

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS DE DETECCIÓN PARA EL
DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE CONTROL DE TRÁFICO VEHICULAR EN
VÍAS BIDIRECCIONALES INTERVENIDAS.**



PRESENTADO POR:

JHON JAIRO PATIÑO GUERRERO.

SILVIO RODRIGO PERAFAN FINCER.

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA

POPAYÁN

2023.

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS DE DETECCIÓN PARA EL
DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE CONTROL DE TRÁFICO VEHICULAR EN
VÍAS BIDIRECCIONALES INTERVENIDAS.**



JHON JAIRO PATIÑO GUERRERO.

SILVIO RODRIGO PERAFAN FINCER.

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Electrónica

Director Institucional

MSc. GLORIA LILIANA LÓPEZ MUÑOZ.

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA

POPAYÁN

2023.

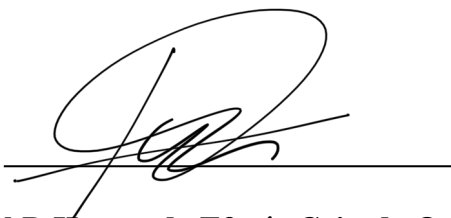
NOTA DE ACEPTACIÓN.

Aprobado por el Comité de grado en cumplimiento con los requisitos exigidos por la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca para optar al título de Ingenieros Electrónicos.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Gloria', written over a horizontal line.

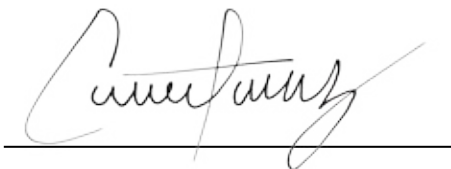
Directora

Mg. Gloria Liliana Muñoz

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Hernando', written over a horizontal line.

PhD Hernando Efraín Caicedo Ortiz

Jurado

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos', written over a horizontal line.

Mg. Carlos Felipe López Córdoba

Jurado

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	1
1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
3. OBJETIVOS.....	10
3.1 Objetivo general	10
3.2 Objetivos específicos	10
4. MARCO REFERENCIAL Y ESTADO DEL ARTE	11
4.1. Normatividad de señalización	11
4.2. Conceptos generales sobre señalización.....	13
4.5 Selección y evaluación de sistemas electrónicos.....	22
5. DISEÑO	44
5.1 Diseño hardware	47
5.4 Diseño Firmware	62
6. DESARROLLO.....	68
6.1 Fabricación y ensamble hardware	68
6.3 Integración de Firmware y Hardware.....	73
7.1 Prueba del sistema fotovoltaico.....	76
7.2 Pruebas del prototipo a distancias fijas	78
9 CONCLUSIONES.....	124
10 TRABAJOS FUTUROS.....	126
11 REFERENCIAS	127
12 ANEXOS	133

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 señalización y control en la reparación de tramos viales bidireccionales que disponen de un solo carril	21
Tabla 2 Requerimientos	44
Tabla 3 Características de microprocesadores	48
Tabla 4 Características de módulos de comunicación inalámbrica	49
Tabla 5 Características de sensores de detección	50
Tabla 6 Características de pantallas LCD.	52
Tabla 7 Características de tiras RGB	52
Tabla 8 Características de paneles fotovoltaicos	53
Tabla 9 Características de controladores de carga solar	54
Tabla 10 Actividades de evaluación	76
Tabla 11 Datos de prueba en 100m con sensor de radar HW-MS03	83
Tabla 12 Datos de prueba en 100m con sensor laser VL53L0X	86
Tabla 13 Datos de prueba en 100m con sensor infrarrojo LM393	89
Tabla 14 Datos de prueba en 100 y 200m con sensor ultrasonico JSN-SR04	92
Tabla 15 Datos de prueba en 380m y 520m con el sensor ultrasonico JSN-SR04	98
Tabla 16 Datos reales obtenidos del Luxometro	102
Tabla 17 Datos de luminosidad correspondientes al sensor JSN-SR04	103
Tabla 18 Datos de luminosidad correspondientes al sensor VL53L0X	107
Tabla 19 Datos de luminosidad correspondientes al sensor HW-MS03	112
Tabla 20 Datos de luminosidad correspondientes al sensor LM393	117
Tabla 21 Resultados de sensores expuestos ante luz ambiente	122

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 mantenimiento y reparación de vías	7
Figura 2 control de tráfico vehicular (pare y siga)	7
Figura 3 Diagrama de bloques sensores de proximidad	28
Figura 4 Componentes prototipo (elaboración propia)	46
Figura 5 Componentes electrónicos (elaboración propia)	47
Figura 6 Batería 12v	55
Figura 7 diagrama de bloques maestro (entrada y salida. Elaboracion propia)	59
Figura 8 diagrama de bloques esclavo (entrada y salida. Elaboracion propia)	59
Figura 9 Esquemático PCB (elaboración propia)	60
Figura 10 Esquemático PCB pulsadores (elaboración propia)	61
Figura 11 Ruteo PCB (elaboración propia)	61
Figura 12 Ruteo PCB pulsadores (elaboración propia)	62
Figura 13 Diagrama de flujo Maestro (elaboracion propia)	63
Figura 14 Diagrama de flujo Esclavo (elaboracion propia)	64
Figura 15 Diseño 3D Tira led RGB (elaboración propia)	65
Figura 16 Estructura 3D vista frontal (elaboración propia)	66
Figura 17 Estructura 3D vista trasera (elaboración propia)	66
Figura 18 Placa base para tiras led (elaboración propia)	67
Figura 19 Estructura 3D para sensor Jsn-sr04t (elaboración propia)	67
Figura 20 Integración de piezas 3D, prototipo completo (elaboración propia)	68
Figura 21 Ruteo programa maquina CNC (elaboración propia)	69
Figura 22 Baquela ruteada y componentes soldados (elaboración propia)	70
Figura 23 Prueba de funcionamiento PCB (elaboración propia)	70
Figura 24 PCB ruteada (elaboración propia)	71
Figura 25 Prueba Final integrando tiras led RGB (elaboración propia)	71
Figura 26 Estructura Final (elaboración propia)	72
Figura 27 Trípode y estructura para panel solar (elaboración propia)	72
Figura 28 Estructura prototipo finalizado (elaboración propia)	73
Figura 29 Activación de señales PARE-SIGA (elaboración propia)	74
Figura 30 Activación del prototipo completo (elaboración propia)	74
Figura 31 Diagrama de conexión	77
Figura 32 Controlador de carga solar (elaboración propia)	77
Figura 33 Funcionamiento del sistema solar en campo	78
Figura 34 Cierre de un carril vía bidireccional	80
Figura 35 Detección de automotores 1.07 metros sensor hw-ms03. (elaboración propia)	82
Figura 36 Prueba a 100 metros sensor VL53L0 (elaboración propia)	85
Figura 37 Prueba a 100 metros (elaboración propia)	88
Figura 38 Detección de automotores 1.04 metros sensor LM393 (elaboración propia)	89
Figura 39 Prueba a 100 y 200 metros (motos pertenecientes a la prueba y vehículo color blanco no perteneciente a la prueba) (elaboración propia).	91
Figura 40 Señal de pare costado 1. Kilometro 2	93
Figura 41 Señal de siga costado 1. Kilometro 2	94
Figura 42 Señal de pare costado 2. Kilometro 2	94
Figura 43 Señal de siga costado 2. Kilometro 2	95

Figura 44 Detección de automotores a 3.84 metros	95
Figura 45 Señal de pare costado 1. Kilometro 12	96
Figura 46 Señal de siga costado 1. Kilometro 12	96
Figura 47 Señal de siga costado 2. Kilometro 12 (imagen tomada desde el costado 1)	97
Figura 48 Señal de pare costado 2. Kilometro 12	97
Figura 49 Detección de automotores a 2.29 metros	98
Figura 50 Luxometro digital XL-101.	101
Figura 51 Registro de Lumens tomados de 7:00 Am a 7:00 Pm..	102
Figura 52 Grafica luz Led, luz Halógena, luz ambiente. Sensor jsn-sr04	104
Figura 53 Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (1.25 metros)	105
Figura 54 Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (2.8 metros)	105
Figura 55 Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (2.95 metros)	106
Figura 56 Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (2.05 metros)	107
Figura 57 Grafica a luz Led, luz Halógena, luz ambiente. Sensor VL53L0X	108
Figura 58 Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (1.15 metros)	109
Figura 59 Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (1.12 metros)	110
Figura 60 Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (0 metros)	111
Figura 61 Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (1.65 metros)	112
Figura 62 Grafica luz led, luz halógena, luz ambiente. Sensor hw-ms03	113
Figura 63 Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (0 metros)	114
Figura 64 Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (1.94 metros)	115
Figura 65 Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (6.86 metros)	115
Figura 66 Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (4.32 metros)	116
Figura 67 Grafica luz led, luz halógena, luz ambiente. Sensor Lm393	118
Figura 68 Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (22.8 centímetros)	119
Figura 69 Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (23.1 centímetros)	119
Figura 70 Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (28 centímetros)	120
Figura 71 Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (30 centímetros)	121

Resumen

El presente trabajo aborda un análisis comparativo de tecnologías de detección, como también el desarrollo de un prototipo para la detección y control del tráfico vehicular. El objetivo es determinar los componentes que conformarán el sistema, entre los cuales se encuentran: sensores, dispositivos de comunicación, microcontroladores, LCD, entre otros.

El proyecto consiste en el diseño e implementación de un sistema de detección vehicular que incorpora un sistema fotovoltaico, el cual permite evaluar el rendimiento del prototipo en entornos sin acceso a una red eléctrica. Para comprobar la funcionalidad del dispositivo, se llevaron a cabo pruebas en ambiente controlado y en campo, donde inicialmente se da funcionalidad a la comunicación inalámbrica con dos módulos y dispositivos de detección que determinaran las señales de tránsito mediante una señal lumínica para el control de automotores.

Palabras clave: comunicación, control, detección, fotovoltaico, señalización.

Abstrac.

This paper deals with a comparative análisis of detection technologies, as well as the development of a prototype for the detection and control of vehicular traffic. The objective is to determine the components that will make up the system, among which are: sensors, communication devices, microcontrollers, LCD, among others.

The project consists of the design and implementation of a vehicle detection system that incorporates a photovoltaic system, which allows evaluating the performance of the prototype in environments without access to an electrical network. To verify the functionality of the device, tests were carried out in a controlled environment and in the field, where initially functionality is given to wireless communication with two modules and detection devices that determine traffic signals by means of a light signal for the control of automobiles.

Keywords: communication, control, counting, detection, photovoltaic, signaling.

1. INTRODUCCIÓN

A partir del año 2014 Colombia presentó un gran crecimiento en el sector de la construcción e intervención de carreteras; sin embargo, esta injerencia estatal se vio afectada por dos factores que impidieron un adecuado desarrollo de la malla vial; el movimiento constante de las fallas geológicas y el paso de vehículos con grandes cargas que ocasionaron un deterioro prematuro [1]. Esta situación ha obligado a que el país requiera de una entidad que se encargue de su mantenimiento y reparación, para tal efecto, cuenta con la agencia INVIAS (Instituto Nacional de Vías), que, a pesar de contratar personal capacitado y disponer de herramientas para la canalización de tráfico como conos viales y señales luminosas, dan soluciones parciales y tardías que impactan directamente en el control del tráfico vehicular, prolongando las horas de viaje de los distintos usuarios viales, obstaculizando el trabajo de obreros e impidiendo el paso de transeúntes, sobre todo en aquellas carreteras donde el tráfico vehicular va en doble sentido [1].

Este tipo de controles manuales que retardan el flujo vehicular en carreteras, llevaron a proponer como proyecto un instrumento tecnológico que apoye el tráfico vehicular especialmente en las vías de doble sentido intervenidas por daños y que generalmente habilitan un sólo carril para el transporte.

Con este trabajo se pretende comparar diferentes tipos de sensores de detección que permita un control vehicular eficiente durante las reparaciones o construcciones en carreteras, se pretende como resultado final brindar un tránsito fluido en las vías de doble sentido, y a su vez, ser una herramienta de soporte tecnológico para las entidades responsables de la supervisión del estado de las rutas terrestres nacionales. También se proyecta hacia futuro, como un apoyo en la diaria labor que desempeñan otras entidades como las agencias y policías de tránsito, y otros organismos encargados de la vigilancia vial en las zonas urbanas.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Entre 2020 y 2021, en Colombia se intervinieron más de 4842 kilómetros (km) de calles y carreteras con obras de infraestructura vial y mantenimiento tal como se aprecia en las figura 1 y 2, sin contar aquellos arreglos inmediatos realizados para solventar imprevistos, como los fenómenos naturales, accidentes de tránsito, entre otros [2]. Estos ejercicios sobre la malla vial a nivel nacional están a cargo del Instituto Nacional de Vías, entidad que busca la mejora en el transporte terrestre en los distintos corredores viales [2]. Cabe destacar que, dicho Instituto cuenta con personal calificado para la ejecución e inspección de obras, y dentro de este grupo de profesionales se destacan los operarios de tránsito (llamados popularmente paleteros), quienes manejan el flujo de automotores.



Figura 1 Mantenimiento y reparación de vías (elaboración propia).



Figura 2 Control de tráfico vehicular (elaboración propia).

Estos operarios se encargan de apoyar el tránsito continuo durante las obras y mantenimientos viales; actividad que desempeñan con la ayuda de implemento tales como conos, paletas de tránsito, señalización luminosa, equipos de comunicación radial, entre otras; esto ha permitido que en las carreteras de Colombia haya un flujo relativamente ordenado de vehículos mientras se realiza el proceso de intervención [3 - 5]. Sin embargo, según estudios realizados por el Fondo de Conservación Vial (FOVIAL), este ejercicio, al ser reiterativo, ha afectado directamente la salud física de este tipo de personal generando fatiga, cansancio, agotamiento, etc [6], lo que ha impactado negativamente sobre una adecuada ejecución de su labor, propiciando accidentes de tránsito que comprometen la integridad física de los conductores, pasajeros, transeúntes y obreros que circulan por la vía intervenida y generando posteriormente embotellamientos [7].

Con lo anterior, se logra evidenciar que los controles manuales ejecutados por operadores humanos, presentan riesgos inminentes que afectan la integridad y el flujo vehicular principal en las calzadas de doble sentido que se encuentran en obra. Esto permitió identificar la necesidad de contar con tecnología tipo semáforo que mantenga orden en la circulación vehicular cuando la carretera no pueda brindar su servicio total y mitigar los servicios del personal que inciden en el patrón de conducción como velocidad, atención y maniobras antes de entrar a la zona de transición [8,9].

Así, este proyecto se propone realizar un análisis comparativo de diferentes tecnologías de detección, para diseñar e implementar un prototipo el cual permita el control de flujo vehicular en vías bidireccionales, este será sometido a pruebas en un ambiente controlado para verificar su utilidad. En tal sentido, se cuestiona: ¿Qué tan eficientes son las diferentes tecnologías de sensado en función de sus características, para aplicación en el control de tráfico vehicular en carreteras de doble sentido intervenidas en uno de sus carriles?

El análisis comparativo se basará en el estudio del desempeño de diferentes tecnologías para la detección y medición de distancia de vehículos que se enlazarán en un único prototipo diseñado para el control del flujo vehicular, en dicho estudio se pretende determinar la

respuesta del instrumento ante los diferentes valores de luminosidad, factores de ruido y la temperatura ambiente durante las pruebas en un ambiente controlado.

Tecnológicamente este trabajo de investigación apoya el desarrollo de la ingeniería aplicada a la movilidad vial con la implementación de sensores convencionales, creando soluciones encaminadas hacia el desarrollo de herramientas útiles que aporten en el sector de la movilidad vial y apoyen a las entidades públicas (ej. tránsito y transporte, policía de tránsito, ingeniería de carreteras) o privadas que ejercen esta actividad, como alternativa electrónica para atender los inconvenientes viales antes mencionados que día a día están presentes y son comunes en las carreteras nacionales.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Comparar el desempeño de diferentes tecnologías para la medición de distancia a vehículos en el contexto de control de tráfico vehicular en vías intervenidas.

3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los métodos de señalización y control en tramos viales bidireccionales que disponen de un solo carril con el fin de seleccionar los sensores de detección vehicular según su caracterización en función de las variables.
- Diseñar e implementar prototipo electrónico para captura de datos y comparación de las diferentes tecnologías de detección.
- Desarrollar un plan de pruebas en un ambiente controlado con diferentes vehículos en circulación para comparar las diferentes tecnologías y captura de datos mediante la utilización de un prototipo electrónico.
- Realizar un análisis de desempeño de las tecnologías utilizadas a partir de los datos obtenidos mediante un prototipo electrónico.

4. MARCO REFERENCIAL Y ESTADO DEL ARTE

Este apartado desplegará los temas teóricos relacionados con el desarrollo del presente proyecto, partiendo del desglose de los antecedentes normativos viales aplicables, posteriormente abordando aquellas nociones enfocadas en generar una contextualización sobre el objeto de investigación y finalmente explicitando el concepto general sobre sistemas electrónicos de comunicación inalámbrica y sensores de detección de proximidad como elementos para el diseño e implementación de una tecnología de telemetría, esto permitirá comprender aquellos aspectos concernientes al diseño del prototipo.

4.1. Normatividad de señalización

Colombia cuenta con un manual de señaléticas de tránsito que fue aprobado con base en las normas internacionales que regulan la materia, es por ello importante, considerar los antecedentes normativos sobre este particular.

Los reglamentos de señalización vial usada a nivel mundial, son adaptados y modificados de acuerdo a un único Manual Internacional. Este surge como una necesidad de estandarización, debido a que en la década de los 40s existían una gran variedad de señales de tránsito, que motivó a la ONU (organización de naciones unidas), en el año de 1949, a convocar un congreso para discutir una propuesta de unificación de señales de tránsito que permitiera a los conductores de diversos países identificarlas fácilmente en todos los territorios. Es así como desde el año 1952 hasta el año 1955 un grupo de técnicos designados por la comisión de transporte y comunicaciones de la ONU realizaron un informe para la unificación de las indicaciones de tránsito, el cual sentó las bases para un sistema mundial de señalización, que posteriormente se aprobó por el Consejo Económico y Social de la misma corporación [10]. Con base en lo anterior, para la aplicación de un reglamento único en América, se presentó un proyecto de manual interamericano de dispositivos para el control del tránsito en calles y carreteras, el cual fue adoptado en 1971 por la Secretaría General de la OEA (Organización de Estados Americanos). Seis años después el Ministro de Obras Públicas y Transporte de

Colombia expidió la Resolución No 10000 del 19 de octubre de 1977, la cual adaptó dicho proyecto a las necesidades del país, posterior a ello, se sanciona la Ley 62 del 30 de diciembre de 1982, que aprobó el convenio para adoptar el manual interamericano, el cual fue inscrito en la Organización de Estados Americanos (OEA) el 8 de febrero de 1984. Esto motivó al Ministerio a emitir la Resolución No 5246 del 12 de julio de 1985 como el primer reglamento para el control de tránsito en calles y carreteras y de señalización vial en el país [10].

La segunda edición se dio mediante la expedición de las Resoluciones No 8171/1987, 1212/1988 y 11886/1989, que introdujeron modificaciones y adiciones adoptadas en 1992 por INTRA (Instituto Nacional de Transporte y Tránsito). Por su parte, INVIAS aprobó la reglamentación con la Resolución No 3984 del 30 de septiembre de 1992, confirmada por la Resolución No 3201 del 5 de mayo de 1994 [10].

Con la Ley 769 de 2002, se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre. Esta prerrogativa en sus artículos 5, 113, 115 y el párrafo del artículo 101, exige la instauración de un manual técnico oficial que reglamente la señalización vial, este fue adoptado mediante la Resolución No 1050 del 5 de mayo de 2004 [10].

En 2008 el Ministerio de Transporte revisó el manual y lo adaptó a los nuevos desarrollos tecnológicos en materiales retro reflectivos de señalización electrónica aplicada y las nuevas dinámicas de transporte en el país, estas modificaciones fueron contenidas en la Resolución No. 4577 del 23 de septiembre de 2009 [10].

En el año 2010 con la Ley 1383, se modifica el artículo 5 de la Ley 769 de 2002, con lo que el manual se complementó en lo concerniente a los siguientes puntos, de relevancia para este trabajo:

- “La aplicación y el cumplimiento de las reglamentaciones establecidas por el Ministerio de Transporte será responsabilidad de cada una de las autoridades de tránsito en su respectiva jurisdicción.” (artículo 5 de la Ley 769 modificado por el artículo 3 de la Ley 1383 de 2010).

- “Cada organismo de tránsito responderá en su jurisdicción por la colocación y el mantenimiento de todas y cada una de las señales necesarias para un adecuado control del tránsito, que serán determinadas mediante estudio que contenga las necesidades y el inventario general de la señalización en cada jurisdicción.” (Ley 769 de 2002, artículo 115, parágrafo 1).
- “En todo contrato de construcción, pavimentación o rehabilitación de una vía urbana o rural, será obligatorio incluir la demarcación vial correspondiente, so pena de incurrir el responsable, en causal de mala conducta.” (Ley 769 de 2002, artículo 115, parágrafo 2). Fisure

Con lo anterior, cabe resaltar que a través de estas normativas se busca el bienestar tanto de transeúntes como de conductores que se movilizan por los diferentes sectores viales del país, acciones que actualmente se lideran y coordinan por el Ministerio de Transporte, secretarías de Tránsito territoriales y demás entidades.

4.2. Conceptos generales sobre señalización

A continuación, se exponen cuatro conceptos de gran importancia en materia de gestión vial, a tener en cuenta en el presente trabajo.

4.2.1 Detección vehicular electrónica

Esta sección describe artículos y trabajos relacionados al proyecto de investigación planteado. De igual forma hace alusión a los sistemas electrónicos para la detección de tráfico vehicular, que facilitan la identificación de automotores y el monitoreo de las vías, con el fin, de controlar el flujo de vehículos, límites de velocidad, obtener datos estadísticos de la movilidad vial, entre otros.

El proyecto desarrollado por [11,12] detectan vehículos mediante sistemas basados en un sensor radar ubicado a la altura de un semáforo, además de un mecanismo que permite el

desplazamiento del sensor de forma vertical y horizontalmente. Logrando agilidad en la movilidad vial, ya que descongestiona las calles con más presencia de automotores.

El diseño de un sistema de proximidad realizado por [13,14] diseña e implementa un sistema con dos sensores ultrasónicos de proximidad para un automóvil, uno instalado en la parte frontal y el otro en la parte trasera. El objetivo es de no colisionar el vehículo cuando se estaciona o al momento de transitar y parar en una calle, generando así una alarma de advertencia al conductor.

Los proyectos realizados por [15,16] implementan sistemas que permiten detectar cierta cantidad de vehículos y así mismo dar acceso o dar la señalización de (pare o siga) en una calle o avenida. Entre los trabajos realizados se destacan semáforos inteligentes y semáforos para parqueadero o centro comercial, los cuales están en la capacidad de descongestionar las calles con más número de vehículos y controlar los tiempos de transición. Estos dispositivos, algunos de uso portátil, deben ser ubicados en zonas estratégicas y visibles a los conductores [17].

El trabajo desarrollado por [18,19] da a conocer los funcionamientos básicos de los sensores inductivos y magnéticos, los cuales se utilizan para medir, limitar o automatizar un proceso de forma precisa. Entre ellos se destacan los de detección sin contacto, que pueden tener un alcance de 20 a 150 centímetros.

4.2.2 Congestión vehicular

La congestión vehicular es un fenómeno negativo que afecta el tránsito vehicular en la red vial, y es causada, entre otras, por el incremento demográfico, falta de rutas alternas, señales de tránsito inexistentes y el incremento del parque automotor en las regiones. Sin embargo, el fenómeno que más incide en ella es la fricción o interferencia de vehículos en el flujo vial, provocada por el deterioro de las calles que aumenta enormemente los tiempos de desplazamiento [20].

4.2.3 Sistema de control vehicular

Los sistemas de control vehicular son herramientas que regulan la circulación en vías públicas y en el presente no han presentado un avance significativo. Según el estudio de Bances y Ramos, actualmente el control de tráfico vehicular se considera como un problema social y ambiental, que ocasiona contaminación en el aire y auditiva e invasión en la tranquilidad de algunos sectores urbanos y rurales. Esta dificultad se presenta en varias locaciones del mundo y requiere del mejoramiento e innovación de los sistemas de control vehicular actuales como son las señalizaciones de tránsito y el semáforo, que presentan un comportamiento fijo que no responde a la variación de flujo vehicular [21].

Existen dos grupos principales de sistemas: los sistemas electrónicos, que utilizan señales conformadas por unidades luminosas como flechas, bastones y lámparas de señalización, incluyendo las lámparas halógenas; y los sistemas manuales o mecánicos, que consisten en barricadas plásticas, cadenas de señalización, conos viales, paletas de señalización, entre otros elementos [25].

Investigaciones realizadas por [22,24] han demostrado la optimización e implementación de nuevos prototipos de semáforos portátiles en ciudades, con el objetivo de mejorar el tiempo de activación y el flujo vehicular.

Para el desarrollo de este trabajo de grado, es importante tomar como referencia los proyectos previamente mencionados que están en funcionamiento y han arrojado resultados exitosos.

4.2.3.1 Sistemas manuales de control vehicular

Las señales manuales se deben instalar de manera temporal y son operadas por los obreros viales, entre estas se pueden encontrar: paletas de señalización pare y siga, paletas de señalización institucional y paletas de señalización redondas; su misión es informar a los conductores sobre el estado de las vías y generar precauciones en los tramos de circulación [3].

En la actualidad, están reguladas por el manual de señalización vial del Ministerio Transporte de Colombia del 2015, que guía a los organismos de tránsito, como responsables de brindar la seguridad vial a los usuarios, en la demarcación y señalización de las vías públicas [3].

4.2.3.2. Sistemas electrónicos de control vehicular

Los sistemas electrónicos de control vehicular utilizados en tramos viales, que son intervenidos por obras civiles, deben ubicarse de inicio a fin y hacer uso de los dispositivos acorde del tipo de vía intervenida civilmente, los cuales deben de permanecer en posiciones fijas y visibles hasta que se desarrolle la totalidad de la obra. Con estas señales de tránsito se disminuye el índice de accidentalidad y las demoras en los viajes [26]:

4.2.4. Señaléticas viales

Son accesorios diseñados para el manejo de tránsito de gran diversidad, que generalmente permanecen durante la ejecución de obras para la prevención de accidentes e información sobre el cumplimiento de las reglas de tránsito [27].

Generalmente estas señalizaciones son manipuladas por agentes especializados u obreros que atienden las normas o medidas técnicas para reducir el riesgo de accidentalidad y mantienen el orden del tráfico vehicular en los tramos que están siendo intervenidos [28].

Para realizar el mantenimiento de vías en el país se elaboran y ejecutan planes de manejo de tránsito que permiten recolectar información y efectuar un trabajo de acuerdo a las necesidades de la intervención. Estas estrategias están divididas en tres categorías, estrechamente relacionadas con el tipo de obra a desarrollar y son [28].

- Obras de interferencias mínimas: Este tipo de obras se ejecutan en los espacios de circulación peatonal y presenta poca o nula intervención; en estas obras el tránsito vehicular puede ser controlado por medio de operarios sin necesidad de desvíos [28].

- Obras de interferencias moderadas: Este tipo de obras comprometen la circulación peatonal, afectan la accesibilidad a edificaciones y generalmente cuentan con accesos alternos y directos a estas, por su parte la circulación vehicular requiere de desvíos [28].
- Obras de interferencias altas o de gran impacto: Este tipo de obra requiere de cierre total de las vías de circulación vehicular, los propietarios de viviendas contarán con acceso limitado en la salida y entrada de viviendas, el flujo vehicular se ve afectado en su totalidad [28].

Las categorías mencionadas están parametrizadas de acuerdo al conocimiento de la zona de influencia, recolección de información básica, señalización a implementar y costos de señalización [10].

4.3. Plan de Manejo de tránsito

Para determinar el tipo de método de señalización vial se requiere de la creación de la elaboración de un plan de trabajo (PTM), este planteamiento variará según se trate de una zona rural o urbana, el nivel y composición del tránsito, la complejidad de los trabajos y el tiempo probable de ejecución de los mismos. Existen tres métodos para la elaboración de un plan de trabajo:

4.3.1 PMT Categoría 1: Para esta categoría normalmente la zona de influencia de los trabajos será igual al espacio de los trabajos y será suficiente visitar el lugar de ellos y como apoyo visualizar la zona en planos o facilidades como GOOGLE EARTH y de allí definir los esquemas a aplicar. Con base en los esquemas se puede definir el costo de las señales, auxiliares de tránsito, movilización y similares. Esta categoría de trabajos se resume con valor global fijo y requiere de una inspección cada día para confirmar la presencia de todos los elementos contemplados en el PMT. Los trabajos para esta categoría podrían incluir demarcación y reparación de pavimentos,

repavimentación, mantenimiento de señales y semáforos, corte de vegetación, mantenimiento [10].

4.3.2. PMT Categoría 2: Para esta categoría normalmente la zona de influencia de los trabajos será mayor al espacio de los trabajos. Hay que visitar el lugar donde se desarrollan, conocer la zona de influencia, recolectar la información básica y de allí definir los esquemas a aplicar y las modificaciones particulares que requieran. Con base en los esquemas finales, se puede definir el costo de las señales, auxiliares de tránsito, movilización y similares. Esta categoría de trabajos se resume con costo a costo global y requiere de una inspección cada día para confirmar la presencia de todos los elementos contemplados en el PMT. Los trabajos para esta categoría podrían incluir reconstrucción o ensanchamiento de puentes en situaciones rurales, construcción de segunda calzada en situación rural, construcción de vías nuevas, construcción de estructuras peatonales [10].

4.3.3. PMT Categoría 3: Esta categoría requiere de un exhaustivo análisis para definir la zona de influencia de los trabajos. En dicha zona se debe identificar las características referentes a usos del suelo y ubicación de sitios especiales que requieran un manejo especial dentro del PMT. Los trabajos para esta categoría pueden incluir reconstrucción o ensanchamiento de puentes, construcción de segunda calzada, construcción de vías nuevas en área urbana, construcciones, de vías nuevas en área urbana, de vías de buses urbanos y rehabilitación de vías urbanas [10].

Teniendo en cuenta los planes de manejo de tránsito mencionados anteriormente, los cuales involucran el estudio adecuado de cada zona con el fin de determinar los métodos y la caracterización de la señalización vial apropiados para cada trabajo, se implementan los siguientes métodos y señalización en las vías bidireccionales:

4.3.3.1 Cierre de un carril en una vía de dos carriles con Auxiliares de Tránsito

- En zonas de bajo volumen y de trabajo cortos en carreteras rectas donde el auxiliar de tránsito es visible para todos los usuarios de la vía desde ambas direcciones, se puede utilizar un único auxiliar de tránsito [10].
- La señal de FIN DE OBRAS puede omitirse para las operaciones de corta duración (trabajo realizado en un día durante una jornada). El espacio de seguridad debe ampliarse para que la transición inicie antes de una curva horizontal o vertical para proporcionar una distancia de visibilidad adecuada hasta el auxiliar de tránsito y cualquier cola de vehículos detenidos [10].
- En la noche, deberán ser iluminadas las estaciones [10].

4.3.3.2 Cierre de carril en vía bidireccional con bajo nivel de tránsito

Este método se utiliza cuando volumen de tráfico es tal que existen lagunas suficientes para el tránsito vehicular que debe rendir el derecho de paso, los conductores de ambas direcciones puedan ver el tráfico que se le acerca en la dirección contraria más allá del lugar de trabajo [10].

4.3.3.3 Cierre de un carril en una vía de dos carriles usando semáforos Portátiles



- Los semáforos temporeros serán instaladas y operadas de conformidad [10].
- La sincronización del controlador de semáforos temporales se establecerá por funcionarios autorizados. La duración de los intervalos de despeje rojo será la adecuada para dejar pasar la cola de vehículos contra sentido [10].

- Se instalarán líneas de detención con los semáforos temporales para los cierres de medio y largo plazo [10].
- Se eliminarán las demarcaciones que estén en conflicto. Después de quitar el semáforo temporal, se eliminarán las líneas de detención y otras marcas de pavimento temporal [10].
- Los semáforos temporales pueden ser preferibles a los auxiliares de tránsito para proyectos a largo plazo y otras actividades que requieren control nocturno [10].

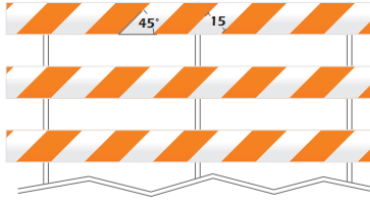

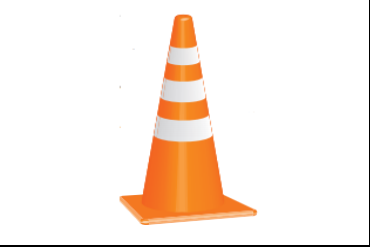

4.4 Señalización vial en vía bidireccional intervenida

Para una intervención en vía bidireccional que tendrá disponible un solo carril, el plan de manejo a implementar será el de obras de interferencias moderadas, para esta categoría se debe tener en cuenta el tipo de señalización presentado en la Tabla 1. [10].

Tabla 1 señalización y control en la reparación de tramos viales bidireccionales que disponen de un solo carril [10].

Nombre de Señalización	Descripción	Señalización
Fin de obra	Esta señal se utiliza para indicar que la circulación a través de la zona fue concluida	
Angostamiento a la derecha	Esta es usada como advertencia de estrechamiento al costado derecho de la vía	

<p>Angostamiento a la izquierda</p>	<p>Esta señal es usada como advertencia de estrechamiento al costado izquierdo de la vía</p>	
<p>Auxiliar de tránsito</p>	<p>Esta señal se usa para advertir que más adelante el tránsito por la zona de obras es controlado por un auxiliar de tránsito que usa una bandera para dar las señales de pare o alterar la velocidad del tráfico</p>	
<p>PARE / SIGA</p>	<p>Estas señales son usadas por auxiliares de tránsito para permitir con alternancia el paso en la obra</p>	
<p>Trabajos en la vía</p>	<p>Esta señal es usada para advertir a los conductores que se están realizando obras en la vía</p>	
<p>Auxiliar de tránsito</p>	<p>Los auxiliares tienen la responsabilidad de la seguridad y circulación en la zona mediante las señales de PARE-SIGA</p>	
<p>Barricadas</p>	<p>Las barricadas se utilizan para hacer cierres de carriles o calzadas, para</p>	

	cercar áreas de trabajo y para delinear angostamientos	
Barreras Plásticas (Maletines)	Se pueden utilizar como elementos de canalización de tránsito	
Conos	Se utilizan cuando requiera delinear carriles temporales de circulación	
Delineadores	Estos son usados para definir el angostamiento y el delineamiento del borde de la calzada	

4.5 Selección y evaluación de sistemas electrónicos

Para el desarrollo del trabajo se debe diseñar un sistema electrónico de telemetría alimentado por energía solar, además de un sistema de comunicación inalámbrica que considera la adquisición de variables físicas y la transmisión de su valor a un centro o estación de monitoreo, para entender su funcionamiento se consideraron dos sistemas, el de comunicación inalámbrica y el fotovoltaico.

4.5.1 Sistemas de detección

Los sistemas de detección son herramientas o dispositivos diseñados para identificar o reconocer la presencia o características de ciertos elementos o eventos. Estos sistemas se utilizan en una amplia variedad de campos y aplicaciones, incluyendo la seguridad, la industria, la medicina, la investigación científica y muchos otros. [29,30].

Existen diversos tipos de sistemas de detección, cada uno diseñado para detectar diferentes cosas. Algunos ejemplos comunes incluyen:

4.5.1.1 Sistemas de detección de incendios: Estos sistemas están diseñados para detectar la presencia de humo, calor o llamas en un área determinada. Pueden incluir detectores de humo, detectores de calor, detectores de llama y sistemas de alarma que se activan cuando se detecta un incendio [29,30].

4.5.1.2 Sistemas de detección de intrusos: Estos sistemas se utilizan para detectar la presencia de personas no autorizadas en áreas restringidas. Pueden incluir cámaras de seguridad, sensores de movimiento, sistemas de alarma y sistemas de acceso controlado [29,30].

4.5.1.3 Sistemas de detección de fugas: Estos sistemas se utilizan para detectar fugas de sustancias peligrosas, como gases tóxicos o inflamables, líquidos corrosivos o productos químicos peligrosos. Pueden utilizar sensores específicos para detectar la presencia de estas sustancias y activar alarmas o sistemas de seguridad [29,30].

4.5.1.4 Sistemas de detección de intrusos en redes: En el ámbito de la ciberseguridad, los sistemas de detección de intrusos se utilizan para detectar intentos no autorizados de acceder a sistemas informáticos o redes. Estos sistemas analizan el tráfico de red en busca de patrones y

comportamientos sospechosos que puedan indicar un ataque o una intrusión [29,30].

4.5.1.5 Sistemas de detección de metales: Estos sistemas se utilizan para detectar la presencia de metales en objetos o personas. Son ampliamente utilizados en aeropuertos, estaciones de tren, eventos de seguridad y otras áreas donde es importante detectar armas u objetos metálicos prohibidos.

Estos son solo algunos ejemplos de sistemas de detección utilizados en diferentes industrias y aplicaciones [29,30].

4.5.2 Dispositivos de detección

Los dispositivos de detección son herramientas o dispositivos utilizados para identificar o reconocer la presencia o características de ciertos elementos o fenómenos. Estos dispositivos están diseñados para capturar señales o datos específicos y convertirlos en información útil para su posterior análisis o toma de decisiones [31].

Existen diferentes tipos de dispositivos de detección, cada uno adaptado a un propósito específico. A continuación, se mencionan algunos ejemplos.

4.5.2.1 Sensores: Son dispositivos electrónicos que detectan y responden a estímulos físicos o químicos del entorno [31].

4.5.2.2 Detectores de humo y fuego: Estos dispositivos utilizan sensores para detectar la presencia de humo o gases producidos por un incendio. Pueden emitir una señal de alarma audible o transmitir una señal a un sistema central de seguridad [31].

4.5.2.3 Detectores de movimiento: Son dispositivos que detectan cambios en el entorno, como el movimiento de personas u objetos. Se utilizan

en sistemas de seguridad, iluminación automatizada, control de acceso, entre otros [31].

4.5.2.4 Detectores de gases: Estos dispositivos se utilizan para detectar la presencia de gases tóxicos, inflamables o nocivos en el aire. Son comunes en aplicaciones industriales, domésticas y de seguridad [31].

4.5.2.5 Detectores de metales: Estos dispositivos utilizan tecnología electromagnética para detectar la presencia de metales. Se utilizan en aplicaciones de seguridad, como escáneres de seguridad en aeropuertos o para la detección de objetos metálicos en la industria [31].

4.5.2.6 Detectores de presencia: Son dispositivos que detectan la presencia de personas u objetos en un área específica. Se utilizan en sistemas de iluminación automática, puertas automáticas, sistemas de seguridad, entre otros [31].

4.5.3 Dispositivos de sensado

Estos cuentan con la capacidad de capturar y convertir las señales o estímulos físicos en señales eléctricas o digitales, estos pueden basarse en diferentes principios de detección, como la detección óptica, acústica, magnética, térmica o química, según el tipo de objeto o fenómeno que se desea detectar. La detección se realiza mediante la medición de variables físicas como la luz, el sonido, la presión, la temperatura, la humedad, la radiación, la fuerza magnética, la conductividad eléctrica, entre otras; pueden proporcionar una salida analógica o digital que indica la presencia o el nivel de detección en función de la señal recibida. Existen en el mercado diferentes tipos de sensores, a continuación, se hace mención de algunos de ellos [32].

4.5.3.1 Sensores de temperatura: Detectan y miden la temperatura ambiente o de objetos específicos [32].

4.5.3.2 Sensores de luz: Detectan la intensidad de la luz o la presencia de luz en un entorno determinado [32].

4.5.3.3 Sensores de presión: Miden la presión o fuerza aplicada sobre ellos [32].

4.5.3.4 Sensores de movimiento: Detectan el movimiento en su entorno, como los utilizados en sistemas de seguridad o en dispositivos de juego [32].

4.5.3.5 Sensores de proximidad: Detectan la presencia o la distancia de objetos cercanos, y se utilizan en aplicaciones como los sistemas de estacionamiento de automóviles [32].

4.5.3.6 Sensores de aceleración: Miden la aceleración lineal o la fuerza gravitacional en una dirección específica, como los utilizados en los teléfonos inteligentes para detectar la orientación [32].

4.5.3.7 Sensores de humedad: Detectan y miden los niveles de humedad o contenido de agua en el aire o en un material [32].

4.5.4 Características sensores de proximidad

A continuación, se presentan las características que se deben tener en cuenta al evaluar los sensores de proximidad:

4.5.4.1 Campo de medida o alcance: se refiere al rango máximo de variación que puede detectar el sensor, es la diferencia entre el valor máximo y mínimo de su escala [32].

4.5.4.2 Frecuencia de conmutación: indica el número máximo de veces que el sensor puede cambiar de estado por segundo cuando un objeto entra o sale de su campo de detección, se expresa en Hz [32].

4.5.4.3 Curva de calibración: es una representación gráfica que permite comprender el funcionamiento del sensor en diferentes rangos y facilita su ajuste [32].

4.5.4.4 Tiempo de respuesta: es el tiempo que tarda el sensor en reflejar una variación en la entrada a través de su salida. Una respuesta rápida es deseable en la mayoría de las aplicaciones [32].

4.5.4.5 Sensibilidad: indica la variación de la señal de salida en respuesta a un cambio en la señal de entrada. En los sensores lineales, la sensibilidad es constante, pero en los no lineales, puede depender del rango de medición [32].

4.5.4.6 Interferencias: se refiere a las señales no deseadas que el sensor puede captar en su entrada. Es importante minimizar las interferencias para garantizar mediciones precisas [32].

4.5.4.7 Superficie activa: en los sensores de proximidad sin contacto, se refiere a la zona desde la cual se emite el campo eléctrico y en la cual el sensor reacciona ante la aproximación de un objeto [32].

4.5.4.8 Resolución: representa la mínima variación detectable en la señal de entrada para que se refleje en la señal de salida del sensor [32].

4.5.4.9 Precisión: se refiere a la capacidad del sensor para proporcionar resultados consistentes en mediciones realizadas en las mismas condiciones. Es importante destacar que la precisión no debe confundirse con la exactitud [32].

4.5.4.10 Exactitud: indica la diferencia entre el valor real y el valor teórico de la salida del sensor. Cuanto menor sea esta diferencia, mayor será la exactitud del sensor [32].

Al tener en cuenta estas características, se puede evaluar y comparar los sensores de proximidad de manera más precisa y tomar decisiones informadas sobre su implementación en diferentes aplicaciones [32].

A continuación, se presenta un diagrama de bloques que ilustra los diferentes tipos de sensores que se investigarán [32].

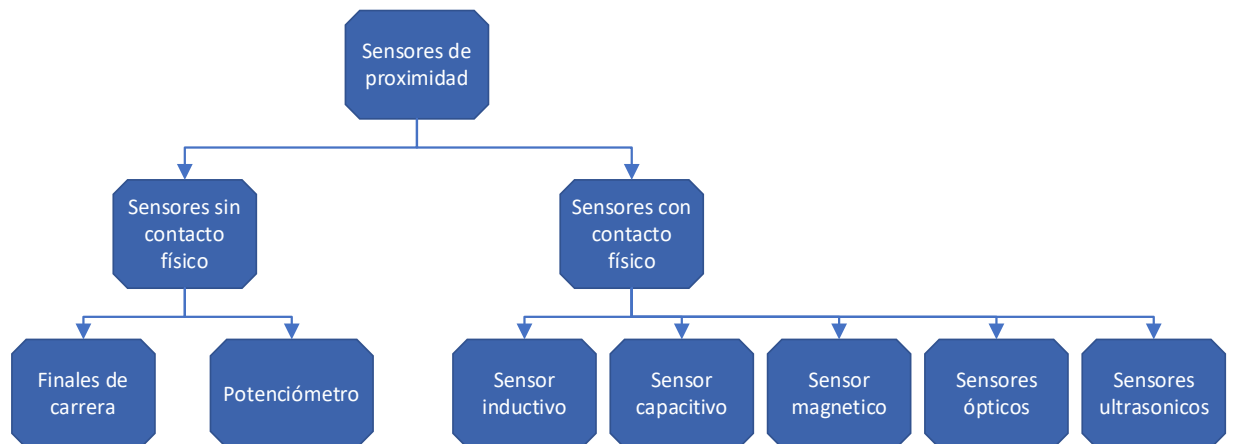


Figura 3 Diagrama de bloques sensores de proximidad (elaboración propia).

4.5.5 Sensores de contacto físico

Son dispositivos diseñados para detectar el contacto directo con objetos o superficies. Estos sensores pueden tomar diferentes formas y utilizar distintos

principios de detección, pero todos comparten el objetivo de captar el contacto físico, esto limita la distancia a la cual detectar objetos por lo tanto solo es posible detectar objetos a cortas distancias, pero con un grado precisión más alto [32].

4.5.5.1 Finales de carrera

Son los dispositivos más comunes en los sensores de utilizados para detectar la posición final de un objeto o una máquina, se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones industriales y automatizadas para garantizar la precisión y seguridad en los procesos.

Los sensores finales de carrera suelen ser interruptores electromagnéticos que se activan cuando un objeto alcanza una posición especificada, existen diferentes tipos de sensores finales de carrera tales como: Interruptores de resorte, interruptores de rodillo, interruptores de palanca, sensores ópticos entre otros. Estos sensores pueden ser utilizados en aplicaciones tales como: detección de aperturas, ubicación de altura en un ascensor, cintas transportadoras entre otros [32].

4.5.5.2 Potenciómetros

Los potenciómetros son dispositivos electrónicos utilizados para controlar y ajustar la resistencia eléctrica en un circuito. Están compuestos por un elemento resistivo, un cursor móvil y dos terminales. El cursor se desplaza a lo largo del elemento resistivo y permite seleccionar diferentes valores de resistencia [32].

4.5.5.3 Sensores sin contacto físico

Los sensores de proximidad sin contacto físico son ampliamente utilizados tanto en la industria como en el ámbito doméstico debido a su versatilidad y capacidad para detectar objetos a distancia. Estos sensores permiten detectar la presencia de un objeto sin necesidad de un contacto directo, lo que los hace ideales para

aplicaciones donde se requiere un monitoreo continuo o una interacción sin interferencia física [32].

La distancia de detección de estos sensores puede variar dependiendo de la tecnología utilizada. Algunos sensores tienen un alcance más largo, lo que les permite detectar objetos a mayores distancias, mientras que otros sensores están diseñados para detectar objetos a distancias más cortas y precisas [32].

Muchos de estos sensores pueden configurarse para funcionar en modo binario, es decir, emiten una señal cuando detectan un objeto y no emiten nada cuando no hay presencia. Sin embargo, también existen sensores que ofrecen salidas analógicas o digitales, proporcionando información más detallada sobre la proximidad del objeto. Estos sensores pueden medir la distancia relativa entre el sensor y el objeto, lo que permite una mayor flexibilidad en su aplicación [32].

A continuación, se presentan apartados individuales para cada una de las principales tecnologías de detección:

4.5.5.4 Sensores de proximidad magnético

Los sensores de campo magnético miden la intensidad y la dirección de los campos magnéticos para detectar la presencia o el movimiento de objetos magnéticos. Se utilizan en aplicaciones como detección de posición, control de robots, navegación y monitoreo de vehículos [32]. Cuenta con las características tales como:

- **Alcance:** los sensores magnéticos no requieren contacto físico con el objeto para detectarlo, pero es necesario que estén relativamente cerca. El alcance máximo de este tipo de sensores suele ser de aproximadamente 100 mm [32].

- **Material del objeto a detectar:** los sensores magnéticos solo pueden detectar objetos que estén imantados, ya sea de forma temporal o permanente. Es necesario que el objeto tenga un campo magnético para que el sensor pueda detectarlo [32].
- **Interferencia magnética:** es importante asegurarse de que no haya interferencias magnéticas cerca del sensor, ya que podrían causar falsos positivos en la detección. Si el campo magnético supera los 0.16 mT (T = Tesla), puede ser necesario considerar el uso de un apantallamiento para el sensor [32].
- **Minimizar el flujo de corriente:** en los sensores magnéticos, se debe reducir al mínimo el flujo de corriente, ya que puede provocar un arco eléctrico durante la conexión o desconexión, lo que podría dañar las láminas del contacto. Una solución común es agregar una resistencia en serie para limitar la corriente del circuito y prolongar la vida útil del sensor [32].
- **Vida útil del contacto:** es importante tener en cuenta que, aunque se limite la corriente, los contactos tienen una estimación de ciclos de conmutación que pueden soportar. En el caso de estos sensores, se estima una vida útil de 5 millones de ciclos.
- **Velocidad de conmutación:** la velocidad de conmutación de estos sensores suele estar alrededor de 2 ms o incluso más rápido (1000 Hz - 1 ms). Sin embargo, es importante tener en cuenta que este sistema no está exento de rebotes en la conmutación [32]. Algunas de las aplicaciones más comunes de los sensores magnéticos son:
 - **Electrónica:** se utilizan en aplicaciones electrónicas, como en interruptores magnéticos para la detección de apertura y cierre de puertas y ventanas. También se utilizan en la navegación electrónica, como en brújulas electrónicas [32].

- **Industria automotriz:** son utilizados en la detección de posición del cigüeñal, árbol de lavas, sincronización precisa de la inyección de combustible, encendido y control de transmisión [32].
- **Energías renovables:** se utilizan en energía eólica y solar para controlar la orientación y la velocidad de los generadores y las turbinas [32].
- **Medicina:** En aplicaciones médicas, los sensores magnéticos se utilizan en imágenes por resonancia magnética (IRM) para mapear y visualizar estructuras internas del cuerpo humano. También se utilizan en dispositivos médicos como marcapasos y estimuladores neuromusculares [32].
- **Seguridad:** Los sensores magnéticos se emplean en sistemas de seguridad, como alarmas y sistemas de detección de intrusos. Estos sensores pueden detectar la apertura o el movimiento de puertas y ventanas, activando una alarma en caso de intrusión [32].

4.5.5.5 Sensores de proximidad inductivo

Los sensores de proximidad inductivos son dispositivos que se utilizan para detectar la presencia o ausencia de objetos metálicos sin necesidad de contacto físico directo. Estos sensores funcionan mediante el principio de la inducción electromagnética.

El funcionamiento básico de un sensor de proximidad inductivo se basa en la generación de un campo electromagnético de alta frecuencia en la bobina del sensor. Cuando un objeto metálico se acerca al campo electromagnético, se produce una alteración en el campo debido a la conductividad eléctrica del objeto. Esta alteración es detectada por el sensor, que genera una señal de salida para indicar la presencia del objeto [32].

Algunas características importantes de los sensores de proximidad inductivos son:

- **Alcance:** puede variar entre 0.8 y 250 mm. La distancia de detección depende del tamaño de la bobina del sensor; cuanto más grande sea la bobina, mayor será la distancia de detección. Además, el material del receptor también puede afectar esta distancia, con factores de reducción específicos para diferentes materiales, como acero ligero (1), acero inoxidable (0.9), bronce (0.5), aluminio (0.45) y cobre (0.4) [32].

- **Material del objeto a detectar:** para que el campo magnético aplicado por el sensor genere una corriente inducida, el objeto a detectar debe tener componentes metálicos o ferrosos [32].

- **Interferencias:** aunque estos sensores son insensibles a la suciedad, son susceptibles a interferencias causadas por campos electromagnéticos cercanos, lo que puede alterar los resultados de detección [32].

- **Vida útil:** la durabilidad de los sensores de proximidad sin contacto físico es mayor en comparación con otros sensores, como los finales de carrera y los sensores magnéticos. Esto se debe a que no tienen partes móviles que se desgasten y su vida útil no depende del número de detecciones realizadas [32].

- **Velocidad de conmutación:** estos sensores ofrecen una respuesta relativamente rápida, con una frecuencia de conmutación típica de 10 a 5000 Hz (0.1 s - 0.2 ms) y un máximo de 20 kHz (0.05 ms) [32].
 - Algunas aplicaciones más comunes de los sensores de proximidad inductivos son:

- **Automatización industrial:** Los sensores inductivos se utilizan en maquinaria industrial para detectar la presencia de objetos metálicos, como piezas en una línea de montaje, para controlar procesos automatizados [32].

- **Control de posición y movimiento:** Estos sensores se emplean en sistemas de posicionamiento y control de movimiento, como en robots industriales, para detectar la posición y el desplazamiento de piezas y componentes [32].
- **Maquinaria de embalaje:** Los sensores inductivos se utilizan en máquinas de envasado y embalaje para detectar la presencia de productos y controlar la secuencia de operaciones, como la apertura y cierre de las cintas transportadoras [32].
- **Control de acceso y seguridad:** Los sensores de proximidad inductivos se utilizan en sistemas de control de acceso y seguridad, como en puertas automáticas, para detectar la presencia de personas y objetos, evitando colisiones y garantizando la seguridad [32].
- **Maquinaria agrícola:** En la agricultura, los sensores inductivos se emplean para detectar la presencia de objetos, como cultivos o herramientas, en maquinaria agrícola, como cosechadoras o tractores [32].
- **Control de nivel:** Estos sensores se utilizan para detectar el nivel de líquidos o sólidos en tanques y recipientes, lo que permite controlar procesos de llenado y vaciado [32].
- **Industria automotriz:** Los sensores inductivos se utilizan en aplicaciones automotrices, como en sistemas de frenado ABS, para detectar la velocidad de las ruedas y controlar el frenado de manera segura [32].

4.5.5.6 Sensores de proximidad capacitivos

Los sensores de proximidad capacitivos son dispositivos utilizados para detectar la presencia o la ausencia de objetos basándose en cambios en la capacitancia. La

capacitancia es una propiedad eléctrica que se relaciona con la capacidad de almacenar carga eléctrica.

Estos sensores constan de un electrodo o placa activa y un oscilador interno. Cuando no hay objeto cerca del sensor, el campo eléctrico generado por el oscilador se concentra en el electrodo. Sin embargo, cuando un objeto se acerca al electrodo, la capacitancia entre el objeto y el electrodo cambia, lo que afecta la frecuencia del oscilador.

Cuando la frecuencia del oscilador cambia más allá de un umbral predefinido, se activa una salida del sensor, indicando la presencia del objeto. La distancia de detección depende del tamaño y las propiedades dieléctricas del objeto [32].

Al considerar los sensores capacitivos, es importante tener en cuenta las siguientes características:

- **Alcance:** depende del grosor de la placa de metal conectada a tierra. Por lo general, el alcance típico oscila entre 5 y 20 mm, aunque en algunas aplicaciones puede llegar hasta 60 mm [32].
- **Material del objeto a detectar:** los sensores capacitivos pueden detectar objetos que tengan una constante dieléctrica mayor que 1. Esto significa que pueden detectar una amplia variedad de materiales, como plástico, vidrio, papel, madera, etc [32].
- **Interferencias:** los sensores capacitivos pueden ser sensibles a la suciedad. La presencia de suciedad puede interpretarse como un objeto a detectar, lo que podría provocar falsos positivos. Por lo tanto, es importante mantener los sensores limpios para evitar interferencias no deseadas [32].
- **Vida útil:** los sensores capacitivos tienen una vida útil prolongada debido a que no tienen componentes mecánicos que se desgasten. Esto los hace adecuados para aplicaciones donde se requiere una alta durabilidad [32].

- **Velocidad de conmutación:** la respuesta de los sensores capacitivos no es particularmente rápida. La frecuencia de conmutación máxima suele ser de 300 Hz (equivalente a un tiempo de respuesta de aproximadamente 3,3 ms). Esto significa que pueden ser adecuados para aplicaciones que no requieran una alta velocidad de detección [32].
 - Algunas de las aplicaciones más comunes de los sensores de proximidad capacitivos incluyen:
- **Automatización industrial:** Los sensores de proximidad capacitivos se utilizan en la industria para la detección de objetos en líneas de producción y sistemas de transporte. Pueden detectar materiales sólidos y líquidos, lo que los hace útiles para la detección de nivel de líquidos en tanques y botellas, detección de objetos metálicos y no metálicos, control de presencia de productos, entre otros [32].
- **Electrónica de consumo:** Los sensores de proximidad capacitivos se utilizan en dispositivos electrónicos como teléfonos móviles y tabletas para detectar cuando el usuario acerca el dispositivo a su rostro durante una llamada telefónica. Esto permite desactivar la pantalla táctil para evitar toques accidentales [32].
- **Domótica y automatización del hogar:** Los sensores de proximidad capacitivos se pueden utilizar en sistemas domóticos para detectar la presencia de personas en una habitación y controlar la iluminación, el encendido/apagado de dispositivos y la regulación de la temperatura [32].
- **Pantallas táctiles:** Los sensores de proximidad capacitivos se encuentran en las pantallas táctiles de dispositivos electrónicos, como teléfonos inteligentes, tabletas y paneles de control. Estos sensores detectan la proximidad del dedo o un lápiz óptico y permiten la interacción táctil con la pantalla [32].

- **Seguridad y acceso:** Los sensores de proximidad capacitivos se utilizan en sistemas de seguridad para detectar la presencia de personas o intrusos en áreas restringidas [32].
- **Automotriz:** Los sensores de proximidad capacitivos se utilizan en aplicaciones automotrices, como sistemas de estacionamiento asistido, detección de objetos en el camino y sistemas de apertura de puertas sin contacto [32].

4.5.5.7 Sensores de proximidad ópticos

Los sensores de proximidad ópticos son dispositivos utilizados para detectar la presencia o la proximidad de objetos utilizando luz. Estos sensores emiten un haz de luz y luego detectan cambios en la cantidad de luz reflejada o absorbida por un objeto cercano. Algunas de las aplicaciones comunes de los sensores de proximidad ópticos incluyen sistemas de seguridad, control de acceso, automatización industrial y robótica, industria de embalaje, electrónica de consumo, electrónica médica [32].

A continuación, describiré el funcionamiento de algunas variantes de sensores de proximidad ópticos:

- **Los sensores de barrera:** son dispositivos utilizados para detectar la presencia o el paso de objetos en un área determinada. Consisten en una fuente de emisión de señales (como luz o infrarrojos) y un receptor que captura esas señales. Cuando un objeto interrumpe la señal entre la fuente y el receptor, se activa una respuesta o se produce un cambio en el estado del sensor. Los sensores de barrera tienen diversas aplicaciones en diferentes industrias. Algunas de las aplicaciones más comunes incluyen: controlar la entrada y salida de personas o vehículos en áreas restringidas, creación perímetros de seguridad alrededor de propiedades, almacenes o áreas sensibles, detectar la presencia o ausencia de objetos en líneas de producción,

transportadores o maquinaria, contar objetos en movimiento, como personas en un evento, vehículos en una carretera o productos en una línea de ensamblaje y en sistemas de iluminación y señalización para activar o desactivar luces, semáforos u otros dispositivos cuando se detecta la presencia de personas o vehículos [32].

- **Los sensores de retrorreflexión:** son un tipo de sensores de proximidad utilizados para detectar la presencia o ausencia de objetos basándose en el principio de retrorreflexión de la luz. Estos sensores constan de un emisor de luz, un receptor y un reflector.
 - El funcionamiento de los sensores de retrorreflexión se basa en la emisión de un haz de luz por parte del emisor. Este haz de luz es reflejado por un reflector colocado en el objeto que se desea detectar. El receptor, ubicado en el mismo sensor, recibe la luz reflejada. Cuando el haz de luz es bloqueado por la presencia del objeto, la señal del receptor cambia, indicando así la presencia del objeto, algunas aplicaciones son:
 - detectar la presencia de objetos en líneas de producción, máquinas de envasado, sistemas de transporte y otras aplicaciones industriales, detectar la presencia de personas o vehículos en puertas automáticas, ascensores, escaleras mecánicas, entre otros [32].
- **Los sensores de reflexión directa:** son dispositivos que utilizan un solo componente para emitir y recibir señales. Estos sensores son comúnmente utilizados en aplicaciones de detección de objetos y detección de obstáculos en entornos industriales y domésticos [32].
 - La operación básica de un sensor de reflexión directa implica la emisión de una señal, como luz o sonido, y la detección de la señal reflejada por un objeto en el entorno. El sensor luego evalúa la presencia o ausencia de la señal reflejada para determinar la presencia o ausencia del objeto. Estos son utilizados en: sistemas de seguridad y control de acceso para detectar la presencia de personas o vehículos, detectar el nivel de líquidos o materiales

granulares en contenedores o tanques, se utilizan en robots y vehículos autónomos para detectar obstáculos y evitar colisiones y aplicaciones de automatización para detectar la presencia de personas o trabajadores en áreas peligrosas [32].

4.5.5.8 Sensores ópticos de proximidad con cables de fibra óptica

Son dispositivos que utilizan la tecnología óptica para detectar la presencia o la proximidad de objetos. En lugar de utilizar señales eléctricas, estos sensores emplean cables de fibra óptica para transmitir la luz y recibir las señales ópticas. Estos sensores se componen de dos partes principales: el cabezal sensor, que emite la luz a través del cable de fibra óptica, y el receptor, que recibe la luz reflejada o transmitida desde el objeto. Algunos sensores ópticos de proximidad también pueden utilizar fibras ópticas de haz dividido, en las cuales la luz se divide en haces separados para detectar objetos en diferentes posiciones o direcciones [32].

- **Alcance:** está relacionado con la duración del pulso emitido. Debe ser lo más corto posible, pero con suficiente energía para llegar a los objetos más alejados. Un pulso corto permite diferenciar objetos cercanos, ya que si es demasiado largo y el eco llega mientras aún se está emitiendo el pulso, el sensor no podrá distinguir que se trata de un eco (señal que rebota en el objeto). Este principio establece la distancia mínima del sensor, que suele ser de 50 mm.
 - Por otro lado, se necesita que el pulso sea largo para identificar objetos a larga distancia. Cuanto más largo sea el pulso, más energía emite y mejor supera la atenuación de la señal en el aire. La distancia máxima estará limitada por la capacidad de la señal para llegar y por la diferencia entre dos pulsos emitidos. Si llega un eco de un objeto muy lejano cuando ya se ha emitido otro pulso, el sistema podría confundir ese eco con el segundo pulso y no identificar

correctamente el objeto. La distancia máxima suele ser cercana a los 10 metros [32].

- **Material del objeto a detectar:** los sensores de proximidad ultrasónicos pueden detectar una amplia gama de materiales, independientemente de su forma, color o tipo (sólidos, fluidos o en forma de polvo). Sin embargo, hay materiales que no son adecuados para estos sensores, como las telas gruesas, la lana, el algodón y la goma espuma, ya que absorben el sonido. Estos materiales se pueden detectar utilizando barreras ultrasónicas, colocando un emisor a un lado y un receptor al otro, y si el sonido no pasa, significa que hay un objeto absorbente en el medio [32].
- **Interferencias:** al igual que con la mayoría de los sensores, es importante tener cuidado al colocar dos sensores ultrasónicos cercanos, ya que podrían interferir entre sí. El sonido ambiente generalmente no afecta a este tipo de sensores debido al rango de frecuencias que utilizan. Pequeños cambios en las mediciones pueden ocurrir debido a cambios bruscos en la temperatura y la humedad, pero la suciedad en principio no afecta a estos sensores [32].
- **Vida útil:** estos sensores no tienen componentes que se desgasten con el tiempo, por lo que se espera que tengan una vida útil muy larga [32].
- **Velocidad de conmutación:** su repuesta es relativamente lenta, con una frecuencia que varía entre 1 y 125 Hz (1 segundo a 8 milisegundos) [32].
- **Inclinación de objeto:** Los ultrasonidos se desvían en superficies planas e inclinadas. Si la superficie está inclinada, el sensor ultrasónico no recibirá el eco de la señal. Los objetos con superficies lisas y regulares no se podrán detectar si las desviaciones son mayores de $\pm 5^\circ$ con respecto a la perpendicular al sensor de proximidad. Sin embargo, en el caso de objetos con superficies rugosas o irregulares, es posible un margen más amplio [32].

- Estos sensores tienen diversas aplicaciones en diferentes industrias. Algunas de las aplicaciones más comunes son las siguientes:
 - **Automatización industrial:** se utilizan ampliamente en entornos industriales para la detección de objetos, control de posición y monitoreo de procesos. Pueden detectar la presencia o ausencia de objetos en líneas de montaje, ayudando a automatizar tareas y garantizar la calidad del producto [32].
 - **Robótica:** son ideales para su uso en sistemas robóticos. Pueden detectar la presencia de objetos y proporcionar información de retroalimentación para guiar los movimientos del robot, permitiendo una interacción más segura y precisa con el entorno [32].
 - **Control de maquinaria:** pueden detectar la presencia de objetos o la posición de componentes móviles, lo que permite el control y la supervisión de las máquinas para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente [32].
 - **Industria alimentaria:** son ampliamente utilizados en la industria alimentaria para la detección de objetos en líneas de producción, como la detección de tapas de botellas o etiquetas. Garantizan la calidad y la seguridad alimentaria al asegurar que los productos estén correctamente envasados y etiquetados [32].
 - **Industria del embalaje:** se utilizan para detectar la posición de los productos, controlar el flujo de la línea de producción y garantizar que los paquetes estén correctamente sellados y etiquetados [32].
 - **Automotriz:** detección de objetos en sistemas de estacionamiento asistido, control de acceso y sistemas de iluminación inteligente. Ayudan a mejorar la seguridad, la comodidad y la eficiencia de los vehículos [32].

- **Tecnología médica:** detección de objetos y la monitorización de parámetros. Por ejemplo, se pueden utilizar en dispositivos de control de flujo de líquidos o en sistemas de detección de presencia en equipos médicos sensibles [32].

4.5.6 Sistemas de comunicación inalámbrica

Las tecnologías inalámbricas son herramientas que permiten una comunicación instantánea sin el uso de cables u otros medios físicos, en términos generales, se clasifican en: redes inalámbricas ad-hoc y de sensores, redes de comunicación multimedia inalámbrica y redes de comunicación celular [33].

La primera categoría concierne al diseño e implantación de redes inalámbricas capaces de captar información del entorno para propósitos de monitoreo y control; estas tecnologías son de largo alcance y poseen una capacidad de transmisión media o baja y poco consumo de potencia. Por su parte, la segunda categoría tiene alta velocidad para transmitir contenido multimedia en tiempo real permitiendo un flujo masivo de información y, finalmente, la tercera se relaciona con las comunicaciones de celulares convencionales de comunicación de voz y datos en un área metropolitana donde su principal característica es el área de cobertura [33].

4.5.7 Sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos son conjuntos de equipos que aprovechan la energía solar, la procesan y la convierten en energía eléctrica. Esta energía se almacena para su posterior uso en dispositivos electrónicos. Un sistema fotovoltaico está compuesto por los siguientes elementos: [34]:

4.5.7.1 Paneles fotovoltaicos o solares: Son dispositivos que transforman los fotones que provienen de la luz del sol en electricidad. Su eficiencia está sujeta a la irradiación, es decir, al nivel de iluminación captado y

se componen de células solares conectadas, encapsuladas y montadas eléctricamente entre sí, en una estructura de soporte o marco [34].

4.5.7.2 Regulador de voltaje para sistema fotovoltaico: también conocido como estabilizador de voltaje, es un dispositivo electrónico diseñado para mantener un nivel constante de voltaje. [34].

4.5.7.3 Batería: Es una herramienta de almacenamiento de energía eléctrica que brinda autonomía al sistema fotovoltaico cuando el panel no puede captar suficiente energía solar. Entre las más usadas se encuentra las de tipo plomo-ácido con electrolito líquido y las del tipo plomo-ácido con electrolito gelificado [34].

5. DISEÑO

En este capítulo se aborda el proceso de diseño y desarrollo de un dispositivo electrónico de asistencia y apoyo al control de flujo vehicular, como respuesta a los inconvenientes que surgen de las obras en carreteras bidireccionales que disponen de un solo carril para la circulación de automotores.

Para lograr un adecuado diseño del prototipo, se inicia con una lista de requerimientos expuestos en la Tabla 2, cada uno con su descripción y justificación, acorde a las necesidades y reglamentación consultada relacionadas con las señaléticas de control de tráfico vehicular.

Tabla 2 Requerimientos.

ID Requisitos	Descripción	Justificación
R-01	Se debe diseñar un sistema portable	Es importante que el prototipo pueda ser transportado a cualquier zona en la que se requiera realizar el control de tráfico vehicular.
R-02	La electrónica debe ser alimentada mediante un sistema fotovoltaico	El prototipo demanda de un sistema de energía renovable, ya que este puede ser usado en lugares donde no se cuente con fácil acceso a conexiones de energía eléctrica
R-03	El sistema electrónico debe contar con un sensor el cual se encuentre en un rango de medición de 4.5m	El sensor es indispensable para la detección de los vehículos que se aproximan al tramo vial que esta intervenido.
R-04	La electrónica debe contar con un dispositivo de comunicación	El prototipo requiere de un dispositivo de comunicación que permita la recepción y envío de datos, los cuales son necesarios para que el prototipo ejecute las tareas programadas.

	inalámbrica con un alcance mínimo de 100m en línea de vista	
R-05	El prototipo debe contar con un medio de visualización y configuración de información de operación.	Es necesario configurar y visualizar los parámetros establecidos en la programación, por lo tanto, requiere de algún medio de interfaz que permita configurar parámetros como: distancia, tiempo de activación, modo automático, entre otros (obviando el control por botones, si bien son útiles también podría ser una comunicación bluetooth local u otra).
R-06	Se debe tener una señal que indique a los conductores el pare y siga	Para tener un control de tráfico vehicular adecuado se necesita una señal de pare y siga, implementada mediante paletas de tránsito o algún tipo de iluminación.
R-07	El prototipo debe contar con dos PCB	Es necesario diseñar dos PCB por medio de la programación a realizar, para determinar cuál será la placa maestro o esclavo

El sistema a desarrollar estará conformado por dos dispositivos, cada uno, ubicado en los extremos de la sección vial intervenida y estarán equipados con un sensor para la detección de vehículos y un sistema de señalización lumínico. La electrónica de control, sobre los dispositivos en mención, se hará a través de un mecanismo maestro apoyado de un sistema esclavo, ambos comunicados con tecnología inalámbrica, cuyo alcance será evaluado bajo las condiciones típicas diseñadas para este prototipo mediante un protocolo de pruebas; esto permitirá establecer controles para el funcionamiento vial a través del despliegue de señales que realizarán los cambios en dos estados, pare y siga de manera automática. Para las señales de control lumínicas se consultaron los estándares en cuanto a tamaño y rango de visibilidad adecuados para ambientes exteriores y su sujeción a las normas existentes.

Otro aspecto a considerar para que el sistema se acople como prototipo funcional a las condiciones de las obras civiles, es la autonomía, la cual con las celdas fotovoltaicas permiten la instalación de los mencionados dispositivos en zonas donde no existe cobertura eléctrica y no requiere alimentación externa.

Acorde con lo anterior, a continuación, se presenta un diagrama de bloques funcionales que conforman la arquitectura general del diseño electrónico, en la Imagen 3 se indica un sistema electrónico conformado por dos nodos comunicados entre sí mediante radiofrecuencia. Cada nodo corresponde a un dispositivo de control vial asistido y automatizado por otros sistemas electrónicos, controlados por un solo operario (a diferencia de los sistemas manuales donde intervienen dos o más).



Figura 4 Componentes prototipo (elaboración propia)

Por su parte, en la figura 5 se presenta un esquema de bloques que detalla cada nodo. El primer módulo que corresponderá a la unidad de control maestro contendrá el programa, cuyo algoritmo permitirá su operación, en este bloque se integra un sistema de comunicación RF (Radio Frecuencia) que se implementará mediante un transceptor que cumpla con el requerimiento de potencia necesario para la cobertura requerida según información sobre la distancia en la obra intervenida, también contendrá un bloque de salida de iluminación con el cual se pretende aportar una señalización visual y una interfaz tipo LCD que presentará lo concerniente a: distancia de detección, distancia de trabajo y prioridad de trabajo de cada dispositivo. Adicionalmente dispondrá de un bloque de entrada de datos que permitirá

configurar las opciones del prototipo para la detección de vehículos, así como un sistema fotovoltaico que se encargará de suministrar la energía.

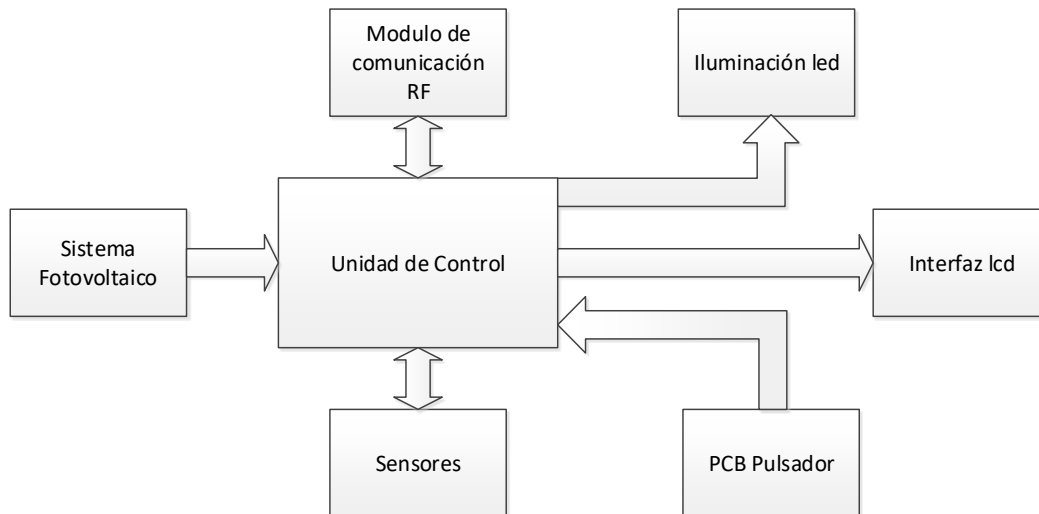


Figura 5 Componentes electrónicos (elaboración propia)

5.1 Diseño hardware

Para la construcción del hardware, se consideraron distintos componentes electrónicos y su aporte funcional dentro del prototipo a desarrollar. El estudio de cada componente electrónico se realizó con el fin de identificar qué elementos satisfacen las necesidades planteadas inicialmente, para ello, se analizaron las características principales como: voltajes, corriente, alcance de medición, comunicación y capacidad de memoria y como variable fundamental para la elección, el precio, robustez y precisión.




5.1.2 Selección de elementos

En el presente ítem, se detallan las características técnicas de los elementos a seleccionar, para posteriormente, en los apartados siguientes presentar los factores y cálculos que soportaron la selección.

5.1.3 Unidad de control

La unidad de control se hará a través de un microcontrolador, dispositivo encargado de ejecutar el código de control diseñado para que los operarios usen el prototipo de apoyo en el control de tráfico vehicular. En la Tabla 3 se presentan tres opciones consultadas, de las cuales una será seleccionada.

Tabla 3 Características de microprocesadores [35].

Microcontrolador	Pic18f4550	Pic16f877a	Pic18f452
Características			
Voltaje de operación	4.2 V a 5.5 V	2 a 5.5 V	2 a 5.5 V
Memoria FLASH	32 Kbytes	8 Kbytes	32 Kbytes
Memoria SRAM	2048 Bytes	1944 bytes	1536 bytes
Frecuencia	48 MHz	20 MHz	40MHz
Precio	7.5USD	3.5USD	5USD

De las opciones consultadas se eligió el PIC 18f4550, ya que este microcontrolador cuenta con características de trabajo más favorables como: memoria sram y timer's, frecuencia de trabajo superior a las otras opciones y más variedad de pines de entradas y salida.

5.1.4 Módulos de comunicación inalámbrica

Para transportar información entre los dos nodos propuestos, se dispondrá de módulos de comunicación RF, que brindará interfaz de comunicación, frecuencia de operación y potencia de transmisión, características relacionadas directamente con el alcance del dispositivo. En la Tabla 4 se listan algunas referencias consultadas y sus principales características:

Tabla 4 Características de módulos de comunicación inalámbrica [36,37,38].

Modulo	E32-915T20D	XBee PRO S1	Transmisor Receptor RF 433 MHz
‘Características			
Voltaje de operación	2.1 – 5.2 V DC	3.3 V DC	3.5 – 12 V DC
Corriente de operación	120 mA	250 mA	9 – 40 mA
Frecuencia	915 MHz	2.5GHz	433 MHz
Interfaz	UART	UART	TTL
Distancia	3000 m	1500 m	20 - 200 m
Precio	14.8USD	36.5USD	1.3USD



De las opciones, se eligió el módulo de comunicación inalámbrica **E32-915T20D** debido a su precio y características de operación como inmunidad a frecuencias externas, definición de trama en su protocolo de radio frecuencia, largo alcance de comunicación, así como bajo consumo energético asociado a su voltaje de operación.

5.1.5 Sensores de detección

Dentro de la arquitectura propuesta es fundamental la detección de vehículos para que el sistema opere de forma automática, para ello se tuvo en cuenta el uso de sensores de presencia, que tendrán la función de indicar al sistema, la aproximación de un vehículo al tramo intervenido. Al respecto se proponen seis sensores exhibidos en la Tabla 5:

Tabla 5 Características de sensores de detección [39,40,41].

Sensores	Características	Ventajas	Desventajas
 <p>1-Sensor ultrasónico GY-US42</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Voltaje de funcionamiento 3–5V - Voltaje activación: 5V - Consumo de corriente 6–9mA - Angulo de dimensión 15° - Rango de detección 20 cm a 720 cm - Temperatura de trabajo 20° C a 65° C - Precio \$51.000 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo consumo energético - La luz ni la oscuridad afecta su funcionamiento - Detecta materiales metálicos y no metálicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Poco ángulo de medición - No es resistente al contacto con el agua - Sensible al polvo
 <p>2-Sensor laser VL53L0XV2</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Voltaje de funcionamiento 2.6 V a 3.5 V - Corriente de consumo 150 mA - Angulo de medición 25° - Rango de detección 5cm - 200cm - Temperatura de trabajo - 20°C – 70°C - Precio \$29.000 	<ul style="list-style-type: none"> - Medición de distancia es rápida y precisa - Bajo consumo energético 	<ul style="list-style-type: none"> - el ruido y la luz afecta el funcionamiento dispositivo sin revestimiento de protección.
 <p>3-Sensor fotoeléctrico infrarrojo E3F-20C1</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Voltaje de funcionamiento 6 – 36V - Voltaje de activación 10 V - Corriente de consumo 100 – 200mA - Angulo de medición 2° - Rango de detección 0.3 – 20m - Temperatura de trabajo - 25°C – 75°C - Precio \$ 114.000 	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia a vibraciones - Capacidad de detectar gran variedad de objetos como: vidrio, hierro, metal, plástico etc. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto voltaje de alimentación. - Necesidad de un trasmisor y un receptor alineados entre sí - Sensibles al polvo.
 <p>4-Sensor infrarrojo LM393</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Voltaje de funcionamiento 3.3-6V - Voltaje de activación 3.3V - Corriente de consumo 23-42mA - Angulo de medición 35° - Rango de detección 20-300mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Asegura la correspondencia debido a la vista o al método de correspondencia de puntos destacados - Identifican el movimiento durante 	<ul style="list-style-type: none"> - Las frecuencias infrarrojas están influenciadas por artículos duros (por ejemplo, separadores, entradas), humo, polvo, neblina, luz del día.


	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura de trabajo 20°C -75°C - Precio \$ 78.000 	el día y la noche de manera confiable	<ul style="list-style-type: none"> - Alcance limitado en lugares con distancias largas
 <p>5-Sensor de radar HW-MS03</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Voltaje de funcionamiento 5-24V - Voltaje de activación 5V - Corriente de consumo 5mA - Angulo de medición 360° - Rango de detección 10m - Temperatura de trabajo - Precio \$ 15.000 	<ul style="list-style-type: none"> - No es afectado por ningún impacto en la temperatura, humedad, flujo de aire, polvo, ruido, luz, oscuridad 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensible a la luz en exteriores
 <p>6-Sensor ultrasónico JSN-SR04</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Voltaje de funcionamiento 3.3-5V - Voltaje de activación 3.3V - Corriente de consumo 5mA - Angulo de medición 75° - Rango de detección 25cm-450cm - Temperatura de trabajo - 10°C – 70°C - Precio \$ 78.000 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta precisión - Bajo consumo de energía. - Resistencia al agua, polvo - El exceso de luz ni la oscuridad afecta su funcionamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Materiales blandos acústicamente como tela o lana pueden ser difícil de detectar

Según las características analizadas se optó por el sensor JSN-SR04 debido a que cuenta con características favorables como: ángulo de detección de 75°, rango de detección de 4.5m, resistente al agua, sensor con dos metros de cable para una ubicación ideal y bajo consumo energético.

5.1.5 Interfaz LCD

Dado que el prototipo será manipulado por operarios, es necesario que el sistema cuente con un panel físico de control que transmita la información. Para ello se integrará al dispositivo una pantalla LCD, que permita manejar el dispositivo, para este proyecto se escogió los sensores 2, 4, 5 y 6 por su funcionalidad en la Tabla 6.

Tabla 6 Características de pantallas LCD. [42,43].


Pantalla display LCD	LCD 2 x 16
Características	
Voltaje de operación	5 V DC
Corriente de operación	20 mA
Controlador	HD44780
Pantalla	2 líneas por 16 caracteres
Precio	3USD

Se escogido la LCD 2 x 16 debido a sus características Tabla 6 las cuales fueron las idóneas para ser implementada en el prototipo para la visualización de los datos programados.

5.1.6 Iluminación LED

Para el adecuado desarrollo del Sistema es indispensable contar con un medio de iluminación que permita advertir a los conductores de vehículos del estado y dirección de la vía, y que, además, proporcione durabilidad e intensidad lumínica, para ello se propone la tira led smd 5050 cuyas funcionalidades se encuentran en la Tabla 7.

Tabla 7 Características de tiras RGB [44].

Led RGB	SMD 5050
Características	
Voltaje de operación	12 V DC
Numero de LED'S por segmento	3
Corriente de operación	6000 mA
Consumo	48 W
Lumen	2150 lm
Dimensiones	5 mm x 5 mm



Precio	16.7USD
---------------	---------

La tira LED adecuada para trabajar es la SMD 5050 por su relación calidad, precio y disponibilidad en el mercado; cabe resaltar que, esta genera diferentes colores mediante una señal tipo PWM, lo que facilitará la indicación a través de dos colores, rojo y verde, respecto del estado del flujo vehicular a los conductores. Estas tiras LED se organizarán teniendo en cuenta las dimensiones estipuladas por el manual de señalización vial del 2015.

5.1.7 Panel solar

Como se explicó en apartados anteriores, uno de los elementos fundamentales es la autonomía del Sistema, para ello se requiere de una herramienta que proporcione red eléctrica en distintos sectores, por lo cual para este proyecto se eligió el sistema de alimentación por energía solar entre los cuales tenemos los paneles fotovoltaicos Monocristalinos y Policristalinos, ver en la Tabla 8.

Tabla 8 Características de paneles fotovoltaicos [45,46].




Panel solar	Monocristalinas	Policristalinas
Características		
Costos	Altos	Bajos
Eficiencia	Mayor eficiencia y más rendimiento	Menor eficiencia y menor rendimiento
Estética	Las células son de un tono negro o azul muy oscuro	Células de color azulado irregular
Rendimiento	Alto	Medio
Durabilidad	25 años	25 años
Precio	122.8USD	40.2USD

Pese a que el rendimiento y eficiencia dista un poco entre los dos, se seleccionó el panel Policristalino por la diferencia significativa del precio.

5.1.8 Controlador de carga solar.

El controlador de carga solar es una unidad indispensable para el funcionamiento del sistema fotovoltaico, pues se encarga de regular la tensión y la intensidad con la que las baterías se cargan, en la Tabla 9 se puede apreciar tres controladores de carga con sus respectivas características.

Tabla 9 Características de controladores de carga solar [47].

Controlador	CCS 12 – 24 10^a	CCS 12 – 24 20^a	CCS 12 – 24 30^a
Características			
Sistema de voltaje	12 – 24 v DC	12 – 24 v DC	12 – 24 v DC
Corriente máxima de carga	10A	20A	30A
Voltaje de flotación	14.5 V – 29 V	14.5 V – 29 V	14.5 V – 29 V
Voltaje de refuerzo	14.8 V – 29.6 V	14.8 V – 29.6 V	14.8 V – 29.6 V
Carga en DC	10A	20A	30A
Protección de conexión invertida DC	Fusible de 25A	Fusible de 25A	Fusible de 35A
Indicador led	2 indicadores led para diferente estado de carga.	2 indicadores led para diferente estado de carga.	2 indicadores led para diferente estado de carga.
Precio	17.2USD	19.5USD	22.2USD

De las anteriores opciones se eligió el controlador de carga solar CCS 12 – 24, que trabaja con una corriente de 10A que permitirá al prototipo desempeñarse con valores más altos

a los requeridos, además se complementará con paneles solares que trabajen en rangos de voltaje de 12v -24v.

5.1.9 Batería.

Para el prototipo diseñado se eligió una batería de 12 V, debido a la necesidad de garantizar un suministro energético cuando no hay presencia de radiación solar; esta selección dependerá de la del consumo energético del sistema electrónico en general, para la prueba se contó con la exhibida en la figura 5.



Figura 6 Batería 12v [40].

5.2 Cálculos sistema fotovoltaico

Para determinar el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico, y como resultado de ello, se calcula el consumo total de dispositivo.

- a) Respecto de la tira led smd5050, tiene un consumo de 14,4w/m, 12 voltios y 60 leds.

Teniendo en cuenta el diseño 3D de la Imagen 13 se determina que la medida adecuada para cubrir la lámina acrílica es de 2,40m de tira led RGB, a continuación, se calcula la potencia para dicha tira $P_t = 14,4w * 2,4m$ por lo tanto la potencia total de las tiras led es 34,56w

- b) El voltaje necesario para que la tira led opere correctamente es de 12v y la corriente del circuito es de 0,46A los cuales se calcularon teniendo en cuenta el consumo de la lcd, sensores y componentes de la PCB, con los datos mencionados anteriormente se calcula la potencia disipada por el circuito, de la siguiente manera $P = 12v * 0.46A$ por lo tanto el resultado obtenido es 5,52w.

- c) A continuación, se calcula la potencia total del circuito $P_t = 34,56w + 5.52w$ dando como resultado $P_t = 40,08w$

- d) Teniendo la potencia total se procede a calcular el consumo medio de energía, para proceder con el cálculo se establece que el servicio por parte del prototipo será de 1 hora al día. Se tiene que $P_t * 1h/d = 40,08w * h/d$

- e) Teniendo el cálculo del consumo medio de energía se procede a calcular el consumo diario en Ah (amperios hora) por medio de regla de tres, asumiendo la tensión nominal de 12v.

$$40,08w * h/d = 12v \Rightarrow \frac{40,08w * h/d}{12v} = 3,34Ah/d=I \quad (1)$$

A continuación, se calcula las horas sol pico (es la cantidad de energía solar que recibe un metro cuadrado de superficie). La unidad que se emplea como medición de la energía solar es Langley las cuales están basadas por el sistema internacionales de unidades “SI”, teniendo en cuenta los siguientes datos [48].

- $J = \text{Joule}$
- $Ly = \text{Langley}$
- 1 hora solar es igual $1kwh/m^2$
- $J = 0,24 \text{ calorías}$
- $1kwh/m^2 = 86.2069cal/m^2$
- $Ly = 1cal/m^2$
- $Ly/dia = 0,0116hsp/dia$
- Radiación Popayán 3,5 a 4,0 kwh/m^2
- Radiación Colombia 4,0 a 4,5 kwh/m^2

f) Con los datos mencionados anteriormente y teniendo en cuenta la radiación solar en la ciudad de Popayán Cauca, se procede a realizar los cálculos de las horas sol pico (hsp). Para estos datos teóricos se utiliza la radiación máxima de Popayán debido a que las pruebas con el prototipo se realizaron en esta ciudad y en otra vía cercana como la de Morales – Piendamó.

$$Kwh/m^2 = 86.2069cal/m^2 \Rightarrow 4Kwh/m^2 = 344cal/m^2 \quad 2)$$

$$Ly = 1cal/m^2 \Rightarrow Ly = 344cal/m^2 \quad 3)$$

g) Para determinar las horas sol pico se realiza la siguiente operación.

$$Ly * Ly/dia = 5.504 hsp \quad 4)$$

h) Teniendo como referencia un panel con corriente de 1.79A se procede con la siguiente ecuación para obtener la generación media diaria del panel.

$$hsp * I = 17.85Ah/dia$$

5)

Los resultados de las operaciones permiten concluir que los elementos seleccionados son los propicios y adecuados para el funcionamiento del Sistema Fotovoltaico.

Considerando que los cálculos dados para los objetos seleccionados permiten determinar que el dimensionar del Sistema Fotovoltaico es adecuado, para la funcionalidad del mismo se procede a presentar el diseño electrónico.

5.3 Diseño Electrónico

Una vez se seleccionados los elementos para el desarrollo del prototipo propuesto, se procede a plantear el diagrama de flujo Imagen 6 en el cual se visualiza las entradas y salidas que posee el prototipo, se procedió a realizar el diseño electrónico, que parte de un diagrama esquemático realizado con la versión de evaluación EAGLE 7.4.0 Imagen 9 [49]. A partir de este diseño se fabricarán dos placas de circuito impreso, que estarán integradas en los dos prototipos. Estas placas maestro y esclavo trabajarán de acuerdo con un firmware especialmente diseñado para que el microcontrolador opere conforme a una lógica de control propuesta.

Este diseño cuenta con una etapa de potencia para la activación de las tiras led, puertos de conexión, indicadores led y un regulador de voltaje DC-DC que normaliza el voltaje de operación para el microcontrolador y la pantalla LCD.

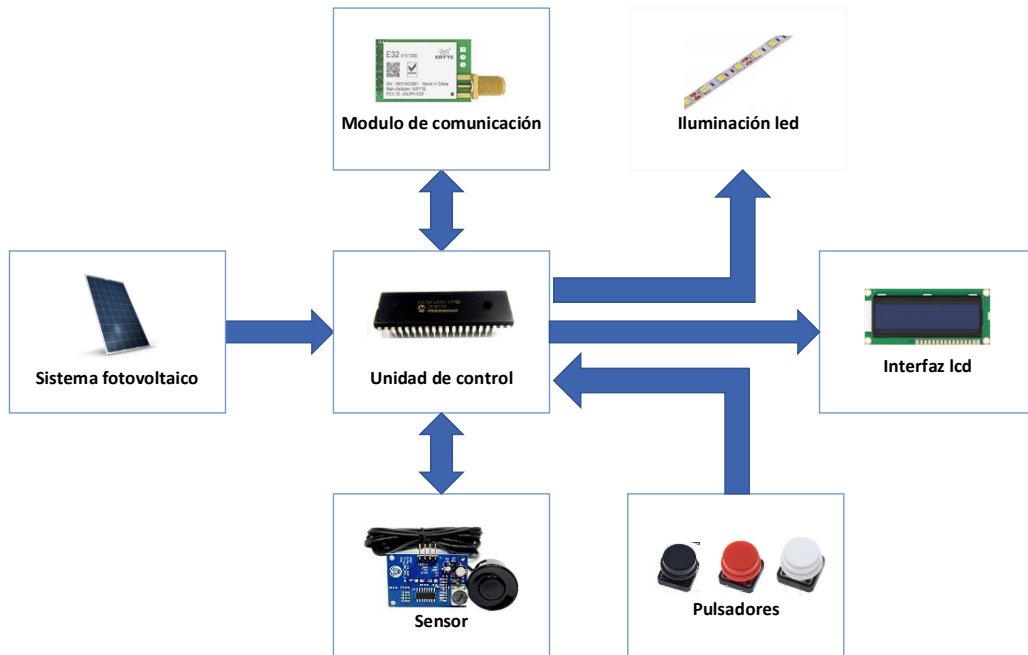


Figura 7. Diagrama de bloques maestro entrada y salidas (elaboración propia).

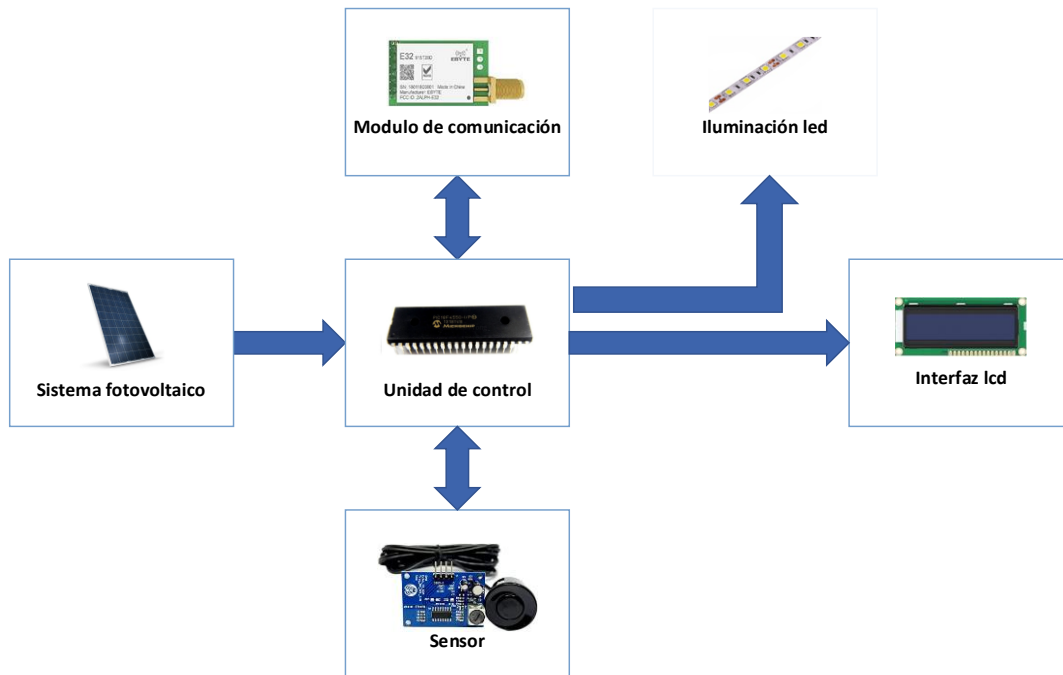


Figura 8. Diagrama de bloques esclavo entrada y salidas (elaboración propia).

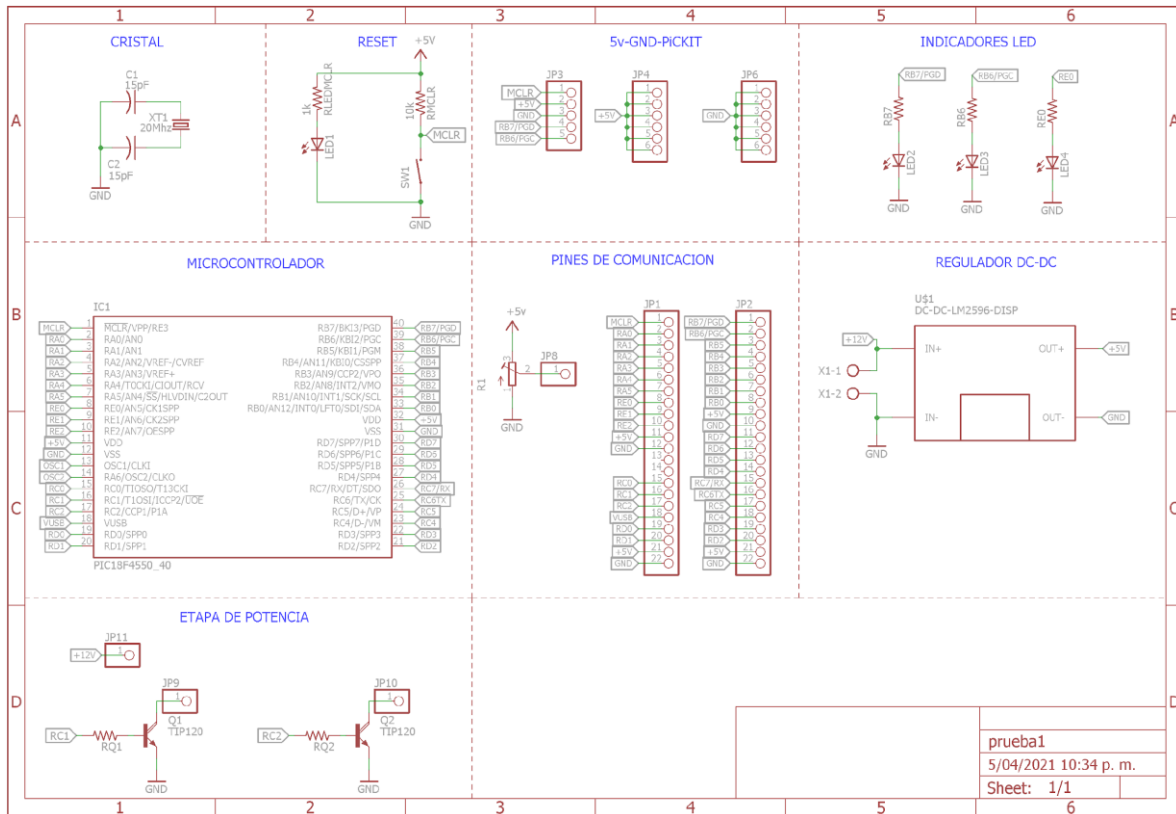


Figura 9 Esquemático PCB (elaboración propia)

Como parte de la interfaz de usuario se diseñó una placa en la versión de evaluación EAGLE 7.4.0 figura 10, la cual cuenta con tres pulsadores, dos de ellos permitirán configurar las funciones de aumentar y disminuir la distancia en metros del tramo vial donde se encontrará el dispositivo, y el tercer pulsador, usado como paro de emergencia, se encargará de pausar la función del prototipo dejándolo en señal de PARE; al ser una PCB independiente tiene la facilidad de vincularse a cualquiera de las dos placas mencionadas anteriormente; cabe resaltar que el tercer pulsador debe estar acoplada al PCB que posee la programación maestro.

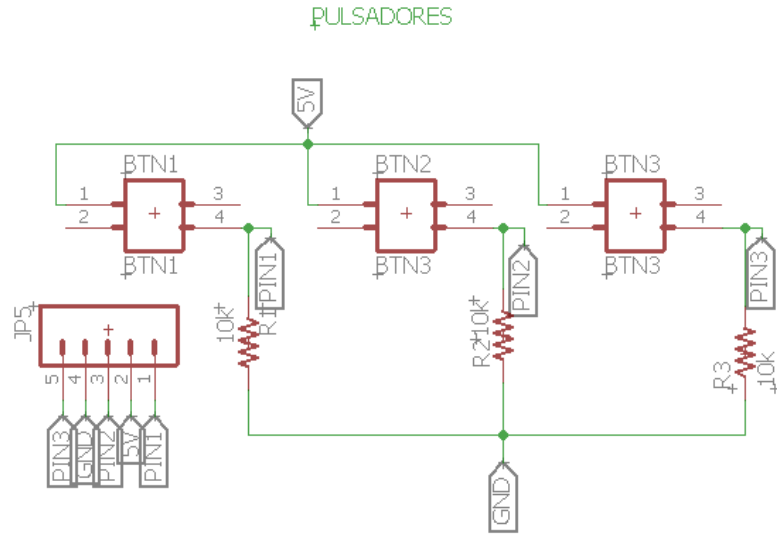


Figura 10 Esquemático PCB pulsadores (elaboración propia)

En la figura 11 se muestra el diseño final de la PCB elaborado en la versión de evaluación EAGLE 7.4.0 [49], para ello, se requiere la fabricación de dos placas, cualquiera de ellas se encargará de la programación del maestro o esclavo. Cuyo complemento también se ilustra en la figura 10.

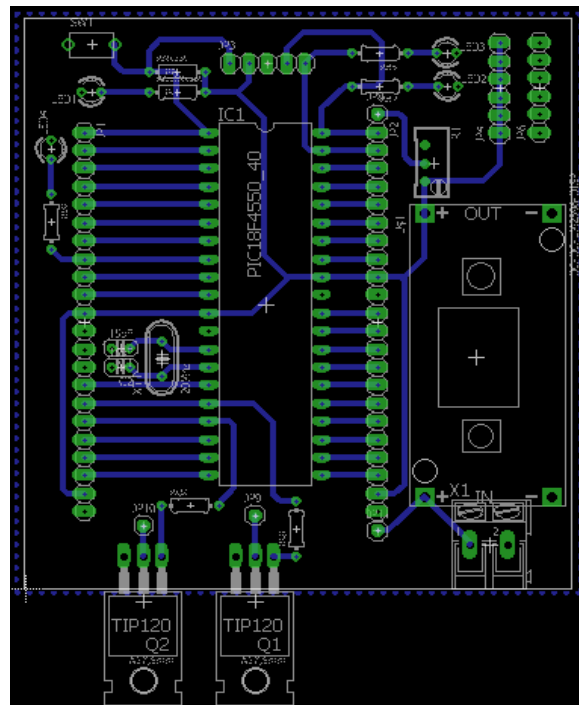


Figura 11 Ruteo PCB (elaboración propia)

En la figura 12 se muestra el diseño final de la PCB de pulsadores, la cual se integrará a la placa seleccionada como maestro.

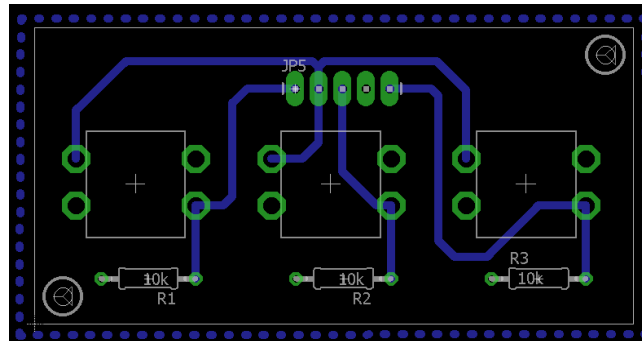


Figura 12 Ruteo PCB pulsadores (elaboración propia).

5.4 Diseño Firmware

En este apartado se presenta, de forma general, el diseño del firmware para cada dispositivo, el cual se realizará mediante pseudocódigos. A continuación, se presenta el correspondiente a la programación del maestro.

5.4.1 Programación del Maestro

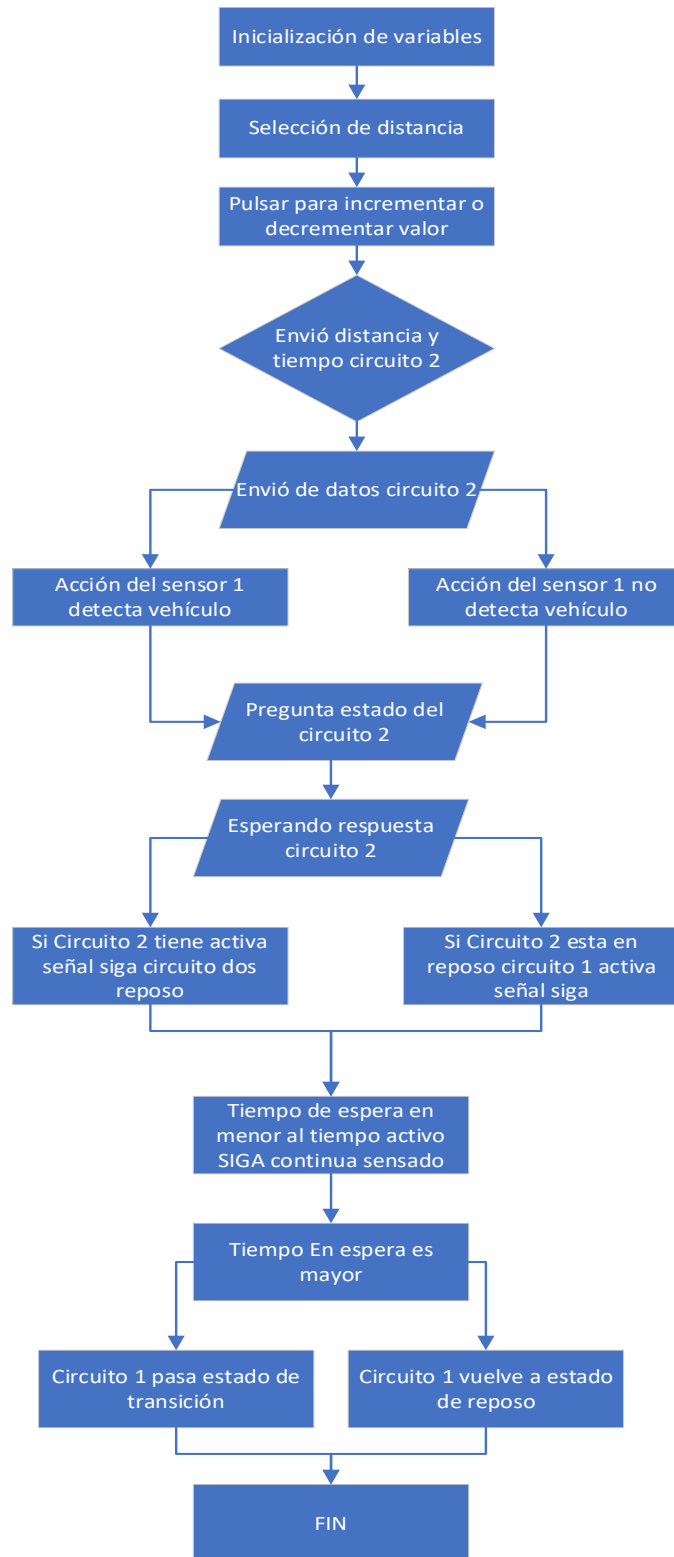
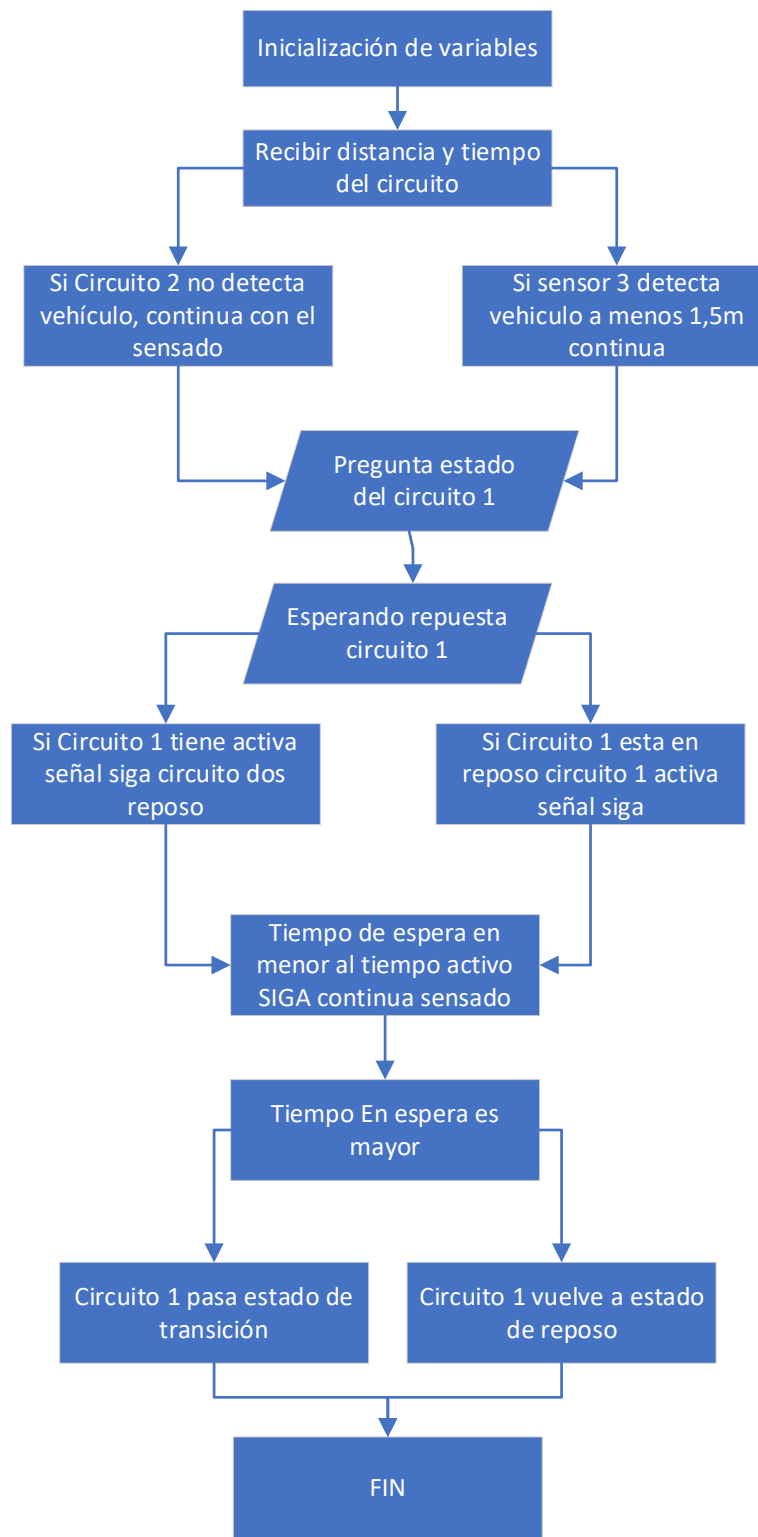


Figura 13. Diagrama de flujo (elaboración propia)

5.4.2 Programación del Esclavo



6 Figura 14. Diagrama de flujo (elaboración propia)

5.5 Diseño industrial

Mediante el desarrollo del presente proyecto se busca la generación de un dispositivo que pueda ser evaluado en condiciones reales de operación. Según lo anterior, se precisará el diseño de elementos mecánicos anexos, que contendrán, a su vez, los electrónicos para un correcto funcionamiento en campo.

Como respuesta a este requerimiento se realizó un diseño industrial, que comprende algunos de los elementos seleccionados: sensores JSN-SR04, GY-US42, VL53L0XV2, LM393, hwm03, estructura, tira led RGB, base para tiras led y estructura para sensores. Dichos compendios fueron desarrollados con la ayuda del software CAD Solid Edge [50], este software permite diseñar estructuras de forma independiente y posteriormente ensambladas mediante la herramienta conjunto, que permite observar el resultado final del prototipo diseñado en 3D, ver Imagen 20.

5.5.1 Pieza 1. En la figura 15 se muestra el diseño 3D realizado de la tira led RGB, este diseño cuenta con las medidas exactas tomadas de la hoja técnica.

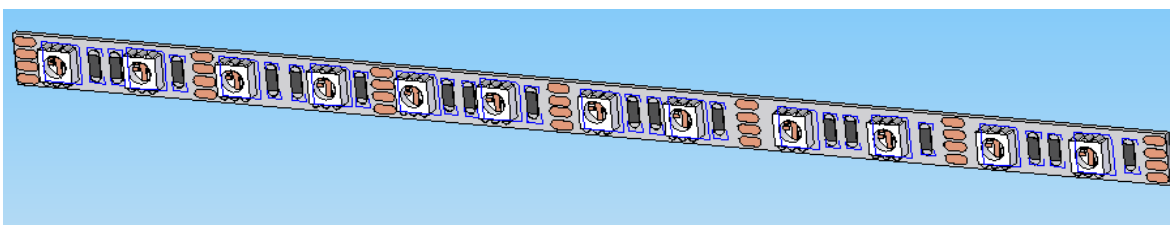


Figura 15 Diseño 3D Tira led RGB (elaboración propia)

5.5.2 Pieza 2. En las siguientes figuras se muestra el diseño de la estructura en la cual se integrarán las piezas y componentes que son necesarios para el funcionamiento del prototipo tales como batería, circuito y regulador de voltaje.

La estructura cuenta con dimensiones de 30cm de ancho (X), 20cm de alto (Z) y 20cm de fondo (Y), los agujeros que se observan se realizaron para posicionar los pulsadores y el espacio rectangular interno contendrá la pantalla LCD. Las medidas

mencionadas anteriormente se definieron teniendo en cuenta la normatividad que muestra el manual de señalización vial [10]. En la Imagen 16 se observa la parte frontal de la estructura y en la figura 17 el costado y la parte trasera.

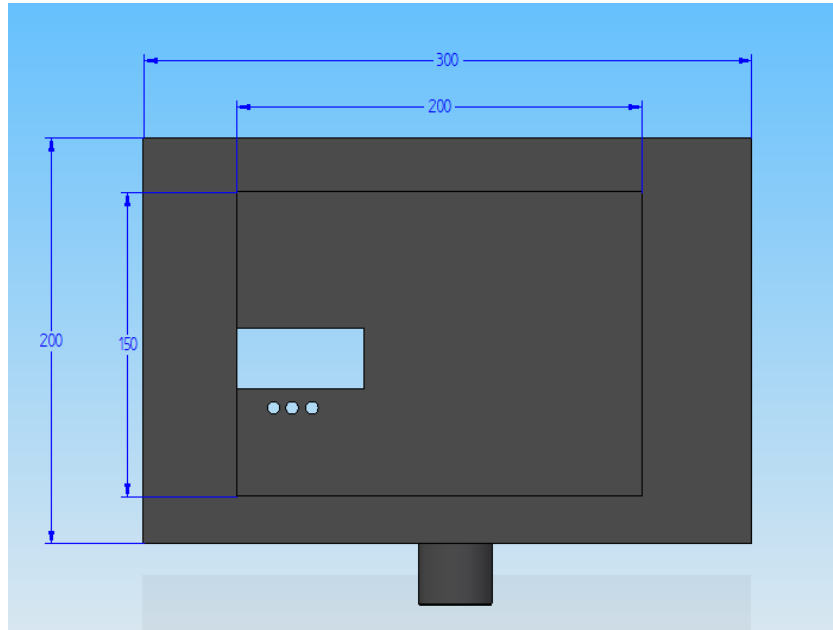


Figura 16 Estructura 3D vista frontal (elaboración propia)

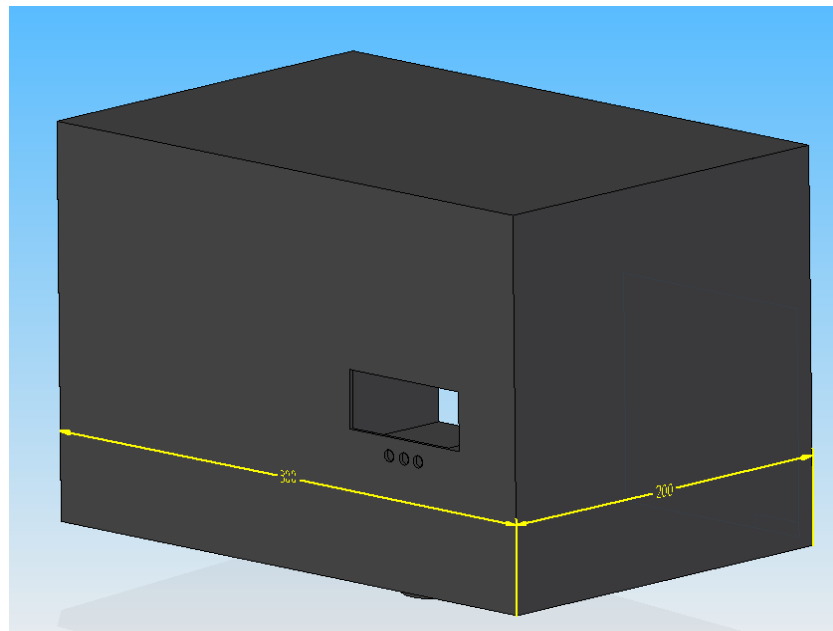


Figura 17 Estructura 3D vista trasera (elaboración propia)

5.5.3 Pieza 3. En la figura 18 se muestra la placa, la base y las tiras led RGB adheridas. Las dimensiones de esta base tuvieron en cuenta el manual de señalización vial que establece el tamaño de las luces para un semáforo [10], este específica que las medidas deben ser de 20cm de alto, 30cm de ancho. Teniendo en cuenta lo anterior, cada tira led será de 21cm con 12 leds.

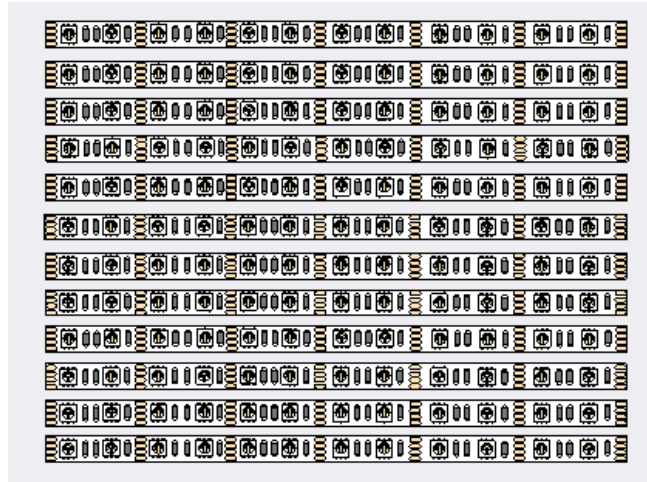


Figura 18 Placa base para tiras led (elaboración propia)

5.5.4 Pieza 4. En la figura 19 se muestra la estructura en la cual va posicionado el sensor JSN-SR04.

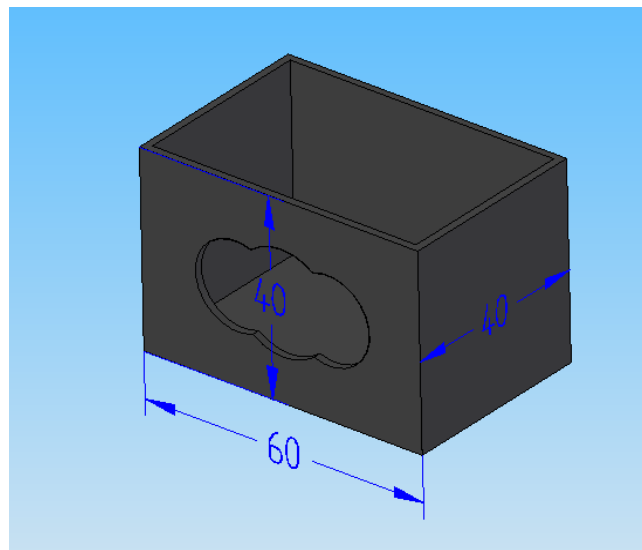


Figura 19 Estructura 3D para sensor JSN-SR04 (elaboración propia)

5.5.5 Esquema completo. En la figura 20 se aprecia la estructura del prototipo, que considera el conjunto de todas las piezas creadas, dando una vista general en 3D, respecto de la vista frontal del diseño y desde un costado.

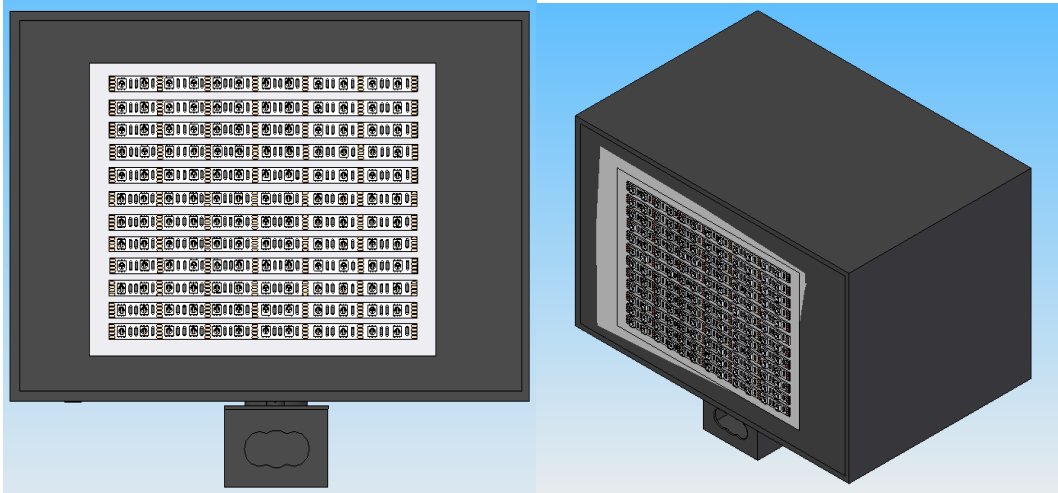


Figura 20 Integración de piezas 3D, prototipo completo (elaboración propia)

6. DESARROLLO

En este capítulo se presentan el detalle de la fabricación y ensamble de hardware, la integración del firmware y hardware, y los resultados de las pruebas obtenidas en la implementación del sistema electrónico en laboratorio.

6.1 Fabricación y ensamble hardware

La fabricación de los PCB'S se llevó a cabo mediante una maquina ruteadora CNC. En la figura 21 se puede apreciar el proceso de ruteo que realiza la maquina desde el programa candle 1.1.7.

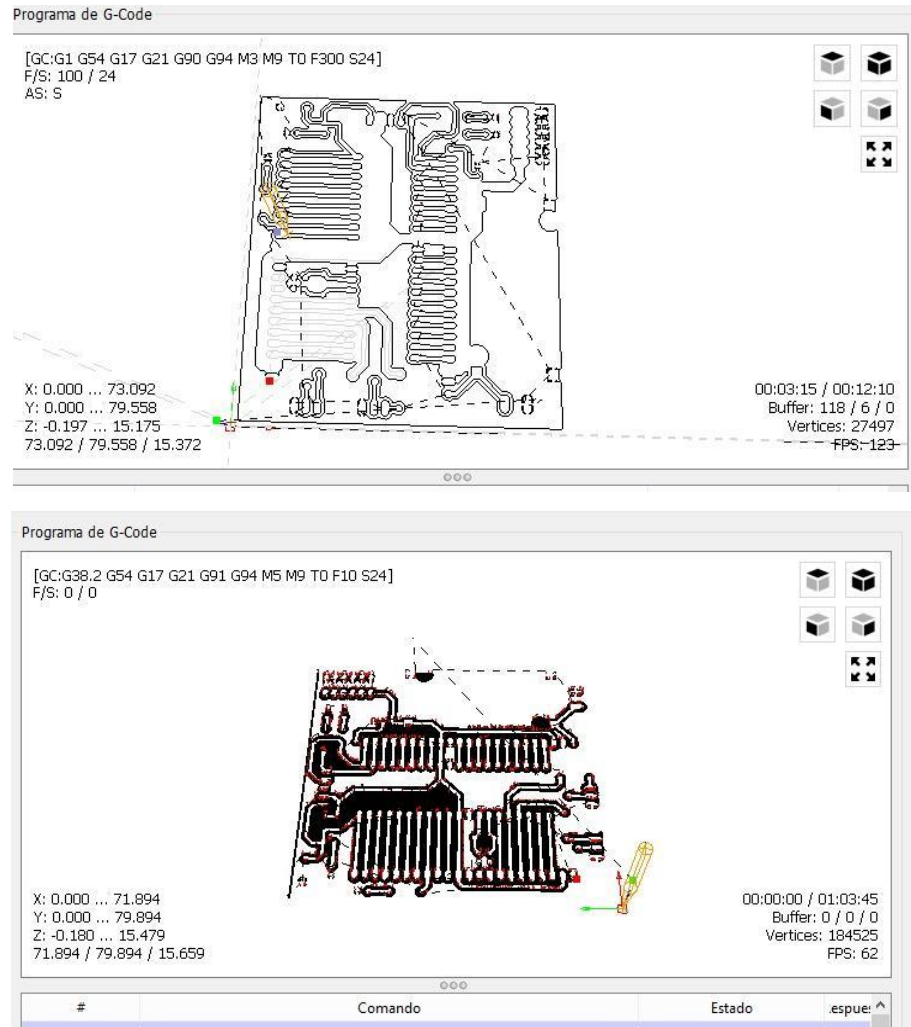
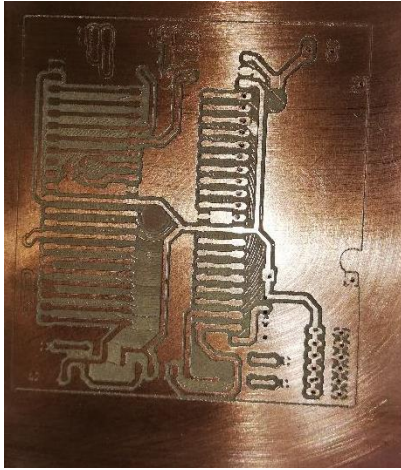


Figura 21 Ruteo programa maquina CNC (elaboración propia)

En la figura 22: Apartado A) se puede observar el resultado del ruteo en maquina CNC y en el Apartado B) se visualiza la placa con los componentes soldados.

Apartado A)



Apartado B)

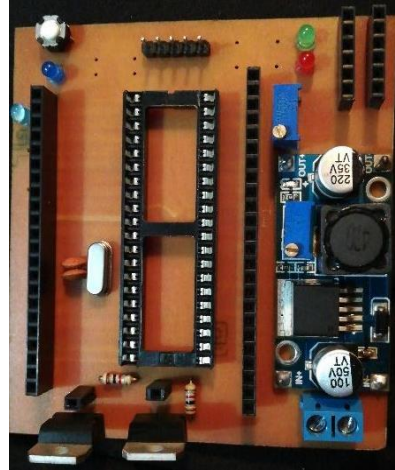


Figura 22 Baquela ruteada y componentes soldados (elaboración propia)

En la figura 23 se muestra, por medio de LED's, que la placa se encuentra encendida. Esta placa tiene conectado un sensor JSN-SR04, para realizar pruebas de compatibilidad y verificar su correcto funcionamiento.

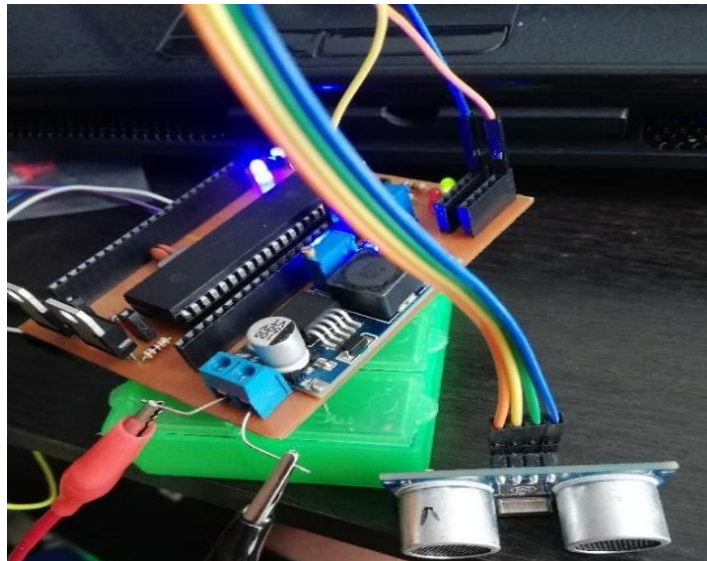


Figura 23 Prueba de funcionamiento PCB (elaboración propia)

En la figura 24 se indica la PCB diseñada para los pulsadores con el ruteo realizado por la maquina CNC finalizado.

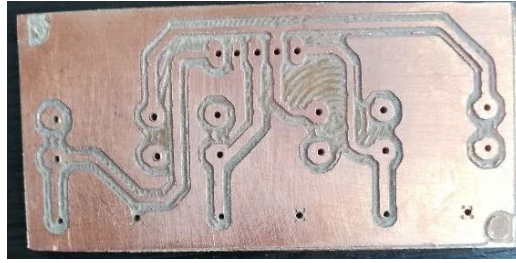


Figura 24 PCB ruteada (elaboración propia)

6.2 Resultados de las pruebas obtenidas en la implementación

Una vez terminados los PCB'S del maestro, esclavo y placa para pulsadores, se realizaron las pruebas de funcionamiento relacionadas con la verificación de alimentación, comunicación placa-PIC-PC, activación de LED's, integración de sensor JSN-SR04, determinado satisfacción en su uso.

En la figura 25 se puede observar la prueba final que integra todos los dispositivos que conforman el prototipo, además de la cuadrícula en la que se integraran las 12 tiras led RGB, teniendo en cuenta las dimensiones mencionadas en el apartado 5.13 diseño industrial - pieza 4; con la finalidad de evaluar las tareas programadas y la intensidad lumínica del conjunto de tiras que forman la señal de PARE-SIGA.

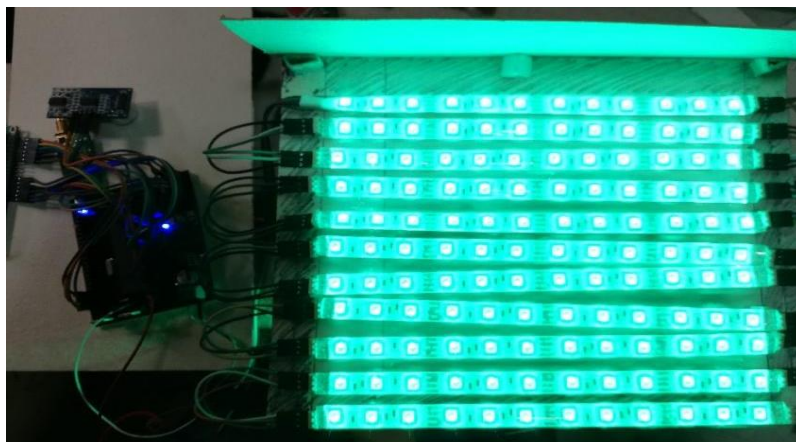


Figura 25 Prueba Final integrando tiras led RGB (elaboración propia)

Una vez integrados todos los elementos, se procedió a ensamblar el prototipo en la estructura construida con lamina acrílica, teniendo en cuenta las medidas dadas en el diseño 3D. En la figura 25 se puede apreciar el resultado final del montaje con la estructura.



Figura 26 Estructura Final (elaboración propia)

Para darle estabilidad a la estructura se eligió un trípode, que soporta el peso de los módulos y el panel fotovoltaico. También acompañó de una base metálica con ángulo de 10° , con la cual el panel queda posicionado dentro de la estructura, tal como se presenta en la figura 26.



Figura 27 Trípode y estructura para panel solar (elaboración propia)

El ensamblaje de todas las partes que componen el prototipo, se muestra en la Imagen 28.



Figura 28 Estructura prototipo finalizado (elaboración propia)

6.3 Integración de Firmware y Hardware

Con los componentes físicos del prototipo ensamblados, se procedió a integrar el programa para comprobar la interacción del firmware con el hardware.

En la figura 29 se muestra el prototipo completo y la activación de las tiras led RGB simulando la señal de pare y sigua, en la Imagen 30 se indica el funcionamiento de la parte interior de la estructura en la cual van integrados el regulador solar, batería y PCB'S y la activación de la LCD con su respectiva información.



Figura 29 Activación de señales PARE-SIGA (elaboración propia)



Figura 30 Activación del prototipo completo (elaboración propia)

6.4 Funcionamiento del prototipo

El funcionamiento del prototipo consta en identificar primera mente la cantidad de metros en los cuales se está o se va a realizar una obra civil, posterior a ello se procede desde el dispositivo que tiene el mando a ajustar la distancia en la que se va a trabajar. Una vez se

realicen los ajustes se da inicio y el prototipo maestro inicia y pregunta durante 5 segundos si hay detección, de no registrar nada pasa a preguntar al otro costado si hay detección durante el mismo tiempo. Al momento de detectar presencia se da la señal de siga durante 3 minutos, finalizado este tiempo pasa a rojo y espera X segundos para que el ultimo carro pase el tramo habilitado. Finalizado esta tarea inicia preguntando el prototipo esclavo que se encuentra al otro costado si hay o no presencia y así mantendrá la secuencia de funcionamiento en ese orden. Dado el caso de que los dos dispositivos no detecten, ambos quedan en rojo y mantienen ese orden de preguntas hasta encontrar presencia.

El cálculo de tiempo de transición, es el tiempo en el que un automotor se demora en recorrer cierto tramo habilitado, se calcula teniendo en cuenta la señal ISO 30 (30km/h) del manual de señalización vial [8]. Teniendo en cuenta que esta señal es la que indica la velocidad máxima al momento de transitar en estos trayectos intervenidos.

Y= distancia a intervenir (distancia variable).

X= cuanto se demora un automotor en recorrer Y distancia.

$$\frac{30km/h}{X} \rightarrow \frac{1h}{Y} \quad 1)$$

- a) Ejemplo Y= 100 metros. Aplicamos la regla de tres simple inversas para obtener el tiempo de transición.

$$\frac{30km/h}{X} \rightarrow \frac{60 minutos}{100 m} \quad 2)$$

$$X = 18 segundos \quad 3)$$

6.5 Resultados de las pruebas obtenidas en la implementación

Integrados los componentes y estructura se probó el funcionamiento en el laboratorio encontrando un funcionamiento integral de los componentes.

7 EVALUACIÓN

Una vez se comprobó el funcionamiento del prototipo en laboratorio, se hace necesario realizar la evaluación en campo, para ello se desarrolló un plan de pruebas con el cual se verificó el desempeño del prototipo mediante las siguientes actividades indicadas en la Tabla 10.

Tabla 10 Actividades de evaluación.

ID- Actividad	Actividades	Descripción
A-01	Prueba del sistema fotovoltaico	Realizar pruebas de carga de batería y alimentación de los dispositivos por medio del sistema fotovoltaico
A-02	Definición de la distancia para las pruebas.	Realizar pruebas de comunicación a diferentes distancias
A-03	Pruebas controladas y de campo	Realizar prueba de detección de vehículos en un ambiente controlado y en campo con la respectiva señalización vial.

7.1 Prueba del sistema fotovoltaico

Definidos los componentes que conforman el sistema fotovoltaico, se realizó la conexión de los mismos conforme al manual del controlador tal como lo indica la Imagen 31 [33].

Con relación a la verificación del funcionamiento de los componentes se realizó mediante los indicadores LED del controlador de carga solar:

- ✓ LED verde: informa cuando el panel está recibiendo radiación solar.
- ✓ LED's naranjas: informa el estado de carga de la batería.
- ✓ LED rojo: informa cuando el sistema presenta un fallo de conexión.

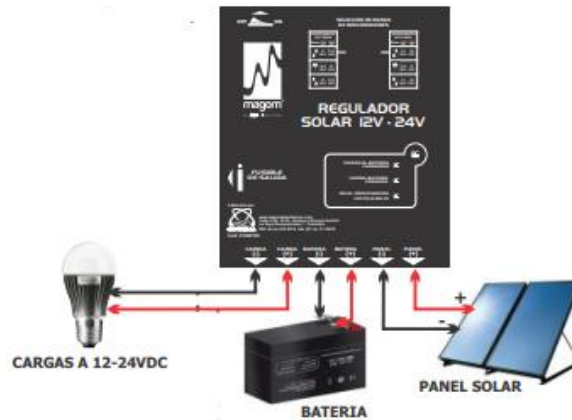
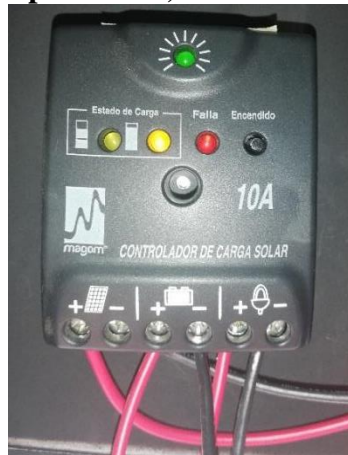


Figura 31 diagrama de conexión

En la figura 32 Apartado A) se exhiben los indicadores LED mencionados anteriormente, en el Apartado B) se muestra los indicadores de radiación solar y de carga máxima, adicional a ello la batería de 12V.

Apartado A)



Apartado B)



Figura 32 Controlador de carga solar (elaboración propia)

En la figura 33 se observa el sistema solar conectado al prototipo donde se está cargando la batería para alimentar el circuito.



Figura 33. Funcionamiento del sistema solar en campo.

7.2 Pruebas del prototipo a distancias fijas

Una vez verificado el funcionamiento del sistema fotovoltaico junto al sistema de señalización, se procedió a realizar la evaluación del prototipo mediante pruebas de distancia que rondaron entre los 100m hasta los 400m. Los datos tomados en los ensayos se registraron en las Tablas 11 a 14 mostradas más adelante.

Los datos registrados en las tablas ya mencionadas corresponden a las variables de temperatura y ruido ambiente, estos datos se tomaron mediante aplicativos móviles. Los datos de la variable luz ambiente fue tomada con un luxómetro en el horario de 7:00am a 8:00pm.

En las tablas 11 a 14 se evidencian los datos correspondientes a luz ambiente, luz artificial led, luz artificial halógena. Con estos resultados se tiene en cuenta la cantidad de luz que irradia al sensor ya que este es un factor que puede afectar los dispositivos y que finalmente el prototipo no logre detectar automotores. Otros variables a tener en cuenta durante el funcionamiento de los sensores son el ruido y la temperatura ya que el prototipo está expuesto a un ambiente de trabajo y se podrían ver afectados.

N/A: No Aplica (no se tiene en cuenta los lumens obtenidos a través de una luz artificial a ciertas horas del día para realizar las pruebas de campo, ya que la luz se utiliza normalmente después de las 5:30 Pm o 6:00 Pm).

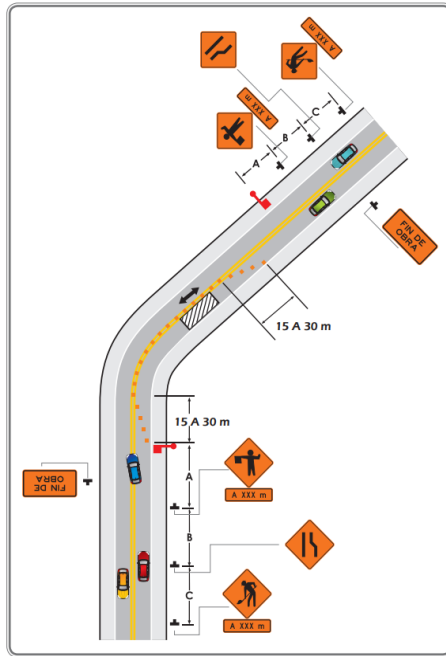
Activación y secuencia: hace referencia cuando el sensor detecta y se ejecuta las funciones programadas en el prototipo.

Cumple - No cumple: en las tablas de pruebas hace referencia al número de veces en las cuales el prototipo realizó la detección, funcionamiento y permitió el recorrido de los automotores.

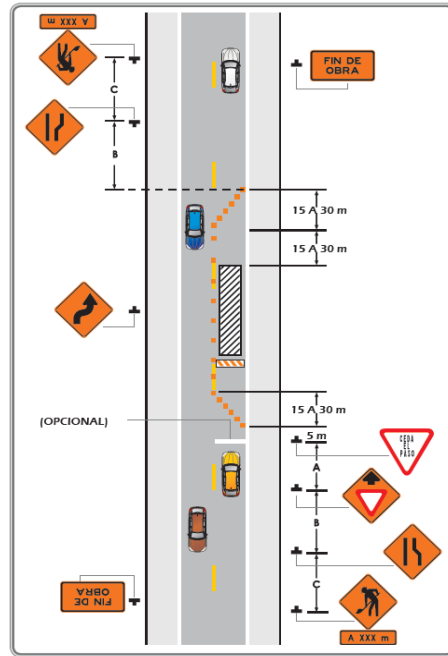
En la columna nueve de las tablas 11 a 14 (activación) hace referencia a las pruebas en las que el prototipo realizó la detección, activando la señal lumínica y permitiendo realizar el recorrido en el tramo vial evidenciando esta actividad con la palabra (SI). Cuando no se realiza ninguna función de activación del prototipo se usa la palabra (NO), validando así el funcionamiento del dispositivo en cada prueba tomada.

Teniendo en cuenta el manual de señalización vial del 2015 en el cual presenta los métodos de señalización utilizada para el cierre de una vía de dos carriles [10], como señalización se utilizaron conos viales en las pruebas de campo controladas. Cada prototipo se colocó en ambos extremos del tramo vial bidireccional, simulando así el cierre y la intervención como se muestra en la figura 34 apartado A), apartado B) y apartado C).

Apartado A)



Aparado B)



Aparado C)

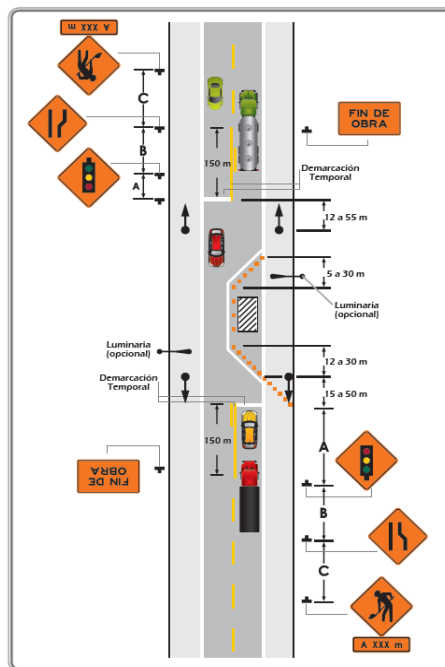


Figura 34. Cierre de un carril vía bidireccional

7.3 Fase de prueba en ambiente controlado

7.3.1 Fase 1 prueba con sensor de radar hw-ms03

- I. Las pruebas se realizaron con dos motocicletas ubicadas a dos metros de cada costado. Se posicionaron ante el dispositivo No. 1 y No. 2.
- II. El inicio de las pruebas se dio con el acercamiento de la motocicleta al prototipo No. 1, el cual cuenta con la señal de PARE (luz roja), para que las detecte y se active la señal de SIGA (luz verde), esta última estará activa durante un tiempo del trayecto previamente calculado entre las dos señalizaciones; una vez finalizado el trayecto.
- III. Finalizada la primera prueba, se realizó una segunda con las mismas condiciones mencionadas anteriormente, pero iniciando con la activación del dispositivo No. 2.
- IV. Teniendo en cuenta la probabilidad de que se detecte al mismo tiempo los vehículos en cada extremo, la programación cuenta con una función la cual al momento de detectar al mismo tiempo este activa dicha función y da prioridad en el dispositivo maestro para dar inicio a la secuencia de pare - siga.

Apartado A)



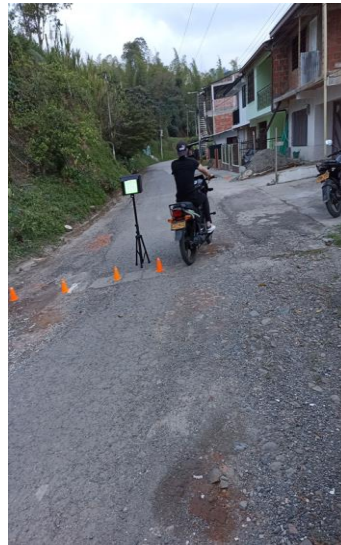
Aparado B)



Apartado A)



Aparado B)



Apartado C)



Figura 35. Detección de automotores sensor hw-ms03. 1.07 metros (elaboración propia)

En la figura 35 de los apartados A) y B) se puede apreciar un registro fotográfico en la cual se evidencia el momento de las pruebas con el sensor de radar hw-ms03 en un ambiente controlado y supervisado por los integrantes del proyecto. En el apartado C) se puede visualizar la distancia detectada la cual es 1070mm equivalente a 1,070m, en la tabla 11 se presenta los datos obtenidos en cada una de las pruebas realizadas a 100m referente al sensor hw-ms03 en la cual se obtuvo un porcentaje de activación del 60% de funcionamiento, este porcentaje se puede evidenciar en el segundo recuadro seguido de la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 11 Datos de prueba en 100m con sensor de radar hw-ms03

Prueba	Hora	Descripción	Temperatura C°	Luz Ambiente (lm)	Luz Artificial LED (lm)	Luz Artificial Halógena(lm)	Ruido (db)	Activación
P-01	7:00am	Activación y secuencia	18 C°	9100	N/A	N/A	54	SI
P-02	8:00am	Activación y secuencia	18 C°	10300	N/A	N/A	58	SI
P-03	9:00am	Activación y secuencia	18 C°	11500	N/A	N/A	56	SI
P-04	10:00am	Activación y secuencia	18 C°	13200	N/A	N/A	58	NO
P-05	11:00am	Activación y secuencia	18 C°	16700	N/A	N/A	60	NO

P-06	12:00pm	Activación y secuencia	21 C°	18500	N/A	N/A	65	NO
P-07	1:00pm	Activación y secuencia	21 C°	69800	N/A	N/A	65	SI
P-08	2:00pm	Activación y secuencia	21 C°	66300	N/A	N/A	55	N0
P-09	3:00pm	Activación y secuencia	21 C°	65700	N/A	N/A	64	SI
P-10	4:00pm	Activación y secuencia	21 C°	64400	N/A	N/A	65	SI
P-11	4:30pm	Activación y secuencia	21 C°	44700	6750	4750	58	N0
P-12	5:00pm	Activación y secuencia	21 C°	41400	5610	3280	55	N0
P-13	6:00pm	Activación y secuencia	16 C°	17900	3470	2100	57	SI
P-14	7:00pm	Activación y secuencia	16 C°	1	2292	2100	54	SI
P-15	8:00pm	Activación y secuencia	16 C°	1	2320	2100	54	SI

A continuación, en el primer recuadro se evidencia el número veces que cumplió con la activación y secuencia el prototipo, estos datos se obtienen de la columna nueve (activación) de la tabla 11. El segundo recuadro hace referencia al porcentaje de activación y efectividad al efectuar las pruebas con el sensor hw-ms03.

Cumple	9
No cumple	6

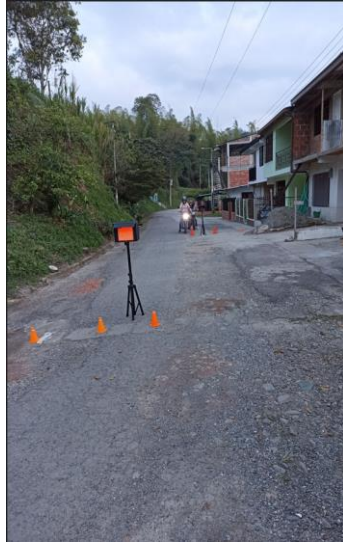
porcentaje de activación y secuencia	60%
---	-----

7.3.2 Fase 2 prueba con sensor laser VL53L0

- I. Como se puede apreciar en la figura 33 aparatados A) y B), se realizan pruebas con el sensor VL53L0 con dos motocicletas las cuales se encuentran posicionadas en un extremo del prototipo logrando así detectar más de un vehículo, logrando así posicionarse en el otro extremo realizando nuevamente la detección y recorrido.

II. La prueba se realizó con dos motociclistas ante el dispositivo No. 1, una vez finalizado el trayecto se posicionan las motos ante el dispositivo No. 2 para realizar nuevamente el recorrido.

Apartado A)



Aparado B)



Apartado A)



Aparado B)



Apartado C



Figura 36 Prueba a 100 metros sensor VL53L0 (elaboración propia)

La figura 36 apartados A), B) y C) se puede apreciar un registro fotográfico en la cual se evidencia el momento de realizar las pruebas con una distancia de 100m y la distancia detectada con el sensor VL53L0 en un ambiente controlado y supervisado por los integrantes del proyecto, en la tabla 12 se presenta los datos obtenidos de cada prueba obteniendo así un 47% en la activación y funcionamiento del prototipo con este sensor.

Tabla 12 Datos de prueba en 100m con sensor laser VL53L0X

Prueba	Hora	Descripción	Temperatura C°	Luz Ambiente (lm)	Luz Artificial LED (lm)	Luz Artificial Halógena(lm)	Ruido (db)	Activación
P-01	7:00am	Activación y secuencia	18 C°	8900	N/A	N/A	54	SI
P-02	8:00am	Activación y secuencia	18 C°	9580	N/A	N/A	58	NO
P-03	9:00am	Activación y secuencia	18 C°	11100	N/A	N/A	56	NO
P-04	10:00am	Activación y secuencia	18 C°	12630	N/A	N/A	58	SI
P-05	11:00am	Activación y secuencia	18 C°	17700	N/A	N/A	60	NO

P-06	12:00pm	Activación y secuencia	21 C°	18100	N/A	N/A	65	NO
P-07	1:00pm	Activación y secuencia	21 C°	63000	N/A	N/A	65	SI
P-08	2:00pm	Activación y secuencia	21 C°	66400	N/A	N/A	55	NO
P-09	3:00pm	Activación y secuencia	21 C°	67200	N/A	N/A	64	SI
P-10	4:00pm	Activación y secuencia	21 C°	63200	N/A	N/A	65	NO
P-11	4:30pm	Activación y secuencia	21 C°	39500	6750	4750	58	NO
P-12	5:00pm	Activación y secuencia	21 C°	38700	5610	3280	55	NO
P-13	6:00pm	Activación y secuencia	16 C°	17900	3470	2100	57	SI
P-14	7:00pm	Activación y secuencia	16 C°	1	2290	2100	54	SI
P-15	8:00pm	Activación y secuencia	16 C°	1	2320	2010	54	SI

A continuación, en el primer recuadro se evidencia el número veces que cumplió con la activación y secuencia el prototipo, estos datos se obtienen de la columna nueve (activación) de la tabla 12. El segundo recuadro hace referencia al porcentaje de activación y efectividad al efectuar las pruebas con el sensor VL53L0.

Cumple	7
No cumple	8

Porcentaje de activación y secuencia	47%
---	------------

7.3.3 Fase 3 prueba con sensor de radar LM393

- I. Las pruebas se realizaron con cuatro motocicletas ubicadas a dos metros de cada unidad. Tres de ellas se posicionaron ante el dispositivo No. 1 y la cuarta en el No. 2, logrando que el prototipo este en continua detección en cada extremo y así se realice el recorrido programado para cada dispositivo.

- II. El inicio de la prueba se dio con el acercamiento de las tres motocicletas al prototipo No. 1, el cual cuenta con la señal de PARE (luz roja), para que las detecte y se active la señal de SIGA (luz verde), esta última estará activa durante un tiempo de trayecto previamente calculado entre las dos señalizaciones; una vez finalizado el trayecto recorrido por las tres motos, el cuarto motociclista se acerca al segundo mecanismo para que este inicie con su secuencia.

- III. Finalizada la primera prueba, se realizó una segunda con las mismas condiciones mencionadas anteriormente, pero iniciando con la activación del dispositivo No. 2.

En la figura 37 apartado A), apartado B) y apartado C) se puede apreciar un registro fotográfico que evidencia el momento de la realización de las pruebas en un ambiente controlado y supervisado por los integrantes del proyecto.

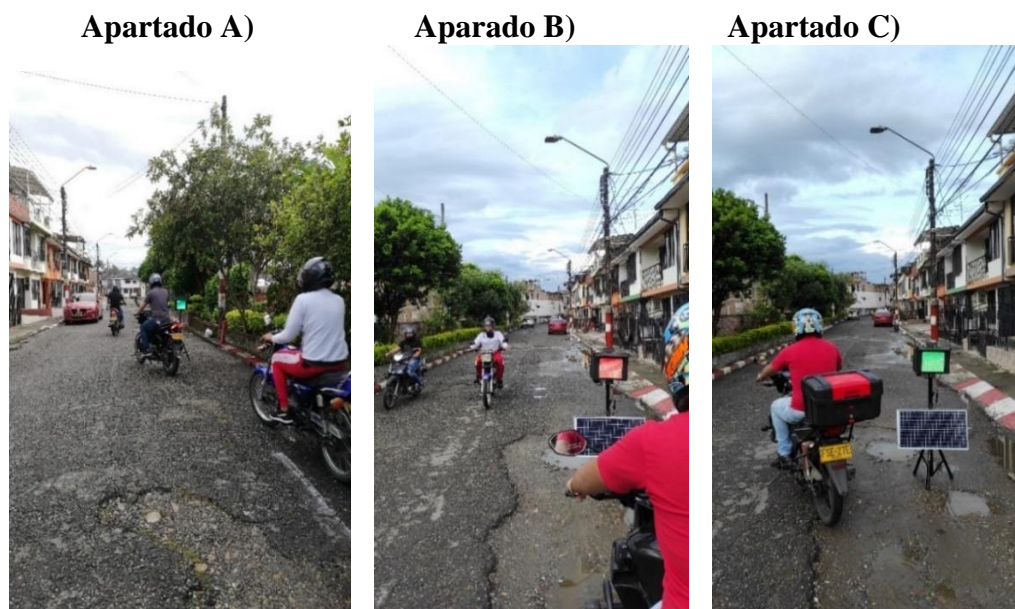


Figura 37 Prueba a 100 metros (elaboración propia)

En la figura 38 apartado A), apartado B) se puede apreciar un registro fotográfico de una actividad realizada en un ambiente controlado, en esta se evidencia el momento en el que el

prototipo detecta el primer vehículo, en la lcd se aprecia la distancia a la que detecto la cual corresponde a 1045mm equivalente a 1,045m.

Apartado A



Apartado B



Figura 38 detección de automotores 1.04 metros sensor LM393 (elaboración propia)

En la Tabla 13 se aprecian datos tomados al momento de realizadas las pruebas en un ambiente controlado, como también dando a conocer imágenes como soporte de los datos teóricos. Seguidamente se puede evidenciar que el porcentaje de activación correspondiente al 33%.

Tabla 13 Datos de prueba en 100m con sensor infrarrojo LM393

Prueba	Hora	Descripción	Temperatura C°	Luz Ambiente (lm)	Luz Artificial LED (lm)	Luz Artificial Halógena(lm)	Ruido (db)	Activación
P-01	7:00am	Activación y secuencia	18 C°	8500	N/A	N/A	58	SI
P-02	8:00am	Activación y secuencia	18 C°	9600	N/A	N/A	60	NO
P-03	9:00am	Activación y secuencia	18 C°	10900	N/A	N/A	56	NO
P-04	10:00am	Activación y secuencia	18 C°	12200	N/A	N/A	58	NO
P-05	11:00am	Activación y secuencia	18 C°	16500	N/A	N/A	60	SI
P-06	12:00pm	Activación y secuencia	21 C°	17030	N/A	N/A	57	NO

P-07	1:00pm	Activación y secuencia	21 C°	72400	N/A	N/A	65	SI
P-08	2:00pm	Activación y secuencia	21 C°	69500	N/A	N/A	53	NO
P-09	3:00pm	Activación y secuencia	21 C°	68900	N/A	N/A	64	SI
P-10	4:00pm	Activación y secuencia	21 C°	69100	N/A	N/A	60	NO
P-11	4:30pm	Activación y secuencia	21 C°	39500	6750	4750	58	NO
P-12	5:00pm	Activación y secuencia	21 C°	36200	5610	3280	59	NO
P-13	6:00pm	Activación y secuencia	16 C°	15300	3470	2100	60	NO
P-14	7:00pm	Activación y secuencia	16 C°	1	2292	2100	55	NO
P-15	8:00pm	Activación y secuencia	16 C°	1	2320	2100	54	SI

A continuación, en el primer recuadro se evidencia el número veces que cumplió con la activación y secuencia el prototipo, estos datos se obtienen de la columna nueve (activación) de la tabla 13. El segundo recuadro hace referencia al porcentaje de activación y efectividad al efectuar las pruebas con el sensor LM393.

Cumple	5
No cumple	10

Porcentaje de activación y secuencia	33%
---	-----

7.3.4 Fase 4 prueba con sensor de ultrasónico JSN-SR04.

- IV. Las pruebas se realizaron con cuatro motocicletas ubicadas a dos metros de cada unidad. Tres de ellas se posicionaron ante el dispositivo No. 1 y la cuarta en el No. 2, tal como se muestra en las imágenes 38.
- V. El inicio de la prueba se dio con el acercamiento de las tres motocicletas al prototipo No. 1, el cual cuenta con la señal de PARE (luz roja), para que las detecte y se active la señal de SIGA (luz verde), Cabe destacar que en la

prueba No. 2 el prototipo detecta un automóvil no perteneciente a los vehículos utilizados en la prueba, este se movilizó detrás de las tres motociclistas, cuando el prototipo dio su señal de SIGA.

- VI. Finalizada la primera prueba, se realizó una segunda con las mismas condiciones mencionadas anteriormente, pero iniciando con la activación del dispositivo No. 2, terminadas las pruebas del prototipo a una distancia de 100m se procedió a aumentar la distancia a 200m ya que el flujo vehicular externo y peatonal disminuyó. Aclarando que la diferencia de distancia de trabajo no interfiere en el funcionamiento de los dispositivos de detección.

En la figura 38 apartado A), apartado B) y apartado C) se puede apreciar un registro fotográfico que da como resultados los expuestos en la Tabla 14, indicada más adelante.

Apartado A)



Apartado B)



Apartado C)



Figura 39 Prueba a 100 y 200 metros (motos pertenecientes a la prueba y vehículo color blanco no perteneciente a la prueba) (elaboración propia).

En la Tabla 14 se puede evidenciar los datos de las pruebas realizadas, estas se efectuaron como se menciona anteriormente con distancias entre los 100 y 200 metros, en el segundo recuadro después de la tabla se puede evidenciar que el porcentaje de activación y funcionamiento en la secuencia de este sensor el cual es solo del 93%.

Tabla 14 Datos de prueba a 100 y 200m con sensor ultrasónico JSN-SR04

Prueba	Hora	Descripción	Temperatura C°	Luz Ambiente (lm)	Luz Artificial LED (lm)	Luz Artificial Halógena(lm)	Ruido (db)	Activación
P-01	7:00am	Activación y secuencia	21 C°	9620	N/A	N/A	64	NO
P-02	8:00am	Activación y secuencia	21 C°	10020	N/A	N/A	56	SI
P-03	9:00am	Activación y secuencia	21 C°	11300	N/A	N/A	50	SI
P-04	10:00am	Activación y secuencia	21 C°	12560	N/A	N/A	61	SI
P-05	11:00am	Activación y secuencia	21 C°	17830	N/A	N/A	64	SI
P-06	12:00pm	Activación y secuencia	20 C°	17830	N/A	N/A	64	SI
P-07	1:00pm	Activación y secuencia	20 C°	71200	N/A	N/A	49	SI
P-08	2:00pm	Activación y secuencia	20 C°	68700	N/A	N/A	58	SI
P-09	3:00pm	Activación y secuencia	20 C°	68700	N/A	N/A	61	SI
P-10	4:00pm	Activación y secuencia	20 C°	68700	N/A	N/A	64	SI
P-11	4:30pm	Activación y secuencia	20 C°	40000	6750	4750	57	SI
P-12	5:00pm	Activación y secuencia	20 C°	40000	55610	3280	53	SI
P-13	6:00pm	Activación y secuencia	19 C°	18300	3470	2100	49	SI
P-14	7:00pm	Activación y secuencia	19 C°	1	2320	1300	49	SI
P-15	8:00pm	Activación y secuencia	19 C°	1	2320	1300	49	SI

A continuación, en el primer recuadro se evidencia el número veces que cumplió con la activación y secuencia el prototipo, estos datos se obtienen de la columna nueve (activación) de la tabla 14. El segundo recuadro hace referencia al porcentaje de activación y efectividad al efectuar las pruebas con el sensor JSN-SR04 el cual es de 93%.

Cumple	15
No cumple	0

Porcentaje de activación y secuencia	93%
---	------------

- Fase de prueba en campo realizada con el acompañamiento y supervisión por parte de interventoría.

Para realizar la prueba de campo autorizada por el Instituto Nacional de Invias (INVIAS), se determinó por medio de las pruebas realizadas en un ambiente controlado y con diferentes dispositivos de detección, que el sensor adecuado es el JSN-SR04 ya que tuvo un 100% de efectividad en su funcionamiento.

En las siguientes figuras se puede evidenciar el funcionamiento del prototipo con el sensor ultrasónico JSN-SR04 en un ambiente real y con circulación de automotores. La prueba se realizó en el tramo Morales – Piendamó, Cauca, Colombia, a la altura del kilómetro 2 y 12. Este trayecto hace parte de una de las vías nacionales y es alterna a la troncal de occidente Popayán - Cali. (figura 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47)

En este trayecto se estaba realizando un reparcho, en el cual fue necesario habilitar un solo carril con una distancia de 100 metros en el kilómetro 2 y a una distancia de 520 metros en el kilómetro 12.



Figura 40. Señal de pare, costado 1. Kilómetro 2.



Figura 41. Señal de siga, costado 1. Kilómetro 2.



figura 42. Señal de pare, costado 2. Kilómetro 2.



Figura 43. Señal de siga, costado 2. Kilómetro 2.

En la figura 44 se aprecia en la pantalla lcd el momento en el que el prototipo detecta un automotor a una distancia de 3.84 metros. Esta práctica se realizó en la vía Morales - Piendamó, kilómetro 2. Costado 1.

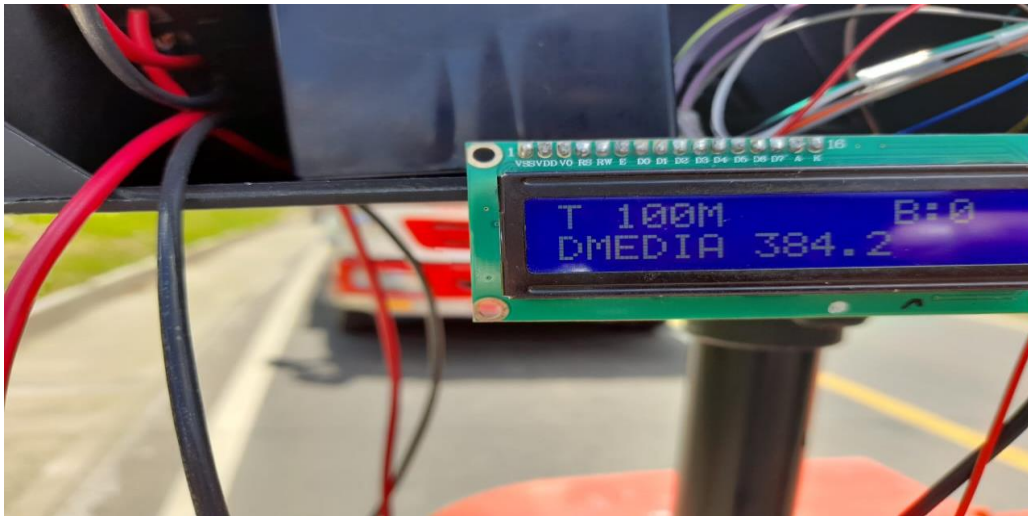


Figura 44. Detección de automotores a 3.84 metros

La prueba número 2 en campo se realizó en el trayecto Morales – Piendamó, Cauca, Colombia, a la altura del kilómetro 12.

Este tramo fue intervenido civilmente por una distancia de 520 metros, donde también se habilita un solo carril para el flujo de automotores.



Figura 45. Señal de pare, costado 1. Kilómetro 12.



Figura 46. Señal de siga, costado 1. Kilómetro 12.



Figura 47. Señal de siga, costado 2. Kilómetro 12. (imagen tomada desde el costado 1)



Figura 48. Señal de pare, costado 2. Kilómetro 12.

En la figura 49 se aprecia en la pantalla lcd el momento en el que el prototipo detecta un automotor a una distancia de 2.29 metros. Esta práctica se realizó en la vía Morales - Piendamó, kilómetro 12. Costado 1.

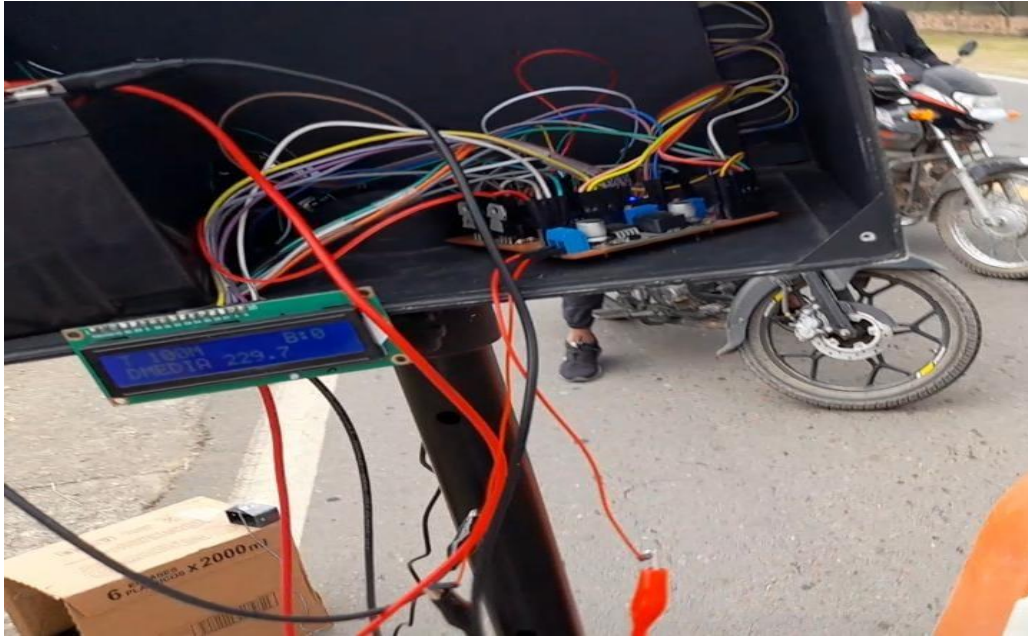


Figura 49. Detección de automotores a 2.29 metros

En la Tabla 15 se puede ver el número de pruebas a una distancia de 380m con un tiempo de 72 segundos para la señal de (SIGA) y a otra distancia de 520m con un tiempo de 90 segundos para la señal de (SIGA). Los datos obtenidos no presentaron inconveniente alguno en la detección.

Tabla 15 Datos de prueba en 380m y 520m con el sensor ultrasónico JSN-SR04

Prueba	Hora	Descripción	Temperatura C°	Luz Ambiente (lm)	Luz Artificial LED (lm)	Luz Artificial Halógena(lm)	Ruido (db)	Activación
P-01	7:00am	Activación y secuencia	21 C°	9620	N/A	N/A	73	SI
P-02	8:00am	Activación y secuencia	21 C°	10020	N/A	N/A	80	SI
P-03	9:00am	Activación y secuencia	21 C°	11300	N/A	N/A	90	SI
P-04	10:00am	Activación y secuencia	21 C°	12560	N/A	N/A	93	SI
P-05	11:00am	Activación y secuencia	21 C°	17830	N/A	N/A	85	SI
P-06	12:00pm	Activación y secuencia	20 C°	17830	N/A	N/A	78	SI
P-07	1:00pm	Activación y secuencia	20 C°	71200	N/A	N/A	87	SI

P-08	2:00pm	Activación y secuencia	20 C°	68700	N/A	N/A	90	SI
P-09	3:00pm	Activación y secuencia	20 C°	68700	N/A	N/A	88	SI
P-10	4:00pm	Activación y secuencia	20 C°	68700	N/A	N/A	91	SI
P-11	4:30pm	Activación y secuencia	20 C°	40000	6750	4750	88	SI
P-12	5:00pm	Activación y secuencia	20 C°	40000	55610	3280	93	SI
P-13	6:00pm	Activación y secuencia	19 C°	18300	3470	2100	76	SI
P-14	7:00pm	Activación y secuencia	19 C°	1	2320	1300	82	SI
P-15	8:00pm	Activación y secuencia	19 C°	1	2320	1300	91	SI

A continuación, en el primer recuadro se evidencia el número veces que cumplió con la activación y secuencia el prototipo, estos datos se obtienen de la columna nueve (activación) de la tabla 15. El segundo recuadro hace referencia al porcentaje de activación y efectividad al efectuar las pruebas en campo con acompañamiento de INVIAS usando el sensor JSN-SR04 el cual es del 100%

Cumple	15
No cumple	0

Porcentaje de activación y secuencia	100%
---	------

El resultado final de las pruebas en campo apoyado en datos registrados en las tablas anteriores, comprueba y determina un funcionamiento al 100% en la activación y cumplimiento de las tareas programadas del sistema.

8 ANALISIS COMPARATIVO DE TECNOLOGIAS DE DETECCION

Basados en el desarrollo del plan de pruebas se realiza un análisis de funcionamiento de las tecnologías de detección implementadas en el prototipo, con la finalidad de dar a conocer detalladamente el comportamiento y desempeño de trabajo en la luz ambiente, luz artificial led y halógena.

En este análisis el factor importante a tener en cuenta es el nivel de luz, ya que algunos sensores pueden presentar anomalías de trabajo a altos niveles de luminosidad. Para tomar precisión de estos datos fue necesario la utilidad del Luxómetro Digital Marca. **Lutron Modelo: LX-101** para verificar en qué nivel de lumens un sensor puede presentar fallas. Por otra parte, las graficas presentadas en el documento corresponden a cada uno de los sensores utilizados para las pruebas en un ambiente controlado, en estas queda el registro de lumens y hora en la que se fue desarrollando cada práctica, donde finalmente se realiza un histograma con los datos obtenidos.

Para las gráficas de la figura 52,57,62 y 67 de luz led y halógena se tienen en cuenta solamente dos datos numéricos de lumens, ya que esta no tiene gran variación al realizar mediciones con el luxómetro en horas de la noche.

N/A: No Aplica (no se tiene en cuenta los lumens obtenidos a través de una luz artificial a ciertas horas del día para realizar las pruebas de campo, ya que la luz se utiliza normalmente después de las 5:30 Pm 0 6:00 Pm).

DISTANCIA (METROS): rango de detección de cada dispositivo en metros.

HORA: hora en la cual se desarrollaron las prácticas. Se realizaron diez pruebas en doce horas, por ello se decidió dividir los tiempos de esta forma. Ver tabla 17 a 20.

LUMENS LUZ ARTIFICIAL LED: desarrollo de pruebas en un ambiente controlado y en horas de la noche, utilizando una luz led la cual es común mente utilizada en automotores.

LUMENS LUZ ARTIFICIAL HALOGENA: desarrollo de pruebas en un ambiente controlado y en horas de la noche, utilizando una luz Halógena la cual es común mente utilizada en automotores.

LUZ AMBIENTE: desarrollo de pruebas en un ambiente controlado y en diferentes horas del día.

PRUEBA DE DETECCION: supervisar el funcionamiento de cada dispositivo de detección durante las prácticas y posteriormente establecer este resultado en una tabla. (DETECTO, NO DETECTO)



Figura 50. Luxómetro digital XL-101.

En la tabla 16 se plasman datos reales, los cuales son equivalentes a Lumens obtenidos en diferentes horas del día y en diferentes días con la finalidad de sacar un promedio de lumens por hora, estos fueron tomados con el Luxómetro digital XL-101. Los valores se obtuvieron antes de realizar pruebas en un ambiente controlado, son resultados que se tienen como referencia al momento de desarrollar las prácticas y poder apreciar la similitud entre ellos.

Tabla 16 Datos reales obtenidos del Luxómetro (luz ambiente)

HORA	(LUMENS) LUZ AMBIENTE	(LUMENS) LUZ ARTIFICIAL LED	(LUMENS) LUZ ARTIFICIAL HALOGENA
7:00	9201	N/A	N/A
9:00	11490	N/A	N/A
11:00	17920	N/A	N/A
12:00	18300	N/A	N/A
13:00	72450	N/A	N/A
15:00	69500	N/A	N/A
17:00	39800	N/A	N/A
18:00	20530	N/A	N/A
19:00	1,00	2120	2040

En la figura 51 se muestra gráficamente los lumens medidos de 7:00 Am a 7:00 Pm. Bajo estos resultados reales se realizaron practicas con los sensores de detección, donde algunos son afectados por un nivel alto de luminosidad, estos dispositivos afectados y no afectados se podrán visualizar en las siguientes imágenes.

LUMENS LUZ AMBIENTE VS HORA

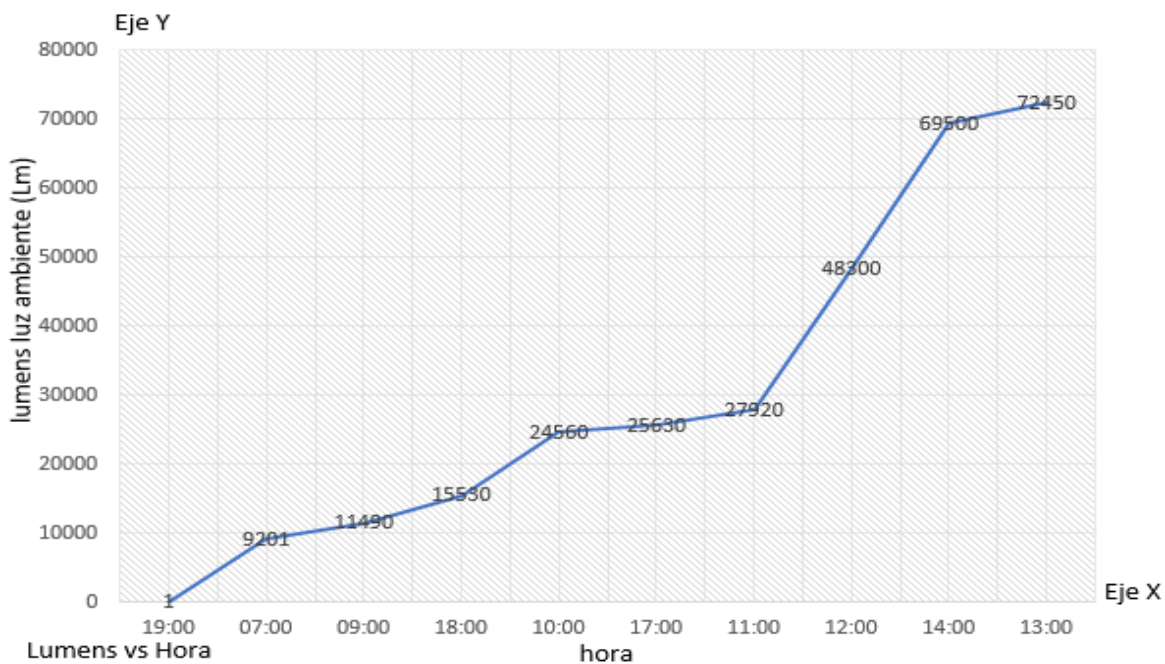


Figura 51. Registro de Lumens tomados de 7:00 Am a 7:00 Pm.

En el desarrollo de la prueba en campo con el sensor jsn-sr04, se obtuvieron valores reales de lumens tomados en el lugar de la intervención vial a diferentes horas del día. Estos datos son plasmados en la tabla 16, con la finalidad de graficarlos y apreciar en una imagen la respuesta de trabajo. Por otra parte, se observa que de las diez pruebas realizadas en campo se obtuvo el 100% de efectividad de trabajo al momento de realizar la detección de automotores.

Tabla 17 prueba de detección. sensor jsn-sr04

DISTANCIA (METROS)	HORA	LUMENS LUZ ARTIFICIAL LED	LUMENS LUZ ARTIFICIAL HALOGENA	LUZ AMBIENTE	PRUEBA DE DETECCION
0.25 - 4.5	7:00	N/A	N/A	9620	DETECTO
0.25 - 4.5	8:30	N/A	N/A	11300	DETECTO
0.25 - 4.5	10:30	N/A	N/A	12560	DETECTO
0.25 - 4.5	11:45	N/A	N/A	17600	DETECTO
0.25 - 4.5	13:30	N/A	N/A	20300	DETECTO
0.25 - 4.5	15:30	N/A	N/A	30560	DETECTO
0.25 - 4.5	16:30	N/A	N/A	45500	DETECTO
0.25 - 4.5	17:30	N/A	N/A	39800	DETECTO
0.25 - 4.5	18:30	19530	21000	N/A	DETECTO
0.25 - 4.5	19:00	48700	45520	N/A	DETECTO

En la figura 52 apartado A y B, Se observan graficas que representan diferentes niveles de lumens y horas del día, estos datos pertenecen al desarrollo de las practicas con el sensor **jsn-sr04**, de esta manera se logra evidenciar que a medio día o en horas de la tarde es donde se presentan los picos más altos de lumens, teniendo en cuenta que esa variable puede afectar el dispositivo al momento de detectar. En esta también se representa Lumen vs Hora, donde se puede apreciar que a altos niveles de lumens y a diferentes distancias el prototipo con el sensor implementado detecto sin ningún tipo de problema, pudiendo validar la figura 52 con los datos de la tabla 17.

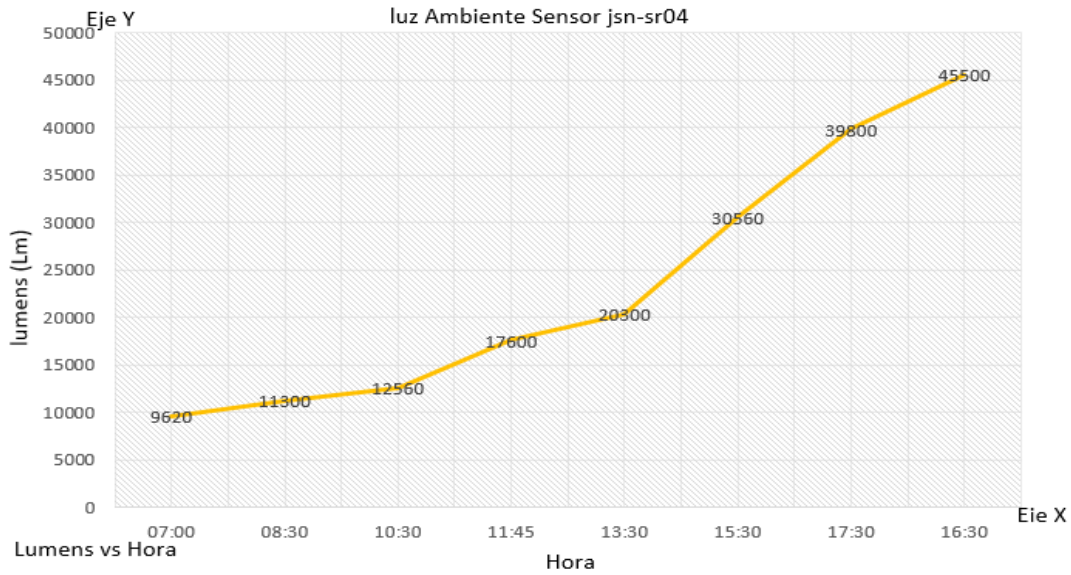


Figura 52. Apartado A. Grafica luz Led, luz Halógena, luz ambiente. Sensor jsn-sr04

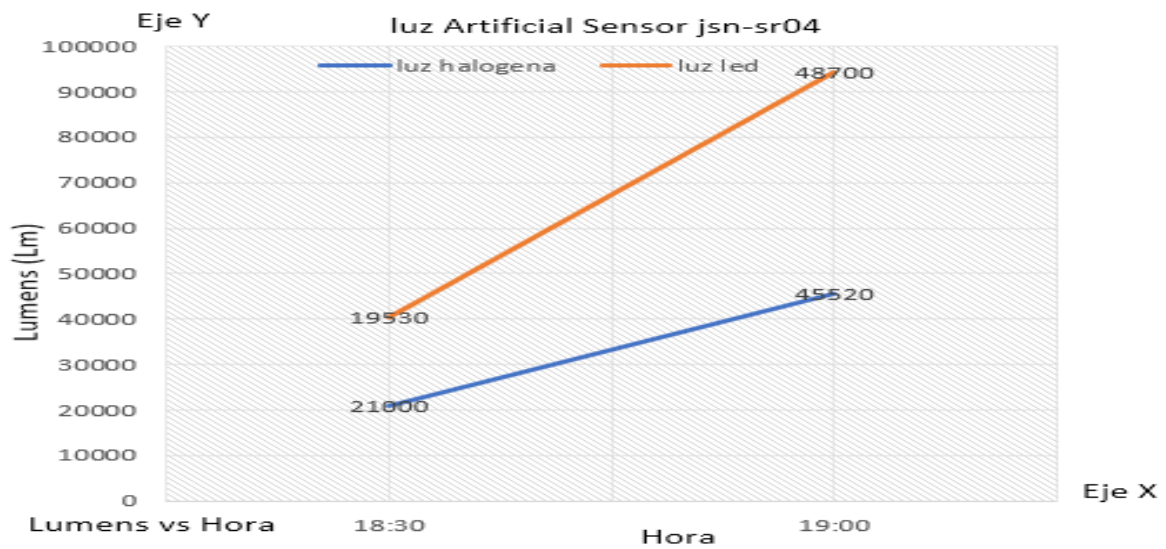


Figura 52. Apartado B. Grafica luz Led, luz Halógena, luz ambiente. Sensor jsn-sr04

En la figura 53 se aprecia el resultado de una de las pruebas en un ambiente controlado correspondiente al sensor jsn-sr04. Esta práctica se realizó a las 4:00 pm exponiendo el prototipo a la luz ambiente, obteniendo una intensidad de lumens de 40.000 lux, estos valores serán aproximados a los que se exponen en la tabla 17, ya que en cada medida con el luxómetro estos resultados varían y no siempre serán los mismos. En la pantalla lcd se observa que ante las circunstancias expuestas del prototipo el sensor detecto la presencia de un automotor a una distancia de 1.25 metros.

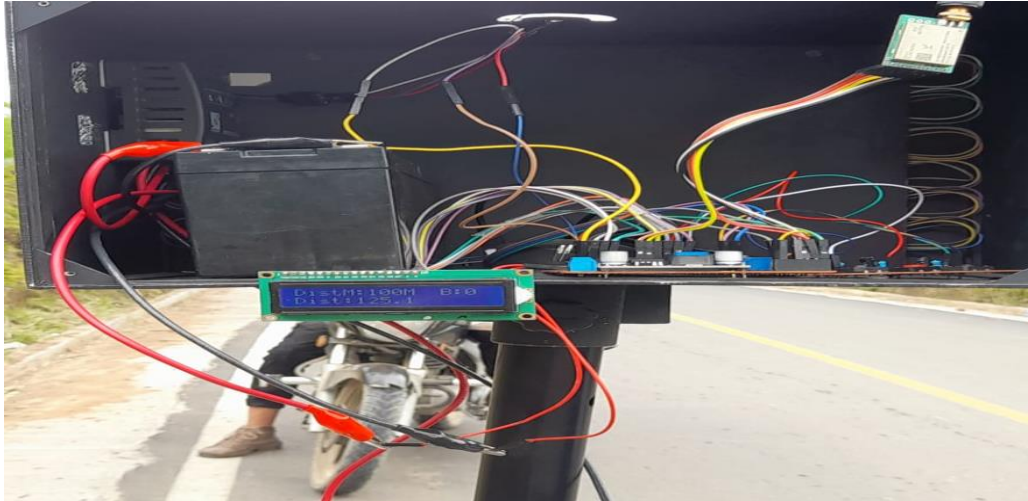


Figura 53. Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (1.25 metros)

En la figura 54 se aprecia el resultado de una de las pruebas en un ambiente controlado correspondiente al sensor jsn-sr04. Esta práctica se realizó a las 9:00 am exponiendo el prototipo a la luz ambiente, obteniendo una intensidad de lumens de 17.830 lux, estos valores serán aproximados a los que se exponen en la tabla 17, ya que en cada medida con el luxómetro estos resultados varían y no siempre serán los mismos. En la pantalla lcd se observa que, ante las circunstancias expuestas del prototipo, el sensor detecto la presencia de un automotor a una distancia de 2.8 metros.

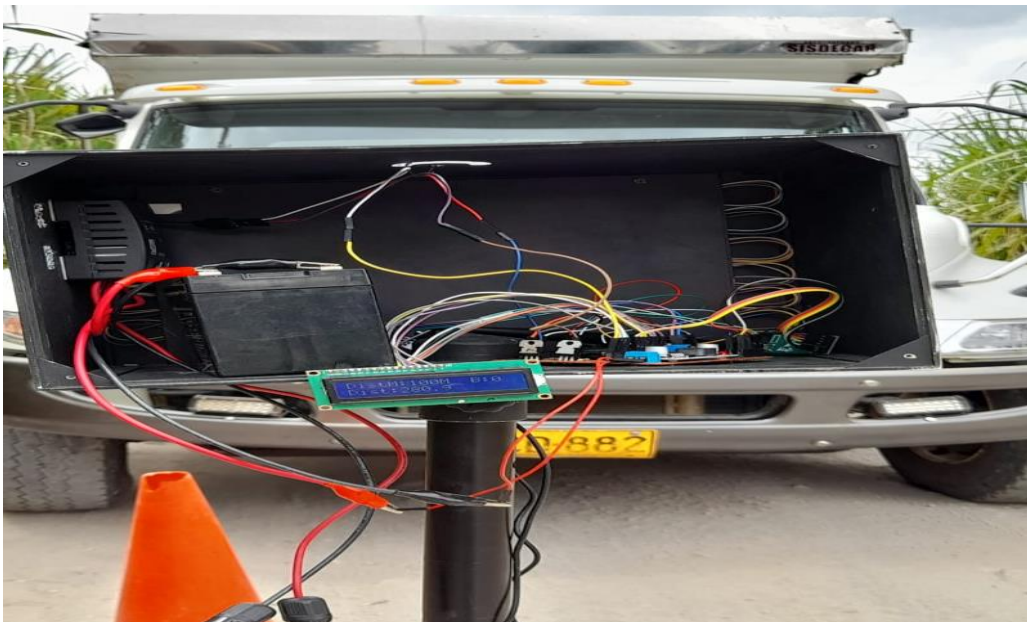


Figura 54. Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (2.8 metros)

En la figura 55 se aprecia el resultado de una de las pruebas en un ambiente controlado correspondiente al sensor jsn-sr04. Esta práctica se realizó a las 7:00 pm exponiendo el prototipo a la luz artificial led, obteniendo una intensidad de lumens de 46.800 lux, estos valores serán aproximados a los que se exponen en la tabla 17, ya que en cada medida con el luxómetro estos resultados varían y no siempre serán los mismos. En la pantalla lcd se observa que, ante las circunstancias expuestas del prototipo, el sensor detecto la presencia de un automotor a una distancia de 2.95 metros.

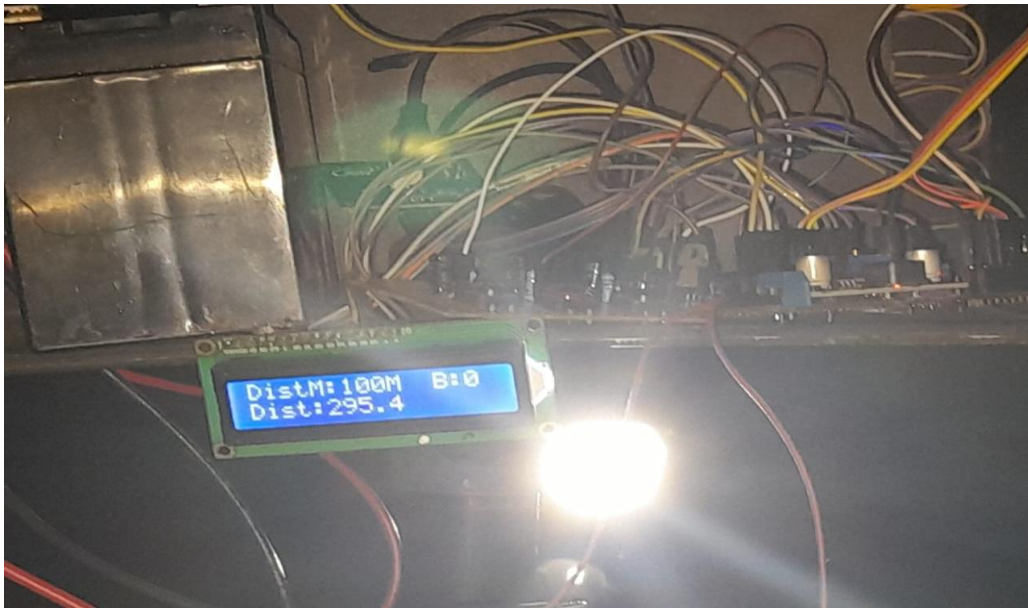


Figura 55. Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (2.95 metros)

En la figura 56 se aprecia el resultado de una de las pruebas en un ambiente controlado correspondiente al sensor jsn-sr04. Esta práctica se realizó a las 7:00 pm exponiendo el prototipo a la luz artificial halógena, obteniendo una intensidad de lumens de 38.400 lux, estos valores serán aproximados a los que se exponen en la tabla 17, ya que en cada medida con el luxómetro estos resultados varían y no siempre serán los mismos. En la pantalla lcd se observa que, ante las circunstancias expuestas del prototipo, el sensor detecto la presencia de un automotor a una distancia de 2.05 metros.

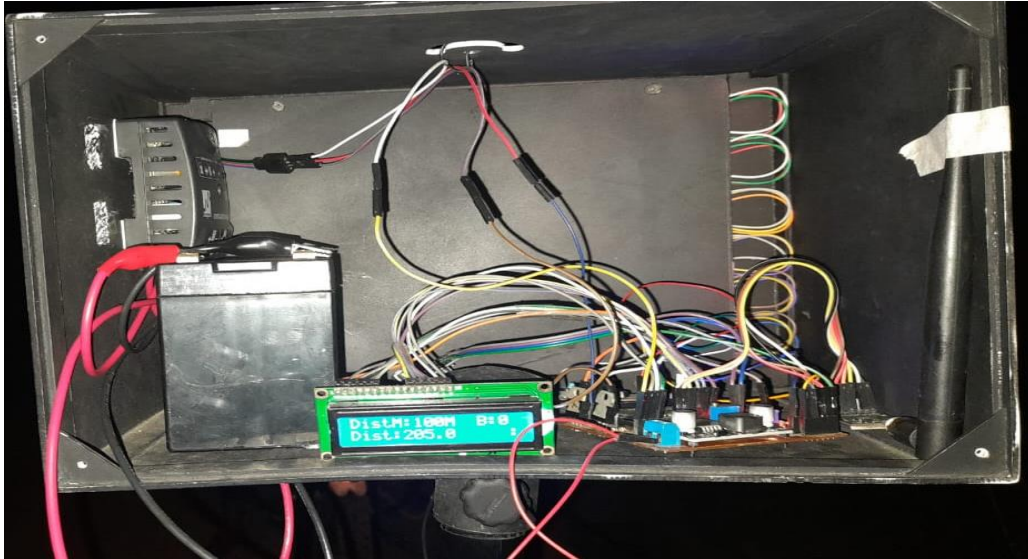


Figura 56. Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (2.05 metros)

El desarrollo de la práctica se efectuó en un ambiente controlado con el sensor VL53L0X, del cual se obtuvieron valores reales en lumens tomados en el sitio seleccionado para dicha prueba, estos se realizaron a la misma hora que todas las prácticas, pero en diferentes días. Posteriormente los datos son plasmados en la tabla 18, donde se aprecia que el funcionamiento correcto fue de un 40% de las 10 pruebas realizadas. Es decir que el dispositivo de detección lo afectan los altos niveles de luz.

Tabla 18 prueba de detección. sensor VL53L0X

DISTANCIA (METROS)	HORA	LUMENS LUZ ARTIFICIAL LED	LUMENS LUZ ARTIFICIAL HALOGENA	LUZ AMBIENTE	PRUEBA DE DETECCION
0.5 - 2	7:00	N/A	N/A	8900	DETECTO
0.5 - 2	8:30	N/A	N/A	9600	DETECTO
0.5 - 2	10:30	N/A	N/A	12660	DETECTO
0.5 - 2	11:45	N/A	N/A	18000	DETECTO
0.5 - 2	13:30	N/A	N/A	65700	NO DETECTO
0.5 - 2	15:30	N/A	N/A	65500	NO DETECTO
0.5 - 2	16:30	N/A	N/A	39500	NO DETECTO
0.5 - 2	17:30	N/A	N/A	35200	NO DETECTO
0.5 - 2	18:30	22900	23500	N/A	DETECTO
0.5 - 2	19:00	31200	29340	N/A	DETECTO

En la figura 57 apartado A y B se observan graficas que representan diferentes niveles de lumens y horas del día, estos datos pertenecen al desarrollo de las practicas con el sensor VL53L0X, logrando evidenciar que a medio día o en horas de la tarde es donde se presentan los picos más altos de lumens, de tal forma que esa variable puede afectar el dispositivo al momento de detectar. Apreciando también la tabla 18 el sensor no detecto presencia debido a los altos niveles de luminosidad.

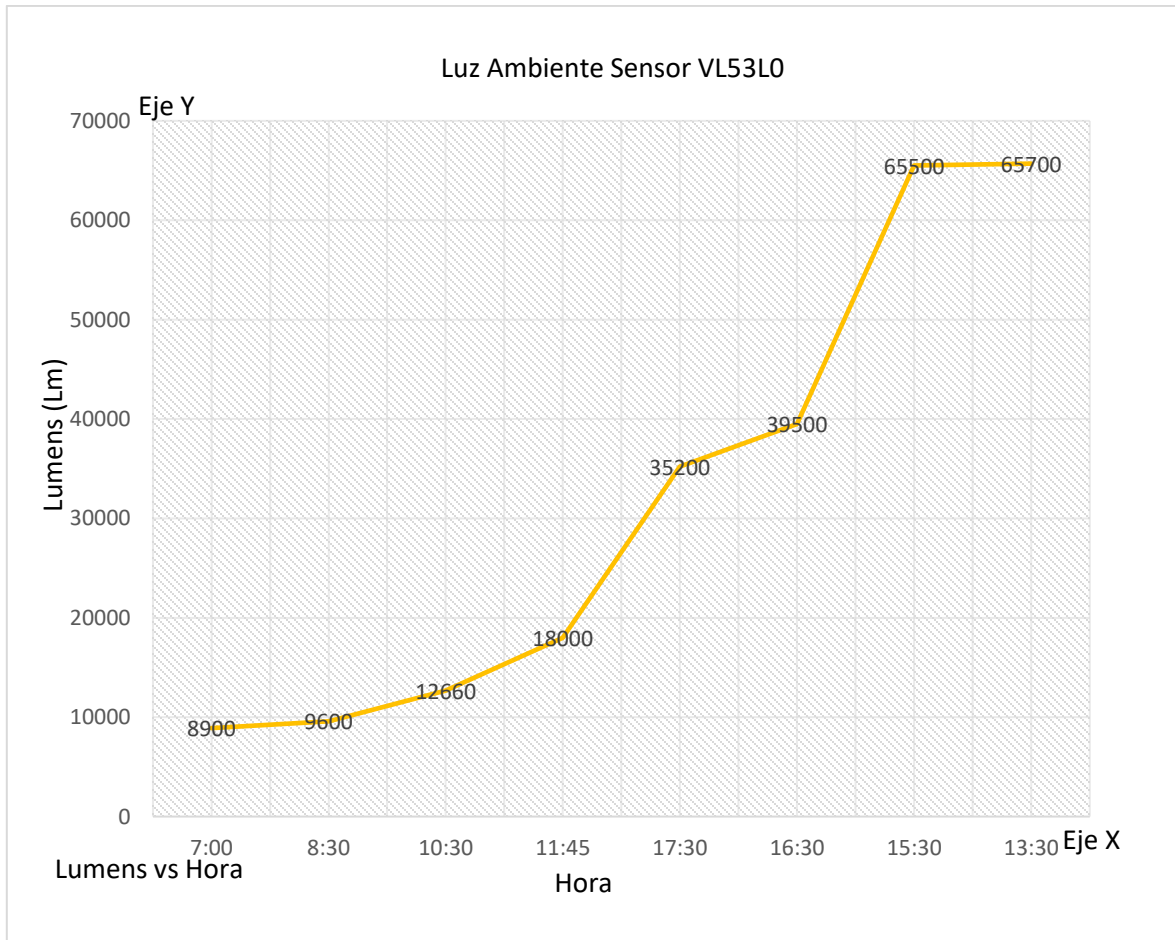


Figura 57. Apartado A. Grafica a luz Led, luz Halógena, luz ambiente. Sensor VL53L0X

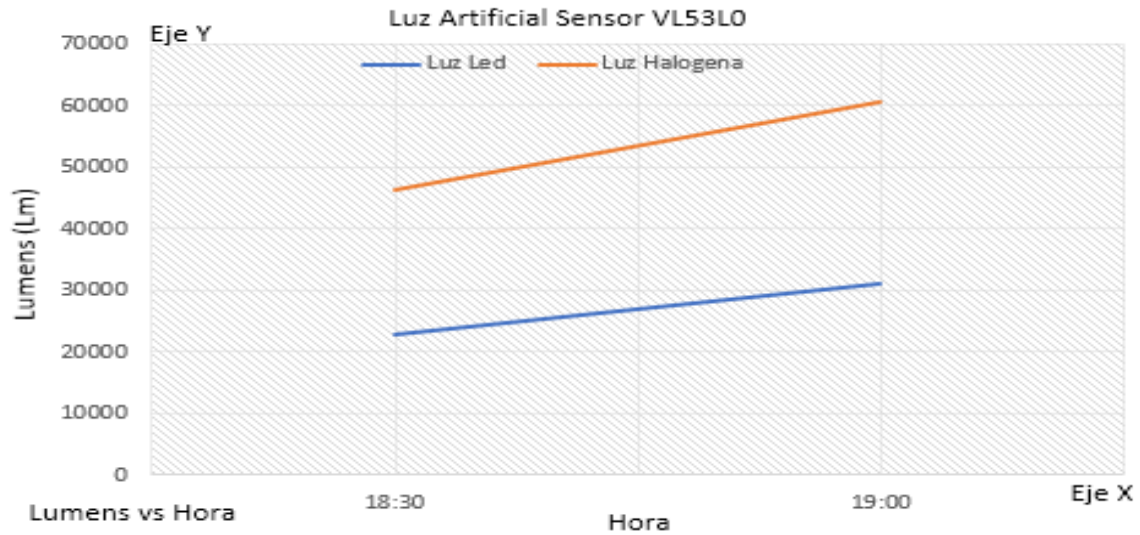


Figura 57. Apartado B. Grafica a luz Led, luz Halógena, luz ambiente. Sensor VL53L0X

En la figura 58 se aprecia el resultado de una de las pruebas en un ambiente controlado correspondiente al sensor VL53L0X. Esta práctica se realizó a las 4:00 pm exponiendo el prototipo a la luz ambiente, obteniendo una intensidad de lumens de 17830 lux, estos valores serán aproximados a los que se exponen en la tabla 18, ya que en cada medida con el luxómetro estos valores varían y no siempre serán los mismos. En la pantalla lcd se observa que, ante las circunstancias expuestas del prototipo, el sensor detecto la presencia de un automotor a una distancia de 1.15 metros.



Figura 58. Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (1.15 metros)

En la figura 59 se aprecia el resultado de una de las pruebas en un ambiente controlado correspondiente al sensor VL53L0X. Esta práctica se realizó a las 8:00 am exponiendo el prototipo a la luz ambiente, obteniendo una intensidad de lumens de 7120 lux, estos valores serán aproximados a los que se exponen en la tabla 18, ya que en cada medida con el luxómetro estos resultados varían y no siempre serán los mismos. En la pantalla lcd se observa que, ante las circunstancias expuestas del prototipo, el sensor detecto la presencia de un automotor a una distancia de 1.12 metros.



Figura 59. Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (1.12 metros)

En la figura 60 se aprecia el resultado de una de las pruebas en un ambiente controlado correspondiente al sensor VL53L0X. Esta práctica se realizó a las 7:00 pm exponiendo el prototipo a la luz artificial led, obteniendo una intensidad de lumens de 47.500 lux, estos valores serán aproximados a los que se exponen en la tabla 18, ya que en cada medida con el luxómetro estos resultados varían y no siempre serán los mismos. En la pantalla lcd se observa que, ante las circunstancias expuestas del prototipo, el sensor no detecto presencia del automotor que se encontraba a 1 metro de distancia, la lcd indica que la distancia de detección es 0 debido a que lo afecto el alto nivel de luz. Con esta práctica se determina que

el sensor no detecta presencia si hay alta luminosidad que sobre pase los 33.000 lumens, ya sea con luz ambiente o luz artificial.

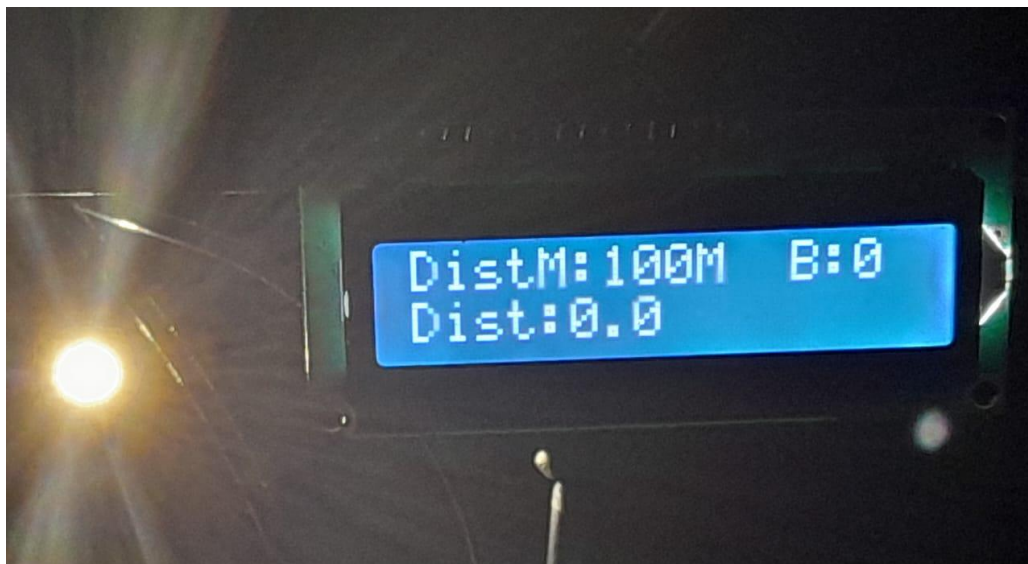


Figura 60. Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (0 metros)

En la figura 61 se aprecia el resultado de una de las pruebas en un ambiente controlado correspondiente al sensor VL53L0X. Esta práctica se realizó a las 7:00 pm exponiendo el prototipo a la luz artificial halógena, obteniendo una intensidad de lumens de 21.200 lux, estos valores serán aproximados a los que se exponen en la tabla 18, ya que en cada medida con el luxómetro estos resultados varían y no siempre serán los mismos. En la pantalla lcd se observa que, ante las circunstancias expuestas del prototipo, el sensor detecto presencia del automotor a 1.65 metros de distancia, teniendo en cuenta que el nivel de luz fue bajo para que el dispositivo realizara la detección.

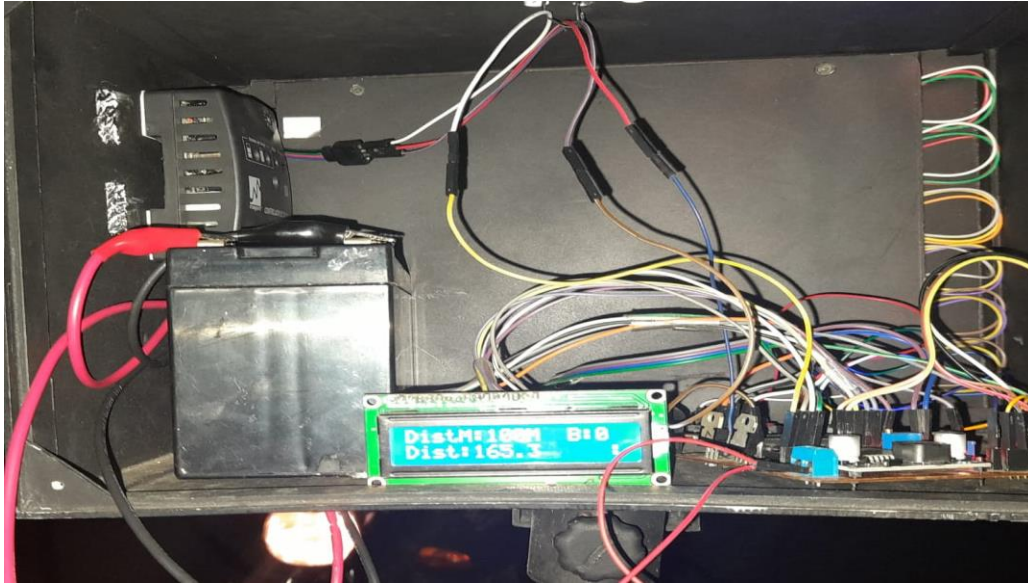


Figura 61. Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (1.65 metros)

En la tabla 19 se dan a conocer los resultados de la practica en un ambiente controlado con el sensor hw-ms03. Donde se obtuvo un 100% de efectividad al momento de detectar automotores en movimiento durante las pruebas realizadas. En estas prácticas se observó que tiene un buen rango de detección, pero unos segundos más tarde este dispositivo entra en un estado de off porque solo se activa al detectar un movimiento.

Tabla 19 prueba de detección. sensor hw-ms03

DISTANCIA (METROS)	HORA	LUMENS LUZ ARTIFICIAL LED	LUMENS LUZ ARTIFICIAL HALOGENA	LUZ AMBIENTE	PRUEBA DE DETECCION
0.3 - 10	7:00	N/A	N/A	8400	DETECTO
0.3 - 10	8:30	N/A	N/A	10700	DETECTO
0.3 - 10	10:30	N/A	N/A	15100	DETECTO
0.3 - 10	11:45	N/A	N/A	17300	DETECTO
0.3 - 10	13:30	N/A	N/A	70100	DETECTO
0.3 - 10	15:30	N/A	N/A	65150	DETECTO
0.3 - 10	16:30	N/A	N/A	43900	DETECTO
0.3 - 10	17:30	N/A	N/A	42200	DETECTO
0.3 - 10	18:30	19530	20840	N/A	DETECTO
0.3 - 10	19:00	59670	56780	N/A	DETECTO

En la figura 62 apartado A y B se observan graficas que representan diferentes niveles de lumens y horas del día, estos datos pertenecen al desarrollo de las practicas con el sensor hw-ms03, logrando evidenciar que a medio día o en horas de la tarde es donde se presentan los

picos más altos de lumens, de tal forma que esa variable puede afectar el dispositivo al momento de detectar. De este dispositivo se pueden conocer ventajas y desventajas en las siguientes figuras y en el plan de pruebas para este mismo.

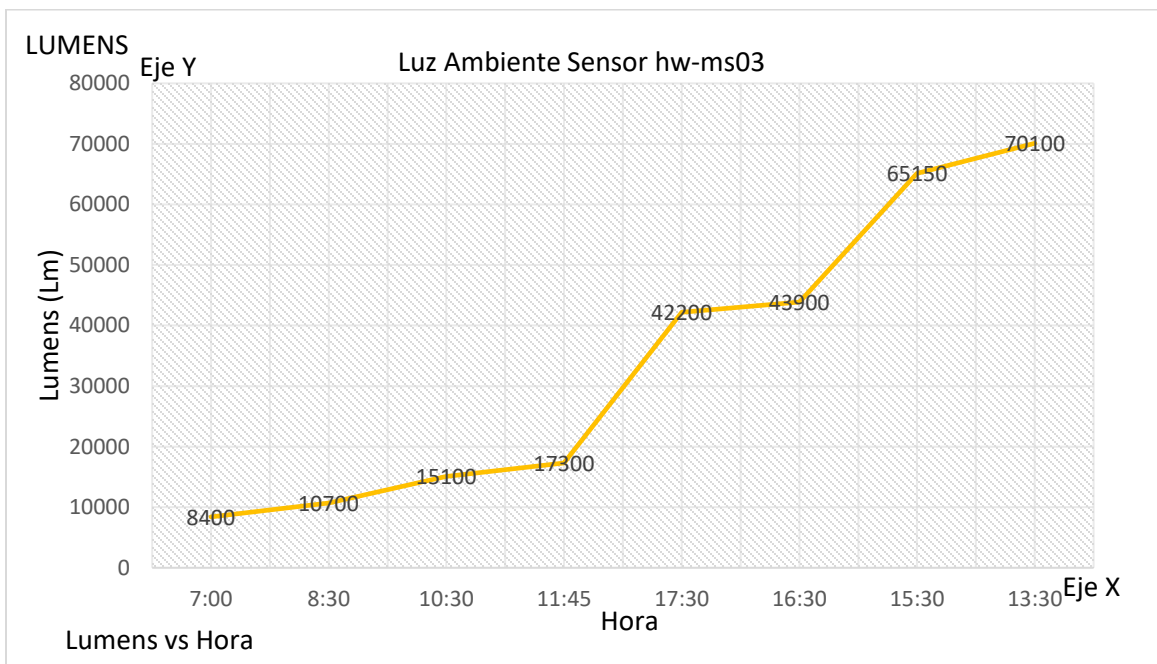


Figura 62. Apartado A. Grafica luz led, luz halógena, luz ambiente. Sensor hw-ms03.

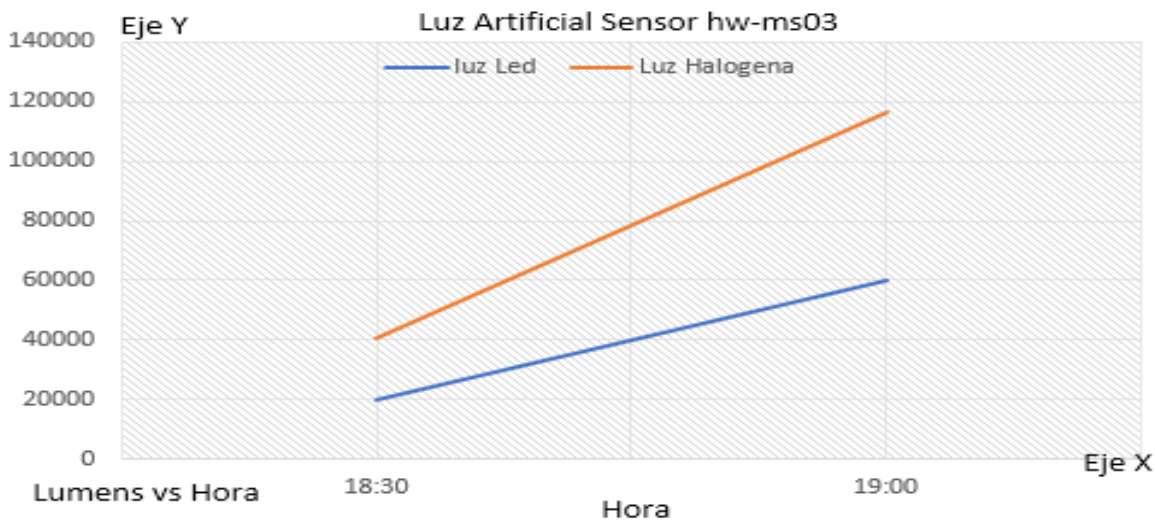


Figura 62. Apartado B. Grafica luz led, luz halógena, luz ambiente. Sensor hw-ms03.

En la figura 63 se aprecia el resultado de una de las pruebas en un ambiente controlado correspondiente al sensor hw-ms03. Esta práctica se realizó a las 2:00 pm exponiendo el

prototipo a la luz ambiente, obteniendo una intensidad de lumens de 56.100 lux, estos valores serán aproximados a los que se exponen en la tabla 19, ya que en cada medida con el luxómetro estos resultados varían y no siempre serán los mismos. En la pantalla lcd se observa que, ante las circunstancias expuestas del prototipo, el sensor no detecto presencia del automotor que se encontraba a 1.2 metros de distancia, la lcd indica que la distancia de detección es 0, debido a que el sensor de radar detecta movimiento y se mantiene activo durante 10 segundos, de no detectar nada después de ese tiempo el sensor pasa a un estado de cero como se aprecia en la siguiente imagen.

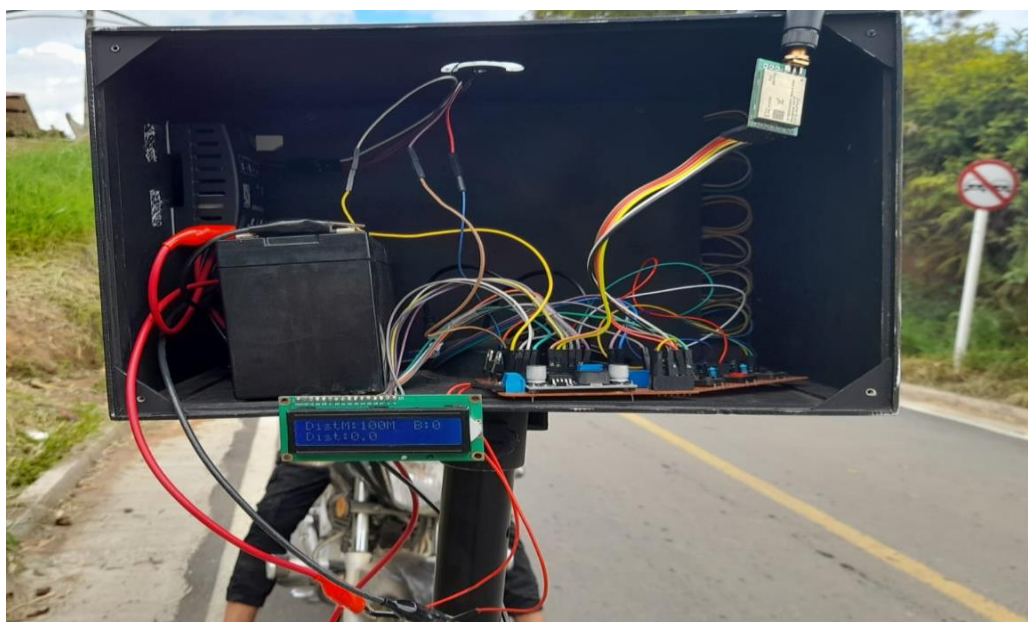


Figura 63. Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (0 metros)

En la figura 64 se aprecia el resultado de una de las pruebas en un ambiente controlado correspondiente al sensor hw-ms03. Esta práctica se realizó a las 8:30 am exponiendo el prototipo a la luz ambiente, obteniendo una intensidad de lumens de 28.200 lux, estos valores serán aproximados a los que se exponen en la tabla 19, ya que en cada medida con el luxómetro estos resultados varían y no siempre serán los mismos. En la pantalla lcd se observa que, ante las circunstancias expuestas del prototipo, el sensor detecto movimiento de una moto que se observa al costado derecho de la imagen, mientras la otra se encuentra estacionada. Esta detección se realizó a una distancia de 1.94 metros.

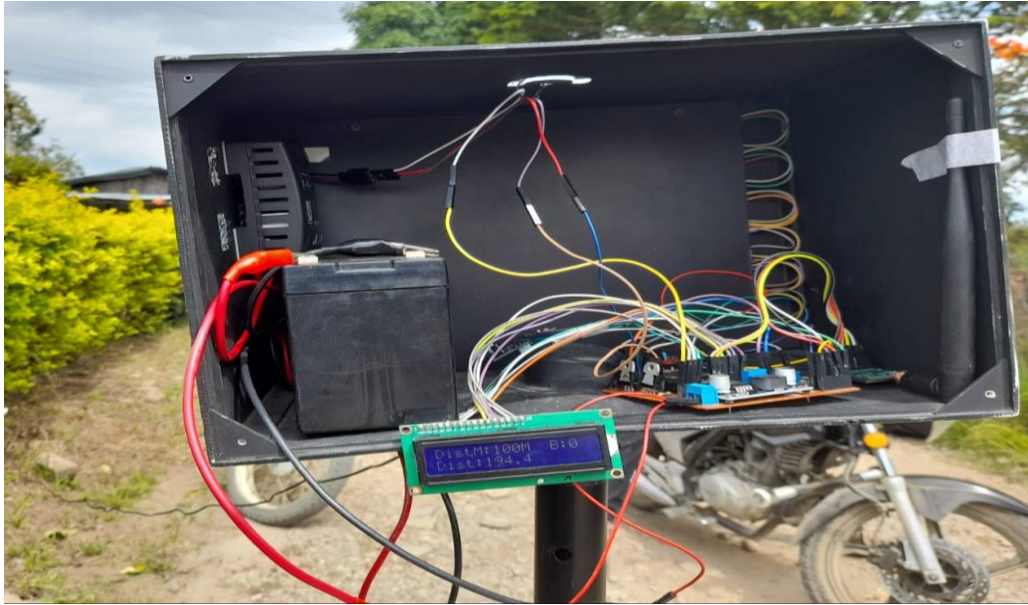


Figura 64. Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (1.94 metros)

En la figura 65 se aprecia el resultado de una de las pruebas en un ambiente controlado correspondiente al sensor hw-ms03. Esta práctica se realizó a las 7:00 pm exponiendo el prototipo a la luz artificial led, obteniendo una intensidad de lumens de 45.800 lux, estos valores serán aproximados a los que se exponen en la tabla 19, ya que en cada medida con el luxómetro estos resultados varían y no siempre serán los mismos. En la pantalla lcd se observa que, ante las circunstancias expuestas del prototipo, el sensor detecto movimiento de una moto a una distancia de 6.86 metros.

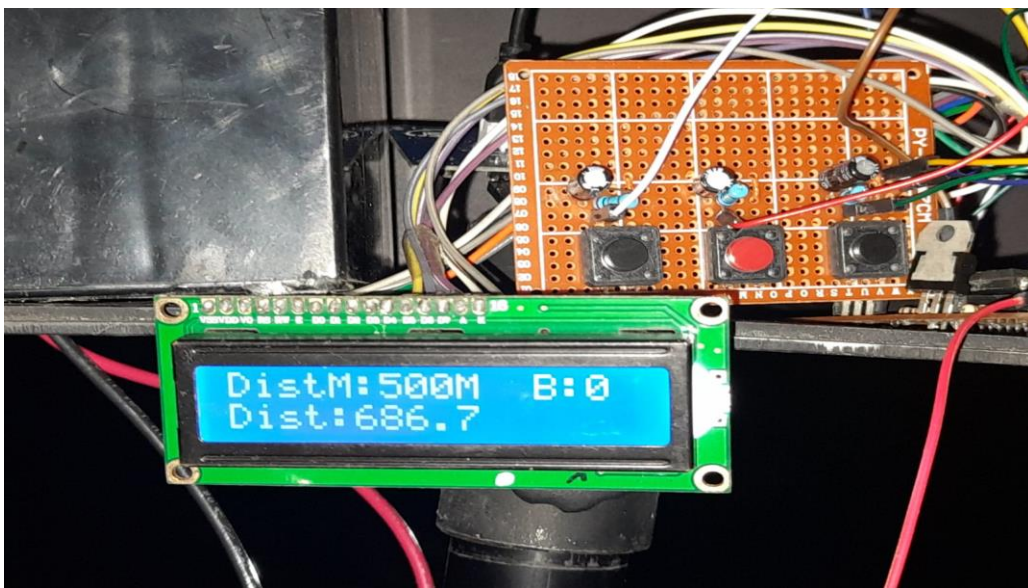


Figura 65. Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (6.86 metros)

En la figura 66 se aprecia el resultado de una de las pruebas en un ambiente controlado correspondiente al sensor hw-ms03. Esta práctica se realizó a las 7:00 pm exponiendo el prototipo a la luz artificial halógena, obteniendo una intensidad de lumens de 43.200 lux, estos valores serán aproximados a los que se exponen en la tabla 19, ya que en cada medida con el luxómetro estos resultados varían y no siempre serán los mismos. En la pantalla lcd se observa que, ante las circunstancias expuestas del prototipo, el sensor detecto movimiento de una moto a una distancia de 4.32metros.

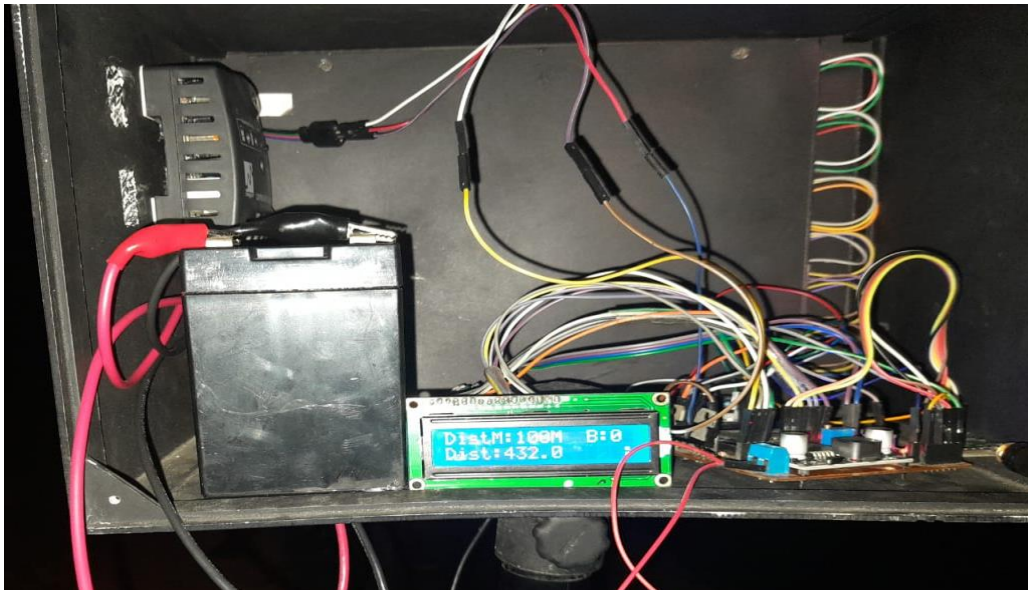


Figura 66. Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (4.32 metros)

En la tabla 20 se dan a conocer los resultados de la practica en un ambiente controlado con el sensor Lm393. Donde se obtuvo un 90% de efectividad al momento de detectar automotores en las pruebas realizadas. Este dispositivo no cuenta con un largo alcance de detección por lo que dificulta las pruebas a realizar

Tabla 20 prueba de detección. sensor Lm393

DISTANCIA (C)ENTIMETROS	HORA	LUMENS LUZ ARTIFICIAL LED	LUMENS LUZ ARTIFICIAL HALOGENA	LUZ AMBIENTE	PRUEBA DE DETECCION
2 - 30	7:00	N/A	N/A	8500	DETECTO
2 - 30	8:30	N/A	N/A	9600	DETECTO
2 - 30	10:30	N/A	N/A	10900	DETECTO
2 - 30	11:45	N/A	N/A	12200	DETECTO
2 - 30	13:30	N/A	N/A	73400	DETECTO
2 - 30	15:30	N/A	N/A	66000	DETECTO
2 - 30	16:30	N/A	N/A	68200	NO DETECTO
2 - 30	17:30	N/A	N/A	40200	DETECTO
2 - 30	18:30	20920	19800	N/A	DETECTO
2 - 30	19:00	57840	58700	N/A	DETECTO

En la figura 67 se observan graficas que representan diferentes niveles de lumens y horas del día, estos datos pertenecen al desarrollo de las practicas con el sensor **Lm393**. Generalmente se obtienen valores de lumens altos entre 12 pm y 15:30 pm.

En la figura 67 apartado A y B se observan graficas correspondientes al funcionamiento del sensor Lm393 en diferentes horas del día, también se logra evidenciar que a medio día o en horas de la tarde es donde se presentan los picos más altos de lumens, de tal forma que esa variable puede afectar el dispositivo al momento de detectar. Teniendo en cuenta que su capacidad de alcance para medición es muy mínima, el desarrollo de las practicas se realizó y la intensidad de lumens no es una variable que lo afecte.

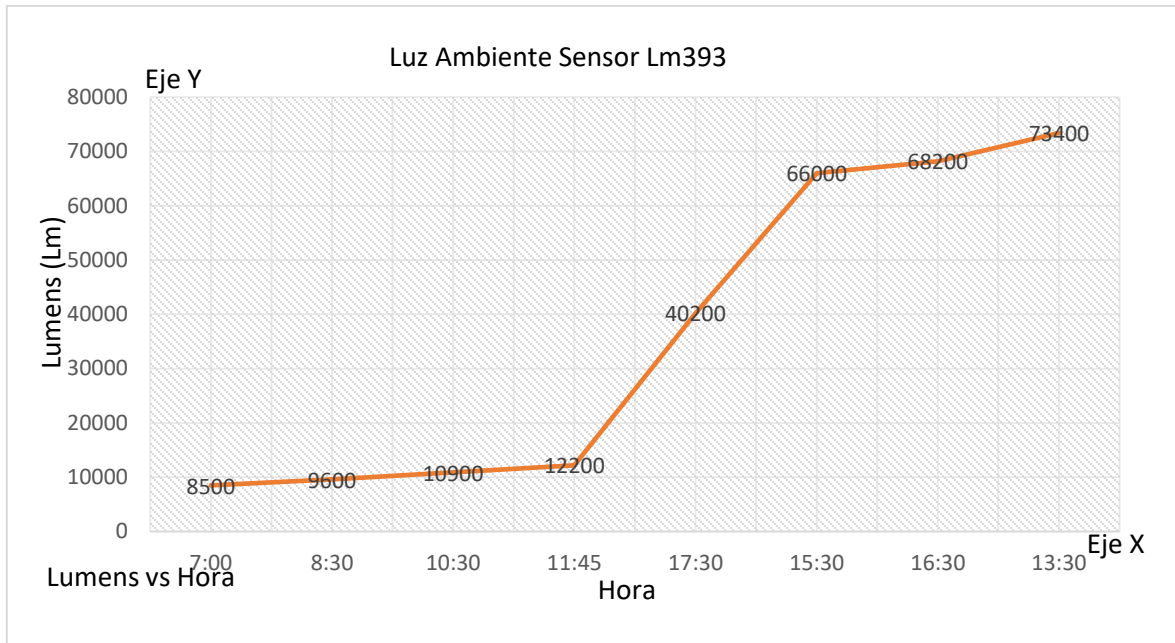


Figura 67. Apartado A. Grafica luz led, luz halógena, luz ambiente. Sensor Lm393

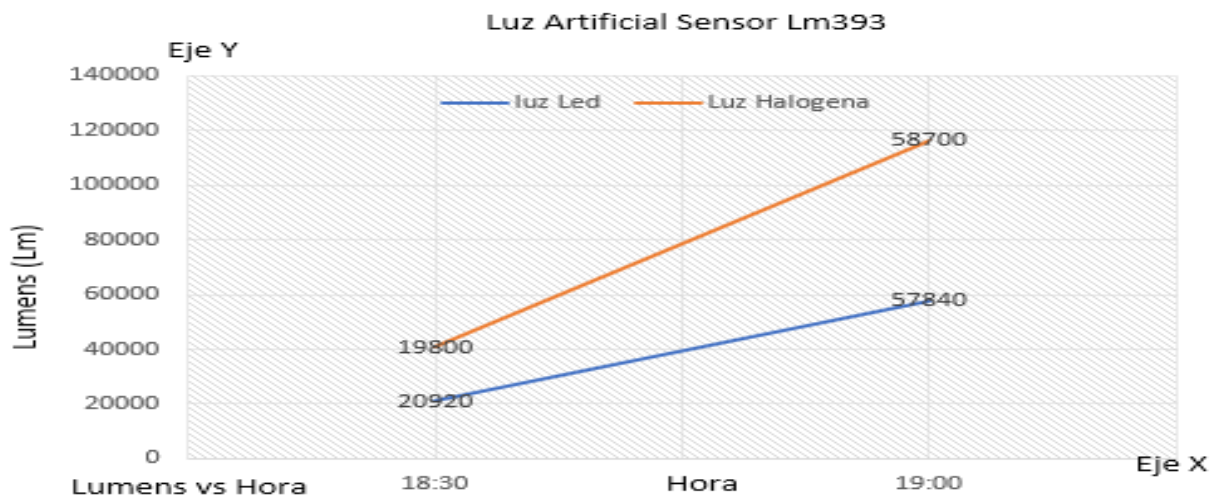


Figura 67. Apartado A. Grafica luz led, luz halógena, luz ambiente. Sensor Lm393

En la figura 68 se aprecia el resultado de una de las pruebas en un ambiente controlado correspondiente al sensor Lm393. Esta práctica se realizó a las 3:00 pm exponiendo el prototipo a la luz ambiente, obteniendo una intensidad de lumens de 71.200 lux, estos valores serán aproximados a los que se exponen en la tabla 20, ya que en cada medida con el luxómetro estos resultados varían y no siempre serán los mismos. En la pantalla lcd se

observa que, ante las circunstancias expuestas del prototipo, el sensor detecto la presencia de un automotor a una distancia de 22.8 centímetros.



Figura 68. Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (22.8 centímetros)

En la figura 69 se aprecia el resultado de una de las pruebas en un ambiente controlado correspondiente al sensor Lm393. Esta práctica se realizó a las 8:30 am exponiendo el prototipo a la luz ambiente, obteniendo una intensidad de lumens de 21.500 lux, estos valores serán aproximados a los que se exponen en la tabla 20, ya que en cada medida con el luxómetro estos resultados varían y no siempre serán los mismos. En la pantalla lcd se observa que, ante las circunstancias expuestas del prototipo, el sensor detecto la presencia de un automotor a una distancia de 23.1 centímetros.

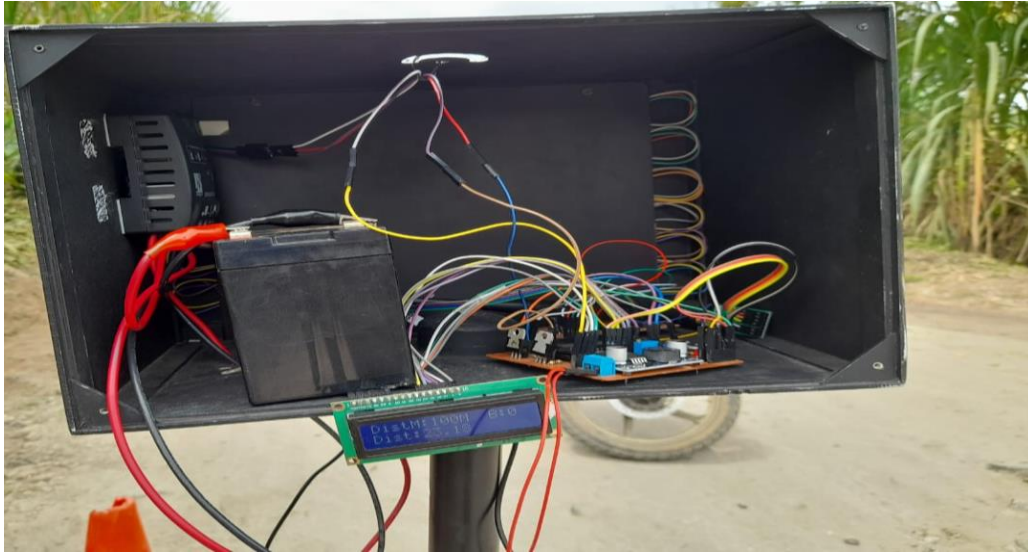


Figura 69. Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (23.1 centímetros)

En la figura 70 se aprecia el resultado de una de las pruebas en un ambiente controlado correspondiente al sensor Lm393. Esta práctica se realizó a las 7:00 pm exponiendo el prototipo a la luz artificial led, obteniendo una intensidad de lumens de 48.300 lux, estos valores se aproximan a los que se exponen en la tabla 20, ya que en cada medida con el luxómetro estos resultados varían y no siempre serán los mismos. En la pantalla lcd se observa que, ante las circunstancias expuestas del prototipo, el sensor detecto la presencia de un automotor a una distancia de 28 centímetros.

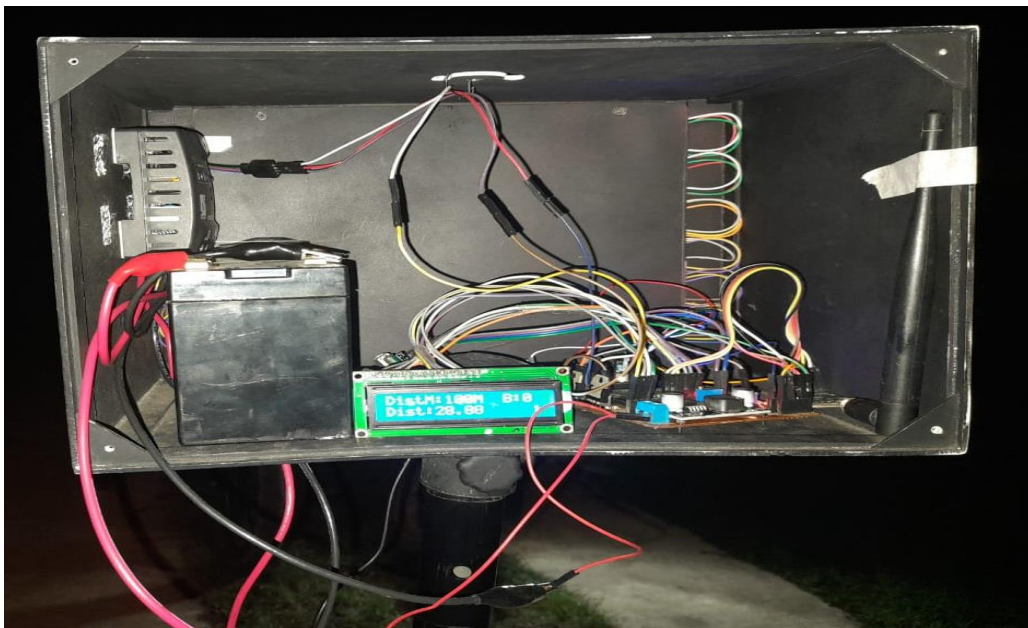


Figura 70. Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (28 centímetros)

En la figura 71 se aprecia el resultado de una de las pruebas en un ambiente controlado correspondiente al sensor Lm393. Esta práctica se realizó a las 7:00 pm exponiendo el prototipo a la luz artificial halógena, obteniendo una intensidad de lumens de 39500 lux, estos valores se aproximan a los que se exponen en la tabla 20, ya que en cada medida con el luxómetro estos resultados varían y no siempre serán los mismos. En la pantalla lcd se observa que, ante las circunstancias expuestas del prototipo, el sensor detecto la presencia de un automotor a una distancia de 30 centímetros.

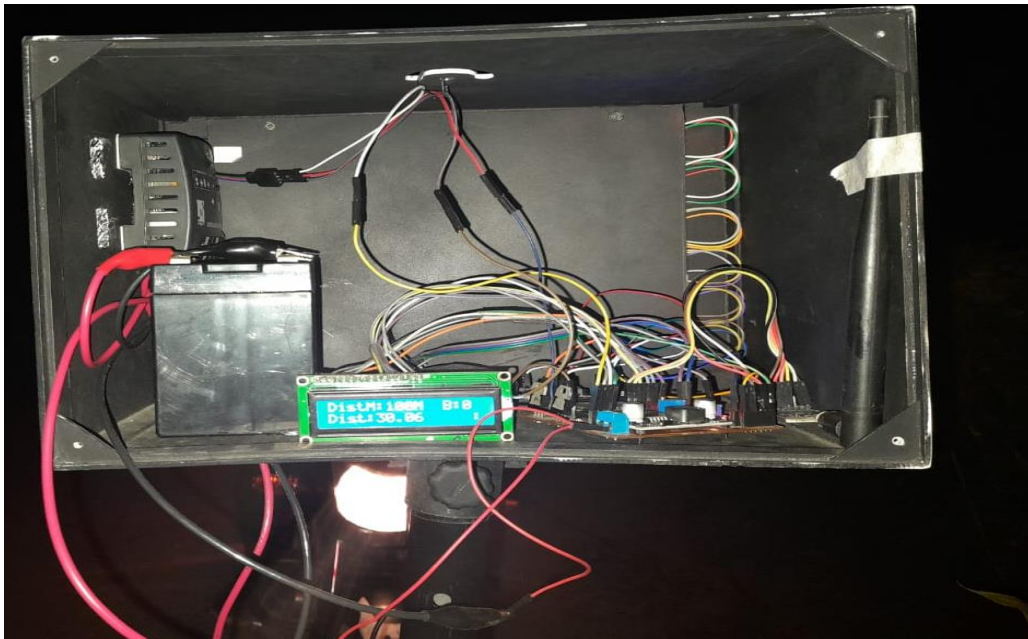


Figura 71. Prueba en ambiente controlado. Distancia medida (30 centímetros)

La tabla 21 da a conocer ventajas y desventajas de cada dispositivo al momento de ponerlos en funcionamiento, como también se describen las variables que lo afectaron. Teniendo en cuenta que la hoja técnica del fabricante de cada dispositivo suministra información como: temperatura de trabajo, resistente al polvo, resistente a humedad, resistente al agua.

Tabla 21 Resultado de pruebas de los sensores expuestos a la luz ambiente.

Sensor	Alcance de medición	Factores	Resultados
Sensor VL53L0	5 a 200 cm	<ul style="list-style-type: none"> - Es afectado por luz ambiente. - Partículas de polvo 	<ul style="list-style-type: none"> - El dispositivo durante las pruebas presento irregularidad en el sensado de automotores a partir de los 33.000 lumens, expuesto el sensor a luz led, halógena y ambiente. Debido a este factor se disminuye el rango de detección. Ver figura 57. - El dispositivo no cuenta con recubrimiento o materiales resistentes ante factores como polvo o lluvia.
Sensor HW-MS03	0 a 10 m	<ul style="list-style-type: none"> - No es afectado por luz, polvo, humedad, flujo de aire 	<ul style="list-style-type: none"> - El dispositivo en luz ambiente, luz led, luz halógena cumple con las características descritas, logrando resultados de detección de movimiento en el sensado. - El funcionamiento del dispositivo no logra detectar presencia luego de 10 segundos de haberse estacionado un automotor en el sitio de pare.
Sensor LM393	2 a 30 cm	<ul style="list-style-type: none"> - Poco alcance de medición. - El dispositivo es afectado por la humedad, polvo y agua. 	<ul style="list-style-type: none"> - El dispositivo en un espacio afectado por poca luz ambiente permie su activación y cumplimiento de funciones del prototipo en algunas secuencias. - En el momento que es expuesto a la luz ambiente el sensor activa la secuencia del prototipo, presentando problemas de detección, lo cual es debido al poco alcance de medición.
JSN-SR04	22 a 450 cm	<ul style="list-style-type: none"> - Precisión de medida bajo el tipo de luz en el cual se trabaja. - Bajo consumo de energía. - Resistencia al agua, polvo, humedad. - El exceso de luz ni la oscuridad afecta su funcionamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - El dispositivo cuenta con las características adecuadas como: precisión de medida al estar expuesto a altos niveles de lumens. no es afectado por otro factor externo, siendo este ideal para el desarrollo de pruebas en campo.

8.1 Análisis descriptivo

Durante el análisis comparativo de las tecnologías de detección, se logró integrar todos los elementos necesarios para poner en funcionamiento el Sistema Electrónico. Esto llevó a realizar pruebas para verificar su utilidad, donde se identificaron anomalías al utilizar el sensor VL53L0X el cual presentó alteraciones al ser expuesto a niveles altos de luminosidad. Por otro lado, el sensor de detección infrarrojo LM393 tuvo un alcance limitado, requiriendo que los automotores se acerquen a una distancia menor a 30 centímetros para obtener datos y registros.

En contraste, el sensor jsn-sr04 demostró un funcionamiento del 100% al detectar la presencia de automotores en las pruebas mencionadas. Sin embargo, es importante destacar que estas pruebas se llevaron a cabo en un ambiente controlado, para luego realizar una prueba final en la vía Morales - Piendamó Cauca, la cual estaba siendo intervenida civilmente.

El funcionamiento del prototipo en campo fue del 100%, donde se pudo visualizar el comportamiento del sistema a diferentes distancias de trabajo. Durante el desarrollo de esta prueba se tuvo en cuenta la posición del sensor, ya que este dispone de un cable y se puede extraer del prototipo para una mejor detección. Complementando el prototipo, se diseñó y se implementó un sistema energético fotovoltaico para alimentar el sistema electrónico en zonas donde no hay disposición una red eléctrica

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados anteriormente se logró evaluar y analizar el desempeño de trabajo de cada dispositivo en diferentes entornos, destacando también el sistema fotovoltaico, con el cual se logró mantener en funcionamiento el prototipo durante un período de 4 horas continuas. Esto permitió la comunicación a distancias largas sin línea de vista. Además, el sistema de detección, la programación implementada y las señales lumínicas permitieron que los conductores transitaran por el tramo habilitado. Esto demuestra que, a pesar de ser un prototipo, puede brindar un apoyo tecnológico en vías bidireccionales intervenidas que disponen de un solo carril para el tránsito de automotores.

9 CONCLUSIONES

Con el presente proyecto se dio cumplimiento al objetivo de comparar el desempeño de diferentes tecnologías para la detección de vehículos en el contexto de control de tráfico vehicular en vías intervenidas. Además de integrar dos áreas de la ingeniería como son la programación y el diseño electrónico, lo que facilitaron la implementación de un software de diseño asistido por computador para la elaboración de los bocetos en 3D, permitiendo así ahorrar tiempo y costos en la construcción de las estructuras contenedoras que dieron forma física y funcional al prototipo electrónico.

Los dispositivos de comunicación inalámbrica E32-915T20D incorporados en las dos partes del prototipo lograron tener comunicación a distancias entre las cuales rondaban los 100 y 520 metros, tramos en los cuales habilitaron un carril para realizar la obra civil. Mencionando que en esta zona donde se construyó dicha vía, el terreno no es plano y entre los dos dispositivos se interpuso vegetación, construcciones y diferentes elevaciones naturales de tierra.

Durante la etapa del desarrollo e implementación del proyecto, se pudo observar que la influencia de factores no controlables como la iluminación, tienen una atribución significativa con la precisión al momento de detectar automotores, como fue el caso del sensor VL53L0, quien se vio afectado por esta variable. Por otra parte, el sensor Lm393 presento una desventaja, la cual es el poco alcance de detección, sumándose a ello el sensor hw-ms03 quien detecto movimiento y no presencia. Finalmente se opta por el sensor jsn-sr04 quien desempeño un trabajo eficiente ante las circunstancias expuesto, con la finalidad de realizar una prueba en un ambiente real.

Adicional mente a lo propuesto en el trabajo se da validación al prototipo con una prueba en campo realizada en la vía nacional Morales – Piendamó, la cual se encontraba en mantenimiento por la empresa CASS Constructoras, quien estaba realizando trabajos bajo la licitación de proyectos viales asignados por INVIAS, esta labor se llevó a cabo a la altura del kilómetro 2 y 12. El arquetipo con el sensor jsn-rs04 incorporado logro detectar automotores ante la luz ambiente expuesto y ejecuto sus funciones de trabajo de (pare y siga)

con los tiempos de transición vehicular asignados, los cuales se establecen dependiendo del trayecto a intervenir en la calzada

Se diseñó y se implementó un sistema solar para suministrar corriente al prototipo por un lapso de 4 horas continuas de trabajo, además de ser portátil y fácil de transportar es amigable con el medio ambiente, resaltando que es de gran importancia dicho sistema ya que normalmente donde se realizan trabajos civiles en vías, los entes encargados de las obras no cuentan con una red eléctrica de fácil acceso para conectarse, por lo que muchas veces se ven obligados a acceder a una generadora de energía portátil.

10 TRABAJOS FUTUROS

- Diseñar y analizar el comportamiento de sensores tipo M-Wave u otra tecnología que permita reducir el error en la detección.
- Implementar un mejor sistema de señalización lumínica logrando una mejor visualización y disminución del consumo energético del prototipo.
- Integrar el sistema desarrollado a un sistema que recolecte datos para subirlos a una plataforma web y realizar análisis de flujo vehicular.
- Implementar una pantalla táctil que mejore la visualización y la interacción de la persona con el prototipo

11 REFERENCIAS

- [1] A. Bull, «Comisión Económica para América Latina y el Caribe,» Santiago de Chile, 2003.
- [2] J. E. Gil "Ejecucion de infraestructura vial". Intituto Naciona de Vias. <https://www.invias.gov.co/index.php/sala/noticias/4050-en-2020-invias-reactivo-la-economia-regional-con-inversiones-por-2-46-billones-ejecutadas-en-infraestructura-vial-y-fluvial> VIAS PUBLICAS. (Acceso 11, 10, 2021).
- [3] G. Simon. “LA DINÁMICA DE CRECIMIENTO DE LAS AGLOMERACIONES GENERA RETOS DE ORDENAMIENTO URBANO-REGIONAL”. Departamento Nacional de Planeacion. <https://camacol.co/sites/default/files/SIMON%20GAVIRIA%20Congreso.pdf> (Acceso 06, 09, 2021).
- [4] J. Suarez. “Estabilidad Sísmica De Taludes”. GEOTECNOLOGIA. <https://www.erosion.com.co/download/mod-a-efectos-sismicos-sobre-los-taludes-2/> (Acceso: 25, 5, 2021).
- [5] J. M. Garzon Iral, E. V. Palacio, J. A. Muñoz Cossio, “EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y CONSECUENCIAS POR DESLIZAMIENTO EN LA CONEXIÓN VIAL ABURRÁ - RÍO CAUCA ENTRE LAS ABSCISAS KM 04+000 Y KM 39+000”, Especialización, Antioquia, Universidad de Medellín, Medellín, Colombia, 2012. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11407/254>
- [6] FOVIAL. “Manual De Seguridad Vial”. Fondo De Conservación Vial. <https://www.transparencia.gob.sv/institutions/fovial/documents/258984> (Acceso 09, 06, 2021).
- [7] ANSV. “Histórico de víctimas”. Agencia Nacional de Seguridad Vial, <https://ansv.gov.co/observatorio/estadísticas> (Acceso 30, 10, 2021).
- [8] S. Transitoria, “Capítulo 5 señalización transitoria y medidas de seguridad para trabajos en la vía”, Manual de señalización vial, vol. 1, N°. 1, pp. 5-80, agosto 2015. [En línea]. Disponible en: https://www.conaset.cl/manualsenalizacion/document/capitulo5_SenalizacionTransitoria.pdf f. [Acceso 11, 2020].

- [9] D. A. Gómez Lara, “Arquitectura IoT para la Prestación del Servicio de SemafORIZACIÓN Inteligente en Bogotá”, Trabajo de grado, Cundinamarca, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10983/23709>
- [10] J. M. Santos, G. V. Lleras, E. J. Nates, P. A. Barcena, C. A. Sarabia, A. L. Ospina, G. A. Rodríguez, J. A. López, N. Gómez, C. Bustamante, J. Ortiz, N. Blanco, V. Guerrero, M. Pineda, J. Bastidas, L. Bohórquez, R. Monroy, M. Plazas, «Ministerio de Transporte,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.mintransporte.gov.co/documentos/29/manuales-de-senalizacion-vial/>. [Último acceso: 7, 20, 2020].
- [11] A. B & J. Herrera Julio, «Sistema de Detección de Tránsito Vehicular» INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE, [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/11117/5548> [Último Acceso 01, 06, 23].
- [12] A. K, F. B, O. B, Y. Z, L. M, & S. Belkouch, «Real-time parallel implementation of road traffic radar video processing algorithms on a parallel architecture based on DSP and ARM processors», 2015, pp. 183–188
- [13] A. López Mateo, «Sistema de proximidad ultrasónico», Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. vol. 1. 2010.
- [14] M. González, «Sensores en los sistemas de seguridad del automóvil», Grado en Ingeniería Mecánica. Valladolid.,” p. 89, 2019.
- [15] J. R. Q. González, «Del concepto de Ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible», Pontificia Universidad Javeriana, 30 junio 2017. [En línea]. Available: <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/ambienteydesarrollo/article/view/19999>
- [16] Dointech, «dointech,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.dointech.com.co/control-acceso-vehicular.html>. [Ultimo acceso: 3, 07, 22].
- [17] INVIAS, “Manual de señalización vial 2015”. Instituto Nacional de Invias. <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3825-manual-de-senalizacion-vial-2015> [Ultimo acceso: 08, 05, 2021].
- [18] G. Fernández Amador, «Sensores Magnéticos e Inductivos», 2005, pp. 43–127
- [19] N. González, «Sensores fotoeléctricos», Autonics Sensors Control, 2013, pp. 29-51
- [20] S. C. Transporte, “MANUAL DE SEÑALIZACIÓN VIAL Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD”. Sub secretaria de infraestructura. <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/NUEVO->

SENALAMIENTO/manualSenalamientoVialDispositivosSeguridad.pdf (acceso: 08, 05, 2021).

[21] M. F. R. M. María Violeta Bances Santamaría, «Semáforos Inteligentes Para la Regulación del Tráfico Vehicular,» Ciencia, Tecnología e Innovación, vol. 1, n° 1, p. 45, 2014.

[22] F. E. C. P. and J. C. Lobo Laverde, «ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA FUTURA IMPLEMENTACIÓN DE SEMÁFOROS SOLARES PORTABLES, PARA OPTIMIZAR EL CONTROL DEL FLUJO VEHICULAR EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ,» Institución Universitaria Esumer, [En línea]. Available:

https://repositorio.esumer.edu.co/bitstream/esumer/1043/2/Esumer_semaforos.pdf. [Último acceso: 23, 4, 14].

[23] J. D. CHAVEZ MASS, «Semáforos inteligentes por medio de aprendizaje por refuerzo,» Universidad De Los Andes, [En línea]. Available: <https://repositorio.uniandes.edu.co/lexpaper/handle/1992/64455/ProyectoDeGrado.pdf?sequence=3&isAllowed=y#page=1>. [Último acceso: 23, 4, 14].

[24] J. A. LAMEGO CASTRO, “DESARROLLO DE UN SISTEMA INTELIGENTE DE CONTROL DE TRÁFICO CON SOFTWARE DE CÓDIGO ABIERTO EN SISTEMAS EMBEBIDOS”, Trabajo de grado, Jalisco, CIATEQ, México, 2017. [En Línea]. Disponible en:

<https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/91/1/LamegoCastroJoseA%20MSIM%202017.pdf>

[25] A. Bull, Congestión de tránsito el problema y como enfrentarlo, 1ª ed. Santiago de Chile: (GTZ) GmbH, 2003. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/27813/S0301049_es.pdf?sequence=6&isAllowed=y

[26] D. E. L. Tráfico, D. E. U. N. Corredor, V. Semaforizado, and M. Jiménez, “SISTEMA ADAPTATIVO DE CONTROL Y OPTIMIZACIÓN APLICACIÓN A LA CIUDAD DE MEDELLÍN ADAPTIVE CONTROL SYSTEM AND OPTIMIZATION OF ROAD TRAFFIC IN A SIGNALIZEDCORRIDOR APPLICATION TO THE CITY OF MEDELLIN,» pp. 71–78, 2011.

- [27] R. Murrieta, G. Ruiz, C. Poon «MANUAL DE SEÑALIZACIÓN VIAL Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD 2014», México, 2014.
- [28] L. E. and H. G. and L. Escobar Rojas, Manual para el mantenimiento de carreteras, Bogotá D.C, 2010.
- [29] L. G. C. R. and G. S. A. J. and Mares Carreño, «Sensores y actuadores,» Instituto politécnico Nacional, [En línea]. Available: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=wMm3BgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=sensores&ots=6O9kdD631v&sig=a2G_6wZhzAdMncOr2aGOj7vN1Jk#v=onepage&q=sensores&f=false. [Último acceso: 23 4 18].
- [30] J. A. R. and H. H. Mazzeo, «Sistemas de Redes de Sensores Inalámbricos,» Universidad Tecnológica Nacional (CODAPLI), [En línea]. Available: <https://adut.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2021/02/Sistemas-de-Redes-de-Sensores-Inalambricos.docx.pdf>. [Último acceso: 23, 4, 14].
- [31] D. Mora, M. De Simone & M. Chen Austin, «Tecnologías para la detección de ocupación en edificios», abr. 2020. vol. 11, n.º 1, pp. 17-22 <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/2530>.
- [32] J. Colomer, «Estudio de los sensores para la detección de obstáculos aplicables a robots» Universitat Oberta de Catalunya móviles Jun-2018 [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10609/80846>, [Ultimo Acceso 03, 06, 23].
- [33] B. Josep, «Introducción a los sistemas de comunicación inalámbricos,» de Tecnología y desarrollo en dispositivos móviles, Barcelona, Eureka Media, SL, 2018, pp. 5-23.
- [34] A. M. S. and A. B. A. and S. F. Paula, «DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA UNA VIVIENDA SUSTENTABLE DE INTERES RURAL,» Girardot, 2018.
- [35] Microchip, «Microchip,» 2009. [En línea]. Available: <https://www.microchip.com/>. [Último acceso: 7, 10, 2019].
- [36] Ebyte, «Chengdu Ebyte Electronic Technology Co,» [En línea]. Available: <https://www.ebyte.com/en/product-view-news.html?id=131>. [Último acceso: 7, 10, 2019].
- [37] DIGI, «Digi International Acquires Haxiot,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/pdfs/90000982.pdf>. [Último acceso: 7, 10, 2019].

- [38] R. Didactica, «robodacta,» [En línea]. Available: <http://store.robodacta.mx/Material/RFMODULOS433MHZ001.pdf>. [Último acceso: 7, 10, 2019].
- [39] S. Electronics, «Digi-Key Electronics,» [En línea]. Available: https://www.digikey.com/es/products/detail/SEN-15569/1568-SEN-15569-ND/10384560?utm_campaign=buynow&utm_medium=aggregator&curr=usd&utm_source=octopart. [Último acceso: 7, 10, 2019].
- [40] tinkbox, «rhydolabz embedding intelligence,» [En línea]. Available: <https://www.rhydolabz.com/documents/27/E18-D80NK.pdf>. [Último acceso: 7, 10, 2019].
- [41] Velleman, «velleman,» [En línea]. Available: <https://www.velleman.eu/support/downloads/?code=PEM10D>. [Último acceso: 7, 10, 2019].
- [42] X. A. D. CO, «SparkFun Electronics,» [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/ADM1602K-NSW-FBS-3.3v.pdf>. [Último acceso: 7, 10, 2019].
- [43] Hitachi, «SparkFun Electronics,» [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf>. [Último acceso: 7 10 2019].
- [44] LEDBOX, «LEDBOX,» [En línea]. Available: <https://www.ledbox.es/iluminacion-led/tiras-de-led>. [Último acceso: 7, 10, 2019].
- [45] V. energy, «victron energy blue power,» [En línea]. Available: <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-BlueSolar-Monocrystalline-Panels-ES.pdf>. [Último acceso: 7, 10, 2019].
- [46] Victronenergy, «victron energy blue power,» [En línea]. Available: <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-BlueSolar-Polycrystalline-Panels-ES.pdf>. [Último acceso: 7, 10, 2019].
- [47] «ASC ELECTRONICA S.A,» [En línea]. Available: <https://magomelectronica.com/asc/empresa/>. [Último acceso: 20, 09, 2019].
- [48] «COMPEL S.A,» [En línea]. Available: <https://www.compelelectronica.com/product/bateria-recargable-12v-5ah-magna-es5-12mg/>. [Último acceso: 10, 10, 2020].
- [49] A. C. J. A. C. L. M. Henry, «Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia,» INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS

AMBIENTALES, [En línea]. Available:
<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>. [Último acceso: 21 3 30].

[50] Autodesk, «Autodesk,» [En línea]. Available: <http://eagle.autodesk.com/eagle/software-versions/5>. [Último acceso: 4, 02, 2020].

12 ANEXOS

1. Diagramas de flujo maestro – esclavo.

El diagrama de flujo elaborado se realizó con la herramienta Visio Ilustración 1 e Ilustración 2, el cual representa el proceso que realiza el prototipo mediante la programación maestro, a continuación, se nombran las variables usadas por el diagrama.

- 1- M1: Metros
- 2- R1: Reposo
- 3- A1: Activo
- 4- T1: Transición
- 5- TA1: Tiempo activo
- 6- S1: Sensor 1
- 7- S2: Sensor 2
- 8- P1: Pulsador 1
- 9- P2: Pulsador 2
- 10- Ec1: Estado circuito 1
- 11- Ec2: Estado circuito 2
- 12- T.T1: Tiempo transición
- 13- TE1: Tiempo espera

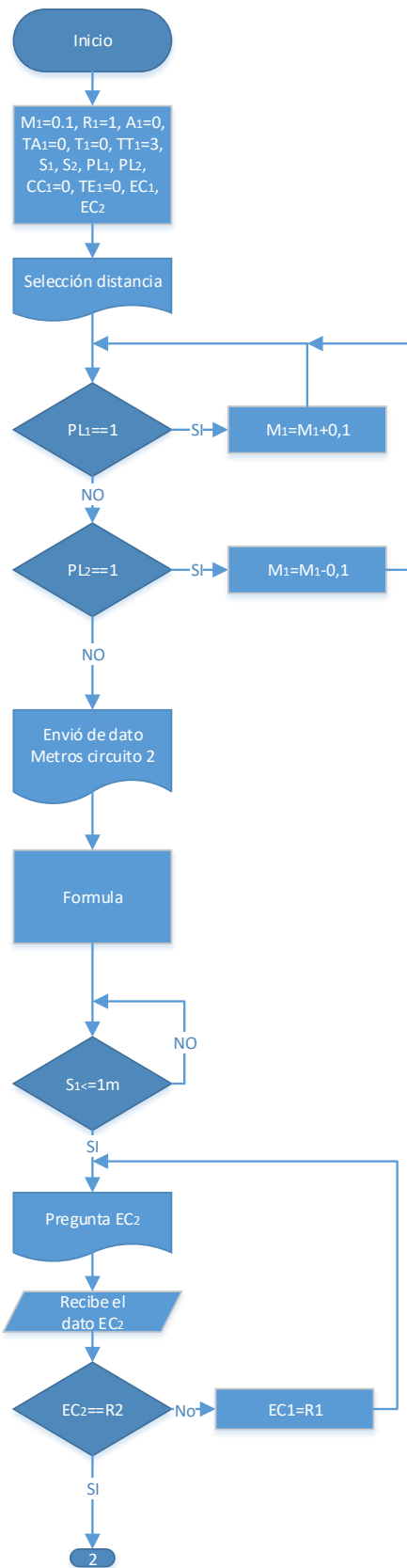


Ilustración 1 diagrama de flujo maestro parte 1

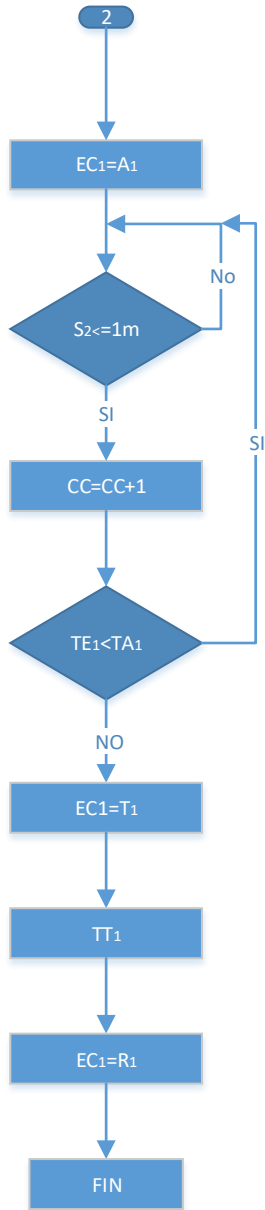


Ilustración 2 diagrama de flujo maestro parte 2

Las Ilustración 3 e Ilustración 4 representan el proceso que realiza el prototipo mediante la programación esclavo, a continuación, se presentan las variables usadas por el diagrama.

- 1- M2: Metros
- 2- R2: Reposo
- 3- A2: Activo
- 4- T2: Transición
- 5- TA2: Tiempo activo
- 6- S3: Sensor 2
- 7- S4: Sensor 3
- 8- Ec1: Estado circuito 1
- 9- Ec2: Estado circuito 2
- 10-T.T2: Tiempo transición
- 11- TE2: Tiempo espera

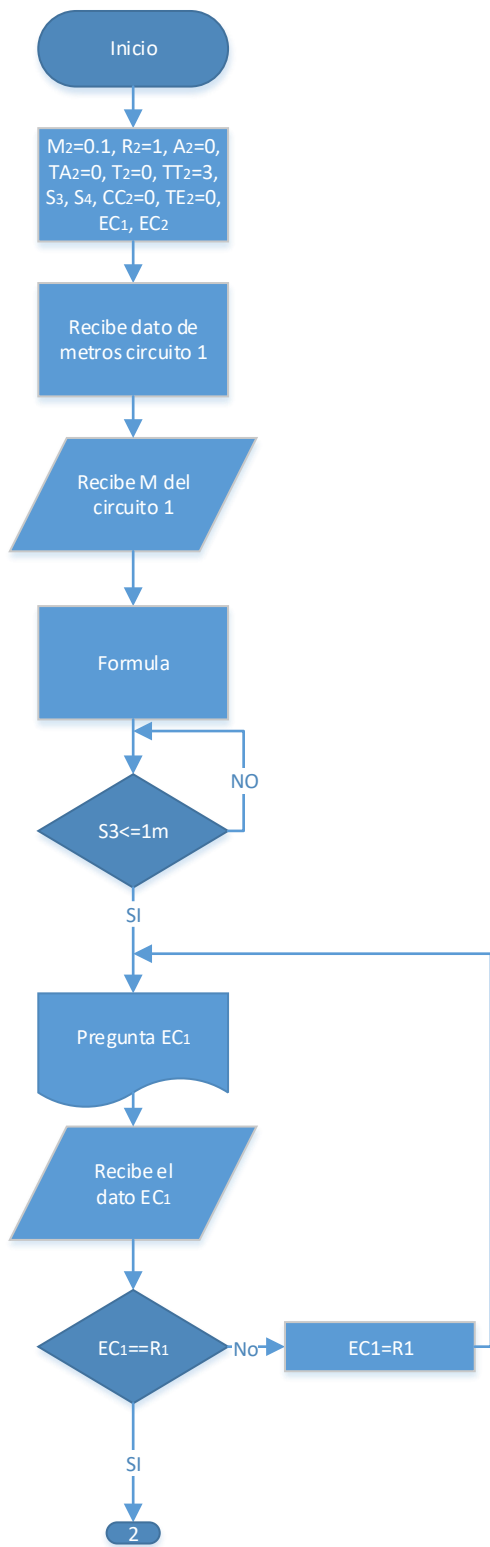


Ilustración 3 diagrama de flujo esclavo parte 1

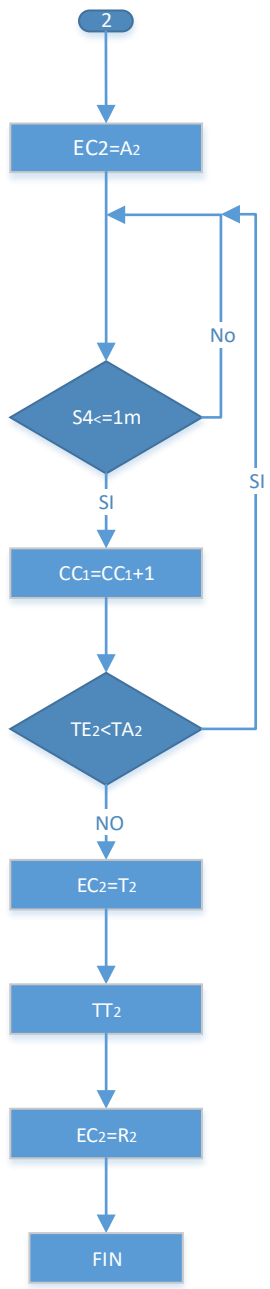


Ilustración 4 diagrama de flujo esclavo parte 2