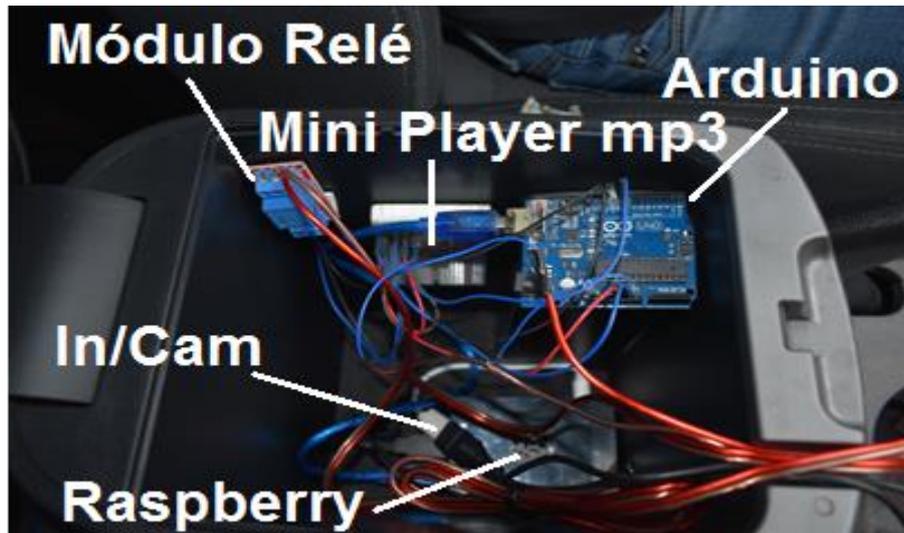
**Tabla 18-3:** Resultados de los tres tipos de alerta realizados en el simulador

# de Iteraciones	Alerta Visual	Alerta Auditiva	Alerta descarga Eléctrica
1	1	1	1
2	0	1	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	0	1	1
9	1	1	1
10	1	1	1
<b>Total Aciertos</b>	8	10	10
<b>Eficiencia (%)</b>	80	100	100

Realizado por: Arévalo, J. 2021

### 3.1.5.1 Pruebas realizadas en la vía

En la evaluación del protocolo de alerta para el conductor realizados en la vía, se partió de la instalación de los componentes hardware considerados para la implementación del sistema, las pruebas se realizaron en un auto KIA Sportage 2018 que dispone de un baúl en la sección media entre los asientos delanteros y posterior a la palanca de cambios, el mismo que fue empleado para albergar la circuitería del sistema como se puede observar en la figura 28-3.



**Figura 80-3.** Instalación de hardware para gestión de señales de alerta en el auto.

Realizado por: Arévalo, J. 2021

La figura 29-3 muestra la ubicación de los actuadores para las señales de alerta instaladas en el auto, los mismos que generan los tres tipos de señales de aviso de un suceso inesperado (Desvío de carril). Se enmarca en el círculo color rojo la señal de alerta visual, en el círculo azul la auditiva y en el naranja la de pulso eléctrico.



**Figura 81-3.** Instalación de hardware para gestión de señales de alerta en el auto

Realizado por: Arévalo, J. 2021

Para llevar a cabo las pruebas de los 3 tipos de sistemas de alerta se definió ciertos lineamientos, se realizó 10 iteraciones por cada tipo de alerta, con la ayuda de otro automóvil se generó las condiciones de deslumbramiento para así evaluar las reacciones del conductor a cada alerta emitida por el sistema. Para llevarlo a cabo se realizó en la vía de prueba mencionada anteriormente, en horas de la noche para poder contar con una vía libre y así evitar cualquier tipo de accidentes.

Posteriormente se realizaron las pruebas donde se caracterizó la reacción que genera cada tipo de alarma mediante el análisis del comportamiento de las señales electromiográficas tomadas con el brazalete Myo en el antebrazo del conductor.

### **Alerta Visual**

Para la evaluación de la señal de alerta visual, se empleó dos luces leds donde cada una representa la señal de un desvío hacia la izquierda o derecha, por lo que la inducción para el conductor consistió en:

- En caso de encenderse la señal lumínica derecha representará un desvío hacia ese lado, donde la maniobra correctiva será el desplazamiento del volante hacia la izquierda.
  
- En caso de encenderse la señal lumínica izquierda representará un desvío hacia ese lado, donde la maniobra correctiva será el desplazamiento del volante hacia la derecha.

Adicionalmente se conjugó el uso de dos colores de luces leds para determinar la influencia del color en la identificación de la señal de alerta, sin embargo, en esta prueba no se notó diferencia, pues la alerta fue identificada en todas las pruebas.

La figura 30-3 (a) representa la activación de alerta de desvío hacia la derecha y la 30-3 (b) el desvío hacia la izquierda

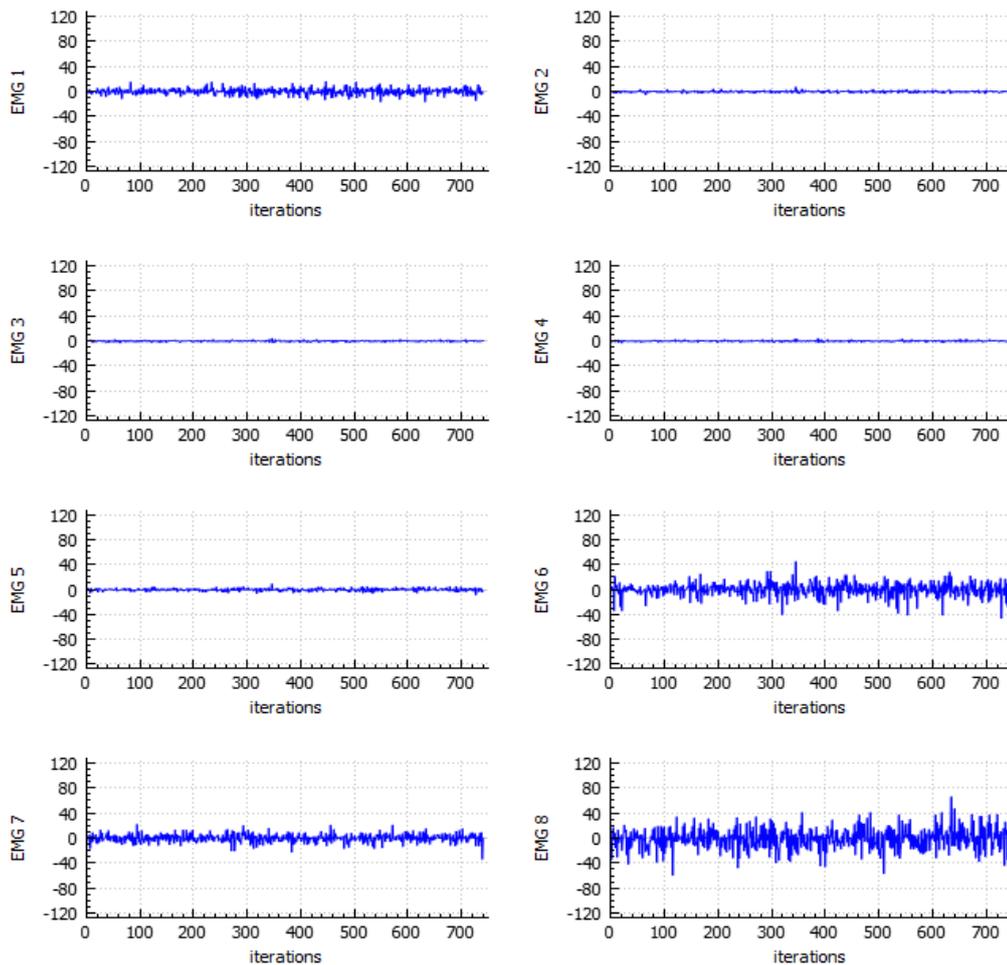


**Figura 82-3.** Evaluación en la conducción de los tipos de alertas – alerta visual.

**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

De la evaluación de las 10 iteraciones se obtuvo como resultado que el conductor detectó todas las alertas visuales durante el trayecto, ejecutando así las acciones de corrección, además se pudo determinar que la instalación de las luces leds debe ser en un lugar estratégico de acuerdo al tipo de volante del auto en el que se instale el sistema, una mala ubicación podría generar el bloqueo de la señal de alerta por una obstrucción.

Analizando el comportamiento de las señales electromiográficas del antebrazo del conductor se obtuvo como resultado las señales mostradas en el figura 31-3 de las que se puede interpretar que no existe mayor incidencia de la alarma sobre la acción muscular realizada al corregir una trayectoria al detectar la señal de alerta, los sensores EMG 2, EMG 3, EMG 4 y EMG 5 se observa que no tienen variaciones considerables, esto se dedujo es porque esos sensores detectan señales electromiográficas generadas en el antebrazo a partir del movimiento de los dedos índice, medio, anular y meñique, los mismos que al ir sujetando el volante mantienen la señal constante. Por otro lado, se dedujo que los sensores EMG1, EMG 6, EMG8, EMG9 presentaban variación porque es el dedo pulgar el que ejerce mayor fuerza sobre el volante al desplazarlo, pero es una acción uniforme, no hay mayor alteración en las señales electromiográficas adquiridas.



**Figura 83-3.** Señales electromiográficas del antebrazo del conductor – respuesta alerta visual

**Fuente:** Myo Visualizador

**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

### Alerta Auditiva

Para la evaluación de la señal de alerta auditiva, se empleó el módulo DF Player mini cargado con dos audios en formato .mp3 con el mensaje “Corrija trayectoria a la derecha” y “Corrija trayectoria a la izquierda” por lo que la inducción para el conductor consistió en:

- En caso de escuchar “Corrija trayectoria a la derecha” representará un desvío hacia la izquierda, donde la maniobra correctiva será el desplazamiento del volante hacia la derecha.
- En caso de escuchar “Corrija trayectoria a la izquierda” representará un desvío hacia la derecha, donde la maniobra correctiva será el desplazamiento del volante hacia la izquierda.

El módulo DF Player mini tiene la capacidad de poder conectarse a un parlante o a un jumper de salida, la cual permitirá hacer una conexión a cualquier dispositivo de audio con el que cuente el vehículo. En este caso para evidenciar las pruebas de audio realizadas, como se puede observar en la figura 32-3, se hizo uso de un dispositivo tecnológico (audífonos).

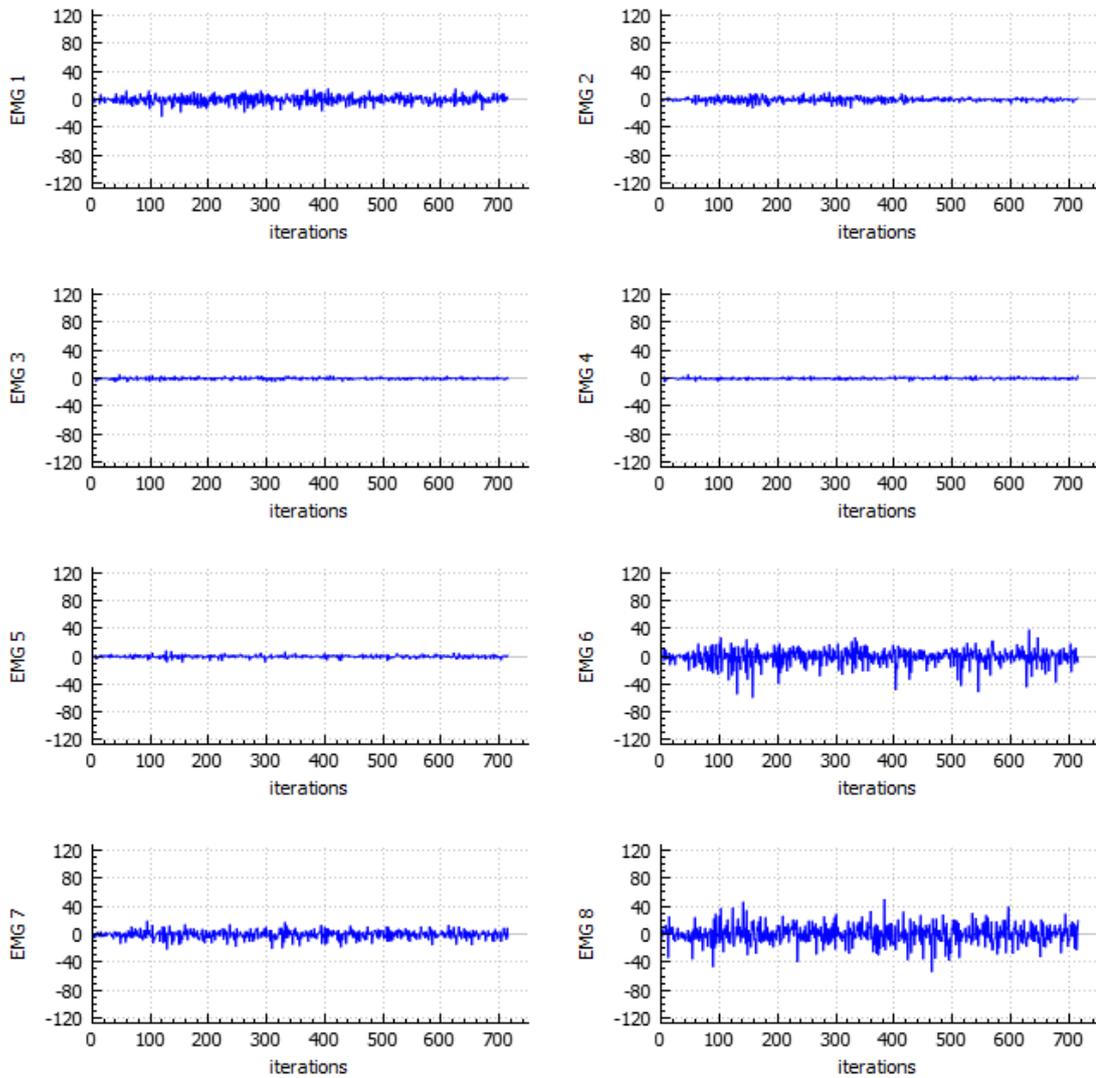


**Figura 84-3.** Evaluación en la conducción de los tipos de alertas – alerta auditiva

**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

Para las pruebas de alerta auditiva se realizaron 10 iteraciones obteniendo como resultado que el conductor tuvo una respuesta positiva a todos los mensajes de audio propiciados por el sistema de alerta y ejecutó las acciones de corrección en todas las iteraciones.

En la figura 33-3 se visualiza el comportamiento de las señales electromiográficas adquiridas al realizarse una acción de corrección al detectar la alerta auditiva, donde se establece que no hay una incidencia considerable sobre el conductor al momento de ejecutar las acciones de corrección.



**Figura 85-3.** Señales electromiográficas del antebrazo del conductor – respuesta alerta auditiva

Fuente: Myo Visualizador

Realizado por: Arévalo, J. 2021

### Alerta por descarga Eléctrica

Para la evaluación de la señal de alerta con una descarga eléctrica controlada, se colocó en el brazo derecho el dispositivo de descarga basado en un autotransformador descrito en la parte de hardware, en este caso la inducción para el conductor se trataba de identificar el estímulo más no efectuar ninguna acción de corrección pues no existe discriminación de la señal si es izquierda o derecha, es un tipo de alerta comparado con los existentes de vibrador en el asiento del conductor para simplemente alertarlo que debe guardar atención al entorno por donde está conduciendo.

La figura 34-3 representa la anexión del dispositivo generador de descarga en el antebrazo del conductor.

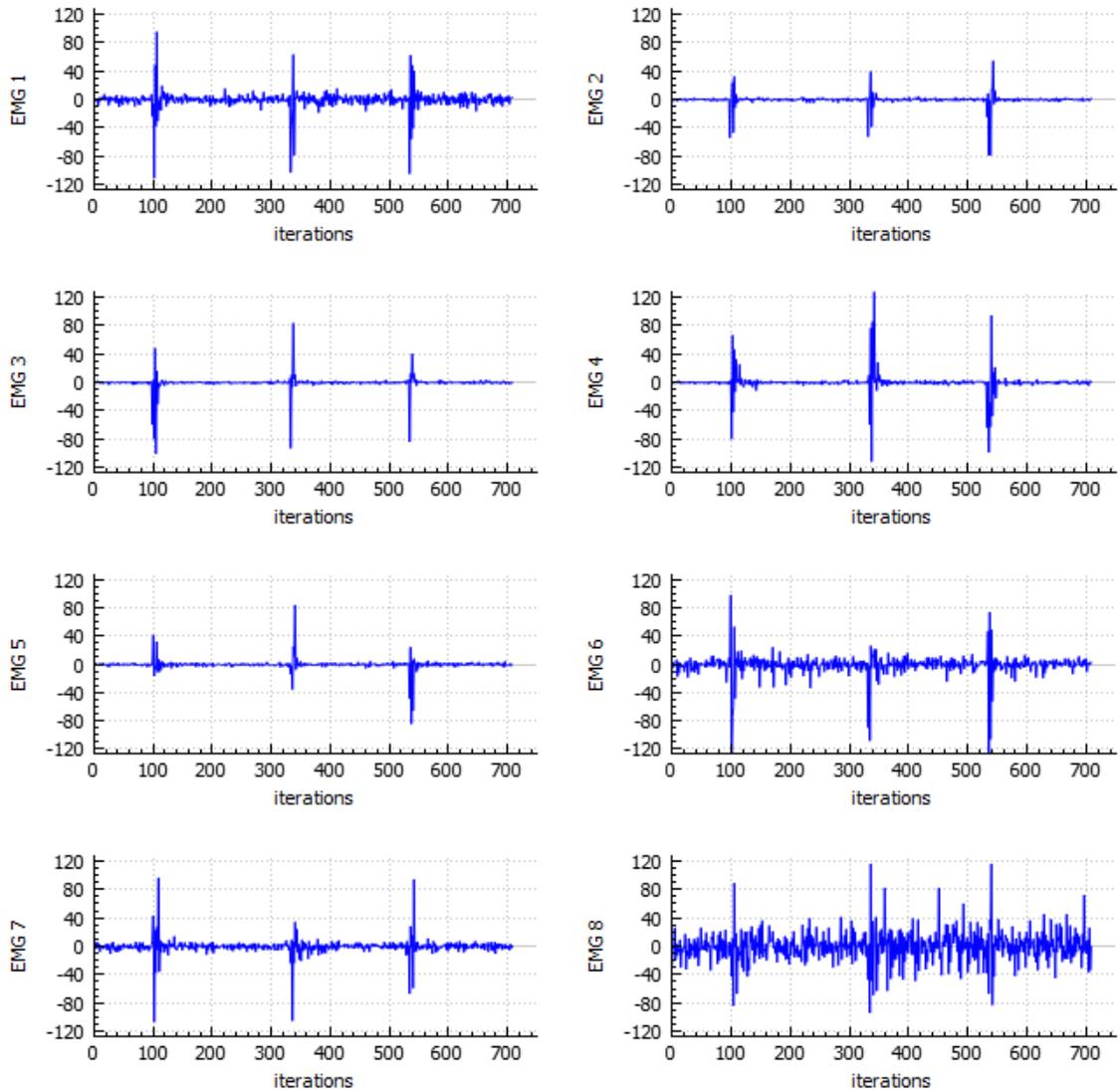


**Figura 86-3.** Evaluación en la conducción de los tipos de alertas – alerta descarga

**Realizado por:** Arévalo, J. 2021

Para la valoración de la alerta con descarga eléctrica se realizó también 10 iteraciones, donde se obtuvo una respuesta favorable del conductor al identificar la señal de alerta en todas las iteraciones.

En la figura 35-3 se visualiza el comportamiento de las señales electromiográficas para esta prueba, donde se puede determinar que este tipo de alarmar si incide directamente en el conductor, los picos que se observan en las señales de todos los sensores EMG denotan la acción de la descarga eléctrica sobre el músculo, representan una contracción del mismo.



**Figura 87-3.** Señales electromiográficas del antebrazo del conductor – respuesta alerta descarga

Fuente: Myo Visualizador

Realizado por: Arévalo, J. 2021

La figura 36-3 muestra el entorno completo del sistema prototipo instalado en el auto, se resalta el uso de dos computadores, el uno fue empleado como monitor VNC de la Raspberry para verificar la funcionalidad del algoritmo de visión y el otro para el monitoreo de las señales electromiográficas adquiridas desde el brazalete Myo. Además, debe mencionarse que se empleó un celular con servicio de internet como proveedor del servicio para la Raspberry y el computador y así poder enlazarlos. Como suministro de energía de la Raspberry se empleó la cigarrillera de salida de 5 v a 180w.



**Figura 88-3.** Sistema prototipo instalado en el auto.

Realizado por: Arévalo, J. 2021

**Tabla 19-3:** Resultados de las pruebas de los tres tipos de alerta realizados en la vía

# de Iteraciones	Alerta Visual	Alerta Auditiva	Alerta descarga Eléctrica
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1
9	1	1	1
10	1	1	1
<b>Total Aciertos</b>	10	10	10
<b>Eficiencia (%)</b>	100	100	100

Realizado por: Arévalo, J. 2021

Al comparar los resultados de los tres tipos de alerta como se muestra en la tabla 16-3, se puede determinar que los tres alcanzan una efectividad del 100%, lógicamente al experimentar con

distintas personas la eficiencia del dispositivo podría variar. Igualmente, al revisar la respuesta de las señales electromiográficas tanto en las pruebas realizadas en la vía como las pruebas realizadas en el entorno interactivo, se determinó que la alerta basada en una descarga eléctrica es invasiva y genera la alteración muscular entregando una variación abrupta en las señales EMG.

### 3.2 Consumo de energía del dispositivo

Con la ayuda de un multímetro “UNI-T – UT202A”, se realizó las mediciones del consumo del sistema prototipo la cual fue alimentado con la batería del auto que posee un voltaje de 12V – 58Ah, al momento de iniciar la Raspberry y sin ejecutar el programa se obtuvo un consumo de corriente en DC de 0.6 A, Además se tomaron las lecturas del consumo de energía de cada etapa como se muestra en la Tabla 17-3, obteniendo un consumo total de 14.8W.

**Tabla 20-3:** Consumo de energía del sistema

Dispositivo	Consumo(W)
Raspberry pi 4 (Etapa adquisición de imagen)	5.85
Raspberry pi 4 (Etapa detección de encandilado)	6.26
Arduino UNO R3 y circuito de aviso al conductor	2.7
Total, consumo (w)	<b>14.81</b>

Realizado por: Arévalo, J. 2021

### 3.3 Tiempo de respuesta del sistema

En este apartado se muestran los resultados de las pruebas realizadas para determinar el tiempo que tardo en ejecutar la Raspberry el algoritmo de visión artificial para la detección de encandilado y la activación de la asistencia al conductor, en la tabla 18-3 se muestra los resultados con el tiempo en segundos que tardo en ejecutarse cada proceso, adicional a esto también se muestra el tiempo de ejecución que tardó en realizar el algoritmo de visión artificial en una computadora que cuenta con un mejor procesador i7 y memoria RAM de 16G en comparación a la Raspberry Pi4, demostrando que existe una gran diferencia en lo que refiere a la ejecución del sistema entre la Raspberry y una Laptop. Donde se obtuvo como resultado que el tiempo total que le llevo a la Raspberry realizar todo el proceso fue de 1,02s, mientras que el tiempo que le tomo a la computadora realizar el mismo proceso fue de 0,60s.

**Tabla 21-3:** Tiempo de ejecución del sistema

Procesos	Raspberry pi4 (s)	Laptop Core i7(s)
Adquisición de imagen + procesamiento de imagen	0,30	0,12
Detección de encandilado + detección de cambio de carril	0,72	0,48
Comunicación con los actuadores (Elementos de aviso al conductor)	0,11	0,11
<b>Total</b>	1,02	0,60

Realizado por: Arévalo, J. 2021

Adicionalmente se realizó un análisis de la cantidad de fotogramas, que es la cantidad de imágenes consecutivas que se muestran en pantalla por cada segundo, determinando que la Raspberry Pi4 detecta 22 FPS (fotogramas por segundo), mientras que la Laptop analiza 54 FPS, viendo claramente que su unidad de procesamiento grafico es superior que la Raspberry Pi4.

### 3.4 Gestión del proyecto

#### 3.4.1 Cronograma

**Tabla 22-3:** Cronograma.

Actividad	Mes 1		Mes 2		Mes 3		Mes 4		Mes 5		Mes 6	
	Semanas		Semanas		Semanas		Semanas		Semanas		Semanas	
	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4
Etapa de análisis y recolección de información necesaria para definición de requerimientos en base a la indagación de sistemas existentes.	■	■	■									
Etapa Diseño y Configuración de elementos <i>Hardware</i> y <i>Software</i>			■	■	■	■	■					
Etapa Implementación del prototipo (Desarrollo del algoritmo de Visión, Sistemas de alerta)					■	■	■	■	■			
Etapa de Análisis de resultados y pruebas							■	■	■	■		
Etapa de redacción del informe final							■	■	■	■	■	■
Etapa de Articulación Científica											■	■

Realizado por: Arévalo, J. 2021

### 3.4.2 Recursos y materiales

En este espacio se detallan los recursos tanto humanos y económicos, equipamiento y materiales empleados para el desarrollo del proyecto.

### 3.4.3 Costos Directos

Se detallan los costos que influyeron directamente para la implementación del modelo prototipo de conducción asistida para conductores de automóviles en caso de deslumbramiento empleando técnicas de procesamiento de imágenes.

En la tabla 20-3 se mencionan el costo de los equipos y materiales empleados en la construcción del prototipo.

**Tabla 23-3:** Costo de implementación del prototipo

<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>V. UNITARIO (USD)</b>	<b>V. TOTAL (USD)</b>
1	Ordenador	700	700
1	Kit de Raspberry Pi 4	120	120
1	Monitor	150	150
1	Cámara HD	140	140
1	Arduino UNO R3	15	15
1	DF Player Mini	12	12
		Total	1137

Realizado por: Arévalo, J. 2021

### 3.4.4 Talento Humano

Para la ejecución de este proyecto fue necesario desarrollar habilidades y destrezas para la investigación y vinculación de recursos útiles a las estrategias de desarrollo del proyecto para poder culminarlo con éxito cumpliendo con los objetivos planteados.

Ing. José Luis Tinajero, director e Ing. Fausto Cabrea A. miembro del trabajo de titulación quienes, con su conocimiento y experiencia colaboraron en el desarrollo del proyecto.

### ***3.4.5 Recursos Materiales***

La adquisición de los materiales no representó inconveniente todo lo dimensionado se lo encontró fácilmente en el mercado local, los recursos para la compra de los mismos se obtuvieron por autogestión del autor. La implementación del prototipo se lo puede replicar sin mucha inversión.

#### 4. CONCLUSIONES

Las indagaciones realizadas sobre la existencia de dispositivos para alertar al conductor al momento de salirse del carril se pudo verificar que muchas marcas fabricantes de automóviles, tales como Ford, Mercedes Benz, Citroën, Honda, Toyota, Nissan, Volkswagen y BMW, en sus modelos más modernos disponen de sistemas basados en visión artificial para la detección de carril en la calzada, que combinados con los sistemas de alerta como luces piloto, pantallas con interfaces gráficas o vibradores en los asientos, brindando mayor seguridad y confort al momento de conducir.

Las investigaciones sobre el deslumbramiento y su afectación a los conductores durante la noche se pudieron determinar que produce un efecto contraproducente para su nivel de sensibilidad provocando una miosis máxima, puesto que en la noche los ojos están adaptados a la oscuridad. Para la identificación del deslumbramiento en el prototipo, se generó un total de 200 cuadros en el área de análisis y se estableció mediante código que el sistema se active si detecta al menos un 20% de cuadrículas con un nivel de brillo alto.

Con el propósito de crear un protocolo de comunicación apropiado para asistir al conductor en caso de deslumbramiento, se desarrolló tres tipos de alerta (visual, auditivo y por pulsos eléctricos), los cuales sirvieron para guiar al conductor en caso de detectar una salida de carril.

Se evaluó la respuesta del conductor ante un estímulo visual, auditivo y una descarga eléctrica controlada, interpretando el comportamiento de las señales electromiográficas mediante el uso del brazalete Myo, ubicado en el antebrazo del conductor, contando con un total de 10 pruebas realizadas en el entorno interactivo, se obtuvo como resultado que las alertas visuales alcanzó una eficiencia del 80%, las auditivas y por descargas eléctricas un 100%.; cuando el dispositivo fue colocado en el vehículo se obtuvo como resultado que los tres tipos de alerta alcanzo una eficiencia del 100%.

Se determinó que la incidencia de las señales de alerta no invasivas implementadas en el prototipo como: visual y auditiva, no generan mayor alteración en la lectura de las señales electromiográficas tomadas del antebrazo del conductor, mientras que la alerta invasiva fundamentada en una descarga eléctrica, produjo alteraciones bruscas en la lectura de las señales electromiográficas, debido a la contracción muscular, además se podría mencionar que el protocolo ideal de alerta en el prototipo es la combinación de los tres tipos de estímulos probados.

## **5. RECOMENDACIONES**

Para la evaluación del prototipo se trabajó en un ambiente ideal en donde la seguridad y conservación de la cámara empleada, la misma que no se vio afectada, por lo que se sugiere en caso de replicar el proyecto y someterlo a situaciones de lluvia, polvo, entre otros factores, considerar la elaboración de un sistema de protección para dicho instrumento.

Para optimizar el algoritmo y evitar posibles calibraciones en trabajos futuros se puede añadir algoritmos basados en redes neuronales.

Se recomienda que en instancias futuras en las que se supere la época de pandemia se pueda ampliar el estudio de la aplicación de este sistema, con la generación de convenios en cooperación de empresas de transporte y valorar la utilidad del mismo, específicamente con conductores en escenarios que presentarán no solo efectos de deslumbramiento si no también cansancio, fatiga, estrés, trastornos psicológicos entre otros factores que puedan influir en el desempeño erróneo al conducir.

Para la ubicación del sistema de alerta visual se debe considerar el diseño de tableros vehiculares, tomando en cuenta que existe variedad de modelos, el dispositivo visual no siempre ira en un mismo lugar, es por ello que se recomienda ubicarlo en un sitio donde el conductor pueda visualizarlo sin ningún inconveniente.

## **GLOSARIO**

### **VISIÓN ARTIFICIAL**

Consiste básicamente en la deducción automática de la estructura y propiedades de un mundo tridimensional, posiblemente dinámico, a partir de una o varias imágenes bidimensionales de ese mundo. En esta área de conocimiento se aúnan conceptos de la física del color, óptica, electrónica, geometría, algorítmica, sistemas de computación, etc. (Pajares y Escalera, 2016, p. 11)

### **PYTHON**

Python es un lenguaje de "dirección" para códigos científicos escritos en otros idiomas. Sin embargo, con herramientas básicas adicionales, Python se transforma en un lenguaje de alto nivel adecuado para el código científico y de ingeniería que a menudo es lo suficientemente rápido como para ser inmediatamente útil, pero también lo suficientemente flexible como para ser acelerado con extensiones adicionales. (Oliphant, 2007, pp. 10-20)

## BIBLIOGRAFÍA

**Raspberry PI, FOUNDATION,.** *Raspberry Pi*. [En línea] 2019. [Citado el: 16 de Noviembre de 2019.] <https://www.raspberrypi.org/>.

**INFAIMON.** *Sistemas de visión artificial: tipos y aplicaciones*. [En línea] 2019. <https://blog.infaimon.com/sistemas-de-vision-artificial-tipos-aplicaciones/>.

**EDS Robotics.** *Sistemas de Visión Artificial: tipos y aplicaciones*. [En línea] 2020. <https://www.edsrobotics.com/blog/sistemas-de-vision-artificial-tipos-aplicaciones/>.

**ETI.** *Visión Artificial*. [En línea] 2010. <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>.

**Viera, G.** *PROCESAMIENTO DE IMÁGENES USANDO OPENCV APLICADO EN RASPBERRY PI PARA LA CLASIFICACIÓN DEL CACAO*. [En línea] 2017. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2916>.

**Gonzalez, R y Woods, R.** *Digital Image Processing*. Inglaterra : Pearson Education Limited, 2018.

**Mejía, J.** *Procesamiento Digital de Imágenes (Primer borrador)*. [En línea] 2005. <http://laurence.com.ar/artes/comun/Apuntes%20procesamiento%20digital%20de%20imagenes.pdf>.

**CAPTURE THE ATLAS.** *RUIDO EN FOTOGRAFÍA: QUÉ ES Y CÓMO CONTROLARLO*. [En línea] 2019. <https://capturetheatlas.com/es/ruido-en-fotografia/>.

**Ortiz, C.** *Selección y adecuación de la imagen para productos editoriales*. ARGN0210. España : IC Editorial, 2016.

**Esqueda, J y Palafox, L.** *Fundamentos de procesamiento de imágenes*. Baja California : Universidad Autónoma de Baja California, 2005.

**Querejeta, P.** *Procesamiento digital de imágenes*. [En línea] 2015. <http://lcr.uns.edu.ar/fvc/notasdeaplicacion/fvc-querejetasimbenipetro.pdf>.

**UM.** *Técnicas de filtrado*. [En línea] 2006. <https://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema06.pdf>.

**Viso, E.** *TECNOVOLUCION*. [En línea] 2019.

<https://tecvolucion.com/que-es-conduccion-asistida/>.

**Stasi, E.** *Programación en Python III: Proyectos prácticos - Raspberry Pi - MicroPython*. Buenos Aires : RedUsers, 2020.

**Peña, C.** *Descubriendo Arduino*. Buenos Aires : RedUsers, 2020.

**Sarmiento, L.** *Interfaces cerebro-computador para el reconocimiento automático del habla silenciosa*. Bogotá : Universidad Pedagógica Nacional,, 2019.

**Arias, D y Barreto, F.** *Sistema de conexión inalámbrico entre un brazalete Myo y una prótesis de miembro superior por medio de Bluetooth de baja energía*. [En línea] 2018. <https://pdfs.semanticscholar.org/e5d0/b82a5f1910fb0d67af059397dc98890a1152.pdf>.

**Arteaga, S.** *Myo, un brazalete para controlar los dispositivos con gestos*. [En línea] 2015. <https://computerhoy.com/noticias/hardware/myo-brazalete-controlar-dispositivos-gestos-35559>.

**R, Carmen.** *Gráficas*. [En línea] 09 de Marzo de 2019. <https://graficaciontmmjc.blogspot.com/>.

**José, P.** *Mecánicas*. [En línea] 31 de enero de 2014.

<http://www.blogmecanicos.com/2014/01/sistema-alerta-cambio-carril-involuntario-LDW.html>.

**Espada, V y Araya, L.** *Técnicas computacionales aplicadas a la asistencia en la conducción de vehículos*. Buenos Aires : Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas, 2017.

**Ford.** *Explorar Tecnologías Ford*. [En línea] 2020. <https://www.ford.pe/tecnologia/sistema-mantenimiento-de-carril/>.

**Arévalo, J.** *Asociación Española Centros de Reconocimiento de conductores*. [En línea] 2020. <https://centros-psicotecnicos.es/formacion-continuada/cursos-medicos/curso-de-oftalmologia/sentido-luminoso>.

**MAPFRE, F.** *Médicos por la seguridad Vial . Sentido Luminoso y Conducción*. [En línea] 2020. [https://www.fundacionmapfre.org/fundacion/es\\_es/programas/seguridad-vial/movilidad-segura-salud/temas-conduccion-segura/vista-oido-piel/deslumbramiento-sentido-luminoso.jsp](https://www.fundacionmapfre.org/fundacion/es_es/programas/seguridad-vial/movilidad-segura-salud/temas-conduccion-segura/vista-oido-piel/deslumbramiento-sentido-luminoso.jsp).

**Sánchez, C.** *correlación entre la agudeza visual (AV) mesópica de contraste 100% y la AVfotópica en función del contraste de los optotipos en conductores*. Madrid : Alta eficiencia tecnológica, 2012.

**Vázquez, C.** *DESARROLLO DE UNA AYUDA TÉCNICA PARA ALUMNOS DEL COLEGIO SAN RAFAEL (14): TRANSICIÓN A LA VIDA ADULTA -DIANA ADAPTADA(1)*. Madrid : Universidad Carlos III de Madrid, 2016.

**Guerrero, J.** Plus electric. *Arduino Uno: Especificaciones y características*. [En línea] 21 de 09 de 2014. <https://pluselectric.wordpress.com/2014/09/21/arduino-uno-especificaciones-y-caracteristicas/>.

**Rus, C.** Xataka. *Raspberry Pi 4 es oficial: una completa actualización con procesador Cortex-A72, hasta 4 GB de RAM*. [En línea] 24 de 06 de 2019. <https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-4-caracteristicas-precio-ficha-tecnica>.

**Enfasis. E.** *Genius presentó nueva cámara web Full HD WideCam F100*. [En línea] 02 de 10 de 2014. <https://www.enfasis.net/2014/10/02/genius-presento-nueva-camara-web-full-hd-widecam-f100/>.

**Guzmán, R.** *Electrónica y ciencia*. [En línea] 2020. <http://electronicayciencia.blogspot.com/2010/06/matamoscas-electronico-flyback.html>.

**Tutorialspoint.** *Tutorials point. Tutorial Open CV*. [En línea] 2021. [https://www.tutorialspoint.com/opencv/opencv\\_gaussian\\_blur.htm](https://www.tutorialspoint.com/opencv/opencv_gaussian_blur.htm).

**Castro, C.** *Jugar a videojuegos mejora el cerebro*. [En línea] 22 de 07 de 2017. <https://www.elindependiente.com/vida-sana/2017/07/22/jugar-a-videojuegos-mejora-el-cerebro/>.

**AibiTech.** *Electrónica instrumentos de medición*. [En línea] 2021. [https://www.aibitech.com/electronica-instrumentos-de-medicion/luminometro/luminometro-luxometro-digital-uni-t-ut-383-rango-de-medicion-0-9999lux-uni-t-14257.html?fbclid=IwAR11\\_bz5kB11HZ6vWDDwbGt4t6ul2B2vt23B8Bwo15CQcfFuxcRMX8hsaTA](https://www.aibitech.com/electronica-instrumentos-de-medicion/luminometro/luminometro-luxometro-digital-uni-t-ut-383-rango-de-medicion-0-9999lux-uni-t-14257.html?fbclid=IwAR11_bz5kB11HZ6vWDDwbGt4t6ul2B2vt23B8Bwo15CQcfFuxcRMX8hsaTA).

**Ruiz, G.** *Manual de iluminación vial*. [En línea] 2015. [https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual\\_iluminacion/M anual\\_de\\_Iluminacion\\_Vial\\_2015.pdf](https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_iluminacion/M anual_de_Iluminacion_Vial_2015.pdf).

**Camarero, A.** *Diseño e implementación de un prototipo experimental de simulación dinámica de deslumbramiento*. [En línea] 2016. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/22574/TFG-I-567.pdf?sequence=1>.

**Sanleón, M.** *Iluminación y Señalización*. [En línea] 2011.

[http://www.educa.madrid.org/web/ies.mateoaleman.alcala/Iluminacion.pdf?fbclid=IwAR3dtYp-uNYdQoq-NpghBNGF\\_Lb0yRIGucVQHGvWiccpa22dLAsFOPzdDQc](http://www.educa.madrid.org/web/ies.mateoaleman.alcala/Iluminacion.pdf?fbclid=IwAR3dtYp-uNYdQoq-NpghBNGF_Lb0yRIGucVQHGvWiccpa22dLAsFOPzdDQc).

**Salcedo, M y Cendrós, J.** *USO DEL MINICOMPUTADOR DE BAJO COSTO “RASPERRY PI” EN ESTACIONES METEOROLÓGICAS.* 2006. Vol. 15, 1, págs. 62-84.

**Ruiz, G.** *Manual de iluminación vial1.* [En línea] 2015.

[https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual\\_iluminacion/Manual\\_de\\_Iluminacion\\_Vial\\_2015.pdf?fbclid=IwAR1sNJXpdTg3Fq4RXLxfPk-fXMBwvHKwRdROdR-t\\_wfebJDJCMZvuqNQO0U](https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_iluminacion/Manual_de_Iluminacion_Vial_2015.pdf?fbclid=IwAR1sNJXpdTg3Fq4RXLxfPk-fXMBwvHKwRdROdR-t_wfebJDJCMZvuqNQO0U).

## ANEXOS

### Anexo A: Programación Algoritmo Visión Artificial

```
import cv2
import numpy as np
import time
import math
import imutils
#import pyfirmata2
from PIL import ImageGrab
#PORT = pyfirmata2.Arduino.AUTODETECT
#board = pyfirmata2.Arduino(PORT)

tiempoH_I , tiempoM_I , tiempoS_I = time.strftime("%H") ,
time.strftime("%M") , time.strftime("%S")
tiempo_inicio = int(tiempoH_I)*3600 + int(tiempoM_I)*60 +
int(tiempoS_I)
CAMBIO = True
def nothing(x):          pass    # TRACKBAR (BARRAS DESLIZANTES)
cv2.namedWindow('Vias') ,
cv2.createTrackbar('CUADROS','Vias',0,1,nothing) ,
cv2.createTrackbar('ZONA','Vias',0,1,nothing)
, cv2.createTrackbar('SALIR','Vias',0,1,nothing)
, cv2.createTrackbar('CAPO','Vias',0,2,nothing)
, cv2.createTrackbar('REST','Vias',0,1,nothing)
def canny(image):

# CANNY
    gris = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    blur = cv2.GaussianBlur(gris, (5,5),0)
    canny = cv2.Canny(blur, 50, 150)
    return canny
def region_de_interesrep (image):

## REGIONE DE INTERES          ON
#CAPO
    if CAPOVal == 0:
        zona = np.array
        ([[ (120,360) , (560,360) , (500,300) , (240,300) ]])

#CENTRO
    if CAPOVal == 1:
        zona = np.array
        ([[ (410,295) , (680,295) , (610,250) , (475,250) ]])

#INFERIOR
    if CAPOVal == 2:
        zona = np.array
        ([[ (0,500) , (ancho,500) , (ancho,410) , (0,410) ]])
        Color = (255,255,255)
        mascara =np.zeros_like(image)
        cv2.fillPoly(mascara,zona,Color)
        imagen_enmascarada = cv2.bitwise_and(image, mascara)
        return imagen_enmascarada
def promedio_pendiente_intercepcionrep (image , lineas):
```

```

#CLASIFICADOR DE LINEA IZQ , DER    ON
    lineanew2 = []
    if lineas is None:
        return lineanew2

    height, width, _ = image.shape
    izquierda_fit = []
    derecha_fit = []
    boundary = 1/3
    left_region_boundary = width * (1 - boundary)
    right_region_boundary = width * boundary

    for linea in lineas:
        x1 ,y1 ,x2 ,y2 =linea.reshape(4)
        if x1 == x2:
            x2 = x2 + 1
        parametros = np.polyfit((x1 ,x2), (y1 , y2) , 1)
        pendiente = parametros[0]
        intercepcion = parametros[1]

        if pendiente < 0 :
            if x1 < left_region_boundary and x2 <
left_region_boundary:
                izquierda_fit.append((pendiente , intercepcion))
            elif pendiente == 0:
                pass
            else :
                if x1 > right_region_boundary and x2 >
right_region_boundary:
                    derecha_fit.append((pendiente , intercepcion))

        izquierda_fit_promedio = np.average(izquierda_fit , axis=0)

        if len(izquierda_fit) > 0:
            izquierda_linea =
lineanew2.append(crear_coordendasrep(image,
izquierda_fit_promedio))

        derecha_fit_promedio = np.average(derecha_fit , axis=0)
        if len(derecha_fit) > 0:
            derecha_linea = lineanew2.append(crear_coordendasrep(image,
derecha_fit_promedio))
        return lineanew2

def crear_coordendasrep(image, linea_parametros):
#LIMITADOR DE LINEA    ON
    height, width, _ = image.shape
    slope, intercept = linea_parametros
    #CAPO
    if CAPOVal == 0:
        y1 = 360
        y2 = 300
    #CENTRO
    if CAPOVal == 1:

```

```

        y1 = 295
        y2 = 250
#INFERIOR
if CAPOVal == 2:
    y1 = 500
    y2 = 410
x1 = max(-width, min(2 * width, int((y1 - intercept) / slope)))
x2 = max(-width, min(2 * width, int((y2 - intercept) / slope)))
return np.array([x1,y1 ,x2 ,y2])

ider, iizq ,icen,numv = int(0) ,int(0),int(0),int(0)
controlder , controlizq , controlcentro , controlnumv
,controlVideo =True , True ,True ,True, True
contx = True
score ,score2 = 0 , 0
contador = 0

#LISTASVACIAS
Vacio ,PPY1 ,PPY2 ,Memoria ,MemoriaSup =[],[],[],[],[]
#CAPO
#MemoriaIX1 ,MemoriaIX2 ,MemoriaDX1 ,MemoriaDX2
=[360],[435],[650],[595]
#MED
MemoriaIX1 ,MemoriaIX2 ,MemoriaDX1 ,MemoriaDX2
=[375],[460],[634],[588]
#INF
#MemoriaIX1 ,MemoriaIX2 ,MemoriaDX1 ,MemoriaDX2
=[205],[395],[800],[660]

##LISTAS HISTO
ElementosQQ ,puntos10 ,puntos20 ,ElementosQQ ,puntos10
,puntos20 = [],[],[],[],[],[]

Cuad ,VECINOS0,VECINOS1,E ,Cuad = int(0)
,int(0),int(0),int(0),int(0)
prev_frame_time = 0
new_frame_time = 0

cap=cv2.VideoCapture('5FRI.mp4')
#LEER VIDEO ('enc2.mp4') <--- NOMBRE DEL VIDEO 0 <--CAMARA
#cap=cv2.VideoCapture(0)
while(cap.isOpened()):
    #video = np.array(ImageGrab.grab(bbox=(1,1,700,500)))
    #video= cv2.cvtColor(video, cv2.COLOR_BGR2RGB)
    _, video = cap.read()
    font = cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX
    new_frame_time = time.time()
    fps = 1/(new_frame_time-prev_frame_time)
    prev_frame_time = new_frame_time
    fps = int(fps)
    video3 = video.copy()
    CUADROSVal , ZONAVal ,SALIRVal , CAPOVal , RESTVal =
cv2.getTrackbarPos('CUADROS','Vias') ,
cv2.getTrackbarPos('ZONA','Vias'),
cv2.getTrackbarPos('SALIR','Vias') ,

```

```

cv2.getTrackbarPos('CAPO','Vias') ,
cv2.getTrackbarPos('REST','Vias')
    tiempoH_A , tiempoM_A , tiempoS_A = time.strftime("%H") ,
time.strftime("%M") , time.strftime("%S")
    tiempo_actual = int(tiempoH_A)*3600 + int(tiempoM_A)*60 +
int(tiempoS_A)
    cronometro = (int(tiempo_actual) - int(tiempo_inicio))

#CRONOMETRO
    video2 = cv2.cvtColor(video, cv2.COLOR_BGR2HSV)
    alto , ancho , canal = video.shape

#ALTO ANCHO Y CANTIDAD DE COLORES DEL VIDEO 3 BGR - 1 BLANCO Y
NEGRO
    #CAPO
    if CAPOVal == 0:
        ABAJO = 360
        ARRIBA = 300
    #CENTRO
    if CAPOVal == 1:
        ABAJO = 295
        ARRIBA = 250
    #INFERIOR
    if CAPOVal == 2:
        ABAJO = 500
        ARRIBA = 410

    Negro = np.zeros((alto, ancho, 3), dtype=np.uint8)

#BARRAS ZONA , MUESTRA LA ZONA DE INTERES
    Vias = np.zeros((50, ancho, 3), dtype=np.uint8)
    else:
        canny_image33 = canny(video3)
        Vias = region_de_interesrep(canny_image33)

    while Cuad == 0 :

#CREACION DE CUADRICULAS
        Cuad = Cuad + 1
        WIDTH, HEIGHT = ancho,alto -180
        nX, nY = 20,10 + 1

#NUMEROS DE CUADRICULAS
        xSize = WIDTH/nX
        ySize = HEIGHT/nY
        for x in range(0,nX):
            for y in range(1,nY):
                qp = [ round((y)*round(ySize)),
round((y+1)*round(ySize)), round(x*round(xSize)),
round((x+1)*round(xSize))]
                puntos1 = (round(x*round(xSize)) ,
round(y*round(ySize)))
                puntos2 = (round((x+1)*round(xSize)),
round((y+1)*round(ySize)))
                if qp is not True:

```

```

        ElementosQQ.append(qp)
    if puntos1 is not True:
        puntos10.append(puntos1)
    if puntos2 is not True:
        puntos20.append(puntos2)
histSize = 256

#HISTOGRAMA
    histRange = (0, 256)
    accumulate = False
    hist_w = 512
    hist_h = 400
    bin_w = int( hist_w/histSize )
    histImage = np.zeros((hist_h, hist_w, 3), dtype=np.uint8)
    Base = video2[0:round(HEIGHT/nY),0:ancho]

#SENSIBILIDAD DE LA CUADRICULA
    Pos = Q[i],puntos10[i],puntos20[i]
    if Q[i]> -0.04 :

#VALOR LLEGA DESDE 1 HASTA -0.1
        Estado0.append(Pos)
    else:
        Estado1.append(Pos)

    PUNTOSE1 = []
    for Es1 in Estado1 :
        PQ = Es1[1]
        if PQ is not True:
            PUNTOSE1.append(PQ)
    LD0 = [0] * len(PUNTOSE1)
    for p in range (0,len(PUNTOSE1)):

#ON NUMEROS DE VECINOS CELDAS VERDES (ACTIVAS)
        PX1 , PY1 = PUNTOSE1 [p]
    if (PX1 - round(xSize) ,PY1- round(ySize)) in PUNTOSE1 : #1
        LD0[p] = LD0[p] + 1
    if (PX1,PY1- round(ySize)) in PUNTOSE1 : #2
        LD0[p] = LD0[p] + 1
    if (PX1 + round(xSize) ,PY1- round(ySize)) in PUNTOSE1 : #3
        LD0[p] = LD0[p] + 1
    if (PX1 - round(xSize) ,PY1) in PUNTOSE1 : #4
        LD0[p] = LD0[p] + 1
    if (PX1 + round(xSize) ,PY1 ) in PUNTOSE1 : #5
        LD0[p] = LD0[p] + 1
    if (PX1 - round(xSize) ,PY1+ round(ySize)) in PUNTOSE1 : #6
        LD0[p] = LD0[p] + 1
    if (PX1 ,PY1 + round(ySize)) in PUNTOSE1 : #7
        LD0[p] = LD0[p] + 1
    if (PX1 + round(xSize) ,PY1 + round(ySize)) in PUNTOSE1 : #8
        LD0[p] = LD0[p] + 1
    E1 , E0 = len(Estado1) ,len(Estado0)

```

```

VECINOS_NUM0,VECINOS_NUM1,VECINOS_NUM2,VECINOS_NUM3,VECINOS_NUM4
,VECINOS_NUM5,VECINOS_NUM6,VECINOS_NUM7,VECINOS_NUM8 =
[],[],[],[],[],[],[],[],[]
    for i in range(0,len(LD0)):
        if int(0) == LD0[i] :
            VECINOS_NUM0.append(LD0[i])
        if int(1) == LD0[i] :
            VECINOS_NUM1.append(LD0[i])
        if int(2) == LD0[i] :
            VECINOS_NUM2.append(LD0[i])
        if int(3) == LD0[i] :
            VECINOS_NUM3.append(LD0[i])
        if int(4) == LD0[i] :
            VECINOS_NUM4.append(LD0[i])
        if int(5) == LD0[i] :
            VECINOS_NUM5.append(LD0[i])
        if int(6) == LD0[i] :
            VECINOS_NUM6.append(LD0[i])
        if int(7) == LD0[i] :
            VECINOS_NUM7.append(LD0[i])
        if int(8) == LD0[i] :
            VECINOS_NUM8.append(LD0[i])
    print(len(VECINOS_NUM0),'0')

# NUMERO DE CUADRICULAS ACTIVAS 0.2 O 20%
tiempo_inicio2 = time.strftime("%M") + time.strftime("%S")
controlVideo=False
cronometro2 = (int(time.strftime("%M") + time.strftime("%S")) -
int(tiempo_inicio2))

    if controlVideo==False and cronometro2<4000:

#TIEMPO DE DETECCION DE LINEAS CRONOMETRO2 < 4
    canny_image = canny(video3)

#PROCESO DE DETECTOR DE LINEAS
    #maskcolor = mask(video3)
    #redDetected =
cv2.bitwise_and(video3,video3,mask=maskcolor)
    #redDetected = cv2.GaussianBlur(redDetected,(5,5),0)
    #redDetected = cv2.medianBlur(redDetected,5)
    #invMask = cv2.bitwise_not(maskcolor)
    #bgGray = cv2.bitwise_and(Negro,Negro,mask=invMask)
    #finalImage = cv2.add(bgGray,redDetected)
    #canny_image2 = canny(redDetected)
    cortada_image = region_de_interesrep(canny_image)
    lineas=cv2.HoughLinesP(cortada_image ,2 ,np.pi/180,
100,np.array([]),minLineLength=40,maxLineGap=5)
    averaged_lines =
promedio_pendiente_intercepcionrep(video3 , lineas)
    line_image = np.zeros_like(video3)

    if len(averaged_lines) == 2:

```

```

#AREA ROSA
[(coordenadas_linea_izquierda[0],coordenadas_linea_izquierda[1])
,(coordenadas_linea_izquierda[2],coordenadas_linea_izquierda[3])
,(coordenadas_linea_derecha[2],coordenadas_linea_derecha[3])
,(coordenadas_linea_derecha[0],coordenadas_linea_derecha[1])]
    color = (255,0,255)
    area_pintada =
cv2.fillPoly(line_image,area_carretera,color)
    cv2.line(line_image
,(medIX1,ABAJO),(medIX2,ARRIBA),(255,255,255),5)

#OBTENER EL DESVIO
    #print(desvio,'Desvio ')
    #print('Numero de Lineas = 2')
    cv2.rectangle(combo_image,(40,40),(1110,170),(0,0,0),-1)

cv2.rectangle(combo_image,(40,40),(1110,170),(255,255,255),1)
cv2.rectangle(combo_image,(40,40),(300,170),(255,255,255),1)
cv2.rectangle(combo_image,(40,40),(300,80),(255,255,255),1)
cv2.rectangle(combo_image,(1000,40),(1110,80),(255,255,255),1)
cv2.rectangle(combo_image,(1000,80),(1110,170),(255,255,255),1)
    if len(averaged_lines) == 0:
        contador = 0
    if len(averaged_lines) == 1:
        WX1 , WY1 , WX2 , WY2 = averaged_lines[0]
        #if contx is True :
        contador = contador +1
        if contador > 1000:
            contador = 0
        if WX1 > WX2 and contador > 20:

#Test = cv2.add(video,combo_image)
#canny_image = imutils.resize(canny_image,width=900)
#canny_image2 = imutils.resize(canny_image2,width=900)
#canny_image2 = imutils.resize(canny_image2,width=900)

#VER VIDEO
cv2.imshow('Vias', Vias)
cv2.imshow('Re', combo_image)
#cv2.imshow('Test', Test)
#cv2.imshow('maskamar', maskamar)
#cv2.imshow('Lizq', Lizq)
#cv2.imshow('Lder', Lder)
#cv2.imshow('canny', canny_image)
#cv2.imshow('CANNY 2', canny_image2)
#cv2.imshow('finalImage', finalImage)

    if cv2.waitKey(1) == ord('q') or SALIRVal == 1:
        break
    else:
        controlVideo=True
cap.release()
cv2.destroyAllWindows()

```

**Anexo B:** Equipo de medición (Luxómetro)



Especificaciones	UT383
Medición de iluminancia (LUX)	0 ~ 199,900Lux
Medición de iluminancia (FC)	0 ~ 18,500Fc
Exactitud	0 ~ 9999Lux / 0 ~ 999Fc: $\pm (4\% + 8)$
	$\geq 10000$ Lux / $\geq 1000$ Fc: $\pm (5\% + 10)$
	$\geq 100000$ Lux / $\geq 9999$ Fc: $\pm (5\% + 10)$
Resolución	1Lux (0 ~ 9999Lux)
	10Lux ( $\geq 10,000$ Lux)
	100Lux ( $\geq 100.000$ Lux)
	1Fc (0 ~ 9999Fc); FC = Lux / 10,76
	10Fc ( $\geq 10.000$ Fc); FC = Lux / 10,76
Tiempo de muestreo	0,5 s
Características	
Indicación de sobrecarga	OL
MÁXIMO MINIMO	√
Retención de datos	√
LCD luz de fondo	√
Apagado automático	√
Indicación de batería baja	√
Características generales	
Poder	Batería de 1,5 V (R03) x 3
Mostrar	32 mm x 26 mm
Color del producto	Rojo y gris
Peso neto del producto	118g
Tamaño del producto	160 x 50 x 28 mm
Accesorios estandar	Pilas
Embalaje individual estándar	Blister, manual en inglés

Cantidad estándar por caja	40 piezas
Medida de cartón estándar	505 mm x 330 mm x 280 mm
Peso bruto de la caja estándar	8,42 kg



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL  
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS  
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 14/ 09 / 2021

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>	
Nombres – Apellidos: JUAN DANIEL ARÉVALO MANZANO	
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>	
Facultad: INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	
Carrera: INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES	
Título a optar: INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES	
f. Analista de Biblioteca responsable:	 <small>Firmado digitalmente por:</small> ELIZABETH FERNANDA AREVALO MEDINA

