



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL**  
**TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN VISUAL PARA EL CONTROL DE SOMNOLENCIA Y ESTIMULACIÓN SENSORIAL DEL CONDUCTOR A TRAVÉS DE UNA CÁMARA DIGITAL EN VEHÍCULOS TIPO TAXI.

**AUTORES:** ROMÁN ZAVALA, ERICK BENITO  
SANGOVALÍN CHILUISA, JHONATAN ALEXANDER

**DIRECTOR:** ING. CASTRO CLAVIJO, JUAN TRAJANO



# AGENDA

RESUMEN

OBJETIVOS

METODOLOGÍA

MARCO TEÓRICO

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

PRUEBAS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## RESUMEN

El desarrollo y estudio de nuevas aplicaciones de la tecnología dentro del campo automotriz y el alto índice de accidentes de tránsito provocados por conductores en estado de somnolencia propone investigar, diseñar e implementar un sistema de detección visual para el control de somnolencia y estimulación sensorial del conductor, de tal manera que se necesitan dispositivos que alerten al conductor de posibles distracción y cansancios y evitar accidentes que pueden llegar a ser fatales.



## INTRODUCCIÓN

Actualmente existen dispositivos tecnológicos que vienen equipados en autos modernos que previenen ciertas deficiencias de conducción como son el cambio de carril involuntario, frenado de emergencia, detección de ángulo muerto, mientras que no existe en el país un sistema que directamente monitoree las expresiones faciales del conductor que ayudan de una mejor manera a entender los factores fisiológicos presentes en el conductor al momento de conducir.



## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar un sistema de detección visual para el control de somnolencia y estimulación sensorial del conductor a través de una cámara digital en vehículos tipo taxi



## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener la información teórica sobre sistemas controlados, programables y sistemas de detección visual para el desarrollo y ejecución del proyecto de investigación.
- Investigar las estadísticas en accidentes de tránsito producidas por el cansancio, fatiga y distracción del conductor en la ciudad de Quito en los horarios de trabajo de los conductores de vehículos tipo taxi.
- Investigar las estadísticas en accidentes de tránsito producidas por el cansancio, fatiga y distracción del conductor en la ciudad de Quito en los horarios de trabajo de los conductores de vehículos tipo taxi.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis facial utilizando los movimientos lineales, horizontales y axiales que se producen en el rostro del conductor para la detección de somnolencia, fatiga y distracción.
- Implementar un sistema electrónico en tiempo real que detecte los movimientos faciales y oculares de los conductores en los diferentes horarios de trabajo en un vehículo tipo taxi.
- Diseñar un módulo electrónico automatizado de estimulación: visual, auditiva y vibratoria.
- Realizar pruebas de ruta y analizar la reacción de los conductores a la estimulación sensorial en los diferentes horarios de trabajo de un vehículo tipo taxi.

## Metodología del desarrollo del proyecto

El sistema de detección visual para el control de somnolencia con su propuesta de diseño e implementación, pretendió establecer los parámetros de somnolencia que detectará el sistema, los mismos que contribuyeron al control de somnolencia y estimulación sensorial del conductor a través de una cámara digital, para lo cual se utilizaron métodos de investigación científica.



En la Tabla 3 se detallan las condiciones de estimulación sensorial, el sistema detecta el estado de fatiga cuando el conductor bosteza tres veces o un parpadeo prolongado o si supera los 22 parpadeos por minuto, somnolencia cuando detecta cabeceo y detecta distracción cuando el conductor no centra su mirada hacia la carretera, activando las salidas correspondientes en cada condición.

**Tabla 3**  
*Condiciones de respuesta estimuladora*

Condiciones de respuesta estimuladora		
Fatiga	Somnolencia	Distracción
Estimulación auditiva	Estimulación auditiva	Alarma visual
Alarma visual	Alarma visual	
	Estimulación vibratoria	

En la Tabla 4 se detallan los efectos luminosos de activación según las condiciones de respuesta estimuladora, el efecto luminoso de color lila se activa cuando el conductor presenta distracción, efecto luminoso de color rojo bajo la condición de somnolencia y efecto luminoso de color azul en estado de fatiga.

**Tabla 4**

*Condiciones de activación del efecto luminoso*

Condiciones de activación del efecto luminoso				
Apagado	Lila	Rojo	Azul	
Sin distracción	Distracción	Somnolencia detectada	Fatiga	

La Cooperativa de taxis La Floresta realiza turnos en grupos de 10 conductores rotativos cada día de la semana con el fin de garantizar unidades de taxis para sus usuarios en la parada asignada para sus labores ubicadas en las calles Madrid y 12 de octubre.

$$n = \frac{Z^2 * N * P * Q}{E^2(N - 1) + Z^2 * P * Q}$$

***Ecuación 1. Ecuación cálculo de muestra***

Donde:

n= Tamaño de la muestra

Z= Margen de seguridad (99) %

N= Numero de población (6)

P= Probabilidad pertinente del hecho que se investiga (0.9)


Q= Probabilidad no pertinente del hecho que se investiga (0.1)

E<sup>2</sup>= 5% margen de error

$$n = \frac{2.58^2 * 10 * 0.9 * 0.5}{0.05^2(10 - 1) + 2.58^2 * 0.9 * 0.5}$$

$$n=10$$

∴ *Se deben realizar 10 pruebas*

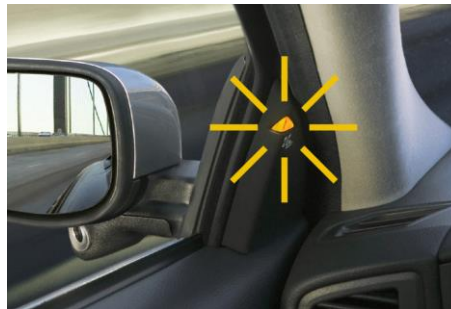


## MARCO TEORICO

**Frenado  
autónomo de  
emergencia**



**Detección de  
ángulo muerto**



**Cambio  
involuntario  
de carril**



**Detección de  
fatiga mediante  
el modo de  
conducción**

## MARCO TEÓRICO

### Principales factores de somnolencia

- Un descanso deficiente
- Conducción por demasiado tiempo
- Entornos viales monótonos

### Condiciones que favorecen a la aparición de la somnolencia

- Sueño fragmentado
- Trabajo por turnos
- Trastornos del sueño
- Fatiga

### Efectos por indicios de somnolencia

- Incremento del tiempo de reacción
- Mayor posibilidades de distracciones
- Alteraciones en la percepción
- Alteraciones motrices



## FACTORES FISIOLÓGICOS

### Parpadeo frecuente

Promedio de parpadeo de 15 a 20 veces por minuto



### Tiempo de parpadeo prolongado

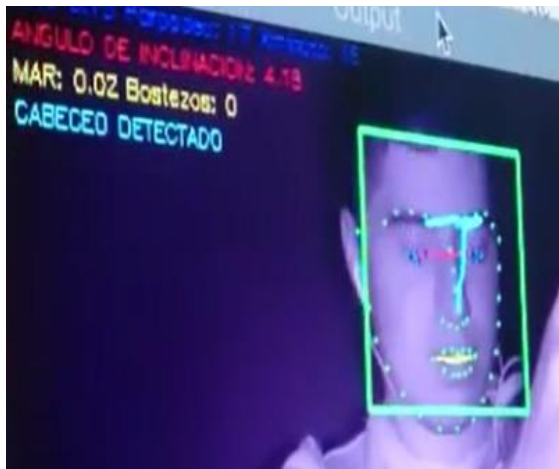
Condiciones normales: Es menor a 200 ms  
Indicios de Somnolencia: Es mayor a 500 ms

### Bostezos excesivos



## FACTORES FISIOLÓGICOS

INCLINACIÓN DE  
CABEZA

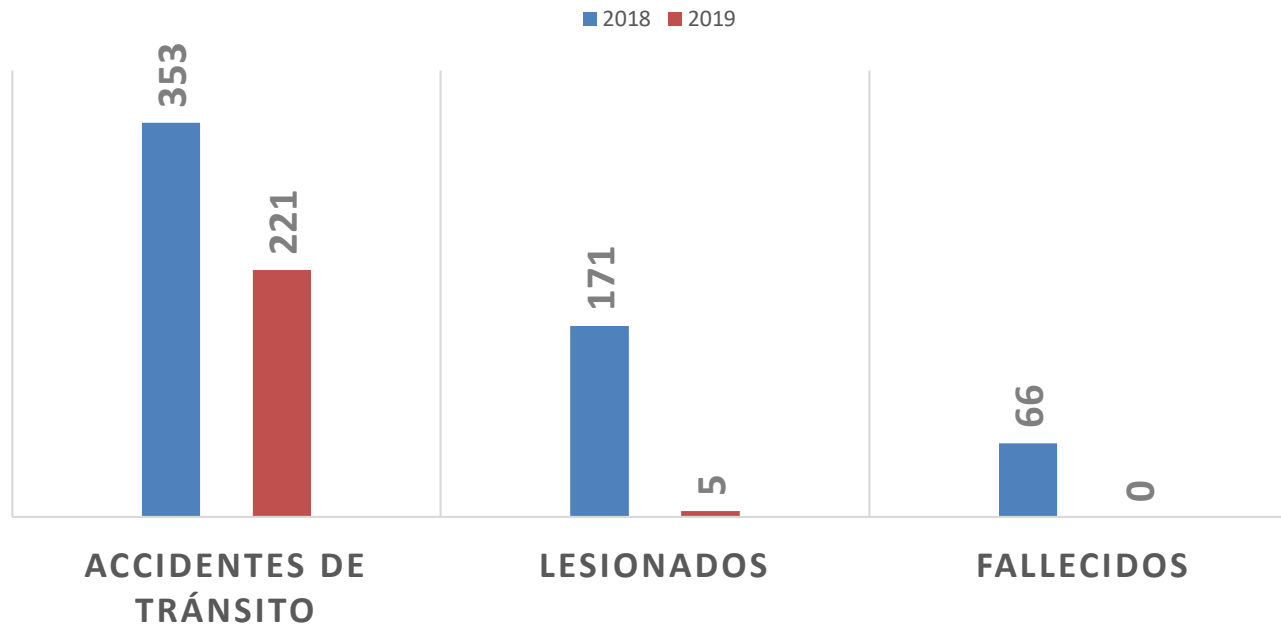


DISTRACCIÓN



## MARCO TEÓRICO

### INCIDENCIA DE LA SOMNOLENCIA EN CONDUCCIÓN



Estadística del año 2018 y 2019 por siniestros causados al conducir en estado de somnolencia

## Estadísticas de Siniestros Según Día Y Hora De Ocurrencia A Nivel Nacional- diciembre 2019

CUADRO N° 09

SINIESTROS, LESIONADOS Y FALLECIDOS EN STIO SEGÚN DÍA Y HORA DE OCURRENCIA A NIVEL NACIONAL, NOVIEMBRE 2019

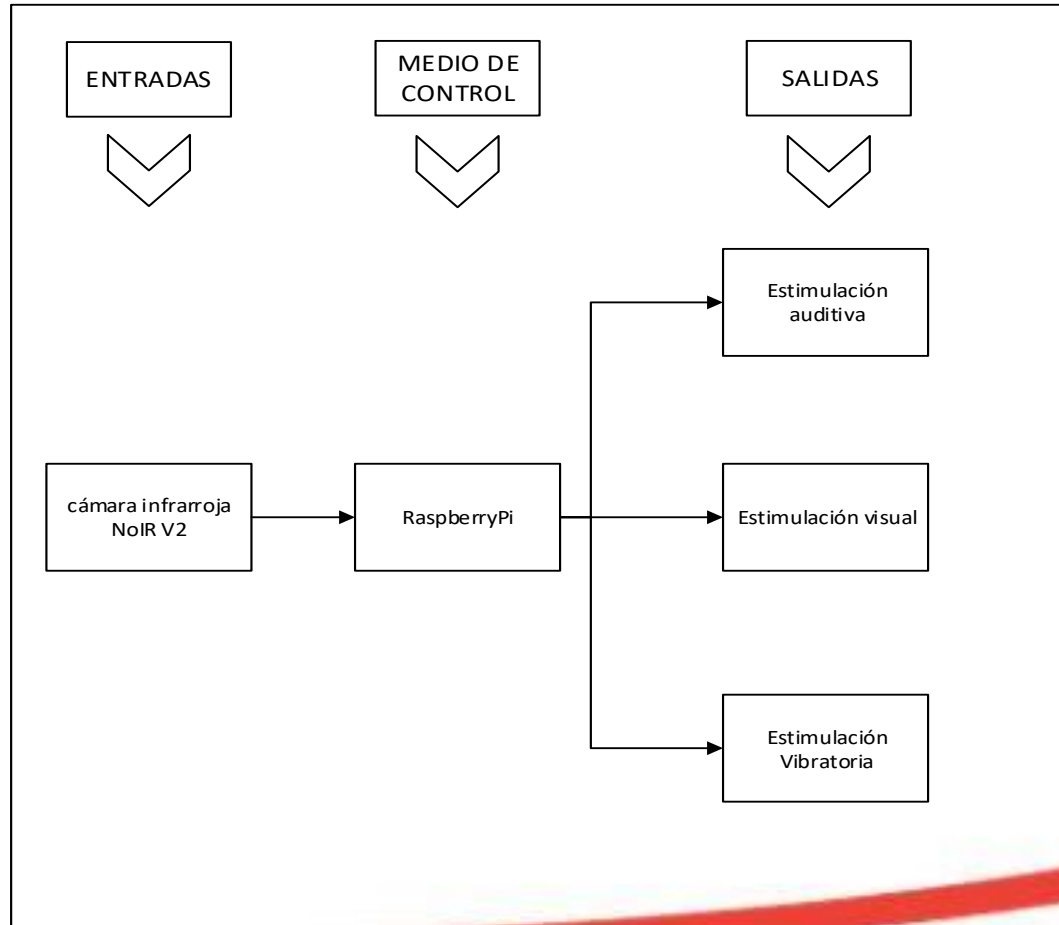
**SINIESTROS:**

RANGO HORA	TOTAL	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	ÍNDICE
<b>TOTAL</b>	<b>2.089</b>	<b>232</b>	<b>204</b>	<b>195</b>	<b>225</b>	<b>380</b>	<b>463</b>	<b>390</b>	
00:00 A 00:59	66	3	4	3	7	5	23	21	
01:00 A 01:59	74	5	5	4	7	15	18	20	
02:00 A 02:59	75	2	0	2	4	7	27	33	
03:00 A 03:59	62	6	2	1	2	11	23	17	
04:00 A 04:59	63	2	4	3	5	14	19	16	
05:00 A 05:59	72	7	3	3	3	18	15	23	
06:00 A 06:59	92	16	13	7	7	19	14	16	
07:00 A 07:59	120	17	14	14	15	20	22	18	
08:00 A 08:59	88	11	17	5	15	18	12	10	
09:00 A 09:59	69	11	6	8	6	11	14	13	
10:00 A 10:59	72	10	8	6	10	14	12	12	
11:00 A 11:59	82	7	8	9	12	13	20	13	
12:00 A 12:59	82	15	4	8	8	17	17	13	
13:00 A 13:59	89	10	9	10	18	14	15	13	
14:00 A 14:59	94	13	13	14	8	11	20	15	
15:00 A 15:59	84	17	14	13	4	15	12	9	
16:00 A 16:59	124	17	20	14	11	18	17	27	
17:00 A 17:59	112	10	14	11	12	24	24	17	
18:00 A 18:59	104	10	11	16	12	17	22	16	
19:00 A 19:59	122	13	12	11	18	24	25	19	
20:00 A 20:59	102	10	7	11	11	17	26	20	
21:00 A 21:59	88	9	5	7	9	20	27	11	
22:00 A 22:59	92	7	8	8	11	21	25	12	
23:00 A 23:59	61	4	3	7	10	17	14	6	

Según (ANT, 2019) determina sus estadísticas anuales determina que los días de mayor índice de accidentes de tránsito son viernes, sábado y domingo.

# DISEÑO

## DESCRIPCION GENERAL DEL DISEÑO



## DISEÑO

### REQUERIMIENTOS DEL HARDWARE

Raspberry Pi 4



Cámara digital



Sensores Infrarrojos



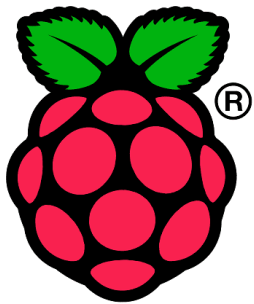


## Descripción del módulo electrónico

### Modulo electrónico principal



## SELECCIÓN DEL SOFTWARE



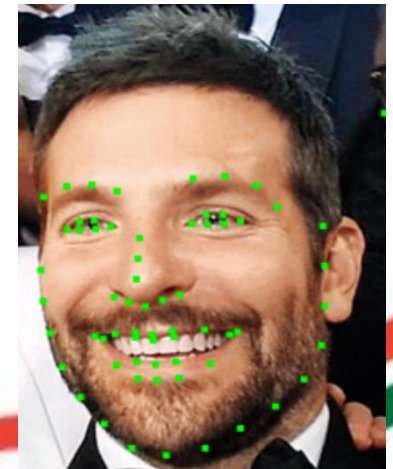
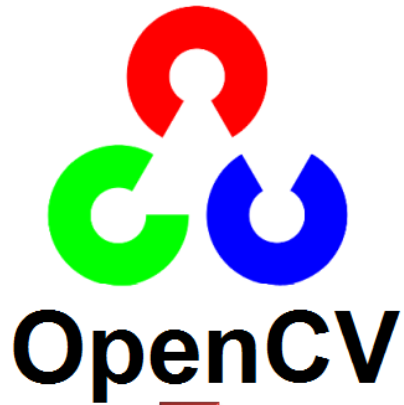
+



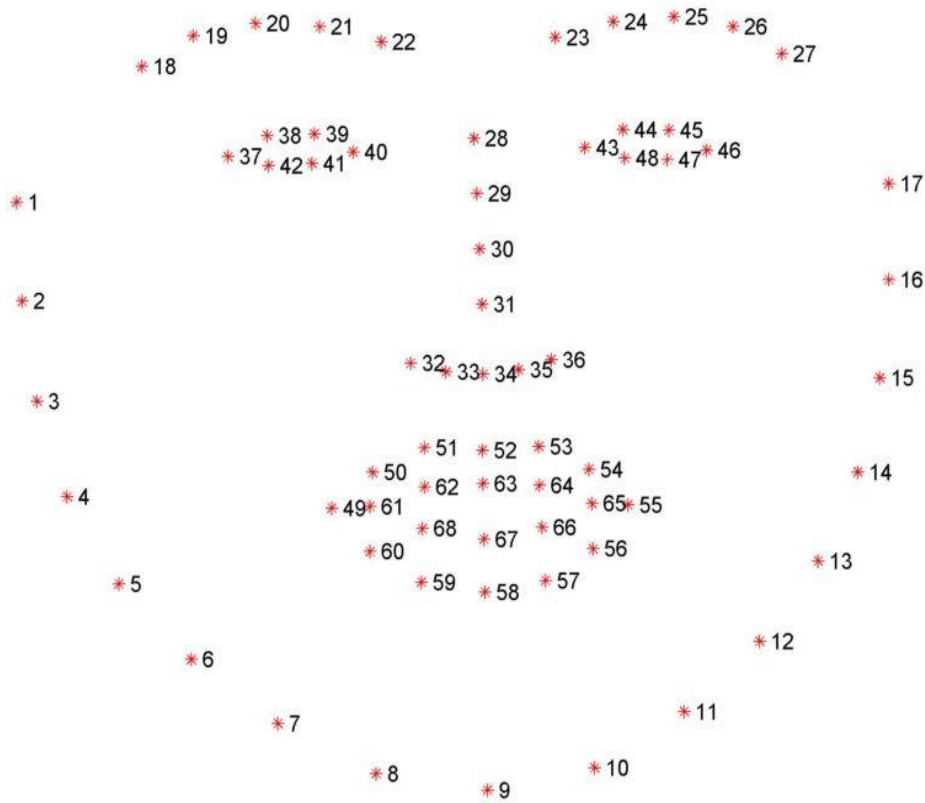
**Raspbian**



SELECCIÓN DE BIBLIOTECAS

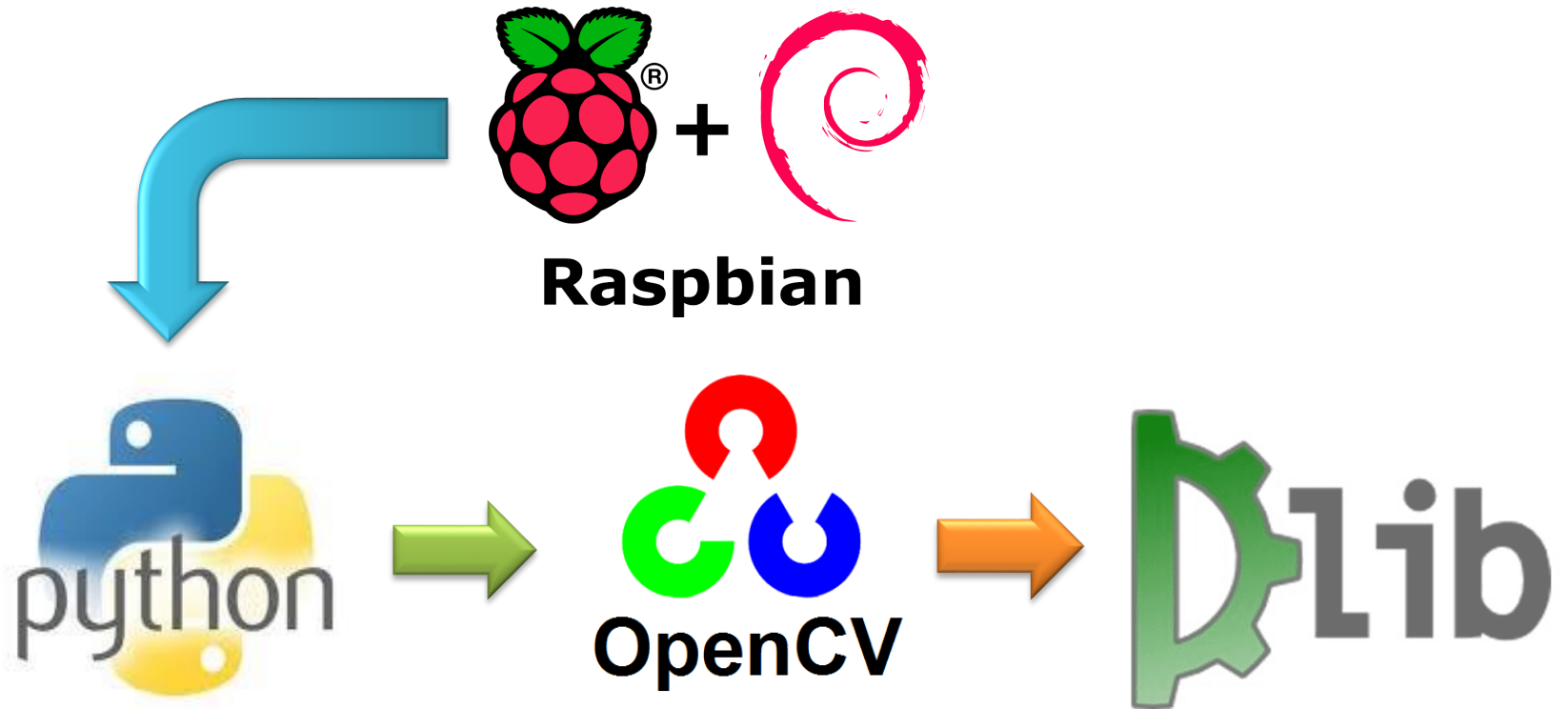


## LIBRERÍA DLIB



Característica	Rango de puntos
Línea de la mandíbula izquierda	1-7
Mentón	9
Línea de la mandíbula derecha	10 – 17
Ceja izquierda	18 – 22
Ceja derecha	23 – 27
Puente de la nariz	28 – 31
Parte inferior de la nariz	32 – 36
Ojo izquierdo	37 – 42
Ojo derecho	43 – 48
Borde exterior de los labios	49 – 60
Borde interno de los labios	61 - 68

PROCESO DE EJECUCIÓN DE SOFTWARE





***Condiciones de respuesta estimulatoria***

	<b>Fatiga</b>	<b>Somnolencia</b>	<b>Distracción</b>
Estimulación auditiva		Estimulación auditiva	Alarma visual
Alarma visual		Alarma visual	
		Estimulación vibratoria	



## Condiciones de activación del efecto luminoso

Apagado

Lila

Rojo

Azul

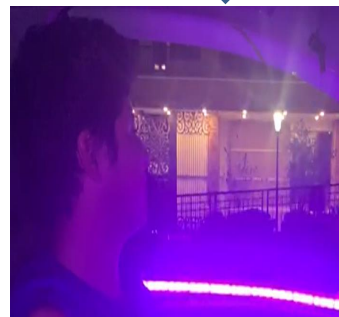
Sin distracción

Distracción

Somnolencia  
detectada

Fatiga

Fuente: Los Autores



Descripción del módulo electrónico secundario

**Cálculo de corriente y potencia de motores de vibración en el asiento del conductor**

$$\text{voltaje}_{\text{entrada}} = 12V$$

$$\text{Potencia} = 15 W$$

**Corriente individual consumida por cada motor vibratorio**

$$P = V * I$$

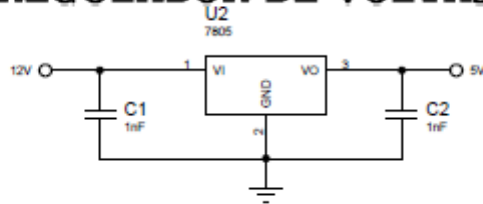
$$I = \frac{P}{V} = \frac{15 W}{12 V}$$

$$I_1 = 1,25 A$$

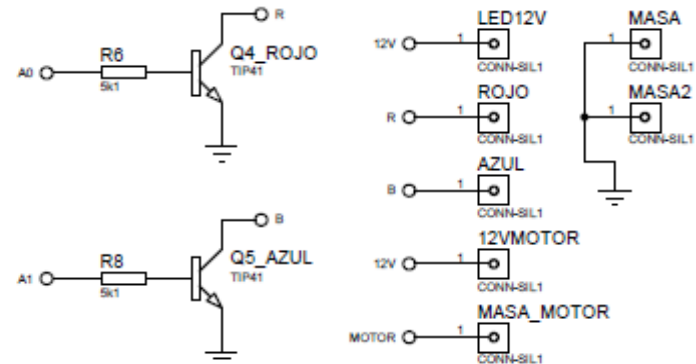


Módulo electrónico secundario

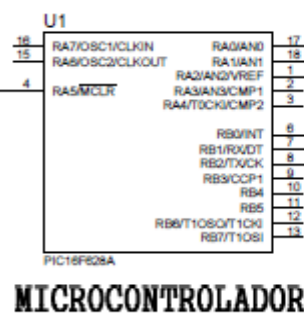
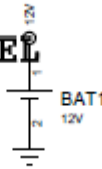
REGULADOR DE VOLTAJE 12V A 5V



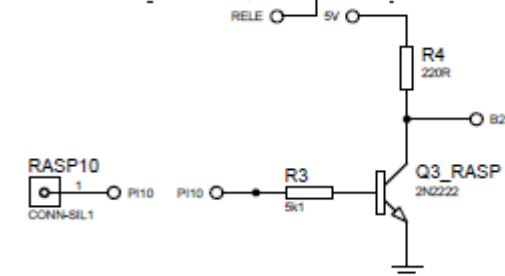
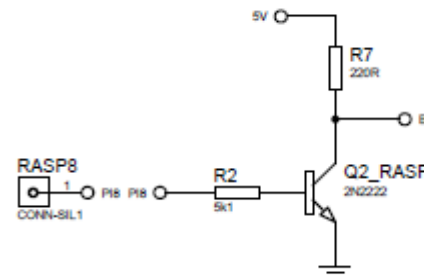
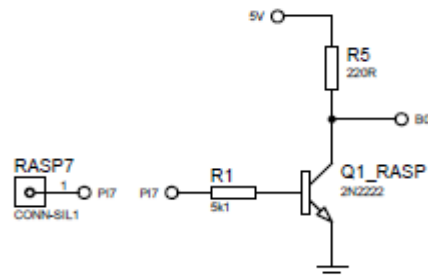
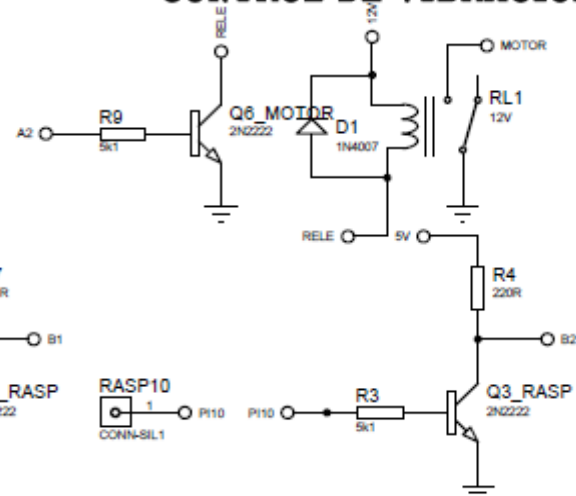
CONTROL DE LUCES LED

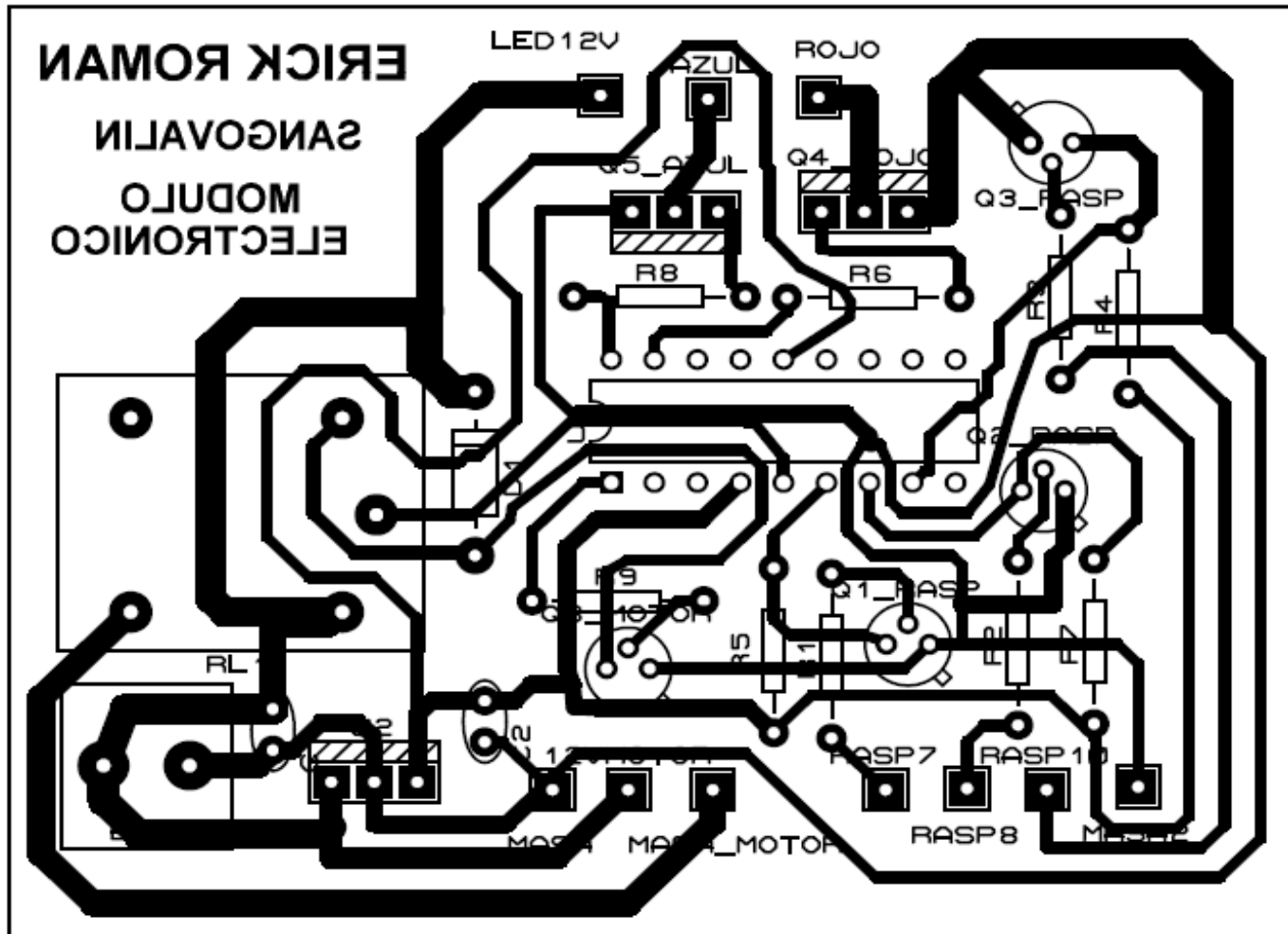


BATERIA DEL AUTO



CONTROL DE VIBRACION



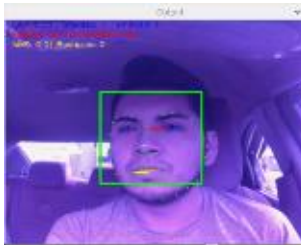


## PRUEBAS

### Ubicación óptima cámara

Distancia (cm)		
Cámara -Ojos	Tablero – base de la cámara	Altura tablero - cámara
58	8	6


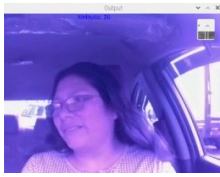

### Detección de rostro óptima

Detección de rostro		
Frontal	Derecha	Izquierda
		

## *Prueba 2 para ubicación de cámara*

Distancia (cm)		
Cámara -Ojos	Tablero – base de la cámara	Altura tablero - cámara
58	10	6


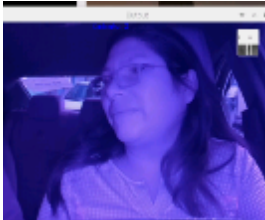
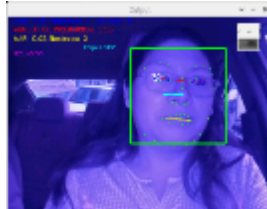
## *Prueba 1 detección de rostro media*

Detección de rostro		
Frontal	Derecha	Izquierda
		



## *Prueba 2 para ubicación de cámara*

Distancia (cm)		
Cámara -Ojos	Tablero – base de la cámara	Altura tablero - cámara
58	4	6

Detección de rostro		
Frontal	Derecha	Izquierda
		

## **Pruebas del sistema de detección visual para el control de somnolencia y estimulación sensorial del conductor.**

La Cooperativa de taxis La Floresta realiza turnos en grupos de 10 conductores rotativos cada día de la semana con el fin de garantizar unidades de taxis para sus usuarios en la parada asignada para sus labores ubicadas en las calles Madrid y 12 de octubre.

$$n = \frac{Z^2 * N * P * Q}{E^2(N - 1) + Z^2 * P * Q}$$

Donde:

n= Tamaño de la muestra

Z= Margen de seguridad (99) %

N= Numero de población (6)

P= Probabilidad pertinente del hecho que se investiga (0.5)

Q= Probabilidad no pertinente del hecho que se investiga (0.5)

E<sup>2</sup>= 5% margen de error

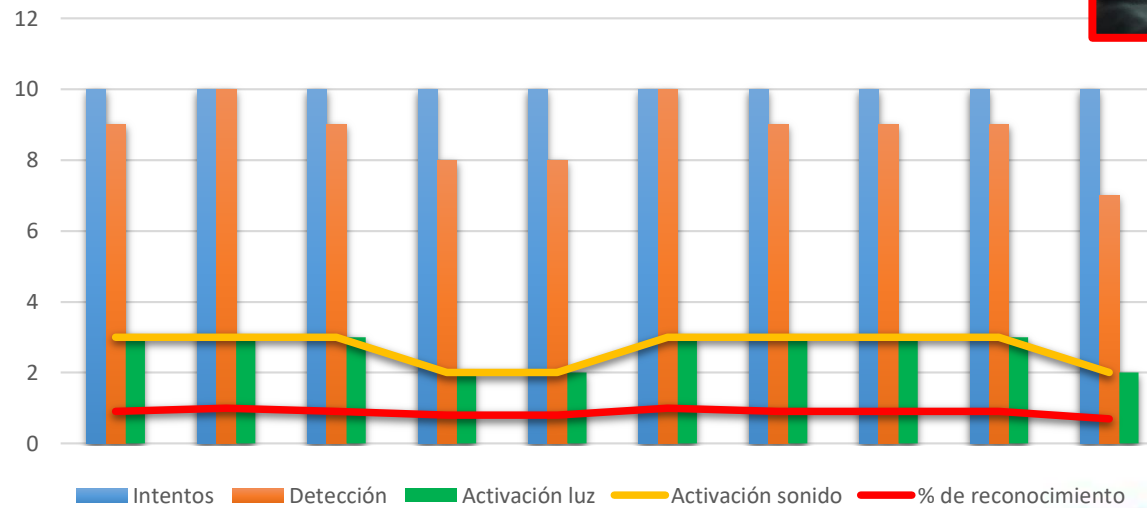
$$n = \frac{2.58^2 * 10 * 0.5 * 0.5}{0.05^2(10 - 1) + 2.58^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n=10$$

∴ *Se deben realizar 10 pruebas*

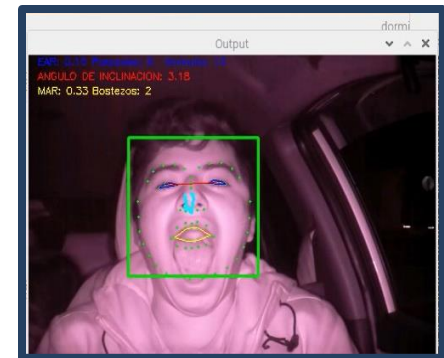
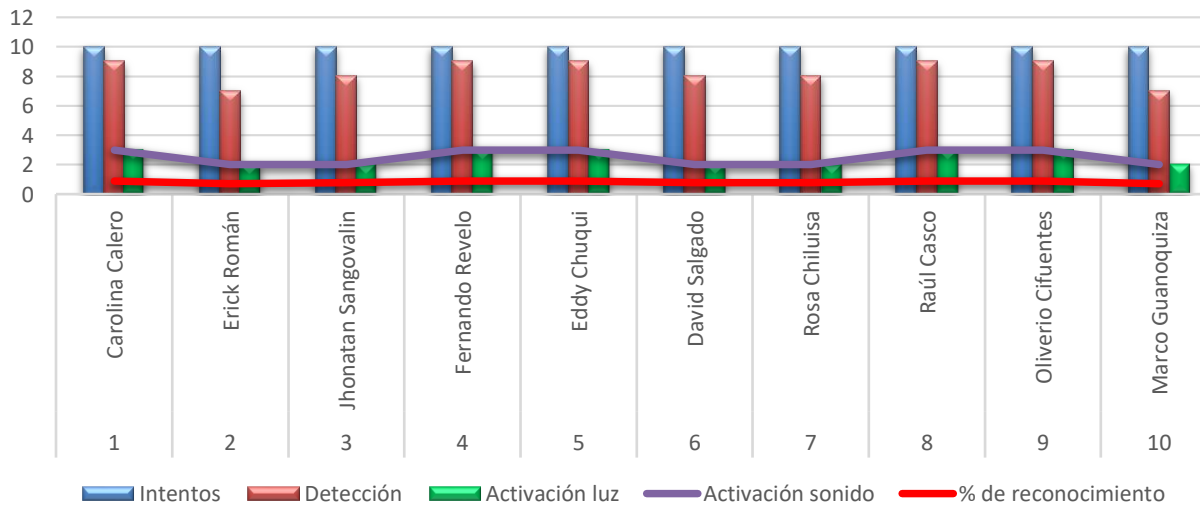
## Detección de bostezo diurno

N°	Conductor	Intentos	Detección	Activación luz	Activación sonido	% de reconocimiento
1	Carolina Calero	10	9	3	3	90%
2	Erick Román	10	10	3	3	100%
3	Jhonatan Sangovalin	10	9	3	3	90%
4	Fernando Revelo	10	8	2	2	80%
5	Eddy Chuqui	10	8	2	2	80%
6	David Salgado	10	10	3	3	100%
7	Rosa Chiluisa	10	9	3	3	90%
8	Raúl Casco	10	9	3	3	90%
9	Oliverio Cifuentes	10	9	3	3	90%
10	Marco Guanoquiza	10	7	2	2	70%
	<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>88</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>88%</b>



## Detección de bostezo nocturno


Nº	Conductor	Intentos	Detección	Activación luz	Activación sonido	% de reconocimiento
1	Carolina Calero	10	9	3	3	90%
2	Erick Román	10	7	2	2	70%
3	Jhonatan Sangovalin	10	8	2	2	80%
4	Fernando Revelo	10	9	3	3	90%
5	Eddy Chuqui	10	9	3	3	90%
6	David Salgado	10	8	2	2	80%
7	Rosa Chiluisa	10	8	2	2	80%
8	Raúl Casco	10	9	3	3	90%
9	Oliverio Cifuentes	10	9	3	3	90%
10	Marco Guanoquiza	10	7	2	2	70%
Total		100	83	25	25	83%



## Análisis de detección de bostezo

---

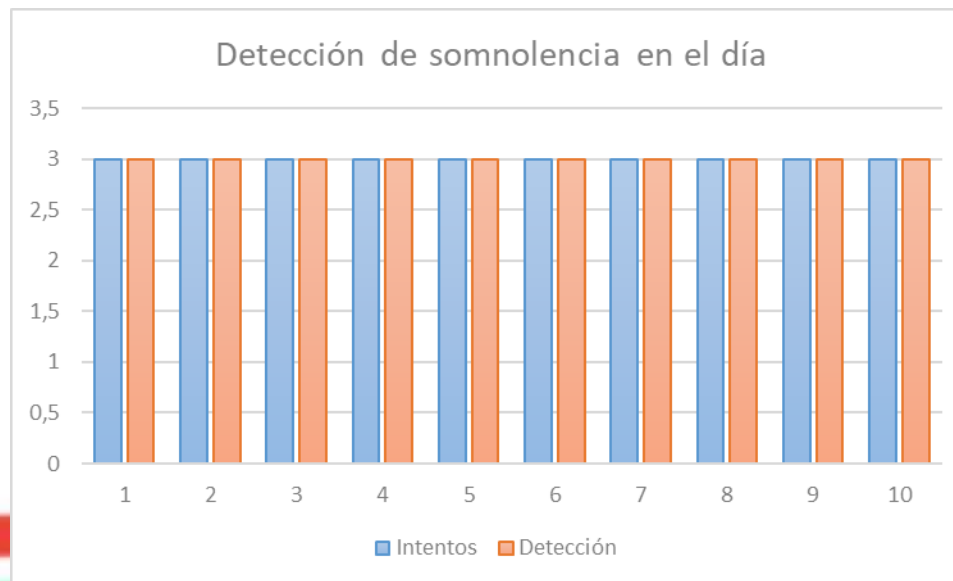
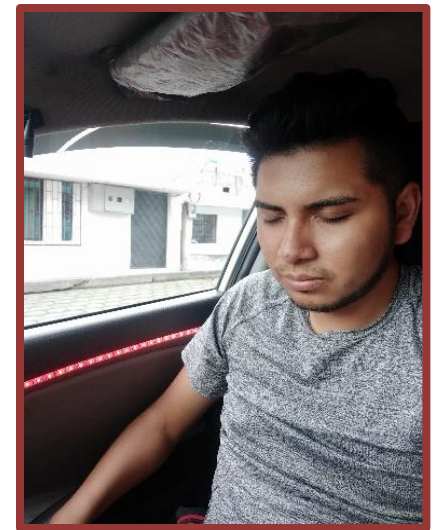
<b>Horario</b>	<b>% de reconocimiento</b>
Día	88%
Noche	83%
Efectividad del sistema	86%





## Detección de somnolencia diurna

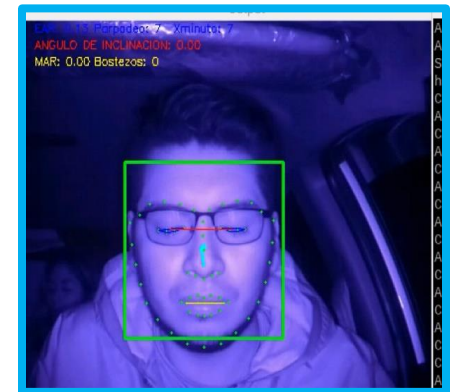
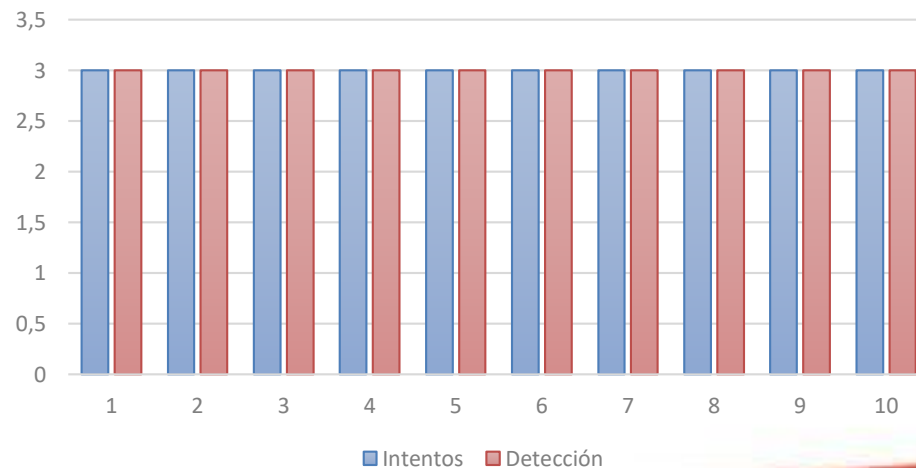
N°	Conductor	Intentos	Detección	Activación luz	Activación sonido	Vibración	% de reconocir
1	Carolina Calero	3	3	3	3	3	100%
2	Erick Román	3	3	3	3	3	100%
3	Jhonatan Sangovalin	3	3	3	3	3	100%
4	Fernando Revelo	3	3	3	3	3	100%
5	Eddy Chuqui	3	3	3	3	3	100%
6	David Salgado	3	3	3	3	3	100%
7	Rosa Chiluisa	3	3	3	3	3	100%
8	Raúl Casco	3	3	3	3	3	100%
9	Oliverio Cifuentes	3	3	3	3	3	100%
10	Marco Guanoquiza	3	3	3	3	3	100%



## Detección de somnolencia nocturna

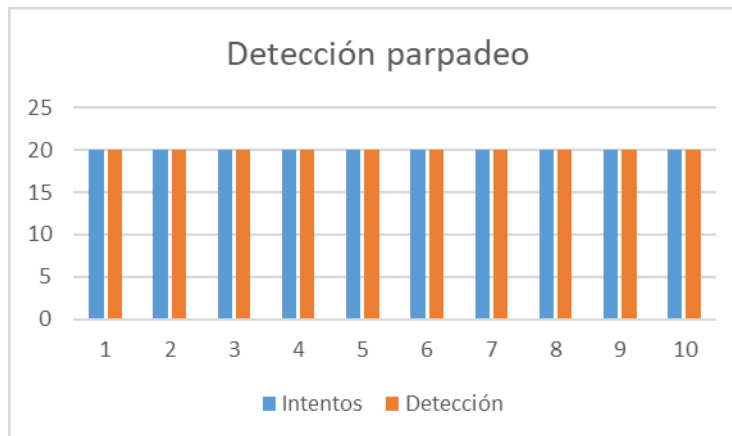
N°	Conductor	Intentos	Detección	Activación luz	Activación sonido	Vibración	% de reconocim
1	Carolina Calero	3	3	3	3	3	100%
2	Erick Román	3	3	3	3	3	100%
3	Jhonatan Sangovalin	3	3	3	3	3	100%
4	Fernando Revelo	3	3	3	3	3	100%
5	Eddy Chuqui	3	3	3	3	3	100%
6	David Salgado	3	3	3	3	3	100%
7	Rosa Chiluisa	3	3	3	3	3	100%
8	Raúl Casco	3	3	3	3	3	100%
9	Oliverio Cifuentes	3	3	3	3	3	100%
10	Marco Guanoquiza	3	3	3	3	3	100%

Detección de somnolencia en la noche



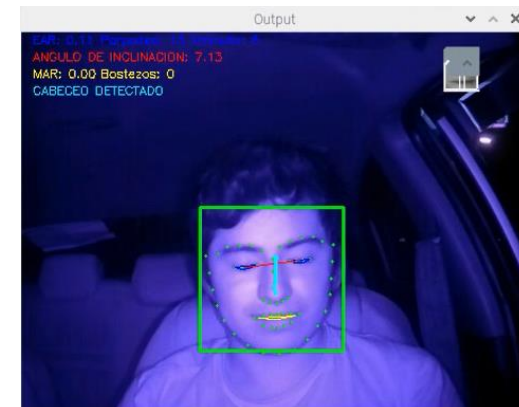
## Detección de parpadeo

N°	Conductor	Intentos	Detección	Activación luz	% de reconocimiento
1	Carolina Calero	20	20	20	100%
2	Erick Román	20	20	20	100%
3	Jhonatan Sangovalin	20	20	20	100%
4	Fernando Revelo	20	20	20	100%
5	Eddy Chuqui	20	20	20	100%
6	David Salgado	20	20	20	100%
7	Rosa Chiluisa	20	20	20	100%
8	Raúl Casco	20	20	20	100%
9	Oliverio Cifuentes	20	20	20	100%
10	Marco Guanoquiza	20	20	20	100%
Total		200	200	200	100%

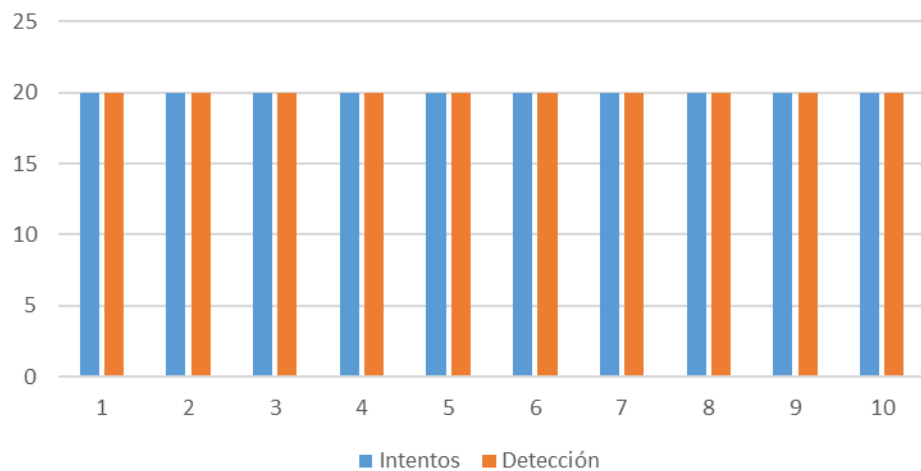


## Detección de cabeceo

N°	Conductor	Intentos	Detección	Activación luz	% de reconocimiento
1	Carolina Calero	10	10	10	100%
2	Erick Román	10	10	10	100%
3	Jhonatan Sangovalin	10	10	10	100%
4	Fernando Revelo	10	10	10	100%
5	Eddy Chuqui	10	10	10	100%
6	David Salgado	10	10	10	100%
7	Rosa Chiluisa	10	10	10	100%
8	Raúl Casco	10	10	10	100%
9	Oliverio Cifuentes	10	10	10	100%
10	Marco Guanoquiza	10	10	10	100%
Total		100	100	100	100%

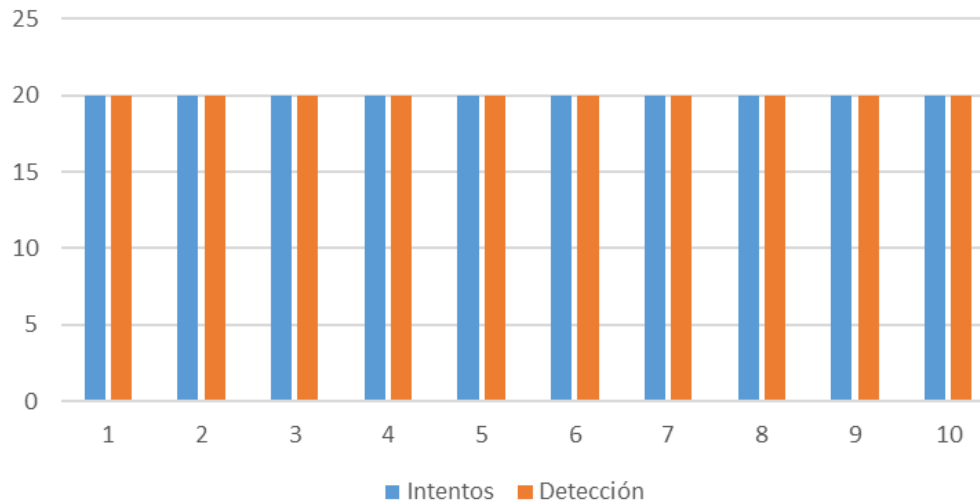


Detección de cabeceo



## Detección de distracción

N°	Conductor	Intentos	Detección	Activación luz	% de reconocimiento
1	Carolina Calero	10	10	10	100%
2	Erick Román	10	10	10	100%
3	Jhonatan Sangovalin	10	10	10	100%
4	Fernando Revelo	10	10	10	100%
5	Eddy Chuqui	10	10	10	100%
6	David Salgado	10	10	10	100%
7	Rosa Chiluisa	10	10	10	100%
8	Raúl Casco	10	10	10	100%
9	Oliverio Cifuentes	10	10	10	100%
10	Marco Guanoquiza	10	10	10	100%
Total		100	100	100	100%



## Análisis de efectividad del sistema

<b>Detección</b>	<b>% de detección</b>
Bostezo	86%
Somnolencia	100%
Parpadeo	100%
Cabeceo	100%
Distracción	100%
<b>Efectividad del sistema</b>	<b>97%</b>



## CONCLUSIONES

- Se investigó fuentes confiables y artículos relacionados con nuevas tecnologías para reducir el índice de accidentes de tránsito por somnolencia en los conductores.
- Se determinó que el ángulo de detección de la cámara NoIR es limitado, ya que la detección máxima que nos proporciona es de 60 grados.
- Se determinó que el clasificador de rostros HAARCASCADE tiene limitaciones en la detección de bostezo debido a que en las pruebas realizadas se obtuvo un 86% de efectividad.
- Se determinó que el módulo electrónico para la detección de somnolencia tiene una efectividad del 100% ya que todas las pruebas realizadas fueron exitosas.

## CONCLUSIONES

- Se estableció que la detección nocturna en la detección de rostro y somnolencia tiene una efectividad del 100% ya que no influye la cantidad de luz en el habitáculo del conductor.
- Se determinó que el uso de accesorios como anteojos, gorras, bufandas, sujetadores de cabello que use el conductor no influye en la detección y en el accionamiento del sistema de detección de somnolencia y fatiga.
- Concluimos que debido al 97% de efectividad total del sistema y a las estadísticas de accidentes de tránsito por somnolencia o fatiga, es factible la aplicación del sistema en todo tipo de vehículo.

## CONCLUSIONES

- Se concluye que el procesamiento del módulo raspberry PI3 es inferior para lograr la ejecución del programa de detección de somnolencia, por lo que se utilizó la Raspberry PI4 que tiene la velocidad de procesamiento necesaria para ejecutar de manera adecuada el programa de detección de somnolencia.

## RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones se recomienda utilizar el módulo Raspberry pi4 con memoria RAM de 2Gb, ya que la velocidad de procesamiento es mayor que en versiones anteriores, por lo que mejora la detección en tiempo real del sistema.
- Recomendamos realizar la instalación de luces led de tipo fibra óptica ya que mejoraría la estética y la iluminación del habitáculo.
- Se recomienda el uso de diagramas eléctricos automotrices del vehículo donde se va a instalar el sistema, para poder realizar la conexión de alimentación del sistema a una línea de contacto y evitar crear un consumidor constante.

## RECOMENDACIONES

- El porcentaje de descarga de una batería, para procesos de mantenimiento y recuperación de vida útil, debe ser lo más bajo posibles, aproximándose en valor (en voltaje) a 1 voltio, para garantizar una descarga completa.
- Utilizar una corriente de carga media- alta en las etapas 2 y 3 del algoritmo de carga para disminuir el tiempo empleado para realizar un mantenimiento completo de N ciclos.
- Para futuras investigaciones, se recomienda realizar la descarga a intensidad constante.

## RECOMENDACIONES

- Implementar un sistema de control e indicadores de temperatura para evitar daños prematuros en el procesador del módulo raspberry PI4.
- Se recomienda implementar el sistema de detección de somnolencia y fatiga en vehículos de transporte de pasajeros y de carga debido a que el sistema presenta una efectividad del 97%, pudiendo así disminuir accidentes ocasionados por somnolencia y fatiga.
- Para futuras investigaciones se recomienda la inmovilización del vehículo de forma gradual hasta detener el vehículo y así asegurarse de la seguridad del conductor y sus ocupantes



**GRACIAS**

