



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Dispositivo de regulación del tráfico para optimizar el
tránsito en intersecciones

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Mecatrónica

AUTOR/A: Iza Guamán, Cristian Fabricio

Tutor/a: Poza Luján, José Luis

Director/a Experimental: URIBE CHAVERT, PEDRO

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

Resumen

La polución, consecuencia del transporte en ciudades es un problema cuyas soluciones pueden ir desde la reducción de vehículos en movimiento por medio de políticas de movilidad, hasta la optimización de trayectos en vehículos. Este segundo aspecto es importante en tanto en cuanto es inevitable la circulación de vehículos de transporte público y de emergencias, incluso en el caso de que no hubiera vehículos privados. Además, las vías públicas son ocupadas por alternativas más sostenibles, desde peatones, pasando por bicicletas o patinetes. La optimización de los trayectos de los vehículos pasa por una buena planificación del recorrido, este aspecto pertenece a la Inteligencia Artificial. Sin embargo, el recorrido de peatones, bicicletas, patinetes, o vehículos de emergencia, es poco predecible.

Esto hace que las intersecciones de vías sean los puntos donde se generan colas que alargan el tiempo de los vehículos a motor y, consiguientemente, la generación de gases nocivos. Para regular las intersecciones, se debe conocer previamente qué vehículos pueden acceder a dichas intersecciones para poder facilitar el acceso. Además, es importante conocer las colas de espera para así poder minimizar la permanencia en ellas y poder minimizar el tiempo que un vehículo permanece detenido. Los dispositivos de regulación de cruces, semáforos, funcionan actualmente como señales fijas que no proporcionan información adicional, como por ejemplo el tiempo que el semáforo va a estar abierto, lo que permitiría conocer a un vehículo de emergencia que puede acceder a una intersección sin detenerse.

Para ello, se propone estudiar, diseñar e implementar semáforos que puedan dar información enriquecida acerca de los tiempos, y permitir paso de vehículos de emergencia. Esto implica poder comunicar semáforos entre ellos y variar el diseño actual. El objetivo de este trabajo es diseñar un dispositivo que permita gestionar el tráfico con las funcionalidades habituales de los semáforos, pero proporcionando información adicional que permita optimizar el tráfico

Palabras clave: Tráfico; dispositivo de control; semáforo; control inteligente

Abstract

Pollution, a consequence of transport in cities, is a problem whose solutions can range from reducing moving vehicles through mobility policies, to optimizing vehicle journeys. This second aspect is important insofar as the circulation of public transport and emergency vehicles is unavoidable, even in the event that there are no private vehicles. In addition, public roads are occupied by more sustainable alternatives, from pedestrians, through bicycles or scooters. The optimization of the routes of the vehicles goes through a good planning of the route, this aspect belongs to Artificial Intelligence. However, the route of pedestrians, bicycles, scooters, or emergency vehicles is not very predictable.

This means that road intersections are the points where queues are generated that lengthen the time of motor vehicles and, consequently, the generation of harmful gases. In order to regulate intersections, it must be previously known which vehicles can access said intersections in order to facilitate access. In addition, it is important to know the waiting queues in order to minimize the stay in them and to minimize the time that a vehicle remains stopped. The regulation devices for crossings, traffic lights, currently work as fixed signals that do not provide additional information, such as the time that the traffic light will be open, which would allow an emergency vehicle to know that it can access an intersection without stopping.

For this, it is proposed to study, design and implement traffic lights that can give rich information about the times, and allow the passage of emergency vehicles. This implies being able to communicate semaphores between them and vary the current design. The objective of this work is to design a device that allows traffic management with the usual functions of traffic lights, but providing additional information that allows optimizing traffic.

Keywords: Traffic; control device; traffic light; intelligent control.

Agradecimientos

Agradezco a mi Madre y a mi Padre por el gran apoyo brindando durante mi formación, a mis hermanos Joana y David por los buenos deseos y apoyo brindado, a mis abuelitos Manuel y Leonor por sus consejos y su gran sabiduría, En especial a mi tutor José Luis Poza Lujan por brindarme sus conocimientos y formar parte del desarrollo de este proyecto, gracias a su colaboración se ha podido sacar adelante este trabajo de buena manera, también a mi cotutor de tesis Pedro Uribe Chavert por el tiempo dedicado a este proyecto para proyectarlo de buena manera. Agradezco a mis amigos y demás familiares que me brindaron sus consejos y apoyo de manera directa e indirecta para culminar con esta etapa de mi vida estudiantil, a todos muchas Gracias.

Índice general

Resumen	1
Abstract	2
Agradecimientos	3
1. Introducción	10
2. Objeto del proyecto	11
3. Antecedentes.....	12
4. Descripción de la situación actual	13
4.1. Sistemas de regulación de tráfico.....	13
4.2. Sistemas actuales	14
4.2.1. Sistemas de semaforización.....	15
4.2.2. Sistema de detección de matriculas	16
4.2.3. Sistema de control de velocidad	17
4.2.4. Sistema de cámaras de tráfico	18
4.2.5. Sistemas de peajes de congestión	19
4.3. Tendencias.....	20
4.3.1. Semáforo de acera de Interlaight	21
4.3.2. Semáforo inteligente de la Empresa Telvet	22
4.3.3. La tecnología de semáforos de Ford	23
4.3.4. Semáforos inteligentes del Instituto Fraunhofer de Optrónica,.....	24
Tecnologías de Sistemas y Explotación de Imágenes (IOSB).....	25
4.3.5. Semáforos inteligentes de Now Wireless.....	26
4.4. Análisis comparativo entre sistemas actuales y tendencias	26
4.5. Síntesis	27
4.5.1. Características deseables.....	27
4.5.2. Aproximación a los requisitos del sistema (arquitectura)	27
5. Definiciones y abreviaturas	28
5.1. Definiciones.....	28
5.2. Abreviaturas.....	29
6. Especificacion	30
6.1. Objetivos del Diseño	31
6.2. Diseño Mecanico.....	32
6.2.1. Requerimientos Específicos del diseño Mecánico.....	33
6.2.2. Requerimientos de software para el diseño Mecánico.....	34
6.3. Diseño Electrónico.....	35
6.3.1. Requerimientos de Hardware	36
6.3.2. Requerimientos de Software.....	36
6.4. Diseño de Control.....	36
6.4.1. Requerimientos de Software.....	37
6.5. Funciones y características del sistema.....	37
7. Alcance	38
7.1. Diseño Mecanico.....	38
7.2. Diseño Electronico	39

7.3.	Diseño de Control.....	39
8.	Restricciones y Limitaciones.....	40
9.	Alternativa y Vialidad.....	40
9.1	Vialidad en el diseño.....	40
9.2	Vialidad en regulaciones de trafico	40
9.3	Vialidad en seguridad.....	41
9.4	Vialidad en compatibilidad tecnologica.....	42
10.	Descripcion de la solucion propuesta.....	43
10.1	Diseño Mecanico.....	43
10.2	Diseño Electronico.....	43
10.3	Diseño de Control.....	44
11.	Analisis de Riesgos	45
12.	Planificacion Temporal.....	45
	Anexo A	46
1.	Implementación del Diseño Mecanico	46
1.1	Selección de software de Diseño.....	46
1.2	Diseño de Modulos	46
1.2.1	Módulo de control.....	46
1.2.2	Módulo del Pilar.....	47
1.2.3	Módulo de la Señalética	48
1.2.4	Módulo del semáforo de peatones.....	51
1.2.5	Ensamble.....	52
1.2.3.	Resumen	54
2.	Implementación del diseño electrónico	57
2.1.	Selección de componentes Hardware	59
2.2.	Módulo señalética.....	58
2.3.	Módulo del semáforo de vehículos.....	58
2.4.	Módulo del semáforo de Peatones.....	58
2.5	Módulo Botonera	58
2.6.	Módulo de control	59
3.	Implementación del diseño de Control.....	57
3.1.	Selección de software de diseño	61
3.2	Diseño en Proteus.....	62
3.3	Diseño del módulo de control.....	62
3.4	Diseño del módulo de vehículos.....	63
3.5	Diseño del módulo señalética.....	64
3.6	Diseño del módulo de peatones.....	65
3.7	Diseño del módulo pulsador	66
3.8.	Comunicación entre módulos.....	65
	Anexo B	72
2.	Resultados.....	73
2.1	Verificacion de los componentes.....	75
2.2	Verificacion de la comunicacion	77
2.3	Simulacion del flujo Vehicular	80
2.4	Funcionamiento Normal	81
2.5	Funcionamiento Semaforo Inteligente.....	82
2.5	Simulacion mensaje de emergencia	83

Anexo C	84
Anexo D	87
Anexo E.....	89
Pliego de condiciones.....	90
Presupuesto.....	93
Conclusiones	95
Trabajos Futuros	96
Bibliografía	97

Índice de figuras

Figura 1: Sistemas actuales	14
Figura 2: Semaforización actual	15
Figura 3: Sistema de detección de matriculas	16
Figura 4: Sistema de control de velocidades.....	17
Figura 5: Sistemas de cámaras de tráfico	18
Figura 6: Sistemas de peajes de congestión	19
Figura 7: Semáforo de acera de Interlight.....	20
Figura 8: Semáforos inteligentes Telvent.....	21
Figura 9: Diseño Semáforos de Ford.....	22
Figura 10: Semáforos inteligentes de IOSB.....	23
Figura 11: Semáforos de Now Wireless.	24
Figura 12: Aproximación a los requisitos del sistema	27
Figura 13: Alcance.....	34
Figura 14: Alcance Diseño Electrónico.....	35
Figura 15: Alcance Diseño de Control.....	36
Figura 16: Alcance General del dispositivo.....	36
Figura 17: Restricciones y limitaciones generales.....	37
Figura 18: Estándares y regulaciones de tráfico.	39
Figura 19: Solución Diseño mecánico.	41
Figura 20: Solución Diseño electrónico.....	42
Figura 21: Solución Diseño de control.....	43
Figura 22: Diseño del módulo de control	47
Figura 23: Módulo del pilar.....	47
Figura 24: Módulo del semáforo de vehículos.....	48
Figura 25: Módulo señalética.	48
Figura 26: Sistema piñón cremallera y soportes.....	49
Figura 27: Sistema piñón y soportes.....	49
Figura 28: Ensamblaje Modulo Señalética	50
Figura 29: Ensamble del módulo vehículos y señalética.....	50
Figura 30: Estabilizadores y sistema de engranajes.....	51
Figura 31: Sistema de engranajes ensamblado.....	51
Figura 32: Módulo del semáforo de peatones.	52
Figura 33: Módulo Pulsador.....	52
Figura 34: Ensamblaje final.....	53
Figura 35: Resumen del diseño en SolidWorks	54
Figura 36: Propiedades del sistema piñón cremallera	55
Figura 37: Propiedades del sistema de engranajes rectos	55
Figura 38: Componentes del sistema electrónico.....	61
Figura 39: Diseño del módulo de control.	62
Figura 40: Diseño del Módulo semáforo de vehículos.	63
Figura 41: Diseño del módulo señalética.....	64
Figura 42: Diseño del Módulo semáforo de peatones.....	65
Figura 43: Configuración del módulo pulsador	66
Figura 44: Diseño del flujo de tráfico.	66
Figura 45: Configuración de un maestro y dos esclavos	67
Figura 46: Configuración del Módulo Ln298n.....	68
Figura 47: Diagrama de Estados del módulo pulsador.....	69
Figura 48: Diagrama de Estados y código del módulo pulsador.....	70

Figura 49: Diagrama de Estados del módulo de semáforo de vehículos.....	71
Figura 50: Configuraciones Maestro Esclavo.....	72
Figura 51: Diagrama de Estados del módulo de semáforo de peatones.....	72
Figura 52: Diseño de figuras para el panel de leds.....	73
Figura 53: Diagrama de Estados del módulo señalética.....	73
Figura 54: Control de Motores mediante Arduino.....	74
Figura 55: Diagrama de Estados del módulo de control.....	75
Figura 56: Direcciones de los esclavos.....	75
Figura 57: Configuraciones del Maestro.....	76
Figura 58: Interfaz Remote XY.....	76
Figura 59: Configuración del esclavo y pines.....	78
Figura 60: Programación de colores y figuras.....	78
Figura 61: Proyección de imágenes en los paneles.....	79
Figura 62: Configuración inalámbrica wifi.....	82
Figura 63: Implementacion fisica del modulo semaforo de vehiculos.....	88
Figura 64: Implementacion del modulo semaforo de peatones.....	88
Figura 65: Implementacion del modulo señaletica.....	88
Figura 66: Implementacion del modulo flujo vehicular.....	89
Figura 67: Implementacion del modulo pulsador.....	89
Figura 68: Implementacion del modulo de control.....	90
Figura 69: Ensamblaje final.....	90

Índice de tablas

Tabla 1: Sistemas actuales y tendencias	25
Tabla 2: Abreviaturas	29
Tabla 3: Especificacion.....	30
Tabla 4: Analisis de riesgos	44
Tabla 5: Planificacion temporal.....	45
Tabla 6: Análisis comparativo de los programas de diseño.....	46
Tabla 7: Lista de Microcontroladores	59
Tabla 8: Lista de Motores	59
Tabla 9: Lista de controladores	61
Tabla 10: Lista de modulos.....	69
Tabla 11: Resumen de componentes.....	61
Tabla 12: programas para diseño electronico.....	69
Tabla 13: softwares de control	71
Tabla 14: Valores de los Tiempos para el módulo de vehículos	74
Tabla 15: Valores de los tiempos para el módulo señalética.....	79
Tabla 16: Comunicación Maestro - Esclavo	80
Tabla 17: Simulación del flujo vehicular	80
Tabla 18: Funcionamiento de los Módulos	81
Tabla 19: Funcionamiento modulo señalética.....	81
Tabla 20: Funcionamiento del semaforo inteligente	82
Tabla 21: Semáforo inteligente con un flujo mayor de trafico.....	82
Tabla 22: Simulación de paso de vehículo de emergencia.	83
Tabla 23: Resumen General del Funcionamiento	83
Tabla 24: Resumen del Funcionamiento de los componentes.....	83
Tabla 25: Costos Hardware	93
Tabla 26: Costos Mano de obra.....	93
Tabla 27: Costo total.....	94

CAPITULO 1

1. Introducción

En la actualidad, la gestión eficiente del tráfico en las ciudades es un desafío importante. La circulación de vehículos y el flujo de peatones deben ser regulados de manera óptima para garantizar la seguridad, la eficiencia y minimizar los tiempos de espera. Los semáforos desempeñan un papel crucial en esta tarea, pero los sistemas convencionales de control de semáforos basados en intervalos de tiempo fijo no siempre logran adaptarse a las necesidades específicas del tráfico en tiempo real. Mediante esto surge la idea de desarrollar un dispositivo de control de tráfico inteligente que permita gestionar de una forma más colaborativa y eficiente el tránsito en intersecciones. El objetivo es crear un sistema en el cual los semáforos puedan desarrollar una arquitectura distribuida, con la inclusión de señales de tráfico y compartir información sobre la demanda de vehículos y peatones en tiempo real. [1]

Mediante este tipo de diseño se puede tomar decisiones informadas y ajustar los tiempos de servicio de los semáforos de manera dinámica y adaptativa. El alcance de este proyecto en mecatrónica es explorar y diseñar esta arquitectura distribuida de dispositivos inteligentes. Se busca evaluar la demanda del tráfico y tomar decisiones óptimas para optimizar los tiempos de espera tanto para vehículos como para peatones, así como permitir el paso acelerado de vehículos de emergencia y mostrar diferentes señales al tráfico generando así capacitación vial tanto para peatones como para conductores. Con el desarrollo de este sistema, se espera obtener así a una movilidad más sostenible y eficiente en nuestras ciudades.

Además, esta arquitectura distribuida podría aprovechar la tecnología de asistencia a la movilidad, como los dispositivos móviles y las aplicaciones de navegación, para proporcionar información en tiempo real sobre los tiempos de espera en los semáforos cercanos. Esto permitiría a los usuarios planificar sus rutas de manera más eficiente, evitando demoras innecesarias y contribuyendo a una mejor experiencia de movilidad en general. Al permitir una comunicación bidireccional entre los semáforos y los dispositivos de los peatones, se pueden implementar funciones adicionales, como la detección de peatones en tiempo real y la adaptación de los tiempos de cruce de las intersecciones.

Esto garantizaría una mayor seguridad para los peatones al cruzar calles y avenidas, especialmente en áreas con alta afluencia de personas o en momentos de mayor demanda, como durante las horas pico o en zonas escolares. Este enfoque innovador y prometedor para la gestión del tráfico urbano aprovecha las ventajas de la tecnología inteligente y la comunicación entre dispositivos. El objetivo es contribuir al desarrollo de ciudades más inteligentes y eficientes, donde la movilidad sea fluida y sostenible para beneficio de todos los ciudadanos. Con este proyecto, se pretende sentar las bases para una gestión del tráfico más adaptativa y colaborativa, utilizando la mecatrónica como herramienta para abordar los desafíos de movilidad en el entorno urbano. [1]

CAPITULO 2

2. Objetivos

El principal objetivo de este proyecto es la implementación de un Dispositivo de regulación del tráfico para optimizar el tránsito en intersecciones, que se logra gracias a la incorporación y desarrollo de los siguientes objetivos específicos.

Objetivo 1: Estudiar los sistemas de control de tráfico que existen en la actualidad, las tendencias futuristas y análisis exhaustivo de sus características, beneficios y limitaciones.

Objetivo 2: Establecer los requerimientos necesarios para el diseño del sistema propuesto, basándose en la evaluación previa realizada.

Objetivo 3: Investigar y estudiar de manera minuciosa los distintos módulos y componentes que formarán parte del dispositivo, para así asegurar la conformidad con los requerimientos establecidos.

Objetivo 4: Elaborar un diseño mecánico propio para los elementos del sistema, para que logre adaptarse al tema en estudio y que sea factible su implementación.

Objetivo 5: Realizar un análisis detallado de la arquitectura del sistema, definiendo los protocolos de comunicación entre los módulos, entre dispositivos y sus características.

Objetivo 6: Implementar algoritmos de control inteligente teniendo en cuenta factores como el flujo vehicular, la demanda de peatones, así como la detección de vehículos de emergencia.

Objetivo 7: Desarrollar y diseñar el sistema electrónico para los módulos, garantizando un correcto funcionamiento, conectividad y escalabilidad.

Objetivo 8: Realizar pruebas de validación del dispositivo después de la implementación para verificar su funcionamiento.

CAPITULO 3

3. Antecedentes

El movimiento de personas y bienes es una realidad fundamental en la vida humana. A lo largo de la historia, el tráfico vehicular ha sido un fenómeno que trasciende fronteras, con implicaciones sociales, históricas, económicas y legales. A medida que los vehículos motorizados fueron introducidos a finales del siglo XIX, surgió la necesidad de establecer una estructura nacional encargada de supervisar la construcción, mantenimiento y regulación de carreteras y vehículos para garantizar un transporte terrestre seguro y eficiente. Sin embargo, a medida que los vehículos han evolucionado, también han surgido nuevos desafíos y peligros, los accidentes de tráfico se han convertido en la principal causa de muerte en muchas ciudades de todo el mundo, y en la gran mayoría de los casos, la responsabilidad recae en los conductores y no en los vehículos en sí.

En el año 1900, en España se aprobaron las Normas Nacionales para la Conducción de Automóviles en Carretera, una regulación que establecía requisitos como la obligatoriedad de contar con bocinas, faros, intermitentes y dos sistemas de frenos para circular por carretera. En 1908, se llevó a cabo el Congreso Internacional del Automóvil en Roma, donde se establecieron los principales estándares de señalización vial. En 1909, nueve países europeos se unieron para desarrollar cuatro símbolos como estándares. En el año 1923, se introdujeron los primeros semáforos. Garrett Morgan diseñó un sistema de control y regulación del tráfico de forma manual. [15]

Dos años más tarde, General Electric adquirió la patente y desarrolló el semáforo que se conoce en la actualidad, con el objetivo de abordar los problemas generados por los accidentes viales. En 1968, se llevó a cabo la Convención de Viena, la cual resultó en la firma del Tratado de Circulación Vial, el propósito de la reunión fue unificar las normas de circulación, agilizar el tráfico y mejorar la seguridad vial. Como resultado, se logró la unificación de las reglas de circulación en Europa Occidental y el modelo sigue en vigencia en todos los países de Europa y en algunas partes de Asia y África. Finalmente, en los años 2000, se desarrollaron los sistemas de transporte inteligentes (ITS, por sus siglas en inglés), que utilizan tecnologías de comunicación e información para mejorar la eficiencia y la seguridad del tráfico vehicular.

Estos avances tecnológicos han permitido implementar soluciones innovadoras que optimizan el flujo de vehículos y contribuyen a reducir los riesgos en las vías. A pesar de los avances tecnológicos significativos, la construcción de nuevas infraestructuras o la expansión de las existentes no siempre resulta ser la opción óptima, debido a los altos costos asociados a estas actividades, así como los gastos continuos de mantenimiento posterior. A lo largo de la historia de la humanidad, la regulación del tráfico en entornos urbanos ha sido de vital importancia para salvaguardar la vida de los ciudadanos. Desde la antigua Roma hasta nuestros días, se han desarrollado nuevas tecnologías, leyes y reglamentos para hacer frente a los desafíos contemporáneos de las ciudades. [15]

CAPITULO 4

4. Descripción de la situación Actual

4.1 Sistemas de regulación de tráfico

El control del tráfico hace referencia a una serie y variedad de actividades diseñadas para mantener la capacidad, mejorar la seguridad, proteger y garantizar la confiabilidad de los sistemas de transporte. Estos sistemas controlan que los servicios y sistemas relacionados se utilicen de una manera eficiente en las operaciones diarias que afectan la gestión del tráfico en tiempo real. Este enfoque implica el desarrollo e integración de normas de gestión del tráfico adaptadas a las necesidades locales y regionales. Para lograrlo, se utiliza un proceso de planificación que involucra la ingeniería de sistemas, la estandarización, la documentación y la gestión del rendimiento. [3]

El control del tráfico presenta características especiales, en primer lugar, las inversiones necesarias para implementar programas de gestión del tráfico suelen ser de bajo costo. En segundo lugar, cuando se implementan diseños rentables, se generan beneficios significativos en términos de ahorro en costos de viaje, ahorros para los consumidores y costos de operación de los vehículos, así como la reducción del número de accidentes. Estos son algunos de los factores directamente relacionados con la gestión del tráfico:

- Señalización de agentes.
- Semáforos.
- Regulación de los horarios de carga y descarga.
- Gestión de los carriles reversibles.
- Normas de preferencia de paso.
- Las señales de “Stop” y “Ceda el Paso”. [3]

El objetivo principal de un sistema de regulación de tráfico es mejorar la seguridad y la eficiencia del flujo vehicular, reducir la congestión y mejorar la calidad de vida en las áreas urbanas. Estos sistemas también se utilizan para mejorar la movilidad y accesibilidad de las personas, disminuir las emisiones de gases contaminantes y fomentar la sostenibilidad en el transporte. Además, se busca fomentar la integración armónica de los diferentes modos de transporte, como peatones, ciclistas y vehículos, en un entorno urbano más inclusivo y seguro. [4]

4.2 Sistemas actuales

Actualmente, los sistemas de control de tráfico vehicular se basan principalmente en dispositivos que detectan situaciones anormales y que actúan como medios de control que reciben información y buscan las correcciones óptimas para su funcionamiento. También sirven como medio de comunicación con los conductores, utilizando señales variables y telemáticas. Estos sistemas forman ITS, que combinan la tecnología de la información y la comunicación con vehículos y redes de transporte de personas y bienes, los sistemas se consideran inteligentes porque generan conocimientos adicionales tanto para los conductores como para los operadores de los vehículos. [5]

Dentro de los sistemas de control de tráfico, los semáforos desempeñan un papel fundamental, porque son dispositivos esenciales en las ciudades, ya que regulan el movimiento de vehículos y peatones en las vías, contribuyendo al mantenimiento del orden y la seguridad. Los semáforos constan de tres colores: verde para avanzar, amarillo como advertencia de disminuir la velocidad y rojo para detenerse. Los semáforos de las ciudades son controlados desde una central donde una computadora especializada ejecuta un programa para su funcionamiento y algunos semáforos en carretera son vigilados constantemente mediante cámaras, aunque esto varía según el tipo de semáforo. [5]

Los semáforos más antiguos tienen horarios fijos para cada color, independientemente del flujo de vehículos en un momento determinado, en contraste, los semáforos más modernos, conocidos como semáforos inteligentes, ajustan la duración de cada color en función del tráfico actual. En general, los sistemas de regulación de tráfico actuales están cada vez más avanzados gracias a la incorporación de tecnologías de información y comunicación, permitiendo una gestión más eficiente del tráfico y una mayor seguridad tanto para los conductores como para los peatones. A continuación, en la Figura 1, se presentan varios sistemas actuales que ya están implementados en diversas ciudades, como se muestra en la Figura 1. [15]



Figura 1: Sistemas actuales (World Industrial Reporter)

4.2.1 Sistemas de semaforización

La semaforización puede abordar los conflictos que surgen de las interacciones vehículo-vehículo y vehículo-peatón en las intersecciones que responden a condiciones de tráfico específicas de una manera que logra un equilibrio entre movilidad, accesibilidad y seguridad. Los semáforos actuales determinan la duración de cada color en función de la cantidad de tráfico detectado sensores colocados en las aceras por donde transitan los vehículos. Así, en una calle con muchos coches circulando a determinadas horas del día, los semáforos permanecerán en verde durante más tiempo para evitar congestionamientos.[2]

Los sistemas de semáforos actuales también utilizan tecnología inteligente para ajustar automáticamente los tiempos de espera de cada fase del ciclo de semáforo según el tráfico detectado en la intersección. Si se detecta un alto flujo de vehículos en una dirección específica, el sistema puede reducir el tiempo de espera del semáforo en esa dirección para permitir un avance más rápido. Además, estos sistemas pueden ser controlados a distancia desde un centro de control de tráfico, lo que permite realizar ajustes en tiempo real según las condiciones del tráfico, también pueden integrarse con sistemas de información al conductor para proporcionar actualizaciones en tiempo real sobre el estado del tráfico y las condiciones de la vía. [2]

En las ciudades y poblaciones la semaforización puede abarcar desde unas pocas intersecciones hasta cientos, dependiendo del tamaño y la densidad de la población. En algunos casos, se utilizan sistemas de semaforización centralizados que permiten controlar el tráfico en toda la ciudad desde una ubicación central, facilitando el monitoreo y la coordinación del tráfico. En la Figura 2 se muestra un ejemplo de semaforización aplicada en diferentes lugares del mundo. [17]



Figura 2: Semaforización actual (Business Insider)

4.2.2 Sistemas de detección de matrículas

El reconocimiento automático de matrículas (ANPR) es un método utilizado para monitorear y controlar el acceso, basado en el reconocimiento óptico de caracteres en imágenes para leer matrículas. Este sistema permite capturar y almacenar imágenes de las matrículas, así como el texto y, en algunos casos, incluso una fotografía del conductor. Para asegurar su funcionamiento las 24 horas del día, las cámaras utilizan iluminación infrarroja. El software se ejecuta en hardware de PC estándar y puede integrarse con otras aplicaciones o bases de datos; primero, se aplican técnicas de manipulación de imágenes para detectar, normalizar y mejorar la imagen del número de matrícula, y luego se utiliza el reconocimiento óptico de caracteres para extraer los caracteres alfanuméricos. [7]

Este sistema es utilizado por las autoridades para identificar a los conductores que han cometido infracciones de tráfico, como exceso de velocidad o conducción en carriles no autorizados, entre otras. Además, se emplea en el control de acceso en áreas restringidas como aeropuertos, puertos y edificios gubernamentales, donde se requiere un alto nivel de seguridad. Los sistemas de detección de matrículas son herramientas valiosas para la gestión del tráfico y la seguridad pública, y su uso se ha extendido ampliamente en todo el mundo; in embargo, es crucial que se utilicen de manera responsable y se respeten los derechos de privacidad de los ciudadanos. En la figura 3 se muestra un ejemplo de un sistema de detección de matrículas. [7]

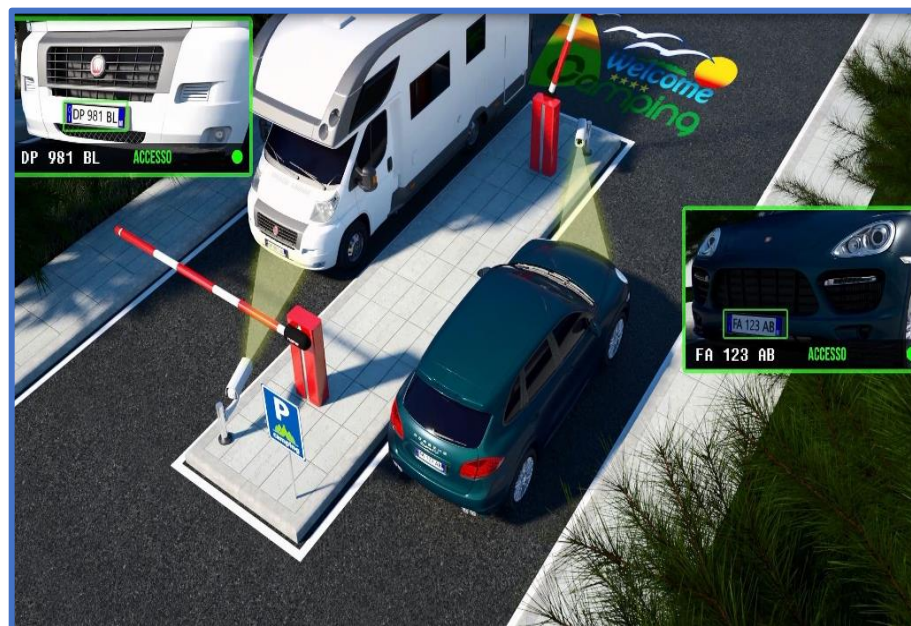


Figura 3: Sistema de detección de matrículas (Accesor).

4.2.3 Sistema de control de velocidad

Los sistemas de control de velocidad son herramientas diseñadas para medir la velocidad de los vehículos de manera óptima en la carretera. El radar de carretera utiliza el fenómeno que ocurre cuando se emiten ondas de radio que, al entrar en contacto con un objeto en movimiento, genera una señal que permite estimar la velocidad y las características del otro, entonces el radar envía una señal electromagnética al vehículo y recibe la señal reflejada, esta diferencia permite calcular la velocidad. En muchos casos, la diferencia de frecuencia también ayuda a capturar imágenes de vehículos con cámaras, siendo los más utilizados los cinemómetros por ultrasonidos, cinemómetro por láser y cinemómetro de tramo. [8]

Los radares fijos instalados en la carretera pueden detectar vehículos a una distancia de hasta 1 kilómetro y medir su velocidad con una precisión del 1% o superior, en contraste, los radares móviles tienen un alcance efectivo de varios cientos de metros y se utilizan para controlar la velocidad en diferentes períodos de la carretera. Por otro lado, los sistemas de radar de tramo tienen un alcance efectivo que varía según la longitud del tramo y la velocidad límite de la carretera, midiendo la velocidad media de los vehículos que pasan por dicho tramo en lugar de la velocidad instantánea en un punto pacífico. [16]

Los sistemas de radares para control de velocidad se utilizan con el objetivo de mejorar la seguridad vial y prevenir accidentes debido al exceso de velocidad, sin embargo, es fundamental utilizar estos sistemas de manera responsable y ética, evitando que se conviertan en herramientas para generar ingresos o multas injustas. También es importante tener en cuenta que factores externos como el clima, la topografía y la interferencia de otros equipos electrónicos pueden afectar el alcance y la precisión de los sistemas de radares. En la figura 4 se muestra un ejemplo de un sistema de control de velocidad. [8]

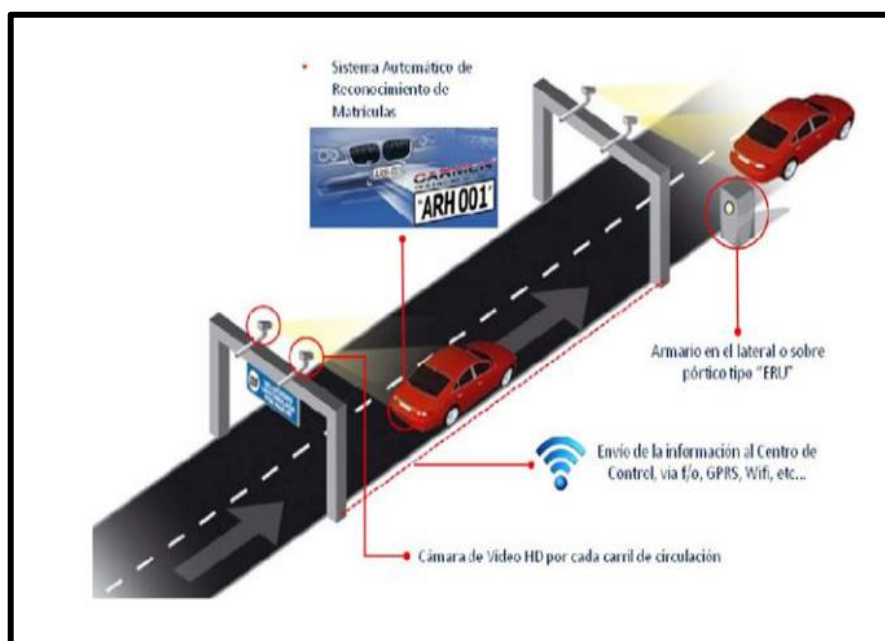


Figura 4: Sistema de control de velocidades (Motorpasion)

4.2.4 Sistema de cámaras de tráfico

La tarea principal del sistema de cámaras de tráfico es recopilar información sobre la entrada y salida de vehículos en la ciudad, así como conocer en tiempo real cómo se desarrolla el movimiento en los puntos de mayor tráfico. Este tipo de cámara se suele instalar en zonas problemáticas donde hay aglomeraciones frecuentes. Este es uno de los casos en los que los radares temen las multas, porque su trabajo es proporcionar información a las autoridades sobre las condiciones de la carretera, en este sentido, las cámaras de control de tráfico se pueden encontrar tanto en vías urbanas como en vías interurbanas y suelen pasar desapercibidos para los conductores porque su finalidad es facilitar información de tráfico a las autoridades de la Dirección General de Transportes. En la figura 5 se muestra un ejemplo de aquello. [9]

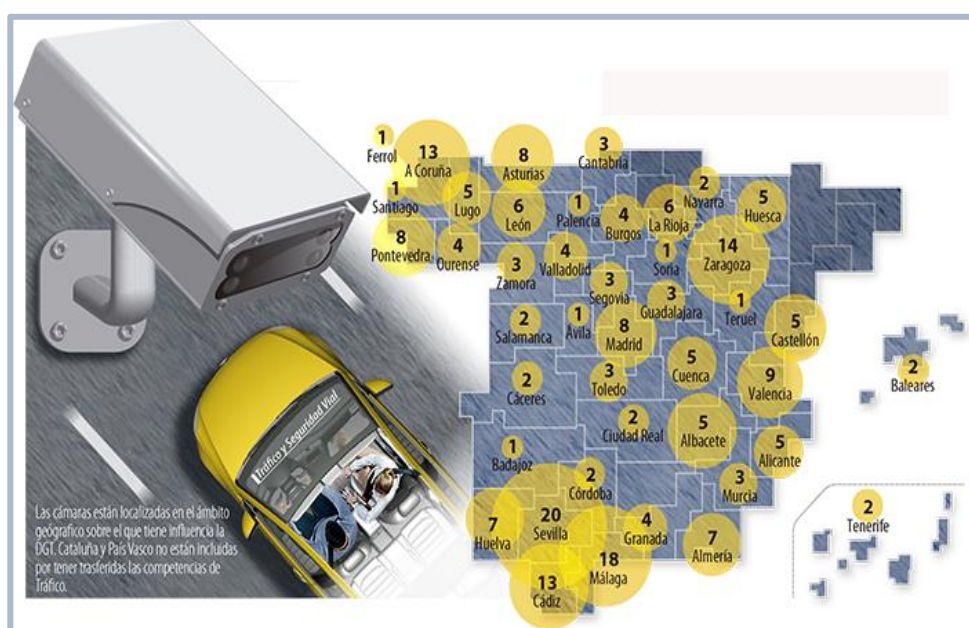


Figura 5: Sistemas de cámaras de tráfico (Intelligent Traffic systems).

Los sistemas de cámaras de tráfico representan una forma de control de tráfico, que se utiliza de manera muy desarrollada para realizar el monitoreo y gestión del flujo vehicular tanto en carreteras y zonas urbanas. Estos sistemas consisten en la instalación estratégica de cámaras de video en puntos clave de la infraestructura vial, como intersecciones, autopistas y calles principales. Este tipo de cámaras para el tráfico realizan capturas de imágenes en tiempo real de los diferentes factores de tráfico en diferentes puntos de control, estas capturas de imagen son transmitidas a una central de control. Estos sistemas pueden llegar a funcionar de forma independiente o sincronizarse con otros sistemas de control de tráfico, como semáforos futuristas o con otros sistemas inteligentes que estén adaptados para la regulación de tránsito.

4.2.5 Sistemas de peajes de congestión

Los peajes de congestión son otra de las herramientas al alcance de los gestores públicos y tienen como objetivo la reducción de la densidad del tráfico, mediante el pago directo de un importe por parte de los vehículos de tracción motora. Las soluciones en línea, como las aplicaciones móviles o los portales web, permiten a los usuarios realizar el check-in y pagar según el viaje o el tiempo. Se utilizan tecnologías probadas de reconocimiento automático de matrículas (ANPR) para garantizar que los peajes se paguen correctamente. T-Systems ayuda a las empresas con soluciones como boletos electrónicos y aplicaciones móviles para crear una solución inteligente para el cobro de peajes de la ciudad. En la figura 6 se muestra un ejemplo de los sistemas de congestión de peajes. [11]



Figura 6: Sistemas de peajes de congestión (Autofacil).

El propósito principal de los sistemas de peajes de congestión es disminuir la congestión del tráfico y mejorar la movilidad en áreas urbanas con alta demanda de viajes y niveles significativos de congestión. Estos sistemas se implementan mediante la imposición de una tarifa adicional a los conductores que ingresan a zonas congestionadas o circulan en momentos de alta demanda, con el fin de desincentivar el uso excesivo de vehículos y promover alternativas de transporte más sostenibles, como el transporte público, la bicicleta o caminar.

Los sistemas de peajes de congestión emplean principalmente tecnologías electrónicas de recolección de tarifas. Esto significa que no se requiere detenerse físicamente para pagar el peaje, ya que se utilizan etiquetas electrónicas o cámaras de reconocimiento de matrículas para identificar los vehículos y cobrar las tarifas correspondientes. Los conductores pueden estar previamente registrados en el sistema o recibir facturas en función del uso de las vías sujetas a peaje.

4.3 Tendencias

Los avances tecnológicos digitales están generando nuevas oportunidades para que las ciudades aborden los problemas de congestión y mejoren la respuesta a incidentes mediante el uso de algoritmos inteligentes que detectan e informan sobre infracciones. Por esta razón, existe una necesidad urgente de desarrollar prototipos innovadores de desarrollo sostenible que permitan una gestión más eficiente de los recursos urbanos. Es así como surge el concepto de ciudad inteligente. Una ciudad inteligente se puede describir como aquella que utiliza las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) para proporcionar una infraestructura urbana que promueva el desarrollo sostenible, mejore la calidad de vida de sus residentes, optimice la eficiencia de los recursos disponibles y fomente la participación ciudadana activa.

En este contexto, existen diversas tendencias tecnológicas que están produciendo un gran impacto en los sistemas de control de tráfico y que son de gran relevancia. A continuación, se presentan algunas de estas tendencias tecnológicas que están siendo muy discutidas y que podrían tener una gran importancia en la gestión del tráfico.

4.3.1 Semáforo de acera de Interlight

Interlight es una empresa cordobesa de base tecnológica, desarrolla semáforos y señales inteligentes para mejorar la seguridad vial y favorecer la relación de vehículos, ciclistas y peatones a través de innovadores sistemas instaurados en muchas ciudades de España, y que ya llegan a Francia. Uno de sus últimos diseños es un revolucionario sistema que actúa como un semáforo inteligente para carriles bici, en el cual los peatones, ciclistas y vehículos se encuentran en intersecciones compartidas. En la figura 7 se muestra un ejemplo de este proyecto. [10]

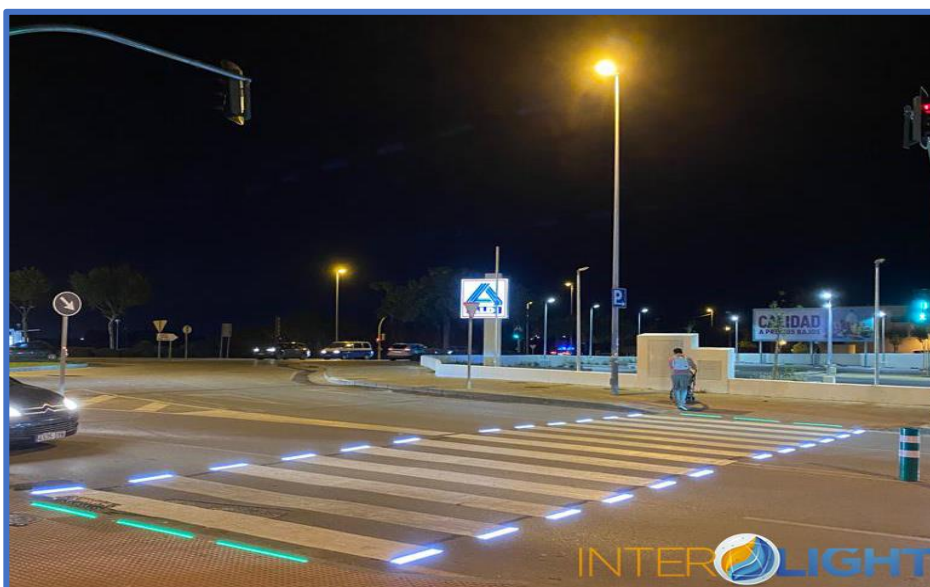


Figura 7: Semáforo de acera de Interlight (Interlight).

El proyecto cuenta con el apoyo de la Consejería de Economía, Conocimiento, Comercio, la Universidad de la Junta Militar de Andalucía y el programa de promoción empresarial TIC de Vodafone Minerva, cuyas actividades se centran en la aplicación de inteligencia artificial y tecnologías LED para la seguridad vial, con la finalidad de minimizar los accidentes e incidentes. La solución propuesta por Interlight pasa por iluminar el carril de cruce situado directamente cerca del paso de peatones, con el objetivo de dar un aviso más claro a los peatones que se aproximan, obteniendo así una señal de semáforo. El sistema consiste en la creación de una serie de rótulos luminosos que se instalarán en el borde de la acera, en su proyección diagonal al paso de peatones, estos rótulos estarán iluminados en verde, rojo o amarillo dependiendo del estado del semáforo. [10]

Estos sistemas inteligentes tienen como objetivo reducir la siniestralidad en las vías pública mediante:

- Más espacio de control para el conductor
- Aumentar la visibilidad
- Notificaciones dinámicas y activas
- Protección de usuario mejorada

4.3.2 Semáforo inteligente de la Empresa Telvent

En colaboración con el Centro de Investigación Cidaut y la empresa Telvent, se ha desarrollado un semáforo inteligente que se adapta automáticamente a diversas situaciones con el fin de mejorar el flujo de tráfico y la seguridad de los peatones. Este innovador diseño de semáforo ha sido probado en una de las calles principales de Valladolid, y los datos recopilados revelan que ha logrado reducir el tiempo de espera de los peatones en un promedio del 21%, este resultado es significativo, considerando que aproximadamente 20.000 personas transitan diariamente por esta ubicación. El éxito del proyecto piloto ha impulsado a las autoridades de la ciudad a contemplar su implementación en otras calles. La figura 8 adjunta, muestra el diseño del proyecto Telvent.



Figura 8: Semáforos inteligentes Telvent (Telvent)

El funcionamiento de este diseño es sencillo: gracias a la implementación de tecnología avanzada, el semáforo cuenta con cámaras equipadas con sistemas de visión artificial, que registran a las personas que atraviesan la vía, ya sea que se encuentren esperando en la acera o en movimiento. Cuando la cantidad de peatones supera las 17 personas, se activa un algoritmo que coordina el control de los semáforos. Además, considerando la hora del día y la cantidad de peatones en cada cruce, este sistema puede ajustar el tiempo del color verde, variando desde 21 segundos hasta 48 segundos. [11]

4.3.3 La tecnología de semáforos de Ford

Ford ha desarrollado una tecnología innovadora que busca mejorar las aglomeraciones de tráfico aprovechando la conectividad, mediante la implementación de semáforos inteligentes, la compañía ha logrado automatizar el cambio a verde en situaciones de emergencia, permitiendo a ambulancias, bomberos y autos de policía acceder más rápidamente a su destino. Esta solución no solo ayuda a reducir el riesgo de accidentes ocasionados por el paso de servicios de emergencia en luces rojas, sino que también puede disminuir los embotellamientos al enviar datos sobre el estado de los semáforos (rojo, verde o amarillo) a los vehículos circulantes en la vía.

La tecnología utilizada por los semáforos inteligentes de Ford se conoce como C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything), la cual asegura una comunicación efectiva entre vehículos y semáforos, ofreciendo un sistema de conexión integral que vincula automóviles, infraestructura vial y otros usuarios de la vía. Además, gracias a la transmisión de datos en tiempo real entre vehículos, ambulancias y semáforos mediante la última tecnología móvil, se logra mejorar la seguridad y eficiencia del tráfico. Esto representa un diseño futurista que se puede sincronizar con otros sistemas y así realizar una gestión inteligente más desarrollada. En la figura 9 adjunta se ilustra un ejemplo del diseño implementado por Ford [12]

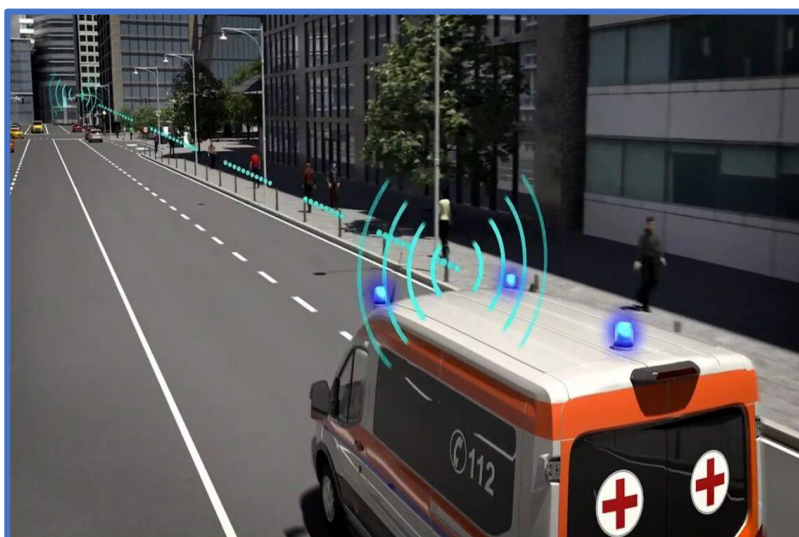


Figura 9: Diseño Semáforos de Ford (Ford).

4.3.4 Semáforos inteligentes del Instituto Fraunhofer de Optrónica, Tecnologías de Sistemas y Explotación de Imágenes (IOSB)

Un destacado equipo de investigadores y diseñadores del Instituto Fraunhofer de Optrónica, Tecnologías de Sistemas y Explotación de Imágenes (IOSB), ha contribuido con su conocimiento en tecnología e innovación para el servicio de transporte. Recientemente, han llevado a cabo pruebas exitosas de semáforos inteligentes en la ciudad de Lemngo, Alemania, lo cual ha generado resultados sumamente prometedores. Estos semáforos avanzados utilizan sensores en tiempo real para medir la velocidad y la distancia entre peatones y vehículos, permitiendo una gestión más eficiente del flujo de tráfico y se espera que esta innovadora solución proporcione mejoras significativas en las condiciones de tráfico y reduzca el tiempo de desplazamiento de los vehículos hasta en un 15%. En la figura 10 se muestra un ejemplo de este proyecto. [13]

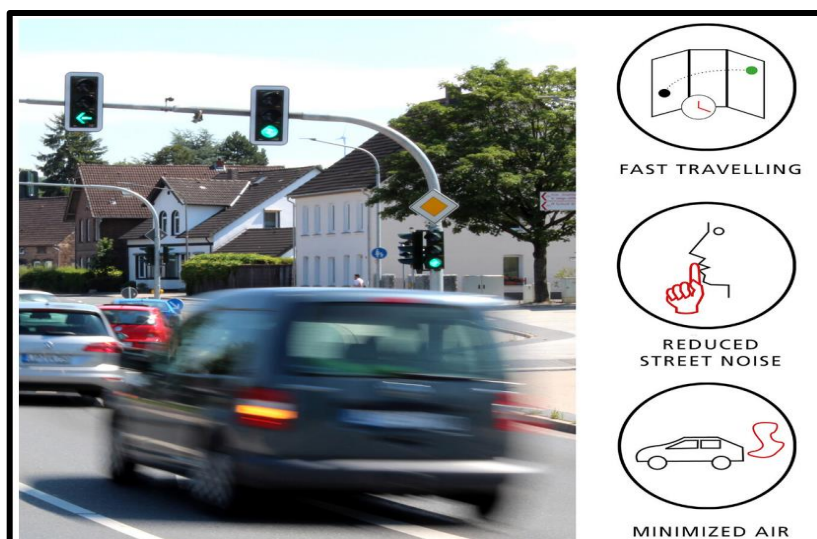


Figura 10: Semáforos inteligentes de IOSB (Fraunhofer)

Estos semáforos inteligentes utilizan sensores avanzados para capturar información precisa sobre el tráfico en tiempo real, de modo que, permite conocer de antemano el número de vehículos y su velocidad promedio, lo cual es evaluado rápidamente por el sistema de inteligencia artificial. Además, se han establecido criterios de seguridad para ciclistas y peatones similares. Para lograr lo anterior, los semáforos utilizan cámaras de alta resolución y sensores de radar que registran de manera casi perfecta el tráfico del mundo real, determinando con precisión la cantidad de vehículos y su velocidad para que sean clasificados por el software de gestión.

También, con la ayuda de algoritmos inteligentes, estos semáforos calculan los tiempos de administración del tráfico, regulando los intervalos de los semáforos de manera eficiente, como resultado, los semáforos inteligentes lograron reducir los tiempos de espera en un 10-15%, al tiempo que minimizan el ruido y las emisiones de dióxido de carbono, contribuyendo a un tráfico más fluido y avances sostenibles en nuestras ciudades.

4.3.5 Semáforos inteligentes de Now Wireless

En el año 2020, se llevó a cabo una prueba en el Reino Unido con el objetivo de reducir la contaminación urbana mediante la implementación de ajustes en los semáforos. Para ello, se diseñó un sistema que recopila datos en tiempo real sobre el tráfico y las condiciones de la ciudad y mediante el análisis de estas condiciones, especialmente los momentos de mayor concentración de contaminantes en puntos específicos, se logra predecir con una hora de anticipación dónde y cuándo ocurrirá un pico de contaminación. Con esta información, la red de semáforos inteligentes se configura de tal manera que reduce la velocidad de los vehículos que ingresan a la zona unos segundos antes del pico, al tiempo que facilita la circulación fluida de aquellos que están a punto de salir de la zona.

Esta iniciativa busca contribuir a la reducción de la contaminación y mejorar la calidad del aire en entornos urbanos. Este tipo de arquitecturas esta empresa busca complementarla con otros sistemas de control de tráfico y planificar una arquitectura de control inteligente más desarrollada y producir mejoras significativas en todos los sistemas de ciudades inteligentes La figura 11 se muestra un ejemplo visual de este proyecto en funcionamiento. [14]

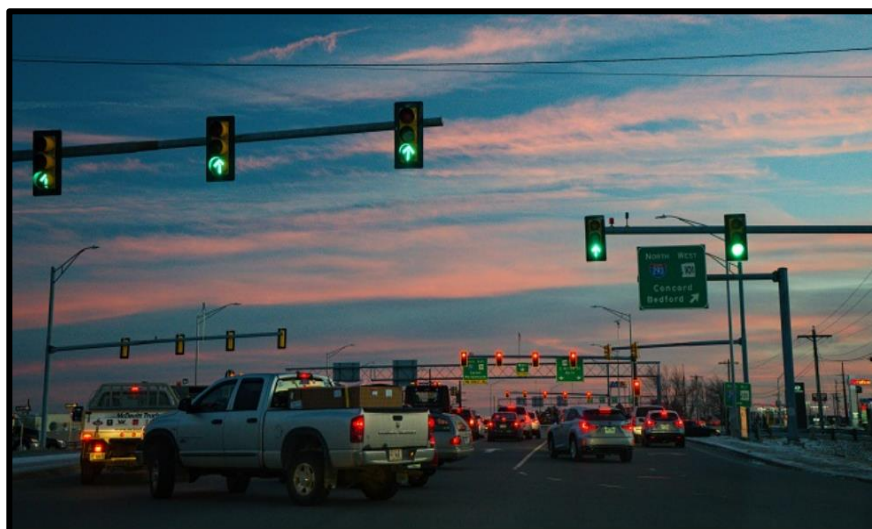


Figura 11: Semáforos de Now Wireless (Now Wireless).

Este sistema utiliza cámaras y radares para analizar el tráfico en tiempo real y predecir su movimiento. Cada intersección toma sus propias decisiones e interactúa con el resto de la red de semáforos para agilizar el flujo de tráfico. En este caso, el objetivo es reducir el tiempo que tardan los vehículos en detenerse en las intersecciones designadas y optimizar el flujo de tráfico. Si en 2016 operaba en las 50 intersecciones más transitadas del centro de la ciudad, ahora se han regulado 1/3 de las intersecciones urbanas. La ciudad donde se realizaron las pruebas piloto indica que esta es una manera de minimizar la contaminación en el centro de la ciudad y así evitar otras acciones que se realizan en otras ciudades europeas, como por ejemplo restringir la entrada de vehículos al centro de la ciudad o imponer tarifas para evitarlo. [14]

4.4 Análisis comparativo entre sistemas actuales y tendencias

A continuación, se presentan algunas características que poseen los sistemas descritos anteriormente para realizar una comparativa entre ellos, con el objetivo de hacer una selección de requerimientos para el diseño.

- Característica 1: Tiempo variable de paso (TVP).
- Característica 2: Inclusión de señales de tráfico (IST).
- Característica 3: Detección de vehículos de emergencia (DVE).
- Característica 4: Aplicación de visión artificial (VA).
- Característica 5: Sistema Multimodal (SM).
- Característica 6: Tipo de arquitectura (TA).
- Característica 7: Gran variedad de sensores (GVS).
- Característica 8: Gran variedad de actuadores (GVA).
- Característica 9: Funcionamiento autónomo (FA).
- Característica 10: Tipo de comunicación (TC).

Se ha realizado una tabla comparativa entre los sistemas actuales con las tendencias en base a las características que se han descrito anteriormente.

Tabla 1: Sistemas actuales y Tendencias

Sistemas	TVP	IST	DVE	VA	SM	TA	GVS	GVA	FA	TC
Semaforización actual	No	No	No	Si	Si	clúster	Si	No	Si	wifi
Detección de matriculas	Si	No	No	No	Si	-----	No	No	No	wifi
Control de velocidad	No	No	No	No	Si	clúster	No	No	No	BT
Cámaras de tráfico	No	No	Si	No	Si	clúster	No	No	No	cable
Peajes de congestión	Si	Si	Si	No	No	clúster	Si	Si	Si	wifi
Semáforo de acera de Interlaight	No	Si	No	No	Si	Red	Si	Si	Si	wifi
Semáforo de Telvet	Si	No	No	Si	Si	clúster	Si	Si	Si	wifi
Semáforos de Ford	Si	No	Si	Si	Si	Red	Si	Si	Si	BT
Semáforos de (IOSB)	Si	No	No	Si	Si	clúster	Si	Si	Si	wifi
Semáforos de Now Wireless	Si	No	No	Si	Si	clúster	Si	Si	Si	wifi

Dentro de la característica 10, en este caso, se analizan los distintos medios de comunicación entre elementos del sistema. Puede tomar los siguientes valores:

- Cable: conexión directa cableada entre elementos.
- BT: Bluetooth.
- WiFi: IEEE 802.11

Dentro de la característica 6 se estudian las principales arquitecturas como son:

- Centralizada.: Los sistemas tienen una conexión de los dispositivos directamente con un servidor o un nodo central.
- Clúster.: Los dispositivos se conectan entre ellos formando clústeres controlados por un nodo central.
- Red.: Los dispositivos se conectan entre ellos formando redes de distintas maneras. [20]

4.5 Síntesis

4.5.1 Características deseables

En este proyecto se estudió el diseño de un dispositivo innovador que tiene como objetivo proporcionar información detallada sobre los tiempos de espera, permitir el paso prioritario a vehículos de emergencia y mostrar diferentes señales de tráfico tanto para vehículos como para peatones. Este proyecto requiere establecer una comunicación efectiva entre los semáforos, así como realizar modificaciones en el diseño actual. Para lograrlo, se requiere que los elementos del sistema sean capaces de admitir sensores y actuadores que sean capaces de generar un sistema inteligente que permita el funcionamiento de un sistema de control de tráfico inteligente. Basándonos en investigaciones anteriores, se han seleccionado las siguientes características para el diseño.

- Gran variedad de sensores y actuadores.
- Tipo de sistema multimodal: que sea capaz de controlar el tráfico, peatones, bicicletas y motocicletas.
- Inclusión de señales de tráfico.
- Variación de los tiempos.
- Detección de vehículos de emergencia.
- Funcionamiento Autónomo.
- Tipo de Arquitectura: Red.

4.5.2 Aproximación a los requisitos del sistema

El diseño que se pretende diseñar puede tener una serie de elementos destinados a recopilar información. Dicha información será enviada a los semáforos para que actúen en consecuencia. Por ejemplo, si un elemento del semáforo puede detectar un tono de emergencia de un vehículo (con un micrófono, detectando la luz intermitente o incluso combinando con una lectura de matrícula) este elemento avisará a los semáforos implicados en el paso del vehículo para que regulen el tráfico permitiendo el paso lo antes posible del vehículo de emergencia y generando así las distintas señales de tráfico para advertir a los conductores y peatones. La figura 12 se muestra un posible diseño.

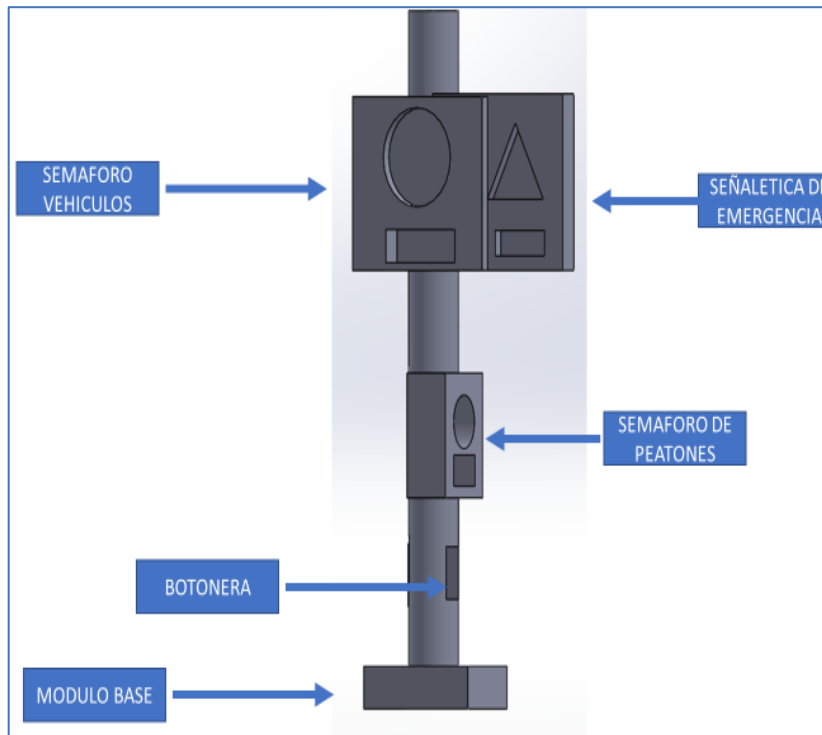


Figura 12: Aproximación a los requisitos del sistema

Después de realizar una síntesis comparando los diferentes sistemas actuales con las tendencias futuristas, se establecerán algunos requerimientos específicos para el diseño. El análisis de sistemas actuales con tendencias es una herramienta importante para comprender cómo evolucionan los sistemas y cómo se pueden mejorar para satisfacer las necesidades actuales y futuras.

CAPITULO 5

5. Definiciones y abreviaturas

5.1 Definiciones

A continuación, se detallan algunas de las definiciones que se han utilizado en este trabajo y que sirvan de guía para entender de mejor manera este proyecto.

Sistema inteligente: Un sistema inteligente es el que tiene la capacidad de recoger, analizar, interpretar y emplear información y conocimiento para llegar a tomar decisiones de forma automática sin depender de otros.

Señalética: La señalética se define como un conjunto de señas o signos visibles que son empleados en la transmisión de información de forma precisa y con facilidad para el entender de las personas.

Módulo: Un módulo es una unidad funcional o componente autónomo que forma parte de un sistema más amplio. Se trata de una parte o elemento modular que puede ser sustituido o intercambiado sin que ello afecte al funcionamiento general del sistema.

Módulo Giratorio: Un módulo giratorio es una estructura o componente que puede rotar o girar alrededor de un eje central. Este tipo de módulo permite un movimiento circular o de rotación, lo que le brinda flexibilidad y versatilidad en su uso.

Dispositivo: Un dispositivo es un componente o equipo que emplea principios y tecnología electrónica con el propósito de llevar a cabo una tarea específica. Su función principal radica en procesar, controlar, almacenar o transmitir información mediante el uso de señales electrónicas.

Algoritmo: Un algoritmo es una secuencia de pasos lógicos y ordenados que proporciona instrucciones claras sobre cómo abordar un problema o completar una tarea específica.

Maestro: Es un dispositivo que tiene la capacidad de iniciar y controlar la comunicación en el bus I2C. Su función principal es generar las señales de reloj (SCL) y enviar las solicitudes de lectura o escritura a los dispositivos esclavos conectados al bus. El maestro tiene el control total sobre la comunicación y determina el flujo de datos entre los dispositivos esclavos.

Esclavo: Es un dispositivo conectado al bus I2C que está diseñado para recibir y responder a las solicitudes de lectura o escritura enviadas por el maestro.

Piñón: Un piñón es una rueda dentada de menor tamaño que se utiliza junto con engranajes más grandes para transferir movimiento y fuerza en una máquina o mecanismo.

Cremallera: Una cremallera es un dispositivo mecánico diseñado para unir o separar dos partes o superficies mediante el deslizamiento de una serie de dientes o engranajes.

Engranaje: Un engranaje es un elemento mecánico que se compone de una rueda con dientes utilizada para transferir movimiento y fuerza entre dos o más ejes.

5.2 Abreviaturas

En la tabla 2 se muestran las abreviaturas que se han empleado en este trabajo, la lista se la ha realizado en orden según se vayan presentando en el texto de este trabajo.

Tabla 2: Abreviaturas

Abreviatura	Significado
TVP	Tiempo variable de paso
IST	Inclusión de señales de tráfico
DVE	Detección de vehículos de emergencia
VA	Visión Artificial
SM	Sistema Multimodal
TA	Tipo de Arquitectura
GVS	Gran variedad de sensores
GVA	Gran variedad de actuadores
FA	Funcionamiento autónomo
TC	Tipo de comunicación
OBD	Objetivos del diseño
RDM	Requerimientos del diseño mecánico
RSM	Requerimientos de software para Mecánica
DEH	Hardware Diseño Electrónico
DES	Software Diseño Electrónico
DC	Diseño de Control
DSC	Software diseño de control
FUNC	Función
HIP	Hipótesis
REST	Restricción
TFM	Trabajo de Fin de Máster
CPL	Compatibilidad con el panel leds
NDM	Numero de motores

Las abreviaturas que se presentan tienen como función principal simplificar y acortar la escritura en situaciones donde se requiere ahorrar tiempo, espacio o esfuerzo. Su objetivo es proporcionar una forma más rápida y concisa de comunicar información.

CAPITULO 6

6. Especificación

La especificación es de gran importancia en el diseño mecatrónico, ya que mediante esto se definen los requisitos técnicos del sistema que se pretende diseñar, la especificación es una guía para el desarrollo basándose en objetivos y las necesidades de los diseñadores, para definir las especificaciones de este diseño mecatrónico, se considera las siguientes características. En la tabla 3 se muestra la especificación del Diseño Mecatrónico. [3]

Tabla 3: Especificación.

Características	Descripción
Objetivos del diseño	Se debe especificar el propósito del diseño, así como los objetivos y el alcance del sistema.
Requerimientos de los usuarios	Se identifican las necesidades y requisitos de los usuarios para que el diseño mecatrónico cumpla las especificaciones.
Funciones y características del sistema	Se definen las funciones y normas técnicas de desempeño que deben cumplir los sistemas.
Restricciones y limitaciones	Se tendrá en cuenta las restricciones y limitaciones tanto de tiempo y costo para llevar a cabo el sistema.
Estándares y regulaciones:	Se cumplirá con los estándares y regulaciones técnicas y de seguridad aplicables al diseño y desarrollo del sistema mecatrónico.

6.1 Objetivos del diseño

A continuación, se definen los objetivos del diseño mecatrónico de nuestro dispositivo.

OBD1: Optimizar el flujo de tránsito y evitar congestiones causadas por las aglomeraciones durante las horas pico.

OBD2: Variar el diseño actual de los sistemas de control de tráfico.

OBD3: Optimizar la capacidad de las vías y promover información relevante a los vehículos de emergencia.

OBD4: Generar interés por el nuevo y tecnológico diseño que se pretende aplicar.

OBD5: Promover una movilidad más respetuosa con el medio ambiente al incentivar la adopción de opciones de transporte más sostenibles.

OBD6: Adaptarse a las condiciones cambiantes.

OBD7: Generar capacitación vial tanto a peatones como conductores con la inclusión de señales de tráfico.

OBD8: Implementar una arquitectura distribuida modular y escalable, permitiendo así la inclusión de una gran variedad de sensores y actuadores.

6.2 Diseño Mecánico

6.2.1 Requerimientos Específicos del diseño Mecánico

Al realizar la construcción del diseño por módulos se plantean los siguientes requerimientos:

RDM 1: Los módulos del sistema tienen que ser compatibles entre ellos, de forma que encajen unos con otros fácilmente.

RDM 2: Cada módulo debe ser diseñado para permitir la impresión en formato 3D para su implementación.

RDM 3: Cada módulo debe ser diseñado de tal manera que permita la implantación de los distintos dispositivos electrónicos, que formen parte del sistema para su complemento general.

RDM 4: La disposición de los módulos debe permitir generar los movimientos específicos de los diferentes mecanismos del sistema.

RDM 5: Que el diseño permita agregar, quitar o reemplazar módulos según las necesidades para futuros proyectos.

RDM 6: Que el sistema elegido para el desplazamiento y giro de los módulos sea fácil y posible su implementación.

6.2.2 Requerimientos de software para el diseño Mecánico

Es necesario definir un software de diseño que permita realizar simulaciones para probar el rendimiento y la funcionalidad de los diseños mecánicos, lo que ayuda a reducir los costos y el tiempo necesario para fabricar prototipos y productos finales. Según el diseño se busca un software de diseño que cumpla con los siguientes requisitos.

RSM 1: Que posea una interfaz de fácil uso.

RSM 2: Que permita realizar simulaciones de piezas, ensamblajes y estudio del movimiento.

RSM 3: Que permita la integración con otros programas de diseño

RSM 4: Que permita realizar diseños en 3D para facilitar la impresión.

RSM 5: Que posea una gran variedad de herramientas de diseño.

6.3 Diseño Electrónico

6.3.1 Requerimientos de Hardware

A continuación, se muestran los requerimientos de hardware para el diseño electrónico.

DEH1: Cada módulo deberá albergar sus respectivos sensores y actuadores.

DEH2: debe ser fácilmente adaptable y escalable para diferentes configuraciones y requisitos de tráfico, debe ser posible agregar o quitar módulos según sea necesario.

DEH3: El sistema inteligente debe contar con opciones de conectividad para permitir la comunicación con otros dispositivos y sistemas.

DEH4: El diseño debe garantizar la fiabilidad y seguridad del dispositivo. Esto implica el uso de componentes de calidad.

DEH5: El diseño debe facilitar el mantenimiento y el diagnóstico del sistema.

6.3.2 Requerimientos de Software

Según el sistema se busca un software que cumpla con los siguientes requisitos:

DES1: Que sea de fácil uso.

DES2: Que cuente con una gran variedad de herramientas para el diseño electrónico.

DES3: Que brinde la opción de simulación de los distintos circuitos electrónicos.

DES4: Compatibilidad con los diferentes tipos de microprocesadores necesarios para el diseño.

6.4 Diseño del Control

Para el diseño de la etapa de control se definen los siguientes requerimientos:

DC1: Se debe realizar el diseño del control para cada módulo y de todo el dispositivo.

DC2: Se debe realizar pruebas para validar el sistema de control y cumplir con los requisitos.

DC3: El diseño de control debe ser capaz de mantener estabilidad.

DC4: El diseño debe ser óptimo para seguir y mantener valores de referencia deseados con precisión.

DC5: El diseño debe incluir algoritmos y sistemas de control inteligente que optimicen el flujo de tráfico y minimicen los tiempos de espera.

6.4.1 Requerimientos de Software

Según el sistema se busca un software que cumpla con los siguientes requisitos:

DSC1: El diseño debe incluir algoritmos y sistemas de control inteligente que optimicen el flujo de tráfico y minimicen los tiempos de espera.

DSC2: Que sea de fácil uso.

DSC3: Que cuente con una gran variedad de herramientas para el diseño de control.

DSC4: Que cuente con las librerías necesarias para realizar simulación.

DSC5: Compatibilidad con los diferentes tipos de microprocesadores necesarios para el diseño.

6.5 Funciones y características del sistema

EL dispositivo cuenta con varias características y funciones que se detallan continuación:

FUNC1: El dispositivo propuesto es modular, ya que cuenta con gran variedad de módulos y con la opción de agregar más según las necesidades del entorno.

FUNC2: El dispositivo tiene la capacidad de simular algoritmos inteligentes para el control de las diferentes situaciones de tráfico.

FUNC3: El dispositivo tiene la capacidad de generar señales de tráfico dependiendo el color del semáforo y si se detecta vehículos de emergencia.

FUNC4: El dispositivo cuenta con características mecánicas que le permiten girar sobre su propio eje, permitiendo así poder controlar el paso de peatones o controlar el sentido contrario de la vía.

FUNC6: El dispositivo tiene un diseño que permite la coordinación y el intercambio de información en tiempo real con otros dispositivos, o entre módulos del mismo dispositivo.

FUNC7: El dispositivo tiene la capacidad de regular el tráfico, permitiendo el paso de vehículos de emergencia según las condiciones que se presenten.

FUNC8: El dispositivo tiene la capacidad de agregar, cambiar o remplazar componentes mecánicos eléctricos o electrónicos para agregarle más funciones a su funcionamiento.

FUNC9: El dispositivo cuenta con un diseño propio e inteligente, además cuenta con módulos giratorios y que permite el desplazamiento de un panel sobre otro.

FUNC10: El dispositivo tiene la capacidad de generar información sobre los tiempos de espera de cada color del semáforo tanto para vehículos como peatones.

CAPITULO 7

7. Alcance

El alcance del sistema propuesto abarca el control y regulación del flujo vehicular, la priorización de vehículos de emergencia, la coordinación de intersecciones y la capacidad de adaptación a las condiciones del tráfico. Mediante la implementación de módulos giratorios, los semáforos tienen la capacidad de dirigir de forma precisa el flujo de vehículos y adaptarse a intersecciones complejas. Además, gracias a los avances en tecnología de sensores y algoritmos inteligentes, es posible optimizar en tiempo real la gestión del tráfico y ajustar los tiempos de cambio de luces según la demanda de vehículos, así como incluir señales de tráfico dentro de las ciudades. En la figura 13 se muestra el alcance de nuestro trabajo.

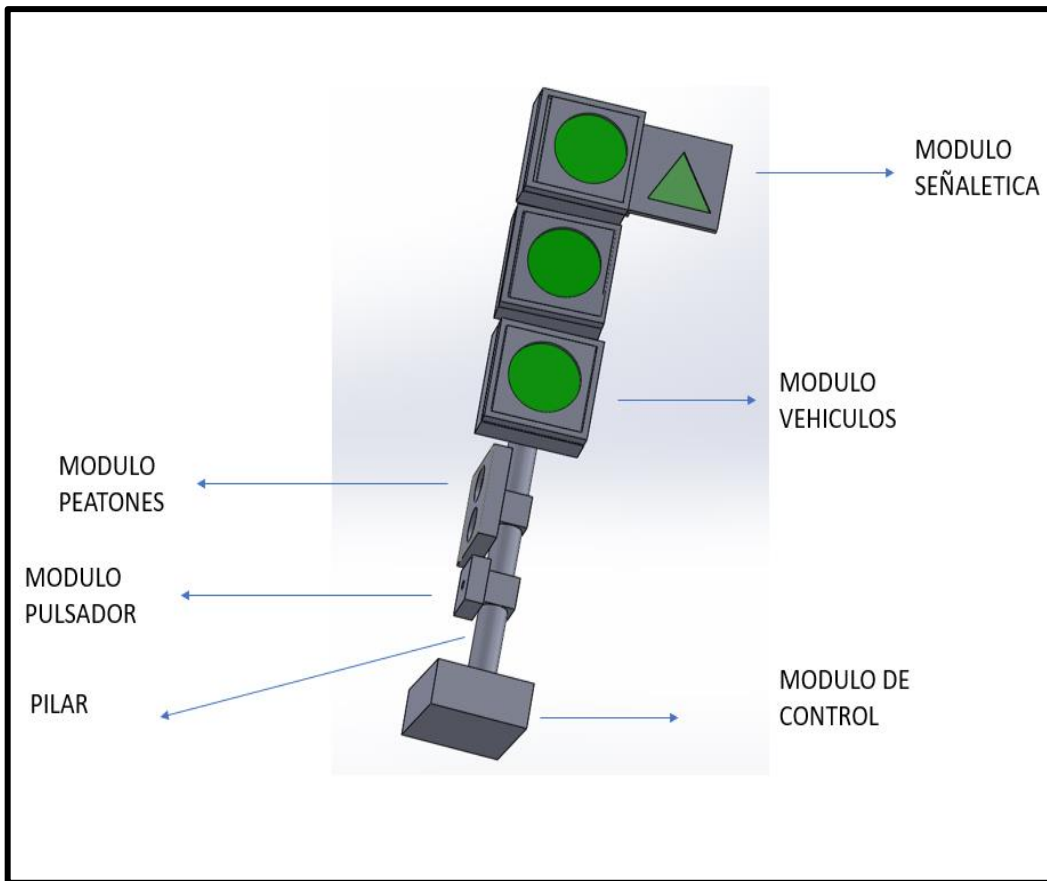


Figura 13: Alcance

A continuación, se especifica el alcance tanto para el diseño mecánico, electrónico y de control de nuestro dispositivo.

7.1 Diseño mecánico

El alcance mecánico que nuestro diseño pretende realizar es el siguiente:

Módulo del semáforo de vehículos: Se encarga de controlar el flujo de tráfico.

Módulo del semáforo de peatones: Se encarga de controlar el paso de peatones.

Módulo del pulsador de peatones: Se encarga de cambiar el estado del semáforo para permitir el paso de peatones.

Módulo de control: Se encarga de controlar a todo el dispositivo y se encuentra ubicado en la base del semáforo.

Módulo para la señalética de emergencia: Se encarga de mostrar señales de tráfico dependiendo del estado actual.

Módulo del pilar del semáforo: sirve de soporte para todo el semáforo.

7.2 Diseño Electrónico.

Se pretende diseñar un sistema Maestro esclavo, para la comunicación entre módulos, con un único Maestro y varios esclavos, en la figura 14 se observa el alcance electrónico de nuestro dispositivo, donde cada módulo tiene sus diferentes sensores y actuadores que han sido implantados para realizar una función específica en el prototipo.

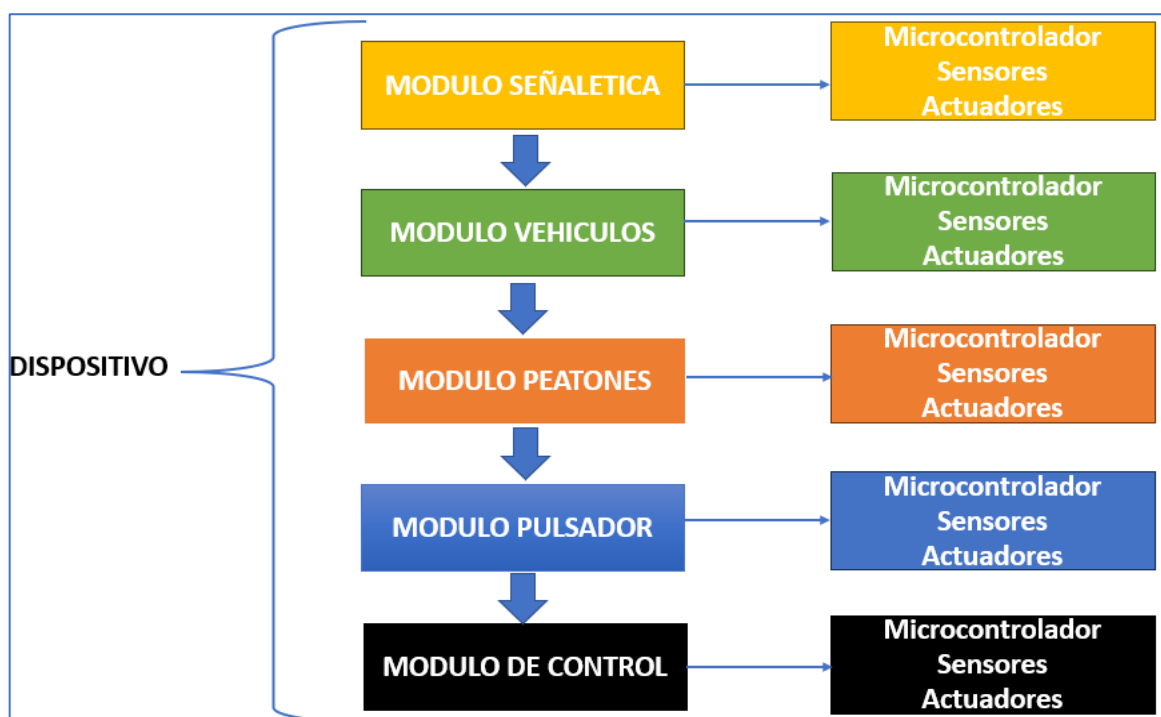


Figura 14: Alcance Diseño Electrónico.

7.3 Diseño del Control

Para la etapa de control se realizó el respectivo diagrama de estados para cada módulo, y el control total del dispositivo. En la figura se muestra una representación del Alcance en control para nuestro trabajo.

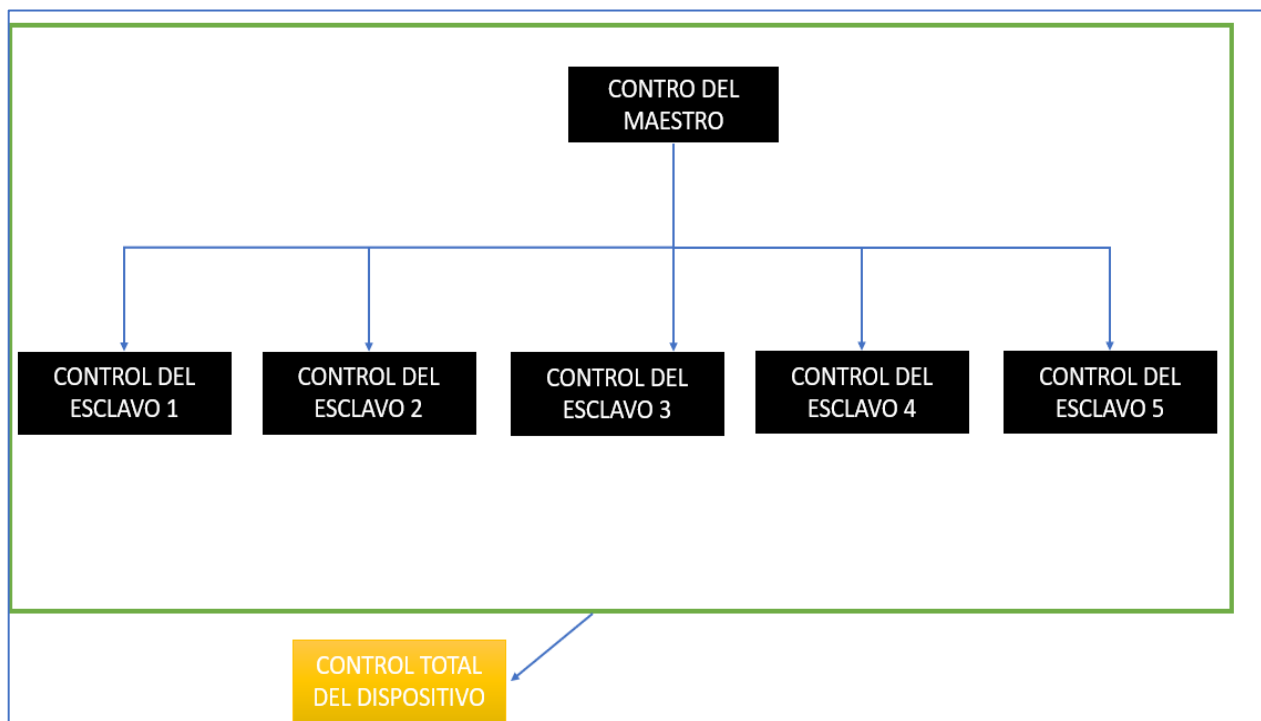


Figura 15: Alcance Diseño de Control.

El alcance general del diseño se presenta en la figura 16.

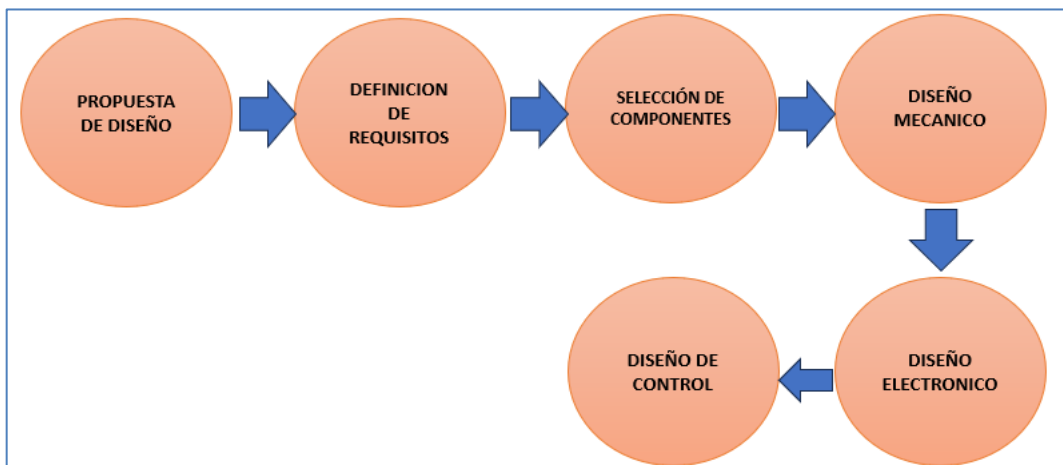


Figura 16: Alcance General del dispositivo.

CAPITULO 8

8. Restricciones y limitaciones

El diseño de un dispositivo de control inteligente distribuido, con lleva varias limitaciones en muchos campos, tanto en aspectos tecnológicos, sociales, económicos entre otros, a continuación, en la figura 17 se muestra las restricciones y limitaciones generales que supone el diseño e implantación de sistemas inteligentes de tráfico como el que se pretende diseñar.

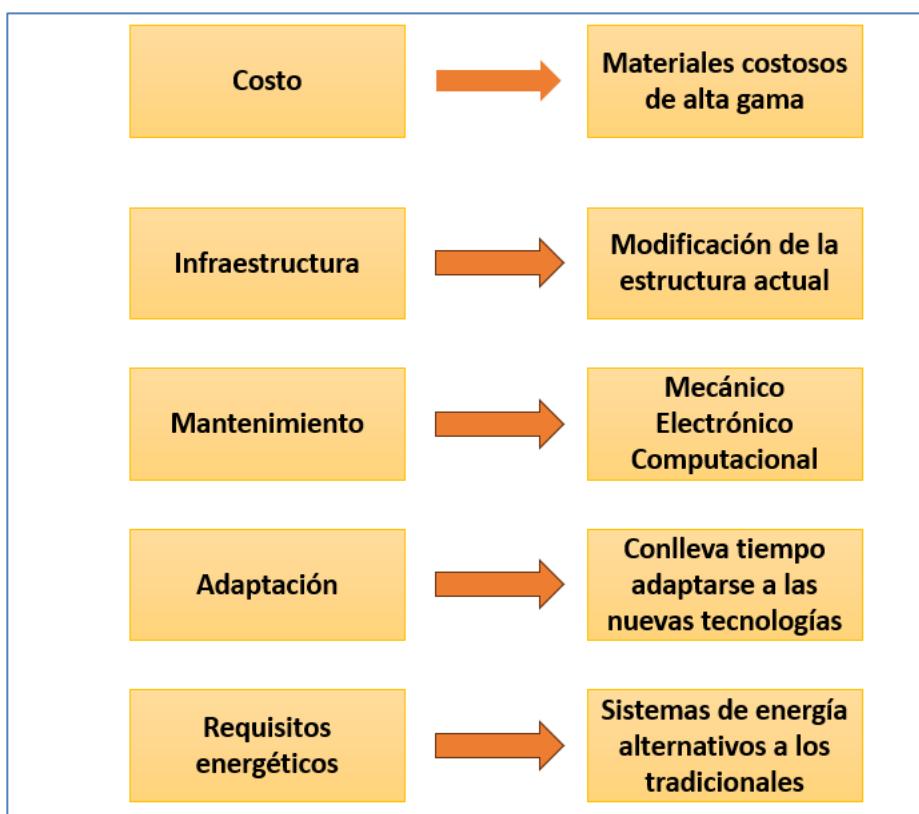


Figura 17: Restricciones y limitaciones generales

En base a estas definiciones se especifican las siguientes hipótesis para nuestro proyecto:

HIP1: Es factible implementar en el mundo real el dispositivo.

HIP2: Puede el dispositivo comunicarse con otros dispositivos similares o con otros sistemas de control de tráfico.

HIP3: El dispositivo me permitirá generar costes más bajos tanto en implementación como en mantenimiento.

HIP4: El diseño del dispositivo permite adicionar componentes tanto mecánicos y electrónicos.

HIP5: Con el uso de nuevos módulos informativos el dispositivo es capaz de generar educación vial tanto en conductores como peatones.

HIP6: Es posible generar ahorro en recursos energéticos al implementar este dispositivo.

HIP7: Es posible que un módulo se desplace sobre otro.

HIP8: Es posible que un módulo pueda girar sobre su propio eje.

HIP9: Es posible que cualquier modulo pueda actuar como semáforo o como señalética.

Se definen también las siguientes restricciones para este trabajo:

REST1: El dimensionamiento del dispositivo no debe sobrepasar medidas ni pesos.

REST2: La comunicación entre los diferentes módulos con su módulo de control será mediante I2C en un sistema Maestro – esclavo.

REST3: La comunicación con otros dispositivos o con otros sistemas de control de tráfico será de manera inalámbrica por red.

REST4: Para los módulos de vehículos, peatones y señalética se debe utilizar un panel de leds 64 x 64 y así generar mejor presencia visual.

REST5: Los materiales empleados deben ser de coste moderado, pero de buena utilidad y funcionalidad.

REST6: Se debe usar un solo motor para cada movimiento que se vaya a realizar.

REST7: Cada Módulo debe ocupar como mínimo un microcontrolador.

REST8: La alimentación del dispositivo para sus componentes y microcontroladores estará entre 5V y 12 V.

REST9: El módulo señalética solo podrá desplazarse horizontalmente y luego volver a su posición normal.

REST10: El módulo principal no podrá girar 360 grados, puede realizar giros en intervalos de 90 grados.

CAPITULO 9

9. Alternativa y Vialidad

En la figura 18 se aprecian algunas regulaciones y estándares que deben cumplir los sistemas de control de tráfico actuales.

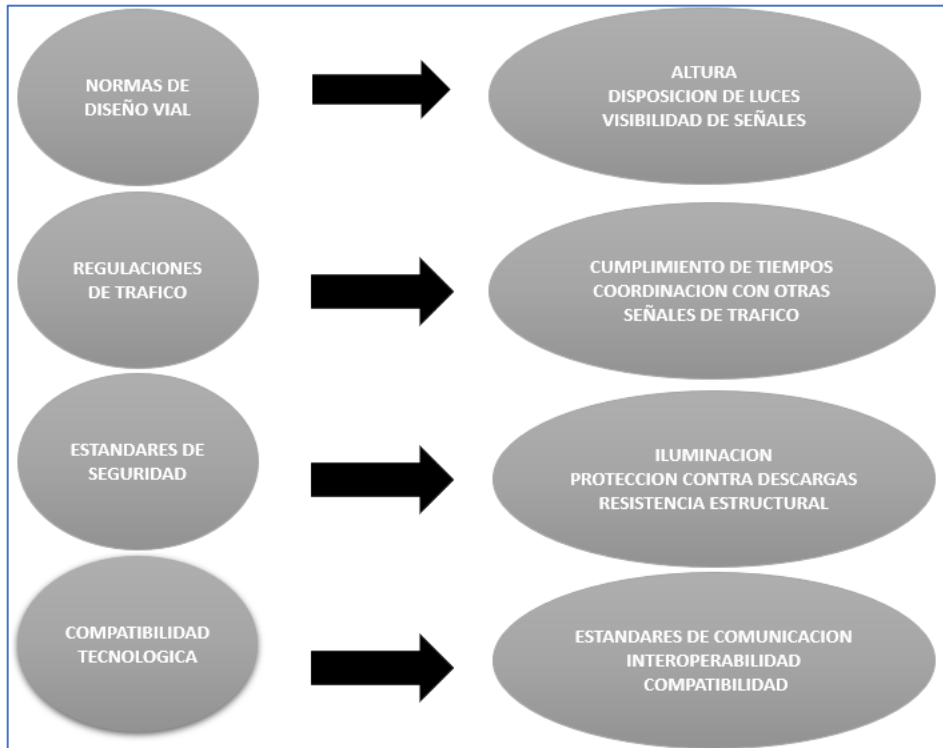


Figura 18: Estándares y regulaciones de tráfico.

De acuerdo con la información actual se proponen varias alternativas y la vialidad específica de cada una de estas alternativas.

9.1 Vialidad en el Diseño

Es un proceso importante y procurando Cumplir con los estándares, se pensaron varios diseños que podían cumplir con las expectativas de este trabajo, varias alternativas fueron planteadas como: un semáforo con luces led tradicionales, sin embargo pensando en un diseño más futurista se cambió ese diseño, otro diseño que se planteó fue el de agregar un módulo con sensores aparte de los módulos que ya tiene este diseño, sin embargo se decidió no realizarlo debido a que esta idea ya fue planteada en un trabajo anterior, otro diseño que fue planteado era el de separar el módulo de vehículos a una distancia óptima del módulo señalética, pero buscando un diseño propio e inteligente se optó por realizar la idea de diseño que se explica en este trabajo pensando en cambiar el diseño actual de los semáforos convencionales se planteó la utilización de motores, con el objetivo de generar movimientos interesantes con visión más futurística y no solo eso además pueden representar una gran forma para generar educación vial tanto a peatones como conductores con la inclusión de señales de tráfico.

9.2 Vialidad en regulaciones de tráfico

El diseño del semáforo modular debe estar en conformidad con las regulaciones y estándares establecidos por las autoridades de tráfico pertinentes. Estas normativas se refieren a aspectos como la disposición de las señales de tráfico, la duración y secuencia de los intervalos de luz, la selección de colores, la visibilidad de las señales, la altura y ubicación de los semáforos, entre otros aspectos relacionados. Mediante la incorporación de algoritmos de control de tráfico inteligentes se cumple con los requisitos en cuanto a tiempos para cada estado.

Los paneles de leds que se han incorporado al diseño permite la incorporación de señales de tráfico, permiten la simulación de los distintos colores del semáforo tanto para peatones como para vehículos, un solo panel es capaz de simular un semáforo de vehículos y de peatones, es por eso que se ha decidido la utilización de estos componentes a diferencia de las luces led convencionales, al ser un dispositivo inteligente está en la capacidad de coordinar su secuencia con otros dispositivos de control de tráfico.

9.3 Vialidad en Seguridad

Pensando en la seguridad del proyecto, se planteó un diseño que sea capaz de tener resistencia ante diversos factores que pueden comprometer su seguridad, por eso se pensó en crear una buena estructura con una base sólida que sea capaz de servir de soporte a todo el dispositivo, el diseño mecánico es capaz de soportar cualquier factor externo que sea capaz de cambiar su estado actual en cuanto a resistencia, por tal motivo la selección de componentes electrónicos va de la mano en conjunto con el diseño mecánico, se pensó en la utilización de varios componentes que puedan realizar la función de semáforo pero coordinando con el tipo de movimiento y el peso, se han seleccionado los componentes que se explican con más detalle en la sección de diseño electrónico.

Los microcontroladores utilizados incluyen ciertas protecciones para hacer frente a ciertos tipos de descargas eléctricas, la elección de estos componentes se detalla con más claridad en el apartado de selección de componentes en el diseño electrónico.

9.4 Vialidad en Compatibilidad tecnológica

Con respecto a este apartado, se han manejado varias alternativas en cuanto a tecnologías que se pueden utilizar tanto para la comunicación entre módulos y comunicación con otros dispositivos o sistemas de control de tráfico, ya que nuestro dispositivo cuenta con una gran variedad de módulos y con la posibilidad de agregar más al diseño actual, se ha optado por utilizar el protocolo I2C. El protocolo I2C emplea un enfoque maestro/esclavo, en el cual el maestro controla la comunicación y los dispositivos esclavos responden a sus solicitudes. Esto posibilita la conexión de múltiples dispositivos esclavos al bus I2C utilizando únicamente dos líneas de comunicación, denominadas SCL y SDA. De esta manera, se simplifica la conexión de varios dispositivos al utilizar un único bus de comunicación.

Para la comunicación con otros dispositivos se ha optado por incluir un módulo WIFI dejando abierta la posibilidad de la comunicación inalámbrica con otros dispositivos o sistemas de control.

CAPITULO 10

10. Descripción de la solución propuesta

10.1 Diseño Mecánico

Según la arquitectura del dispositivo, el diseño mecánico se puede realizar por módulos separables, esta es una técnica de diseño que consiste en dividir un producto en módulos o componentes separados e intercambiables. Cada módulo o componente se diseña de manera independiente, lo que facilita que se puedan fabricar, probar y actualizar de forma individual. Además, el diseño por módulos permite la reutilización de componentes en diferentes productos o proyectos, lo que puede resultar en un ahorro de costos y tiempo de desarrollo. Este enfoque de diseño se utiliza en muchos campos, incluyendo la arquitectura, la ingeniería mecánica, la electrónica y la informática. En la figura 19 se muestra la solución propuesta para el diseño Mecánico.

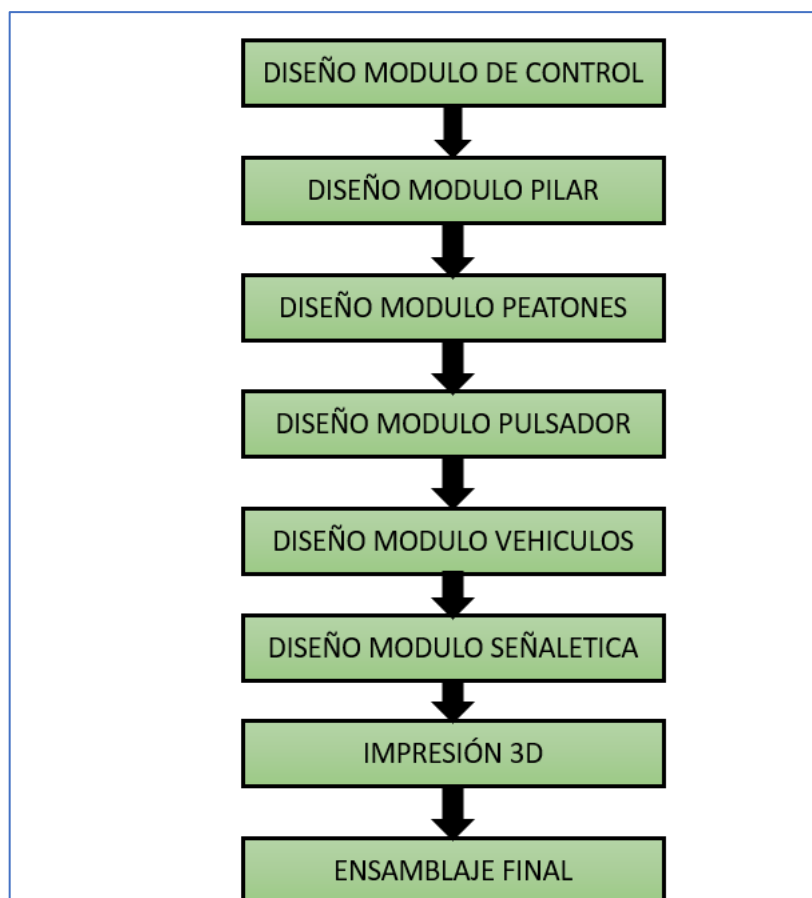


Figura 19: Solución Diseño mecánico.

10.2 Diseño Electrónico

Para el diseño electrónico se utiliza los principios de la teoría eléctrica y electrónica. Este proceso implica la selección de componentes electrónicos, el diseño de circuitos, el desarrollo de software, considerando principalmente los costos, el tamaño, la eficiencia, la fiabilidad y la seguridad. Además, se tomará en cuenta la interacción del dispositivo electrónico con otros sistemas y dispositivos, como se ha dicho anteriormente la comunicación entre módulos es mediante el protocolo I2C y para la comunicación con otros dispositivos de manera inalámbrica por red.

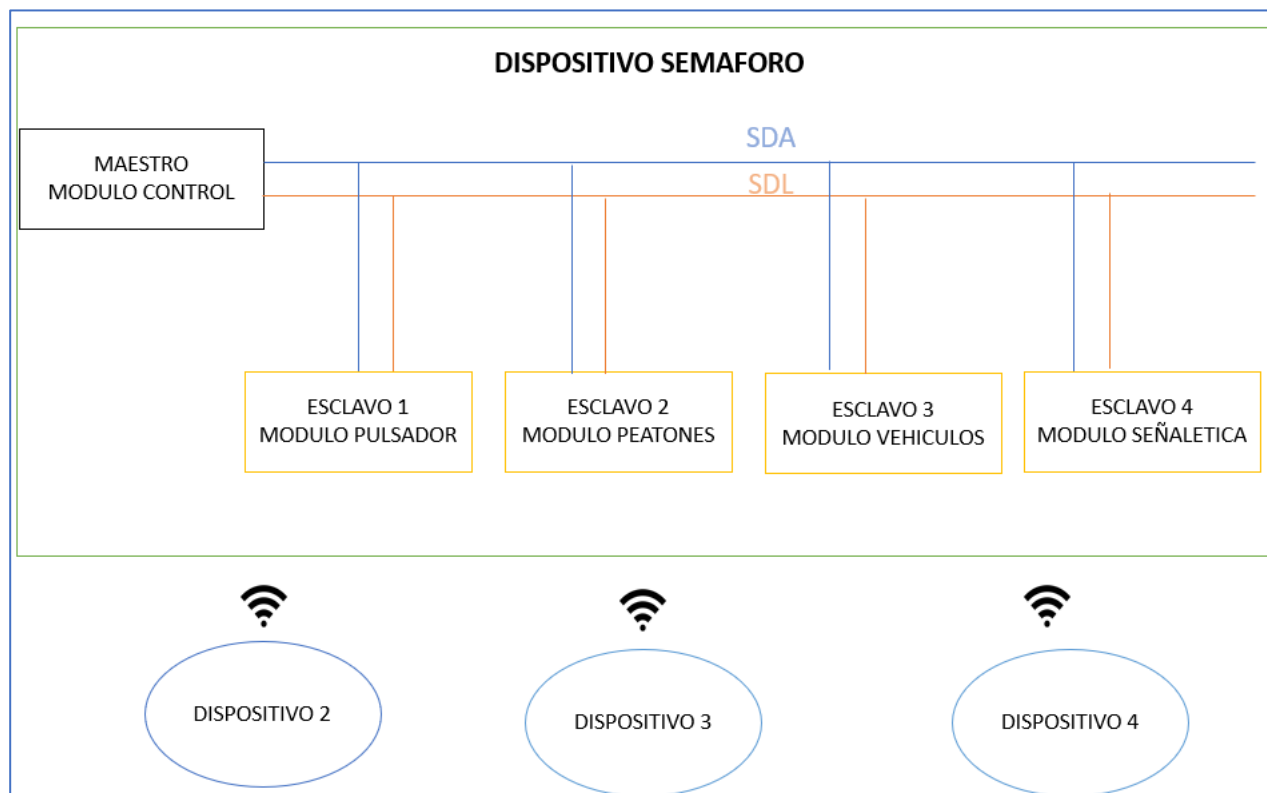


Figura 20: Solución Diseño electrónico.

10.3 Diseño de control

Para el diseño de la parte de control, se realizó los diagramas de estado para cada módulo tanto esclavos como el Maestro y la correspondiente programación para obtener módulos funcionales. El módulo de control es el encargado de recibir los mensajes de los diferentes esclavos y compartir esta información con los otros módulos. Al aplicar el control por separado para cada módulo se crea una automatización distribuida, en la figura 21 se pueda apreciar el ejemplo de control distribuido para este proyecto.

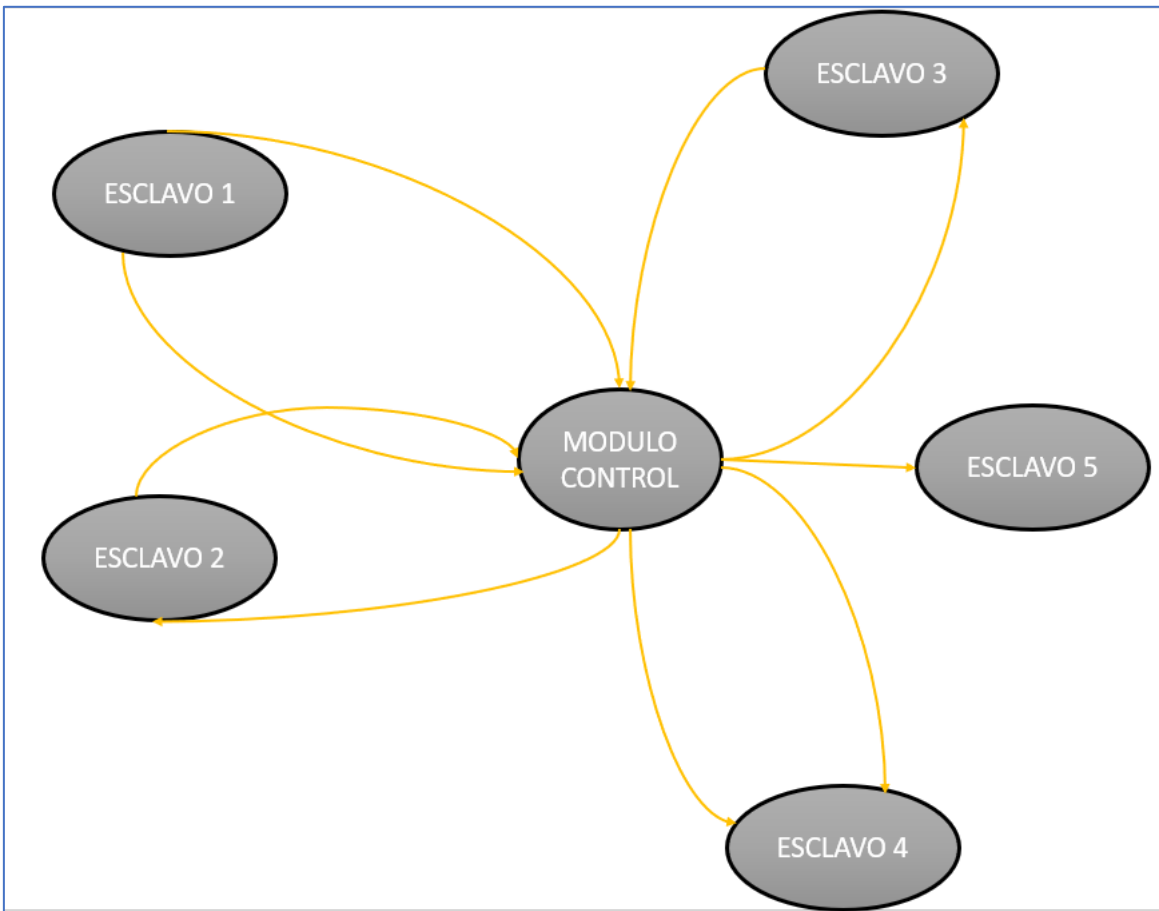


Figura 21: Solución Diseño de control.

CAPITULO 11

11. Análisis de Riesgos

A continuación, en la tabla 4 se exponen los principales riesgos a los que está expuesto este proyecto tanto en ámbitos de seguridad, comunicación, diseño entre otros.

Tabla 4: Análisis de Riesgos.

Riesgo	Probabilidad	Severidad	Nivel de riesgo
Fallo del sistema de comunicación	Media	Alta	Alto
Fallo del sistema de desplazamiento	Baja	Alta	Medio
Fallo del sistema giratorio	Baja	Alta	Medio
Interferencias electromagnéticas	Media	Media	Medio
Fallo en la alimentación del sistema	Baja	Alta	Medio
Errores en el diseño electrónico	Baja	Alta	Medio
Error en la secuencia de luces	Baja	Media	Bajo
Presencia de ruido	Media	Media	Medio
Fallo de los componentes electrónicos y eléctricos	Media	Alta	Alto
Fallas en el ensamblaje de los módulos	Media	Media	Medio
Fallo de comunicación de red	Media	Media	Medio
Falta de la resistencia al clima	Media	Media	Medio
Falta de escalabilidad	Baja	Media	Medio
Errores en la lógica de control	Baja	Media	Medio

El objetivo de realizar este análisis de posibles riesgos es poder identificar, evaluar y gestionar los riesgos potenciales que puedan aparecer en este proyecto, y así poder dar un correcto mantenimiento tanto preventivo como correctivo al dispositivo.

CAPITULO 12

12. Planificación Temporal

En la siguiente tabla se muestra la planificación que se ha realizado durante todo el tiempo de duración del proyecto. Se ha detallado por etapas y en orden cada una de las etapas que hemos desarrollado a lo largo del tiempo.

Tabla 5: Planificación Temporal.

Actividad	Fecha de inicio	Fecha de finalización	Número de Días
Definición del tema del TFM	20-02-2023	03-03-2023	14
Análisis de sistemas actuales y tendencias	03-03-2023	10-03-2023	7
Definición de Requerimientos	10-03-2023	17-03-2023	7
Diseño mecánico	17-03-2023	06-04-2023	20
Diseño Electrónico	06-04-2023	26-04-2023	20
Diseño de Control	26-04-2023	16-05-2023	20
Implementación del dispositivo	16-05-2023	06-06-2023	20
Pruebas de Validación	06-06-2023	21-06-2023	15
Redacción de la Memoria	21-06-2023	15-07-2023	25

Se ha desarrollado este capítulo con el fin de tener una organización y para tener un orden en las actividades y tareas necesarias, con el objetivo de terminar el trabajo de buena manera cumpliendo con los plazos establecidos.

ANEXO A

Implementación del dispositivo

Para la implementación de este dispositivo se desarrolló un proceso crucial que involucra la construcción, programación y prueba de un prototipo funcional. Para la realización de este proceso, se han puesto en práctica conocimientos de mecánica, electrónica y programación, con el fin de desarrollar un sistema integrado que lleve a cabo una tarea específica. Antes de implementar el diseño, se realizó un análisis detallado del diseño del dispositivo para identificar los materiales necesarios, así como las funcionalidades requeridas. Finalmente, se llevó a cabo la construcción del dispositivo, lo que implicó la fabricación y diseño de las piezas mecánicas, el ensamblaje de los componentes electrónicos y la programación de la parte de control.

1. Implementación del Diseño Mecánico

1.1 Selección software para el diseño

De acuerdo con los requisitos de software se realiza un análisis comparativo con los principales programas de diseño en la tabla 6.

Tabla 6: Análisis comparativo de los programas de diseño

Software	Facilidad de Uso	Gran variedad de herramientas de diseño	Diseño 3D	Herramientas de Simulación
SolidWorks	Si	Si	Si	Amplia
Autodesk Inventor	Si	Si	Si	Limitada
AutoCAD	Si	Si	Si	Limitada
Catia	Si	Si	Si	Amplia

Después de un análisis comparativo se escoge SolidWorks como herramienta de diseño, porque es el programa que mejor se ajusta a los requerimientos.

1.2 Diseño de los Módulos

A continuación, se detalla la construcción de los distintos módulos que forman parte de nuestro dispositivo.

1.2.1 Módulo de control

Representa el módulo principal, ya que en su interior está instalado el microcontrolador principal que se encarga del control de todo el dispositivo y permite la comunicación con otros dispositivos, también sirve de soporte para todo el dispositivo. En la figura 22, se puede observar el diseño del módulo.

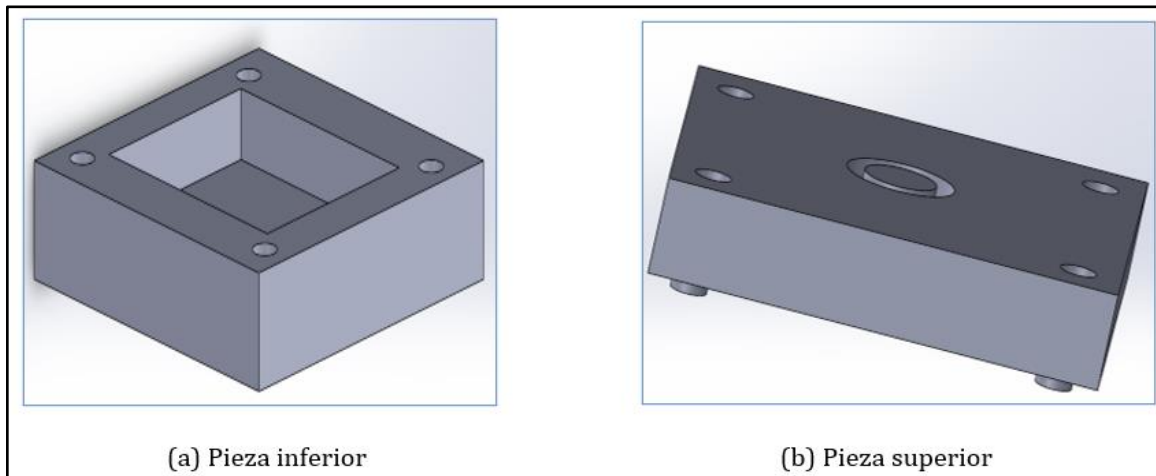


Figura 22: Diseño del módulo de control

Su diseño permite la facilidad de instalación del controlador principal y el ensamblaje con el pilar del semáforo, esta dimensionado de tal manera que permita la estabilidad de todo el dispositivo.

1.2.2 Módulo del Pilar

El diseño de este módulo permite generar estabilidad a todo el dispositivo, aunque no cuenta con elementos electrónicos en su interior, a través de este módulo se puede hacer el cableado para comunicar los diferentes módulos del dispositivo, además es escalable y permite la inclusión de cuantos módulos sean necesarios para trabajos futuros. En la figura 23, se muestra el diseño del módulo.

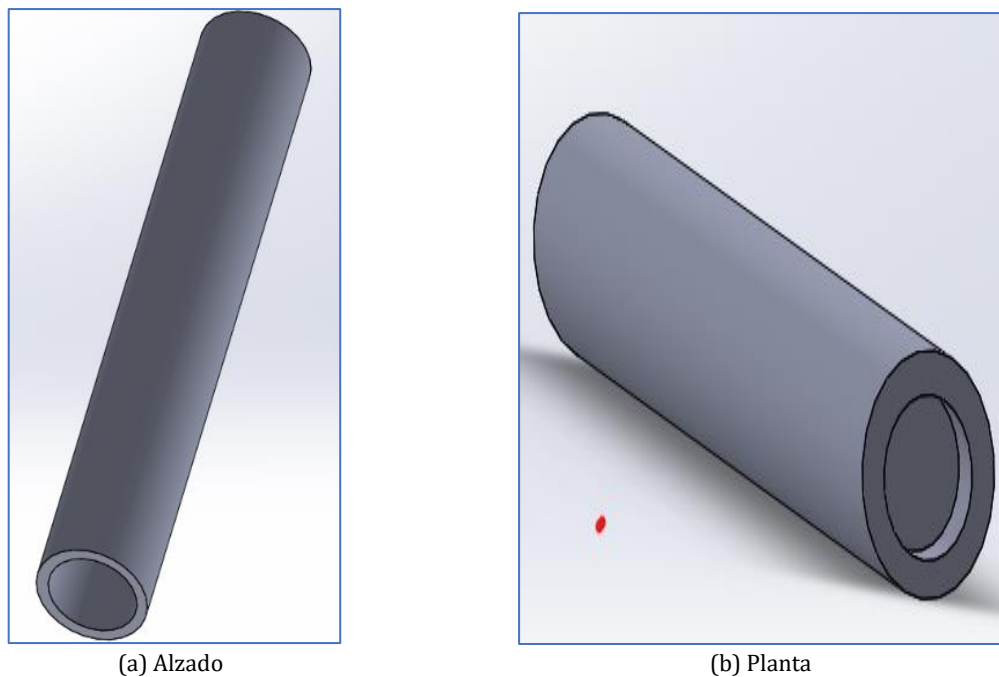


Figura 23: Módulo del pilar.

1.2.3 Módulo del semáforo de vehículos

El diseño realizado se adapta a las necesidades del proyecto, esta dimensionado para permitir la instalación de los diferentes componentes electrónicos. El módulo forma parte de otro módulo que en conjunto realizan las funciones mecánicas del dispositivo. En la figura 24, se muestra el diseño del módulo

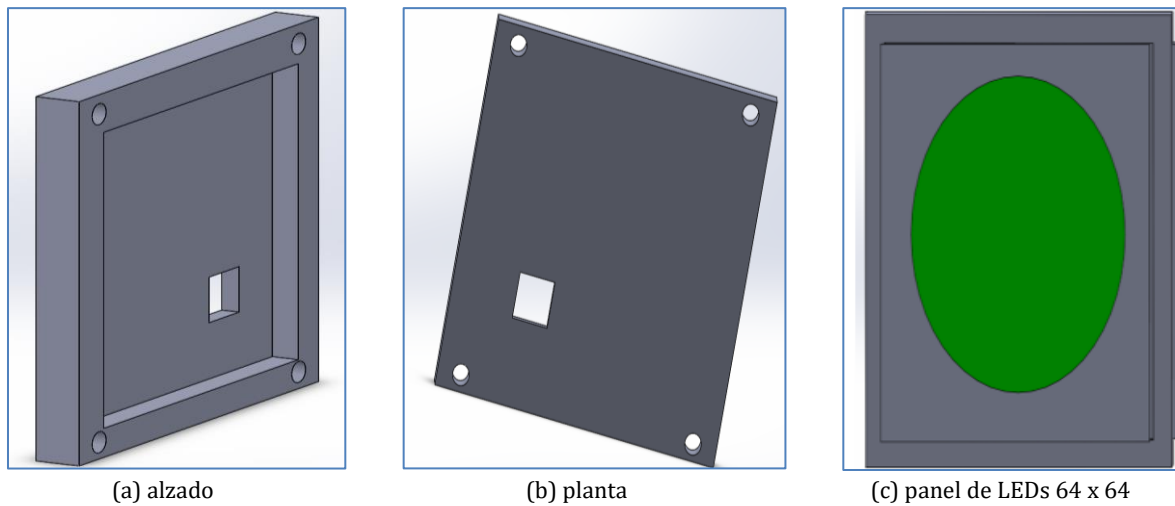


Figura 24: Módulo del semáforo de vehículos

1.2.4 Módulo de la Señalética

Es el módulo que más recursos mecánicos utiliza y junto con el módulo anterior se ensamblan para realizar las funciones específicas. En la figura 25 se muestra el diseño de este módulo, se ha agregado un soporte dentro de la parte trasera donde ira ubicado el motor que generara el movimiento.

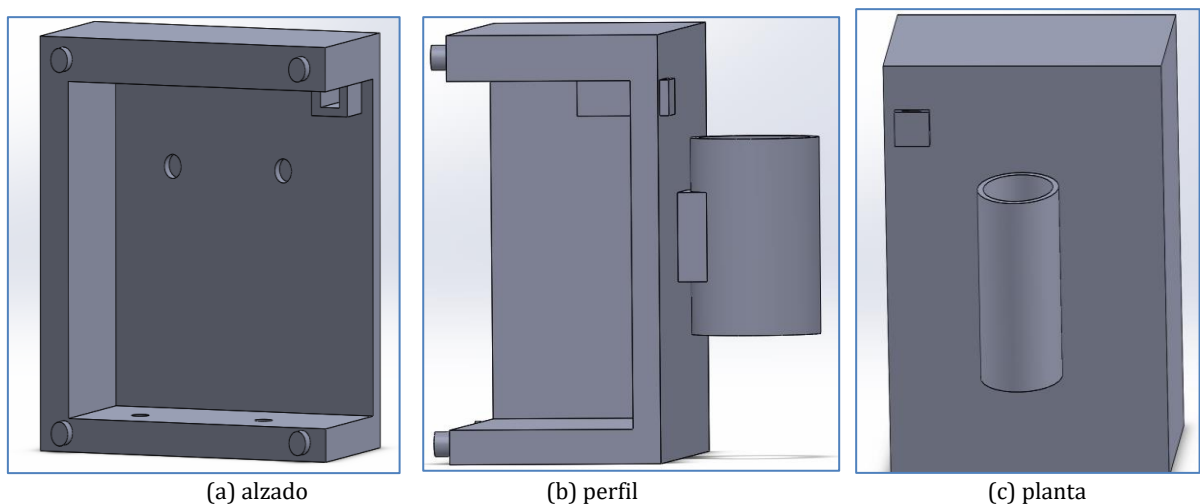


Figura 25: Módulo señalética.

Para lograr el desplazamiento horizontal de un panel sobre otro, se ha elegido utilizar un sistema de piñón cremallera, acompañado por dos soportes que mantienen estabilidad mientras el panel realiza el desplazamiento horizontal. Se puede observar un ejemplo visual de esta configuración en la figura 26 y 27.

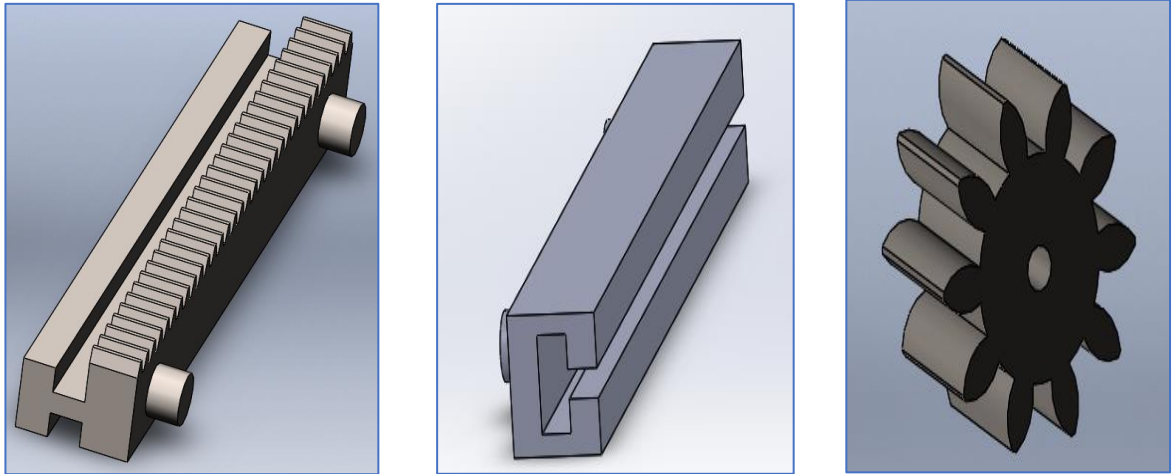


Figura 26: Sistema piñón cremallera.

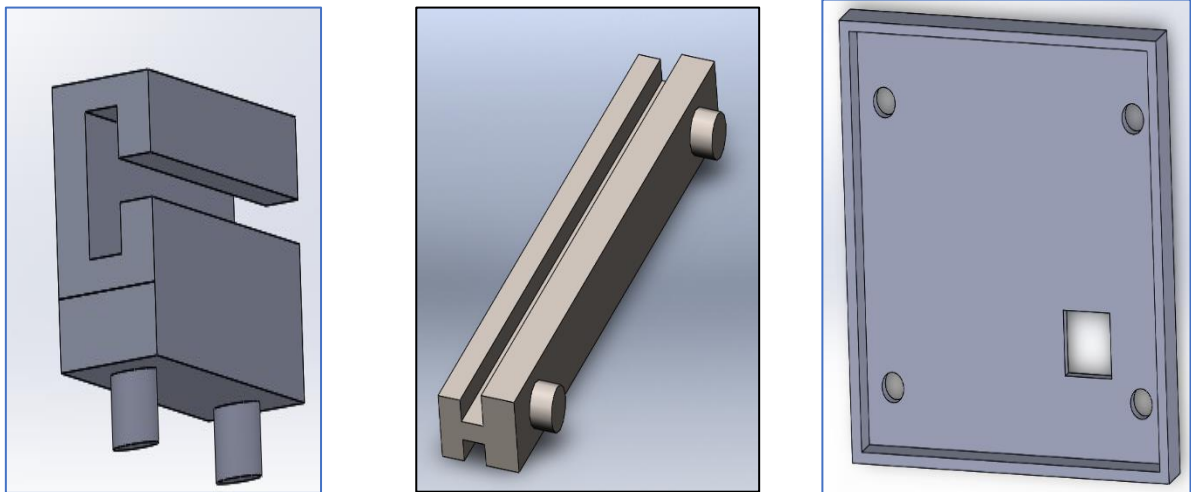


Figura 27: Soportes para el sistema piñón cremallera

Luego del respectivo ensamblaje, se muestra el diseño en la figura 28.

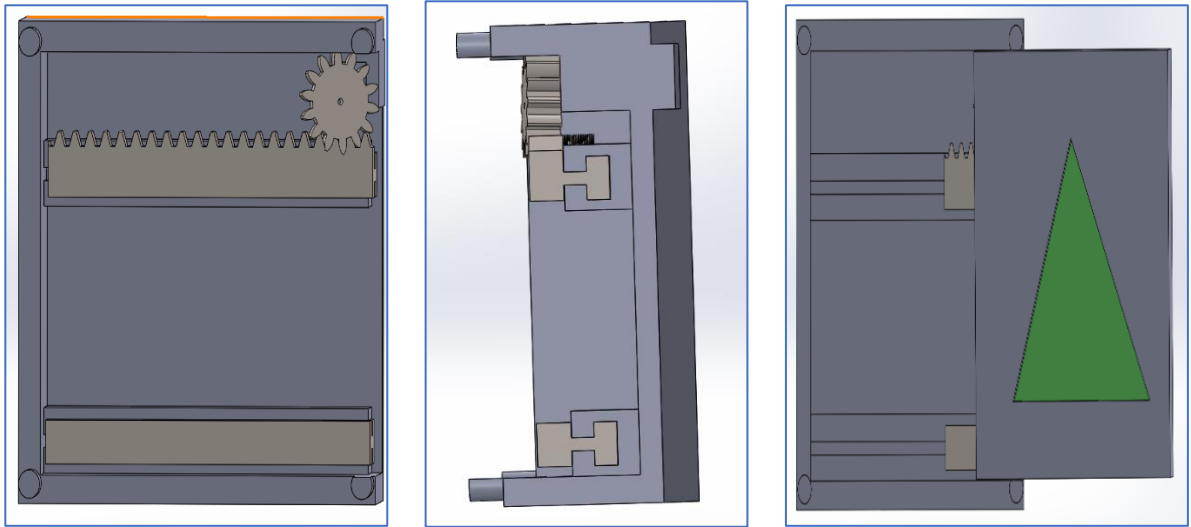


Figura 28: Ensamblaje Modulo Señalética

Una vez ensamblado, tanto el módulo de la señalética con el módulo del semáforo de vehículos, se generará una vista como la que se visualiza en la figura 29 El motor reductor accionará el sistema piñón cremallera generando así el desplazamiento de un panel sobre otro.

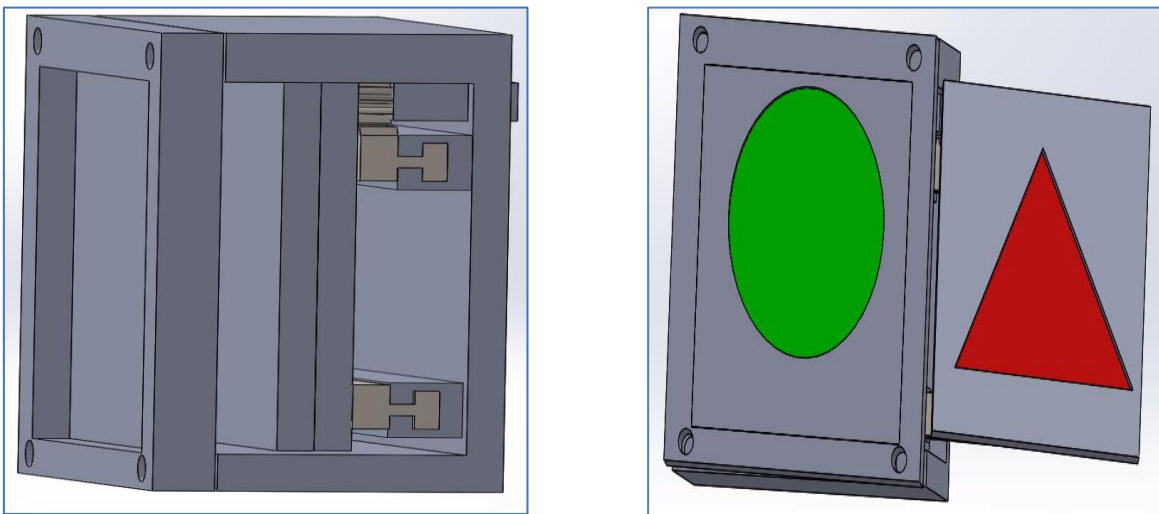


Figura 29: Ensamble del módulo vehículos y señalética

También se muestra el módulo con los paneles de LED ya montados. Para permitir que todo el módulo gire sobre su eje, se ha desarrollado un diseño mecánico que incorpora nuevas piezas. Estas piezas forman un sistema de transmisión mediante engranajes rectos que trabajan en conjunto para generar el movimiento deseado. En la figura 30 se presentan las piezas diseñadas, incluyendo los estabilizadores, como el sistema de engranajes.

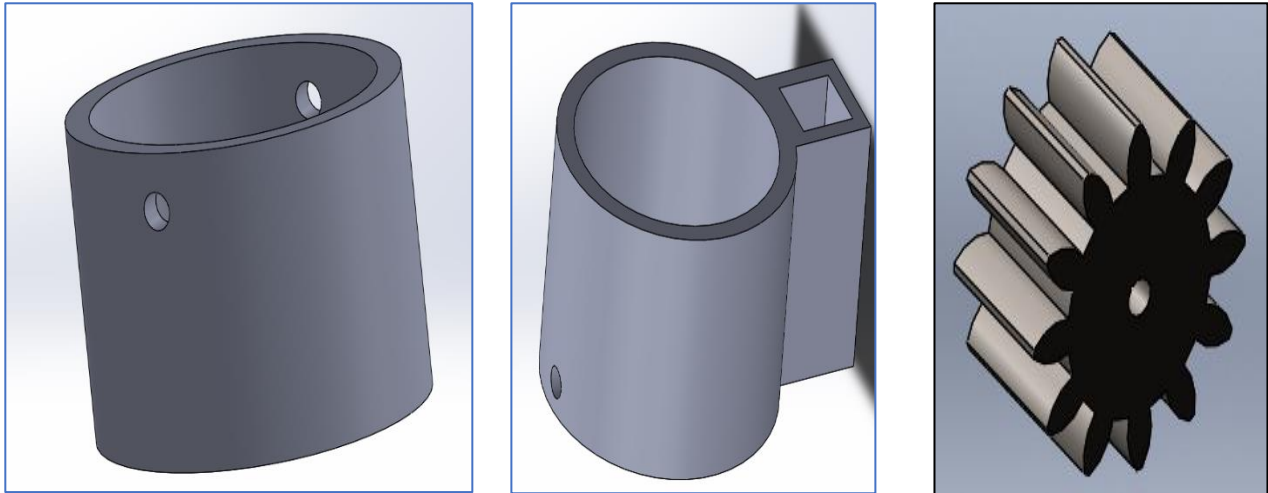


Figura 30: Estabilizadores y sistema de engranajes.

En la figura 31, se muestra el ensamble del sistema de engranajes. El otro motor estará ubicado en uno de los soportes para activar el sistema de engranajes y generar el giro sobre el eje.

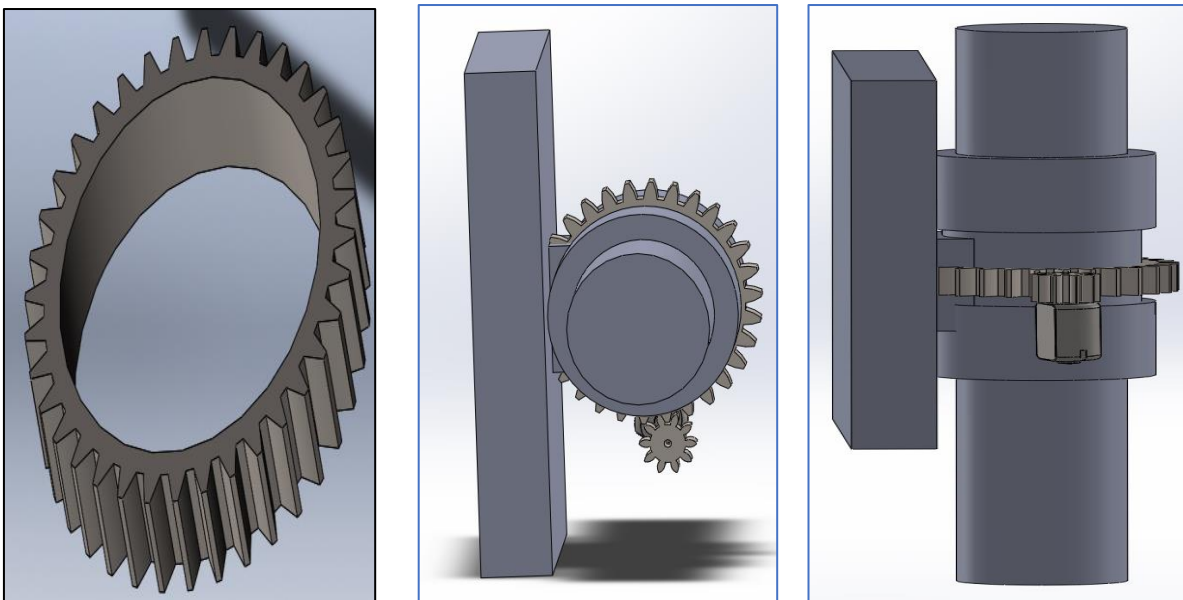


Figura 31: Sistema de engranajes ensamblado.

1.2.5 Módulo del semáforo de peatones

En la figura 32, se muestra el diseño para este módulo, con las dimensiones necesarias para la instalación de los distintos elementos electrónicos.

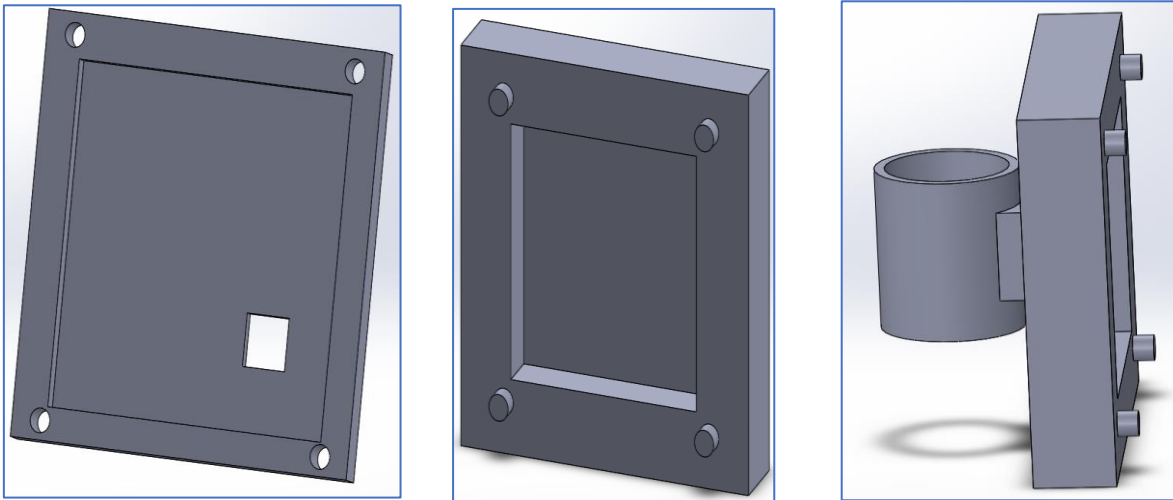


Figura 32: Módulo del semáforo de peatones.

1.2.6 Módulo Pulsador

En la figura 33, se muestra el diseño para este módulo, con las dimensiones necesarias para la instalación del pulsador.

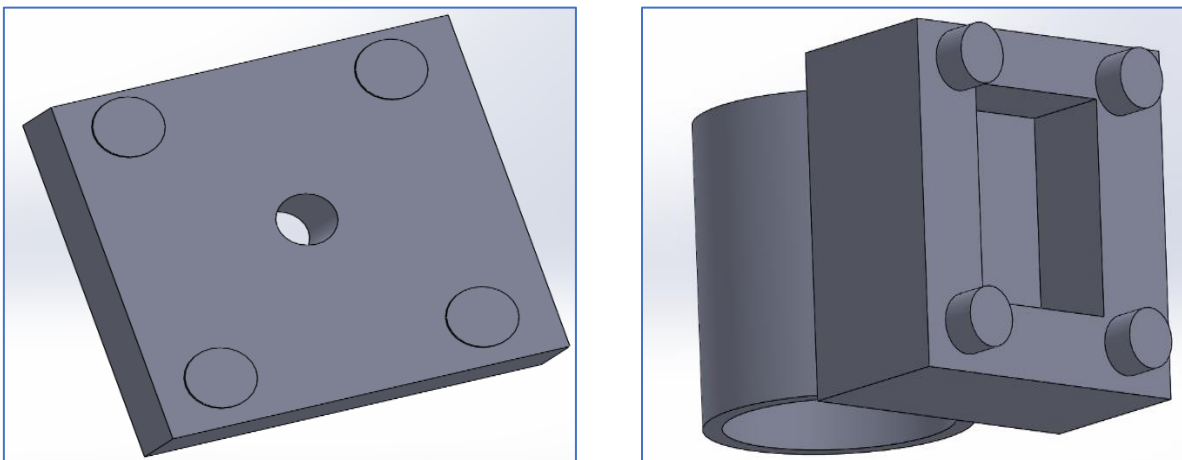


Figura 33: Módulo Pulsador.

1.2.7 Ensamble

En la figura 34, se muestra el ensamble final con la combinación de todos los módulos, se debe tomar en cuenta la disposición de todos los módulos, sabiendo que entre el módulo del semáforo de vehículos y el de peatones debe haber una diferencia de 90 grados en sus ubicaciones. Los apartados c y d representan el diseño después de que un panel se desliza sobre el otro.

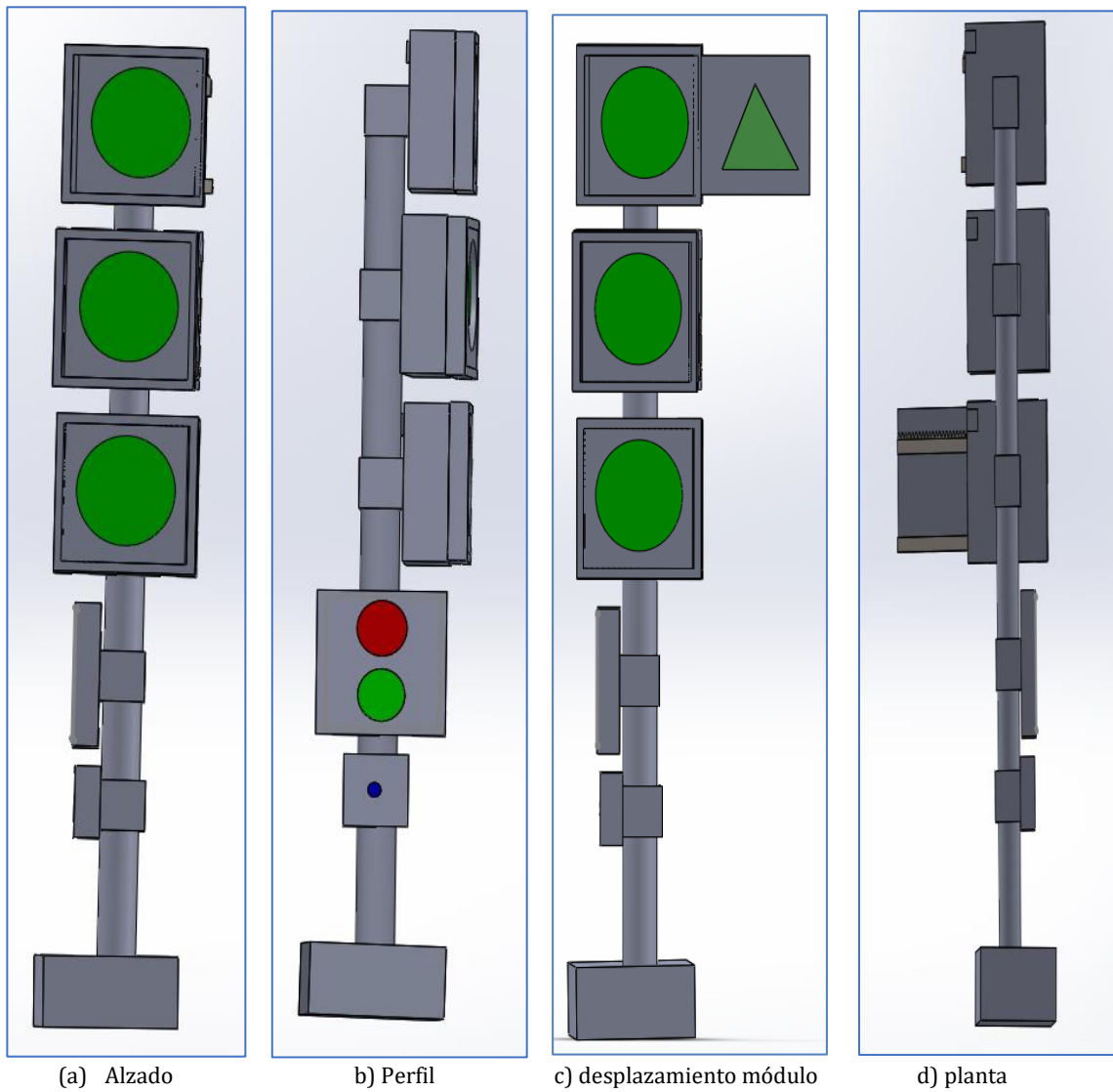


Figura 34: Ensamblaje final

1.2.8 Resumen de Operaciones

Se realizó un resumen con las diferentes operaciones que se ha utilizado en SolidWorks para generar las distintas piezas del dispositivo.

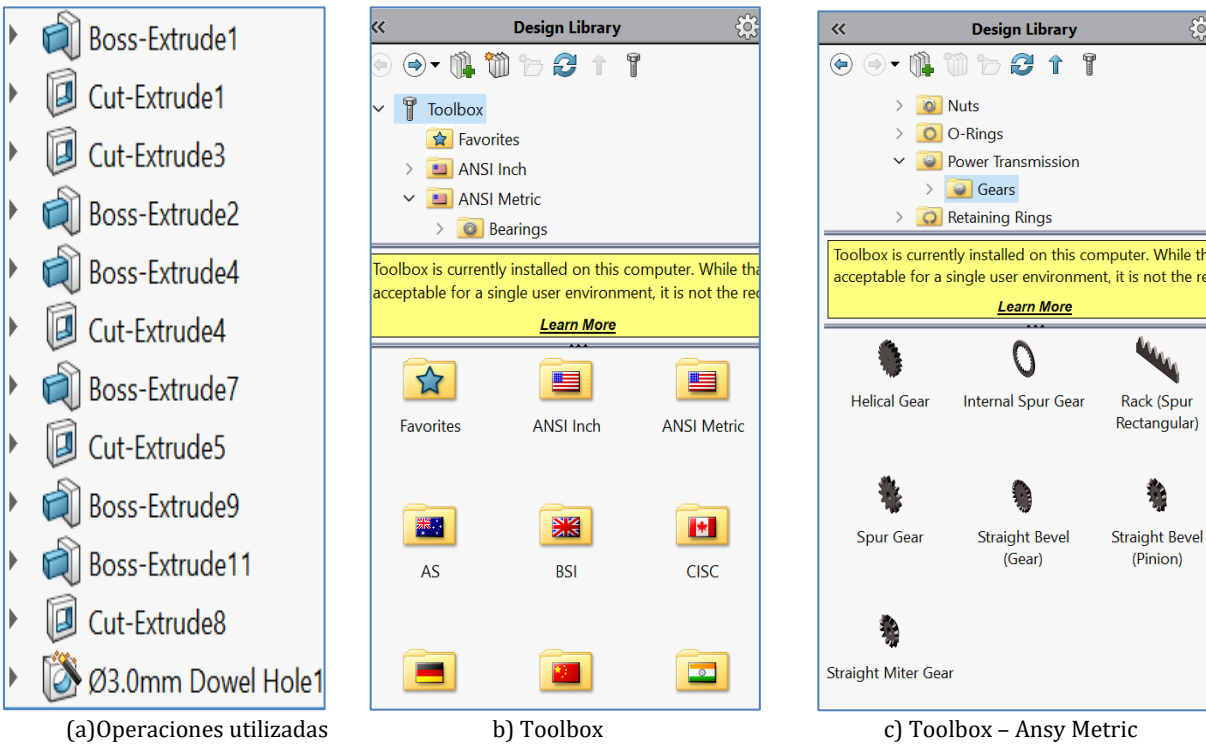


Figura 35: Resumen del diseño en SolidWorks

En la Figura 35, se muestra las operaciones más importantes utilizadas para el diseño, entre estas operaciones se incluye Boss extrude, que permite generar el sólido principal, Cut extrude, que se utiliza para realizar cortes precisos y simétricos junto con opciones de simetría, y Dowel hole, que permite crear agujeros para la fijación de tornillos y componentes. Por otro lado, en las imágenes b y c se presentan las toolbox que se ha empleado en el diseño. Específicamente, se ha utilizado la configuración ANSY METRIC y, posteriormente, seleccionado la opción de transmisión de potencia para generar los engranajes y las cremalleras necesarios.

Para los engranes y cremalleras para el desplazamiento, se ha seleccionado las características que se muestran en la figura 36, con el objetivo de que estos engranen perfectamente y generen el movimiento deseado.

Properties

Module: 2

Pressure Angle: 20

Face Width: 15

Pitch Height: 20

Length: 200

Show Teeth: All

Comment:

(a) dimensiones cremallera

Properties

Module: 2

Number of Teeth: 10

Pressure Angle: 20

Face Width: 15

Hub Style: None

Nominal Shaft Diameter: 3

(b) dimensiones engranaje

Figura 36: Propiedades del sistema piñón cremallera

Para el sistema de engranes para el movimiento del giro, se empleó las configuraciones que se observan en la figura 37.

Properties

Module: 3

Number of Teeth: 36

Pressure Angle: 20

Face Width: 15

Hub Style: None

Nominal Shaft Diameter: 60

Keyway: None

Show Teeth: 36

Comment:

(a) Engrane de 36 dientes

Properties

Module: 2

Number of Teeth: 12

Pressure Angle: 20

Face Width: 15

Hub Style: None

Nominal Shaft Diameter: 3

Keyway: None

Show Teeth: 12

(b) Engrane de 12 dientes

Figura 37: Propiedades del sistema de engranajes rectos

En general, el apartado representa el resumen más importante de operaciones realizadas, y se toma en cuenta que el dispositivo esta dimensionado de acuerdo con los paneles de LEDs 64 x 64 de cada módulo.

1.2.9 Movimiento piñón cremallera

Para calcular el tiempo del desplazamiento de la cremallera se realiza el siguiente calculo:

Datos

Velocidad del Motor = 100 rpm

Numero de dientes del piñón = 10 dientes

Numero de dientes por cada centímetro de cremallera = $2 \frac{\text{dientes}}{\text{cm}}$

Distancia por recorrer = 19.2 cm = x

Resolución

$$D = \frac{\text{dientes piñón}}{\text{dientes por centrimetro de cremallera}}$$

$$D = \frac{10 \text{ dientes}}{2 \frac{\text{dientes}}{\text{cm}}}$$

$$D = 5 \text{ cm}$$

$$V = \frac{100 \text{ rev} \times 5 \text{ cm}}{60\text{s} \times 1 \text{ rev}}$$

$$V = 8.3 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Como el tamaño del panel de leds que se debe desplazar es de 19.2 cm se calcula el tiempo necesario de encendido del motor para que el módulo pueda desplazarse entonces:

$$t = \frac{x}{V}$$

$$t = \frac{19.2 \text{ cm}}{8.3 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}$$

$$t = 2.4 \text{ s}$$

Entonces para que el panel señalética pueda desplazarse es necesario activar el motor 2,4 segundos en un sentido y 2,4 segundos en sentido contrario para que vuelva a su posición normal.

1.2.10 Movimiento sistema de engranajes rectos

Puesto que los módulos giratorios que componen este dispositivo realizaran giros de 90 grados para coordinar tanto con las calles opuestas o con el semáforo de peatones se realizó el cálculo del tiempo que necesita para girar.

Datos

Velocidad del motor = 100 rpm

Numero de dientes del engrane impulsor = 12

Numero de dientes del engrane conducido = 36

Carga = 1200 g

Módulo del engrane impulsor = 2cm

Modulo del engrane conducido = 3 cm

Masa del engrane impulsor = 30 g

Masa del engrane conducido = 100 g

Radio del engrane impulsor = 0.4 cm

Radio del engrane conducido = 6 cm

Solución:

Primero calculamos la relación de transmisión.

$$R = \frac{\text{Numero de dientes del engrane conducido}}{\text{Numero de dientes del engrane impulsor}}$$

$$R = \frac{36}{12}$$

$$R = 3$$

Se calcula la velocidad angular del engrane conducido, puesto que el engrane impulsor toma la velocidad angular del motor tenemos que:

$$\omega = \frac{\text{Velocidad del motor}}{\text{Numero de dientes del engrane impulsor}}$$

$$\omega = \frac{100 \text{ rpm}}{12}$$

$$\omega = 33.33 \text{ rpm}$$

$$\omega = 3.456 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Ahora calculamos las inercias de los engranes

$$\text{Inercia impulsor} = \frac{\text{Masa impulsor} \times \text{radio}^2}{2}$$

$$\text{Inercia impulsor} = \frac{30 \text{ g} \times 0.4 \text{ cm}^2}{2}$$

$$\text{Inercia impulsor} = 2.4 \text{ g cm}^2$$

$$\text{Inercia conducido} = \frac{\text{Masa conducido} \times \text{radio}^2}{2}$$

$$\text{Inercia conducido} = \frac{100 \text{ g} \times 6 \text{ cm}^2}{2}$$

$$\text{Inercia conducido} = 1800 \text{ g cm}^2$$

Calculamos la inercia de la carga la cual esta aplicada al engrane conducido.

$$\text{Inercia carga} = \frac{\text{Masa carga} \times \text{radio}^2}{2}$$

$$\text{Inercia carga} = \frac{1200 \text{ g} \times 6 \text{ cm}^2}{2}$$

$$\text{Inercia carga} = 21600 \text{ g cm}^2$$

$$\text{Inercia total} = \text{Inercia impulsor} + \text{Inercia conducido}$$

$$\text{Inercia total} = (2.4 + 1800) \text{ g cm}^2$$

$$\text{Inercia total} = 1802.4 \text{ g cm}^2$$

Ahora realizamos el cálculo para un giro de 90 grados, donde 90 grados es igual a $\frac{\pi}{2}$.

$$t = \frac{\frac{\pi}{2} \times \text{numero de dientes impulsor}}{\omega \times \frac{\text{Inercia carga}}{\text{Inercia carga}}}$$

$$t = \frac{\frac{\pi}{2}}{3.456 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times \frac{21600 \text{ g cm}^2}{1802.4 \text{ g cm}^2}}$$

$$t = 0.6 \text{ s}$$

Es importante el cálculo de estos valores para cuando se necesite programar el control de los motores. El engrane impulsor es el que va directamente enclavado al motor y el engrane conducido es el que se mueve a través de la transmisión de movimiento del impulsor.

2 Implementación del diseño electrónico

2.1 Selección de componentes Hardware

Se llevó a cabo este proceso con el objetivo de identificar y seleccionar los componentes óptimos para el diseño, dado que su elección es de suma importancia debido a su impacto directo en la calidad, rendimiento, fiabilidad y costo del proyecto. Por lo tanto, fue esencial comprender las características y especificaciones técnicas de cada elemento antes de hacer la selección final. A continuación, se detallan los diferentes componentes electrónicos seleccionados para cada módulo del diseño.

2.1.1 Módulo señalética

Es el módulo que utiliza más componentes electrónicos, a continuación, en la tabla 7, se detalla los diferentes microcontroladores más importantes.

Tabla 7: Lista de Microcontroladores

Nombre	Costo	Pines digitales	Pines analógicos	CPL	RAM (Kb)	Consumo (mA)
ATMEGA2650	40 €	54	16	Si	8	50 – 200
UNO	30 €	14	6	No	2	50
NANO	10 €	22	8	No	2	15
MICRO	10 €	20	8	No	2	20

Mediante un análisis se selecciona al ATMEGA2650 como el microcontrolador óptimo para este módulo, puesto que es el único compatible con el panel de LEDs y cuenta con una gran variedad de pines analógicos y digitales comparado a otros microcontroladores como el Arduino Nano o Uno, ya que es necesario una buena cantidad de pines para las conexiones pertinentes, además los paneles de leds necesitan de un microcontrolador que cuente con una buena capacidad de memoria y procesamiento, por todo esto el microcontrolador que cumple con todos estos requerimientos es el ATMEGA 2560.

Otro de los componentes importantes son los motores, de gran utilidad en nuestro diseño ya que el mecanismo genera movimientos. En la tabla 8, se muestra una lista de los posibles motores que pueden formar parte del dispositivo.

Tabla 8: Lista de Motores

Motor	Costo	Torque (Nm)	Precisión	Velocidad (rpm)	Consumo (W)
DC	8 €	Medio	Baja	Variable	1 – 10
Reductor	15 €	Alto	Alta	Baja	1 – 10
Servo	10 €	Medio	Alta	Variable	0.5 – 10
Paso a paso	25 €	Medio	Media	Variable	1 – 10

Con el fin de lograr el desplazamiento y giro requeridos en el dispositivo, es necesario contar con un motor de alto torque que permita realizar estos movimientos, mediante un análisis comparativo, se ha seleccionado el motor reductor como la opción óptima para el movimiento mecánico. Es importante que el motor cuente con un torque alto ya que lo que se busca es mover y desplazar cargas, un motor con torque medio y bajo podría no ser suficiente para mover dichas cargas, por tal motivo el motor adecuado para realizar esta tarea es el reductor. Para el control de los motores es importante la elección de un componente que mejor se adapte a las necesidades del dispositivo. En la tabla 9 se muestra una lista de controladores y sus características más importantes.

Tabla 9: Lista de Controladores

Controlador	Alimentación (V)	NDM	Costo	CDS (mA)	Consumo (W)
L293D	4.5 - 36	2	5 €	600	0.5 - 1.2
L298N	5 - 35	2	8 €	2000	0.9 - 2.8
A4988	8 - 35	1	4 €	2000	1 - 2.5
DRV825	8.2 - 45	1	7 €	1500	1.5 - 5.5

Mediante un análisis de selección se ha seleccionado el controlador L298N, ya que este permite controlar hasta 2 motores, tanto para el desplazamiento como para el giro y genera una corriente de salida elevada en comparación a los otros controladores, esto es de mucha importancia ya que mientras más corriente se le suministra a los reductores, estos producen más par. Para la comunicación con otros dispositivos o sistemas de control, se ha realizado una lista que se muestra en la tabla 10, con los módulos más importantes y sus principales características.

Tabla 10: Lista de Módulos

Modulo	Consumo de Corriente (mA)	RAM (Kb)	Potencia (mW)	Alimentación (V)
ESP8266	15	80	100	3.3
ESP32	20	520	112	3.3
CC3000	10 - 40	256	63	3.3 o 5
CC3200	12	256	63	3.3

Mediante un análisis de selección se ha escogido el Módulo ESP8266 ya que el consumo de corriente es menor comparado a los otros módulos, y este puede ser suministrado por el mismo microcontrolador de su modulo, además es de los componentes más utilizados para el diseño de interfaces y la implementación de proyectos. Además, desde el inicio del proyecto se decidió utilizar paneles de Leds en lugar de las luces Led convencionales, no se ha realizado un análisis comparativo en este caso, debido a que los paneles de Leds ofrecen mayor versatilidad y son capaces de generar señales diferentes a los colores tradicionales de los semáforos convencionales, además en un solo panel se puede poner información extra como el tiempo restante.

De esta manera, la elección de los componentes mencionados se basa en una evaluación cuidadosa de las necesidades y requisitos del proyecto, buscando siempre la opción más adecuada para lograr el rendimiento y funcionalidad deseados.

2.1.2 Resumen de componentes para todos los módulos

Puesto que para el control de los paneles de leds se ha decidido utilizar los microcontroladores ATMEGA250, se planea utilizar una gran variedad de microcontroladores para el control de los otros módulos del dispositivo. En la tabla 11 se muestra un resumen de componentes para cada módulo.

Tabla 11: Resumen de Componentes

Modulo	Microcontrolador	Motor	Pulsador	Panel de leds	ESP8266
Semáforo de Vehículos	ATMEGA250	----	----	Si	----
Pulsador	NANO	----	Si	----	----
Señalética	ATMEGA250	Reductor y L298N	----	Si	----
Semáforo de peatones	ATMEGA250	----	----	Si	----
Control	UNO y NANO	----	----	----	Si
Flujo de trafico	UNO	----	---	----	----

Puesto que nuestro dispositivo consta de 5 módulos un Maestro y 4 esclavos, para la realización de pruebas se ha simulado un módulo extra para el flujo de tráfico, el módulo de control utiliza 2 microcontroladores uno que actúa de Maestro y otro que actúa de receptor del mensaje mediante El módulo ESP8266. En la figura 38 se muestran algunos de los componentes que se han seleccionado para la implementación del dispositivo.

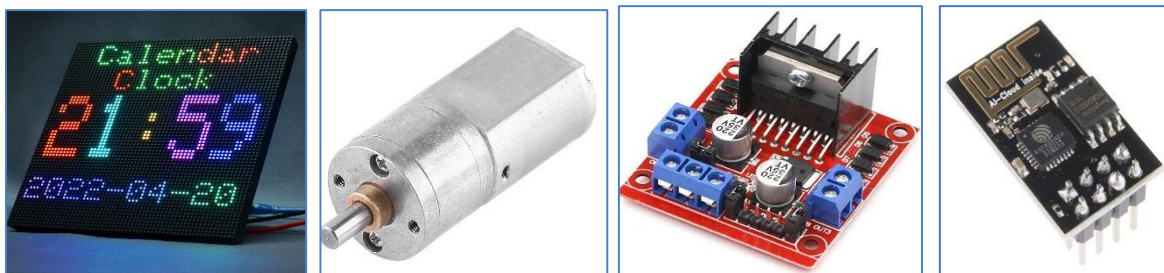


Figura 38: Componentes del sistema electrónico.

2.2. Selección de software de diseño

En la tabla 12, se realizó una comparación de programas más utilizados para diseños electrónicos, además, mediante un análisis de selección se escogió el que más se adapta a los requerimientos.

Tabla 12: Programas para diseños electrónicos.

Software	Accesibilidad	Facilidad de uso	Biblioteca de componentes	Simulación
Tinkercat	Buena	Si	Amplia	Limitada
Proteus	Buena	Si	Amplia	Amplia
Multisim	Buena	Si	Amplia	Limitada
Kicad	Buena	Si	Amplia	Amplia

Mediante un análisis de selección se ha escogido Proteus para llevar a cabo el diseño de la parte electrónica del dispositivo, ya que cumple con todos los requerimientos de diseño electrónico para nuestro trabajo.

2.3 Diseño en Proteus

Como en los apartados anteriores se realizó el diseño electrónico de cada módulo por separado, el objetivo fundamental de utilizar Proteus es simular y verificar circuitos electrónicos antes de implementarlos de forma física, ya que mediante esto podemos ahorrar tiempo y verificar nuestro diseño antes de implementarlo en el mundo real.

2.3.1 Diseño del módulo de control

El Arduino uno es el encargado de controlar todo el dispositivo y el resto de los módulos, se realizó la implementación de este microcontrolador con otro microcontrolador externo, que se encarga de recibir el mensaje a través del módulo ESP8266 permitiendo así que el módulo de control pueda comunicarse de manera inalámbrica con otros dispositivos, o módulos. En la figura 39, se observa la configuración que describe a este módulo.

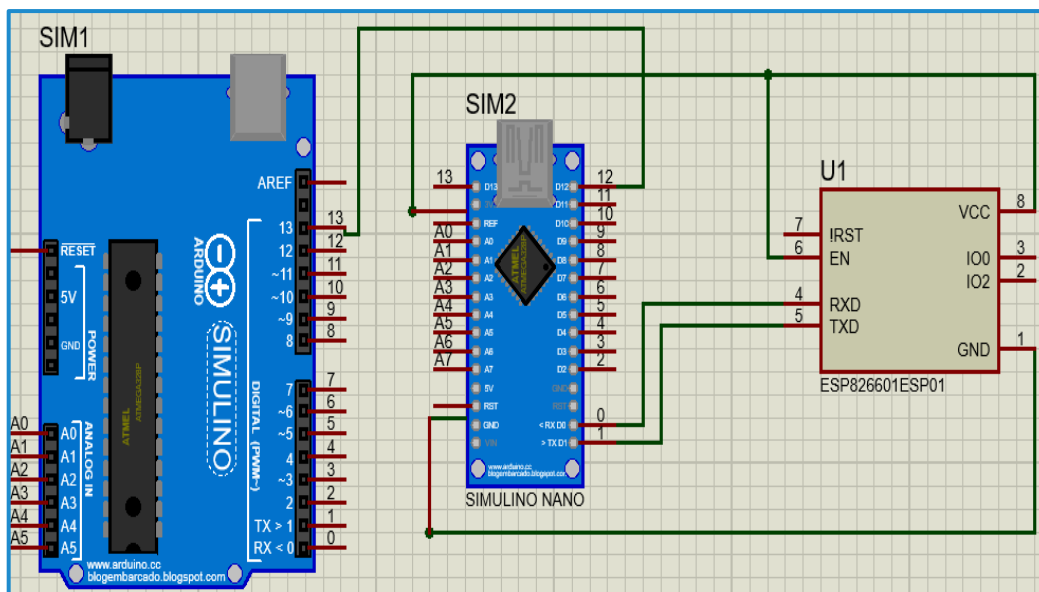


Figura 39: Diseño del módulo de control.

Se decidió realizar esta configuración utilizando un microcontrolador externo, ya que se realizó una interfaz en el programa Remote XY para simular la llegada de un vehículo de emergencia a través del envío de un mensaje, es importante realizar la configuración del módulo de control de esta manera ya que para realizar el control en Arduino y la comunicación I2C tanto la librería del programa Remote XY y la librería Wire no son compatibles, entonces el mensaje se envía por wifi desde el teléfono o cualquier dispositivo al microcontrolador externo y este se conecta de manera directa al Maestro.

Entonces el microcontrolador externo puede recibir cualquier mensaje o dato y enviarlo de manera directa al Maestro sin la necesidad de utilizar la comunicación I2C.

2.3.2 Diseño del módulo de vehículos

Como se presenta en la figura 40, el panel de Leds se conecta al Arduino mega, se ha mantenido el esquema de pines y conexiones proporcionadas por el fabricante del panel de leds.

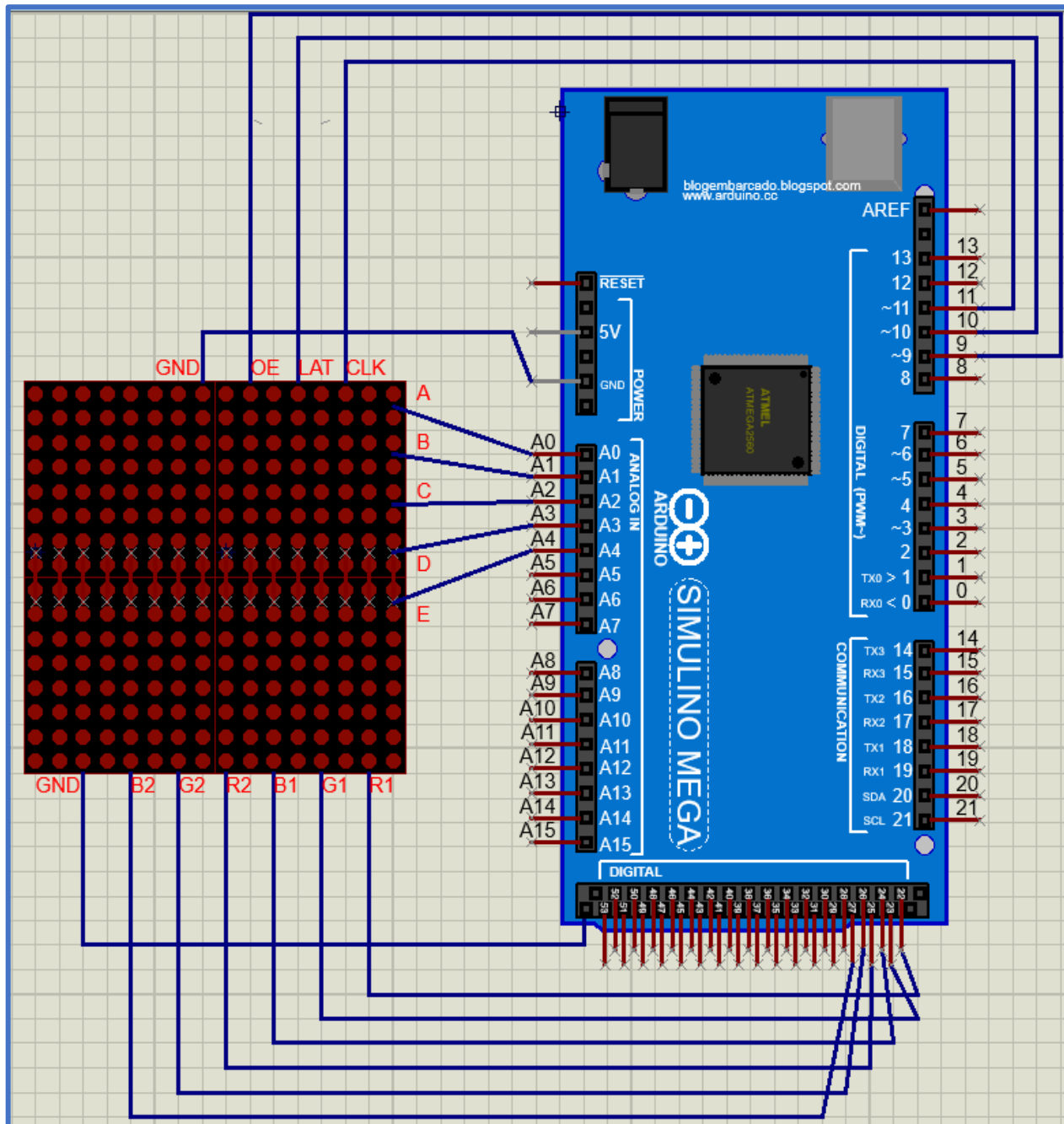


Figura 40: Diseño del Módulo semáforo de vehículos.

2.3.3 Diseño del módulo señalética

En la figura 41, se presenta la configuración de los motores y el controlador L298N, puesto que la configuración del panel de leds es igual a la del módulo de vehículos de la figura 40, en este apartado solo se muestra la configuración de los motores y el controlador, es importante conectar una fuente externa de 12 V a los terminales del controlador.

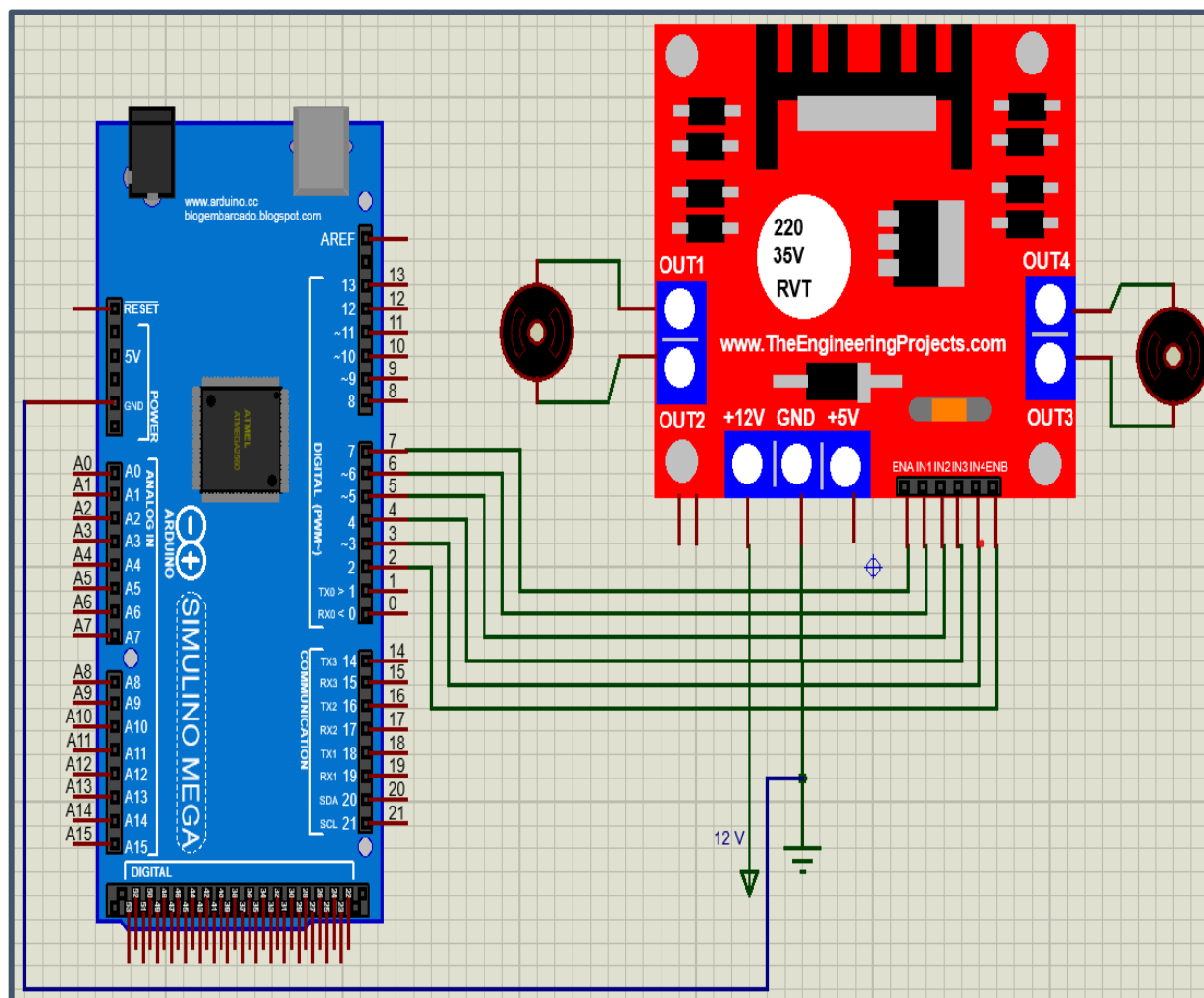


Figura 41: Diseño del módulo señalética.

2.3.4 Diseño del módulo de peatones

La configuración es similar a la del módulo de vehículos como se muestra en la Figura 42.

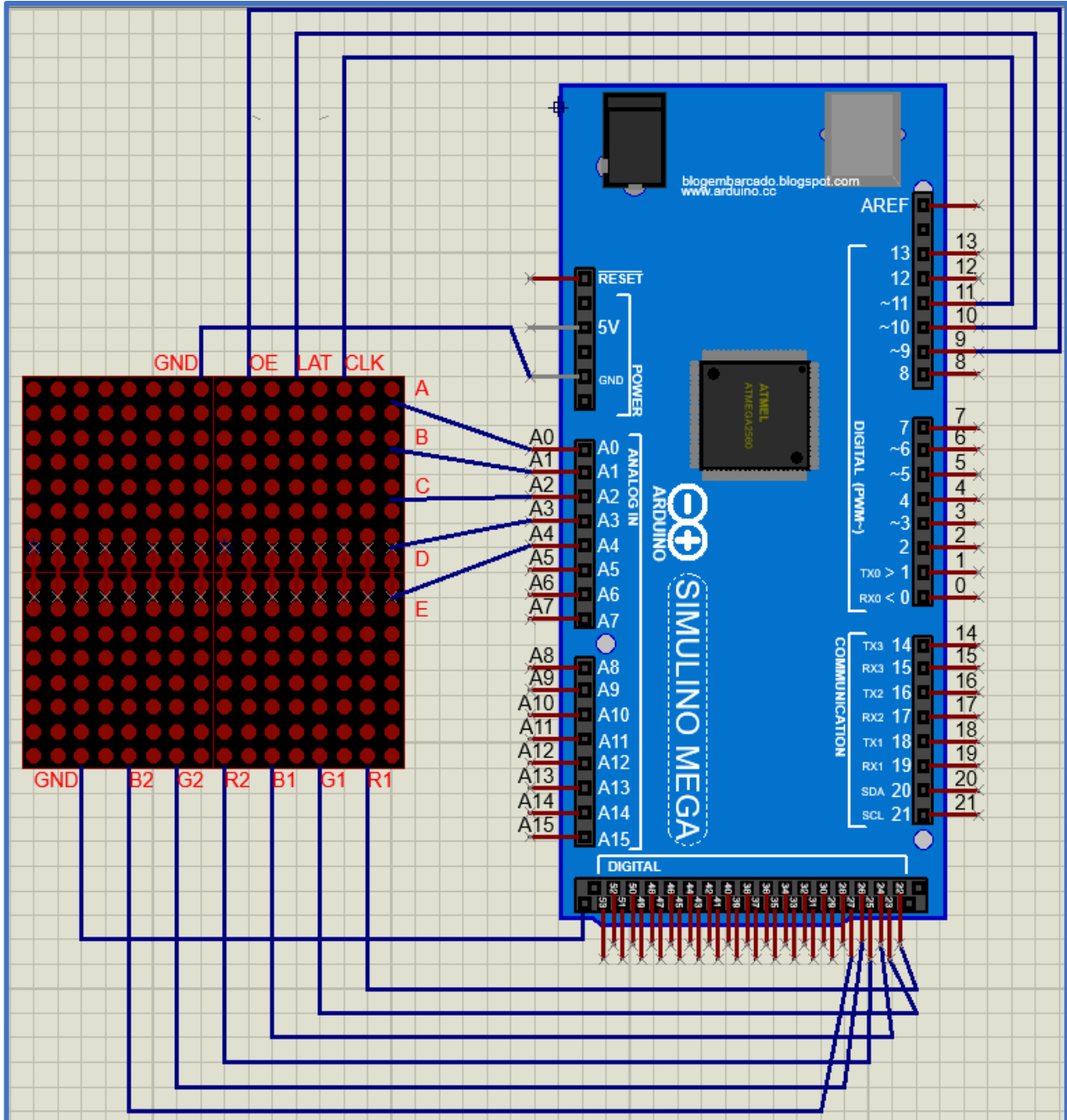


Figura 42: Diseño del Módulo semáforo de peatones.

2.3.5 Diseño del módulo pulsador

En la figura 43, se muestra la configuración para este módulo, debido a que Proteus no permite utilizar un botón más grande, se ha simulado con un simple botón, pero la funcionalidad es la misma.

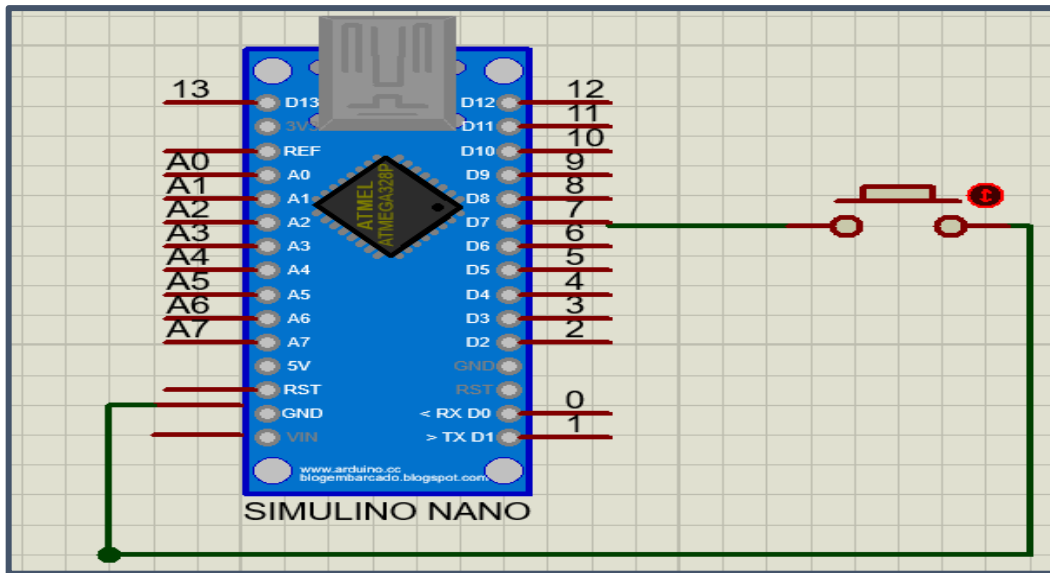


Figura 43: Configuración del módulo pulsador

2.3.6 Diseño del flujo de tráfico.

En la figura 44, se muestra la configuración de la simulación del flujo de tráfico.

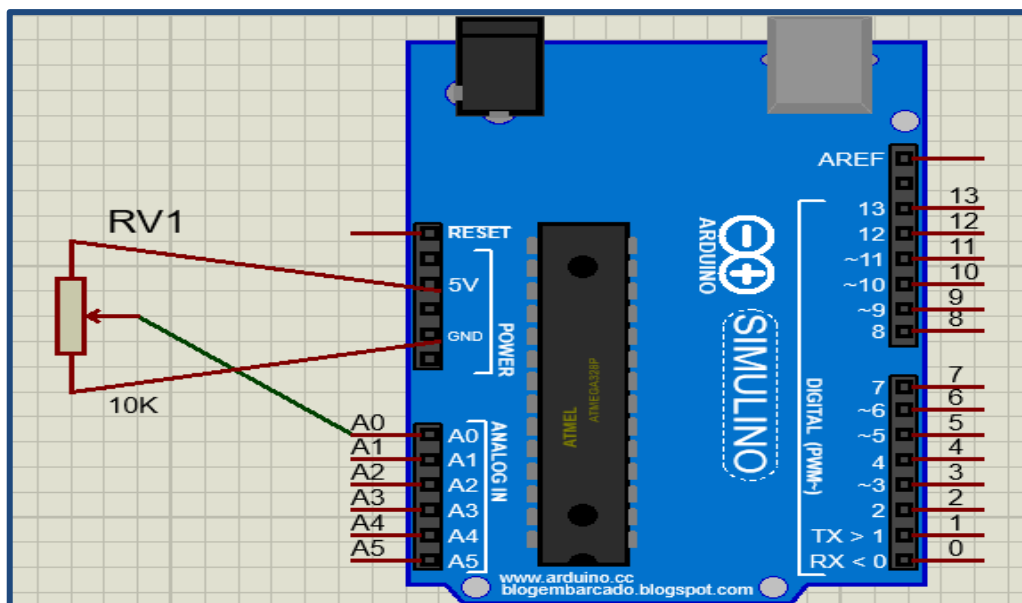


Figura 44: Diseño del flujo de tráfico.

2.3.7 Comunicación entre módulos

Para facilitar la comunicación entre los módulos, se utilizó el protocolo I2C. En la figura 45, se muestra la configuración de un maestro y 2 esclavos. El maestro, representado por el Arduino UNO, se encarga del control general del sistema. Los 2 esclavos corresponden a los módulos de señalética y al pulsador. Con el objetivo de diversificar el diseño y verificar la comunicación entre dispositivos de diferentes marcas, hemos utilizado una amplia variedad de microcontroladores.

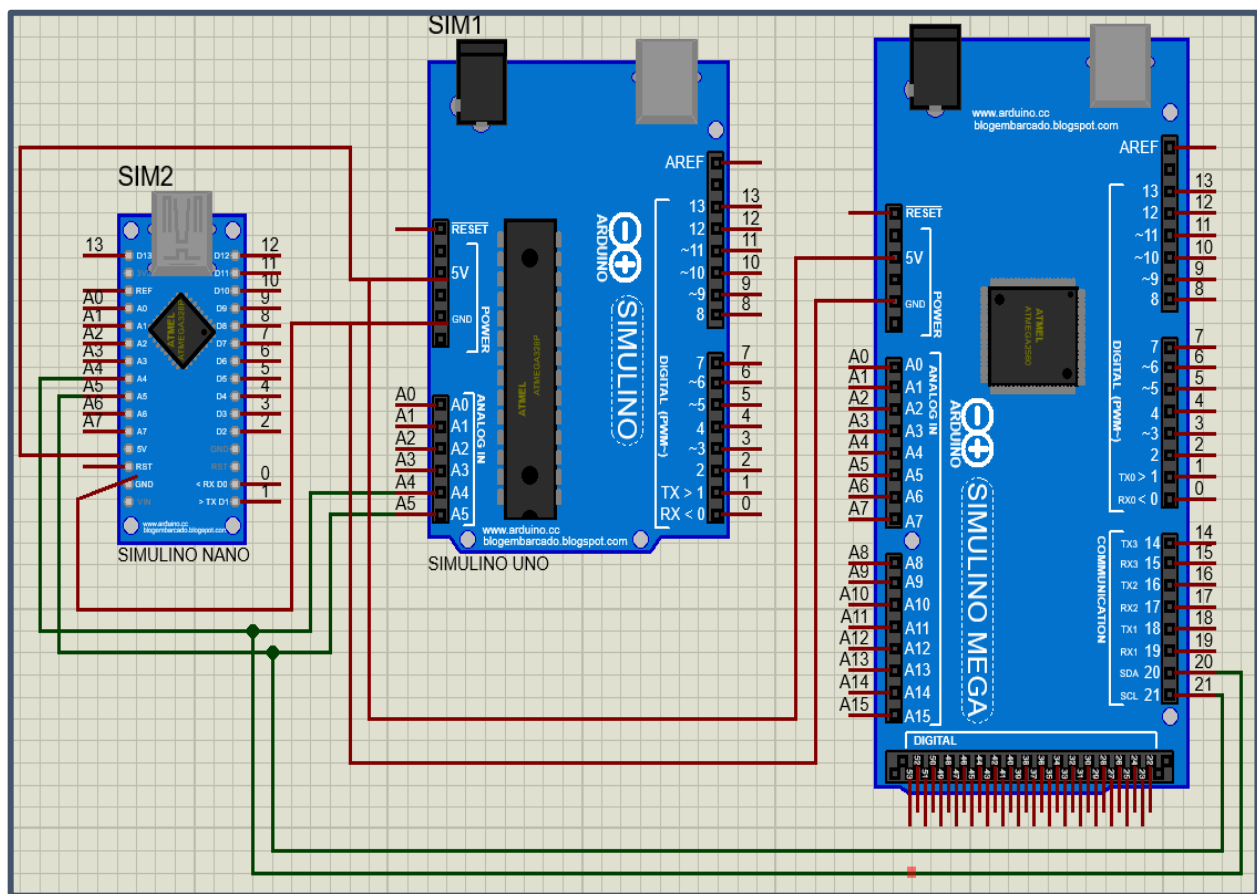


Figura 45: Configuración de un maestro y dos esclavos.

2.3.8 Resumen

Para facilitar la comunicación entre los módulos, se utilizó el protocolo I2C. En la figura 39, se muestra la configuración de un maestro y cuatro esclavos. El maestro, representado por el Arduino UNO, se encarga del control general del sistema. Los cuatro esclavos corresponden a los módulos de señalética, de peatones, de vehículos y al pulsador. Con el objetivo de diversificar el diseño y verificar la comunicación entre dispositivos de diferentes marcas, hemos utilizado una amplia variedad de microcontroladores. Es importante tener en cuenta los pines de comunicación I2C específicos para los microcontroladores Arduino Nano y Uno, que son A4 y A5 respectivamente. Para el Arduino Mega, se utilizan los pines 20 y 21.

Es fundamental establecer conexiones adecuadas en estos pines para asegurar una comunicación I2C efectiva. Además, se deben puentear correctamente los pines de tierra y 5V para garantizar un suministro de energía adecuado. En relación con el software, es recomendable instalar la librería Simulino para Proteus, ya que permitirá utilizar Arduino dentro de este entorno de simulación. Además, es importante mencionar la librería del módulo ESP8266 para Proteus, la cual permite emular el funcionamiento de un módulo wifi dentro de la aplicación.

Por último, se ha utilizado la librería Ln298n para simular el controlador de motores. Considerar estas librerías y configuraciones es esencial para asegurar un diseño y simulación precisa y efectiva dentro del entorno de Proteus. En la figura 46 se observa la configuración del módulo LN298N es importante mencionarlo ya que es necesario para la mecánica y electrónica del sistema.

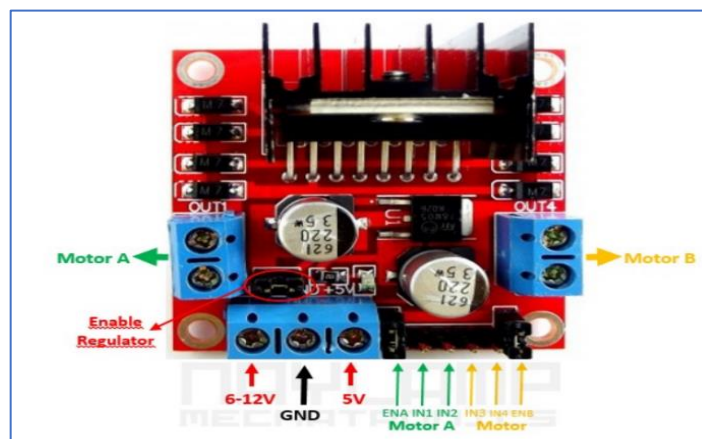


Figura 46: Configuración del Módulo Ln298n

El Arduino uno es el encargado de controlar todo el dispositivo y el resto de los módulos, se realizó la implementación de este microcontrolador con otro microcontrolador externo, que se encarga de recibir el mensaje a través del módulo ESP8266 permitiendo así que el módulo de control pueda comunicarse de manera inalámbrica con otros dispositivos, o módulos. En la figura 46, se observa la configuración que describe a este módulo.

El programa RemoteXY es un ejemplo de control remoto que utiliza una interfaz gráfica generada por la biblioteca RemoteXY. Esta biblioteca facilita la creación de interfaces de usuario personalizadas para controlar y supervisar dispositivos utilizando diversos medios de comunicación, como Bluetooth, Wi-Fi o comunicación serial. El programa ilustra cómo aprovechar las capacidades de RemoteXY para interactuar con dispositivos a través de una interfaz gráfica intuitiva y fácil de usar, y que es aplicable para programas realizados en Arduino, hemos diseñado una interfaz sencilla que emula el paso de un vehículo de emergencia a través de los diferentes componentes que ofrece este programa. En el apartado de diseño de control se explicará un poco más acerca de este programa y su programación.

3 Implementación del Diseño de Control

3.1 Selección de software para control

El objetivo de seleccionar un software de control es encontrar una herramienta que cumpla con los requisitos funcionales del sistema, sea fácil de usar, flexible para adaptarse a diversas necesidades, se integre sin problemas con otros sistemas, ofrezca un rendimiento eficiente y cuente con el respaldo adecuado. La elección correcta del software contribuye al éxito y la eficiencia global del sistema de control. En la tabla 13, se resume los softwares de control más relevantes, lo cual facilita la selección oportuna y adecuada.

Tabla 13: Softwares de control

Software	Costo	Facilidad de uso	Variedad de herramientas para diseño y simulación
Arduino	Bajo	Fácil	Amplia
Labview	Alto	Medio	Amplia
Simulink	Alto	Medio	Amplia
Phyton	Bajo	Fácil	Amplia

De acuerdo con un análisis de selección se escoge el software Arduino para llevar a cabo el diseño de la parte de control ya que cumple con los requerimientos de software, como en los anteriores apartados se realizó el control de cada módulo por separado y luego el control de todo el dispositivo.

3.2 Diseño de control del módulo pulsador

Como se ha mencionado anteriormente, se realizó un diseño de control para cada módulo. En este caso, nos enfocaremos en el módulo encargado de cambiar el estado de los semáforos. Equipado con un Arduino Nano funcionando como esclavo, este módulo envía un pulso al módulo de control para cambiar de estado tanto el semáforo de vehículos como el de peatones. Además, se ha desarrollado un diagrama de estados para el funcionamiento de este módulo, el cual se muestra en la figura 47.



Figura 47: Diagrama de Estados del módulo pulsador.

La comunicación entre módulos se la realiza mediante I2C en la figura 48 se muestran los principales comandos y librerías que se utilizan para la comunicación entre microcontroladores. La librería Wire es la encargada de permitir la comunicación I2C entre módulos, es necesario definir una dirección única para cada esclavo, Cuando se llama a la función Wire.begin(), se configuran las líneas SDA y SCL como entradas y se activa la comunicación I2C en el Arduino, permitiendo que el Arduino pueda actuar como un esclavo I2C y recibir o enviar datos a otros dispositivos I2C. Wire.OnRequest Es una función de devolución de llamada y es la responsable del envío de datos solicitados al dispositivo maestro en este caso el maestro solicita el valor del pulsador. La función Wire.write es utilizada para enviar datos o comandos al módulo maestro.

```
#include <Wire.h>

#define SLAVE_ADDRESS 9
#define BUTTON_PIN 2

int buttonState = 0;

void setup() {
  pinMode(BUTTON_PIN, INPUT_PULLUP);
  Wire.begin(SLAVE_ADDRESS);
  Wire.onRequest(sendButtonState);
}

void loop() {
  // No se necesita ninguna acción continua en el esclavo
}

void sendButtonState() {
  buttonState = digitalRead(BUTTON_PIN);
  Wire.write(buttonState);
}
```

Figura 48: Diagrama de Estados y código del módulo pulsador

3.3 Diseño del control del módulo vehículos

Es el módulo encargado de emular el semáforo de vehículos, se ha diseñado un algoritmo de control inteligente para este módulo como se muestra en la figura 49, en donde el camino que representan las transiciones de color rojo representa a un funcionamiento de semáforo normal, las de color azul cuando el pulsador esta activo y el de color negro cuando se detecta el mensaje de emergencia y esta combinación de colores para los diagramas de estados se les aplica a todos los módulos del dispositivo.

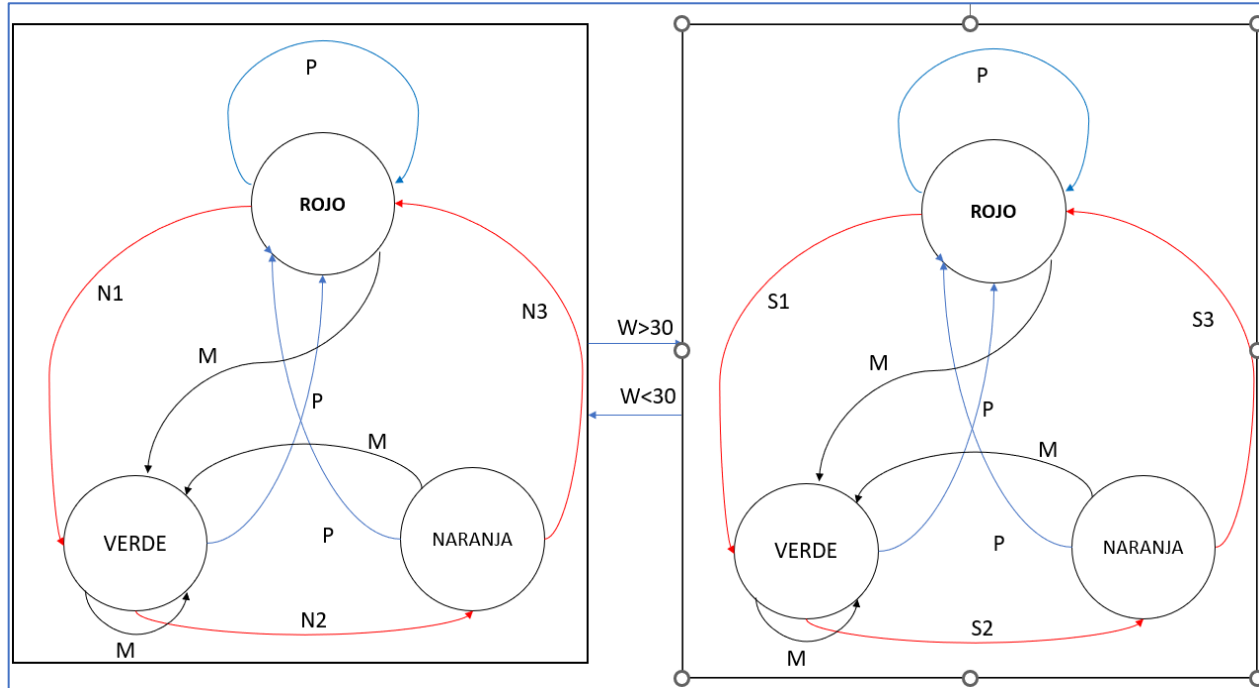


Figura 49: Diagrama de Estados del módulo de semáforo de vehículos

Para simular el flujo de tráfico se agregó un módulo adicional a los ya existentes, es decir un módulo con su propio microcontrolador que simula lo que viene siendo un sensor de flujo vehicular, y este podría estar ubicado en la parte posterior del dispositivo, en nuestro caso de estudio se ha simulado dicho sensor mediante un potenciómetro que varía su valor según la hora del día, si el valor del potenciómetro es menor a 30 vehículos el semáforo funciona normalmente, pero si el valor es superior a los 30 vehículos el dispositivo está en la capacidad de reajustar los tiempos permitiendo el paso de vehículos de manera más fluida, y para simular un mensaje de emergencia se lo realizo con el módulo ESP8266 simulando el paso de un vehículo de emergencia. En la tabla 14 se explica los diferentes estados y tiempos para cada caso.

Tabla 14: Valores de los Tiempos para el módulo de vehículos.

Variable	Valor
N1	Tiempo en rojo
N2	Tiempo en verde
N3	Tiempo en naranja
P	Valor del Pulso enviado por el Maestro
M	Mensaje de emergencia enviado por el Maestro
S1	Tiempo en rojo mientras el flujo sea mayor
S2	Tiempo en verde mientras el flujo sea mayor
S3	Tiempo en naranja mientras el flujo sea mayor
W	Flujo vehicular enviado por el Maestro

En la figura 50 se aprecia el envío de datos por parte del maestro para cambiar de estado al semáforo y así cumplir con la lógica de control establecida anteriormente. Siempre es importante verificar la dirección del esclavo establecida para evitar errores al momento del envío de datos entre los distintos módulos.

```
void receiveData(int byteCount) {
  while (Wire.available()) {
    byte receivedByte = Wire.read();

    if (receivedByte > 30) {
      intervalRed = 20000;
      intervalYellow = 7000;
      intervalGreen = 10000;
    }

    if (receivedByte == 0) {
      currentState = RED_STATE;
      previousMillis = millis();
      matrix.fillScreen(matrix.Color333(0, 0, 0));
      matrix.fillCircle(32, 10, 10, matrix.Color333(7, 0, 0));
    }

    if (receivedByte == 1) {
      currentState = GREEN_STATE;
      previousMillis = millis();
      matrix.fillScreen(matrix.Color333(0, 0, 0));
      matrix.fillCircle(32, 33, 10, matrix.Color333(1, 1, 1));
    }
  }
}
```

Figura 50: Configuraciones Maestro Esclavo

3.4 Diseño del control del módulo semáforo de peatones

En la figura 51 se muestra la lógica de control para este módulo.

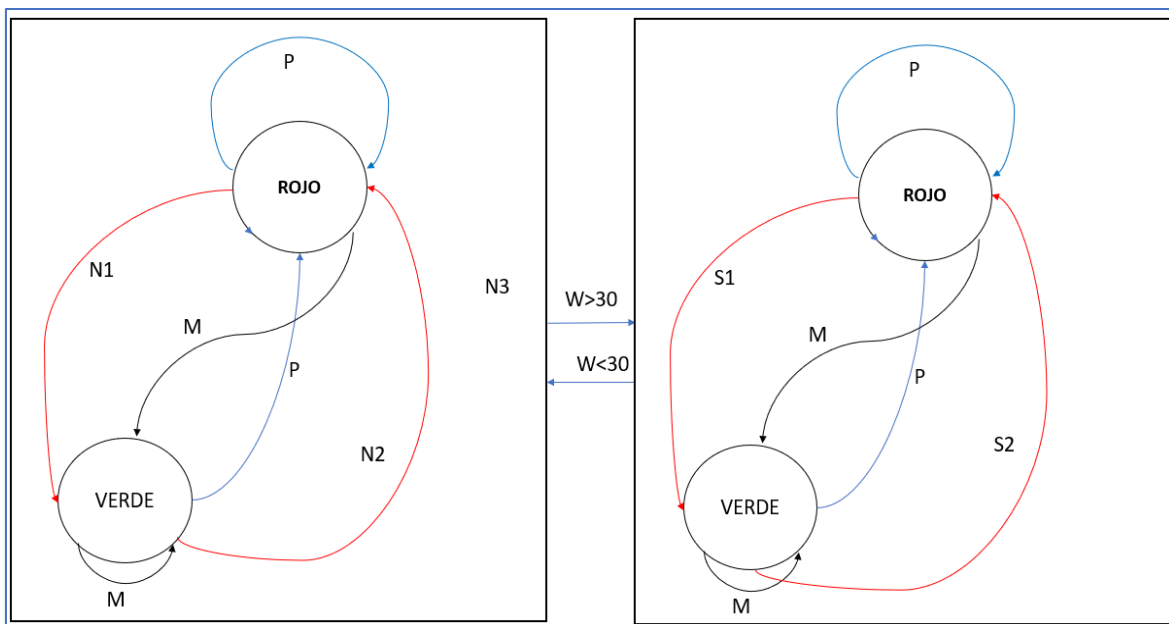


Figura 51: Diagrama de Estados del módulo de semáforo de peatones

Donde N1 y N2 viene siendo el tiempo durante rojo y verde respectivamente durante un flujo normal de tráfico, S1 y S2 representan los tiempos durante rojo y verde respectivamente durante un flujo mayor de tráfico, los otros parámetros son los mismos que se encuentran en la tabla 14. Su funcionamiento se encuentra coordinado a los tiempos del vehículo del semáforo de vehículos, al igual que en módulos anteriores se definió una dirección propia del esclavo para la comunicación. En la figura 52 se muestra el diseño de figuras para cada color del semáforo, la función updateTrafficLight se encarga de actualizar los estados del semáforo y controlar el cambio de color según los tiempos establecidos.

```
void updateTrafficLight() {
    matrix.fillScreen(matrix.Color333(0, 0, 0));

    switch (currentState) {
        case GREEN_STATE:
            // Dibujar círculo verde
            matrix.fillCircle(32, 32, 20, matrix.Color333(7, 0, 0));
            break;
        case RED_STATE:
            // Dibujar círculo rojo
            matrix.fillCircle(32, 32, 20, matrix.Color333(0, 7, 7));
            break;
    }
}
```

Figura 52: Diseño de figuras para el panel de leds

3.5 Diseño control módulo señalética

En la figura 53 se muestra la lógica de control para este módulo. El funcionamiento esta sincronizado con el módulo de semáforos de vehículos, para este módulo se han agregado estados que se muestran en la tabla 15.

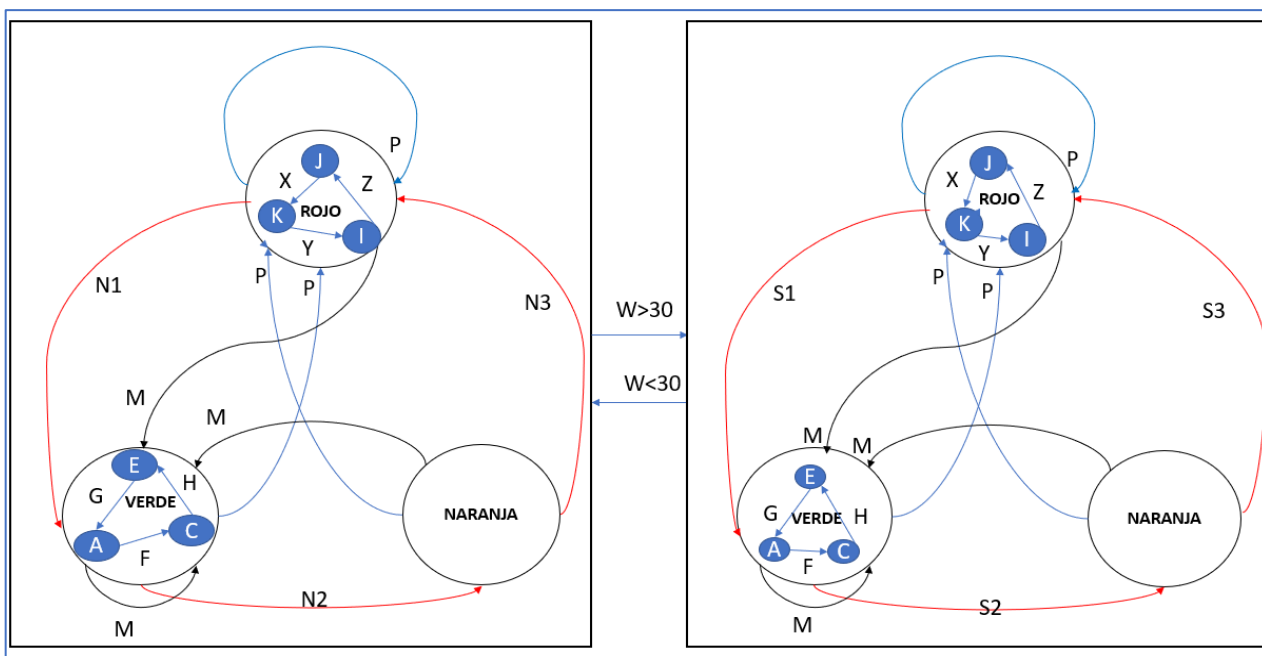


Figura 53: Diagrama de Estados del módulo señalética

Tabla 15: Valores de los tiempos para el módulo señalética.

Variable	Valor
E	Estado para el Motor 1 encendido
A	Estado para el Motor 1 apagado
C	Estado para el Motor 1 giro sentido contrario
J	Estado para el Motor 2 encendido
K	Estado para el Motor 2 apagado
I	Estado para el Motor 2 giro sentido contrario
G	Tiempo en encendido motor 1
F	Tiempo de apagado motor 1
H	Tiempo de giro contrario motor 1
X	Tiempo en encendido motor 2
Y	Tiempo de apagado motor 2
Z	Tiempo de giro contrario motor 2

Durante el ciclo en verde el Motor 1 se encenderá por un lapso, luego se apaga y regresa a su posición normal todo este proceso permite el desplazamiento del panel señalética sobre el panel del semáforo de vehículos, durante el ciclo en rojo el Motor 2 se enciende durante un periodo de tiempo, luego se apaga para después girar en sentido contrario, con todo esto se realiza el giro del módulo sobre su propio eje. En el diagrama de estados de la figura cada estado rojo, verde, amarillo representa una señal de tráfico diferente programada en el panel de leds del módulo señalética, es decir durante el ciclo en verde se mostrará una señal de tráfico diferente al resto, el resto de las variables y estados se pueden consultar en la tabla 14.

En la figura 54 se muestra la configuración de los motores para realizar el desplazamiento y el giro considerando que se debe hacer el cálculo necesario para que cada módulo haga su respectivo movimiento y luego vuelva a su estado normal. Es importante verificar las conexiones de los pines del motor que sean tal cual se han presentado en el diseño electrónico.

```

case GREEN:
  // Encender el LED verde
  digitalWrite(redLEDPin, LOW);
  digitalWrite(yellowLEDPin, LOW);
  digitalWrite(greenLEDPin, HIGH);

  // Activar el motor en un sentido durante el tiempo definido
  if (elapsedTime < motorDuration) {
    digitalWrite(motorEnablePin, HIGH);
    digitalWrite(motorPin1, HIGH);
    digitalWrite(motorPin2, LOW);
  } else if (elapsedTime < motorDuration * 2) {
    // Apagar el motor durante el tiempo definido
    digitalWrite(motorEnablePin, LOW);
    digitalWrite(motorPin1, LOW);
    digitalWrite(motorPin2, LOW);
  } else if (elapsedTime < motorDuration * 3) {
    // Activar el motor en el otro sentido durante el tiempo definido
    digitalWrite(motorEnablePin, HIGH);
    digitalWrite(motorPin1, LOW);
    digitalWrite(motorPin2, HIGH);
  }

```

Figura 54: Control de Motores mediante Arduino

3.6 Diseño del módulo de control

En la figura 55 se muestra la lógica de control para este módulo. Es el encargado de recibir y enviar la información a los distintos módulos del dispositivo.

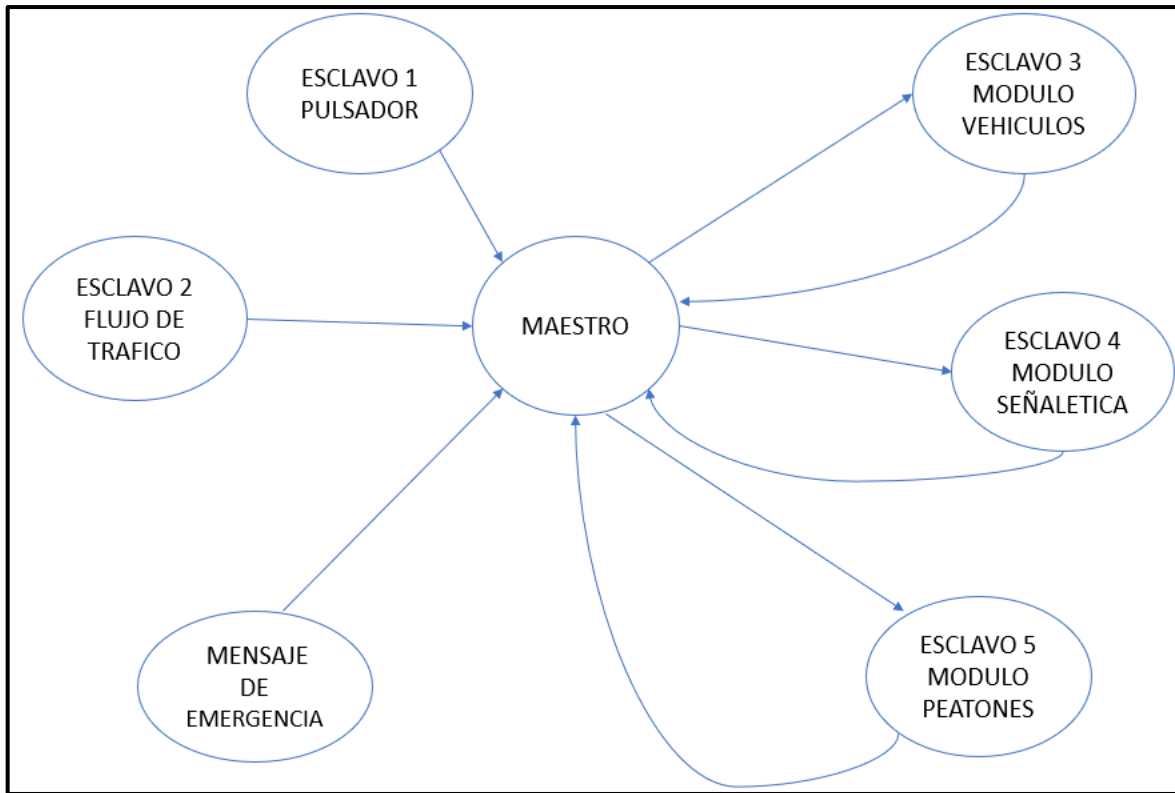


Figura 55: Diagrama de Estados del módulo de control

La comunicación Maestro esclavo se realiza mediante I2C, y el mensaje de emergencia que simula el paso de un vehículo en emergencia se realiza mediante WIFI a través del módulo ESP8266, el módulo de control es el encargado de recopilar la información y transmitir ciertos datos a los diferentes esclavos del dispositivo para que realicen las acciones que les corresponden. En la figura 56 se muestra lo que es la configuración y direcciones de los esclavos que forman parte del dispositivo, es importante una dirección diferente para cada esclavo.

```
#include <Wire.h>

#define SLAVE_ADDRESS_1 8
#define SLAVE_ADDRESS_2 9
#define SLAVE_ADDRESS_3 10
#define SLAVE_ADDRESS_4 11
#define SLAVE_ADDRESS_5 12
```

Figura 56: Direcciones de los esclavos.

En la figura 57 se observa el código que permite que el maestro pueda solicitar los estados de un esclavo y también se muestra la forma que este envía datos a otro esclavo, es importante definir de manera correcta y ordenada las diferentes direcciones de los esclavos del dispositivo.

```
// Enviar estado al esclavo 3
Wire.beginTransmission(SLAVE_ADDRESS_3);
Wire.write(state);
Wire.endTransmission();
}

// Solicitar estado al esclavo 2
Wire.requestFrom(SLAVE_ADDRESS_2, 1);
if (Wire.available()) {
  int state = Wire.read();
  switch (state) {
    case GREEN_STATE:
      Serial.println("Esclavo 2 - Estado: Verde");
      break;
    case RED_STATE:
      Serial.println("Esclavo 2 - Estado: Rojo");
      break;
    case YELLOW_STATE:
      Serial.println("Esclavo 2 - Estado: Amarillo");
      break;
  }
}
```

Figura 57: Configuraciones del Maestro

Para simular el mensaje de emergencia se utilizó el programa en línea Remote XY, como se muestra en la figura 58 se diseñó una interfaz sencilla, básicamente se agregó un switch que indica mientras su estado está en On representa la llegada de un vehículo de emergencia, el control se realizó a través de un dispositivo Android. El mensaje llega al microcontrolador externo del módulo de control y este lo envía directamente al Maestro.

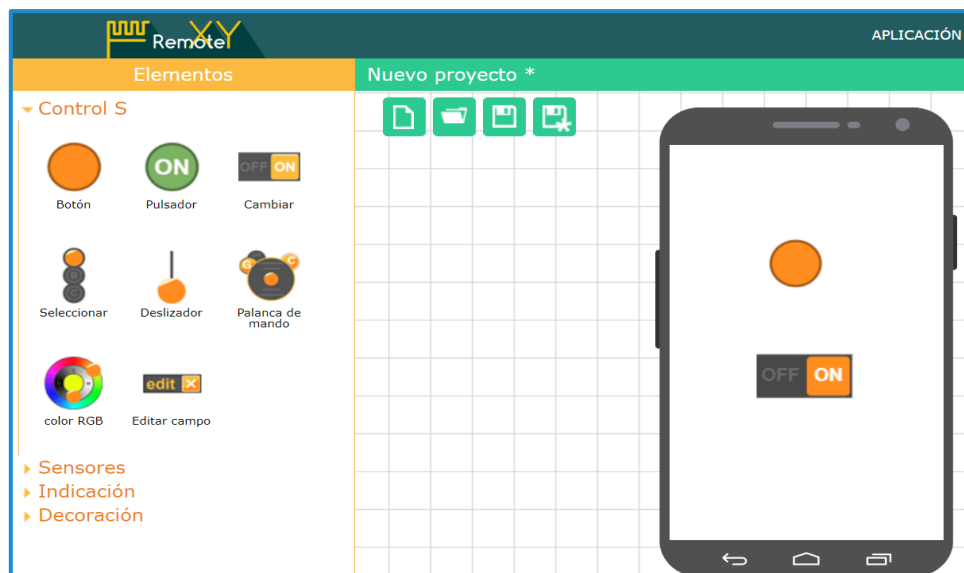


Figura 58: Interfaz Remote XY

3.7 Resumen

En este apartado es importante mencionar la librería RGBmatrix que se encarga del control del panel de leds de 64 x64. La librería RGBmatrix se destaca por su capacidad de aplicar la técnica de modulación por ancho de pulso (PWM) para lograr una mezcla precisa y suave de colores. Esto posibilita la creación de efectos de color vibrantes y transiciones graduales en la pantalla Led. Para utilizar la librería RGBmatrix, se requiere contar con el hardware apropiado, como una matriz de puntos RGB de Adafruit y una placa controladora compatible, como la Raspberry Pi o Arduino Mega. Estos componentes son esenciales para aprovechar al máximo las funciones y características de la librería en la visualización de contenido en la pantalla LED.

Otra de las librerías importantes para el control, La librería Wire facilita la implementación de la comunicación I2C al ofrecer funciones y métodos predefinidos que permiten enviar y recibir datos entre dispositivos conectados. Permite establecer una comunicación tanto en modo maestro, donde se inician las transmisiones, como en modo esclavo, donde se responden a las transmisiones iniciadas por el maestro.

La librería para el control de los motores, la librería "Adafruit Motor Shield" permite controlar motores utilizando el módulo L298N. Esta librería incluye funciones predeterminadas que permiten controlar la velocidad y dirección de los motores conectados al módulo. Para utilizar esta librería en un programa de Arduino, es necesario definirla al inicio del código y la configuración de pines depende del programador.

La librería RemoteXY, es una biblioteca desarrollada para facilitar la creación de interfaces de usuario personalizadas para proyectos de Arduino y otros microcontroladores. Permite crear interfaces gráficas interactivas que se pueden controlar a través de dispositivos móviles (Android o iOS) u otros medios de comunicación, como Bluetooth, Wi-Fi.

ANEXO 2

RESULTADOS

Se han realizado varias pruebas para verificar el funcionamiento del dispositivo a continuación se detalla cada una de las pruebas que se han llevado a cabo.

1 Verificación de los paneles de Leds

Se realizó pruebas de funcionamiento, especialmente a los paneles de leds ya que es una parte fundamental para el desarrollo de este proyecto, el control de este tipo de paneles se lo realizó en Arduino. Se realizó la programación de los paneles para que simulen los colores de los semáforos tanto de peatones como de vehículos y además pueden ser capaces de aportar información importante como el tiempo que durara dicho estado, En la figura 59 se aprecia las configuraciones del esclavo y pines que se han programado para el funcionamiento del dispositivo.

```
#include <Wire.h>
#include <RGBmatrixPanel.h>

#define SLAVE_ADDRESS 8

RGBmatrixPanel matrix(A0, A1, A2, A3, A4, 11, 10, 9, false, 64);

enum TrafficLightState {
    GREEN_STATE,
    RED_STATE,
    YELLOW_STATE,
```

Figura 59: Configuración del esclavo y pines.

En la figura 60 se presenta el código implementado para realizar las diferentes figuras y colores que representen un semáforo en el panel de leds.

```
matrix.begin();
matrix.setTextWrap(false);
matrix.setTextColor(matrix.Color888(255, 255, 255));
matrix.setTextSize(1);
matrix.setCursor(0, 0);
matrix.fillScreen(matrix.Color333(0, 0, 0));
matrix.swapBuffers(true);
```

Figura 60: Programación de colores y figuras.

Es importante instalar previamente la librería RGBmatrixPanel en el entorno de Arduino, ya que esta nos permitirá realizar el control del panel de leds. En la figura 57 se aprecia varios ejemplos de programación que hemos utilizado para el desarrollo de este trabajo. La resolución de este tipo de paneles es perfecta funcionando solo con el voltaje suministrado por el Arduino, si se desea obtener una mejor resolución es recomendable usar una fuente externa que proporcione un suministro de corriente más alto. En la figura 61 se muestra las imágenes proyectadas en el panel de leds.



Figura 61: Proyección de imágenes en los paneles.

2. Verificación de la comunicación

Se realizó la prueba de la comunicación entre módulos, con el objetivo de verificar el funcionamiento correcto de la transmisión de datos entre los esclavos y el maestro, en la tabla 16 se puede observar la comunicación entre los esclavos y su maestro.

Tabla 16: Comunicación Maestro - Esclavo.

Modulo	Definición	Comunicación	Funcionamiento
Pulsador	Esclavo 1	Envía el estado del pulsador al Maestro.	Correcto
Semáforo vehículos	Esclavo 2	Envía sus estados al Maestro y también recibe información del Maestro.	Correcto
Semáforo Peatones	Esclavo 3	Envía sus estados al Maestro y también recibe información del Maestro.	Correcto
Señalética	Esclavo 4	Envía sus estados al Maestro y también recibe información del Maestro.	Correcto
Flujo de tráfico	Esclavo 5	Envía información del flujo de tráfico al Maestro.	Correcto
Control	Maestro	Recebe y envía información a los Esclavos.	Correcto

Como se puede apreciar la comunicación maestro esclavo funciona perfectamente, cada esclavo cumple con su funcionamiento y el Maestro controla todo el dispositivo.

3 Simulación del flujo vehicular

Como se explicó antes, para esta sección se simuló mediante un módulo externo el cual cuenta con un potenciómetro, como el potenciómetro registra valores entre 0 y 1023 se realizó una regla de 3 para adaptar a nuestro diseño y así obtener valores entre 0 y 50, estos valores se envían por I2C al maestro para realizar las diferentes acciones de control. En la tabla 17 se muestra el funcionamiento de este módulo externo.

Tabla 17: Simulación del flujo vehicular

Valor	Flujo vehicular	Funcionamiento
0 a 30	Bajo	Normal
30 a 50	Alto	Inteligente

Cuando se registran valores altos el dispositivo está en la capacidad de regular los tiempos, el control de este módulo lo realiza un Arduino Nano.

4 Verificación del funcionamiento en estado normal

Como se ha explicado anteriormente, el dispositivo actúa en condiciones normales comparadas a un semáforo convencional. Para la primera prueba se asignaron los siguientes tiempos para cada estado:

- Tiempo en rojo = 15 segundos
- Tiempo en verde = 20 segundos
- Tiempo en amarillo = 6 segundos
- Flujo de tráfico < 30 vehículos

Tabla 18: Funcionamiento de los Módulos

Modulo vehículos	Modulo peatones	Funcionamiento
Rojo = 15 s	Verde = 15 s	Correcto
Amarillo = 6 s	Verde = 6 s	Correcto
Verde = 20 s	Rojo = 20 s	Correcto

Como se aprecia en la tabla 18 los semáforos de peatones y vehículos están sincronizados de tal manera que no se produzcan errores que puedan ocasionar accidentes. Para sincronizar de tal manera fueron necesarios algunos arreglos en la programación del maestro para que funcionen de manera coordinada. Según nuestro algoritmo de programación para el módulo de peatones se asume que estará en verde durante el tiempo que el semáforo de vehículos este en rojo y amarillo, aportando así más tiempo para que los peatones puedan pasar. En la tabla 19 se mira el funcionamiento del módulo señalética y el módulo de vehículos.

Tabla 19: Funcionamiento Modulo señalética.

Módulo de vehículos	Modulo señalética	Motor 1	Motor 2
Verde = 20 s	Señal Pase = 20 s	Encendido = 5s Apagado = 10 s Cambio sentido = 5s	Apagado
Rojo = 15 s	Señal Stop = 15 s	Apagado	Encendido = 2 s Apagado = 11 s Cambio sentido = 2s
Amarillo = 6 s	Señal prevención = 6 s	Apagado	Apagado

Los tiempos de los motores están asignados de acuerdo al tipo de movimiento que se desea, es decir el motor 1 mientras se mantiene en estado verde del semáforo de vehículos se enciende permitiendo así que el panel de la señalética empiece a desplazarse hasta salir completamente y quedar a la altura del módulo del semáforo de vehículos, una vez que se encuentra bien posicionado el motor se apagara y antes del cambio de estado en el semáforo de vehículos empezará a moverse en sentido contrario permitiendo así que el panel de la señalética llegue a su estado inicial. Para el funcionamiento normal todo ha salido como se esperaba y no habido errores, el comportamiento del motor 2 es similar al del motor 1 pero sus tiempos son menores ya que el giro es instantáneo.

5 Verificación del funcionamiento para un control inteligente

Para estas pruebas mantenemos los tiempos del funcionamiento normal en un principio

- Tiempo en rojo = 15 segundos
- Tiempo en verde = 20 segundos
- Tiempo en amarillo = 6 segundos
- Flujo de tráfico < 30 vehículos

En la tabla 20 se muestra el funcionamiento en condiciones normales del dispositivo, pero cuando un peatón a presionado el pulsador.

Tabla 20: Funcionamiento del semáforo inteligente.

Modulo pulsador	Módulo de vehículos	Módulo de peatones
Sin pulsar	Funcionamiento Normal Correcto	Funcionamiento Normal correcto
Pulsado	Cambio a rojo sin importar el estado en el que se encuentre	Cambio a verde sin importar el estado en el que se encuentra
Sin pulsar	Funcionamiento Normal Correcto	Funcionamiento Normal correcto

Como se aprecian los resultados el funcionamiento en condiciones normales es correcto, sin embargo, cuando el módulo pulsador este activo automáticamente cambian sus estados como se muestra en la tabla 20. Ahora verificaremos el funcionamiento para un flujo vehicular mayor a 30 vehículos.

- Flujo de tráfico > 30 vehículo

Tabla 21: Semáforo inteligente con un flujo mayor de tráfico

Módulo de vehículos	Módulo de peatones	Funcionamiento
Rojo = 10 s	Verde = 10 s	Correcto
Amarillo = 4 s	Verde = 4 s	Correcto
Verde = 30 s	Rojo = 30 s	Correcto

Como se aprecian los resultados de las pruebas, con un flujo vehicular mayor a los 30 vehículos los tiempos de los semáforos cambian comparados a los tiempos de la tabla, con esto se verifica que para un flujo de vehículos más grande el dispositivo da prioridad al paso vehicular.

6 Simulación mensaje de emergencia

En la figura 62 se observa la configuración de red que se debe realizar para la respectiva simulación. Es necesario mantener en la misma red al dispositivo Android y el módulo WIFI.

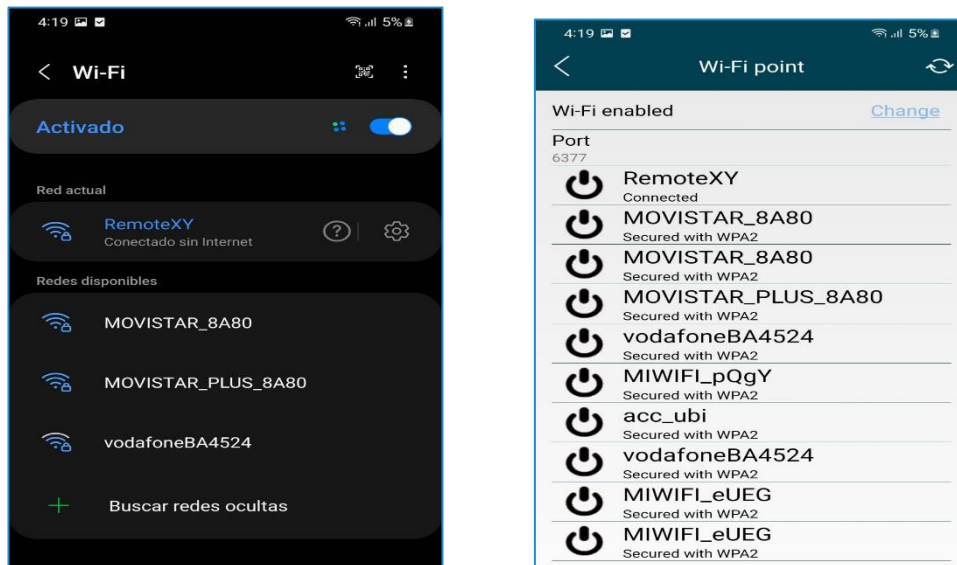


Figura 62: Configuración inalámbrica wifi.

En la tabla 22 se muestra el funcionamiento, mediante la simulación del paso de un vehículo de emergencia.

Tabla 22: Simulación de paso de vehículo de emergencia.

Paso de vehículo de emergencia	Funcionamiento	Estados
OFF	Normal	Tiempos fijos
ON	Inteligente	Cambio a verde sin importar el estado en que se encuentre.

7 Resumen General del Funcionamiento

En la tabla 23 se observa el funcionamiento general de cada módulo y del dispositivo. Como se puede apreciar se ha realizado un listado de todos los módulos del dispositivo incluido el módulo extra que se simula para las pruebas como es el módulo de flujo de tráfico.

Tabla 23: Resumen General del Funcionamiento.

Modulo	Descripción	Funcionamiento
Pulsador	Simula un pulsador para peatones	Correcto
Semáforo de Vehículo	Simula el semáforo de vehículos con 3 colores.	Correcto
Semáforo de Peatones	Simula un semáforo de peatones con 2 colores	Correcto
Señalética	Simula las señales de tráfico dentro de ciudades.	Correcto
Control	Controla todo el dispositivo	Correcto
Flujo de Trafico	Simula el flujo de tráfico según las horas del día	Correcto

Según se aprecian los resultados, todos los módulos han funcionado de manera correcta, coordinando sus tiempos según el algoritmo programado y en general el control del dispositivo es correcto.

7.1 Resumen del Funcionamiento de Componentes

En la tabla 24 se observa el funcionamiento de los distintos componentes que se han utilizado en este proyecto. El objetivo principal de llevar a cabo pruebas de los componentes es asegurarse de que funcionen correctamente, sean de buena calidad y cumplan con los estándares de rendimiento.

Tabla 24: Resumen del Funcionamiento de los componentes.

Componentes	Funcionamiento
Panel de Leds	Correcto
Motor reductor	Correcto
Pulsador	Correcto
Controlador L298N	Correcto
Microcontroladores	Correcto
ESP266	Correcto
Fuentes de alimentación	Correcto
Otros componentes	Correcto

Según se aprecian los resultados, el funcionamiento de los componentes fueron correctos, esto quiere decir que la selección de cada componente estuvo correcta y se pudo implementar en cada módulo para cumplir con su objetivo.

ANEXO C

PLANES DE GESTION DEL PROYECTO

1 Plan de Gestión del Alcance:

El alcance de este proyecto es el diseño del dispositivo de regulación de tráfico para optimizar el tránsito en intersecciones, esto se logra mediante:

- Implementación del diseño mecánico.
- Implementación del diseño Electrónico.
- Implementación del diseño de control.
- Pruebas de validación del sistema.

2 Plan de Gestión del Tiempo:

En esta sección se define el tiempo límite para la entrega del proyecto, al ser un proyecto de TFM se ha destinado como tiempo límite de 4 a 6 meses en la tabla 5 se puede apreciar los tiempos destinados a cada etapa del proyecto para la implementación de este dispositivo.

3 Plan de Gestión de Costos:

Se definen los costos alcanzados para este proyecto tanto directos e indirectos, se ha realizado un resumen de gastos que se puede observar en la tabla 21 del resumen de presupuesto alcanzado para este proyecto.

4 Plan de Gestión de Recursos:

En esta sección se Identifica los recursos necesarios para el proyecto, como personal, equipos, materiales y herramientas. También incluye la asignación de responsabilidades y roles del equipo de proyecto. En este caso el estudiante es el encargado de la implementación del dispositivo como tal y a cargo de la supervisión estarán 2 docentes de la UPV.

5 Plan de Gestión de Comunicaciones:

Se define cómo se llevará a cabo la comunicación dentro del equipo del proyecto, con los interesados y con otros grupos de interés. Incluye los canales de comunicación, frecuencia, formatos y responsabilidades de comunicación. Se han realizado reuniones virtuales vía Teams semanales para ver el alcance que se va dando al proyecto.

6 Plan de Gestión de Riesgos:

Se identifica los riesgos potenciales del proyecto, evalúa su probabilidad e impacto, y establece estrategias y acciones para mitigarlos o manejarlos en caso de que ocurran. Durante la etapa de diseño e implementación surgen riesgos que impiden seguir o la demora del proyecto. En la tabla 4 se puede apreciar los riesgos más significativos a los que puede estar sujeto nuestro proyecto.

7 Plan de Gestión de Calidad:

Se describe las actividades y estándares de calidad que se seguirán en el proyecto para garantizar que los entregables cumplan con los requisitos y expectativas establecidos. Se verifica tanto para el diseño mecánico, electrónico y de control.

8 Plan de Gestión de Adquisiciones:

Si el proyecto implica la adquisición de componentes o servicios externos, este plan define cómo se seleccionarán, evaluarán y gestionarán los proveedores y contratos relacionados. Para nuestro trabajo no ha sido necesario la adquisición de servicios ni componentes externos, todo ha sido resuelto por parte del grupo de trabajo.

9 Plan de Gestión de Cambios:

Establece los procedimientos y criterios para gestionar los cambios en el alcance, el cronograma, los costos u otros aspectos del proyecto, incluyendo la evaluación de impacto, la aprobación y la comunicación de los cambios.

ANEXO D

Plan de seguridad

En este apartado se expone el plan de seguridad que se puede implementar para dar soporte a este dispositivo.

1 Evaluación de riesgos:

Realizar un análisis exhaustivo de los posibles riesgos y amenazas que podrían afectar el proyecto, considerando aspectos de seguridad física, ciberseguridad, salud y seguridad ocupacional.

2 Identificación de medidas de seguridad:

Identificar y documentar las medidas de seguridad necesarias para mitigar los riesgos identificados, incluyendo controles de acceso físico, encriptación de datos, protección contra sobretensiones y otras medidas relevantes.

3 Protección contra acceso no autorizado:

Implementar medidas de seguridad física para proteger los módulos y equipos del acceso no autorizado, como el uso de cerraduras, sistemas de vigilancia y alarmas, con el objetivo de prevenir intrusiones no deseadas.

4 Seguridad de la red:

Establecer medidas de seguridad para proteger la comunicación inalámbrica, como el uso de encriptación de datos, autenticación de dispositivos y firewalls, para garantizar que la información transmitida sea segura y prevenir accesos no autorizados y manipulación de datos.

5 Respaldo y recuperación de datos:

Desarrollar un plan de respaldo regular de los datos del sistema y establecer un procedimiento de recuperación en caso de pérdida de datos o fallos del sistema, con el fin de garantizar la disponibilidad y integridad de la información.

6 Pruebas de seguridad:

Realizar pruebas periódicas de seguridad para identificar posibles vulnerabilidades en el sistema y tomar acciones correctivas de manera oportuna, asegurando así la robustez y protección del sistema.

7 Capacitación en seguridad:

Proporcionar capacitación regular al personal involucrado en el proyecto sobre prácticas de seguridad, incluyendo el manejo seguro de equipos, la protección de datos y la respuesta adecuada ante incidentes de seguridad, para promover una cultura de seguridad en todo el equipo.

8 Protección contra eventos climáticos:

Considerar medidas de protección adicionales para los módulos giratorios en caso de eventos climáticos extremos, como tormentas, viento fuerte o temperaturas extremas, a fin de garantizar la operación segura y la integridad del sistema.

9 Cumplimiento de normativas:

Asegurarse de que el diseño y la implementación del proyecto cumplan con las normativas y regulaciones de seguridad vigentes en la ubicación donde se instalará el sistema, garantizando así el cumplimiento legal y la seguridad del proyecto.

10 Monitoreo continuo:

Establecer un sistema de monitoreo continuo para detectar y responder de manera ágil a posibles incidentes de seguridad, permitiendo una acción rápida y eficaz frente a cualquier amenaza o anomalía que pueda surgir.

ANEXO E

Validación del dispositivo

A continuación, se muestran imágenes del dispositivo implementado tanto separables como con el ensamble final. En la figura 63 se muestra la implementación física del módulo de semáforo de peatones.

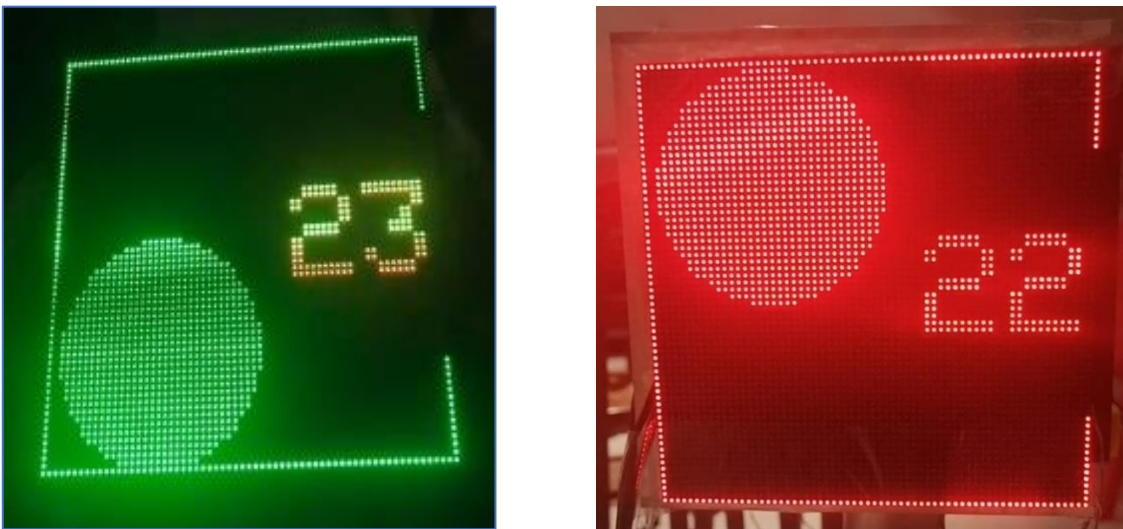


Figura 63: Modulo semáforo de vehículos.

En la figura 64 se muestra la implementación del módulo del semáforo de peatones.

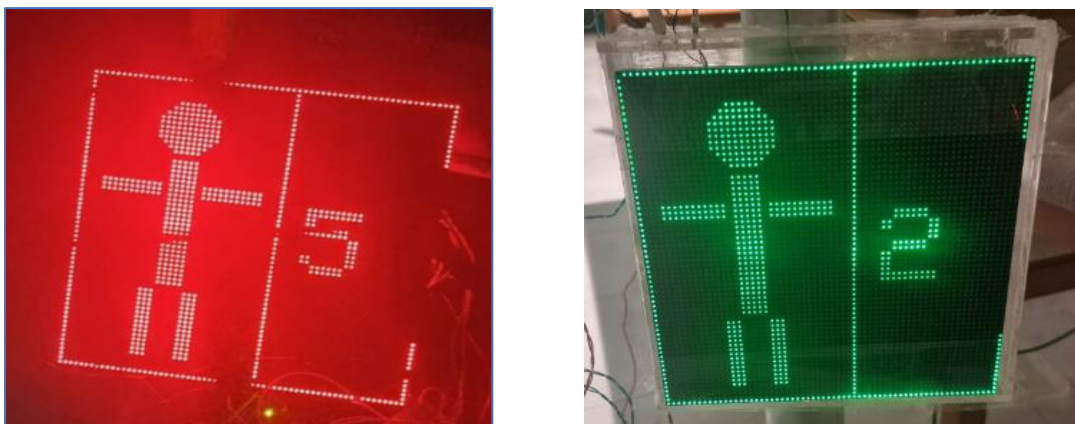


Figura 64: Modulo semáforo de peatones.

En la figura 65 se muestra la implementación física del módulo señalética.



Figura 65: Modulo señalética.

En la figura 66 se muestra la implementación del módulo del flujo vehicular, este mod



Figura 66: Modulo del flujo vehicular.

En la figura 67 se muestra la implementación del módulo botonera.

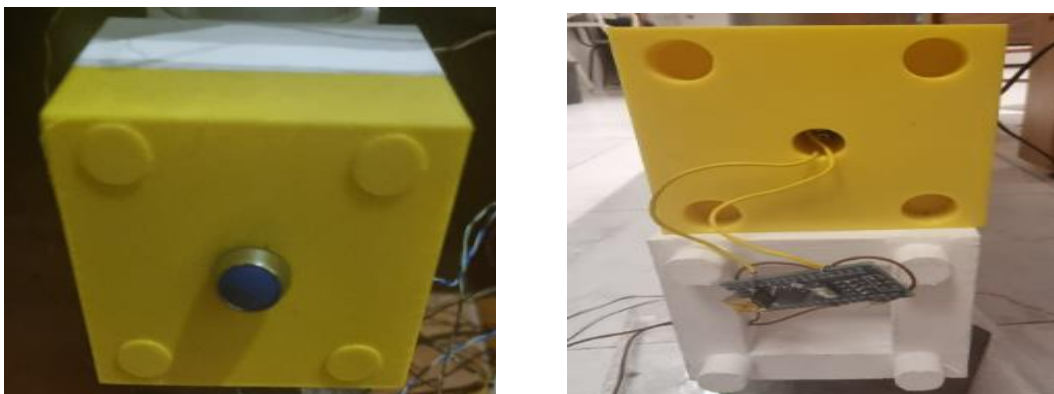


Figura 67: Modulo pulsador.

Dispositivo de regulación del tráfico para optimizar el tránsito en intersecciones

En la figura 68 se muestra el módulo de control del dispositivo.

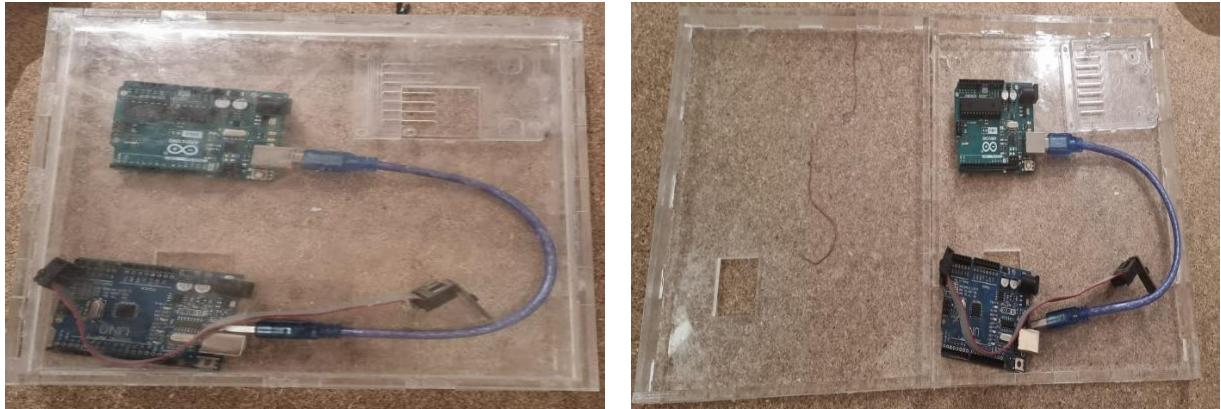


Figura 68: Módulo de control.

En la figura 69 se muestra el ensamblaje físico de todo el dispositivo.

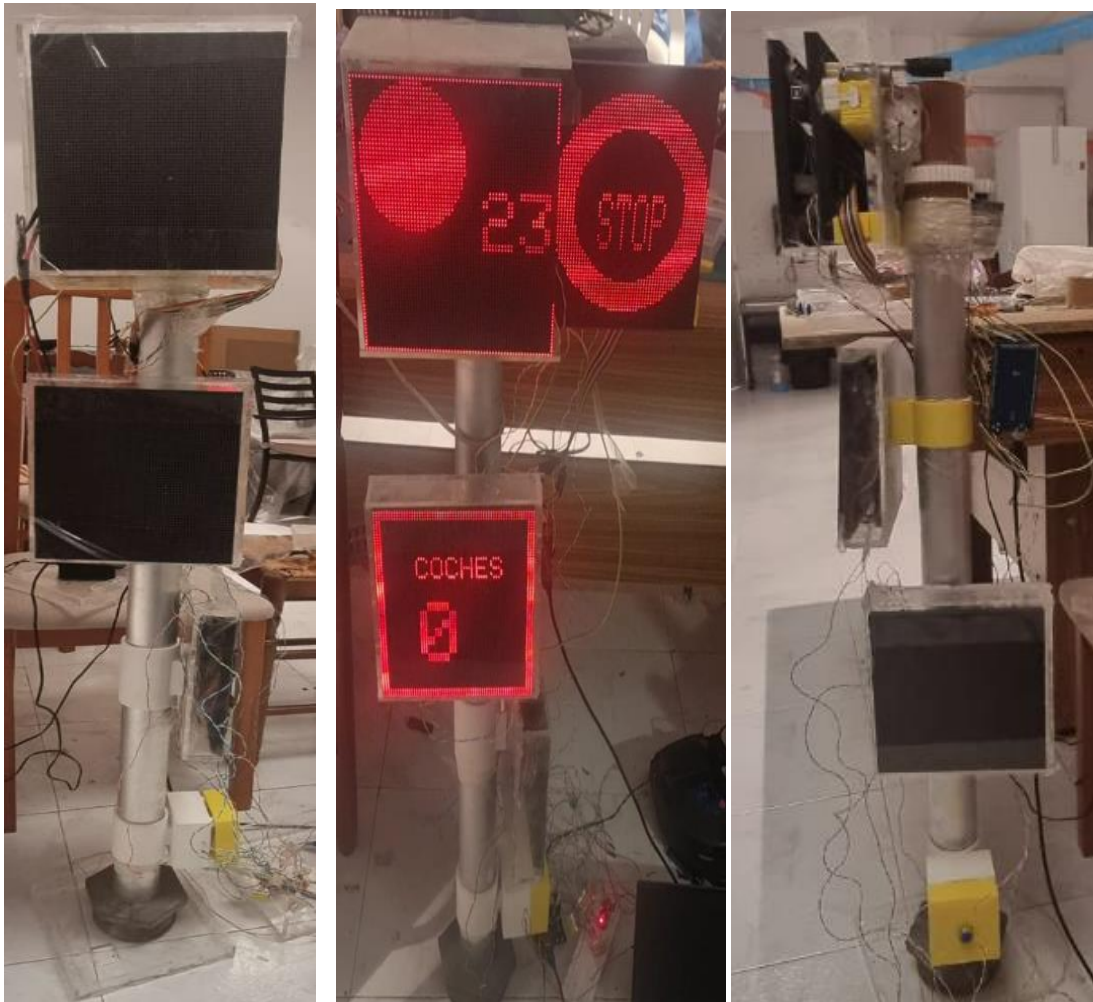


Figura 69: Ensamblaje final del dispositivo.

PLIEGO DE CONDICIONES

Pliego de Condiciones - Proyecto de Dispositivo de regulación del tráfico para optimizar el tránsito en intersecciones.

1.1 Objetivo:

El propósito de este proyecto es implementar un sistema de semáforo inteligente con módulos giratorios para mejorar la gestión del tráfico y aumentar la seguridad vial en la ubicación específica del proyecto, así como generar educación vial tanto para peatones como para conductores con la inclusión de señales de tráfico.

1.2 Alcance del proyecto:

El alcance del proyecto incluye el diseño, desarrollo, suministro, instalación, programación y configuración de un semáforo inteligente con módulos giratorios. Además, se integrarán con el sistema de control de tráfico existente para asegurar su correcto funcionamiento.

1.3 Requisitos técnicos y funcionales:

Los semáforos inteligentes deben cumplir con las regulaciones y estándares de seguridad vial establecidos por las autoridades competentes. Además, se deben considerar los siguientes requisitos técnicos y funcionales:

- Los módulos giratorios deben ser visibles desde múltiples ángulos y condiciones climáticas, garantizando una adecuada percepción por parte de los conductores.
- El sistema de control debe permitir la programación y configuración de los tiempos de luz de acuerdo con los patrones de tráfico y las horas del día.
- El sistema de control debe ser compatible con tecnologías de comunicación inalámbrica para facilitar la programación remota y la transmisión de datos.

1.4 Entregables:

Los entregables del proyecto incluyen:

- Diseño detallado de los semáforos modulares y los módulos giratorios.
- Suministro e instalación de los semáforos inteligentes con módulos giratorios.
- Programación y configuración del sistema de control de tráfico.
- Documentación técnica, incluyendo detalles de instalación, configuración y operación.

1.5 Plazo de entrega:

El proyecto se llevará a cabo en etapas y se establecerán fechas de inicio y finalización para cada una de ellas.

El plazo de entrega final será acordado entre las partes involucradas, considerando la complejidad del proyecto y los recursos disponibles.

1.6 Responsabilidades:

El abastecedor del sistema de semáforos inteligentes es el responsable del diseño, desarrollo y suministro de los dispositivos, así como de proporcionar el soporte técnico necesario. El cliente es el responsable de brindar la ubicación adecuada y la infraestructura necesaria para la instalación de los dispositivos. La instalación de los dispositivos y la integración con el sistema de control de tráfico serán responsabilidad de un equipo designado por el cliente.

1.7 Criterios de aceptación:

Se establecerán criterios de aceptación claros que deben cumplirse para considerar el proyecto como satisfactoriamente completado. Esto incluirá pruebas de funcionamiento, pruebas de seguridad y cumplimiento de las regulaciones pertinentes.

1.8 Presupuesto:

Se acordará un presupuesto detallado que incluya los costos de diseño, desarrollo, suministro, instalación y pruebas del sistema de semáforo modular con módulos giratorios.

1.9 Garantía y soporte:

Se proporcionará una garantía para el sistema de semáforo y se establecerán términos y condiciones para el soporte técnico posterior a la implementación, incluyendo el mantenimiento preventivo y correctivo.

1.9 Cumplimiento normativo:

El proveedor del sistema de semáforo se compromete a cumplir con todas las normativas y regulaciones de seguridad vial vigentes en la ubicación del proyecto.

1.10 Seguridad laboral y medioambiental:

Se requerirá que todas las actividades relacionadas con el proyecto cumplan con las normas y regulaciones de seguridad laboral y medioambiental, garantizando la protección de los trabajadores y la preservación del entorno.

1.11 Modificaciones al pliego de condiciones:

Cualquier modificación o cambio a este pliego de condiciones debe ser acordado por ambas partes por escrito y tener en cuenta los efectos en el cronograma y el presupuesto del proyecto.

PRESUPUESTO

1.1 costos Hardware

A continuación, en tabla 25 se detalla los gastos de Hardware que se han realizado para dar cumplimiento a este trabajo. Como se ha propuesto, este trabajo es un dispositivo para el control de tráfico y está formado por varios módulos, cada módulo tiene una serie de actuadores, sensores y otros componentes electrónicos que se explican con detalle a continuación.

Tabla 25: Costos Hardware.

Componente	Cantidad	Precio	Total
Panel de leds 64 x 64	4	40 €	160 €
Motores reductores	2	15 €	30 €
Arduino Uno	1	25 €	25 €
Arduino Mega	3	35 €	105 €
Arduino Nano	3	15 €	45 €
Pulsador	1	10 €	10 €
ESP8266	2	10 €	20 €
Ln298N	1	10 €	10 €
Fuente de 5 V	2	15 €	30 €
Otros componentes	1	50 €	50 €
total			535 €

Los costos hardware representan los gastos asociados a la adquisición y utilización de componentes físicos o materiales utilizados en la construcción y funcionamiento de dispositivos electrónicos, sistemas informáticos, equipos mecánicos, y otros productos tecnológicos.

1.2 Costos de Mano de Obra

En la tabla 26 se detalla el costo general de mano de obra de este proyecto, se toma en cuenta un salario promedio para un ingeniero mecatrónico.

Tabla 26: Costos de Mano de Obra.

Cargo	Horas de Trabajo	Coste hora	Total
Ingeniero	400	60 €/h	24000 €

Este trabajo se realizó durante un tiempo de 5 meses, empezando desde marzo del 2023 hasta Julio del 2023.

1.3 Costo total

En la tabla 27 se muestran los costos totales de este proyecto, tanto los costos en hardware como costos.

Tabla 27: Costos totales.

Detalle	Costo
Costo Hardware	535 €
Costo Mano de obra	26000 €
Total	26535 €

En total el costo general de este proyecto es de 26535 €, siendo mucha más significativa el costo por mano de obra que otros gastos.

CONCLUSIONES

De acuerdo con el planteamiento de nuestros objetivos y el desarrollo de este proyecto se obtienen las siguientes conclusiones.

- El estudio de los sistemas de control actuales y tendencias ha permitido obtener un panorama detallado de las soluciones de regulación de tráfico disponibles en la actualidad. Mediante el análisis exhaustivo de sus características, beneficios y limitaciones, se ha identificado la necesidad de desarrollar un sistema más avanzado y adaptado a las demandas específicas de la ubicación.
- El establecimiento de los requisitos necesarios para el sistema propuesto ha sido fundamental para asegurar que el sistema de semáforos inteligentes con arquitectura modular cumpla con las expectativas y necesidades específicas.
- Mediante la evaluación de diferentes opciones y tecnologías, se han seleccionado los componentes más adecuados que cumplan con los requisitos establecidos.
- La elaboración de un diseño mecánico propio ha sido crucial para asegurar la viabilidad y funcionalidad del sistema de semáforos inteligentes con módulos giratorios.
- La implementación de algoritmos de control inteligente ha demostrado ser fundamental para optimizar el flujo vehicular, garantizar la seguridad de los peatones y priorizar la atención de vehículos de emergencia. Estos algoritmos, basados en datos en tiempo real y modelos predictivos, permiten una gestión eficiente y adaptable del tráfico, mejorando significativamente la experiencia de los usuarios de la vía.
- La implementación de componentes electrónicos confiables y la integración de sistemas de comunicación eficientes han asegurado el funcionamiento adecuado de los módulos, permitiendo la transmisión de datos en tiempo real y la toma de decisiones precisas.
- Las pruebas realizadas han proporcionado información valiosa para ajustar y mejorar el sistema, garantizando su operatividad óptima y brindando una solución confiable y eficiente para la gestión del tráfico en áreas urbanas.

TRABAJOS FUTUROS

Para este trabajo, se ha decidido implementar solo un panel para el módulo de vehículos, sin embargo, el diseño nos permite implementar un módulo para cada color del semáforo, y en cada módulo se podría implementar un módulo señalética, la idea es que cada módulo pueda actuar como semáforo o como señalética. Como trabajo futuro se plantea realizar el diseño con un módulo, es decir un panel informativo para cada color del semáforo. Cada color del semáforo podría girar a conveniencia para controlar la calle opuesta o controlar en conjunto con el semáforo de peatones y así mejorar la seguridad peatonal. Otro trabajo que podría realizarse es el Desarrollo de mecanismos de detección y protección para mejorar la seguridad de los peatones en las intersecciones, como sensores de detección de peatones y señalización especializada.

Para complementar el trabajo y generar un alcance más desarrollado se podría implementar inteligencia artificial al trabajo, y así detectar vehículos de emergencia directamente, llegando a mejorar de manera eficiente el algoritmo inteligente, además se podría desarrollar un sistema giratorio más sofisticado que permita realizar giros de 360 grados a conveniencia de las situaciones de tráfico a las cuales este expuesto el dispositivo.

BIBLIOGRAFIA

[1] García, M. A., López, D. F., & González, J. R. (2018). Design and implementation of an intelligent traffic light control system based on fuzzy logic. *Journal of Advanced Transportation*, 2018, 1-12.

[2] Russi ,D. (2022). Sistemas de semaforización inteligente recuperado el 25 de 06 del 2023 de <https://www.pivingeneria.com/blog/semaforizacion-inteligente>.

[3] Universidad de Alcala. (2021). Sistema y procedimiento de señalización y regulación de tráfico para rotondas. Recuperado de <https://uah.es/es/investigacion/servicios-para-empresas/patentes/Sistema-y-procedimiento-de-senalizacion-y-regulacion-de-trafico-pararotondas/>

[4] Pattberg, B. Simulation of Urban MObility. DLR Institute of Transportation Systems recuperado el 09 de 06 del 2023 en Disponible en: http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid9883/16931_read-41000/. [consulta: 4 agosto 2016].

[5] Srinivasan. Neural Networks for Real-Time Traffic Signal Control *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 7, nº. 3, septiembre 2006.

[6] Leonard, N. E. y W. S. Levine, *Using MATLAB to analyze and design control systems*, Addison-Wesley, 1995.

[7] Funcionamiento y características del Reconocimiento de Matrículas. (2022) recuperado el 2 de 07 del 2023 de <https://noticiasalas.com/funcionamiento-y-caracteristicas-del-reconocimiento-de-matriculas/>

[8] González, J. (2019). Sistema inteligente de gestión de tráfico recuperado el 01 de 07 del 2023 de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/37784/TFG-I-1306.pdf?sequence=1>.

[9] Revista seguridad 360. (2021). Cámaras de tráfico para videovigilancia recuperado el 29 de 06 del 2023 de <https://revistaseguridad360.com/noticias/camaras-de-trafico/>.

[10] Interlight. (2023). Córdoba estrena semáforo de acera recuperado el 22 de 06 del 2023 de <https://interlight.es/author/interlight/>.

[11] Interempresas. (2012). Equipamiento urbano recuperado el 19 de 06 del 2023 de https://www.interempresas.net/Equipamiento_Municipal/Articulos/60702-Telvent-se-adjudica-la-gestion-y-conservacion-de-los-semaforos-de-Madrid.html.

[12] Yu, H. A cooperative vehicular network based traffic signal control system for alleviating urban congestion. *IEEE Access*, 6, 14021-14032. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2800971>.

- [13] Motorpasion. (2022). Semáforos inteligentes para reducir atascos y mejorar la seguridad de peatones: la tecnología mediante IA que ya usa Alemania recuperado el 31 de 05 del 2023 de <https://www.motorpasion.com/futuro-movimiento/semaforos-inteligentes-para-reducir-atascos-mejorar-seguridad-peatones-tecnologia-mediante-ia-que-usa-alemania>
- [14] Sacyr. (2020). Semáforos inteligentes para reducir la contaminación recuperado de <https://www.sacyr.com/-/semaforos-inteligentes-para-reducir-la-contaminacion>
- [15] Infracontrol.(2020). Control del tráfico recuperado el 25 de 05 del 2023 de <https://www.infracontrol.com/es/its/control-del-trafico/>
- [16] Huidobro,J . (2016). Radares para el control del tráfico recuperado el 11 de 05 del 2023 de https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/039001.pdf
- [17] Roman, G. (2017). Semaforos recuperado el 12 de 05 del 2023 de <https://es.scribd.com/document/378368553/Capitulo-7-Semaforos>
- [18] Roman, G. (2017). Semaforos inteligentes recuperado el 12 de 06 del 2023 de <https://www.onroad.to/teorico/clases-autoescuela/senalizacion/semaforos/semaforos-inteligentes>
- [19] Uribe, P. (2021). Arquitectura distribuida modular para el control inteligente del tráfico recuperado el 20 de 06 del 2023 de <https://polipapers.upv.es/index.php/RIAI/article/view/17068>
- [20] Uribe, P. (2020). Sistema de control de tráfico automático basado en dispositivos modulares heterogéneos recuperado el 29 de 05 del 2023 de <https://riunet.upv.es/handle/10251/151222>