



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Universitat Politècnica de València

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERÍA DEL DISENY

SISTEMA DE CONTROL DE TRÁFICO BASADO EN DISPOSITIVOS MODULARES HETEROGÉNEOS

*Trabajo Final del
Máster Universitario en Ingeniería Mecatrónica*

Autor:
Pedro Uribe Chavert

Tutores:
José Luis Poza Luján
Juan Luis Posadas Yagüe

Autorizo acceso y difusión del TFM

Valencia, a 17 de Junio de 2020

Resumen

En el entorno actual de ciudades inteligentes, el control de tráfico es uno de los problemas más complicados de resolver. La complicación se debe a que los transeúntes y los vehículos son difíciles de predecir. Además, los semáforos que controlan la movilidad deben realizar funciones para el control de su entorno sincronizándose con el resto de dispositivos. Esta sincronización implica una dificultad añadida si se desea adaptar el control de forma inteligente a las circunstancias que se den en cada momento.

Para resolver este problema, dentro del área de Informática Industrial del Instituto de Automática e Informática Industrial se está estudiando cómo optimizar el control de un entorno urbano, o incluso interurbano, por medio de sistemas distribuidos de control inteligente. Para estudiar dicho control es necesario disponer de prototipos de dispositivos de control de tráfico (semáforos con más sensores y actuadores de lo habitual). La inteligencia del sistema depende de la capacidad de sensorización y actuación de cada dispositivo. Por ello, es importante disponer de dispositivos heterogéneos.

La heterogeneidad de los dispositivos permitirá la adaptación del mismo a las circunstancias impredecibles. Por ejemplo, un semáforo puede detectar peatones y adaptar el control de los vehículos para que el tiempo de espera de los peatones se minimice. La conexión entre diversos dispositivos heterogéneos permitirá compartir información que enriquecerá, de forma inteligente, la actuación de los dispositivos. Por ejemplo, si un semáforo puede detectar, o recibir de otros dispositivos, la velocidad de un vehículo, y otro dispositivo con más capacidad de cálculo puede deducir que el vehículo no va a poder detenerse a tiempo, puede advertir a los peatones del riesgo de accidente, e incluso avisar a un servidor de tráfico de la posible sanción al vehículo cuya velocidad excesiva se ha detectado.

En el presente Trabajo Final de Máster (TFM), se presenta la arquitectura de un dispositivo modular. La combinación de diferentes módulos en diferentes dispositivos permite disponer de dispositivos adaptados al entorno concreto. Los sensores y actuadores se ubican dentro del módulo. Los módulos se han diseñado de forma que creen un estándar para los prototipos.

En el TFM se ha diseñado la parte mecánica de los módulos para crear los dispositivos. Se ha diseñado la parte electrónica de sensores y actuadores y se ha diseñado e implementado el control de cada módulo, el control de los módulos para crear un dispositivo y el control común inteligente entre dispositivos creando un clúster de dispositivos conectados. Esta jerarquía de módulos, dispositivos y clústeres se enmarca dentro de las arquitecturas basadas en el paradigma de Industria 4.0 aplicado al entorno de ciudades inteligentes.

Además, en el TFM se ha validado el sistema por medio de simulaciones implementadas empleando MatLab y Simulink, realizando un análisis del sistema por medio de datos exportados a Microsoft Excel.

Palabras clave: Sistema Distribuido; Dispositivo Modular; Control Inteligente; Control Automático; Control de tráfico; Diseño Modular; Ciudad Inteligente.

Resum

En l'entorn actual de ciutats intel·ligents, el control de trànsit és un dels problemes més complicats de resoldre. La complicació es deu al fet que els transeünts i els vehicles són difícils de predir. A més, els semàfors que controlen la mobilitat han de realitzar funcions per al control del seu entorn sincronitzats amb la resta de dispositius. Aquesta sincronització implica una dificultat afegida si es vol adaptar el control de manera intel·ligent a les circumstàncies que es donen en cada moment. Per resoldre aquest problema, dins l'àrea d'Informàtica Industrial de l'Institut d'Automàtica i Informàtica Industrial s'està estudiant com optimitzar el control d'un entorn urbà, o fins i tot interurbà, per mitjà de sistemes distribuïts de control intel·ligent. Per estudiar aquest control és necessari disposar de prototipus de dispositius de control de trànsit (semàfors amb més sensors i actuadors del que és habitual). La intel·ligència del sistema depèn de la capacitat de monitoritzar, mitjançant sensors, i operar, mitjançant actuadors, de cada dispositiu. Per això, és important disposar de dispositius heterogenis. L'heterogeneïtat dels dispositius permetrà l'adaptació de la mateixa a les circumstàncies impredecibles. Per exemple, un semàfor pot detectar vianants i adaptar el control dels vehicles perquè el temps d'espera dels vianants es minimitze. La connexió entre diversos dispositius heterogenis permetrà compartir informació que millorarà, de forma intel·ligent, l'actuació dels dispositius. Per exemple, si un semàfor pot detectar, o rebre d'altres dispositius, la velocitat d'un vehicle, i un altre dispositiu amb més capacitat de càlcul pot deduir que el vehicle no podrà aturar-se a temps, pot advertir els vianants de el risc de accident, i fins i tot avisar un servidor de trànsit de la possible sanció al vehicle per la velocitat excessiva que s'ha detectat. En el present Treball Final de Màster (TFM), es presenta l'arquitectura d'un dispositiu modular. La combinació de diferents mòduls en diferents dispositius permet disposar de dispositius adaptats a l'entorn concret. Els sensors i actuadors s'ubiquen dins del mòdul. Els mòduls s'han dissenyat de manera que creen un estàndard per als prototips. En el TFM s'ha dissenyat la part mecànica dels mòduls per crear els dispositius. S'ha dissenyat la part electrònica de sensors i actuadors i s'ha dissenyat i implementat el control de cada mòdul, el control dels mòduls per crear un dispositiu i el control comú intel·ligent entre dispositius creant un conjunt (cluster) de dispositius connectats. Aquesta jerarquia de mòduls, dispositius i clústers s'emmarca dins de les arquitectures basades en el paradigma d'Indústria 4.0 aplicat a l'entorn de ciutats intel·ligents. A més, en el TFM s'ha validat el sistema per mitjà de simulacions implementades emprant Matlab i Simulink, realitzant una anàlisi de sistema per mitjà de dades exportats a Microsoft Excel.

Paraules clau: Sistema Distribuït; Dispositiu Modular; Control Intel·ligent; Control Automàtic; Control de trànsit; Disseny Modular; ciutat Intel·ligent

Abstract

Currently, in a smart city environment, traffic control is one of the most complicated problems to solve. The complication is that users, pedestrian and vehicles, is difficult to predict. In addition, traffic lights that control mobility must perform functions to control the users' behaviour by synchronizing with the other devices. This synchronization implies an added difficulty to adapt the intelligent control to the events that occur at any moment. To solve this problem, within the area of Industrial Computing of the Industrial Informatics of the Institute of Automation and Industrial Informatics, we are studying how to optimize the control of an urban, or even interurban, the environment through distributed intelligent control systems. To study this control it is necessary to have prototypes of traffic control devices (traffic lights with more sensors and actuators than usual). The intelligence of the system depends on the sensing and performance capability of each device. Therefore, it is important to have heterogeneous devices. The heterogeneity of the devices will allow the adaptation of the same to the unpredictable circumstances. For example, a traffic light can detect pedestrians and adapt vehicle control so that pedestrian waiting time is minimized. The connection between various heterogeneous devices will allow information to be shared that will intelligently enrich the performance of the devices. For example, if a traffic light can detect, or receive from other devices, the speed of a vehicle, and another device with more computational power can deduce that the vehicle will not be able to stop in time, it can warn pedestrians of the risk of accident, and even warn a traffic server of the possible sanction to the vehicle whose excessive speed has been detected. In the present Master's Thesis (TFM), the architecture of a modular device is presented. The combination of different modules in different devices allows you to have devices adapted to the specific environment. The sensors and actuators are located inside the module. The modules have been designed to create a standard for prototypes. In the TFM the mechanical part of the modules has been designed to create the devices. The electronic part of sensors and actuators has been designed and the control of each module, the control of the modules to create a device and the intelligent common control between devices have been designed and implemented creating a cluster of connected devices. This hierarchy of modules, devices and clusters is framed within architectures based on the Industry 4.0 paradigm applied to the smart city environment. In addition, the TFM has validated the system through simulations implemented using MatLab and Simulink, performing an analysis of the system using data exported to Microsoft Excel.

Keywords: Distributed system; Distributed system; Modular device; Smart control; Automatic control; Traffic control; Modular design; Smart City.

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a mis dos tutores, José Luis Poza Luján y Juan Luis Posadas Yagüe, quien con sus conocimientos y apoyo durante todo el proyecto y, en especial, durante la etapa de cuarentena causada por la COVID-19, me guiaron a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados que buscaba.

Por último, quiero agradecer a todos mis amigos y a mi familia, por apoyarme durante todo este tiempo. En especial, quiero hacer mención de mis padres, que siempre estuvieron ahí para darme palabras de apoyo y un abrazo, aunque a distancia, para renovar energías..

Muchas gracias a todos.

Índice general

I	MEMORIA	1
1	Introducción	2
2	Objeto del proyecto	3
3	Antecedentes	4
4	Descripción de la situación actual	6
4.1	Descripción del entorno actual	6
4.1.1	Rapid Flow Technologies	7
4.1.2	Somos	8
4.1.3	Lacroix Group	9
4.1.4	Volkswagen y Siemens	9
4.1.5	Viviacity Labs	10
4.2	Resumen y análisis de las principales soluciones identificadas	10
5	Normas y referencias	13
5.1	Disposiciones legales y normas aplicadas	13
5.2	Bibliografía	13
5.3	Métodos, Herramientas, Modelos, Métricas y Prototipos	13
5.3.1	Métodos y Herramientas	13
5.4	Mecanismos de control de calidad aplicados durante la redacción del proyecto	15
6	Definiciones y abreviaturas	16
6.1	Definiciones	16
6.2	Abreviaturas	17
7	Requisitos iniciales	18
7.1	Requisitos Funcionales	18
7.1.1	Mecánica	18
7.1.2	Electrónica	18
7.1.3	Computación	19
7.1.4	Análisis de datos	19
7.2	Requisitos No Funcionales	19
7.2.1	Seguridad	19
7.2.2	Usabilidad	19
7.2.3	Polivalente	20

8 Alcance	21
8.1 Diagrama EDT	21
8.2 Mecánica	22
8.3 Electrónica	22
8.4 Computación	22
8.5 Datos	22
9 Hipótesis y restricciones	23
9.1 Hipótesis	23
9.2 Restricciones	23
10 Estudio de alternativas y viabilidad	25
10.1 Viabilidad económica	25
10.2 Viabilidad técnica	25
11 Descripción de la solución propuesta	27
11.1 Diseño mecánico	27
11.2 Diseño eléctrico y electrónico	28
11.3 Diseño del control	31
11.4 Diseño del análisis de datos	32
12 Análisis de Riesgos	33
13 Organización y gestión del proyecto	34
13.1 Organización	34
13.2 Gestión del proyecto	34
14 Planificación temporal	35
15 Resumen del Presupuesto	36
16 Conclusiones	38
16.1 Resultados y aportaciones	38
16.2 Dificultades resueltas	39
16.3 Competencias alcanzadas	39
16.3.1 Técnicas	39
16.3.2 Transversales	39
16.4 Trabajo Futuro	40
II ANEXOS	1
1 Anexo - Análisis y Diseño del Sistema	2
1.1 Mecánica	3
1.1.1 Módulo Base	3
1.1.2 Módulo Estructural Vacío	4
1.1.3 Módulo Estructural para colocación de módulos externos	4
1.1.4 Módulo LED Semáforo I	5
1.1.5 Módulo LED Semáforo II	6

1.1.6	Módulo Contador	7
1.1.7	Módulo Luminaria	8
1.1.8	Módulo Botonera	9
1.1.9	Ensamblaje	10
1.2	Electrónica	11
1.2.1	Módulo Base	12
1.2.2	Módulo LED Semáforo/Luminaria	12
1.2.3	Módulo Contador	13
1.2.4	Módulo Botón	14
1.3	Computación	14
1.3.1	Comunicación	15
1.3.2	Módulos	17
1.3.3	Clúster	19
2	Anexo - Planes de Gestión del proyecto	21
2.1	Gestión del Alcance	21
2.2	Gestión de plazos	21
2.3	Gestión de costes	21
2.4	Gestión de la calidad	22
2.5	Gestión de recursos humanos	22
2.6	Gestión de comunicaciones	22
2.7	Gestión de la integración	22
2.8	Gestión de riesgos	23
2.9	Gestión de adquisiciones	23
3	Anexo - Validación del sistema	24
4	Anexo - Análisis de Riesgos	26
III	PLIEGO DE CONDICIONES	1
1	Disposiciones generales	2
1.1	Objeto del pliego	2
1.2	Documentación del proyecto	2
1.3	Compatibilidad y prelación entre documentos	3
2	Condiciones técnicas	4
2.1	Documentos de soporte	4
3	Condiciones facultativas	6
3.1	Jefe de fabricación	6
3.2	Obligaciones del contratista	6
3.3	Plazos y comienzo de la fabricación	7
3.4	Fallos de fabricación o montaje	7
3.5	Garantía	7
4	Condiciones económicas	8

4.1	Garantías	8
4.2	Gastos e impuestos	8
4.3	Precios contradictorios	8
4.4	Reclamación por aumento de precios	9
4.5	Revisión de precios	9
4.6	Equivocaciones del presupuesto	9
4.7	Pagos	10
4.8	Suspensión por retrasos de pago	10
4.9	Indemnización por el retraso de los trabajos	10
4.10	Mejoras de fabricación	10
5	Condiciones legales	11
5.1	Marco jurídico	11
5.2	Régimen de intervención	11
5.3	Accidentes de trabajo y daños a terceros	12
5.4	Responsabilidad civil	12
5.5	Permisos y certificados	12
5.6	Rescisión del contrato	12
IV	PRESUPUESTO	1
1	Costes Directos	2
1.1	Costes de hardware y componentes	2
1.2	Costes Software	4
2	Costes mano de obra	5
3	Costes indirectos	6
4	Costes totales	7
V	BIBLIOGRAFÍA	1

Índice de figuras

3.1	Barraca Azalea UPV	5
4.1	Ranking Europeo Congestión	6
4.2	Sistema de control Surtrac	8
4.3	Sistema de control Somos	8
4.4	Sistema de control Volkswagen	10
4.5	Sistema de control Vivacity	11
5.1	Logo SolidWorks	14
5.2	Logo Tinkercad	15
5.3	Logo MatLab	15
5.4	Logo Excel	15
8.1	Diagrama EDT del trabajo presentado.	21
10.1	Diferentes arquitecturas	26
11.1	Ensamblaje Principal	28
11.2	Descripción Sistema	29
11.3	Descripción clúster	29
11.4	Descripción Dispositivo	30
11.5	Descripción Módulo	30
11.6	Descripción del control	31
11.7	Descripción de la validación del sistema	32
14.1	Diagrama de Gantt	35
1.1	Dispositivo modular	2
1.2	Piezas módulo base	3
1.3	Piezas módulo base	4
1.4	Modulo intermedio vacío	4
1.5	Modulo intermedio grande	5
1.6	Modulo intermedio pequeño	5
1.7	Modulo semáforo	6
1.8	Modulo ensamblado del semáforo	6
1.9	Modulo semáforo	7
1.10	Modulo ensamblado del semáforo	7
1.11	Modulo Contador	7
1.12	Modulo ensamblado del semáforo	8

1.13	Modulo Luz	8
1.14	Modulo ensamblado de la luz	8
1.15	Modulo Botonera	9
1.16	Modulo ensamblado de la botonera	9
1.17	Ensamblaje Principal	10
1.18	Diseño Electrónico Cluster	11
1.19	Diseño Electrónico Módulo Base	12
1.20	Diseño Electrónico Semáforo - Luminaria	13
1.21	Diseño Electrónico Contador	13
1.22	Diseño Electrónico Botonera	14
1.23	Computación Servidor LAN	16
1.24	Computación Módulo Luz	17
1.25	Computación Módulo Semáforo Vehículos	17
1.26	Computación Módulo Semáforo Peatones	18
1.27	Computación Módulo Contador	18
1.28	Computación Módulo Botonera	19
1.29	Computación Módulo Base	20
3.1	Validación Sistema	24

Índice de tablas

4.1	Características de los principales sistemas similares	11
4.2	Características de la arquitectura de los sistemas	12
6.1	Tabla abreviaturas	17
12.1	Tabla de riesgos	33
13.1	Tabla de organización del proyecto	34
15.1	Tabla costes hardware	36
15.2	Tabla costes hardware	37
1.1	Color de los principales cables	11
1.2	Tabla tipo mensajes I2C	15
1.3	Tabla tipo mensajes LAN y WLAN	16
2.1	Tabla costes hardware	22
4.1	Tabla de riesgos	27
1.1	Tabla gastos comunes	3
1.2	Tabla dispositivo maestro	3
1.3	Tabla dispositivo esclavo	3
1.4	Tabla costes hardware	4
1.5	Tabla costes software	4
2.1	Tabla costes mano de obra	5
3.1	Tabla costes indirectos	6
4.1	Tabla costes hardware	7

Preámbulo

Sobre la estructura de la documentación

El presente documento se ha escrito siguiendo la norma UNE 157001:2014 'Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico'. [1]

Impacto en el proyecto debido a la situación extraordinaria forzada del COVID-19

La situación extraordinaria que está viviendo la población mundial debido a la pandemia COVID-19 influye también en este proyecto. Esto es así debido a que partes, que en un principio se querían realizar, fueron totalmente imposibles de llevar a cabo, teniendo que buscar alternativas a las mismas.

Parte I

MEMORIA

Capítulo 1

Introducción

Actualmente, el tráfico en las ciudades está coordinado por diferentes señales que van desde las estáticas o las del suelo a los semáforos que regulan el movimiento de vehículos y peatones. En el caso de las señales estáticas o terrestres, estas regulan aspectos informativos para la conducción, mientras que los semáforos permiten organizar más vehículos. Consecuentemente, los semáforos facilitan la gestión de muchos vehículos agilizando y permitiendo que todos los vehículos y peatones puedan circular. Por ejemplo, los semáforos evitan que una avenida acapare el tráfico y que los vehículos que se quieran incorporar o los peatones que quieran atravesar dicha avenida puedan hacerlo aunque el tráfico en la avenida sea mayor.

Hasta ahora, los semáforos se regulan por medio de automatismos con los que se concede un periodo de tiempo para cada cambio. Esto hace que, independientemente de las condiciones, el tráfico se regule de forma constante. Por ejemplo, el tiempo que el semáforo de una avenida permite cruzarla a los peatones, es el mismo independientemente de la cantidad de peatones que requieran pasar. Si se pudiese adaptar el tiempo de un semáforo a las necesidades de los peatones o de los vehículos, sería posible agilizar el tráfico u optimizarlo para poder reducir las emisiones, o reducir el tiempo de tránsito de los peatones.

En algunos casos, se disponen sensores de tráfico que permiten regular los semáforos desde estaciones centrales. Estos sensores van desde espiras en el suelo para detectar presencia hasta sistemas avanzados de conteo de vehículos [12]. A partir de los sistemas de detección de vehículos, o peatones, es posible conocer desde el mismo semáforo, la cantidad de vehículos o peatones que necesitan ser atendidos. Los sistemas de control actuales permiten tomar decisiones acerca de variar los tiempos de espera para cada semáforo. Con el control centralizado la cantidad de información para la toma de decisiones es muy grande. Con un control distribuido es posible crear islas de tráfico más o menos óptimas.

Si entre los semáforos pudieran comunicarse sus necesidades de tiempo de servicio para los vehículos o peatones, sería posible tener un sistema colaborativo con el resultado de una optimización de tiempos tanto para peatones como para vehículos.

A partir de la experiencia obtenida por el autor en el proyecto SD AZALEA UPV [8] pareció conveniente proponer un trabajo final de máster de Mecatrónica en el que se diseñase una arquitectura distribuida inteligente para poder comprobar la hipótesis planteada anteriormente. En este trabajo, se desarrolla una arquitectura distribuida de dispositivos inteligentes modulares, con capacidad de llevar la inteligencia al dispositivo. Por medio de esta arquitectura, los propios dispositivos pueden tomar decisiones en cuanto al tiempo de servicio dependiendo de la demanda que tengan por parte de los vehículos o los peatones.

Capítulo 2

Objeto del proyecto

El principal objetivo de este proyecto es la incorporación de dispositivos modulares para reducir el consumo eléctrico y la contaminación acústica, además de optimizar el tráfico en una ciudad. Se consigue por medio de dispositivos con una serie de características determinadas. Este objeto se puede definir en los objetivos que son listados a continuación:

- Estudio de la situación de los sistemas disponibles actualmente. Análisis de las características, tanto positivas como negativas, de estos sistemas.
- A partir de las características analizadas de los sistemas anteriores, determinación los requisitos necesarios para el sistema presentado.
- Estudio de los diferentes módulos y dispositivos que puede tener el sistema cumpliendo con los requisitos.
- Diseño mecánico modular de los módulos y dispositivos.
- Estudio de la arquitectura del sistema para la comunicación entre módulos y entre dispositivos.
- Estudio computacional para la optimización del tráfico en un cruce.
- Diseño del sistema electrónico de los distintos módulos, dispositivos y clústeres.
- Diseño del sistema de control entre dispositivos del mismo clúster y con introducción de variables externas al clúster.
- Implementación de un sistema para la realización de ese estudio computacional.
- Validación del sistema por medio de simulaciones que evalúen tanto la realización correcta de las tareas de control como el rendimiento de sistemas de tráfico.

Capítulo 3

Antecedentes

La aparición del automóvil a motor a finales del siglo XIX motivó la necesidad de ordenar el tráfico terrestre dando lugar así al desarrollo de estructuras de gobierno tanto para gestionar el desarrollo y mantenimiento de los vehículos y las vías como para ordenar los criterios y aptitudes necesarios para conducir estos aparatos [6]. Los semáforos, también conocidos técnicamente como señales de control de tráfico, son dispositivos de señales que se sitúan en intersecciones viales y otros lugares para regular el tráfico, y por ende, el tránsito peatonal. El primer semáforo, diseñado por John Peake Knight, se instaló en Londres en 1868. [24]. con dos brazos que se levantaban para indicar el sentido que tenía que detenerse. Además se usaban lámparas de gas de colores rojo y verde para su funcionamiento nocturno. Sin embargo, este primer semáforo era manual, por lo que requería que un policía lo controlase todo el tiempo. En 1910 se mejoró el semáforo, volviéndolo más automático. El primer semáforo automático que usaba luces verdes y rojas eléctricas data de 1917. En 1920 se le añade la luz amarilla al semáforo. Los semáforos actuales evolucionaron pasando a utilizar luces led para la señalización luminosa. Estas luces led hacen que solo se utilice un 10% de la energía consumida por las lámparas incandescentes. Recientemente, se empiezan a realizar controles en la gestión de los semáforos para optimizar el tráfico en las ciudades.

El control de tráfico necesita de arquitecturas. Estas arquitecturas también sufrieron una mejora. En 1945 nace la computación centralizada. En los años 70 nacieron los primeros sistemas distribuidos generalizados. Los primeros sistemas distribuidos son las redes locales (Ethernet). En los años 90 nacen los sistemas distribuidos escalables, más conocido como red de redes (Internet). Actualmente, los sistemas distribuidos han adquirido nuevas características, como pueden ser la ubicación y computación en la nube, y las arquitecturas de clúster hacen necesaria la implementación de elementos computacionales más complejos. [2] El control en estrella es un control centralizado donde todo pasa por el nodo central. El control centralizado jerárquico, o en árbol, es una estructura de datos con un nodo raíz y muchos niveles de nodos adicionales que forman una jerarquía. [25] Una red en malla es una topología de red en la que cada nodo está conectado a todos los nodos, es decir, no requiere de un nodo central. [23] Actualmente, se utiliza mucho el control por cloud y fog. La computación en la nube permite ofrecer servicios de computación a través de una red, que usualmente es internet. [21] La computación en niebla (o fog) es el concepto de una estructura de red que se extiende desde los bordes exteriores de donde se crean los datos hasta dónde se almacenarán. [22].

En los últimos años la construcción modular ha aumentado de forma considerable. Este aumento es debido a la sencillez a la hora de la construcción, el traslado y la instalación. La construcción mejora debido a que no es necesario construir la estructura en el lugar de instalación. El traslado se realiza por medio de módulos. La instalación es más rápida y sencilla, por lo que se reduce tanto

tiempo de construcción como de instalación. Fue después del fin de la Segunda Guerra Mundial cuando el mercado de viviendas modulares [20] Existen casos de construcción modular en la propia Universitat Politècnica de València (UPV) como es el caso de Azalea UPV [19] del cuál formo parte desde hace más de un año. Azalea el mes de Julio de 2019 consiguió construir una vivienda entera en únicamente 14 días, quedando como en la figura 3.1



Figura 3.1: Barraca Azalea UPV

Por último, comentar que, actualmente, hay un incremento exponencial del número de vehículos circulando por las ciudades. Este aumento de vehículos produce un aumento tanto de la contaminación atmosférica como contaminación acústica. Para la reducción de esta contaminación, muchas de las principales ciudades europeas se empiezan a transformarse en ciudades inteligentes. Esto significa un control inteligente de varios factores, del cuál interesa para este proyecto la gestión de las luces de los semáforos. Con esta gestión se pretende optimizar el tráfico y, por consiguiente, reducir la contaminación.

Las intersecciones viales reguladas por semáforos son cruces cruciales para la movilidad urbana, pero los ciclos preestablecidos tradicionales alargan los tiempos de viaje y causan congestión, ruido y contaminación del aire.

Los semáforos actuales basados en tiempos fijos no pueden administrar eficientemente el flujo del tráfico, y las alternativas actuales a menudo requieren la instalación costosa de sensores debajo de la superficie de la carretera, lo que hace que una intervención en grandes áreas urbanas sea prohibitiva.

Capítulo 4

Descripción de la situación actual

En este capítulo se reflejará una pequeña descripción de los sistemas similares y un resumen final de ellos, indicando las principales soluciones identificadas

4.1. Descripción del entorno actual

En los últimos años se ha venido observando un aumento de la congestión en las principales ciudades tanto de España como del resto del Mundo. Gran parte de esta congestión se produce debido a accidentes de tráfico, las cuales, no son objeto de estudio en este trabajo. Otra gran parte se produce en las ciudades por la gestión anticuada y obsoleta del control de los semáforos. Esto es debido a que no se actualizaron a lo largo del tiempo o que las actualizaciones son pequeñas en comparación con lo que se puede llegar a hacer.

Varios estudios recientes indican el índice de horas perdidas al año en congestiones de tráfico tanto en los principales países mundiales como sus ciudades más importantes. Tal y como se muestra en la siguiente figura 4.1.

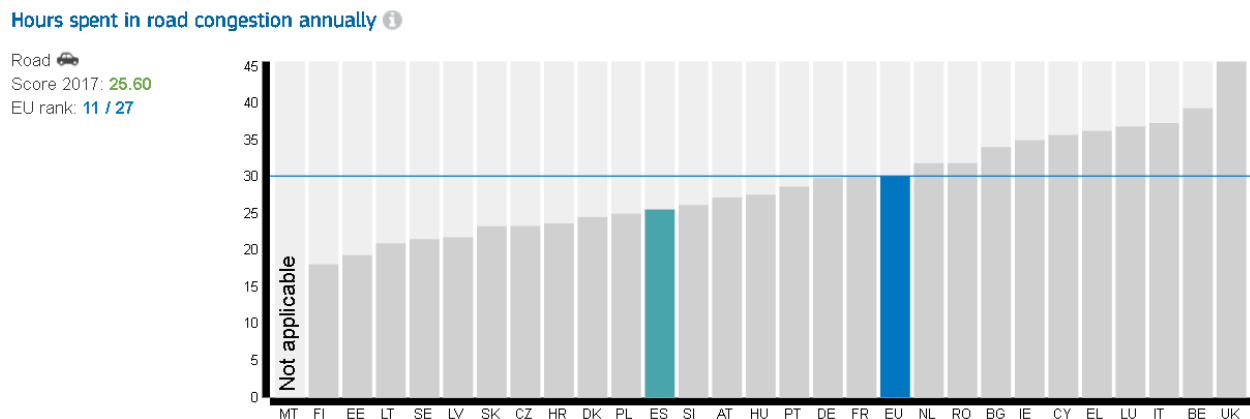


Figura 4.1: Ranking Europeo Congestión

Tal y como se muestra en la figura 4.1, la media de España aún está por debajo de la Europea (2017), de 25,60 horas por año

Otros estudios realizados por INRIX, indican que Barcelona es la ciudad de España con más horas perdidas por año en congestión (78 horas) siendo la número 30º de Europa en 2019 y la

72° del mundo. Valencia está colocada en séptima posición de más horas perdidas por año en congestión en España, superando la media española (30 horas por año) y la número 365 del mundo. [15]

4.1.1. Rapid Flow Technologies

SURTRAC (Scalable Urban Traffic Signal Control) es una tecnología innovadora en el control de señales de tráfico en tiempo real de la empresa Rapid Flow Technologies, en Pensilvania, EEUU. Combina la investigación de la inteligencia artificial y la teoría del tráfico. Su principal objetivo es optimizar el rendimiento de las señales de tráfico, mejorando el flujo de tráfico tanto para las redes urbanas como para los alrededores, generando menos esperas, congestiones, viajes más cortos, menos contaminación y conductores más felices. [17]

Para Surtrac, la forma más avanzada para realizar un control de señales de tráfico es:

- Respuesta al tráfico actual en tiempo real. Optimizando cada segundo en función de los flujos de tráfico reales
- Descentralizado e inherentemente escalable.
- Optimizado para redes complejas, no solo para una calle.
- Multimodal con detección avanzada. Puede integrar los flujos de tráfico de vehículos, peatones, autobuses y bicicletas.
- Integrado con vehículos conectados para mejorar la movilidad

El funcionamiento del sistema de tiempo real de Surtrac se basa en varios puntos.

El primero es que, como cualquier buen sistema robótico, es detectar su entorno o lo que está sucediendo en tiempo real. Obtiene esta información de una integración de software / API con la infraestructura de detección existente que puede incluir cámaras, radares o incluso bucles de inducción.

Surtrac procesa esta información y luego, a través de su software de programación patentado, crea un plan de optimización sobre cómo mover el tráfico multimodal de la manera más eficiente.

Luego, a través de una segunda integración de software / API, Surtrac actúa en este plan enviando comandos al controlador para coordinar las señales.

Finalmente, Surtrac comunica información sobre su plan y el tráfico que fluirá desde la intersección.

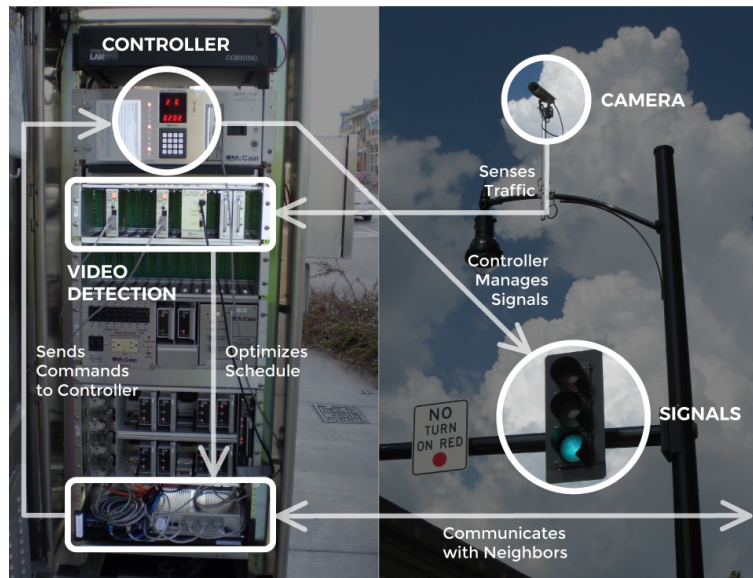


Figura 4.2: Sistema de control Surtrac

4.1.2. Somos

Somos es una empresa italiana nacida de la propia Universidad de Calabria, al sur de Italia. Busca crear un vínculo entre la investigación desarrollada en el campo académico y su aplicación en el mundo del transporte y las empresas, con el objetivo de mejorar la calidad de los servicios en términos de rendimiento, seguridad y sostenibilidad ambiental y económica [18].

Los servicios provistos incluyen el diseño e implementación de sistemas de gestión y monitoreo para componentes de movilidad públicos y privados basados en tecnología de bajo costo e integración de sensores que operan en modo independiente o en red.

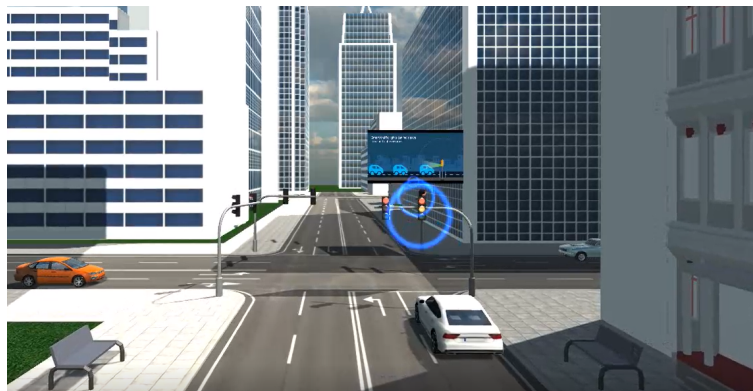


Figura 4.3: Sistema de control Somos

Somos utiliza en la gestión de semáforos inteligentes, datos flotantes de automóviles. Utilizan una tecnología fácil de instalar, interconectada a través de la aplicación a los teléfonos inteligentes de los usuarios, para regular dinámicamente los flujos de tráfico. Utiliza sensores para actualizar los semáforos y ponerlos en comunicación con dispositivos móviles. Los datos enviados a un servidor central permiten que la Inteligencia Artificial regule los ciclos de semáforos, reduciendo

significativamente los tiempos de espera y el consumo de combustible no solo para los usuarios conectados, sino que también para todos los demás conductores.

4.1.3. Lacroix Group

El Grupo Lacroix es una empresa internacional de Nantes, Francia, proveedora de equipos tecnológicos cuya ambición es poner su excelencia técnica e industrial al servicio de un mundo conectado y responsable [9].

El Grupo Lacroix tiene un sistema de ciudad inteligente llamada LACROIX City, que incorpora un sistema de gestión de semáforos inteligentes.

Esta división (LACROIX City's Traffic Division) fabrica y comercializa equipos de gestión y regularización del tráfico para las autoridades locales y los operadores de carretera. Esta división se centra en cuatro pilares:

- Gestión de la movilidad urbana. La División de Tráfico de LACROIX City ofrece una gama completa de productos para asegurar, supervisar y racionalizar los flujos de tráfico para todos los usuarios de la carretera. La gama de productos son:
 - Señales de tráfico. Se basan básicamente en un diseño ecológico y seguro
 - Controladores de semáforos.
 - Detección de tráfico para regulación. Los sensores combinados con un sistema de regulación clásico detectan a los usuarios y permiten gestionar los ciclos de semáforos en tiempo real según las necesidades. Los sensores van desde radares hasta cámaras térmicas.
 - Soluciones para estacionamiento. Indicando el número, a tiempo real, de las plazas de aparcamiento que quedan disponibles.
- Interurbano. Se basan más en una señalización segura del entorno.
- Dispositivos conectados. Para tener la máxima información del tráfico
- Información del pasajero. Para agilizar la utilización de transportes públicos

4.1.4. Volkswagen y Siemens

Empresas punteras en sus sectores tanto de automoción como de fabricación industrial como Volkswagen y Siemens se unen para la creación de un prototipo de semáforo inteligente (V2X) usando WLANp [4].

Los futuros vehículos de Volkswagen podrán procesar la información del semáforo e informar al conductor, por ejemplo, cuando todos los semáforos sucesivamente estén en verde. De esa manera, los conductores pueden evitar frenar o acelerar innecesariamente. En un futuro cercano, las funciones de asistente podrán hacerlo sin la intervención del conductor.

Las funciones del semáforo con visión de futuro en el vehículo mejoran el flujo de tráfico en áreas urbanizadas. Se espera que este proyecto también contribuya a la seguridad vial en general.

Los cruces equipados con tecnología de sensores de radar pueden aumentar significativamente la precisión en la detección de peatones y ciclistas. La información que los vehículos no pueden detectar por sí mismos se proporciona en intersecciones complejas y puntos negros de accidentes en particular, tal y como se muestra en la figura 4.4.

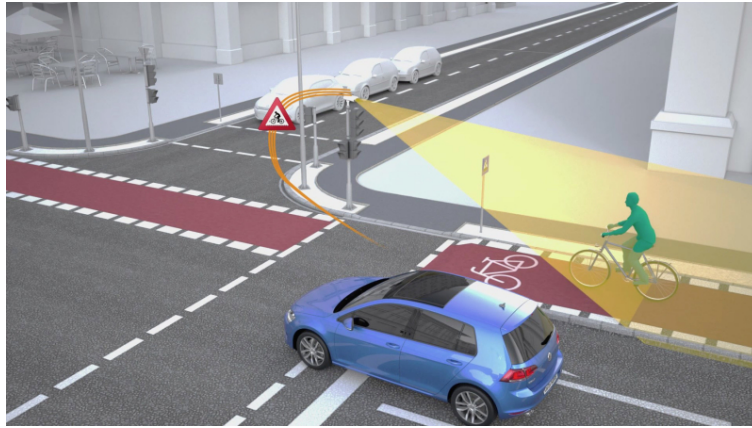


Figura 4.4: Sistema de control Volkswagen

4.1.5. Vivicity Labs

Vivicity Labs es una empresa londinense con el objetivo de hacer un cambio en la industria del transporte, utilizando nuestros datos completos para impulsar la optimización en tiempo real de la red de transporte. [10]

Para ello sigue cuatro pilares importantes para la gestión del tráfico, basados en:

- Machine Learning para localizar y clasificar a los diferentes usuarios de la carretera dentro del campo de visión.
- Análisis de la ruta. Los sensores pueden rastrear a los usuarios de la carretera en todo el campo de visión, lo que brinda un nivel sin precedentes de datos detallados sobre cómo los diferentes usuarios de la carretera interactúan y usan el espacio disponible para ellos. También utilizan los datos de la ruta para evaluar las velocidades del vehículo y proporcionar datos sobre cuán abarrotado está el espacio de una carretera.
- Predicción. Se ha creado una capacidad predictiva basada en el aprendizaje automático que obtiene datos históricos y en vivo sobre una red de carreteras y la utiliza para predecir los niveles de tráfico en los próximos minutos y horas. El sistema es fácil de implementar, ya que no es necesario proporcionar datos adicionales sobre el diseño de la red vial. Continúa aprendiendo cómo los patrones de uso de la carretera interactúan y cambian con el tiempo.
- Control de tráfico. Vivicity está desarrollando actualmente un sistema UTC que utiliza el aprendizaje por refuerzo para modernizar el control de las señales de tráfico.

La misma empresa ha creado un sistema de para, además de agilizar el tráfico, darle prioridad a los ciclistas, tal y como se muestra en la figura 4.5.

Los nuevos semáforos de Vivicity Labs utilizarán sensores de inteligencia artificial para detectar dónde hay mucho tráfico y alterar su patrón en un intento por hacer que los atascos de las horas pico sean cosa del pasado.

4.2. Resumen y análisis de las principales soluciones identificadas

Los dispositivos anteriores tienen una gran variedad de sensores que dotan al dispositivo de inteligencia y seguridad. La información acerca de la arquitectura es compleja debido a que la

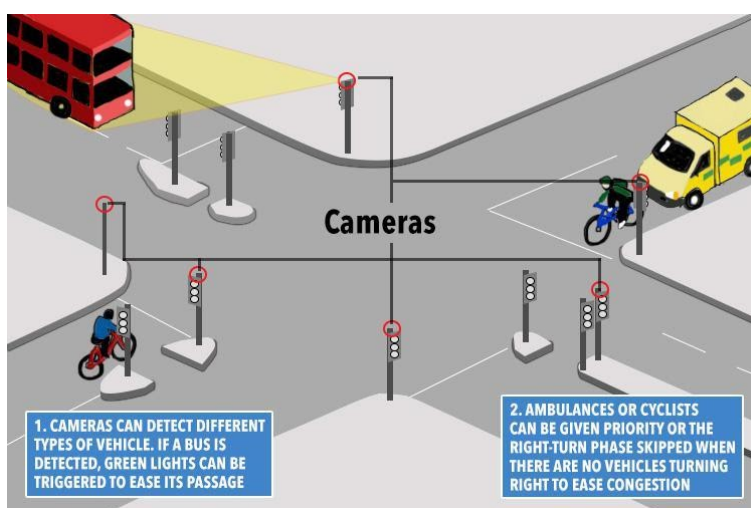


Figura 4.5: Sistema de control Vivacity

confidencialidad de los productos hacen complicado encontrar mucha más información. Aún así, se pudo comprobar que a nivel intra-dispositivos, la conexión está separada de la conexión a nivel inter-dispositivos. La autonomía de los dispositivos hacen que en caso de un fallo en el sistema, puedan funcionar, evitando accidentes.

En general, la mayoría de empresas utilizan productos con gran calidad y sistemas complejos de inteligencia artificial. Esto es debido a la importancia de la seguridad vial y, por consiguiente, se tiene que estar seguro de que funciona.

En la tabla 4.1 se resumen las características de principales de los sistemas anteriores. En la columna 'Nombre' se indicarán los nombres de las empresas que llevan a cabo estas investigaciones. En la columna 'Cámara', se indicará si este dispositivo se usa o no para cada sistema. La columna 'IA' (Inteligencia Artificial) se puede observar que es usada en todas las empresas. La columna 'Multimodal' se refiere a si el sistema vale tanto para vehículos que circulan por la carretera, como peatones y bicicletas. La conectividad hacer referencia a la forma de conectarse entre sí. El valor API es por medio de software y usuario, donde la aplicación móvil conecta los semáforos con una aplicación que se instala en el móvil y WLANp es un modo de comunicación que utilizan los vehículos más modernos de la marca Volkswagen.

Nombre	Cámara	IA	MultiModal	Conectividad
Rapid Flow Technologies	Si	Si	Si	API
Somos	No	Si	-	App Móvil
Lacroix	Si	Si	Si	-
VolksWagen	Si	Si	Si	WLANp
Vivacity Labs	Si	Si	Si	-

Cuadro 4.1: Características de los principales sistemas similares

En la siguiente tabla 4.2 se indica el tipo de sistema que tienen los dispositivos estudiados anteriormente, además de la arquitectura y de la autonomía. La columna 'Variedad sensores' hace referencia a la variedad de sensores de los dispositivos para dotarlo de inteligencia. La columna 'sepa-

ración' hace referencia a la separación de las comunicaciones intra-dispositivo y inter-dispositivos. La columna 'Autonomía' hace referencia a la capacidad del sistema en seguir funcionando ante un error del propio sistema.

Nombre	Variedad sensores	Separación	Autonomía
Rapid Flow Technologies	Si	Si	Si
Somos	Si	Si	Si
Lacroix	Si	Si	Si
VolksWagen	Si	Si	Si
Vivacity Labs	Si	Si	Si

Cuadro 4.2: Características de la arquitectura de los sistemas

Basándose en los estudios anteriores de los sistemas actuales, podemos deducir alguna de las características recomendables que debería tener un sistema de control inteligente de tráfico en ciudades.

Es recomendable que un sistema tenga dispositivos modulares que admitan una gran variedad de tipos de sensores y actuadores para así, adaptarse al lugar donde estén emplazados. Por ejemplo, en cruces complejos, posiblemente los contadores de tiempo restante sean más útiles que en cruces sencillos donde es fácil comprobar si hay más o menos tráfico.

Es recomendable disponer de una conectividad estándar a nivel de intra-dispositivo (entre módulos) y a nivel inter-dispositivo (en el clúster), o en el fog

Dado que no se ha obtenido información acerca de las arquitecturas empleadas por los sistemas analizados, para la realización de prototipos y del sistema final, es conveniente emplear la arquitectura de industria 4.0. Esta arquitectura se emplea con la introducción del cloud+fog para la conexión entre dispositivos y clústeres. Con esto se logra un control inteligente centralizado con inteligencia distribuida. Además, la autonomía de los dispositivos y clústeres hacen que puedan funcionar en caso de fallo.

Como este proyecto sólo abarca un TFM, se centra más en la modularidad y conectividad entre módulos, evitando programaciones con mucha computación como puede ser el uso de cámaras y deep learning, pero dejando la posibilidad de instalarlas en un futuro para el mismo proyecto.

Capítulo 5

Normas y referencias

5.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

En este apartado se han identificado las normas y reglamentos que han sido de aplicación en la elaboración de este proyecto y la ejecución del mismo. Este proyecto ha sido completamente desarrollado siguiendo las normas y estándares siguientes:

- **UNE 157001:2014** "Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico"
En este caso, esta norma es la base que se ha aplicado en la presente memoria.
- **Ley de protección civil del derecho al honor, a la intimidad personal y familiar y a la propia imagen, BOE núm. 115, de 14 de mayo de 1982, páginas 12546 a 12548.** "Los derechos al honor, a la intimidad personal y familiar y a la propia imagen tienen el rango de fundamentales, y hasta tal punto aparecen realzados en el texto constitucional que el artículo veinte, cuatro, dispone que el respeto de tales derechos constituya un límite al ejercicio de las libertades de expresión que el propio precepto reconoce y protege con el mismo carácter de fundamentales"
- **Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial, Real Decreto Legislativo 6/2015, BOE núm. 261, de 31/10/2015 [16].**
- **Reglamento electrotécnico para baja tensión, Real Decreto 842/2002, «BOE» núm. 224, de 18 de septiembre de 2002, páginas 33084 a 33086 [3]**

5.2. Bibliografía

La bibliografía utilizada se presenta de forma numérica por orden alfabético en el apellido.

5.3. Métodos, Herramientas, Modelos, Métricas y Prototipos

5.3.1. Métodos y Herramientas

Con el fin de gestionar adecuadamente el proyecto y facilitar su implementación, se han seguido una serie de procedimientos y metodologías.

Métodos

Para el desarrollo del proyecto se han seguido los siguientes procedimientos:

- Estimación de los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto.
- Estimación del tiempo necesario para el desarrollo del proyecto.
- Estudio de distintos sistemas similares. Con esto se consigue saber por donde se debe empezar la elaboración del proyecto.
- Diseño modular mecánico de los distintos módulos de los dispositivos.
- Diseño electrónico de cada módulo y cada dispositivo.
- Diseño de la computación del control de los dispositivos y clústeres.
- Implementación de un sistema de validación de datos.

Herramientas

Para el desarrollo del proyecto se han usado las siguientes herramientas:

- **SolidWorks**. Programa para el diseño 3D de los módulos y dispositivos [11]



Figura 5.1: Logo SolidWorks

- **TinkerCad**. Programa on-line para el diseño electrónico de cada módulo y dispositivo [5]



Figura 5.2: Logo Tinkercad

- **MatLab y Simulink.** Programa de simulación usado para realizar la computación de un clúster. [13]



Figura 5.3: Logo MatLab

- **MS Excel.** Programa usado para guardar los datos recibidos de la simulación realizada con MatLab y Simulink y realizar un sistema de validación para comprobar que los resultados son correctos. [14]



Figura 5.4: Logo Excel

5.4. Mecanismos de control de calidad aplicados durante la redacción del proyecto

La realización de controles de calidad en un proyecto es una parte importante para la comprobación del resultado final. Para este proyecto se ha usado el programa MS EXcel para la obtención de los datos de la simulación de MatLab y Simulink y se comprueba que el sistema final no falla. Un ejemplo de este sistema de calidad es que, si un semáforo está en verde para vehículos, no puede estar en verde para peatones.

Capítulo 6

Definiciones y abreviaturas

6.1. Definiciones

En este apartado se han añadido una serie de definiciones para ayudar a la mejor comprensión de la memoria.

- **Módulo.** Mecanismo diseñado en Solidworks que contiene un dispositivo electrónico dentro. Cada módulo está diseñado para que se pueda poner uno encima de otro, es decir, modular. Hay dos tipos de módulos, los módulos principales, colocados en las bases de los dispositivos, que son los que se conectan con los otros módulos del mismo dispositivo por I2C, los módulos base de otros dispositivos del mismo clúster por LAN y los módulos base de otros dispositivos de distintos clústeres por WLAN, además de conectarse con las farolas de la misma calle.
- **Dispositivo.** El conjunto de módulos forman un dispositivo. Un dispositivo puede ser simple teniendo un solo módulo con dispositivo electrónico más la base o complejo teniendo todo tipo de módulos. Esta característica dota al dispositivo de ser modular y diseñarse para cada caso como mejor convenga.
- **Clúster.** El conjunto de dispositivos que deben enviarse información importante entre sí en un cruce forman un clúster. En un cruce simple existen dos clústeres. El clúster sería los dos semáforos de una calle de un carril de entrada y los semáforo del carril de salida de la calle perpendicular
- **Cloud.** Es la arquitectura que se refiere a la comunicación en la nube, es decir, por WLAN.
- **Fog.** Es la arquitectura que se refiere a la comunicación a media distancia sin llegar a enviarlo a la nube, es decir, por LAN
- **Edge.** Es la arquitectura que se refiere a al comunicación a corta distancia, es decir, canales de comunicación cercanos como I2C.
- **Semáforo Peatones.** El semáforo de peatones es un módulo formado por dos LEDs de color verde y rojo que se encienden o apagan para indicar al peatón que puede cruzar o no respectivamente.
- **Semáforo Vehículos.** El semáforo de vehículos es un módulo formado por tres LEDs de color verde, rojo y ámbar. Con el control de estas tres luces indicas si el vehículo tiene que parar o puede continuar.

- **Botonera.** La botonera es un módulo que simula la solicitud de cruce de un peatón al ser pulsado
- **Farola.** La farola es un módulo con un LED que se ilumina dependiendo de la hora y la luz exterior.
- **Contador.** El contador es un módulo con un display de 7 segmentos que indican los segundos restantes que le quedan a los peatones para cruzar la calle.
- **Base.** La base es el módulo principal del dispositivo. Su función es enviar y recibir información de los distintos módulos del dispositivo, enviar y recibir información de los otros dispositivos y actuar cuando sea necesario.
- **Modular.** Modular hace referencia a la construcción por piezas y de fácil ensamblaje. Lo que facilita la construcción de, por ejemplo en este caso, un conjunto de dispositivos diferentes.

6.2. Abreviaturas

Debido al uso frecuente de estas en el trabajo, se ha añadido una tabla (6.1) con el fin de facilitar su significado.

Abreviatura	Significado
TFM	Trabajo Fin de Máster
UPV	Universitat Politècnica de València
I2C	Inter Integrated Circuit
LAN	Local Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network
EDT	Estructura de Desglose de Trabajo

Cuadro 6.1: Tabla abreviaturas

Capítulo 7

Requisitos iniciales

Después de la realización del análisis del estado actual y de los sistemas similares, se establecerá los requerimientos del proyecto. Los requerimientos del proyecto ayudarán al desarrollo más focalizado de los objetivos. Los requerimientos a presentar se han dividido en dos partes:

- **Funcionales:** Definen una función del sistema y sus componentes. Serán definidos como RFxx, donde xx es el número del requisito funcional.
- **No Funcionales:** Definen características y cualidades del sistema final. Serán definidos como RNFxx, donde xx es el número del requisito no funcional.

7.1. Requisitos Funcionales

7.1.1. Mecánica

- **RF01:** Los módulos de un sistema tienen que ser compatibles entre ellos, de forma que se puedan encajar unos con otros sin necesidad de adaptador.
- **RF02:** Los dispositivos pueden albergar cualquier tipo de módulos sin limitación más allá de las estructurales (peso máximo soportable por módulo, tolerancia a condiciones ambientales, etc.).
- **RF03:** Cada módulo deberá ser capaz de contener, al menos, un microcontrolador que permita gestionar los sensores y actuadores que contenga el módulo.
- **RF04:** Los módulos del prototipo tienen que estar diseñados con tolerancias para poder imprimirse por medio de impresoras 3D comerciales para el uso general.
- **RF05:** Los módulos tienen que diseñarse para reducir al máximo el material soporte empleado al imprimirse en 3D. Esto quiere decir que, si un módulo se tiene que dividir en varias partes para reducir material, el diseño deberá contemplarlo.

7.1.2. Electrónica

- **RF06:** La conexión entre módulos de un mismo dispositivo se realizará mediante un canal I2C.

- **RF07:** La conexión de cada módulo con su dispositivo se hará dentro del módulo.
- **RF08:** La conexión entre dispositivos de un mismo clúster se realizará mediante una red local (LAN)
- **RF09:** La conexión entre dispositivos de distintos másteres la realizarán aquellos dispositivos másteres de cada clúster y se comunicarán entre ellos mediante comunicación WLAN

7.1.3. Computación

- **RF10:** Realización de la computación de cada módulo
- **RF11:** Realización de la computación de cada dispositivo entre si.
- **RF12:** Realización de la computación entre dispositivos.
- **RF13:** La comunicación con las farolas se realizará mediante una función externa.
- **RF14:** La simulación de un peatón pulsando la botonera se realizará con una función externa.

7.1.4. Análisis de datos

- **RF15:** Obtención de los resultados de las simulaciones
- **RF16:** Comprobar que estos resultados son correctos y lógicos
- **RF17:** Si un resultado no coherente, avisar.

7.2. Requisitos No Funcionales

7.2.1. Seguridad

- **RNF01:** El sistema será capaz de seguir funcionando ante un fallo pequeño del sistema.

7.2.2. Usabilidad

- **RNF02:** El sistema será fácil de instalar debido a la modularidad de los dispositivos.
- **RNF03:** Altura de los semáforos de vehículos tiene que estar orientados al vehículo y a la vista del vehículo.
- **RNF04:** Altura de los semáforos de peatones tiene que estar orientados y a la vista del peatón.
- **RNF05:** El pulsador o botonera deberá estar colocado a una altura a la que el peatón pueda acceder fácil y seguro.
- **RNF06:** El contador deberá estar colocado a una altura a la vista del peatón.
- **RNF07:** La farola deberá estar colocada a una altura y con una intensidad de luz que alumbré el objetivo marcado sin llegar a reflejar a ningún vehículo.

7.2.3. Polivalente

- **RNF08:** El sistema se adaptará a cualquier situación.
- **RNF09:** Ángulo relativo del cruce. Se deberá poder colocar cualquier módulo en cualquier ángulo.

Capítulo 8

Alcance

8.1. Diagrama EDT

En la figura 8.1 se muestra un diagrama EDT explicando el alcance de este proyecto. Va desde el primer paso que es la búsqueda de sistemas similares hasta el análisis de los datos finales.

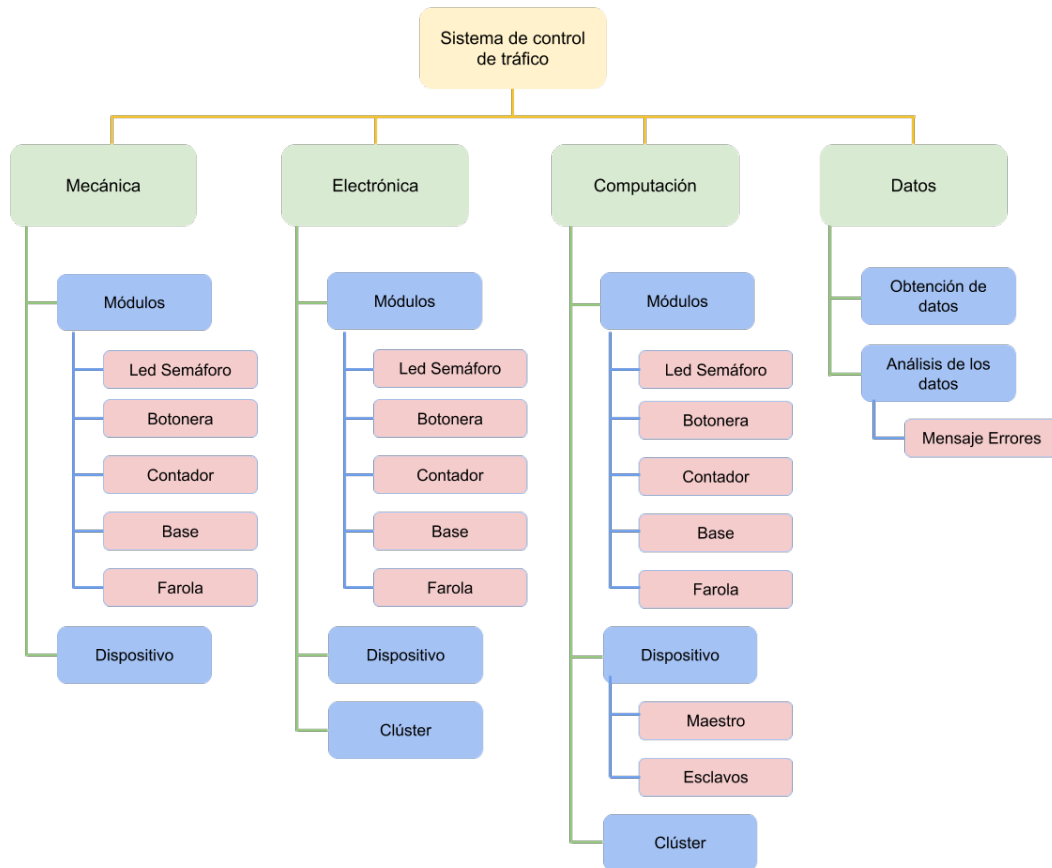


Figura 8.1: Diagrama EDT del trabajo presentado.

8.2. Mecánica

Con respecto a la mecánica del sistema, se diseñaron los distintos módulos para el sistema. Los módulos diseñados son modulares. Los módulos diseñados son los semáforos (Leds), la botonera de los peatones, el contador de tiempo restante de peatones, el módulo de la base y el módulo de la farola. Finalmente se realizó un ensamblaje juntando todos los módulos mencionado anteriormente.

8.3. Electrónica

Con respecto a la electrónica o eléctrica del sistema. Se diseñó la conexión de cada módulo, mencionado en el párrafo anterior, además de la electrónica del dispositivo en conjunto (I2C) y la del clúster (LAN).

8.4. Computación

La computación se realizó, al igual que la mecánica y la electrónica, primero de cada uno de los módulos y acabando con los dispositivos, que eran dos. El dispositivo maestro del clúster y el dispositivo esclavo del clúster.

8.5. Datos

Finalmente, con el análisis de datos, se obtienen los datos recibidos de la simulación y se interpretan. Esta interpretación consta de analizar todos los dispositivo y ver que entre ellos tienen sentido. Cualquier fallo en el sistema enviará un mensaje de error.

Capítulo 9

Hipótesis y restricciones

Antes del comenzar con el diseño mecánico, electrónico y computacional de los módulos y dispositivos, se deben especificar primero las hipótesis y restricciones que se han tenido en cuenta para realizar el diseño del proyecto. Esto ayudará a crear unas condiciones deseadas para simular el entorno necesitado para el diseño e implementación

Las hipótesis estarán representadas con el código HPxx, donde xx será el número de la hipótesis. Las restricciones estarán representadas con el código RTxx, donde xx será el número de la restricción.

9.1. Hipótesis

Las hipótesis especificadas son las siguientes:

- **HP01:** Se puede imprimir prototipo.
- **HP02:** Escalando el tamaño de los prototipos se podrán hacer dispositivos funcionales reales.
- **HP03:** Habrá otros dispositivos compartiendo información con los nuestros.
- **HP04:** Capacidad de aumentar el número de módulos diferentes.
- **HP05:** Se deberá poder realizar simulaciones de la computación por medio de MatLab para validar el sistema y analizar, en su caso, el rendimiento.

9.2. Restricciones

Las restricciones especificadas son las siguientes:

- **RT01:** Los módulos deberán poder albergar, como mínimo un Arduino Micro.
- **RT02:** El módulo de control principal deberá albergar, como mínimo, un Arduino UNO.
- **RT03:** EL módulo de control principal estará situado en la base.
- **RT04:** La comunicación intra-dispositivo será vía I2C maestro-esclavo.
- **RT05:** La comunicación entre dispositivos de un mismo clúster será por LAN.

- **RT06:** La comunicación entre dispositivos de distintos clústeres será por WLAN.
- **RT07:** El control se realizará en un supuesto de un cruce con un carril cada calle.

Capítulo 10

Estudio de alternativas y viabilidad

En cuanto a alternativas, en los estudios realizados con anterioridad se han expuesto los diferentes sistemas de la actualidad y se han analizado sus ventajas e inconvenientes. Se podría desarrollar el proyecto para que se parezca de forma más precisa al comportamiento de los sistemas anteriores, siempre ciñéndose a cumplir el objetivo del proyecto. Así pues, en este apartado se estudia la viabilidad general del proyecto, tanto a nivel técnico como económico y entrando dentro del marco legal (Véase el apartado 5.1 “Disposiciones legales y normas para más detalle”).

10.1. Viabilidad económica

En el capítulo 15 “Resumen del presupuesto” se ha calculado los márgenes de beneficio sobre el coste total, mostrando la rentabilidad del proyecto en relación con las horas invertidas y el beneficio que se obtiene de él. Al tratarse de un proyecto enmarcado en un TFM, es un proyecto viable económicamente ya que la mano de obra no posee un coste económico real, a pesar de haberlo calculado. Es por esto que el proyecto es viable económicamente.

10.2. Viabilidad técnica

En este apartado se comentarán todas las alternativas que surgieron en la elaboración del proyecto.

Se realizaron varias versiones antes de tener la definitiva. La primera versión era un semáforo rectangular, pero con esto se incumplía el requisito no funcional Polivalente RNF09. Las primeras versiones constaban de un cilindro del semáforo con menos diámetro, por lo que era más complejo su conexión interna, además que se le debe de meter un Arduino micro dentro, como indica la restricción RT01. Otras versiones ya más enfocadas en los módulos del semáforo son la separación de cada led en módulos más pequeños, en vez de tener un módulo con tres leds. Con esto se consigue que el diseño para los leds de peatones sea el mismo que para los leds de los vehículos. Al final se dejaron los dos diseños.

Con respecto a la comunicación intra-dispositivo, la conexión entre módulos con el módulo base podría ser de distintas formas. La conexión directa se rechazó debido a la gran cantidad de cableado que se necesitaría y que, además, no habría suficientes pines para todos los módulos. El bus I2C entre módulos surge poco más tarde debido a que la conexión en este caso sería por un bus y muy sencilla. Otra opción era por medio de bluetooth entre algunos módulos e I2C con los

sensores. La última opción era por medio de RS485 entre todos los módulos. Las cuatro opciones se muestran en la figura 10.1

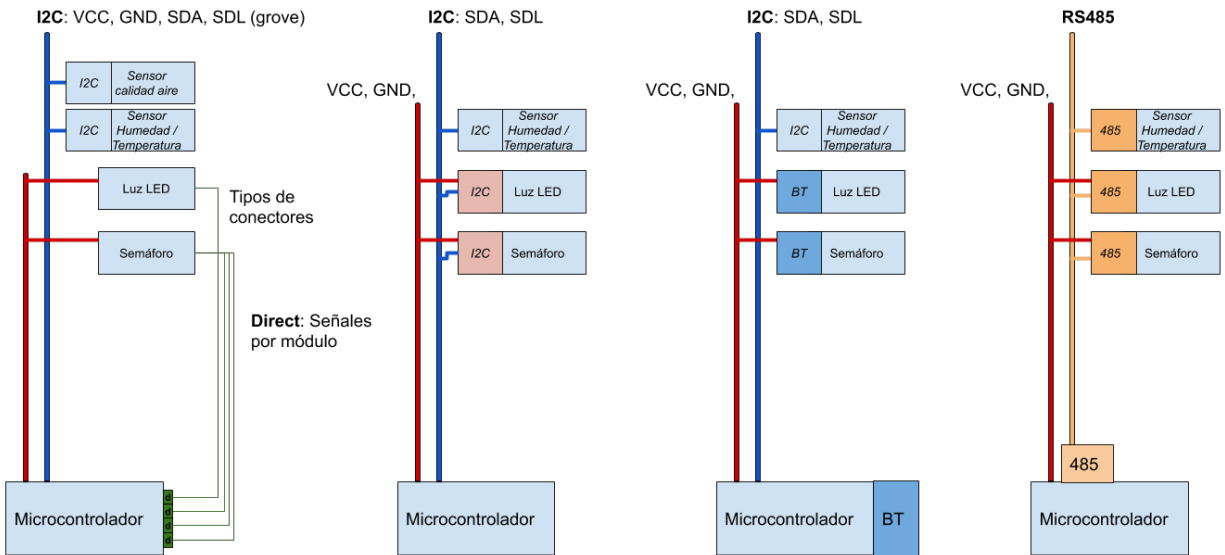


Figura 10.1: Diferentes arquitecturas

Finalmente se optó por la comunicación I2C debido a que se usa un solo canal, por lo que la programación es más sencilla que si se llega a implementar un módulo bluetooth, además que este último necesitaría de un módulo extra para la propia comunicación. Además, el gasto energético mayor y bluetooth se usa para objetos en movimientos. La conexión directa se rechaza debido al gran número de cableado que se tendría que poner. La comunicación por RS485, aunque es más fiable que la comunicación I2C, no es necesaria debido a que aumentaría mucho la complejidad computacional.

Con respecto a la comunicación inter-dispositivo había varias opciones. La primera es por medio de un canal I2C. La segunda es por medio de una red local LAN y la tercera es por medio de una red WLAN. Al final se ha decidido que la comunicación por canal I2C no se plantearía porque se tendrían que cablear los semáforos entre sí, parte que dificulta bastante porque estarían fuera de lo que es un dispositivo. Al final se ha decidido que la comunicación de un mismo clúster se realiza por LAN debido a que no es necesario mandar estos datos a la nube y la comunicación con distintos dispositivos de otros clústeres o de otros sistemas se realizará por WLAN.

Capítulo 11

Descripción de la solución propuesta

11.1. Diseño mecánico

El diseño mecánico sería un diseño modular, es decir, separado en módulos. El dispositivo, que es un conjunto de módulos unidos entre sí es el que forma el diseño final, Un conjunto de dispositivos formarían un clúster. El dispositivo puede tener una cantidad de módulos variable, siempre que cumplan con los requisitos funcionales mecánicos (RF01 a la RF05). El diseño del dispositivo se realizó para que cumpla las condiciones necesarias para poder imprimirse en 3D, por lo que el diseño de un ejemplo de un dispositivo, ya que puede haber una gran variedad de dispositivos diferentes con los mismos módulos, es el mostrado en la figura 11.1

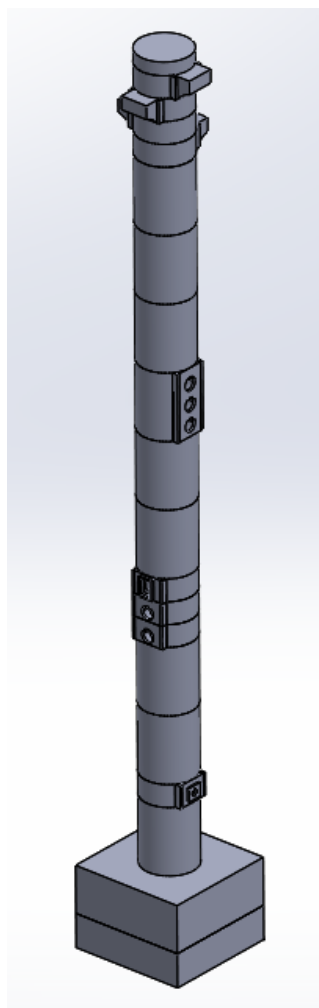


Figura 11.1: Ensamblaje Principal

11.2. Diseño eléctrico y electrónico

El Sistema creado se basa en un conjunto de clústeres conectados entre sí mediante WLAN tal y como se muestra en la figura 11.2

Se puede observar que la comunicación entre clústeres y el servidor es a través del cloud mediante una WLAN y las comunicaciones internas de los clústeres son a través del FOG. Dentro de los clústeres, la comunicación entre ellos es mediante una red LAN, figura 11.3

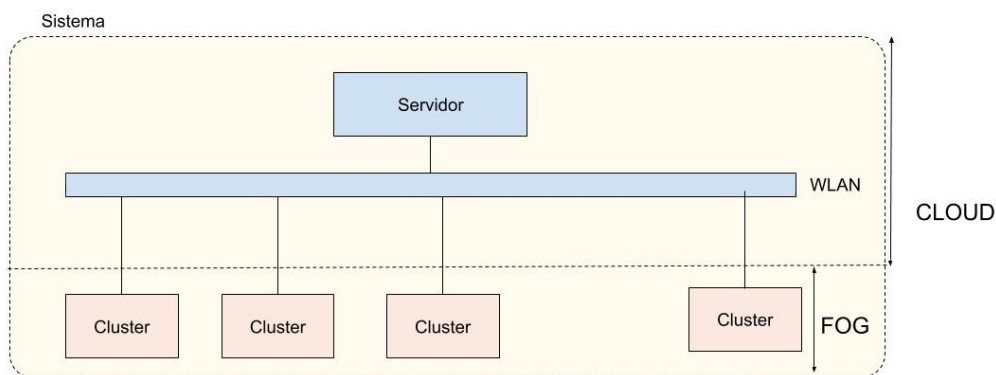


Figura 11.2: Descripción Sistema

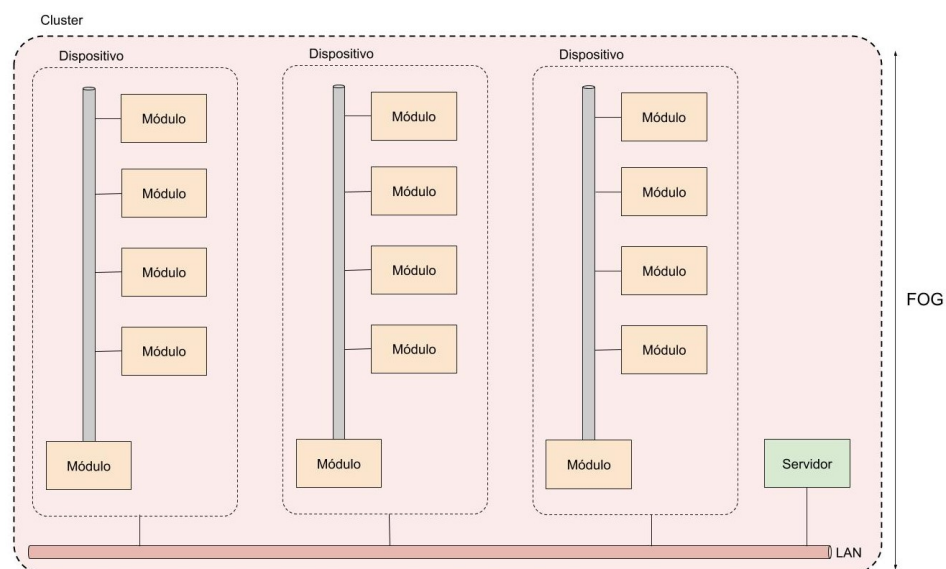


Figura 11.3: Descripción clúster

Los clústeres están formados por uno o varios dispositivos. Un dispositivo es un sistema modular conectado mediante I2C, figura 11.4 El dispositivo es lo que posteriormente será el semáforo. El dispositivo tiene un módulo principal conectado en la base que es el que se conecta, mediante una red LAN, a los distintos dispositivos del propio clúster.

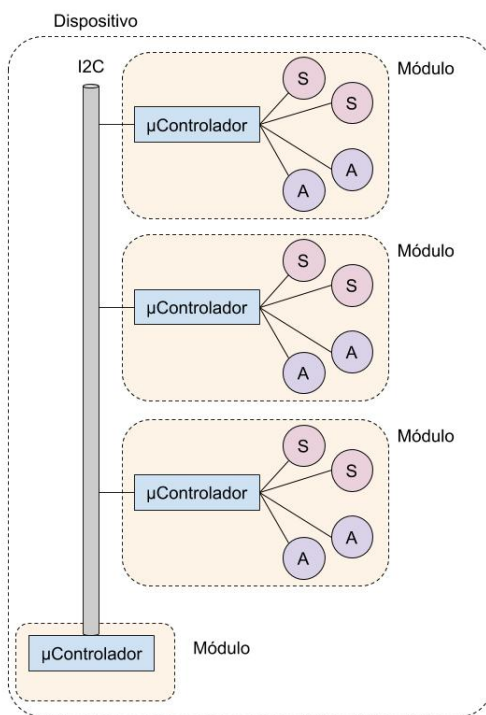


Figura 11.4: Descripción Dispositivo

El dispositivo es modular, esto quiere decir que está dividido en módulos. Cada módulo se conecta al bus I2C y tiene una serie de actuadores y de sensores, figura 11.5

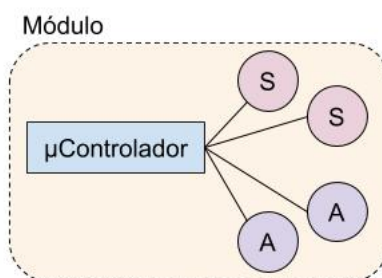


Figura 11.5: Descripción Módulo

En Matlab, la simulación se realizó mediante Stateflow de Simulink. Además de obtener los datos de cada módulo y guardarlos en una base de datos realizada con Excel.

En resumen, este sistema está formado por un conjunto de clústeres conectados a un servidor mediante una red WLAN. Estos clústeres a su vez están formados por uno o varios dispositivos conectados en una red local LAN. Los dispositivos están formados módulos conectados entre sí mediante I2C, donde irán los distintos sensores y actuadores.

11.3. Diseño del control

El control del sistema se puede dividir en tres partes. La primera es el control de cada módulo por separado. Para cada módulo se diseñó su propio diagrama de estados. El dispositivo se controla con el módulo base. Este módulo tiene un control más complejo que los módulos superiores ya que se debe de comunicar tanto con los módulos del mismo dispositivo como con otros dispositivos. El clúster controla la comunicación LAN entre sus dispositivos. En la figura 11.6 se puede observar los distintos controles que hace el sistema.

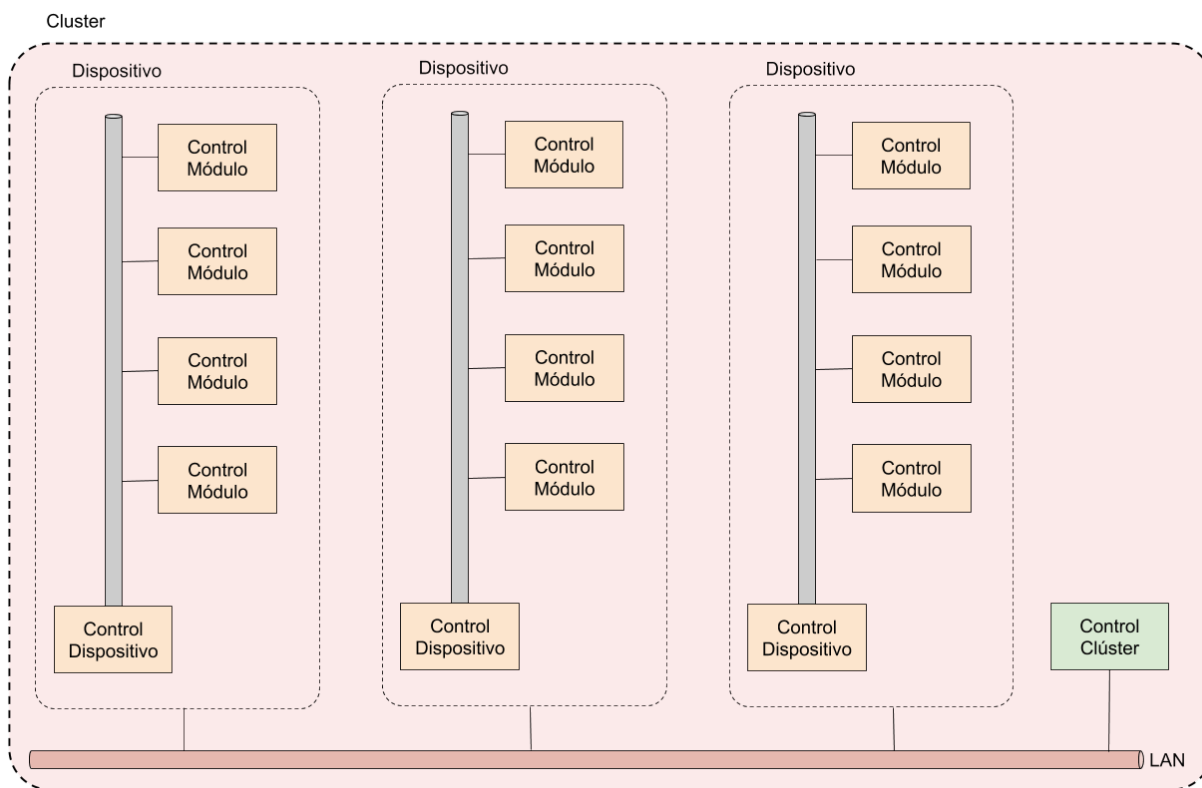


Figura 11.6: Descripción del control

En conclusión, estamos ante un sistema distribuido donde cada módulo controla lo que les toque, el módulo base controla la comunicación dentro del dispositivo (I2C) y la red LAN controla la comunicación entre los distintos dispositivos del clúster.

11.4. Diseño del análisis de datos

Para corroborar que el sistema funciona correctamente se tiene que realizar un análisis de datos. Este análisis se basa en la obtención de los datos procedentes de las simulaciones y corroborar que el resultado es correcto.

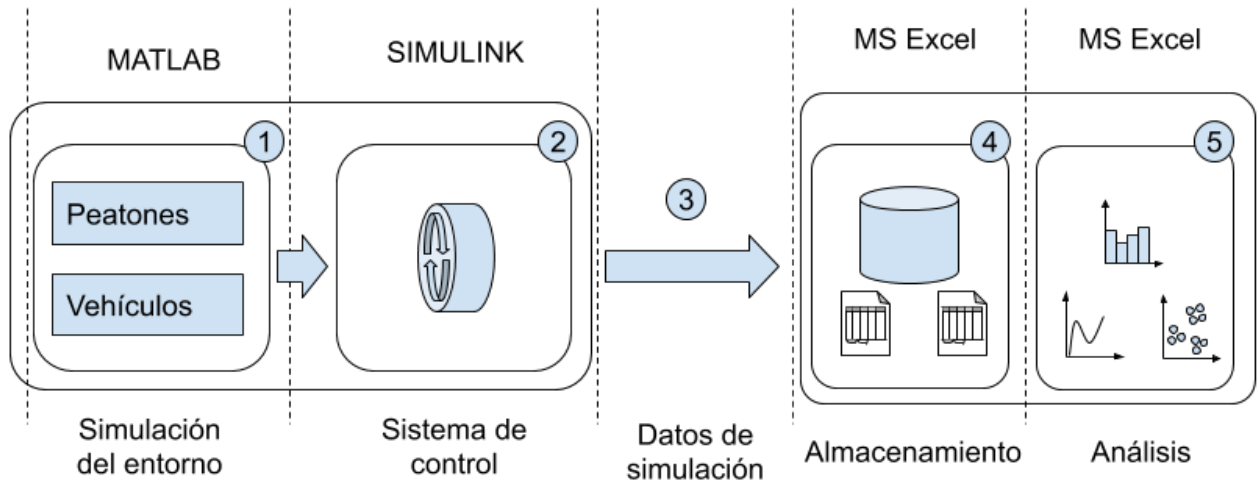


Figura 11.7: Descripción de la validación del sistema

En la figura 11.7 se puede comprobar como el sistema pasa de una simulación realizada con Matlab y Simulink hasta la obtención de los datos y el guardado de estos en tablas de Excel y el posterior análisis de estos resultados.

Capítulo 12

Análisis de Riesgos

El análisis de riesgos demuestra que el producto está bajo control, es decir, es tolerante a fallos. Además, para la tramitación de aprobación del proyecto y del producto se necesita de este estudio. Con los riesgos analizados, se pudo tomar decisiones importantes en el diseño del sistema de control. El código a utilizar se corresponde con el comando RISKxx siendo xx el número del riesgo.

Código	Nombre
RISK01	Cambio en legislación vial
RISK02	Desconexión Módulo
RISK03	Desconexión Dispositivo
RISK04	Desconexión Nube
RISK05	Desconexión Clúster
RISK06	Rotura Módulo
RISK07	Rotura Dispositivo
RISK08	Temperaturas fuera de rango
RISK09	Alto viento
RISK10	Inundaciones
RISK11	Rotura canal I2C
RISK12	Fallo en conexiones módulos
RISK13	Caída de la red
RISK14	Fallo en sensor de módulo
RISK15	Fallo en actuador de módulo
RISK16	Fallo en controlador de módulo
RISK17	Error de código

Cuadro 12.1: Tabla de riesgos

Los riesgos analizados se representan en la tabla 12.1 donde, en los anexos, se profundizará para explicarlos mejor.

Capítulo 13

Organización y gestión del proyecto

El proyecto se ha realizado de la mano de dos tutores y el alumno. Existen otros tres alumnos enfocados, a su vez, en otras secciones de la ciudad inteligente. Uno de ellos se dedica al control del alumnado y, a su vez, es el que indica al propio sistema de control de tráfico, es decir, al dispositivo del semáforo, si hay tráfico o no.

13.1. Organización

La organización se basa en las siguientes tres personas:

Nombre	Alumno/Tutor	Rol
Pedro Uribe Chavert	Alumno	Realizar
José Luis Poza Luján	Tutor	Coordinar
Juan Luis Posadas Yagüe	Tutor	Revisar

Cuadro 13.1: Tabla de organización del proyecto

El cargo simboliza la carga de trabajo que estaba realizando. El alumno es el realizador del proyecto. Los tutores se encargaban de dos partes importantes. El primero coordina las reuniones y el seguimiento semanal del proyecto, el segundo tutor revisa la memoria.

13.2. Gestión del proyecto

Para la gestión del proyecto se usaron una serie de aplicaciones. La primera es el uso de Google Drive para la gestión de los documentos importantes. Se organizaban en carpetas dependiendo de la temática y así podían tener acceso tanto tutores como alumnos. Debido al COVID-19, las reuniones pasaron a ser telemáticas, usando Microsoft Teams para ellas. Las reuniones se hacían una vez a la semana y de duración menor a la hora. En ellas se exponía el trabajo que se llevaba haciendo y como se afrontaría la siguiente semana. Por último, el documento de la memoria se realizó por medio de Overleaf LaTeX. Se usó esta aplicación debido a que, al igual que el Drive, no es necesario el envío constante de los documentos para una posible corrección.

Capítulo 14

Planificación temporal

La planificación del proyecto se muestra en el diagrama de Gantt de la figura 14.1

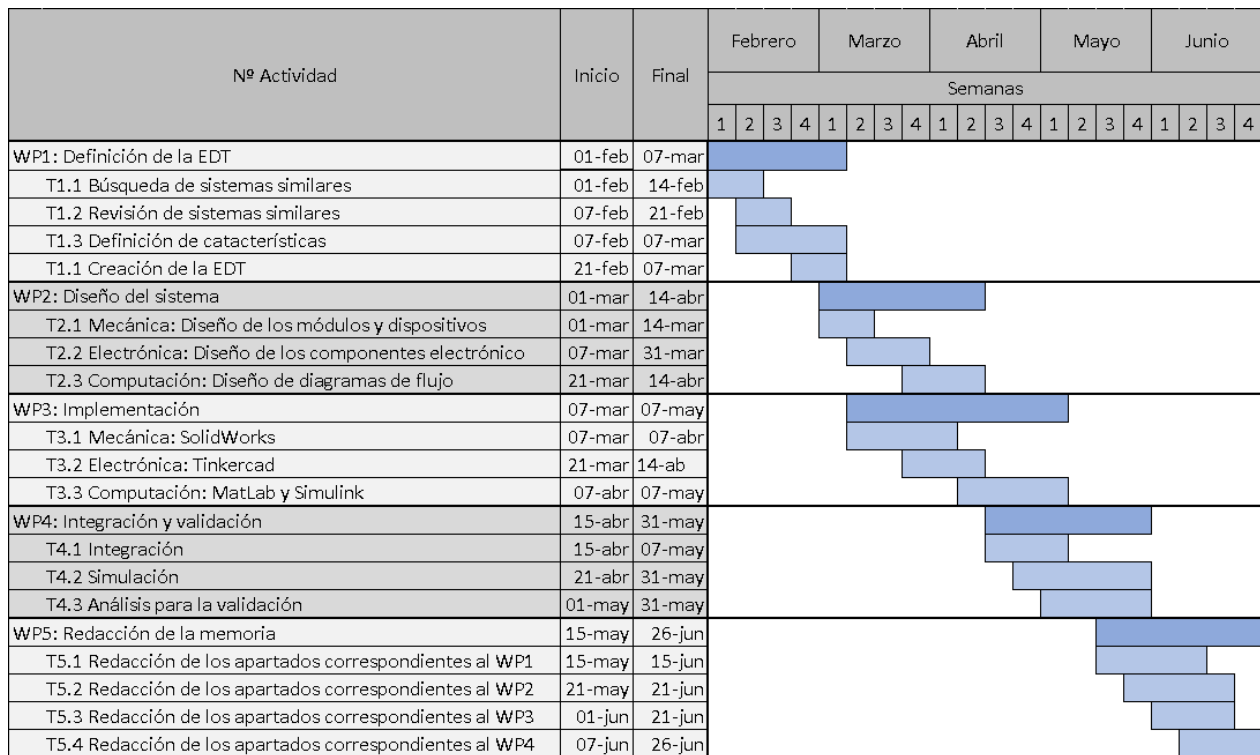


Figura 14.1: Diagrama de Gantt

Capítulo 15

Resumen del Presupuesto

El presupuesto, explicado con detalle en el Anexo, consta de cuatro partes. La primera parte es el coste de explotación o hardware, donde se introduce los gastos de un posible prototipo físico. Debido al COVID-19, este prototipo físico no fue posible de realizar, por lo que se tuvo que aumentar el gasto de software, ya que la simulación del control se tuvo que realizar con los Stateflows de Simulink, MatLab. El tercer gasto es el gasto de mano de obra. Los gastos de mano de obra son los gastos por hora que se realizaron en el TFM. El TFM tiene un total de 12 créditos. Los créditos tienen un mínimo de 25 horas y un máximo de 30 horas. Para este proyecto se realizaron un total de 360 horas. Los gastos indirectos se refieren a los gastos de local, electricidad, etc. Los cuales no se reflejan en el documento.

Los gastos de explotación o hardware que, aunque estén reflejados en el anexo, se van a realizar dos tablas. La primera sin gastos de explotación. Esto es debido a que no se llegó a realizar ningún prototipo. Por lo que el gasto total sería el mostrado en la tabla 15.1

Tipo de coste	Coste
Hardware	0,00€
Software	6.174,00€
Mano de Obra	36.000,00€
Indirectos	0,00€
Total	42.174,00€

Cuadro 15.1: Tabla costes hardware

La segunda es con gastos de explotación, indicando el gasto que supondrá realizar un prototipo. Por lo que el gasto total sería el mostrado en la tabla 15.2

Tipo de coste	Coste
Hardware	1.218,70€
Software	6.174,00€
Mano de Obra	36.000,00€
Indirectos	0,00€
Total	43.392,70€

Cuadro 15.2: Tabla costes hardware

En resumen, el gasto total del proyecto contando gastos de hardware y software, la mano de obra y sin contar los gastos indirectos ascienden a 43.392,70€.

Capítulo 16

Conclusiones

En este capítulo se recogerán las conclusiones del trabajo realizado. Vienen recogidas en tres secciones en las que se describirán los objetivos alcanzados y aportaciones de proyecto, las dificultades a la hora de realizarlo y las competencias alcanzadas. También se añade una cuarta sección en la que se comentará cómo se puede seguir trabajando con el proyecto, es decir, el trabajo futuro.

16.1. Resultados y aportaciones

Los objetivos del proyecto recopilados en el segundo capítulo fueron alcanzados con éxito. Se realizó un análisis y comparación de los sistemas similares para poder tener una idea de cómo se debería afrontar, de la mejor manera, el proyecto. Se estudió con detalle las diferentes formas y diseños que podrían tener los distintos módulos y dispositivos, llegando al sistema del dispositivo modular. El estudio de la arquitectura cambió durante el proyecto hasta la que tenemos ahora, es decir, se hizo un estudio de lo que, para este proyecto, sería más adecuado. El diseño del control de cada módulo, dispositivo y clúster es satisfactorio ya que se pudo realizar una validación del sistema por medio de simulaciones que corroboraban el buen funcionamiento del sistema.

Con respecto a las aportaciones, se pueden dividir en cuatro puntos importantes:

- **Tecnológicas:** El sistema es un sistema novedoso. Se pudo comprobar en el estudio de sistemas similares que el control de los semáforos se comienza a hacer, pero no hay un control de semáforos que a su vez son modulares. Esto implica que a nivel de optimización del tráfico sea rentable, pero también a la hora de implementar el sistema en una plaza, ya que el tiempo de construcción sería menor.
- **Sociales:** Gracias al control de los semáforos, se consigue una optimización del tráfico. Por ejemplo, si va solo un vehículo por la calle, el semáforo se puede poner en rojo, pero de esta manera, no habría problema.
- **Ambientales:** Con la optimización del tráfico, se reduce el tiempo de estancia en los vehículos, esto, además de que los vehículos en las paradas y arrancadas contaminan más, hacen que nuestro sistema sea un sistema óptimo para reducir la contaminación.
- **Económicas:** Con la reducción de los tiempos de estancia en vehículos, se reduce la contaminación. Esto hace que se consuma menos combustible, siendo más beneficioso a la hora de gastar en repostar.

16.2. Dificultades resueltas

Durante la elaboración de este proyecto surgieron dificultades que fueron resueltas adecuadamente.

La primera y que además sufrió todo el mundo, es la elaboración del proyecto en plena cuarentena debido a la pandemia producida por el COVID-19. Esto hace que las reuniones, aunque pasaron a ser telemáticas, no sean tan eficientes. También, estar todo el día encerrado sin poder salir dificulta mucho el estudio y la concentración es menor. No obstante, los tutores ayudaron en esta parte apoyando y evitando bajones a la hora de seguir con el proyecto.

Otro problema que se tuvo, a causa también del COVID-19, es la escasa cantidad de simuladores de Arduino que hay por Internet. Debido a que no se podía ir a la universidad, no se pudo hacer un prototipo físico. La primera idea que se tuvo era la de realizar lo que tendría que ser físico, mediante un simulador de Arduino. Rechazando todos los que eran de pago, se comenzó a usar Tinkercad, pero debido a que es un programa que funciona por Internet, la velocidad de procesamiento era muy baja y, a medida que se aumentaban módulos, la simulación dejaba de funcionar. Es por ello que Tinkercad se dejó para la parte electrónica únicamente y la parte de control se pasó a Matlab con Simulink.

Una dificultad que se tuvo con este proyecto fue que, debido a que no se había diseñado este sistema con anterioridad de forma modular, el diseño mecánico de cada módulo se tuvo que realizar desde cero. Además, como en un principio se iba a imprimir en 3D, el diseño está preparado para evitar el material soporte al máximo y que se pueda colocar un módulo encima de otro sin problema.

16.3. Competencias alcanzadas

Este proyecto, al ser un trabajo completo que toca todas las partes importantes de la Mecatrónica, es decir, la mecánica, la electrónica y la automática, que en este documento está reflejado como computación.

16.3.1. Técnicas

Las asignaturas que más han ayudado en la realización de este proyecto son la automatización distribuida, para entender la comunicación entre dispositivos y el control de cada arduino en el módulo. Las técnicas avanzadas de control también ayudaron a la hora de realizar el control entre dispositivos e intra dispositivos. El diseño electrónico avanzado para el sistema electrónico y dinámica de sistemas mecánicos para la realización del diseño mecánico en SolidWorks. El resto de asignaturas también ayudaron, en menor medida, a la elaboración del proyecto.

16.3.2. Transversales

A continuación se revisará el catálogo de competencias transversales de la UPV y se analizará el grado de cumplimiento de cada una de ellas. Se ha decidido emplear una escala de cuatro niveles: no empleada (o apenas relevante), apenas empleada, empleada, muy empleada. El uso de esta escala está en consonancia con la escala usada en la valoración de la UPV.

- **Comprensión e integración:** Apenas empleada. Dado que los conceptos que se requerían para la elaboración del proyecto se han adquirido durante la carrera y el máster.

- **Aplicación y pensamiento práctico:** Muy empleada. Dado que a la hora de pensar en cómo se tendría que realizar el modelo físico, se tuvo que diseñar tanto eléctricamente como mecánicamente acorde a esto.
- **Análisis y resolución de problemas:** Muy empleada. Cualquier problema que hubo en este proyecto se resolvió sin ningún contratiempo. Por ejemplo el COVID-19
- **Innovación, creatividad y emprendimiento:** Empleada. Hubo una innovación grande al juntar el control de semáforos inteligentes con la modularidad de los mismos.
- **Diseño y proyecto:** Muy empleada. Tanto para la parte mecánica del prototipo como la electrónica y de computación.
- **Trabajo en equipo y liderazgo:** Empleada. El trabajo en equipo se realizó correctamente, con reuniones semanales entre los implicados del proyecto.
- **Responsabilidad ética, medioambiental y profesional:** Muy empleada. En este proyecto se toca mucho la responsabilidad medioambiental, reduciendo tiempos de tráfico y, por consiguiente, reducción de contaminación. También hay responsabilidad profesional en la elaboración del proyecto.
- **Comunicación efectiva:** Empleada. Comunicación constante con los implicados en el proyecto.
- **Pensamiento crítico:** Empleada. El pensamiento crítico se empleó al principio del proyecto al conocer bien los sistemas similares y, de ahí, sacar las conclusiones de por donde se tendría que empezar.
- **Conocimientos de problemas contemporáneos:** Muy empleada. Por la búsqueda de sistemas similares a este proyecto.
- **Aprendizaje permanente:** Apenas empleada. Casi todo lo que se realizó ya se conocía del grado o del máster.
- **Planificación y gestión del tiempo:** Muy empleada. Se planteó muy bien cómo se debería realizar el proyecto. Por donde empezar y cómo seguir hasta alcanzar el objetivo final.
- **Instrumental específica:** Muy empleada. Debido al gran uso de diferentes tecnologías en el proyecto.

16.4. Trabajo Futuro

Al proyecto le falta una parte que no se pudo completar como se comentó en las secciones anteriores. Esta parte es la de la realización de un sistema físico impresa en 3D y controlada con Arduinos. Además, se puede mejorar la conexión con la nube, pero esto ya requería un tiempo considerable y no es objeto de este estudio.

Otra de las partes que además sirven para una posible continuación como Tesis Doctoral es la evaluación de impactos y mejoras. Con esto se obtienen las limitaciones del sistema y se comprueba si, por ejemplo, con otro sistema de comunicación sería más eficiente o no.

Parte II
ANEXOS

1

Anexo - Análisis y Diseño del Sistema

En este apartado se enfocara más en las tres principales partes que tiene el dispositivo diseñado. Estos puntos son la mecánica, electrónica y computación. En la figura 1.1 se muestra el ensamblaje final realizado en SolidWorks del dispositivo modular del semáforo indicando claramente cada una de sus módulos y un pequeño resumen de los tres principales puntos de estudio.

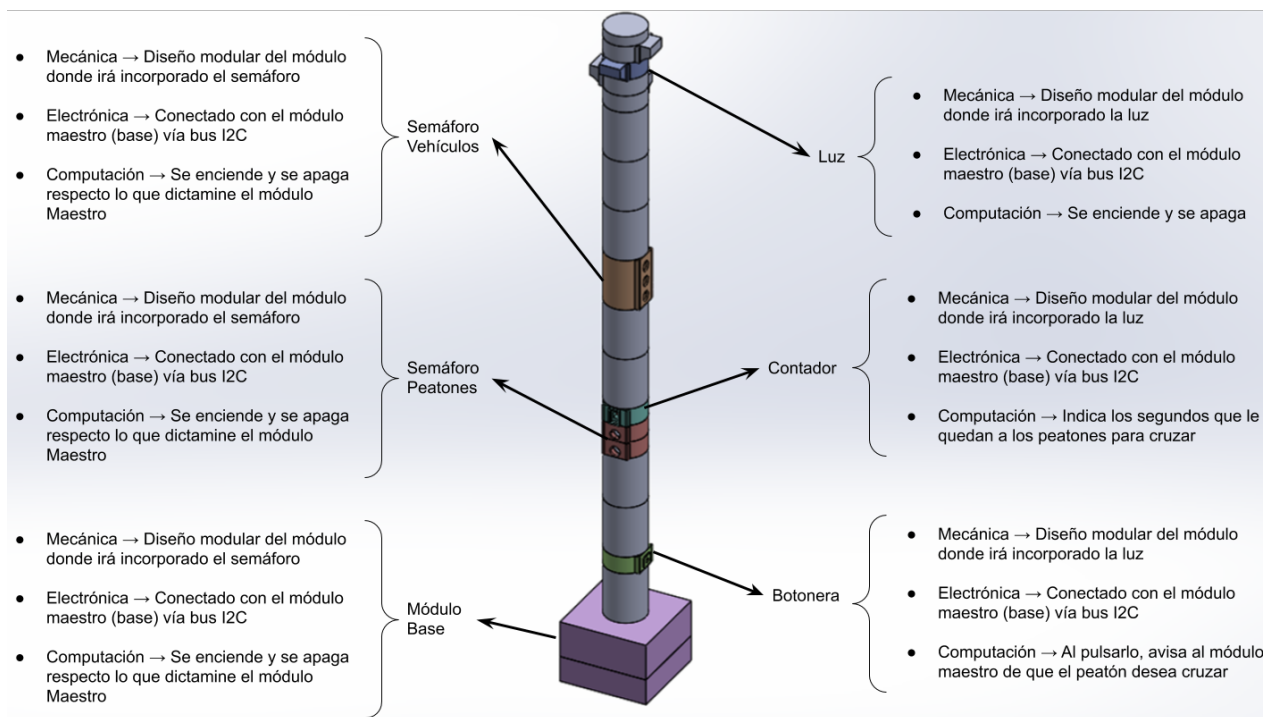


Figura 1.1: Dispositivo modular

Como se puede observar, es un sistema modular que se le puede insertar cualquier diseño continuando con las características principales del módulo principal y que se conecta por bus I2C.

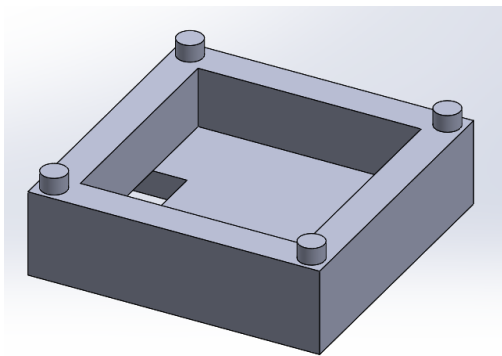
1.1. Mecánica

En general, las piezas mostradas a continuación son módulos o partes del módulo que forman, mediante el ensamblado, el "smart resource" del estudio. Las piezas fueron diseñadas para la posterior impresión en 3D, con lo que ello conlleva:

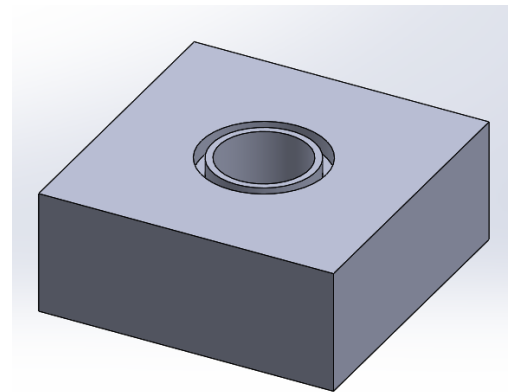
- Atención a las zonas con posible riesgo de que el relleno causado por la impresión tape el hueco.
- Atención en la tolerancia, con el fin de evitar que los módulos no se puedan encajar entre si

1.1.1. Módulo Base

La base del ensamblado está formada por dos piezas en las que dentro, se encontrará el microprocesador principal del módulo, y el que, por consiguiente, realizará las acciones sobre los módulos superiores. Como se puede ver en la figura 1.2. Por que es cuadrado? Preguntarse los por qué de las restricciones de salida. Si se va a comercializar, esto casi seguro se va a cambiar



(a) Pieza inferior módulo base



(b) Pieza superior módulo base

Figura 1.2: Piezas módulo base

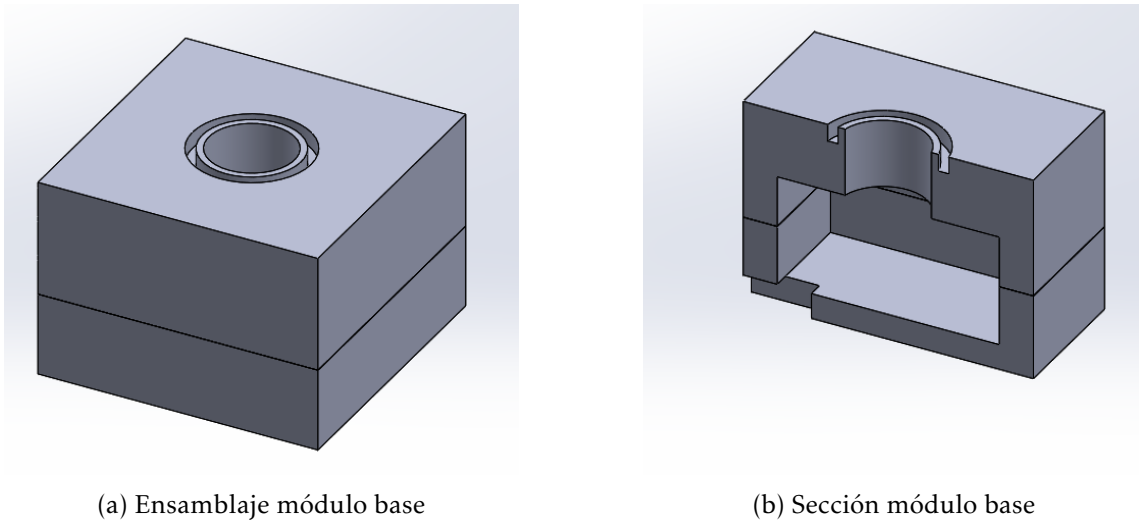


Figura 1.3: Piezas módulo base

1.1.2. Módulo Estructural Vacío

No todos los módulos tienen que tener algún dispositivo, por ello se creó un módulo intermedio que pueda conectar tanto módulos entre si que no tengan dispositivos. Tal y como se muestra en la figura 1.4

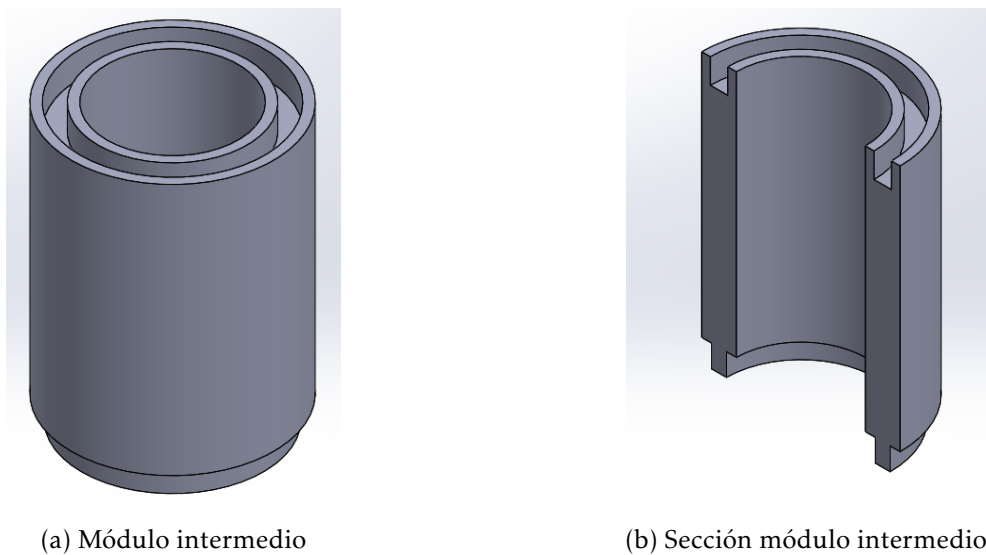


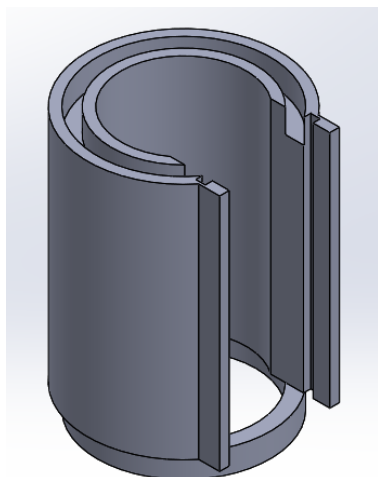
Figura 1.4: Modulo intermedio vacío

1.1.3. Módulo Estructural para colocación de módulos externos

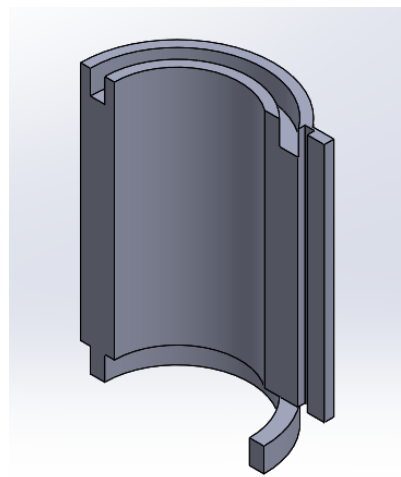
Como se quiere que el diseño sea lo más global posible dentro de la modularidad, se creó un diseño intermedio que valga para cualquier ampliación que se implemente. Por ello, el diseño se asemeja mucho al diseño de la estructura intermedia pero sin un hueco, donde posteriormente irán los módulos de ampliación.

Dentro de este apartado, el diseño se puede dividir en dos partes:

- Diseño grande:



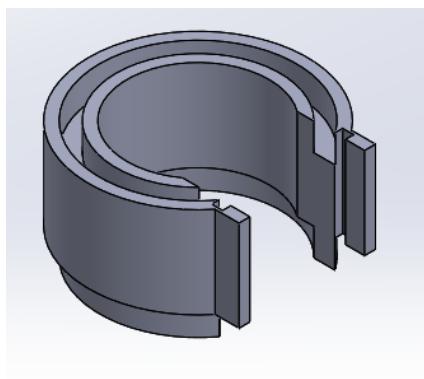
(a) Módulo intermedio



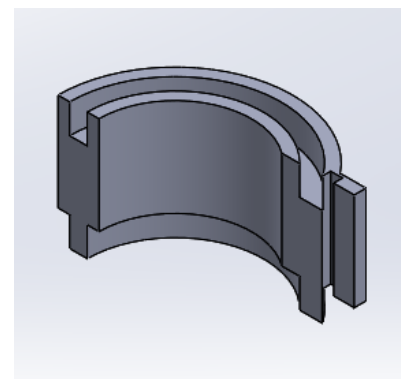
(b) Sección módulo intermedio

Figura 1.5: Modulo intermedio grande

- Diseño pequeño:



(a) Módulo intermedio



(b) Sección módulo intermedio

Figura 1.6: Modulo intermedio pequeño

1.1.4. Módulo LED Semáforo I

Este va a ser el principal módulo de estudio, por ello, se realizaron distintos tipos de diseños dependiendo de la característica con la van a ser usados. Para este módulo se usó el módulo estructural grande.

A continuación, se mostrará el resultado del módulo de las luces del semáforo ensamblado con el módulo estructural para dispositivos.

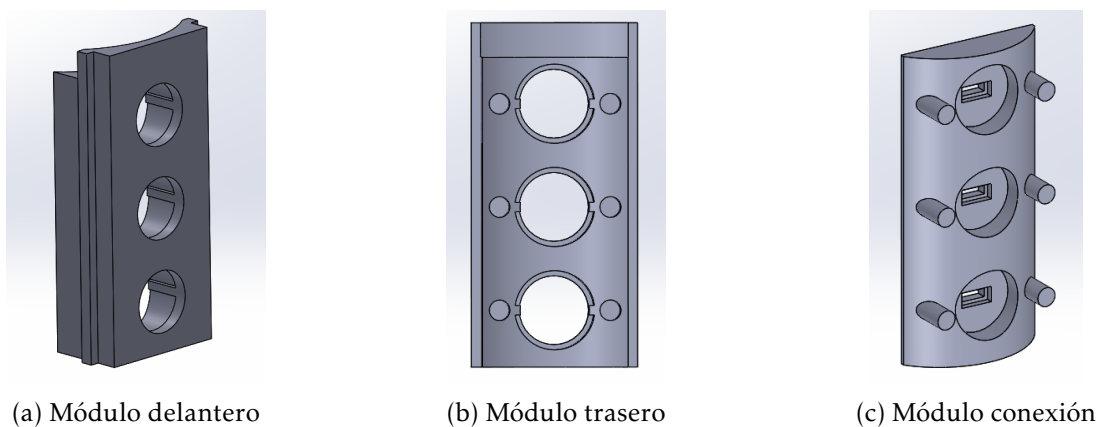


Figura 1.7: Modulo semáforo

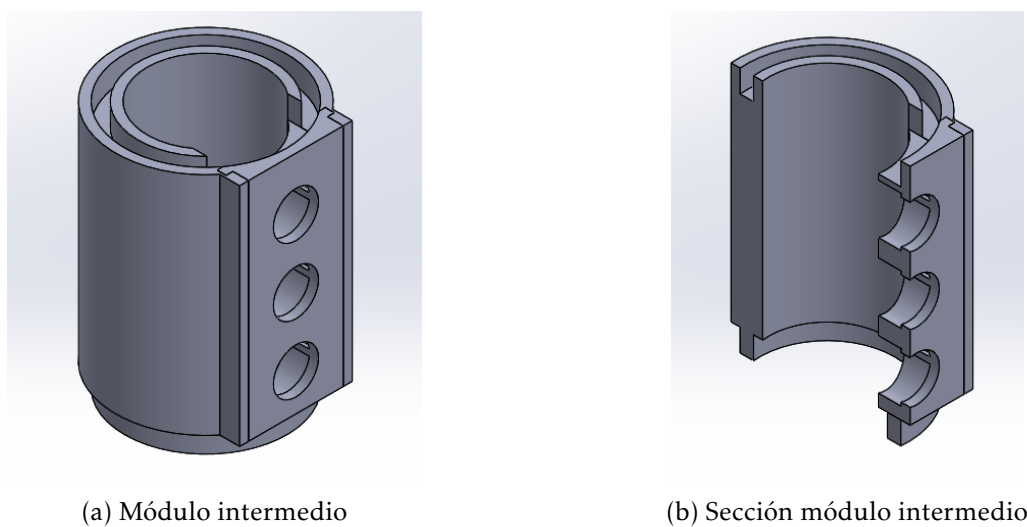


Figura 1.8: Modulo ensamblado del semáforo

1.1.5. Módulo LED Semáforo II

En muchos casos, no se requieren de tantas luces para los semáforos, como puede ser en el caso de los peatones. Por ello, se quiso diseñar el mismo módulo para únicamente un solo LED.

A continuación, se mostrará el resultado del módulo de las luces del semáforo ensamblado con el módulo estructural para dispositivos pequeño

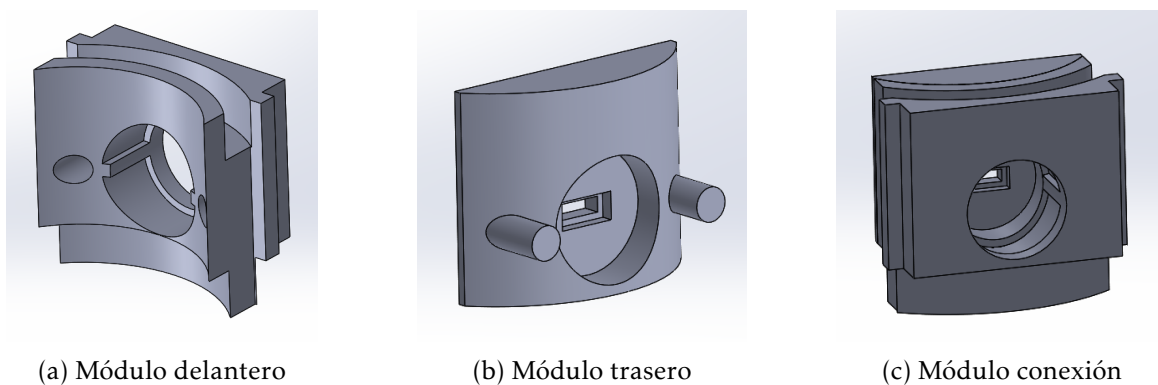


Figura 1.9: Modulo semáforo

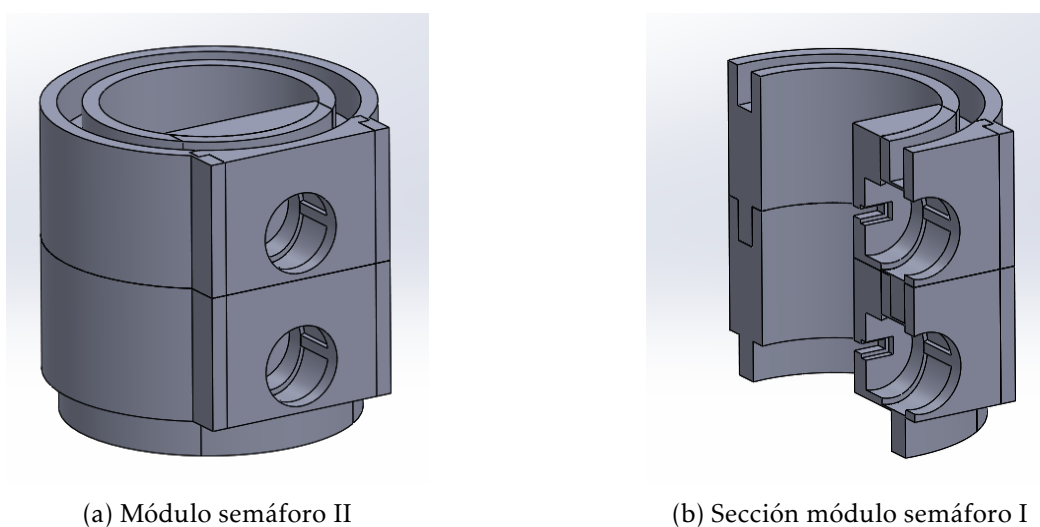


Figura 1.10: Modulo ensamblado del semáforo

1.1.6. Módulo Contador

Este módulo está preparado para que se le introduzca un Contador de segundos restantes.

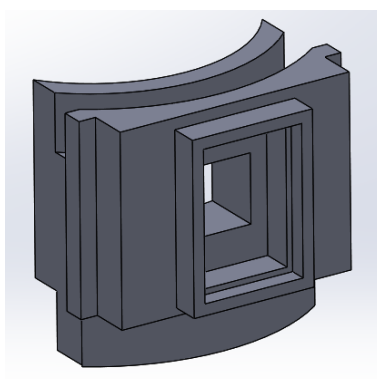
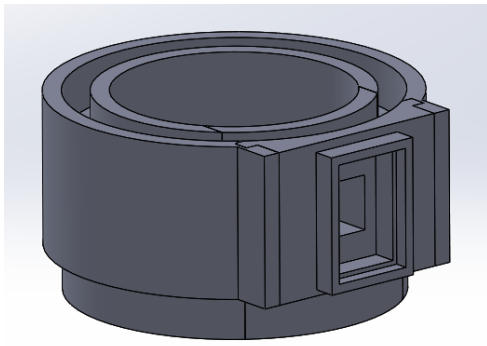
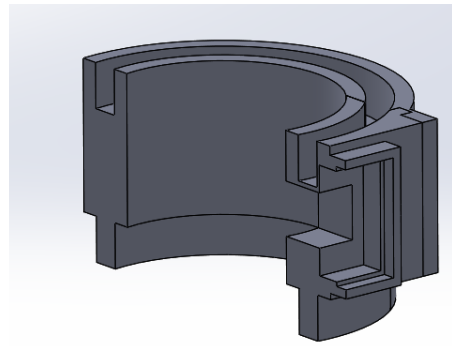


Figura 1.11: Modulo Contador



(a) Módulo contador



(b) Sección módulo contador

Figura 1.12: Modulo ensamblado del semáforo

1.1.7. Módulo Luminaria

Ante la posibilidad de añadir cualquier módulo a este prototipo, un semáforo puede tener, a su vez, una luminaria que alumbré la carretera y la calle.

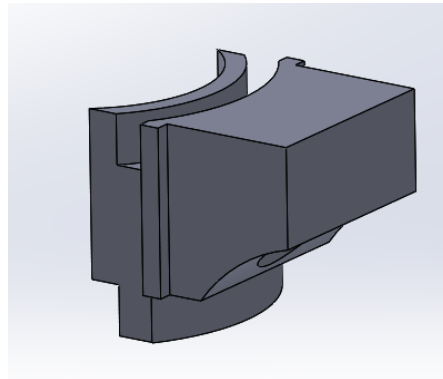
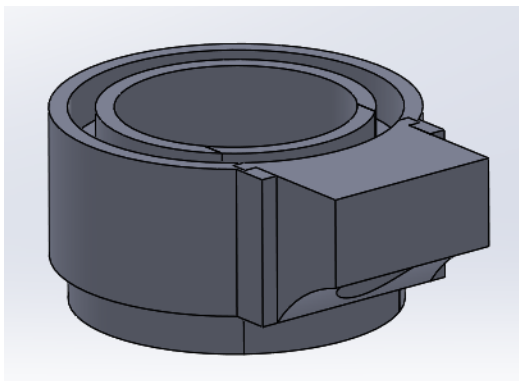
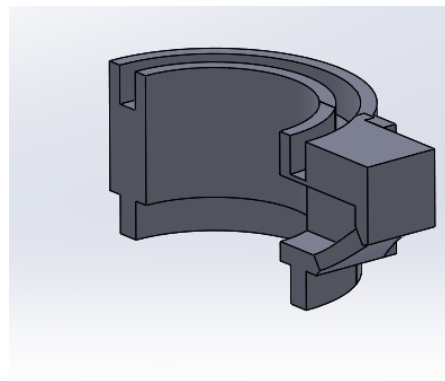


Figura 1.13: Modulo Luz



(a) Módulo Luz



(b) Sección módulo luz

Figura 1.14: Modulo ensamblado de la luz

1.1.8. Módulo Botonera

Este módulo se diseñó para poder poner un pulsador que simule el pulsador de un peatón para solicitar cruzar.

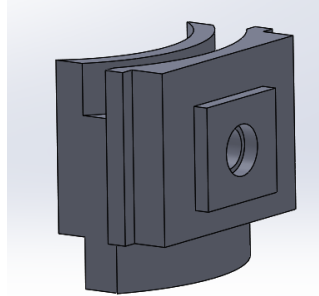
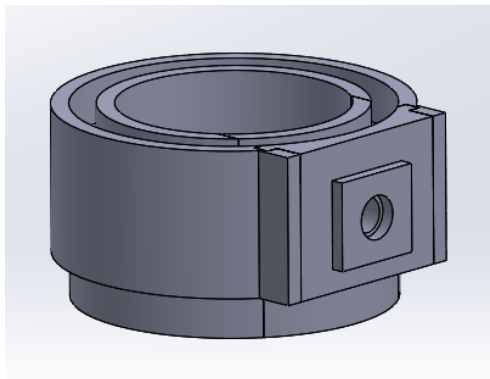
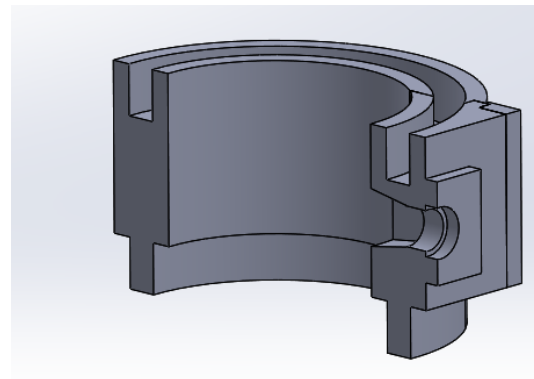


Figura 1.15: Modulo Botonera



(a) Módulo botonera



(b) Sección módulo botonera

Figura 1.16: Modulo ensamblado de la botonera

1.1.9. Ensamblaje

Con todos los módulos que se tienen, hay muchas combinaciones posibles de la que, a continuación, mostraremos una que tenga tanto semáforo para peatones y vehículos, una botonera y un contador de segundos para peatones y cuatro luminarias formando 90 grados entre ellas, quedaría el siguiente diseño 1.17

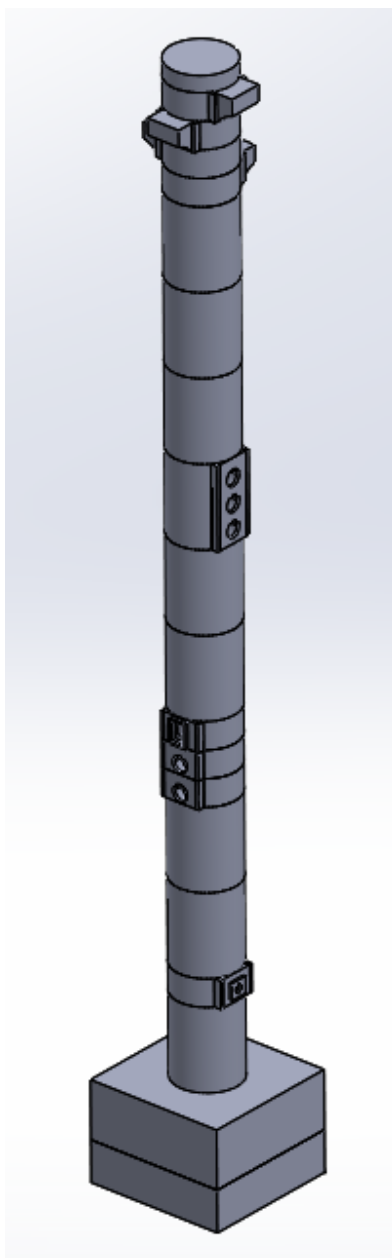


Figura 1.17: Ensamblaje Principal

1.2. Electrónica

El diseño electrónico se diseñó con Tinkercad. En la figura 1.18 se muestra un ejemplo de un cluster de semáforos.

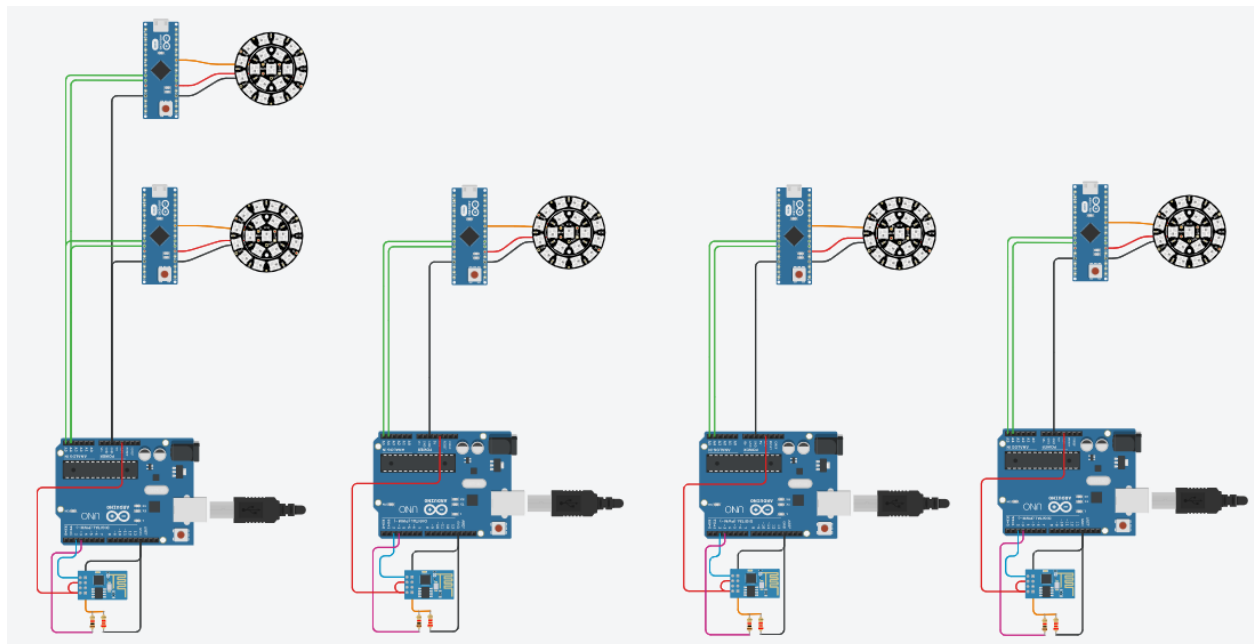


Figura 1.18: Diseño Electrónico Cluster

Cada columna representa a un semáforo. El semáforo que está más a la izquierda corresponde a un semáforo tanto de peatones (primer módulo encima) como de vehículos (segundo módulo). El segundo semáforo corresponde a un único semáforo colocado al otro lado de la acera de la misma calle.

El tercer y cuarto semáforo corresponden a los semáforos de peatones de la calle perpendicular.

Los cuatro semáforos tienen un módulo inferior, en este caso un Arduino UNO, que actúa de maestro dentro del propio dispositivo y que se conecta, mediante un módulo WIFI (ESP8266) con la red local y el servidor.

En la tabla 1.1 se explica el color de los cables principales que se usó para cada comunicación.

Color	Utilidad
Rojo	Tensión
Negro	Tierra
Verde	Bus I2C
Naranja	Trigger

Cuadro 1.1: Color de los principales cables

1.2.1. Módulo Base

El módulo base alberga un Arduino UNO con un módulo WIFI ESP8266, figura 1.19. El módulo base es el principal en la comunicación I2C con el resto de los módulos del dispositivo y el responsable de la comunicación con los distintos dispositivos del cluster mediante la red LAN y con el servidor mediante la red WLAN

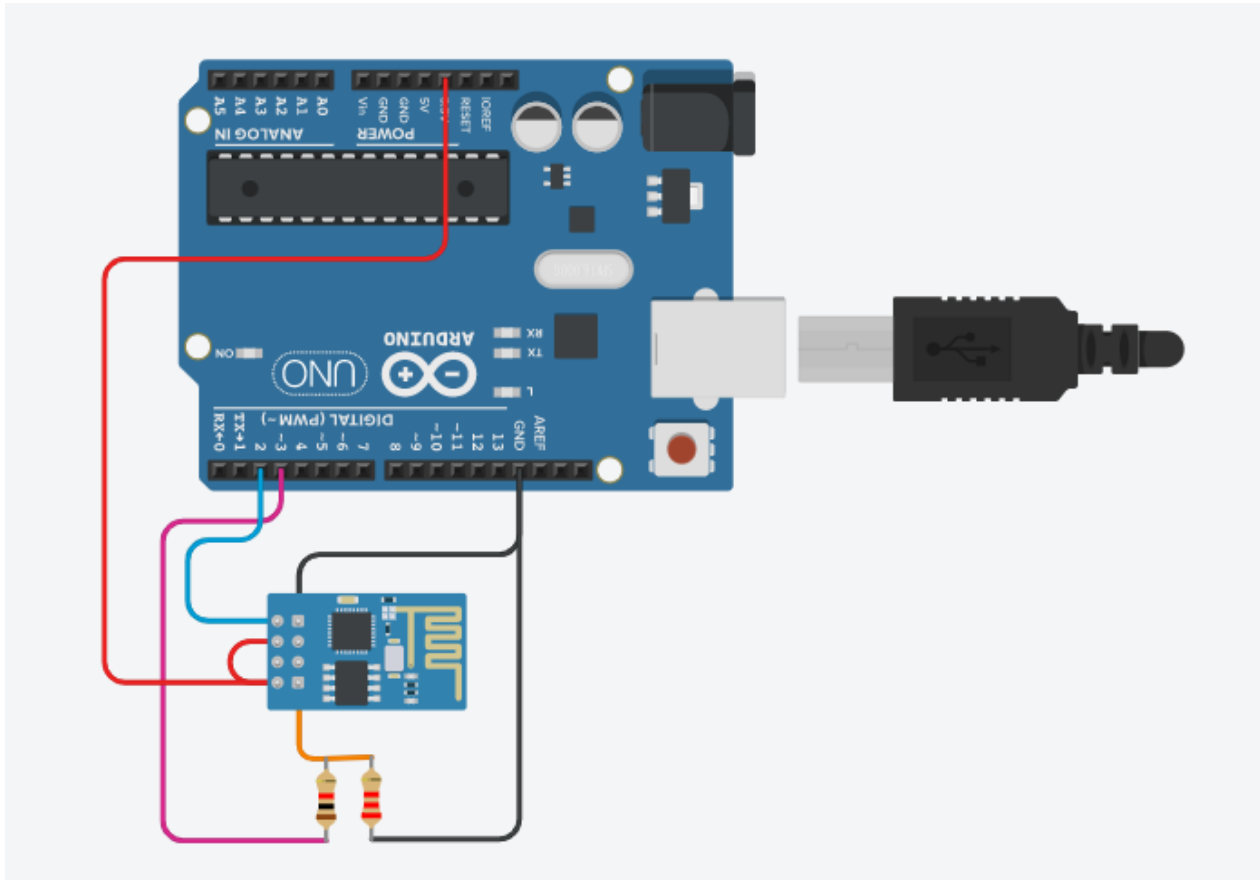


Figura 1.19: Diseño Electrónico Módulo Base

Por medio de los pines A5 y A4 analógicos se comunicará con el resto de los módulos del dispositivo (bus I2C).

1.2.2. Módulo LED Semáforo/Luminaria

El módulo realizado en tinkercad hace referencia tanto a los semáforos de los vehículos, peatones, como a la luminaria principal, figura 1.20.

El diseño está formado por NeoPixels conectados a un Arduino Micro debido a que se ven mucho mejor que un Led únicamente. Además de que estos leds pueden mostrar los tres principales colores del Semáforo como el blanco de las luces.

Se comunica con el módulo base (principal) mediante el bus I2C (pines D2 y D3 del Arduino Micro).

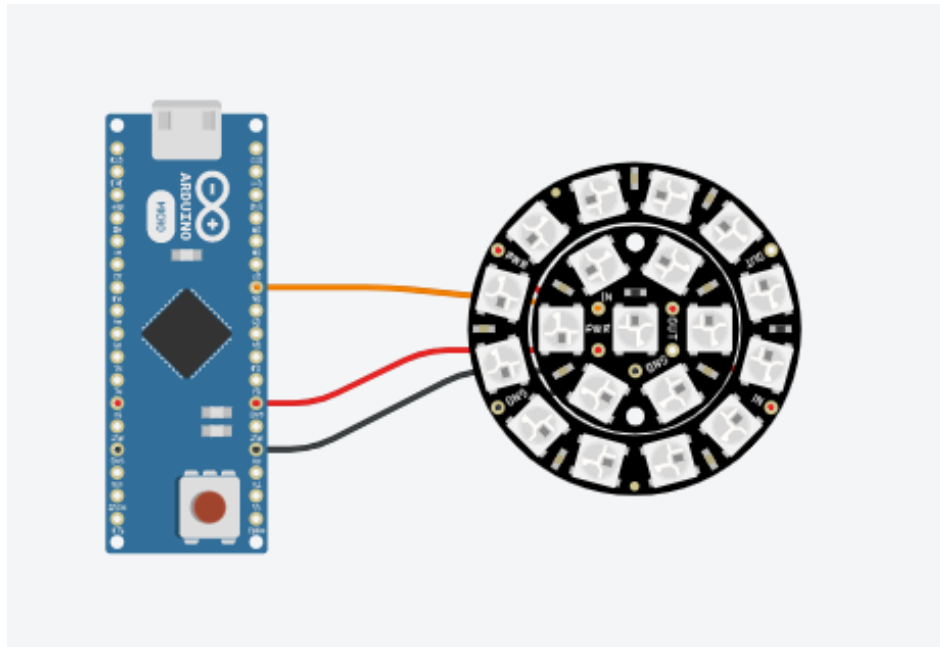


Figura 1.20: Diseño Electrónico Semáforo - Luminaria

1.2.3. Módulo Contador

El módulo está formado por un Arduino Micro y un visualizador de 7 segmentos con ánodo común, figura 1.21.

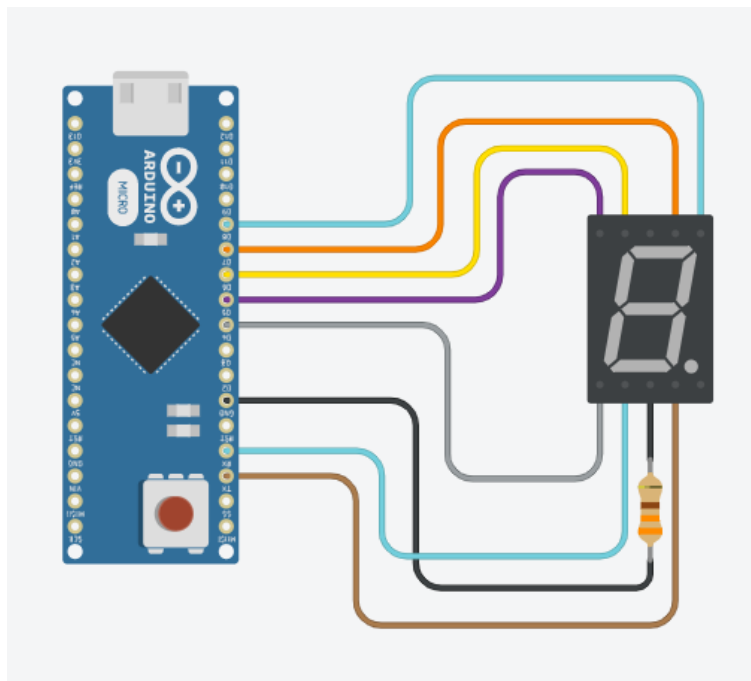


Figura 1.21: Diseño Electrónico Contador

Al igual que los módulos anteriores, se comunica con el módulo base (principal) mediante el bus I2C (pines D2 y D3 del Arduino Micro).

1.2.4. Módulo Botón

El módulo está formado por un Arduino Micro y un botón, figura 1.22. El botón es un botón simple de Arduino debido a que Tinkercad no permite utilizar un botón más grande que simule mejor la botonera de espera de los peatones. Pero aún así. La funcionalidad es la misma.

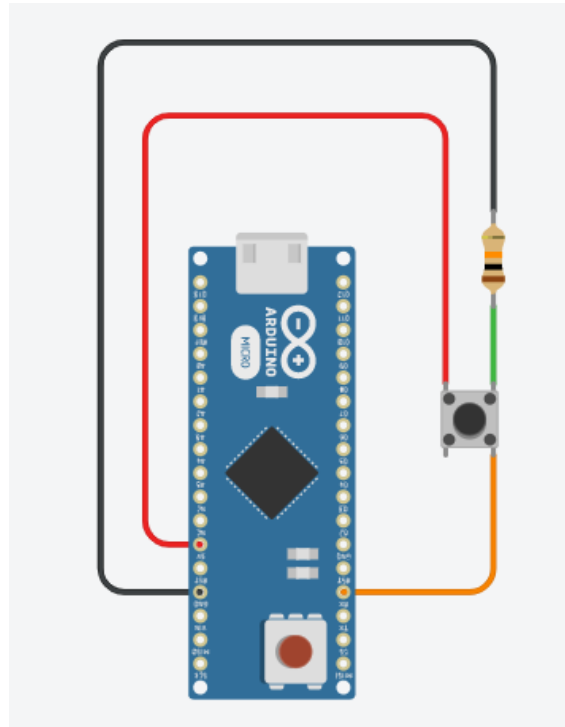


Figura 1.22: Diseño Electrónico Botonera

Al igual que los módulos anteriores, se comunica con el módulo base (principal) mediante el bus I2C (pines D2 y D3 del Arduino Micro).

1.3. Computación

Para realizar la computación, debido a que la velocidad de Tinkercad de procesamiento es muy baja y que, por motivos no se puede realizar un modelo físico, la computación se realizó mediante Stateflows de Matlab.

Para ello se comenzó primero con el control de cada módulo del dispositivo. Luego se realizó el control del módulo base, que es el principal de cada dispositivo. Se intentó simular la comunicación I2C mediante unas funciones de traducción del mensaje y el envío de ese mensaje por un mismo canal. Como el canal solo podía ser unidireccional, el mensaje e I2C iría por dos canales, el de lectura y el de escritura, simulando un solo canal en la realidad.

Cuando se tiene el control de un dispositivo, se comienza con el control de un clúster. Para este control entra, además de la comunicación de los dispositivos propios, la comunicación entre

módulos base con el módulo base principal.

Esta comunicación LAN se simulará, al igual que I2C, mediante un canal de lectura y otro de escritura de un mensaje. El servidor es el que indica a quien va dirigido ese mensaje. El dispositivo maestro del clúster es el que decide los posibles cambios, por lo que, si otro dispositivo tiene una petición, tiene que enviársela al dispositivo maestro y éste decidirá si se puede realizar el cambio.

El último paso consiste en la comunicación WLAN de dos clústers. Esta comunicación se realizará, al igual que el I2C y LAN por un canal de escritura y lectura con funciones de traducción de ese mensaje para simular una comunicación WLAN.

Para este ejemplo, se introducirán dos clústers, donde el clúster que tiene prioridad será el de la calle más transitada, por lo que ese se catalogará como clúster maestro. Por lo que, el dispositivo maestro del otro clúster será un esclavo del dispositivo maestro del clúster maestro.

1.3.1. Comunicación

Comunicación I2C

La comunicación I2C se simuló mediante un canal con un mensaje de lectura y con un mensaje de escritura. Este mensaje tiene al final un bloque de función de traducción del mensaje.

En la lectura, el mensaje viene escrito todo en un mismo número el cual corresponde a la siguiente tabla donde enviar se refiere al envío del dato solo cuando se requiere, es decir, para que no esté todo el rato enviando mensajes. ID es a quien va dirigido el mensaje, es decir, la ID del módulo. Valor es el valor del mensaje que se quiere enviar.

Posición	Tipo de mensaje
1ºs 8 bits	Enviar
2ºs 8 bits	ID
3ºs 8 bits	Valor

Cuadro 1.2: Tabla tipo mensajes I2C

Comunicación LAN y WLAN

La comunicación LAN y WLAN se simuló igual que la comunicación I2C, mediante un canal con un mensaje de lectura y con un mensaje de escritura. Este mensaje tiene al final un bloque de función de traducción del mensaje.

Como en este caso, por ejemplo en el de la comunicación LAN, un clúster puede llegar a tener cuatro dispositivos. El mensaje de entrada en Matlab no puede ser el mismo para los cuatro porque no deja, por lo que se tuvo que realizar un cambio en la entrada de la función, introduciendo cuatro entradas.

En la lectura, el mensaje viene escrito todo en un mismo número el cual corresponde a la siguiente tabla donde enviar se refiere al envío del dato solo cuando se requiere, es decir, para que no esté todo el rato enviando mensajes. ID es a quien va dirigido el mensaje, es decir, la ID del módulo. Valor es el valor del mensaje que se quiere enviar. En este caso existen prioridades de lectura, el más prioritario, obviamente, va a ser el dispositivo principal, seguido del dispositivo que se encuentra en el lado opuesto de la calle, es decir, en frente, seguido de los dispositivos que se encuentran en la otra calle.

Posición	Tipo de mensaje
1ºs 8 bits	Enviar
2ºs 8 bits	ID
3ºs 8 bits	Valor

Cuadro 1.3: Tabla tipo mensajes LAN y WLAN

En Matlab, la comunicación LAN se simuló de la siguiente manera, donde se obtiene el mensaje de los 4 dispositivos y, el que desea hablar (Enviar=1) se traduce el mensaje y se prepara para enviarle la información de vuelta a los otros dispositivos.1.23:

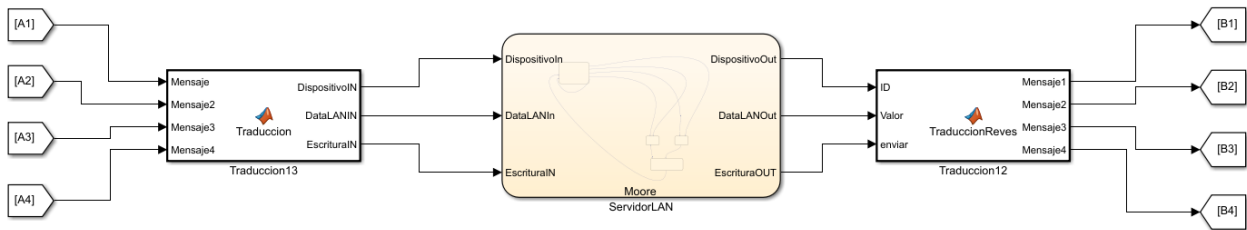


Figura 1.23: Computación Servidor LAN

Se hace una diferencia entre los dispositivos contiguos al dispositivo maestro, es decir, el propio dispositivo maestro y el que se encuentra en la acera de enfrente de la misma calle. Luego se tienen los opuestos, que son los de la calle perpendicular. Dependiendo del dato que se le envíe, significa que se querrá cambiar de un estado a otro. Este dato es enviado al módulo base que es el que se encarga de traducir el mensaje y saber si se puede cambiar de estado o no.

Funciones traducción

Las funciones de traducción de lectura se basan en pasar la lectura de un mensaje con un dato a tres datos. Para ello se obtiene el dato y, mediante divisiones se obtiene el resultado final, es decir

$$Enviar = \frac{mensaje}{2^{16}}$$

$$ID = \frac{mensaje}{2^8} - Enviar * 2^8$$

$$Valor = \frac{mensaje}{2^8} - Enviar * 2^{16} - ID * 2^8$$

En el caso que se quiera traducir y enviar el mensaje:

$$mensaje = Enviar * 2^{16} + ID * 2^8 + Valor$$

1.3.2. Módulos

Módulo Luz

El modulo de luz se corresponde al siguiente modelo, 1.24:

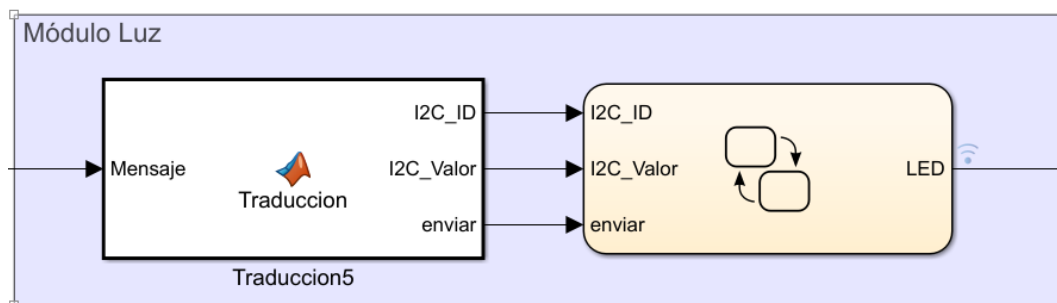


Figura 1.24: Computación Módulo Luz

El mensaje entrante se traduce como se comentó en la sección anterior, teniendo tres datos entrantes en el StateFlow, el ID, el booleano Enviar y el valor que se necesita. El diagrama de estados es el siguiente:

La salida va directa a la luz y lo que realiza es el encendido o apagado de la luz dependiendo del valor que le llegue por el mensaje.

Módulo Semáforo Vehículos

El modulo de semáforo de vehículos se corresponde al siguiente modelo, 1.25:

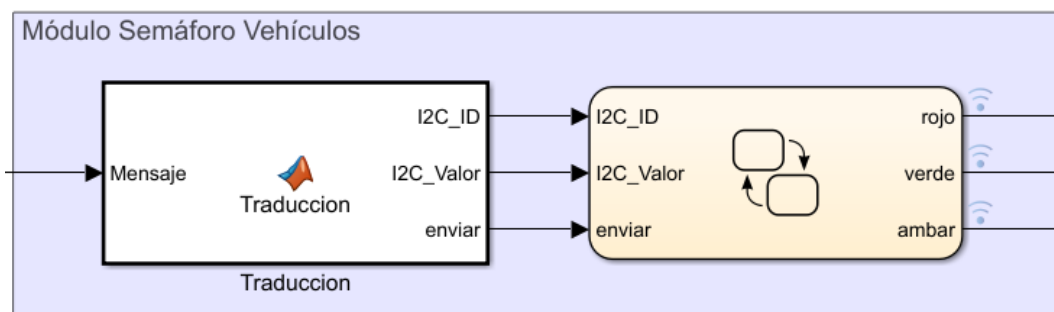


Figura 1.25: Computación Módulo Semáforo Vehículos

El mensaje entrante se traduce como se comentó en la sección anterior, teniendo tres datos entrantes en el StateFlow, el ID, el booleano Enviar y el valor que se necesita. El diagrama de estados es el siguiente:

Las tres salidas se corresponden con las tres luces del semáforo, para poder ver mejor como cambian estos valores.

Módulo Semáforo Peatones

El modulo de semáforo de peatones se corresponde al siguiente modelo, 1.26:

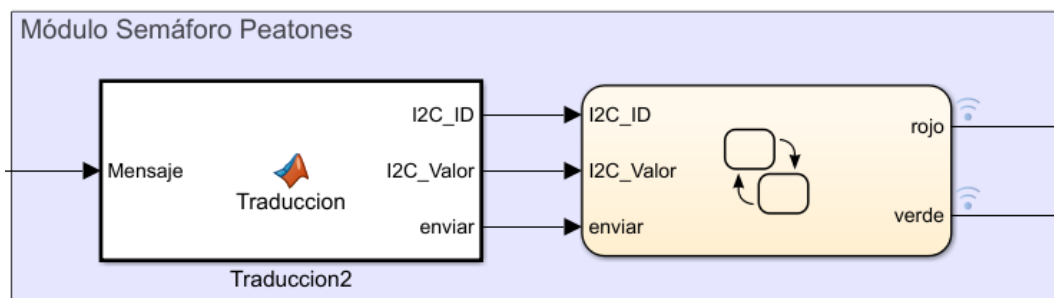


Figura 1.26: Computación Módulo Semáforo Peatones

El mensaje entrante se traduce como se comentó en la sección anterior, teniendo tres datos entrantes en el StateFlow, el ID, el booleano Enviar y el valor que se necesita. El diagrama de estados es el siguiente:

Las tres salidas se corresponden con las dos luces del semáforo, para poder ver mejor como cambian estos valores.

Módulo Contador

El modulo contador se corresponde al siguiente modelo, 1.27:

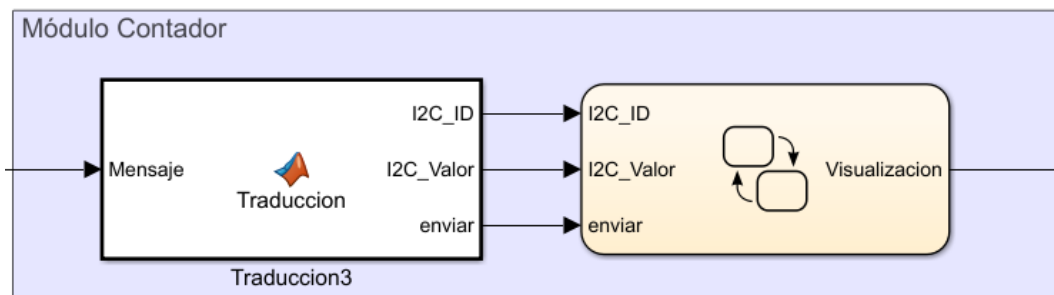


Figura 1.27: Computación Módulo Contador

El mensaje entrante se traduce como se comentó en la sección anterior, teniendo tres datos entrantes en el StateFlow, el ID, el booleano Enviar y el valor que se necesita. El diagrama de estados es el siguiente:

Los valores de salida van desde el 0 hasta el 9 para el contador..

Módulo Botonera

El módulo de la botonera se corresponde al siguiente modelo, 1.28:

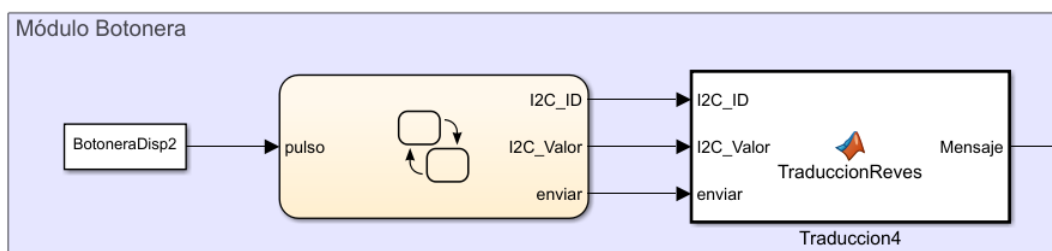


Figura 1.28: Computación Módulo Botonera

En este caso hay una pequeña diferencia con el resto de los módulos, y es que el mensaje de se envía al módulo base en vez de recibirlo. Por lo que se utilizaría el canal de lectura del módulo base. Al igual que antes, se enviaría el ID, el valor y el booleano Enviar en un solo mensaje.

Si la botonera está pulsado envía un uno y si no está pulsado envía un cero. Para simular una botonera, se creó una función que devuelve valores entre 0 y 1 cada cierto tiempo, simulando la posible pulsación de un peatón. Esta función devuelve ceros o unos aleatoriamente con cada simulación.

Módulo Base

El módulo base es el módulo que más carga computacional alberga. Es el que decide si cambia de estado el dispositivo y el que se comunica con el servidor LAN (otros dispositivos del mismo clúster) o con el servidor WLAN (Otros clústers y/o farolas). Principalmente, el módulo base se corresponde con el siguiente modelo 1.29:

Hay dos tipos de control del módulo Base. El módulo base esclavo de un clúster se comunica únicamente con los dispositivos superiores, con el módulo base maestro del clúster por red LAN y con las farolas por red WLAN. En cambio el módulo base maestro de un clúster se comunica, además de lo dicho anteriormente, con otros módulos base maestro de otros clústers. La prioridad es el cambio, si uno de ellos solicita el cambio, se efectuará si las condiciones lo permiten.

En este caso se puede observar que hay cuatro funciones de traducción. Las dos de arriba sirven para traducir el mensaje de salida por I2C para simular el canal de escritura y para traducir el mensaje que le entra por I2C, es decir, del canal de lectura.

Las dos funciones de traducción de abajo actúan igual que las funciones del I2C, pero en este caso para comunicarse con el servidor LAN.

La comunicación con las farolas las realiza una función externa que, al igual que la botonera, simula la presencia o ausencia de vehículos. Esta función devuelve ceros o unos aleatoriamente con cada simulación.

1.3.3. Clúster

La comunicación entre dispositivos de un mismo clúster es mediante una red LAN. Esta red se simula en Matlab igual que el I2C, con un canal de escritura al servidor y uno de lectura del servidor. El control se hace como se describió en la figura 1.23.

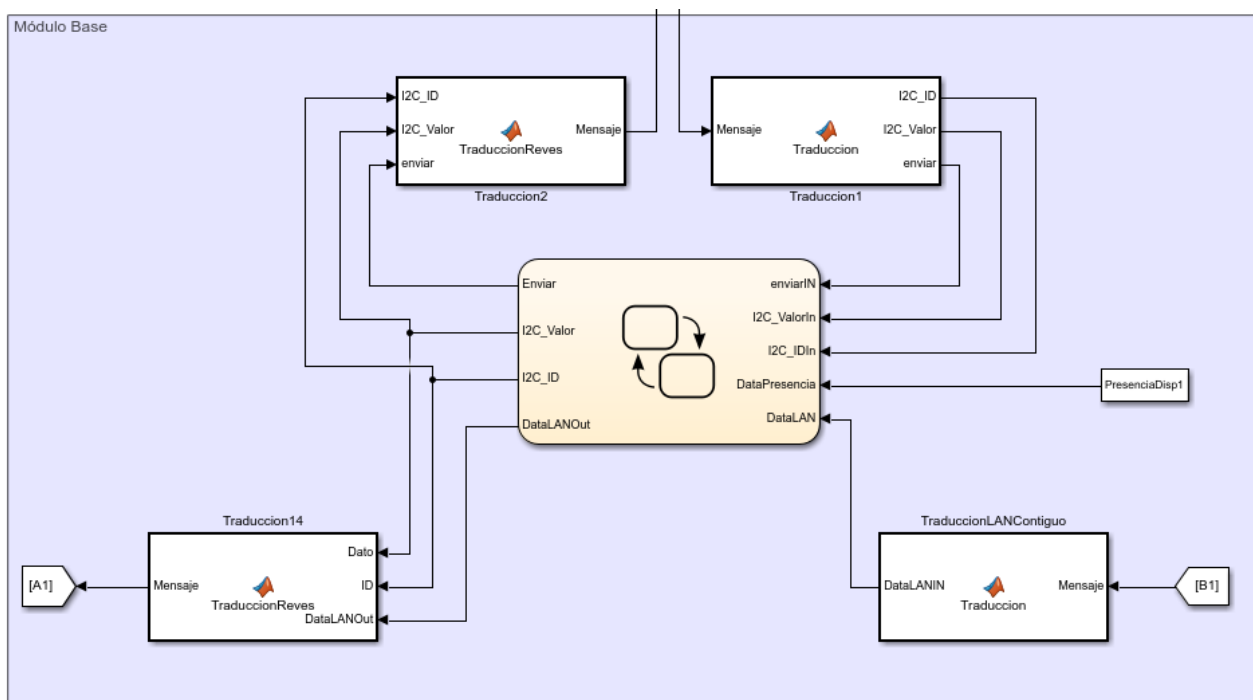


Figura 1.29: Computación Módulo Base

2

Anexo - Planes de Gestión del proyecto

Para la realización del proyecto, se deben establecer unos planes de gestión para facilitar su elaboración. Se usó como referencia la PMBOK Guide. Esto es una guía de los fundamentos para la dirección de proyectos donde los riesgos se suponen una parte clave en el diseño e implementación de un proyecto [7].

2.1. Gestión del Alcance

La Gestión del Alcance del Proyecto incluye los procesos necesarios para garantizar que el proyecto incluya todo (y únicamente todo) el trabajo requerido para completarlo con éxito.

Esto abarca los requisitos del proyecto y del producto, criterios, supuestos, restricciones y otras influencias relativas a un proyecto y el modo en que ellas se gestionarán o abordarán dentro del proyecto.

En este proyecto, se alcanzaron las cuatro partes importantes del alcance. El diseño mecánico se realizó para cada módulo y se acabó con un ensamblado completo del dispositivo. El diseño electrónico se realizó para cada módulo, para el dispositivo entero y para un supuesto clúster de cuatro dispositivos. El diseño automático o computacional se consiguió finalmente mediante MatLab y se programó, mediante diagramas de estados, cada módulo, cada dispositivo, ya sea el maestro o los esclavos y la comunicación del clúster completo. Finalmente, la obtención de datos y el análisis de datos se realizó mediante Excel, obteniendo los datos de MatLab y Simulink. Los resultados se comprueban mandando mensajes de error si son incorrectos.

2.2. Gestión de plazos

En esta sección se presenta una tabla con los diferentes entregables que forman el proyecto, así como la fase en la que pertenecen y los días laborales necesarios para la elaboración de dicho entregable.

2.3. Gestión de costes

La Gestión de los Costos del Proyecto incluye los procesos involucrados en estimar, presupuestar y controlar los costos de modo que se complete el proyecto dentro del presupuesto aprobado.

Fase	Entregable	Días
Fase inicial	Acta	7
Fase de Planificación	Diseño	70
Fase de Ejecución	Implementación	300
Fase de Cierre	Informe de Cierre	15

Cuadro 2.1: Tabla costes hardware

Para ello, se presupuestó tanto la parte hardware y software del sistema, así como también la mano de obra. Los gastos indirectos no se calcularon en este proyecto debido a que se realizó desde el domicilio particular.

2.4. Gestión de la calidad

La Gestión de la Calidad del Proyecto incluye los procesos y actividades de la organización ejecutante que determinan responsabilidades, objetivos y políticas de calidad a fin de que el proyecto satisfaga las necesidades por la cuales fue emprendido.

2.5. Gestión de recursos humanos

La Gestión de los Recursos Humanos del Proyecto incluye los procesos que organizan, gestionan y conducen el equipo del Proyecto. Éste está formado por aquellas personas a las que se le han asignado roles y responsabilidades para completar el Proyecto.

En este proyecto participan dos docentes y un alumno. El alumno es el responsable de la elaboración y ejecución del proyecto, dejando a los dos docentes como tutores.

2.6. Gestión de comunicaciones

La Gestión de las Comunicaciones del Proyecto incluye los procesos requeridos para garantizar que la generación, la recopilación, la distribución, el almacenamiento, la recuperación y la disposición final de la información del proyecto sean adecuados y oportunos.

Para garantizar esto, la organización del equipo era esencial, realizando reuniones telemáticas semanalmente y guardando todos los archivos en Google Drive y la memoria del proyecto en Overleaf LaTeX.

2.7. Gestión de la integración

La Gestión de la Integración del Proyecto incluye los procesos y actividades necesarios para identificar, definir, combinar, unificar y coordinar los diversos procesos y actividades de la dirección del proyectos.

Para ello, se tuvo que gestionar cómo se debía de organizar el alcance final del proyecto. Cómo se debe de organizar el documento para la elaboración del proyecto y las herramientas necesarias para la elaboración del sistema diseñado.

2.8. Gestión de riesgos

La Gestión de los Riesgos del Proyecto incluye los procesos relacionados con llevar a cabo la planificación de la gestión, la identificación, el análisis, la planificación de respuesta a los riesgos, así como su monitoreo y control en un proyecto. Los objetivos de la Gestión de los Riesgos del Proyecto son aumentar la probabilidad y el impacto de eventos positivos, y disminuir la probabilidad y el impacto de eventos negativos para el proyecto.

Durante la elaboración y ejecución del proyecto, siempre surgen riesgos. Estos riesgos pueden llegar a ser oportunidades de mejora. En el proyecto se elaboró un análisis de riesgos para afrontar cualquier posibilidad de que esto ocurra.

2.9. Gestión de adquisiciones

La Gestión de las Adquisiciones del Proyecto incluye los procesos de compra o adquisición de los productos, servicios o resultados que es necesario obtener fuera del equipo del proyecto.

Parte de las adquisiciones la comprenden las licencias del software a emplear. En concreto, tenemos

- MatLab [13]
- SolidWorks [11]

3

Anexo - Validación del sistema

Debido a que es imposible la realización de un sistema físico para poder comprobar que el resultado de la computación es correcto. Después de la realización de unas funciones que simulan las entradas al sistema, en este caso, la entrada de si hay presencia o no de vehículos y la entrada que simula la botonera de los peatones, se realizó una validación del sistema por medio de la recogida de datos de la simulación realizada con Simulink y llevado MS Excel, 3.1:

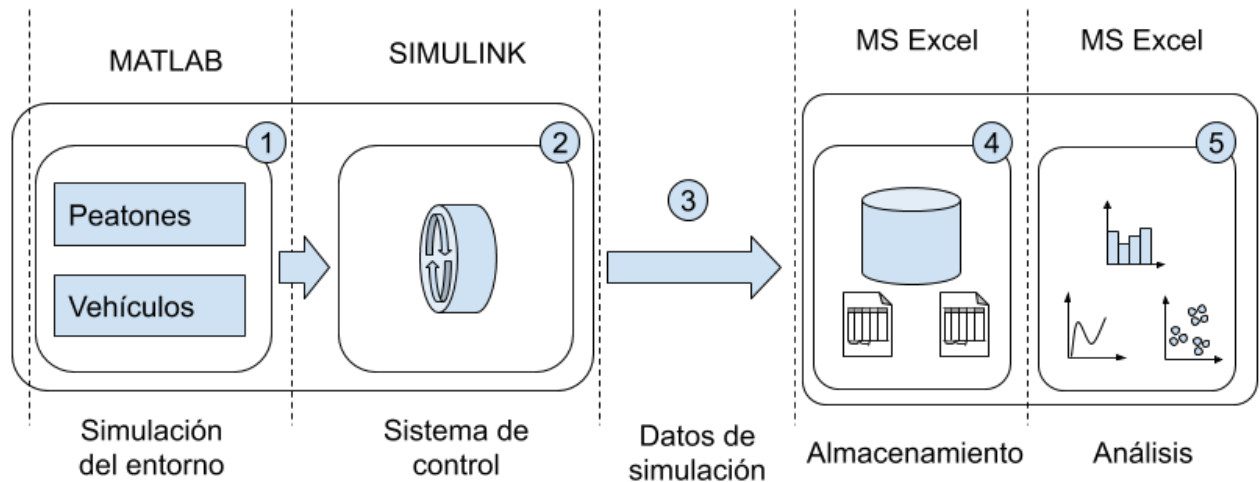


Figura 3.1: Validación Sistema

Estos datos sirven para dos funciones. La primera es comprobar que el sistema funciona correctamente y que no se solapan dos datos que no debería. Para ello, se realizaron varias funciones de comprobación a todos los datos de las tablas para comprobar que son correctos los datos.

Estas funciones dentro del mismo dispositivo son las siguientes:

- Error de sincronización dispositivo:

Comprobación de todos los valores de los semáforos de peatones y de vehículos. Si están encendidos más de dos leds a la vez, hay error. Solo puede haber un led encendido del semáforo de peatones y otro del semáforo de vehículos.

- Error semáforo peatones-vehículo

Comprobación de que, si el semáforo de peatones está en verde, el semáforo de vehículos no puede estar ni en verde ni en ámbar.

- Error contador

Si el contador es distinto de 0, el semáforo de peatones no puede estar en rojo,.

Las funciones entre distintos dispositivo son las siguientes:

- Error sincronización entre dispositivos de la calle contigua Si el semáforo de peatones del dispositivo 1 está en rojo, el del dispositivo 2 no puede estar en verde, y lo mismo al revés. Si el semáforo de peatones del dispositivo 2 está en rojo, el del dispositivo 1 no puede estar en verde.
- Error sincronización entre dispositivos de la calle opuesta: Es la misma comprobación que en el caso anterior, pero con los dispositivos 3 y 4.
- Error sincronización entre dispositivos de las dos calles Esto es que si el semáforo de peatones de una calle esta en verde, el de la otra calle tiene que estar en rojo

Con todas estas condiciones, se comprueba que el resultado de la simulación es óptimo, ya que, si se da el caso de que algún dato es erróneo, es debido al tiempo que tarda el clúster en comunicarse entre si.

La segunda función es comprobar el tiempo que tarda el sistema en enviar información por los distintos canales posibles. En este caso, la comunicación entre dispositivos es por un canal LAN, pero si el canal fuese por bluetooth en vez de LAN, los tiempos de escritura y de lectura cambian.

Para comprobar esto se realizaron varias funciones. La primera es que los inputs del sistema son nulos todos excepto la botonera de un dispositivo. Con ello se pueden calcular el tiempo que tarda:

- Enviar el dato a su propio módulo y el tiempo que tarda este en reaccionar
- Enviar el dato a los distintos dispositivos del clúster y el tiempo que tarda los módulos de este clúster en reaccionar.

Para ello, dependiendo de la arquitectura que se está realizando, se colocaron unos delays en las salidas de los bloques cuando hay una escritura (Enviar = 1). El caso que se realizó para ver los tiempos es el el paso del estado inicial donde el semáforo de vehículos está en rojo, la botonera la forzamos a que siempre esté a uno y en el tiempo de simulación 30000, indicamos que viene un vehículo. Con el control que se tiene, el dispositivo va a cambiar de estado, pasando al estado con el semáforo de vehículos en verde.

Cuando se tenga la señal de que hay presencia de vehículos, se calcula el tiempo de simulación que se tarda en cambiar de estado en los cuatro dispositivos y se anota el resultado.

El tiempo de simulación de escritura entre módulos del mismo dispositivo es de 3 pasos de simulación, y el de escritura a otro dispositivo por comunicación LAN es de 4 pasos de simulación, es decir, el tiempo de simulación de la comunicación I2C es de 3 pasos por simulación y el de la comunicación LAN es de 1 paso por simulación.

4

Anexo - Análisis de Riesgos

Como ya se introdujo en la memoria, el análisis de riesgos demuestra que el producto está bajo control, es decir, es tolerante a fallos. Además, para la tramitación de aprobación del proyecto y del producto se necesita de este estudio. Con los riesgos analizados, se pudo tomar decisiones importantes en el diseño del sistema de control.

El modelo a seguir es el modelo de PMBOK, este modelo se basa en determinar los riesgos, en caracterizarlos por probabilidad, e impacto. Los riesgos analizados se representan en la tabla 4.1. El código a utilizar se corresponde con el comando RISKxx siendo xx el número del riesgo. El nombre indica el tipo de riesgo que se está evaluando. La categoría determina en qué grupo se puede englobar el riesgo. La probabilidad es la capacidad del riesgo de producirse. El impacto es cómo se afrontaría el riesgo en el sistema. Se divide en tres secciones, el alcance es cuánto puede abarcar el riesgo, es decir, hasta dónde. Los plazos es el tiempo que durará confrontar el riesgo y el coste es el precio que supone el riesgo, se tomarán como porcentaje de coste.

- **Bajo:** Supone un valor <5% del presupuesto.
- **Medio:** Supone un valor entre el 5 y el 20% del presupuesto.
- **Alto:** Supone un valor mayor al 20% del presupuesto.

Código	Nombre	Categoría	Prob.	Impacto		
				Alcance	Plazos	Coste
RISK01	Cambio en legislación vial	Jurídica	Baja	Bajo	Bajo	Medio
RISK02	Desconexión Módulo	Comunicaciones	Media	Medio	Bajo	Medio
RISK03	Desconexión Dispositivo	Comunicaciones	Baja	Medio	Medio	Medio
RISK04	Desconexión Nube	Comunicaciones	Media	Medio	Medio	Medio
RISK05	Desconexión Clúster	Comunicaciones	Media	Medio	Medio	Medio
RISK06	Rotura Módulo	Mecánica	Baja	Bajo	Bajo	Bajo
RISK07	Rotura Dispositivo	Mecánica	Baja	Bajo	Medio	Medio
RISK08	Temperaturas fuera de rango	Ambientales	Baja	Bajo	Bajo	Bajo
RISK09	Alto viento	Ambientales	Media	Medio	Medio	Medio
RISK10	Inundaciones	Ambientales	Baja	Medio	Alto	Alto
RISK11	Rotura canal I2C	Comunicaciones	Baja	Bajo	Medio	Medio
RISK12	Fallo en conexiones módulos	Comunicaciones	Baja	Bajo	Medio	Medio
RISK13	Caída de la red	Comunicaciones	Media	Medio	Bajo	Bajo
RISK14	Fallo en sensor de módulo	Electrónica	Baja	Bajo	Bajo	Bajo
RISK15	Fallo en actuador de módulo	Electrónica	Baja	Bajo	Bajo	Bajo
RISK16	Fallo en controlador de módulo	Electrónica	Baja	Bajo	Bajo	Bajo
RISK17	Error de código	Computación	Baja	Bajo	Bajo	Bajo

Cuadro 4.1: Tabla de riesgos

En conclusión, la categoría puede ser jurídica, como un cambio en la legislación. También puede ser de comunicaciones, por ejemplo la desconexión de un dispositivo. Esta categoría puede ser mecánica, como por ejemplo la rotura de un módulo. La categoría ambiental depende mayoritariamente de las condiciones atmosféricas. También están la categoría electrónica o eléctrica, debido aun fallo en un actuador o categoría de computación, es decir, un error en el código.

Parte III

PLIEGO DE CONDICIONES

1

Disposiciones generales

1.1. Objeto del pliego

En el presente pliego de condiciones se presentan los requisitos generales que se exige al Contratista, para que lleve a cabo la realización del proyecto “Sistema de control de tráfico basado en dispositivos modulares heterogéneos”.

Se trata de especificar las condiciones técnicas, facultativas, económicas y legales a tener en cuenta para la correcta realización del proyecto, determinando las obligaciones de las partes intervinientes en el proceso de ejecución.

Este documento no pretende así recoger todos los detalles constructivos del equipamiento. Es responsabilidad del Contratista que dichos detalles constructivos, materiales y selección de componentes, estén de acuerdo con las últimas normas de diseño, reglamentos y técnicas aplicables

1.2. Documentación del proyecto

El presente proyecto consta de los siguientes documentos:

- **Documento 1** Portada e índice.
- **Documento 2** Memoria.
- **Documento 3** Anexos.
- **Documento 4** Pliego de condiciones.
- **Documento 5** Presupuesto.
- **Documento 6** Bibliografía.

Se entiende por documentos contractuales aquellos que estén incorporados en el contrato y que sean de obligado cumplimiento, excepto modificaciones debidamente autorizadas. Estos documentos son:

- Anexos.
- Pliego de condiciones.
- Presupuesto.

El resto de documentos o datos del proyecto son documentos informativos. Solamente los documentos contractuales constituyen la base del contrato.

Por tanto, el Contratista no podrá alegar modificación alguna de las condiciones del contrato en base a los datos contenidos en los documentos informativos a menos que estos datos aparezcan en algún documento contractual.

El Contratista será responsable de los errores que se puedan derivar de no obtener la suficiente información directa que rectifique o ratifique el contenido de los documentos informativos del proyecto.

1.3. Compatibilidad y prelación entre documentos

Los documentos que definen este proyecto son compatibles entre sí y además se complementan unos a otros. Se ha de procurar que sólo con la ayuda del “Anexo” y el “Pliego de condiciones” se pueda ejecutar totalmente el proyecto.

En cuanto al orden y prioridad dependerá del aspecto que se considere. Si se mira desde el punto de vista técnico-teórico, el documento más importante es la “Memoria”. Si se mira desde el punto de vista jurídico-legal, será el “Pliego de condiciones” el documento más importante.

2

Condiciones técnicas

Para la realización del proyecto, la empresa pondrá a disposición del Contratista los datos necesarios de los elementos a diseñar, así como todas las especificaciones estructurales que se requerirán para los análisis a realizar.

Otro de los aspectos que el Contratista deberá cumplir, serán los informes que irá reportando a la empresa sobre los resultados que vaya obteniendo a lo largo del proyecto, así como un informe final, detallando los resultados y los pasos seguidos en el desarrollo del proyecto.

Por último, en caso de que el Contratista subcontrate parte de la ejecución del proyecto, deberá demostrar la cualificación de dicha subcontrata y solicitar la conformidad a la empresa.

2.1. Documentos de soporte

En este apartado se indicarán los documentos que se deben entregar al finalizar el proyecto. La documentación que forma el proyecto se entregará en forma de siete documentos.

- **Documento 1. Portada e índice:** hace referencia al contenido de todos los documentos que componen el proyecto al completo. Además de localizar los contenidos en la página específica, permite expresar el esquema temático seguido.
- **Documento 2. Memoria:** en este documento se definen los objetivos buscados (requisitos de funcionamiento), el proceso seguido (marco metodológico) para la realización del proyecto “Sistema de control de tráfico basado en dispositivos modulares heterogéneos”, y la solución final adoptada. Dicho de otra manera, en este documento se redacta toda la información esencial para entender el proyecto al completo.
- **Documento 3. Anexos:** la información contenida en este documento trata de reflejar los diseños, cálculos y esquemas computacionales empleados para la resolución del proyecto, además de los datos obtenidos directamente por los programas de simulación.
- **Documento 4. Pliego de condiciones:** este documento regula las normas de comportamiento para la realización, desde el punto de vista técnico, facultativo, económico y legal entre los agentes del proyecto que intervienen en la ejecución del mismo.
- **Documento 5. Presupuesto:** es la cuantificación económica de lo proyectado. Se trata de un documento orientativo y que sirve para tener una idea de los costes y las mediciones del proyecto en general.

- **Documento 6. Bibliografía:** es el resumen de todos los artículos, libros y páginas web que se fueron consultando a lo largo de la elaboración de este proyecto.

3

Condiciones facultativas

La dirección de fabricación será de un ingeniero seleccionado previamente. Tendrá las obligaciones de comprobar los trabajos que se realicen al igual que comprobar que el Contratista cumple las pautas que marca el proyecto.

El Contratista deberá escoger sus representantes en la fabricación, entre ellos, el jefe de fabricación. Por otro lado, el Contratista tiene la obligación de facilitar al ingeniero encargado de la dirección toda la información que sea necesaria al igual que deberá informar de cualquier incidencia. Será el encargado de cumplir los plazos de fabricación estipulados.

En caso de atrasos en el cumplimiento deberá informar a la dirección de fabricación, quedando en manos de la dirección la decisión final a tomar.

3.1. Jefe de fabricación

El Contratista será el encargado de seleccionar el jefe de fabricación adecuado para la correcta fabricación del proyecto. El jefe de fabricación será el representante oficial del Contratista durante todo el proceso teniendo la obligación de hacer cumplir de forma clara y con autoridad lo estipulado en el proyecto.

El jefe de fabricación deberá hacer cumplir y transmitir las órdenes recibidas de la dirección facultativa teniendo que avisar de cualquier percance en caso de que sea necesario.

En caso de tener que realizar el cambio del jefe de fabricación, el Contratista deberá informar previamente a la dirección facultativa, quedando en manos de la dirección la decisión a tomar.

3.2. Obligaciones del contratista

El Contratista será el máximo responsable de la fabricación en caso de incumplimiento de algunas de las pautas marcadas en el pliego, siendo el segundo responsable el jefe de fabricación.

El Contratista deberá facilitar en caso de que sea necesario cualquier certificado de calidad de los materiales, maquinaria y equipo empleado en la fabricación. Por otro lado, deberá informar de las incidencias que puedan ocurrir durante la fabricación.

El Contratista deberá acudir de forma obligatoria a todas las reuniones que organice la dirección facultativa y en caso de que no sea posible deberá ser de forma justificada y nombrando algún representante como por ejemplo el jefe de fabricación.

Otra de sus obligaciones principales será la de acudir de forma presencial a la fabricación durante su jornada laboral de forma de que pueda cumplimentar lo estipulado de forma correcta.

3.3. Plazos y comienzo de la fabricación

Los plazos de ejecución y el día de comienzo de la fabricación estarán definidos en el contrato siendo de obligatorio cumplimiento por el Contratista. El Contratista deberá dar parte del comienzo a la dirección facultativa y será el máximo responsable de los atrasos. En caso de imprevistos, el Contratista deberá informar a la dirección facultativa quedando en sus manos la decisión a tomar.

El jefe de fabricación podrá pedir a la dirección facultativa nuevos plazos si la fabricación lo precisara por motivos que deberá justificar.

En caso de no poder comenzar la fabricación en la fecha estipulada, la dirección facultativa determinará una nueva fecha de inicio tras realizar una reunión en caso de que sea necesario.

3.4. Fallos de fabricación o montaje

El Contratista será el máximo responsable de los fallos o defectos en el montaje del sistema de control de tráfico. En caso de encontrar fallos de montaje se desmontará de forma inmediata y se volverá a realizar el montaje de forma correcta.

En caso de que los fallos sean responsabilidad directa del Contratista los gastos correrán a su cuenta.

3.5. Garantía

El sistema de control de tráfico tendrá una garantía de 10 años desde el momento en el que se entregue al cliente. El tiempo en el que el sistema de control de tráfico este en garantía los fallos o piezas defectuosas serán arreglados y remplazados sin ningún coste para el cliente.

4

Condiciones económicas

4.1. Garantías

La empresa podrá exigir al Contratista la presentación de las referencias bancarias o de otras entidades o personal, al objeto de cerciorarse de si este reúne todas las condiciones requeridas para el exacto cumplimiento del contrato, dichas referencias las presentará el Contratista antes de la firma del contrato.

4.2. Gastos e impuestos

Todos los gastos e impuestos de cualquier orden, que por disposición del estado, provincia o municipio se deriven del contrato, y estén vigentes en la fecha de la firma del mismo, serán por cuenta del Contratista con excepción del IVA.

Las modificaciones tributarias establecidas con posterioridad al contrato afectarán al sujeto pasivo directo, sin que las partes puedan repercutirlas entre sí. En ningún caso podrá ser causa de revisión de precios la modificación del sistema tributario vigente a la firma del contrato.

4.3. Precios contradictorios

Si ocurriese algún caso por virtud del cual fuese necesario fijar un nuevo precio, se procederá a estudiarlo y convenirlo de la siguiente forma:

- El Adjudicatario formulará por escrito, bajo su firma, el nuevo precio que, a su juicio, deberá aplicarse.
- La Dirección Técnica estudiará el que, según su criterio, deba utilizarse.

Si ambos son coincidentes se formulará, un Acta, igual que si cualquier pequeña diferencia o error fuesen salvados por simple exposición y convicción de una de las partes, quedando así formalizado el precio contradictorio.

Si no fuera posible conciliar por simple discusión los resultados, se propondrá a la propiedad que adopte la resolución que estime conveniente, que podrá ser aprobatoria del precio exigido por el Adjudicatario, o en otro caso, la segregación de la ejecución del proyecto, para ser ejecutado por la administración o por otro adjudicatario distinto.

La fijación del precio contradictorio habrá de proceder necesariamente al comienzo de la nueva unidad, puesto que, si por cualquier motivo, ya se hubiese comenzado, el Adjudicatario estará obligado a aceptar el que buenamente quiera fijarle el responsable, y a concluirla a satisfacción de éste.

4.4. Reclamación por aumento de precios

Si el Contratista, antes de la firma del contrato no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirve de base para la ejecución del proyecto.

Las equivocaciones materiales o errores aritméticos en las unidades del importe, se corregirán en cualquier época que se observen, pero no se tendrán en cuenta a los efectos de la rescisión de contrato.

4.5. Revisión de precios

Si los vigentes precios de jornales, cargas sociales y materiales, en el momento de firmar el Contrato, experimentan una variación oficial en más o menos del 5 %, podrá hacerse una revisión de precios a petición de cualquiera de las partes, que se aplicará a la tarea que falte por ejecutar.

En principio no se debe admitir la revisión de los precios contratados. No obstante y dada la variabilidad continua de los precios de los jornales y sus cargas sociales, así como la de los materiales y transportes, que son características de determinadas épocas anormales, se admiten durante ellas la rescisión de los precios contratados, bien en alza o en baja y en armonía con las oscilaciones de los precios del mercado.

El Contratista puede solicitar la revisión en alza del Propietario en cuanto se produzca cualquier alteración de precio que repercuta aumentando lo contratado. Ambas partes convendrán el nuevo precio unitario antes de comenzar o de continuar la ejecución de la unidad de obra en que intervenga el elemento cuyo precio en el mercado y por causas justificadas haya subido, especificándose y acordándose también previamente a la fecha a partir de la cual se tendrán en cuenta y cuando proceda, el acopio de materiales en la fabricación en el caso que estuviese abonados total o parcialmente por el Propietario.

Si el Propietario no estuviese conforme con los nuevos precios de materiales que el Contratista desea percibir como normales en el mercado, tiene la facultad de proponer al Contratista, en cuyo caso se tendrá en cuenta para la revisión, los precios de los materiales adquiridos por el Contratista a merced de la información del Propietario.

4.6. Equivocaciones del presupuesto

Se supone que el Contratista ha hecho un estudio detenido de los documentos que componen el proyecto, y por tanto al no haber hecho ninguna observación sobre posibles errores o equivocaciones en el mismo, se entiende que no hay lugar a disposición alguna en cuanto afecta a unidades o precios.

Si por el contrario, el número de unidades fuera inferior, se descontará del presupuesto final.

4.7. Pagos

Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos y su importe corresponderá, precisamente, al de las Certificaciones de obra expedidas por el Ingeniero Director.

4.8. Suspensión por retrasos de pago

En ningún caso podrá el Contratista, alegando retraso en los pagos, suspender los trabajos, ni ejecutarlos a menor ritmo del que corresponda, con arreglo al plazo en que deben terminarse.

4.9. Indemnización por el retraso de los trabajos

El importe de la indemnización que debe abonar el Contratista por causas de retraso no justificado, en el plazo de terminación de las obras del contratista, será: el importe de la suma de perjuicios materiales causados por imposibilidad de ocupación del inmueble, debidamente justificados.

4.10. Mejoras de fabricación

No se admitirán mejoras de fabricación, más que en el caso en que la compañía contratadora haya ordenado por escrito la ejecución de los trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados, así como la de los materiales y aparatos previstos en el contrato. Tampoco se admitirán aumentos de fabricación en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del Proyecto, a menos que la compañía contratadora ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

5

Condiciones legales

5.1. Marco jurídico

La ejecución del proyecto deberá tener en cuenta las leyes vigentes del estado siendo responsabilidad de la empresa la ejecución del proyecto bajo las condiciones establecidas en el contrato, en las condiciones estipuladas en los documentos que forman el proyecto y por las establecidas en las leyes de contratos de trabajo.

5.2. Régimen de intervención

Cuando el Contratista no dé cumplimiento, sea a las obligaciones o disposiciones del contrato, sea a las órdenes de servicio que les sean dadas por la Empresa, esta le requerirá a cumplir este requisito de órdenes en un plazo determinado, que, salvo casos de urgencia, no será nunca menor de 10 días a partir del plazo de la notificación del requerimiento.

Pasado este plazo, si el contratista no ha ejecutado las disposiciones dadas, la Empresa podrá ordenar a título provisional el establecimiento de un régimen de intervención general o parcial por cuenta del Contratista.

Se procederá inmediatamente, en presencia del Contratista, o habiéndole convocado debidamente, a la comprobación de la fabricación ejecutada, de los materiales acopiados así como al inventario descriptivo del material del Contratista, y a la devolución a este de la parte de materiales del Contratista, y así como de la parte de materiales que no utilizará la empresa para la terminación de los trabajos.

La Empresa tiene por otra parte, la facultad, sea de ordenar la convocatoria de un nuevo concurso, en principio sobre petición de ofertas, por cuenta y riesgo del Contratista incumplidor, sea de ejercitar el derecho de rescisión pura y simple del contrato, sea de prescribir la continuación de la intervención.

Durante el periodo de régimen de intervención, el Contratista podrá conocer la marcha de los trabajos, sin que pueda, de ninguna manera, entorpecer o dificultar las órdenes de la empresa.

El contratista podrá, por otra parte, ser liberado del régimen de intervención si justifica su capacidad para volver a hacerse cargo de los trabajos y llevarlos a buen fin.

Los excedentes de gastos que resulte de la intervención o del nuevo contrato serán deducidos de las sumas, que puedan ser debidas al Contratista, sin perjuicios de los derechos de ejercer contra él en el caso de ser insuficientes.

Si la intervención o el nuevo contrato suponen, por el contrario, una disminución de los gastos, el Contratista no podrá pretender beneficiarse en ninguna parte de la diferencia, que quedará a favor de la empresa.

5.3. Accidentes de trabajo y daños a terceros

El Contratista es el máximo y único responsable de la seguridad de la fabricación teniendo la obligación de comprobar el cumplimiento de las leyes de seguridad laboral. La propiedad quedará libre de responsabilidades.

El Contratista es el encargado de establecer las medidas de seguridad necesarias al igual que deberá suministrar el material de seguridad necesario a los trabajadores.

En caso de accidente o daños a terceras personas u objetos por un incorrecto cumplimiento de las leyes vigentes el Contratista será el responsable.

5.4. Responsabilidad civil

El contratista deberá tener cubierta su responsabilidad civil de tal forma que en caso de que alguno de sus empleados o subcontratas incumplan este cubierto.

El contratista será el encargado de tomar las medidas necesarias para no comprometer la salud de sus empleados ni de las terceras personas siendo su responsabilidad en caso de accidente.

En caso de accidente, el contratista será el único responsable de la indemnización a realizar quedando el propietario y dirección facultativa libre de responsabilidades.

5.5. Permisos y certificados

El contratista será el encargado de cumplir todas las leyes vigentes nivel estatal, provincial o municipal siendo su responsabilidad.

También será el encargado de solicitar en caso de que sea necesario permisos o certificados. Estos serán abonados por la propiedad.

5.6. Rescisión del contrato

Las acciones nombradas a continuación serán las causantes de la rescisión del contrato:

- No comenzar en la fecha de inicio estipulada.
- Demora excesiva en los plazos de entrega previstos.
- Incumplimiento por parte del contratista de sus responsabilidades.
- Fallos en los materiales debido a la negligencia del contratista.
- Modificaciones en el contrato con subidas de precio mayores al 7%.

Parte IV

PRESUPUESTO

1

Costes Directos

1.1. Costes de hardware y componentes

Debido a la pandemia del COVID-19, no se pudo realizar el prototipo planeado y diseñado hasta el momento. No obstante, la selección de componentes se realizó en base a un posible prototipo futuro. El prototipo es un diseño a escala, impreso en 3D de lo que sería un cruce entre dos calles. El cruce tendría un total de 2 clústeres. Cada clúster está formado por cuatro dispositivos, uno maestro y tres esclavos. La diferencia entre estos dos dispositivos a nivel de componentes es que el maestro tiene semáforo para vehículos y los esclavos no. Para el diseño del semáforo se han utilizado los siguientes componentes:

- Luces LED Kingbright Rojo 20 mm (semáforo peatones y vehículos)
- Luces LED Kingbright Verde 20 mm (semáforo peatones y vehículos)
- Luces LED Kingbright Naranja 20 mm (semáforo vehículos y farola)
- Display LED 7 segmentos Broadcom (Contador de tiempo restante peatone)
- Pulsador (Botonera de solicitud de cruce de peatones)
- Arduino Micro ATmega32u4 para cada módulo
- Arduino Uno para el módulo principal MD SMD rev.3 ATmega328
- Módulo Wifi ESP8266 MCU para cada Arduino Uno
- Filamento Impresora 3D FDM Plata 1.75mm RS PRO
- Impresora 3D bq Hephestos 2 (4 años)
- Cableado

Al final del proyecto se anexionarán las hojas de características de cada dispositivo.

La impresora 3D se usaría un total de 6 meses de los 4 años que puede durar la impresora, por lo que el precio por unidad sería 8 veces menor al precio total del producto. Para el proyecto se necesitan 2 clústeres y unos gastos comunes, tabla 1.1. Realizando únicamente dos tipos de dispositivos que son el maestro y los esclavos del propio clúster, que son las tablas 1.2 y 1.3

Componentes	Precio/ud.	Cantidad	Total
Filamento Impresora 3D	14,96€	1	14,96€
Impresora 3D	849,90€	1	106,24€
Total	-	-	212,20€

Cuadro 1.1: Tabla gastos comunes

Componentes	Precio/ud.	Cantidad	Total
Luz LED roja (semáforo peatones y vehículos)	4,10€	2	8,20€
Luz LED ámbar (semáforo vehículos y farola)	1,53€	2	3,06€
Luz LED verde (semáforo peatones y vehículos)	1,57€	2	3,14€
Contador 7 segmentos	1,58€	1	1,58€
Pulsador	4,03€	1	4,03€
Arduino UNO	18,63€	1	18,63€
ESP8266	16,17€	1	16,17€
Arduino Micro	17,85€	5	89,25€
Total	-	-	144,60€

Cuadro 1.2: Tabla dispositivo maestro

Componentes	Precio/ud.	Cantidad	Total
Luz LED roja (semáforo peatones)	4,10€	1	4,10€
Luz LED ámbar (farola)	1,53€	1	1,53€
Luz LED verde (semáforo peatones)	1,57€	1	1,57€
Contador 7 segmentos	1,58€	1	1,58€
Pulsador	4,03€	1	4,03€
Arduino UNO	18,63€	1	18,63€
ESP8266	16,17€	1	16,17€
Arduino Micro	17,85€	4	71,40€
Total	-	-	119,55€

Cuadro 1.3: Tabla dispositivo esclavo

Es decir, un clúster tiene como mínimo para este diseño un dispositivo maestro y tres dispositivos esclavos. Por lo que, el coste hardware quedaría de la siguiente manera reflejada en la tabla 1.4

Componentes	Precio/ud.	Cantidad	Total
Comunes	212,20€	1	212,20€
Dispositivos esclavos	119,55€	6	717,30€
Dispositivos maestros	144,60€	2	289,20€
Total	-	-	1.218,70€

Cuadro 1.4: Tabla costes hardware

Por lo que, el gasto total de hardware será de 1.218,70€.

1.2. Costes Software

En este proyecto se realizaron un total de 5 software, de los cuales los gratuitos son MS Excel, Arduino IDLE y Tinkercad, teniendo que comprar la licencia de:

- MatLab, con las ampliaciones de Simulink y Stateflow sale un total de 3.144,00€ anuales. Debido a que la UPV tiene licencia de estudiante, este gasto no se efectuó.
- SolidWorks, con un coste de 1.010,00€ 3 meses de licencia estándar, ascienden a 3.030,00€ los seis meses de proyecto. También, debido a que la UPV tiene licencia de estudiante, este gasto no se efectuó.

Lo que hace un total mostrado en la tabla 1.5.

Componentes	Precio	Cantidad	Total
Licencia MatLab	3.144,00€	1	3.144,00€
Licencia SolidWorks	3.030,00€	1	3.030,00€
Total	-	-	6.174,00€

Cuadro 1.5: Tabla costes software

Por lo que el coste total de Software es de 6.174,00€.

2

Costes mano de obra

El trabajo de Fin de Máster del Máster de Mecatrónica tiene un total de 12 créditos. Cada crédito corresponden a un mínimo de 25 horas. Al final se ha trabajado un total de 360 horas, lo que equivale a 30 horas por crédito. Teniendo en cuenta que el coste de un Ingeniero Superior es de 100€/h. El total quedaría reflejado en la tabla 2.1.

Tipo de trabajador	Precio/hora	Horas totales	Total
Ingeniero Superior	100€/h	360	36.000,00€
Total	-	-	36.000,00€

Cuadro 2.1: Tabla costes mano de obra

Por lo que, el coste total por mano de obra es de 36.000,00€.

El desarrollo de este proyecto se realizó a lo largo de 5 meses. Desde Febrero del 2020 hasta Junio de 2020 cuando se entregó finalmente el trabajo.

3

Costes indirectos

Los costes indirectos no se han tenido en cuenta porque se han realizado en el domicilio habitual pero se podían tener en cuenta si se llega a realizar en un despacho. En la tabla 3.1 se reflejan los gastos indirectos.

Tipo de gasto	Precio	Cantidad	Total
-	-€	-	-€
Total	-	-	0,00€

Cuadro 3.1: Tabla costes indirectos

Por lo que, el coste total indirecto es de 0,00€.

4

Costes totales

El cálculo de los costes totales se obtienen sumando todo los costes anteriores. Cabe destacar que, debido a que este proyecto no necesita de ninguna licencia de construcción ya que solo se realizó un prototipo, el coste total quedaría reflejado en la tabla 4.1

Tipo de coste	Coste
Hardware	1.218,70€
Software	6.174,00€
Mano de Obra	36.000,00€
Indirectos	0,00€
Total	43.392,00€

Cuadro 4.1: Tabla costes hardware

Por lo que, finalmente, el coste total del proyecto asciende a 43.392,00€.

Parte V

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

- [1] AENOR UNE 157001:2014. www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une/?c=n0052985, 2020.
- [2] 55. Computación distribuida - wikipedia (www.es.wikipedia.org/wiki/computacion_distribuida), 2020.
- [3] PASCUAL SIMON COMIN, ANTONIO VALLADOLID ALONSO, FERNANDO GARNACHO VECINO, RAFAEL GUIRADO TORRES, and MANUEL VALCARCEL FONTAO. Nuevo reglamento electrotécnico para baja tensión. *DYNA*, 78(9):14–17, 2003.
- [4] Green Car Congress. Greencarcorngress www.greencarcongress.com/2018/10/20181004-volkswagen-1.html), 2020.
- [5] Charlie Cullen. *Learn Audio Electronics with Arduino: Practical Audio Circuits with Arduino Control*. CRC Press, 2020.
- [6] DGT. Dgt www.dgt.es/es/la-dgt/quienes-somos/historia/), 2020.
- [7] Panos Fitsilis. Comparing pmbok and agile project management software development processes. In *Advances in Computer and Information Sciences and Engineering*, pages 378–383. Springer, 2008.
- [8] Alfio García Valero. Dirección y gestión del proyecto solar decathlon upv (azalea) en su fase de competición internacional. 2020.
- [9] Lacroix Group. Lacroix group www.lacroix-city.com/activities/traffic/urban-traffic/detection-traffic-regulation/), 2020.
- [10] Shaun Howell, Simon Cole, Terence Broad, and Tommi Maatta. Iot and machine learning for next generation traffic systems.
- [11] Matt Lombard. *SolidWorks 2007 Bible*, volume 529. John Wiley & Sons, 2008.
- [12] T. Matsuo, Y. Kaneko, and M. Matano. Introduction of intelligent vehicle detection sensors. In *Proceedings 199 IEEE/IEEJ/JSAI International Conference on Intelligent Transportation Systems (Cat. No.99TH8383)*, pages 709–713, 1999.
- [13] Holly Moore, Víctor Campos Olgúin, and Rogelio Márquez Nuño. *Matlab para ingenieros*. Number 620.0013 M66 2007. Pearson Educación, 2007.
- [14] Kerja Pengenalan Layar. Microsoft excel. *Denver Co., USA*, 2007.

- [15] Trevor Reed. Inrix global traffic scorecard, 2019.
- [16] Dionisio FERNÁNDEZ DE GATTA SÁNCHEZ. Real decreto legislativo 6/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial [boe n.º 261, 31-x-2015]. *AIS: Ars Iuris Salmanticensis*, 4(1):232–233, 2016.
- [17] Stephen F Smith, Gregory Barlow, Xiao-Feng Xie, and Zachary B Rubinstein. Surtrac: Scalable urban traffic control. 2013.
- [18] Somos. Somos (www.somos.srl/traffic-lights/), 2020.
- [19] Azalea UPV. Azalea upv (www.azaleaupv.com/es/index), 2020.
- [20] Viviendu. Historia de la contrucción modular (www.viviendu.com/wiki/historia-de-la-construccion-modular/), 2020.
- [21] Wikipedia. Computación en la nube - wikipedia (www.es.wikipedia.org/wiki/computación_en_la_nube), 2020.
- [22] Wikipedia. Niebla y fog, informática - wikipedia (www.networkworld.es/cloud-computing/que-es-la-computacion-de-niebla-o-fog-computing-conectando-la-nube-a-las-cosas), 2020.
- [23] Wikipedia. Red en malla - wikipedia (www.es.wikipedia.org/wiki/red_en_malla), 2020.
- [24] Wikipedia. Semáforo - wikipedia (www.es.wikipedia.org/wiki/semáforo), 2020.
- [25] Wikipedia. Árbol, informática - wikipedia ([www.es.wikipedia.org/wiki/Árbol_\(informática\)](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Árbol_(informática))), 2020.