

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

***CONTROL DE TRÁFICO MEDIANTE
SEMÁFOROS INTELIGENTES CON
ALGORITMOS DE GESTIÓN DE PRIORIDAD EN
TIEMPO REAL***

Alumno/Alumna: Martínez, Cantero, Miguel

Director/Directora (1): Espinosa, Acereda, Jon Koldobika

Director/Directora (2): Ferro, Vázquez, Armando

Curso: 2018-2019

Fecha: 19/07/2019



T-LIGHTS

Trabajo Fin de Grado



CONTENIDO

CONTENIDO	3
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
1 RESUMEN EJECUTIVO	7
2 INTRODUCCIÓN	9
3 CONTEXTO	10
3.1 CONCEPTOS	10
3.2 PUNTO DE ESTUDIO.....	10
3.3 TOMA DE MEDIDAS.....	12
3.4 TEORÍA DE COLAS.....	16
3.5 RESULTADOS	19
4 OBJETIVOS Y ALCANCE.....	26
4.1 OBJETIVO PRINCIPAL	26
4.2 OBJETIVO PARCIAL.....	27
5 BENEFICIOS	28
5.1 BENEFICIOS TÉCNICOS.....	28
5.2 BENEFICIOS ECONÓMICOS	29
5.3 BENEFICIOS SOCIALES.....	29
5.4 BENEFICIOS MEDIOAMBIENTALES.....	29
6 ESPECIFICACIONES	31
6.1 ARQUITECTURA	31
6.2 MODULARIDAD Y ESCALABILIDAD	32
6.3 SEGURIDAD.....	32
6.4 RESULTADOS	33
7 PROBLEMÁTICAS DE INGENIERÍA	34
7.1 SELECCIÓN DEL ENTORNO GRÁFICO PARA LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA.....	34
7.2 DESARROLLO DE INGENIERÍA PARA LA INTELIGENCIA DEL SISTEMA.....	34
7.3 COMUNICACIÓN ENTRE MÓDULOS PRINCIPALES	34
8 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	35
8.1 SELECCIÓN DEL ENTORNO GRÁFICO PARA LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA.....	35
8.2 DESARROLLO DE INGENIERÍA PARA LA INTELIGENCIA DEL SISTEMA.....	37
8.3 COMUNICACIÓN ENTRE MÓDULOS PRINCIPALES	39
9 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	40
9.1 SELECCIÓN DEL ENTORNO GRÁFICO PARA LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA.....	40
9.2 DESARROLLO DE INGENIERÍA PARA LA INTELIGENCIA DEL SISTEMA.....	42
9.3 COMUNICACIÓN ENTRE MÓDULOS PRINCIPALES	43

10 PROPUESTA DE DISEÑO.....	46
10.1 ARQUITECTURA.....	46
10.2 ENTORNO DE SIMULACIÓN.....	47
10.3 SISTEMA T-LIGHTS	48
11 METODOLOGÍA.....	51
11.1 SIMULADOR	51
11.2 PRUEBAS FUNCIONALES	51
11.3 RESULTADOS	54
12 PLANIFICACIÓN	56
13 PRESUPUESTO.....	60
14 CONCLUSIONES.....	62
15 BIBLIOGRAFIA	63
ANEXOS.....	65
DIAGRAMAS UML.....	65
PLAN DE PRUEBAS.....	70
PLAN DE FORMACIÓN.....	72

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1-1 RESULTADO ENCUESTA.....	7
ILUSTRACIÓN 3-1 INTERSECCIÓN C/BRIÑAS-AV. JUAN ANTONIO ZUNZUNEGUI	11
ILUSTRACIÓN 3-2 INTERSECCIÓN ACTUAL C/BRIÑAS-AV. JUAN ANTONIO ZUNZUNEGUI	12
ILUSTRACIÓN 3-3 NOMENCLATURA VÍAS.....	14
ILUSTRACIÓN 3-4 ESTADO-1.....	14
ILUSTRACIÓN 3-5 ESTADO-2.....	15
ILUSTRACIÓN 3-6 ESTADO-3.....	15
ILUSTRACIÓN 3-7 ESQUEMA FIFO.....	17
ILUSTRACIÓN 3-8 DISTRIBUCIÓN DE LLEGADAS.....	18
ILUSTRACIÓN 3-9 DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL.....	18
ILUSTRACIÓN 3-10 DISTRIBUCIÓN SALIDAS.....	19
ILUSTRACIÓN 3-11 D/D/1 $\lambda < M$	20
ILUSTRACIÓN 3-12 D/D/1 $\lambda = M$	20
ILUSTRACIÓN 3-13 D/D/1 $\lambda > M$	21
ILUSTRACIÓN 3-14 D/D/1 CONVERGENCIA	21
ILUSTRACIÓN 4-1 ESTRUCTURA DE DESCOMPOSICIÓN DEL TRABAJO (WBS-EDT).....	26
ILUSTRACIÓN 8-1 SIMULACIÓN TRAFFIC-SIMULATION.....	35
ILUSTRACIÓN 8-2 SIMULACIÓN DE SUMO	36
ILUSTRACIÓN 8-3 REPRESENTACIÓN 2D.....	37
ILUSTRACIÓN 10-1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA	46
ILUSTRACIÓN 10-2 ESQUEMA MODULARIDAD T-LIGHTS	47
ILUSTRACIÓN 10-3 CASO BÁSICO DE CONMUTACIÓN DE GRUPOS DE SEMÁFOROS.....	47
ILUSTRACIÓN 10-4 NETEDIT CREADOR DE TOPOLOGÍAS	48
ILUSTRACIÓN 10-5 INTERSECCIÓN C/BRIÑAS-AV. JUAN ANTONIO ZUNZUNEGUI NETEDIT	48
ILUSTRACIÓN 10-6 REPRESENTACIÓN PRIORIDADES.....	49
ILUSTRACIÓN 10-7 DIAGRAMA DE ESTADOS DEL SUBSISTEMA DE CONTROL	50
ILUSTRACIÓN 11-1 SIMULACIÓN MÁXIMA CONGESTIÓN.....	52
ILUSTRACIÓN 11-2 SIMULACIÓN BAJA CONGESTIÓN.....	53
ILUSTRACIÓN 11-3 RESULTADOS EMISIONES.....	54
ILUSTRACIÓN 11-4 RESULTADOS COMBUSTIBLES.....	54
ILUSTRACIÓN 11-5 RESULTADOS TIEMPO DE ESPERA	55
ILUSTRACIÓN 12-1 DIAGRAMA DE GANTT DEL PROYECTO	57

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 ESTADOS INTERSECCIÓN.....	16
TABLA 2 TIEMPOS ENTRE LLEGADAS SEMÁFORO VERDE	22
TABLA 3 NÚMERO MÁXIMO DE VEHÍCULOS POR MINUTO	23
TABLA 4 TIEMPO MEDIO ESPERA POR CARRIL	24
TABLA 5 NÚMERO VEHÍCULOS POR CARRIL.....	24
TABLA 6 PROBABILIDADES SEMÁFORO PEATONES EN ROJO.....	24
TABLA 7 TIEMPO MEDIO ESPERA EN PEATONES.....	24
TABLA 8 RESULTADO ALTERNATIVA GRAFICA TRAFFIC SIMULATION.....	40
TABLA 9 RESULTADO ALTERNATIVA GRÁFICA SUMO.....	41
TABLA 10 RESULTADO ALTERNATIVA GRÁFICA SECUENCIAS ANSI	41
TABLA 11 RESULTADO ALTERNATIVA GRÁFICA REPRESENTACIÓN GRÁFICA.....	41
TABLA 12 RESULTADO ALTERNATIVA INTELIGENCIA FUNCIÓN MATEMÁTICA	42
TABLA 13 RESULTADO ALTERNATIVA INTELIGENCIA RED NEURONAL	43
TABLA 14 RESULTADO ALTERNATIVA INTELIGENCIA MACHINE LEARNING.....	43
TABLA 15 RESULTADO ALTERNATIVA COMUNICACIÓN LIBRERÍAS	44
TABLA 16 RESULTADO ALTERNATIVA COMUNICACIÓN REST	44
TABLA 17 RESULTADO ALTERNATIVA COMUNICACIÓN NINGUNA.....	45
TABLA 18 RESULTADOS SIMULACIÓN MÁXIMA CONGESTIÓN	52
TABLA 19 RESULTADOS SIMULACIÓN BAJA CONGESTIÓN	53
TABLA 20 DIAGRAMA DE GANTT DEL PROYECTO.....	58

1 | RESUMEN EJECUTIVO

Un gran problema dentro de las ciudades, más cuando estas son grandes es el desplazamiento de los ciudadanos. Las carreteras e intersecciones dentro de los núcleos urbanos no permiten que todos los ciudadanos se desplacen de una manera fluida, por eso los ayuntamientos intentan impulsar los transportes urbanos. Estos transportes pueden ser desde autobuses para agrupar a un número más amplio de personas en un único vehículo hasta servicios como metro o tranvía donde se reserva una vía a un solo vehículo.

Las ciudades gestionan los diferentes flujos de automóviles en las intersecciones de una manera estática. Esto implica que los tiempos que se asignan a los semáforos sean constantes y no se adapten a las condiciones variables del tráfico en cada momento, por lo que el rendimiento no es el óptimo. Dado que en una ciudad hay gran número de intersecciones reguladas por estos sistemas, la ineficiencia de éstos da lugar a cientos horas perdidas por los ciudadanos.

Tener unas intersecciones reguladas estáticamente no causa únicamente grandes cantidades de tiempo perdido por la población sino también mayor contaminación al mantener vehículos en funcionamiento más tiempo del necesario. En grandes ciudades como Madrid se ha empezado a tomar medidas (Madrid Central) para prohibir que los vehículos circulen por el centro de la ciudad donde estos van a estar acelerando y frenando gran número de veces, derivando en un alto consumo de combustibles fósiles y por tanto emisión de gases de efecto invernadero.

Los ciudadanos son conscientes de esta ineficiencia derivada de la naturaleza estática de los semáforos y a pesar que la inmensa mayoría de conductores cumplan lo que rigen estos según un estudio realizado, un 80% de los ciudadanos respondió que en calidad de peatón suele cruzar el semáforo en rojo siempre que no observen peligro.

¿Te sueles saltar el semaforo en rojo si no viene nadie?

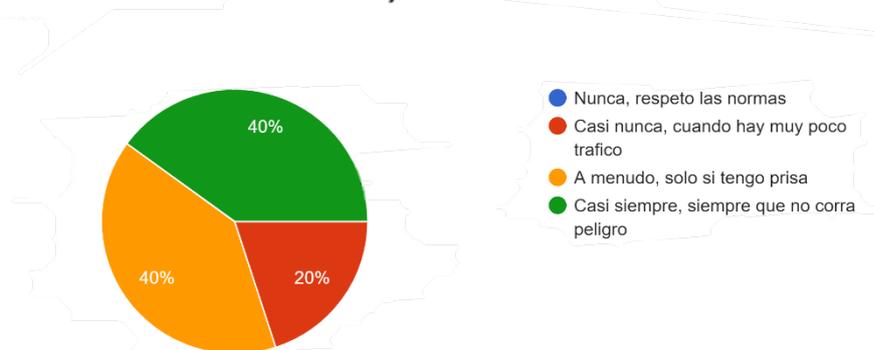


Ilustración 1-1 Resultado encuesta

Estos porcentajes indican que son muchas las personas que basan su seguridad en su propia percepción y no utilizan el semáforo como agente certificador del estado del tráfico lo que deriva en que, en las ciudades como Bilbao, el 74% de los atropellos se produzcan por cruzar en rojo y el 86,8% de los accidentes se produzcan en intersecciones (según el Ayuntamiento).

Para lograr una ciudad mucho más cómoda, eficiente, limpia y segura, se necesita un sistema de semáforos que tome decisiones en función de cada situación. Ese es el objetivo que se persigue en este trabajo. Para ello, se plantea el desarrollo de una herramienta de software para la gestión dinámica de los semáforos denominada T-lights.

T-lights es un sistema que analizando una situación del tráfico concreto toma la decisión que lo solventa de la manera más rápida, obteniendo con ello gran número de ventajas. Los ciudadanos verían sus transportes dentro de las ciudades mucho más fluidos, reduciendo el tiempo que tardan en llegar a sus destinos. Los peatones cumplirían las normas viales ya que el semáforo siempre indicará cuando sea el momento más seguro para pasar, reduciéndose de esta forma gran número de accidentes.

T-lights permitiría que las ciudades vieran sus niveles de contaminación disminuir dado que los vehículos funcionarían de forma más continuada y durante un menor período de tiempo.

Según la Fundación sobre Investigaciones de Protección, al año se producen 4.500 accidentes de ambulancias en España, en su mayoría atropellos al atravesar intersecciones a gran velocidad. Con T-lights, los vehículos de emergencia circularán de una manera mucho más segura obteniendo la prioridad en los semáforos e indicando al resto de usuarios su presencia. La detección de vehículos y personas en tiempo real será de gran interés para los servicios de seguridad, protección y emergencia.

Por otro lado, T-lights presenta un carácter modular lo que le permite su funcionamiento en una intersección aislada. Esto posibilita obtener los beneficios de T-lights en las intersecciones más conflictivas con una mínima inversión necesaria.

Creo que T-lights es un sistema que apoya la sostenibilidad y el futuro enfocándose en aumentar el rendimiento de las vías y consiguiendo así la mejora del transporte y la movilidad dentro de las ciudades. La propuesta de esta idea consiste en la mejora de la situación actual y la apuesta por convertirse en un futuro en la herramienta necesaria a integrar en vehículos inteligentes.

2 | INTRODUCCIÓN

La regulación por semáforos es un elemento muy importante en la gestión del tráfico tanto urbano como interurbano que influye directamente en la calidad de vida de sus usuarios. Actualmente, el sistema encargado de la gestión y el control de los semáforos trabaja de manera estática con tiempos fijos para cada turno de paso.

Este sistema convencional para la regulación de semáforos crea cierta problemática debido a su carácter estático. La gestión de los semáforos no se adapta al tráfico existente en las vías, lo que implica una gestión deficiente con largos tiempos de espera para los usuarios y una peor experiencia para los usuarios de las vías, tanto peatones como vehículos.

Propongo una gestión optimizada mediante un sistema pensante y dinámico que se adapte a cualquier situación en tiempo real, implementando algoritmos que identifiquen el tipo de tráfico y sea capaz de asignar prioridades a determinadas colas o usuarios reduciendo esperas innecesarias. De este modo, la gestión será dinámica y adaptativa, es decir, en función del tráfico existente en el entorno, se buscará la solución más adecuada reduciendo los tiempos de espera para que los usuarios lleguen a su destino lo antes posible.

Tener un sistema dinámico apoyará el transporte público sostenible dando prioridad a autobuses, tranvías y otros vehículos de carácter público siendo de esta forma su desplazamiento en las ciudades mucho más fluido sin necesidad de destinarles una vía exclusivamente para ellos.

Durante todo este documento se planteará una alternativa enfocada a la mejora del sistema actual ofreciendo una serie de beneficios extensibles en el espacio y tiempo pudiendo llegar a ser protocolo estándar de decisión en intersecciones en vehículos autónomos.

3 | CONTEXTO

La finalidad de este proyecto es buscar un sistema alternativo y mejorado del sistema actual y verificar que se puede implantar.

Para determinar que el sistema alternativo que se proponga es mejor que el actual hay que analizar la situación del sistema implantado en la actualidad.

En este apartado se realizará un estudio de lugar concreto en un momento determinado con el fin de analizar un vía y el comportamiento real de los vehículos en esta, de esta forma se obtendrá un mejor punto de partida y datos objetivos con los que elaborar una solución alternativa.

En este estudio se seleccionará un lugar y tras un trabajo de campo se analizarán los resultados desde el punto de teoría de colas.

Cabe destacar que este estudio será realizado por una sola persona con medios y tiempo limitados. Para obtener unos resultados más precisos sería necesario un estudio que se alargue en el tiempo y analice casos extraordinarios, pero será de gran utilidad para obtener un punto de partida.

3.1 CONCEPTOS

Para poder realizar este estudio hay que introducir algunos términos de Teoría de colas utilizados y que agente desempeña el papel en cada uno de los elementos.

Los términos utilizados en este apartado relativos a este caso son los siguientes:

- **SERVIDOR:** En este modelo propuesto ,el papel de servidor lo realizará cada uno de los semáforos que componen la intersección.
- **CLIENTE:** En el escenario planteado los clientes los vehículos que quieran hacer uso de las vías de circulación e ingresan en el sistema, estos vehículos pueden ser autobuses , automóviles, motocicletas, camiones y cualquier otro vehículo con permiso de uso sobre las vías de circulación. También hay que tomar a los peatones como clientes de sus respectivos semáforos.
- **CANAL:** Vía de transporte por el que circulan los vehículos o atraviesan los transeúntes.
- **LÍNEA DE ESPERA:** Sección del canal en la que los vehículos esperan hasta que el servidor da la orden de avanzar .
- **TIEMPO DE SERVICIO:** Duración de cada semáforo en su estado de verde o avanzar , este tiempo depende de la programación de cada uno de ellos , para facilitar el estudio se ha omitido el estado ámbar.
- **LLEGADAS:** Indican la frecuencia y la cantidad de vehículos que llegan al sistema con el fin de hacer uso de sus recursos.

3.2 PUNTO DE ESTUDIO

3.2.1 CARACTERÍSTICAS

Para la elección de un punto de estudio hay que tener en cuenta el objetivo de esta solución, se está intentando mejorar los tiempos de espera en semáforos por lo que el punto a analizar debe cumplir unas ciertas características:

- **SEMÁFOROS:** Ya que se está proponiendo un sistema que afecta a los tiempos de los semáforos , el punto de estudio debe ser uno en el que la situación del tráfico este condicionado y determinado por algún semáforo.
- **FLUJO:** Debe ser un punto con un amplio flujo de vehículos . Una cambio en el sistema debe suponer una mejora para la gran mayoría de usuarios.
- **CONDICIONALES:** Variar los parámetros de algún semáforo supone que las condiciones del tráfico se modifiquen por lo que afecta a los demás usuarios de la vía, con lo que se debe optar por un punto con diferentes confluencias de tráfico que se condicionen unas vías a otras.

3.2.2 ELECCIÓN

Una vez determinadas las condiciones que se deben cumplir a la hora de la elección del punto de estudio , he decidido que un buen punto de estudio es la *Intersección C/Briñas-Av. Juan Antonio Zunzunegui*



Ilustración 3-1 Intersección C/Briñas-Av. Juan Antonio Zunzunegui

Debido a obras que se están realizando en las inmediaciones de esta intersección , ciertas vías han sufrido cambios (disminución de carriles, restricción de movimientos...etc.).

Actualmente el punto elegido se asemeja a esta ilustración Intersección Actual C/Briñas-Av. Juan Antonio Zunzunegui .

Podemos observar que cumple las 3 condiciones planteadas , es una intersección semaforizada por lo que dispone de semáforos . Hay restricciones entre sus vías y se encuentra en la entrada de Bilbao por la A-8 por lo que el flujo de vehículos en este punto es bastante alto.



Ilustración 3-2 Intersección Actual C/Briñas-Av. Juan Antonio Zunzunegui

3.3 TOMA DE MEDIDAS

Para realizar un estudio sobre teoría de colas hay que tener en consideración que medidas se van a realizar detallándolas correctamente para poder obtener resultados claros.

3.3.1 MÉTODO DE TOMA

Ya que en esta intersección intervienen muchos factores , se decidió crear un programa en lenguaje c a modo de cronometro que almacene los resultados obtenidos para después poder operar con ellos.

Este programa es un cronometro que cuenta en milisegundos cada vez que se presiona *Enter* y para de almacenar datos cuando introducimos . , almacenando todos estos valores para que luego podamos operar con ellos en *Microsoft Office Excel*.

3.3.2 MEDIDAS A TOMAR

Una vez se tiene la forma en la que se puede contabilizar ciertos valores hay que dirigirse al punto de estudio seleccionado y pasar a la acción.

Se contabilizó número de estados del sistema y sus periodos, tiempo de servicio, llegadas, número de clientes cuando el servidor esta off (rojo), tiempo requerido para el arranque según posición del vehículo.

3.3.3 PUNTOS A CONSIDERAR

Para obtener unos valores precisos del sistema actual habría que tomar un gran número de medidas durante un gran periodo de tiempo ya que el flujo de vehículos y peatones depende de :

- **LA HORA DEL DÍA:** En las horas punta del día 7:30-9:30 y 18:00-20:00 el flujo de vehículos es mucho mayor que en el resto de horas.
- **EL DÍA DE LA SEMANA:** Los sábados por la mañana 10:00-12:00 y los domingos por la tarde 18:00-21:00 es cuando más congestión hay.
- **EPOCA DEL AÑO:** En temporadas de frío o lluvia los ciudadanos optan más por trasladarse en vehículo de un punto a otro
- **EVENTOS:** Este punto en concreto (*elección*) al encontrarse cerca del estadio de fútbol de San Mamés , los días en los que se convoca partido hay un flujo hacia el estadio de 41.469 espectadores de los cuales gran parte hacen uso de esta intersección.

3.3.4 CONCLUSIONES

Partiendo de los puntos descritos anteriormente y teniendo en cuenta el tiempo limitado en la realización de este trabajo se optó por tomar muestras dos días diferentes en franjas horarias distintas.

DIA1: El primer día se tomó valores a las 16:00h un sábado de octubre.

DIA2: Este segundo día se optó por un miércoles de octubre a las 20:00h , mismo día que se disputaba un partido en el estadio de fútbol San Mamés.

Con estas medidas se considera que se puede realizar una cierta aproximación al estado actual del sistema, pudiendo perfeccionarse tomando más valores relevantes.

Con estos casos de estudio no se logra abarcar el gran abanico de casos posibles pero si logra dar una visión inicial que permita elaborar una herramienta de una forma más precisa.

3.3.5 MEDIDAS OBSERVADAS

Para poder especificar en cada momento de que vía o semáforo se está hablando se utilizara el siguiente repertorio *Nomenclatura Vías* con el fin de seguir dicha nomenclatura durante todo el estudio.

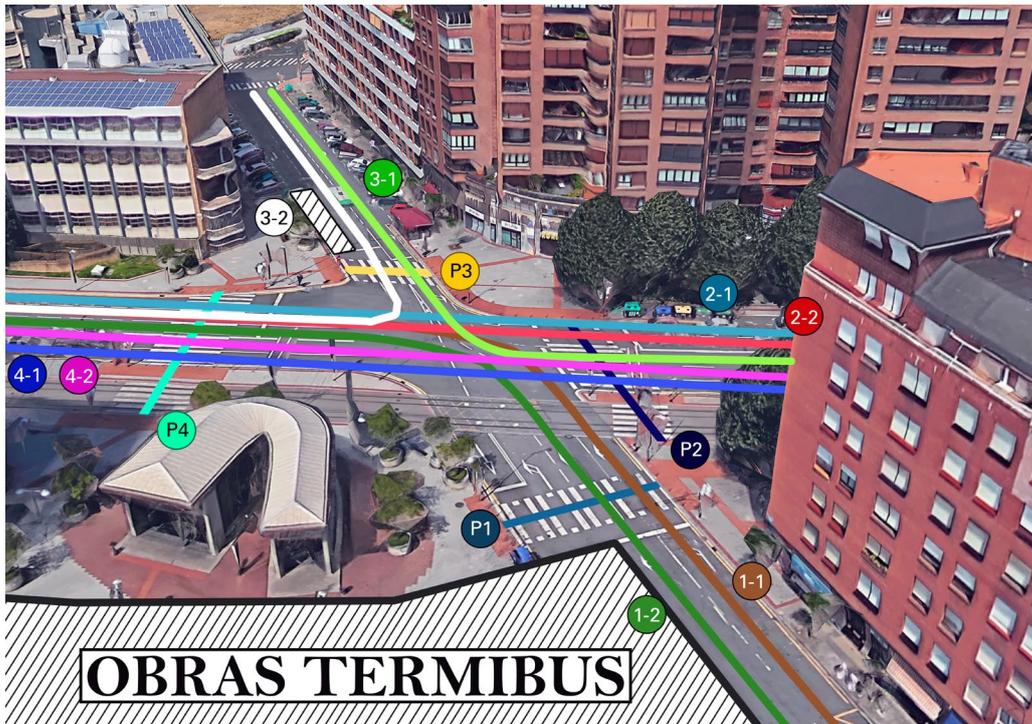


Ilustración 3-3 Nomenclatura Vías

ESTADOS Y PERIODOS

Para comenzar y observando el periodo de los semáforos podemos llegar a la conclusión que en esta intersección hay 3 estados que se repiten cíclicamente con sus respectivos tiempos.

Estado-1: Este estado perdura durante 54 segundos y se permite el paso a P1, 2-1, 2-2, 3-2, 4-1, 4-2.

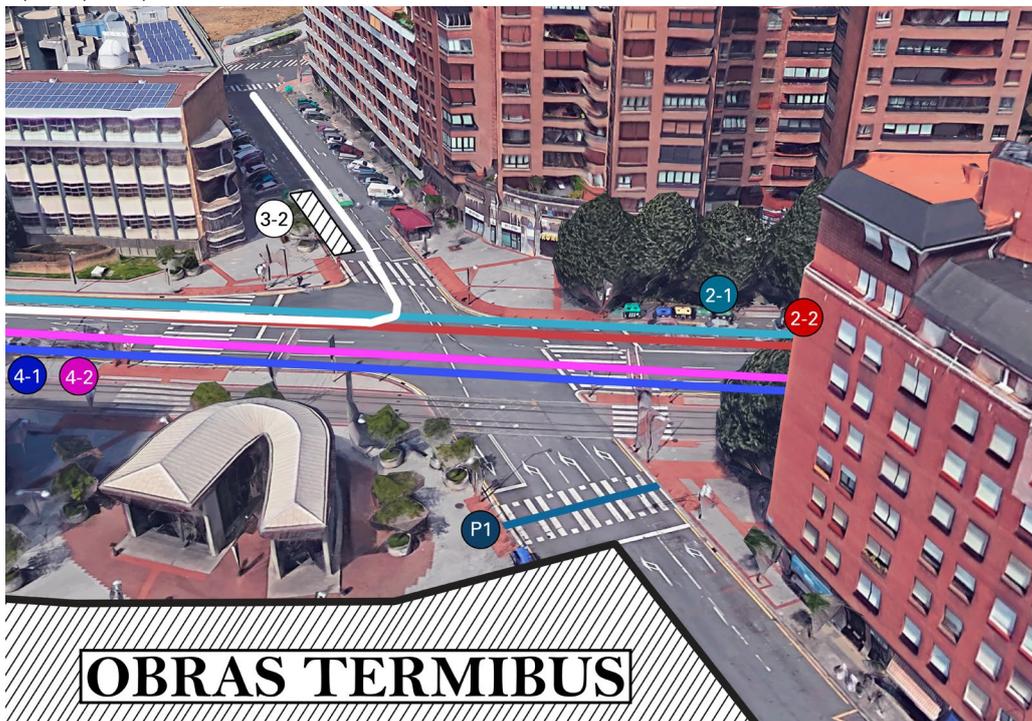


Ilustración 3-4 Estado-1

Estado-2: Este estado se da durante 22 segundos y permite el paso de 1-1, 1-2, P2, P3.

Ilustración 3-5 Estado-2

Estado-3: Este tercer estado dura 19 segundos y da paso a 3-1, P1, P4.

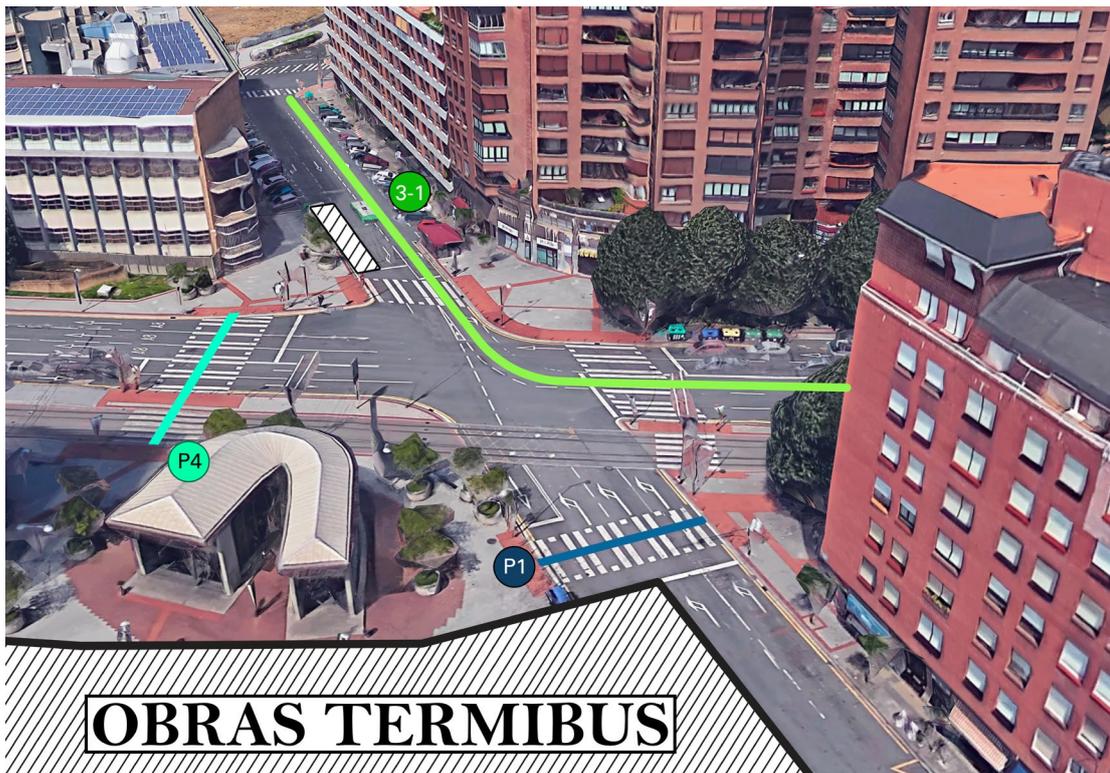


Ilustración 3-6 Estado-3

Para dejar estos datos con mejor acceso se rellena la siguiente tabla:

Tabla 1 Estados intersección

	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2	4-1	4-2	P1	P2	P3	P4
ESTADO1			✓	✓		✓	✓	✓	✓			
ESTADO2	✓	✓								✓	✓	
ESTADO3					✓				✓			✓

Con estos datos queda claro que hay 3 estados que permiten el paso en diferentes semáforos .

El paso de un estado a otro, que dota de seguridad al sistema, pasa por un periodo de 5 segundos de margen.

Con esto tenemos que estos estados se repiten cíclicamente cada 1min y 50 segundos.

3.3.6 DESARROLLO DE LOS ESTADOS

En un sistema complejo como es este, se puede ver que al habilitar un semáforo estamos a mandando a los clientes que estaban esperando en un semáforo al nuevo semáforo , por lo que es un sistema que se retroalimenta.

Para la simplificación de los cálculos , vamos a tomar cada semáforo como un sistema aislado del resto , resolveremos estos sistemas aislados y luego relacionaremos los resultados obtenidos.

Mediante la observación se ha llegado a la conclusión de que se pueden dar 3 estados en el flujo de vehículos en cada semáforo y esto depende de la situación del semáforo que rige dicho flujo de vehículos.

- **CASO 1:** El primer caso se da cuando el semáforo lleva en verde un tiempo determinado, el flujo de vehículos es constante , se desglosará en *Teoría De Colas*.
- **CASO 2:** Cuando el semáforo no permite el tránsito es decir está en rojo los vehículos que llegan tienen que esperar detrás de los vehículos que habían llegado antes que él al sistema.
- **CASO 3:** Este caso ocurre cuando se pasa del caso 2 al 1 es decir el semáforo se pone en verde , los vehículos que estaban parados comienzan a circular.

3.3.7 PEATONES

A diferencia de los vehículos , el tiempo de espera de los peatones no depende del número de peatones que hay en el sistema o su orden de llegada, el tiempo de circulación de cada peatón solo depende de las condiciones físicas de este.

3.4 TEORÍA DE COLAS

Una vez descritos los diferentes papeles que me voy a encontrar , hay que estudiar cómo interactúan entre ellos para determinar ante qué tipo de cola nos encontramos.

Iremos obteniendo el tipo de cola ante el que estamos según los datos obtenidos y gracias a la observación.

3.4.1 TIPOS DE COLAS

Para determinar el tipo de cola ante el que estamos se utilizara la notación Kendall , esta notación tiene la siguiente forma : $A/S/c/K/N/D$

- **A:** Indica distribución de las llegadas
 - M: Markoviano sin memoria
 - D: Determinista
 - G: General
 - E: Erlang
- **S:** Señala la distribución de los tiempos de servicio
 - (Iguual que A)
- **c:** Numero de servidores en paralelo
- **K:** Disciplina de servicio
 - FIFO: First In First Out
 - LIFO: Last In First Out
 - SIRO: Service In Random Order
 - PNP: Priority service
- **N:** Numero de posiciones en el sistema
- **D:** Tamaño población

Teniendo en cuenta todos estos parámetros se analiza nuestro sistema para determinar ante qué tipo de cola nos encontramos.

3.4.2 SEGÚN ATENCIÓN LLEGADAS (K)

Vamos a determinar el tipo de cola según el orden en el que son atendidos los usuarios que llegan a este.

En este sistema, el vehículo que primero llega es el primero que va a pasar por lo que podemos determinar que estamos frente a un sistema FIFO (First In First Out)



Ilustración 3-7 Esquema FIFO

3.4.3 SEGÚN TIEMPO DE SERVICIO (S)

Desde un inicio este proyecto nace para proponer un sistema alternativo al sistema de tiempos de semáforos fijos, por lo que estamos ante un sistema de tiempos de servicio deterministas.

Es decir conocemos en todo momento la duración exacta de los tiempos de los semáforos obteniendo tiempos de servicio constantes.

3.4.4 SEGÚN TIEMPOS DE LLEGADAS (A)

Para comprobar ante qué tipo de cola estamos en función de la distribución de la llegadas de los clientes al sistema hay que hacer uso de las medidas obtenidas.

Las muestras analizadas se han insertado en Excel y se ha realizado un gráfico para observar *Distribución de Llegadas*.

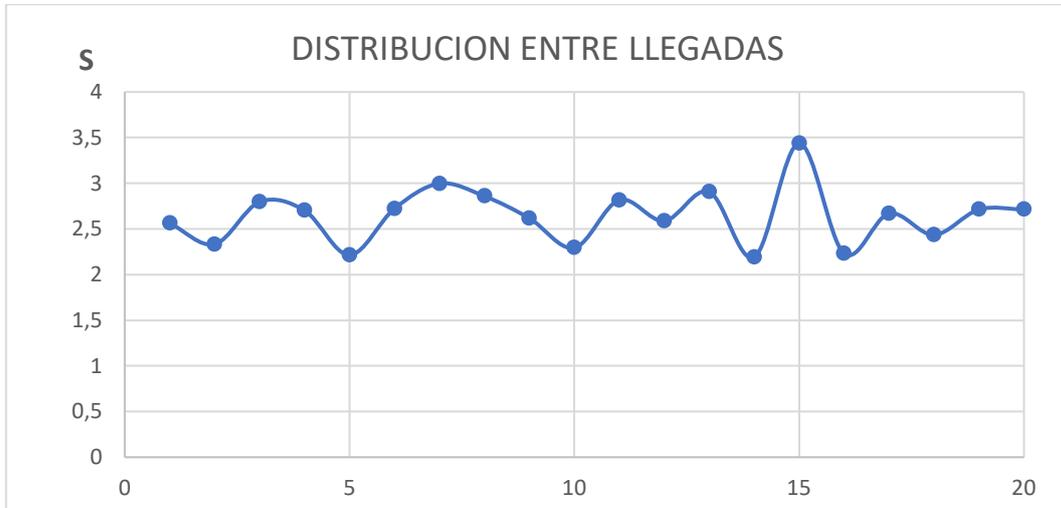


Ilustración 3-8 Distribución de llegadas

Este gráfico *Distribución de llegadas* corresponde al caso en el que semáforo está en verde (CASO1) y se puede ver que la distribución entre llegadas se asemeja más a una línea recta con media en **2.64 s**.

Para obtener una gráfica más exacta y poder corroborar totalmente la distribución deberíamos tomar un gran número de muestras.

Para el caso en el que el semáforo pasa de rojo a verde , es decir se empieza permitir el flujo de vehículos, si estuviésemos en un sistema ideal el flujo de vehículos se asemejaría a *Distribución exponencial* ya que podrían acelerar todos a la vez.

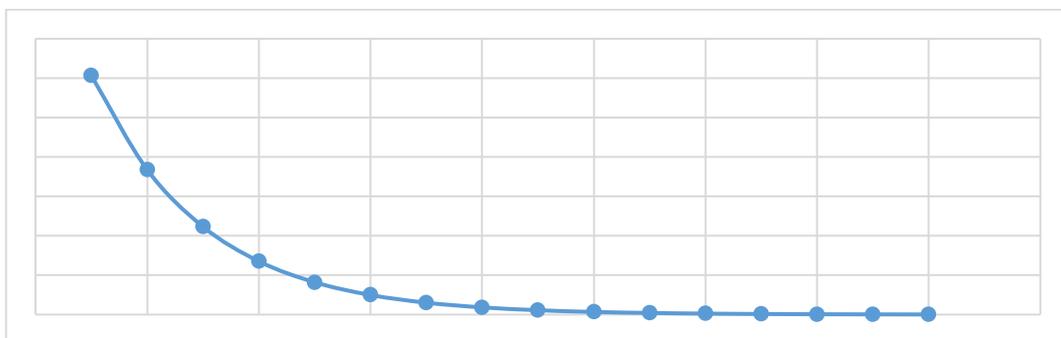


Ilustración 3-9 Distribución exponencial

Pero en este sistema real hay un tiempo de reacción para los conductores que hace que la distribución de tiempos entre vehículos siga la siguiente gráfica *Distribución Salidas* que podríamos considerar constante con media en **3 s**.

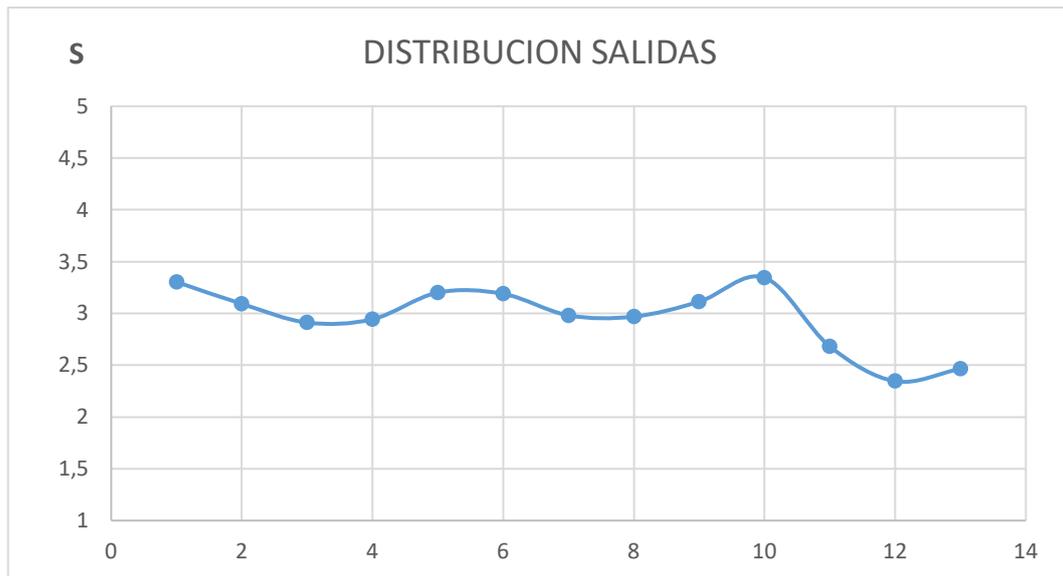


Ilustración 3-10 Distribución Salidas

3.4.5 SEGÚN EL NÚMERO DE SERVIDORES (c)

En este sistema el semáforo es habitualmente compartido por más de una cola pero no es relevante , el semáforo solo indica el estado del servidor , para este proyecto se ha tomado cada carril como servidores independientes por lo que estamos frente a múltiples sistemas con un solo servidor.

3.4.6 CONCLUSIÓN

Viendo las diferentes cualidades de nuestro sistema en función de los diferentes parámetros:

- Tiempos de servicio constantes
- Tiempos constantes de llegadas
- 1 servidor
- Atención de llegadas FIFO
- Determinamos que estamos frente a un sistema **D/D/1**

3.5 RESULTADOS

Una vez determinado que nos encontramos ante una cola D/D/1 podemos darle más utilidad a las medias obtenidas y así realizar ciertos cálculos para determinar el tiempo medio de espera de un cliente en este sistema.

3.5.1 D/D/1

Un sistema tipo D/D/1 nos indica que estamos en un caso con 1 servidor , disciplina FIFO y con tiempos de servicio y llegadas constantes.

En este tipo de sistema no se formará cola siempre que $\lambda < \mu$ (D/D/1 $\lambda < \mu$)

Ya que el servidor será capaz de aceptar más clientes de los que llegan.

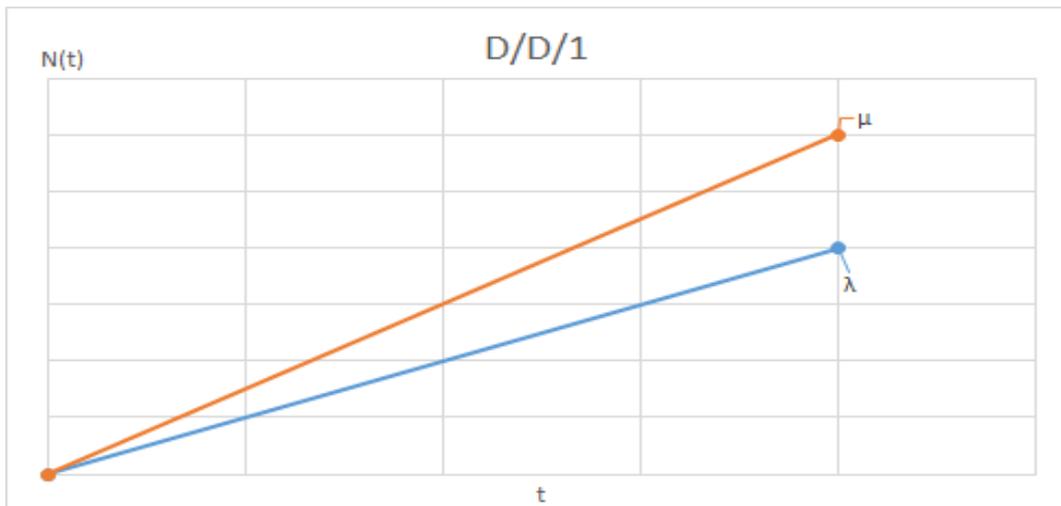


Ilustración 3-11 D/D/1 $\lambda < \mu$

Cuando $\lambda = \mu$ (D/D/1 $\lambda = \mu$) tampoco se formará cola, el servidor acepta los clientes en el instante en el que llegan.

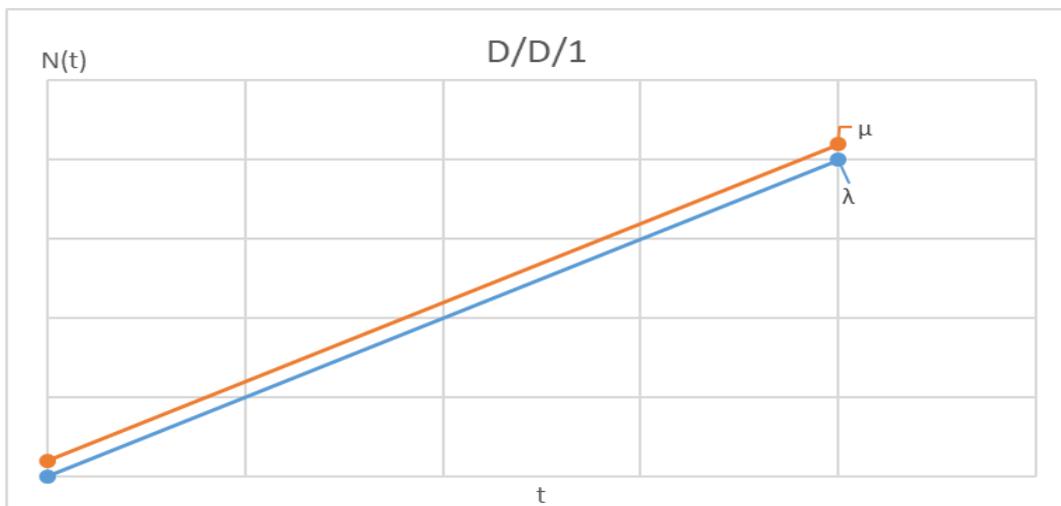


Ilustración 3-12 D/D/1 $\lambda = \mu$

En el momento que $\lambda > \mu$ (D/D/1 $\lambda > \mu$) se empezará a formar cola, si esta situación se prolonga en el tiempo se formara una cola infinita.

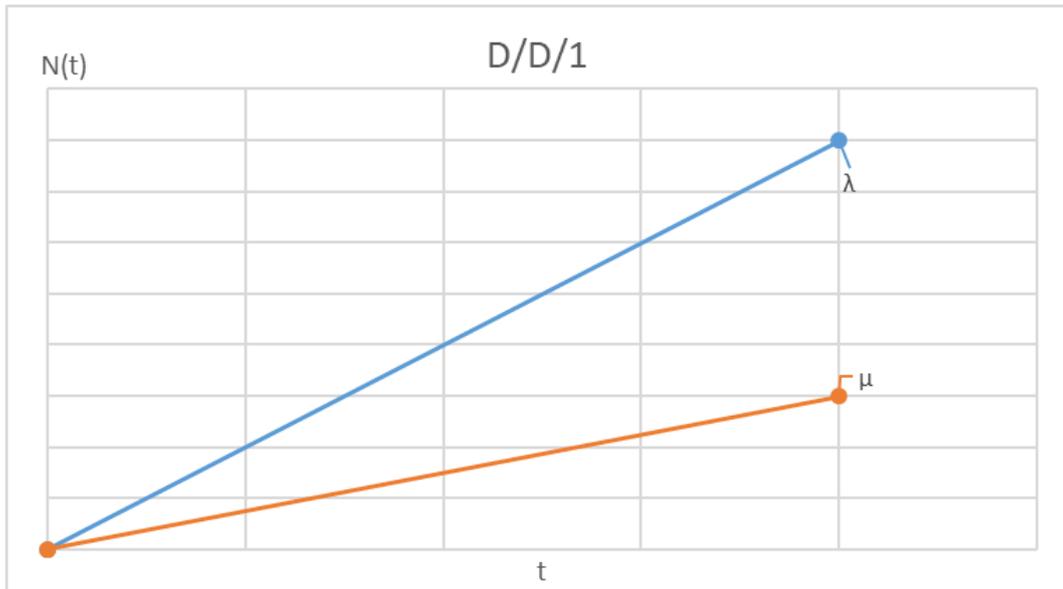


Ilustración 3-13 D/D/1 $\lambda > \mu$

Si partimos de la situación anterior en que $\lambda_1 > \mu$ y pasamos a un estado en el que $\lambda_2 < \mu$ (*D/D/1 Convergencia*) la cola que se había formado se va a disipar ya que el tiempo de llegadas en este segundo instante será menor que el tiempo de servicio.

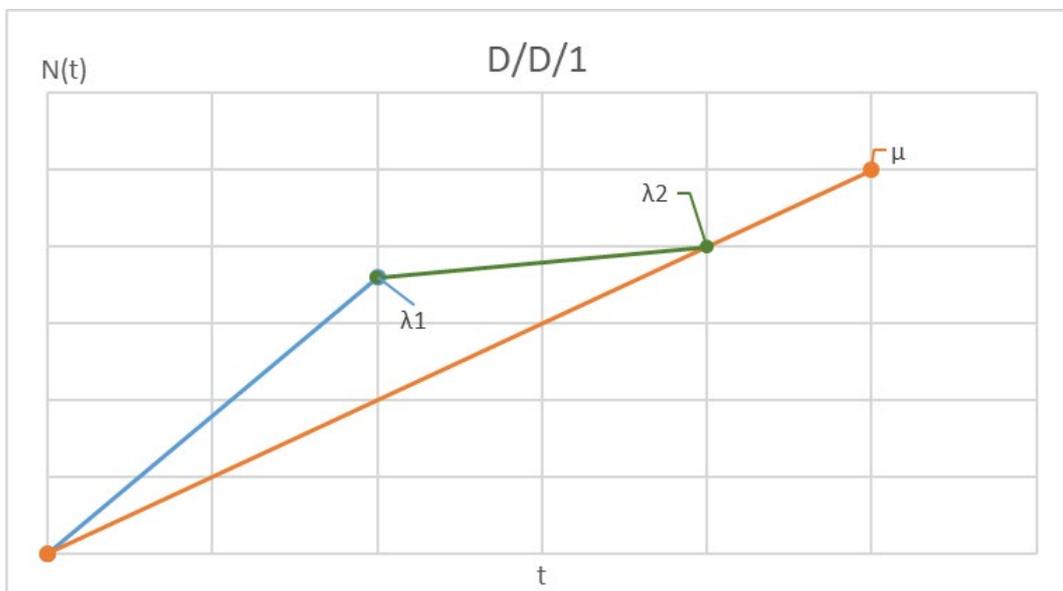


Ilustración 3-14 D/D/1 Convergencia

3.5.2 TASA DE LLEGADAS (λ)

En apartados anteriores (*Distribución de llegadas*) se observa que estábamos en un sistema con llegadas constantes.

Para obtener este valor se ha hecho uso de la hoja Excel adjunta, con el cronómetro creado se contabiliza cuando un vehículo pasa por la línea que delimita una vía con la intersección y se obtiene una serie de puntos distribuidos en el tiempo.

Restando cada punto con el punto del instante anterior se obtiene el tiempo entre vehículos (*Distribución de Llegadas*) y se realiza la media de las diferentes mediciones para obtener un valor más exacto.

Vamos a calcular la tasa de llegadas para el caso en el que el semáforo está en verde. Para obtener el valor de λ se invierte el valor obtenido de la media entre los tiempos de llegadas multiplicándolo por 60 y así se obtiene el número de vehículos que ingresan al sistema por minuto, los valores obtenidos se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla 2 Tiempos entre llegadas semáforo verde

	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2	4-1	4-2
λ	0	0	20.48	26.38	0	9.34	20.62	21.91

Como podemos ver los semáforos 1-1, 1-2, 3-1 tienen unas tasas de llegadas de 0, es decir cuando el semáforo se pone en verde no llega ningún vehículo nuevo sino que sirve para descongestionar la cola producida durante el resto de estados (*D/D/1 Convergencia*).

La tasa de llegadas para el periodo en que está en rojo se ha calculado como : $\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ Vehiculos Rojo}}{T \text{ Rojo}} * 60$.

Y para el caso en que se pasa de rojo a verde se estimó que cada vehículo necesitaba (3s*Posición cola) (*Distribución Salidas*).

3.5.3 TIEMPO DE SERVICIO (μ)

Para el tiempo de servicio de los semáforo hay que tener en cuenta que se está frente a un sistema no ideal utilizado por seres humanos.

En un sistema ideal el tiempo de servicio sería : $\mu = \frac{\text{Velocidad Maxima Via}}{\text{Longitud Vehiculo}} * 60$, teniendo en cuenta que la intersección se encuentra en zona urbana y la longitud media de un vehículo es 5 metros ,obtendríamos un valor de $\mu=165$ vehículos / minuto.

En un sistema real, el máximo flujo de vehículos no se va a producir cuando estos van a la máxima velocidad permitida de la vía ya que ante gran flujo de vehículos se tiende a ser precavido y los vehículos no van a ir uno detrás de otro sino que se deja una cierta distancia de seguridad.

La velocidad a la que circularán los vehículos en el caso con mayor flujo de vehículos depende de la vía, se ha tomado 40km/h en las vías que continúan recto y 20km/h en aquella que hay que realizar un giro.

Se ha determinado que se dejan 7m de espacio con el vehículo de delante en el instante de máximo flujo, con estos valores y utilizando :

$$\mu = \frac{\text{Velocidad Adecuada Via}}{(\text{Longitud Vehiculo} + 2 * \text{Distancia seguridad})} * 60$$

Se ha obtenido la siguiente tabla:

Tabla 3 Número máximo de vehículos por minuto

	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2	4-1	4-2
μ	17.54	17.54	35.09	35.09	17.54	17.54	35.09	35.09

3.5.4 TIEMPO DE ESPERA

En este punto se abordará el objetivo final de este apartado (*SITUACIÓN ACTUAL*) utilizando todos los apartados y valores calculados se obtendrá un tiempo medio de espera para cualquier vehículo que llegue a esta intersección.

Para lograr esto primero se calcula el tiempo medio de espera en cada carril y luego se hallará la media ponderada según el flujo de vehículos.

Los tiempos de espera en cada semáforo depende del estado del semáforo en el momento de llegada de los vehículos.

CASO1: El caso 1 como se ha visto antes se da cuando el servidor está ON (Verde) utilizando lo que se ha explicado en las colas (*D/D/1*) tenemos que comprobar el valor de $\rho = \lambda/\mu$.

Si $\rho \leq 1 \rightarrow \lambda \leq \mu$ - No se produce cola por lo que :

$$T = 0s$$

Si $\rho > 1 \rightarrow \lambda > \mu$ - Se produce cola y el tiempo de espera es:

$$T = (\lambda - \mu) * 3s$$

CASO2: En este caso el servidor está OFF (Rojo) y como se ha visto en (*D/D/1*) $\mu=0 \rightarrow \lambda > \mu \rightarrow$ se forma cola.

Al llegar a este estado la estadística indica que se llega a mitad de este estado \rightarrow se encuentra en la mitad de la cola.

$$T = \frac{\text{Vehiculos en Rojo}}{2} * 3s + \frac{\text{Tiempo Rojo}}{2}$$

CASO3: Este caso se produce como transición entre el caso 2 y 1 , en este caso se da (*D/D/1 Convergencia*) es decir la cola se está disolviendo. por estadística se llega en mitad de desalojo de la cola por lo que:

$$T = \frac{\text{Vehiculos en Rojo}}{2} * 3s$$

Para obtener el tiempo medio de espera en cada semáforo se realiza una media ponderada de estos 3 casos con el porcentaje de vehículos a los que afecta cada uno, es decir:

$$T = \frac{\text{Vehiculos Verde}}{\text{Vehiculos Totales}} * T_1 + \frac{\text{Vehiculos Rojo}}{2 * \text{Vehiculos Totales}} * T_2 + \frac{\text{Vehiculos Rojo}}{2 * \text{Vehiculos Totales}} * T_3$$

Obtenemos los siguientes valores:

Tabla 4 Tiempo medio espera por carril

	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2	4-1	4-2
T_1	0	0	0	0	0	0	0	0
T_2	51.64	53.2	39	48	51.5	40.12	43.13	43.5
T_3	9.64	10.11	9	18	4.5	12.13	13.13	13.5
T	26.52	28.15	8.38	15.37	21	19.21	12.46	10.13

Ahora que tenemos el tiempo medio de espera en cada carril , utilizando el número de vehículos en cada uno de estos carriles realizo la media ponderada.

Tabla 5 Número vehículos por carril

	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2	4-1	4-2
Nº Vehículos	6.43	6.7	17.17	25.75	3	13.71	19.75	25.33

Con estos datos se determina que en esta intersección hay un flujo de 117.84 vehículos cada ciclo (1min 50s).

Con estos valores podemos calcular el tiempo medio en todo el sistema:

$$T = \frac{V_{1.1}}{V_T} * T_{1.1} + \frac{V_{1.2}}{V_T} * T_{1.2} + \frac{V_{2.1}}{V_T} * T_{2.1} + \frac{V_{2.2}}{V_T} * T_{2.2} + \frac{V_{3.1}}{V_T} * T_{3.1} + \frac{V_{3.2}}{V_T} * T_{3.2} + \frac{V_{4.1}}{V_T} * T_{4.1} + \frac{V_{4.2}}{V_T} * T_{4.2}$$

Con esta fórmula obtenemos que el tiempo medio de espera en esta intersección para los vehículos es **14.65s**.

Para calcular el tiempo medio de espera para los peatones se calcula la probabilidad de encontrar el semáforo en rojo por el periodo de cada ciclo (1min 50s).

$$Prb = \frac{\text{Tiempo en Rojo}}{\text{Tiempo total}}$$

Obtenemos la siguiente tabla de probabilidades de que el semáforo de peatones esté en rojo :

Tabla 6 Probabilidades semáforo peatones en rojo

	P1	P2	P3	P4
Prb	23	77	77	80

En la siguiente tabla se muestra el tiempo medio de espera

Tabla 7 Tiempo medio espera en peatones

	P1	P2	P3	P4
T	25.3	84.7	84.7	88

Si el flujo de peatones fuese igual en todos los semáforos obtendríamos un tiempo medio de espera de **70.68s**. Este valor podría ser más exacto si se analizase el flujo de peatones en cada uno de los semáforos.

3.5.5 CONCLUSIÓN

Se ha obtenido que el tiempo medio de espera de esta intersección para vehículos es **14.65s**, es decir cualquier vehículo que entre en esta intersección por cualquiera de sus vías va a tener que esperar 14.65 segundos hasta que pueda salir.

Por otro lado cuándo un peatón llegue a esta intersección deberá esperar una media de **70.68s**.

A partir de estos resultados y a los datos analizados se puede construir un sistema que simule el comportamiento actual de la vía y de sus usuarios gracias a los datos analizados.

Una vez que tenemos estos valores es necesario crear un algoritmo que sustituya al sistema actual y sea capaz de mejorar las marca teóricas de 14.65 para vehículos y 70.68 para peatones lo suficiente como para que resulte rentable la sustitución.

4 | OBJETIVOS Y ALCANCE

El alcance de este proyecto es construir un software capaz de regular el tráfico de semáforos en tiempo real. Para ello, se pretende desarrollar un software capaz de detectar, regular y controlar los semáforos de manera segura y en tiempo real atendiendo a la situación actual del tráfico en las vías. Además, se plantea realizar la correspondiente implementación hardware del sistema en un entorno real de tráfico de la ciudad de Bilbao.

Por lo tanto, se entregará un producto implementado en las calles de Bilbao que sea capaz de regular el tráfico en tiempo real de manera segura, aportando los beneficios mencionados.

Para definir correctamente el alcance del proyecto, se incluye la Estructura de Descomposición del Trabajo (WBS-EDT), donde se muestran los distintos entregables del Proyecto comenzando por la fase Software.

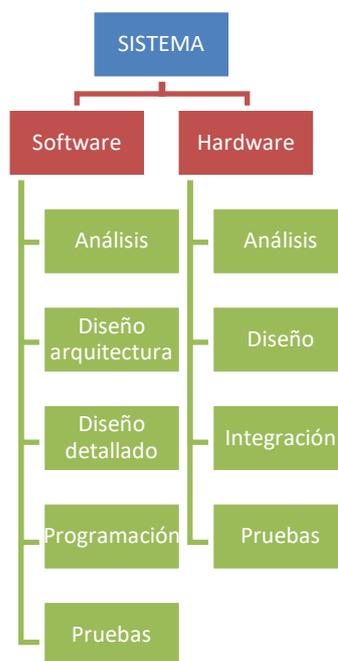


Ilustración 4-1 Estructura de Descomposición del Trabajo (WBS-EDT)

4.1 OBJETIVO PRINCIPAL

El objetivo principal de este proyecto es construir un software capaz de regular el tráfico de semáforos en tiempo real, que denominamos sistema T-lights. Para ello, se propone una arquitectura basada en tres módulos principales: detección, inteligencia y control.

El módulo de detección se trata de un sistema capaz de identificar el tráfico existente en tiempo real, obteniendo datos y estadísticas que modelen la situación del tráfico en las distintas vías, tanto vehículos como peatones.

En cuanto al módulo de inteligencia, es el encargado de proponer la solución óptima para resolver las colas de tráfico existentes a raíz de los datos proporcionados por el módulo de detección. Implementará unos algoritmos capaces de asignar prioridad a un flujo de tráfico u otro en función del escenario en el que se encuentre la vía.

Finalmente, el módulo de control es el responsable de la gestión segura de los semáforos y otros dispositivos de control de vías, de manera que no existan conflictos a la hora de permitir el paso de los vehículos y peatones. Mandará comandos de control a los semáforos para las transiciones de un estado a otro.

La idea principal del proyecto es llegar a implantar este software en entornos de tráfico reales. Sin embargo, debido a la escalabilidad y el tiempo del proyecto, he decidido centrar el desarrollo del sistema en una prueba de concepto que se explicará a continuación.

4.2 OBJETIVO PARCIAL

Como objetivo parcial para este ejercicio lectivo (2018-2019), he decidido desarrollar un entorno de simulación de tráfico para probar el sistema T-lights como prueba de concepto.

El entorno de simulación consta de un simulador de distintos escenarios de tráfico con vehículos y peatones. El comportamiento de estos es configurable mediante una interfaz de menú con parámetros variables. Además, se plantea que el sistema pueda manejar topologías de tráfico editables y configurables.

Este entorno no es más que un medio para implementar el sistema T-lights con la regulación de semáforos dinámica. Una combinación de los dos bloques integrados del proyecto (simulador y sistema T-lights) completarán el objetivo marcado para este año.

Como añadido y ampliable al proyecto, se plantea diseñar un sistema backup que sirva para conseguir una disponibilidad máxima y segura del sistema. Este sistema es capaz de detectar errores críticos en el sistema T-lights y alternar al sistema convencional de semáforos en caso de estos, intentando solucionar los errores que tuviera para una recuperación del sistema. En caso de que la recuperación no sea posible, el sistema backup notifica a los técnicos encargados del mantenimiento del sistema.

Como objetivo ampliable para ejercicios posteriores, marco la implementación del sistema T-lights en un entorno real de tráfico.

5 | BENEFICIOS

En cuanto a los beneficios de esta propuesta de proyecto, creo que T-lights supone una mejora en la tecnología cuyas ventajas se extienden a ámbitos técnicos, sociales, económicos e incluso medioambientales.

El Estado, en concreto aquellos organismos encargados de la regularización del tráfico (Ministerio de Obras Públicas para el caso de España) invierte fondos en la mejora del flujo y tráfico de usuarios. Sabemos que el semáforo nació de la necesidad de regular intersecciones entre usuarios, las prioridades de estos, evitar accidentes y mejorar el tráfico de las vías. El metro se diseñó para reservar una vía a un único tipo de vehículo así agilizando el flujo de personas. Se crean circunvalaciones, ensanchamiento de vías y rotondas para agilizar el tráfico... En conclusión, se puede ver una fuerte inversión en la mejora del tráfico en entornos urbanos e interurbanos en la que el sistema T-lights puede encontrar su mercado por la mejora que supone una regulación dinámica de los semáforos, lo que creo que es la evolución natural del semáforo.

Observando que el Estado tiene interés en mejorar el flujo de usuarios y en concreto en las ciudades donde el gran número de habitantes complica el desplazamiento de estos, T-lights ofrece ciertas mejoras al sistema convencional que permitiría obtener ciertas ventajas.

5.1 BENEFICIOS TÉCNICOS

T-lights ofrece una solución para mejorar el tráfico y seguir con la línea continuista de mejoras en el flujo de usuarios.

Con T-lights se mejoran los tiempos de espera creándose un adelanto técnico en la regularización por semáforos. En términos de calidad de servicio (QoS), mejorará debido a la teórica reducción de tiempos de espera por su carácter dinámico. Mejorando una pequeña cantidad de tiempo en cada semáforo, en ciudades con gran número de semáforos podría suponer una mejora sustancial.

Debido a que el sistema es capaz de adaptarse a las condiciones, mejoraríamos vías de gran uso en horas punta y el desplazamiento en horas de bajo flujo sería sin interrupciones.

Por otro lado, una propuesta dinámica a una solución que hasta ahora ha sido estática supone un perfeccionamiento en el aspecto técnico. Tener en cuenta el entorno de tráfico situacional para ajustarse en tiempo real a las características de la vía es aportar y dotar de beneficio técnico a un sistema que puede renovarse con las nuevas tecnologías.

La evolución del software y las nuevas vertientes tecnológicas están dando paso a algoritmos basados en el comportamiento de los usuarios, donde podemos situar este proyecto por su naturaleza. Este software tiene cabida en ese mundo de las nuevas tecnologías.

La tendencia de la industria tecnológica hacia el Internet de las cosas (IoT) hace que este tipo de sistemas, basados en la comunicación de los distintos dispositivos, tengan su lugar en el mundo de las comunicaciones. El sistema T-lights tendría cabida en este nuevo paradigma que se presenta con esta nueva tendencia.

5.2 BENEFICIOS ECONÓMICOS

Una deficiencia en los tiempos de espera supone pérdidas económicas tanto para el estado como para los usuarios ya que supone una reducción de la productividad y tiempos perdidos en los desplazamientos además de un gasto innecesario de combustible.

En Holanda, donde ya han empezado a utilizar sistemas de gestión de semáforos inteligentes, las reducciones de tiempos de espera pueden llegar a evitar atascos hasta un 10% durante las horas punta en las intersecciones.

Creo que una adecuada y optimizada gestión de los semáforos y las vías de tráfico, en general, mejoran la calidad de vida de los usuarios aumentando su productividad. Además, allí donde se aplique el sistema T-lights supondrá un atractivo para el lugar donde se implante por su capacidad de adaptarse al entorno y a las necesidades de los usuarios, lo que supone beneficios monetarios de manera indirecta.

Esta nueva gestión de semáforos permite, además, evitar grandes atascos y retenciones en vías con alta demanda, lo que supone un beneficio capital para los organismos reguladores de la ciudad.

5.3 BENEFICIOS SOCIALES

T-lights supondría en términos de calidad de experiencia (QoE) una mejora en la calidad de vida de los usuarios evitando los frustrantes tiempos de espera, permitiendo ahorrar cierto tiempo perdido en el desplazamiento.

Dar prioridad a los vehículos de emergencia supone un incremento de la seguridad ya que son vehículos a gran velocidad que se saltan normas de circulación.

Una gestión en los semáforos de peatones permitiría que se les de paso si no hay vehículos circulando evitando que estos crucen los semáforos en rojo cuando no hay vehículos así aumentado la seguridad en estos cruces, en España se producen 10.0000 atropellos en zonas urbanas al año, gran parte por cruzar semáforos en rojo.

Introducir cámaras u otro tipo de sensor en cada semáforo permitirá determinar causas de accidentes e intentar implantar medidas para solucionarlos.

5.4 BENEFICIOS MEDIOAMBIENTALES

En cuanto al impacto medioambiental, si reducimos el tiempo medio que los automóviles están en funcionamiento T-lights estaría reduciendo las emisiones de CO2 y más gases de efecto invernadero.

Dando prioridad al transporte público mejora el funcionamiento de este reduciendo en gran medida sus tiempos de espera y así promoviendo su uso frente a vehículos personales.

Este software demuestra un compromiso medioambiental tan necesario en estos días, por el gran impacto medioambiental en el consumo excesivo de combustible. La preocupante contaminación producida por los vehículos se vería reducida por una mejor fluidez debido a la reducción de los tiempos de espera.

6 | ESPECIFICACIONES

En este apartado se desglosarán las especificaciones necesarias para la creación de un software de gestión de semáforos.

6.1 ARQUITECTURA

- El sistema se dividirá en dos bloques independientes, el simulador y el algoritmo T-lights.
- Ambos bloques deben ser totalmente funcionales independientemente del otro, obteniendo alta cohesión y bajo acoplamiento.
- Debe existir una comunicación entre el simulador y T-lights.

6.1.1 Sistema T-lights

- T-lights se desarrollará en JAVA y está encargado de la gestión de los semáforos de cada intersección con los valores que optimicen el tráfico.
- El sistema T-lights constará de 3 módulos o subsistemas (detección, inteligencia y control) que realizarán las funciones necesarias.
- Los 3 módulos deben realizar funciones independientes y comunicarse entre ellos.
- El sistema T-lights debe tener un cómputo lo suficientemente rápido como para ser imperceptible para el usuario.

I Detección

- El subsistema de detección detectará objetos móviles y parados, contabilizando cada uno de estos.
- El subsistema de detección debe tener elementos capaces de detectar el tráfico en cada vía (vehicular o peatonal).
- El módulo detección se encargará de transformar los datos que recibe del exterior para que sean entendibles y operables por el módulo inteligencia.
- A la entrada de este módulo se recogerán el momento de entrada y salida de un vehículo en una vía.
- A la salida obtendremos un listado de vehículos y la vía en que se encuentra junto con la posición de cada uno de ellos.

II Inteligencia

- El subsistema de inteligencia debe determinar dinámicamente cuales son los valores óptimos de resolución de problemas en función de las variables y condiciones.
- El módulo inteligencia debe de operar utilizando los datos en la entrada provistos por detección en momentos presentes y pasados para obtener que vía tiene mayor prioridad.
- Los factores que el modulo inteligencia debe tener en cuenta son: tiempo que un usuario lleva esperando, tiempo que una vía lleva en verde, cantidad de usuarios en cada vía, prioridad de cada tipo de usuario, tiempos máximos de espera.
-

- A la salida de este módulo debe indicar que conjunto de vías tiene la mayor prioridad.

III Control

- El módulo control debe llevar a cabo lo que ha determinado el módulo de inteligencia.
- A la salida del módulo de control se encontrarán las directivas para conmutar el estado del grupo de semáforos.
- El subsistema de control corroborará que solo hay un estado de semáforo activo por unidad de tiempo.

6.1.2 Simulador

- El simulador debe permitir la creación y personalización de escenarios virtuales basados en entornos reales.
- El simulador permitirá la introducción de una serie de parámetros que simulan una situación concreta.
- El simulador debe generar datos reales con los que el sistema T-lights pueda operar.
- El simulador se programará mediante PYTHON.
- El simulador se compone de 2 partes: la fase de generación, la representación visual y la toma de decisiones.
- Al principio se debe generar mediante un script y en función de unas variables el escenario y los usuarios con unas rutas a seguir.
- El resultado de este script se comenzará a ejecutar y se mostrará el resultado de forma gráfica.
- En tiempo real se recogerá la información de lo que está sucediendo en cada vía y se envía al sistema T-light que devolverá que semáforos conmutar.

6.1.3 Comunicación

- Ambos sistemas tienen que tener establecida una comunicación bidireccional para poder funcionar.
- La comunicación se realizará mediante librerías de Py4j.

6.2 MODULARIDAD Y ESCALABILIDAD

- El algoritmo debe entender cada intersección por separado para ahorrar en capacidad de cómputo y permitir instalaciones aisladas.
- El sistema tendrá en cuenta diferentes tipos de vehículos, con diferentes condiciones para el sistema.
 - Vehículos
 - Prioritarios (emergencias, transporte público...)
 - No prioritarios
 - Peatones

6.3 SEGURIDAD

- La base sobre la que se estructura T-lights es la seguridad para evitar accidentes.

- El sistema T-lights asigna una serie de estados que relacionan cada flujo de tráfico que no interfiere con otro y solo permitirá un estado activo cada vez evitando colisiones.

6.4 RESULTADOS

- Se requerirán datos con los resultados de la utilización de T-lights en un entorno concreto para poder estudiarlos y determinar los resultados.
- Los datos que almacenaremos para su posterior estudio son:
 - Tiempo medio de espera por usuario
 - Tiempo máximo de espera por usuario
 - Velocidad media de vehículos.
 - Medidas de CO2 en ppm en un periodo de tiempo.

7 | PROBLEMÁTICAS DE INGENIERÍA

En este apartado, se resumen y se describen brevemente las problemáticas más destacables de este proyecto. La finalidad es reunir las y consensuarlas para posteriormente desarrollar el análisis de alternativas de las mismas.

7.1 SELECCIÓN DEL ENTORNO GRÁFICO PARA LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA

El proyecto consta de dos grandes módulos que son el sistema T-LIGHTS y el entorno de simulación gráfica. Escoger el entorno gráfico no resulta tarea fácil.

En fases embrionarias del proyecto, ídeé utilizar un software base que encontré a través de la plataforma GitHub, pero resultaba complicada la fase de integración siguiendo las necesidades del sistema T-LIGHTS. Se deben estudiar el entorno gráfico a utilizar para demostrar el funcionamiento de este sistema.

7.2 DESARROLLO DE INGENIERÍA PARA LA INTELIGENCIA DEL SISTEMA

Creo que el valor de este proyecto reside en el sistema T-LIGHTS, concretamente, en el módulo de inteligencia. Se plantea un diseño para el control de semáforos dinámico que tenga en cuenta la situación del tráfico, lo que conlleva el desarrollo de una inteligencia que permita escoger de manera autónoma basándose en los datos obtenidos qué semáforo debe estar activo o inactivo. Cómo se va a realizar ese desarrollo es una problemática muy relevante en este proyecto que se debe estudiar.

7.3 COMUNICACIÓN ENTRE MÓDULOS PRINCIPALES

Como ya he mencionado, planteo el proyecto con dos módulos principales, que han de ser independientes. Sin embargo, estos módulos han de comunicarse mediante algún interfaz de comunicación. Estudiar cuál es el método y el lenguaje para la comunicación de estos dos módulos me ayudará a conseguir un proyecto cohesionado con una integración óptima.

8 | ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

8.1 SELECCIÓN DEL ENTORNO GRÁFICO PARA LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA

8.1.1 Traffic Simulation

Traffic Simulation (<http://www.traffic-simulation.de/>) es una herramienta de simulación de tráfico de código abierto disponible en GitHub. Está desarrollada en base a una librería de javascript denominada movsim que modela el comportamiento de los vehículos de manera realista.

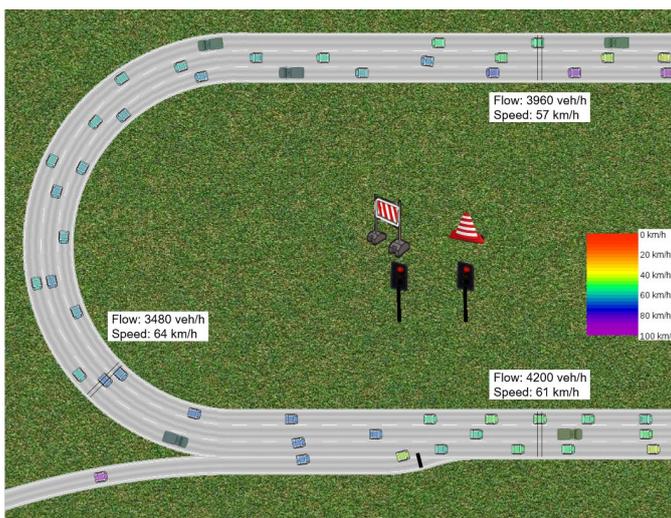


Ilustración 8-1 Simulación Traffic-Simulation

La herramienta, en general, es útil para simular cierto tipo de situaciones de tráfico y representa con realismo el comportamiento de los vehículos. Tiene semáforos implementados que podrían manejarse con facilidad. Por otro lado, la herramienta no contempla peatones

Sin embargo, a pesar de su potencial como simulador de vehículos, no tiene flexibilidad para dibujar escenarios y situaciones diversas. Está limitado a las posibilidades con las que se programó (una rotonda, una incorporación y un anillo) e incorporar y programar nuevos escenarios resulta muy complicado. Me puse en contacto con el autor de la herramienta para analizar la viabilidad de agregar nuevos escenarios y llegué a la conclusión de que era algo laborioso y complejo de desarrollar. Además, no existe interfaz de comunicación con la herramienta, por lo que se debería desarrollar una.

PROS	CONTRAS
<ul style="list-style-type: none">• Útil• Realista• Semáforos sencillos	<ul style="list-style-type: none">• No escalable y complicado• No hay interfaz de com.• No flexible ni extensible

8.1.2 SUMO

SUMO (<https://sumo.dlr.de/index.html>) es un paquete de simulación de tráfico de carreteras de código abierto y de alta portabilidad, diseñado para manejar grandes estructuras de tráfico.

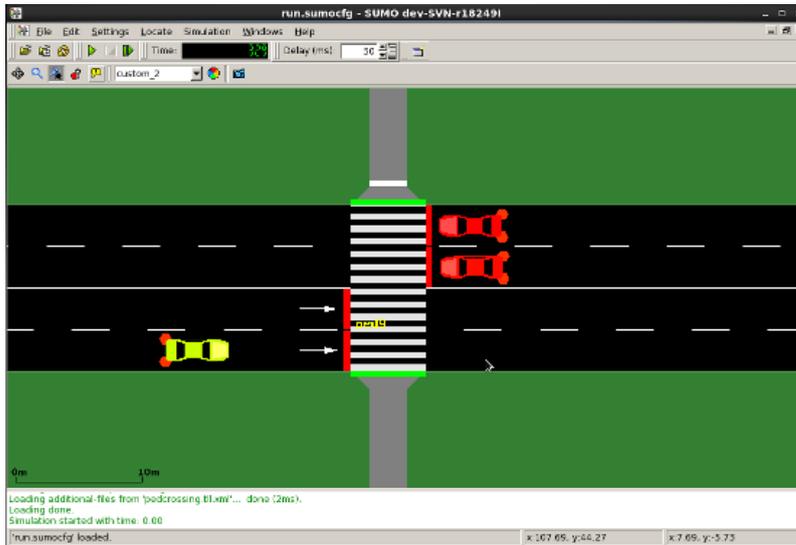


Ilustración 8-2 Simulación de SUMO

La herramienta posee muchas funcionalidades e incluye librerías de comunicación en Java y Python para utilizar como interfaces. Es muy flexible para elaborar diseños de carreteras muy complejos. Además, contempla vehículos y pasos de cebra. Tiene una interfaz muy comprensible y el entorno gráfico ilustra con detalle la complejidad del tráfico.

Aun así, parece que es un programa bastante complejo con muchas capas y posibilidades. Moverse en esa complejidad y comprenderla puede resultar muy difícil, costoso (time-consuming) y ambicioso para el alcance del proyecto.

PROS	CONTRAS
<ul style="list-style-type: none">• Flexible• Diseños complejos• Interfaz comprensible	<ul style="list-style-type: none">• Complejo (muchas capas)• Costoso• Muy ambicioso

8.1.3 Secuencias ANSI

Otra de las alternativas a contemplar es hacer una representación mediante secuencias ANSI que refleje el estado de la inteligencia de manera que se puedan ver gráficamente las funcionalidades de esta alternativa.

Puede ser una opción si quiero una alternativa sencilla. Podría servirme para ilustrar la situación de las colas y dibujar, de manera simple, un escenario de tráfico concreto.

Sin embargo, la opción es muy simplista, muy difícil de escalar y podría llevarme demasiado tiempo para un resultado bastante pobre.

PROS	CONTRAS
<ul style="list-style-type: none"> • Sencillo • Fácil de implementar 	<ul style="list-style-type: none"> • Simplista • Difícil de escalar • Time consuming

8.1.4 Representación básica

Si consideramos que las alternativas anteriores no son viables, podemos plantear la opción de no utilizar un entorno gráfico para la representación del sistema de control de tráfico.

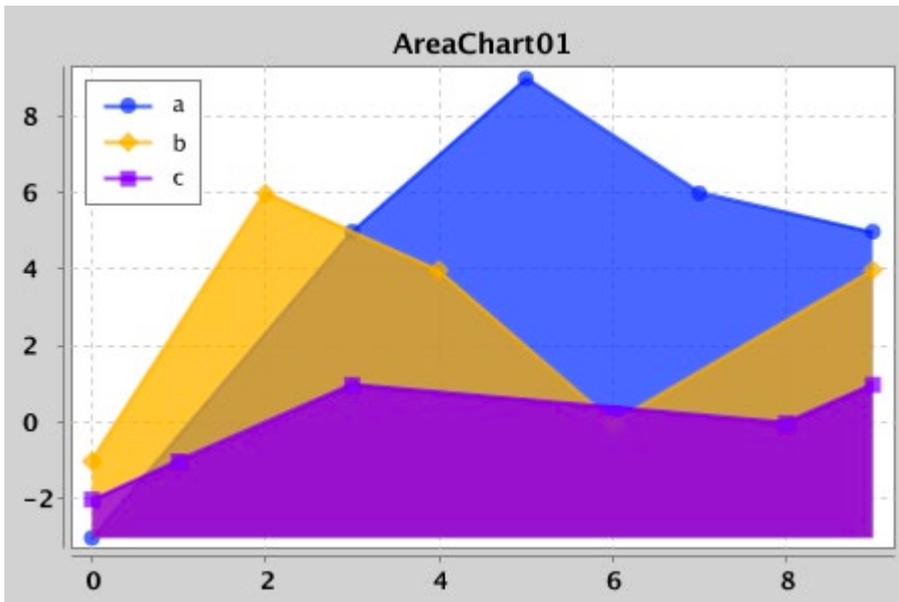


Ilustración 8-3 Representación 2D

En ese caso, ilustraríamos a través de unas gráficas el estado de la prioridad en las colas de tráfico y en la consola de programa, las actualizaciones de los semáforos.

Es una alternativa sencilla, que no requiere mucho tiempo y que permite demostrar el funcionamiento del sistema T-lights.

PROS	CONTRAS
<ul style="list-style-type: none"> • Sencillo • Fácil de implementar 	<ul style="list-style-type: none"> • Simplista • Poco representativo

8.2 DESARROLLO DE INGENIERÍA PARA LA INTELIGENCIA DEL SISTEMA

8.2.1 Función matemática para modelar las colas

Establecer una función que, recibiendo una serie de inputs del estado de las colas (vehículos, tiempos de espera, prioridades, peatones...), sea capaz de obtener un valor

que represente la prioridad de las colas de los distintos semáforos. De esta manera, el grupo de semáforos que más prioridad tenga según estas funciones será quien deba tener el paso.

Es una alternativa que requiere de una serie de ajustes para modelar bien el estado de las colas. En principio, podría ser una inteligencia robusta y escalable, además de flexible si se quiere modificar o ampliar. En cuanto al tiempo de desarrollo, la función está basada en el estudio que hizo uno de los integrantes del proyecto previamente.

PROS	CONTRAS
<ul style="list-style-type: none"> • Robusta • Escalable • Flexible 	<ul style="list-style-type: none"> • Sin aprendizaje • Difícil de ajustar al tráfico

8.2.2 Red neuronal

Una de las alternativas que contemplo para la implementación de la inteligencia del sistema es utilizar una red neuronal con un aprendizaje basado en el comportamiento de los vehículos. Este tipo de funcionamiento podría encajar bien con la naturaleza del proyecto.

La idea es establecer una serie de casos y situaciones y someter a la red de neuronas a un aprendizaje exhaustivo, cada vez mayor. De esta forma, la red podría saber cómo reaccionar ante cada situación de tráfico con la mejor solución posible.

Establecer una red neuronal con un aprendizaje robusto y extenso podría funcionar muy bien para resolver las situaciones de tráfico de la manera más rápida posible. Es una alternativa inteligente y escalable, pero requiere de un estudio del arte de las redes neuronales.

PROS	CONTRAS
<ul style="list-style-type: none"> • Robusta • Rápido • Escalable 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio del arte

8.2.3 Aprendizaje automático (machine learning)

El aprendizaje automático también podría encajar con la naturaleza del proyecto. Analizando los datos del comportamiento de las colas de los vehículos se podría establecer que colas deberían tener el paso con algoritmos de aprendizaje automático.

En el caso del proyecto, podría utilizarse un sistema basado en aprendizaje automático para que el algoritmo aprenda a resolver los distintos escenarios de tráfico que puedan surgir de manera automática.

Podría ser una buena alternativa para desarrollar un sistema que aprenda de sí mismo y sepa resolver el tráfico con este tipo de algoritmos. La solución sería interesante, pero necesita un estudio del arte.

PROS	CONTRAS
<ul style="list-style-type: none"> • Autoaprendizaje • Escalable 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio del arte

8.3 COMUNICACIÓN ENTRE MÓDULOS PRINCIPALES

La comunicación entre los módulos depende del entorno gráfico que seleccione para la representación del sistema T-lights.

8.3.1 Librerías de comunicación

El entorno gráfico de SUMO tiene librerías en Java y Python para la comunicación modular, que podría ser una muy buena opción para integrar los módulos principales del proyecto.

Sería la solución más rápida en caso de usar un entorno gráfico como SUMO. Sin embargo, parece que las librerías son difíciles de entender y aplicar por problemas de compatibilidad.

PROS	CONTRAS
<ul style="list-style-type: none"> • Rápida • Concreta 	<ul style="list-style-type: none"> • Difícil de utilizar • Compatibilidad

8.3.2 JSON / XML / TXT

Otra de las alternativas es utilizar lenguajes de texto marcados que sean accesibles por los sistemas para comunicar los datos y que sean necesarios para integrar los módulos principales. Un fichero que sea transferible y que sirva a los sistemas para escribir y leer las actualizaciones modulares.

Es una solución bastante práctica, pero habría que establecer el formato de los archivos para lograr una comunicación eficiente.

PROS	CONTRAS
<ul style="list-style-type: none"> • Práctica • Eficiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer formato de comunicación

8.3.3 Comunicación no necesaria

Si opto por no utilizar ningún entorno gráfico para la simulación, no será necesario escoger ningún medio para comunicarse. Implementaremos todo de manera local en un único sistema.

9 | SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Tras estudiar las problemáticas e identificar posibles alternativas para solucionar éstas, toca establecer una serie de criterios para la selección de la solución que mejor se adapte a la naturaleza del proyecto. Estos criterios han de ser lo más objetivos posibles y deben representar los objetivos del proyecto con el fin de conseguir un producto lo más afín a las especificaciones establecidas.

A continuación, se desarrolla el proceso de selección de las alternativas identificadas.

9.1 SELECCIÓN DEL ENTORNO GRÁFICO PARA LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA

9.1.1 Criterios de selección

Para poder valorar entre las diferentes alternativas tengo que desarrollar unos criterios de selección que en el caso del entorno grafico serán los siguientes:

- **Implantación: 25%.** Busco una solución fácil de implementar, que nos permita representar la realidad con bastante proximidad y establecer un entorno representativo.
- **Tiempo requerido 45%.** Debido al deadline, busco la solución más rápida. Es un proyecto con un recorrido relativamente pequeño y, además, considero que la mayor parte del tiempo de desarrollo debe tenerlo el algoritmo y el sistema T-lights. Como mencionaba previamente, el simulador solo es un medio para llegar a nuestro fin.
- **Resultado final: 20%.** Quiero entregar un proyecto que se ajuste lo más posible a la realidad. Por eso, valoro que el resultado final sea completo, representativo y visualmente comprensible y atractivo.
- **Flexibilidad: 10%.** Opto por poder representar el mayor número de escenarios posibles. Esta flexibilidad me permitirá construir un sistema que se adapte a cualquier situación y poder plantear la posterior implementación del sistema en cualquier escenario real.

9.1.2 Traffic Simulation

Tabla 8 Resultado alternativa grafica Traffic Simulation

Criterio	Porcentaje	Nota
Implantación	25	2
Tiempo Requerido	45	3
Resultado Final	20	8,5
Flexibilidad	10	5
RESULTADO	4,05	

9.1.3 SUMO

Tabla 9 Resultado alternativa gráfica SUMO

Criterio	Porcentaje	Nota
Implantación	25	8
Tiempo Requerido	45	5
Resultado Final	20	8
Flexibilidad	10	9
RESULTADO	6,75	

9.1.4 Secuencias ANSI

Tabla 10 Resultado alternativa gráfica Secuencias ANSI

Criterio	Porcentaje	Nota
Implantación	25	7
Tiempo Requerido	45	7
Resultado Final	20	2
Flexibilidad	10	1
RESULTADO	5,4	

9.1.5 Representación básica

Tabla 11 Resultado alternativa gráfica Representación gráfica

Criterio	Porcentaje	Nota
Implantación	25	8
Tiempo Requerido	45	8
Resultado Final	20	2
Flexibilidad	10	6
RESULTADO	6,6	

9.1.6 Resultado

Según los resultados obtenidos la mejor opción según mis criterios sería utilizar el software de SUMO.

9.2 DESARROLLO DE INGENIERÍA PARA LA INTELIGENCIA DEL SISTEMA

9.2.1 Criterios de selección

Para poder valorar entre las diferentes alternativas tengo que desarrollar unos criterios de selección que en el caso de la inteligencia serán los siguientes:

- **Implantación: 25%.** Busco un algoritmo fácil de implementar. Creo que el grosor del proyecto está en el algoritmo. Por eso, la implantación del mismo ha de tener una implantación que pudiera darse en un entorno real de tráfico.
- **Tiempo requerido 25%.** Debido al deadline, busco la solución más rápida. Es un proyecto con un recorrido relativamente pequeño y, además, considero que la mayor parte del tiempo de desarrollo debe tenerlo el algoritmo y el sistema T-lights. Como mencionaba previamente, el simulador solo es un medio para llegar al fin.
- **Estudio del arte 15%.** Algún miembro del equipo debería destinar cierto tiempo en aprender nuevas tecnologías. Este tiempo requerido tiene un impacto en la duración del proyecto y podría implicar cierta incertidumbre en cuanto a las capacidades de la tecnología.
- **Resultado final: 15%.** El algoritmo que se utilice debe ser capaz de ajustarse a lo requerido en cada momento. Debemos pensar que el resultado final que se obtenga será el encargado de regular el tráfico en las intersecciones.
- **Flexibilidad: 5%.** Se busca poder resolver el mayor número de casos posibles. Esto nos permitiría aplicar el algoritmo prácticamente en cualquier escenario de tráfico que se nos proponga.
- **Robustez: 10%.** El algoritmo ha de ser capaz de soportar multitud de casos diferentes. Un algoritmo de escasa robustez podría suponer un riesgo. Por eso, se busca un algoritmo robusto y preparado.
- **Eficiencia: 5%.** El algoritmo ha de ser capaz de administrar los recursos del sistema. Es importante que sea eficiente para permitir su implementación de la manera más sencilla posible.

9.2.2 Función matemática para modelar las colas

Tabla 12 Resultado alternativa inteligencia Función matemática

Criterio	Porcentaje	Nota
Implantación	25	7
Tiempo Requerido	25	4
Estudio del arte	15	4
Resultado final	15	9
Flexibilidad	5	9
Robustez	10	8
Eficiencia	5	7
RESULTADO	6,3	

9.2.3 Red neuronal

Tabla 13 Resultado alternativa inteligencia Red neuronal

Criterio	Porcentaje	Nota
Implantación	25	4
Tiempo Requerido	25	3
Estudio del arte	15	1
Resultado final	15	9
Flexibilidad	5	9
Robustez	10	9
Eficiencia	5	6
RESULTADO	4,9	

9.2.4 Aprendizaje automático (machine learning)

Tabla 14 Resultado alternativa inteligencia Machine learning

Criterio	Porcentaje	Nota
Implantación	25	3
Tiempo Requerido	25	2
Estudio del arte	15	2
Resultado final	15	8
Flexibilidad	5	9
Robustez	10	7
Eficiencia	5	6
RESULTADO	4,2	

9.2.5 Resultado

A la vista de los resultados la mejor opción sería optar por una función matemática que modele teoría de colas.

9.3 COMUNICACIÓN ENTRE MÓDULOS PRINCIPALES

9.3.1 Criterios de selección

Los criterios de selección para elegir el mejor método de comunicación entre los diferentes módulos son los siguientes:

- Implantación: 35%. La implementación a la hora de integrar es muy importante. He de que pensar que la comunicación de los módulos debe ser la apropiada.
- Tiempo requerido 35%. Debido al deadline, se busca la solución más rápida. Lo más apropiado para el proyecto es una integración sencilla y rápida, que permite llegar a la prueba de concepto en el tiempo establecido de proyecto.
- Estudio del arte 15%. Algún miembro del equipo debería destinar cierto tiempo en aprender nuevas tecnologías. Este tiempo requerido tiene un impacto en la duración del proyecto y podría implicar cierta incertidumbre en cuanto a las capacidades de la tecnología.
- Resultado final: 10%. El resultado final que se obtenga a partir de la integración ha de ser atractivo y ajustarse a los planteado en el proyecto.
- Eficiencia: 5%. Se pretende poder resolver el mayor número de casos posibles. La eficiencia de la comunicación es relevante a la hora de integrar módulos en distintos lenguajes.

9.3.2 Librerías de comunicación

Tabla 15 Resultado alternativa comunicación Librerías

Criterio	Porcentaje	Nota
Implantación	35	8
Tiempo Requerido	35	6
Estudio del arte	15	6
Resultado final	10	9
Eficiencia	5	9
RESULTADO	7,15	

9.3.3 JSON / XML / TXT

Tabla 16 Resultado alternativa comunicación Rest

Criterio	Porcentaje	Nota
Implantación	35	9
Tiempo Requerido	35	6
Estudio del arte	15	8,5
Resultado final	10	4
Eficiencia	5	4
RESULTADO	7,13	

9.3.4 Comunicación no necesaria

Si opto por no utilizar ningún entorno gráfico para la simulación, no será necesario escoger ningún medio para comunicarse. Implementar todo de manera local en un único sistema.

Tabla 17 Resultado alternativa comunicación Ninguna

Criterio	Porcentaje	Nota
Implantación	35	2
Tiempo Requerido	35	9
Estudio del arte	15	9
Resultado final	10	0
Eficiencia	5	1
RESULTADO	5,25	

9.3.5 Resultado

Viendo los resultados obtenidos la mejor opción y siguiendo mi criterio la mejor solución en este caso sería realizar una comunicación entre los diferentes módulos utilizando librerías específicas para ellos.

10 | PROPUESTA DE DISEÑO

Una vez escogidas las mejores alternativas para el proyecto, se describe la propuesta de diseño escogida para el desarrollo del software.

El proyecto se divide, como ya se ha mencionado, en dos bloques principales. Por un lado, el entorno de simulación y, por el otro lado, el sistema T-lights que aportará el dinamismo en la gestión y regulación de semáforos.

10.1 ARQUITECTURA

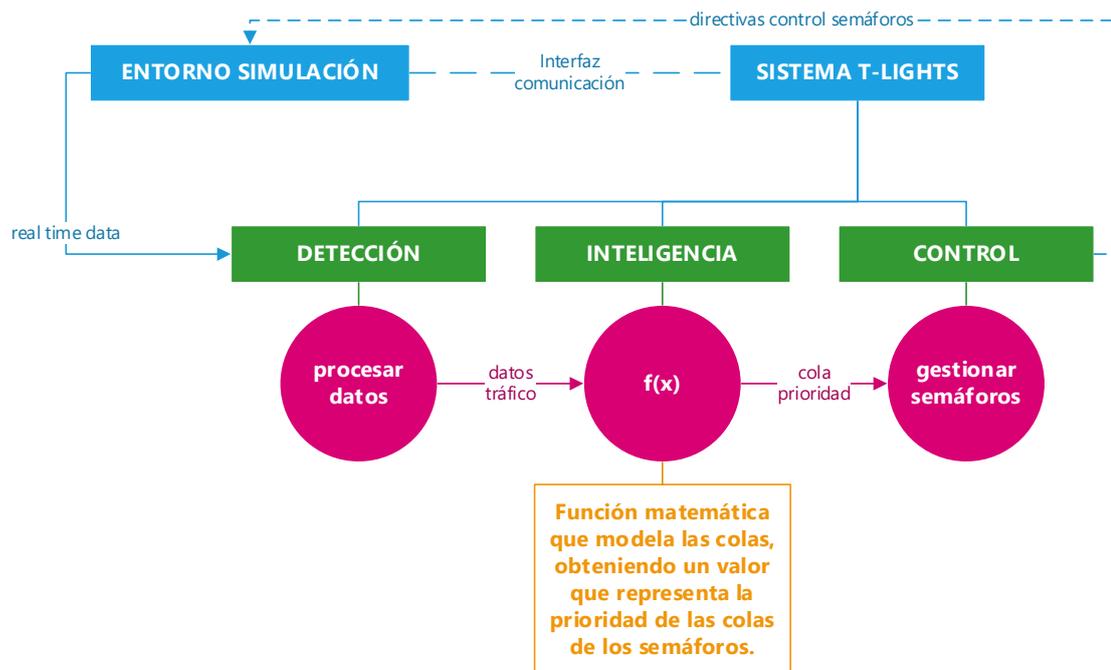


Ilustración 10-1 Arquitectura del sistema

El sistema T-Lights funciona mediante módulos, es decir, cada módulo actuará sobre una intersección de vías y es independiente del resto de intersecciones que puedan existir en la ciudad.

La misión de estos módulos es muy simple, integrar el sistema el sistema completo en cada intersección de manera independiente del resto, de esta forma se garantiza un sistema escalable.

El carácter modular permite la implantación en vías aisladas sin necesidad de una gran inversión inicial

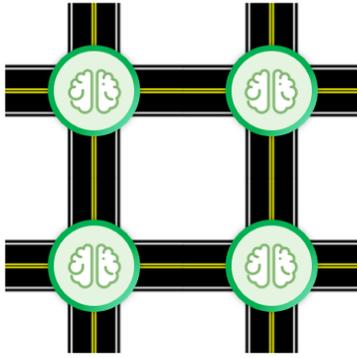


Ilustración 10-2 Esquema modularidad T-Lights

Cada módulo se comprende a su vez por un conjunto de semáforos, es decir, los semáforos que conforman la intersección. Estos semáforos se separan en diferentes grupos, donde los semáforos que pertenecen a un mismo grupo pueden ser activados a la vez sin generar colisiones.

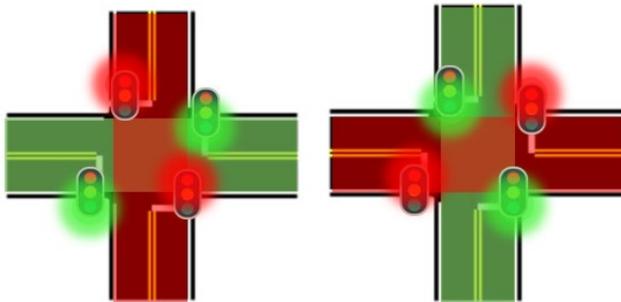


Ilustración 10-3 Caso básico de conmutación de grupos de semáforos

10.2 ENTORNO DE SIMULACIÓN

Para el entorno de simulación, se parte de un software base existente (disponible en <https://sumo.dlr.de/index.html>). Se utilizará la herramienta con la finalidad de simular el sistema que deseamos.

SUMO es un simulador de tráfico de código abierto y con alta portabilidad que permite diseñar y manejar grandes entornos de tráfico. Es una herramienta muy completa con gran capacidad que permite crear topologías y simular tráfico con todo tipo de usuarios: vehículos y peatones de clases distintas.

SUMO dispone de un creador de topologías llamado NETEDIT muy flexible y escalable que ofrece la posibilidad de construir prácticamente cualquier entorno de tráfico real.

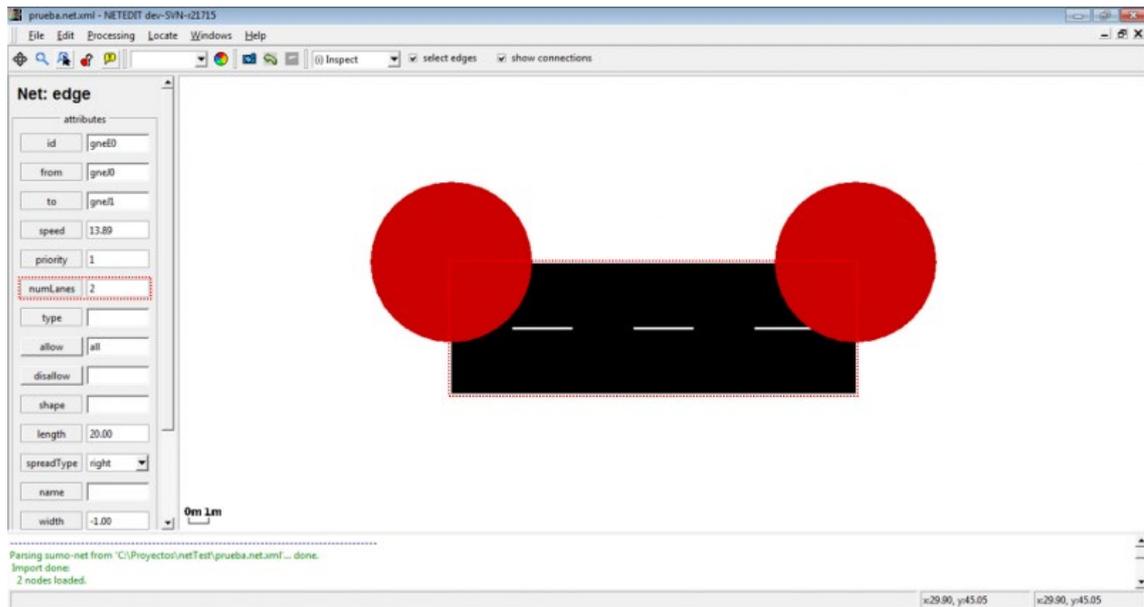


Ilustración 10-4 NetEdit creador de topologías

Después, mediante un script en Python se pueden generar colas de vehículos con sus respectivas rutas (aleatorias o deterministas). Además, desde el script se pueden controlar y manejar dispositivos varios como semáforos y sensores de detección.

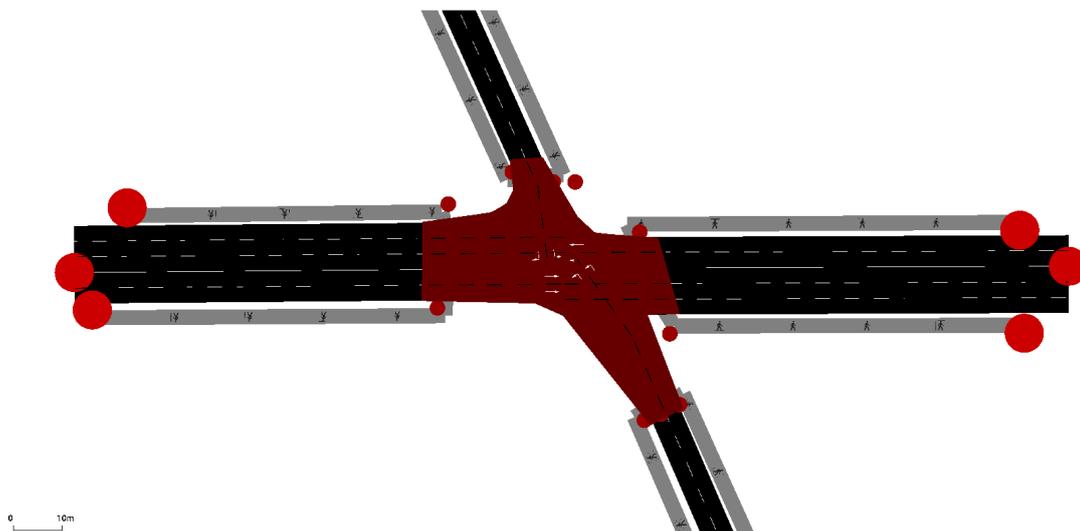


Ilustración 10-5 Intersección C/Briñas-Av. Juan Antonio Zunzunegui NetEdit

10.3 SISTEMA T-LIGHTS

El desarrollo del segundo bloque correspondiente al sistema T-lights será completamente original, es decir, no se parte de ningún software de referencia. El sistema se dividirá en tres módulos (subsistemas) distintos para el funcionamiento del sistema completo: detección, inteligencia y control.

Se desplegará un sistema T-lights por cada intersección independiente y así formando una red de funcionamiento conjunto.

10.3.1 Subsistema de detección

El módulo de detección trata de un sistema que identifica el tráfico existente en tiempo real, obteniendo datos y estadísticas que modelen la situación del tráfico en las distintas vías, tanto vehículos como peatones.

El sistema funcionará a través de elementos detectores de tráfico que contabilizarán el número de usuarios en cada una de las vías de tráfico.

Este módulo se comunica directamente con el módulo de inteligencia, al que envía los datos que haya recopilado sobre el estado del tráfico de las vías.

10.3.2 Subsistema de inteligencia

El módulo de inteligencia es el encargado de proponer la solución óptima para resolver las colas de tráfico existentes a raíz de los datos proporcionados por el módulo de detección. Implementará unos algoritmos capaces de asignar prioridad a un flujo de tráfico u otro en función del escenario en el que se encuentre la vía.

Este módulo a partir de los datos recibidos del subsistema de detección asignará una serie de prioridades a cada vía concreta para llegar a la solución que disminuya los tiempos de espera.

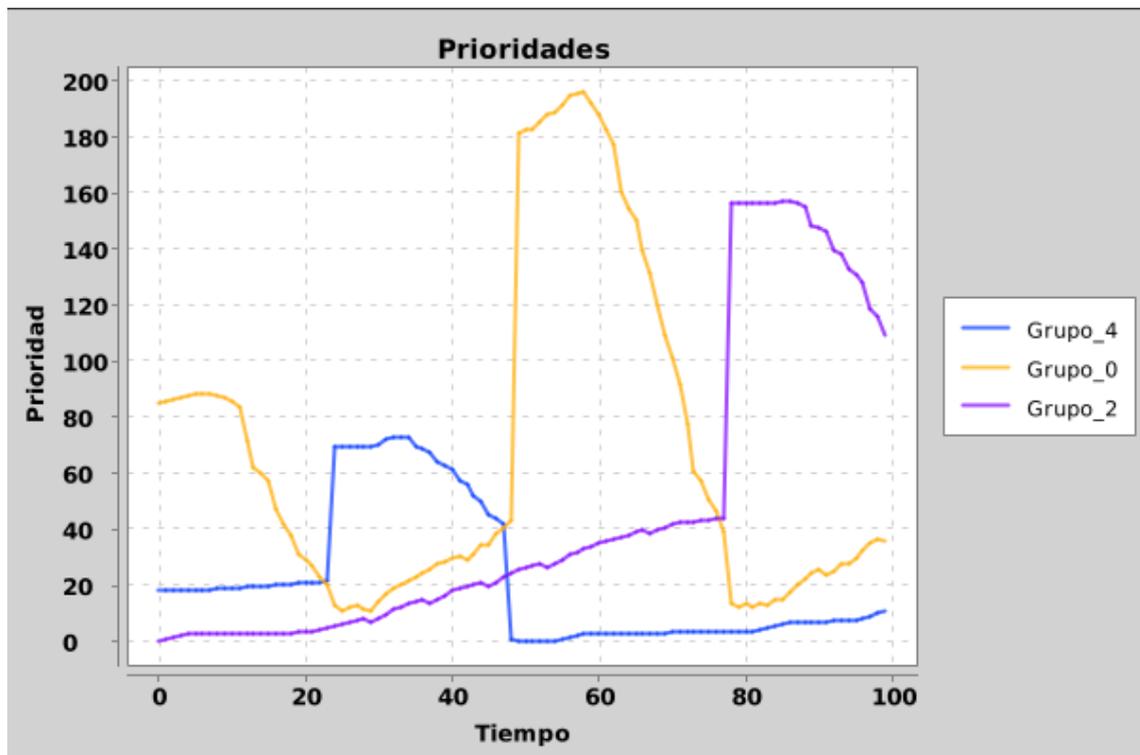


Ilustración 10-6 Representación prioridades

En esta ilustración podemos ver las prioridades que se van asignando a cada grupo de semáforos en función del estado y como estas prioridades van variando en función del tiempo

Este módulo tiene que comunicarse con el sistema de control para indicarle cuáles de los semáforos han de activarse o desactivarse.

10.3.3 Subsistema de control

El módulo de control es el responsable de la gestión segura de los semáforos y otros dispositivos de control de vías, de manera que no existan conflictos a la hora de permitir el paso de los vehículos y peatones. Mandará directivas de control a los semáforos para las transiciones de un estado a otro, en función de lo que haya determinado el subsistema de inteligencia. Debe comunicarse con el simulador para reflejar los cambios de estado de los semáforos en el entorno.

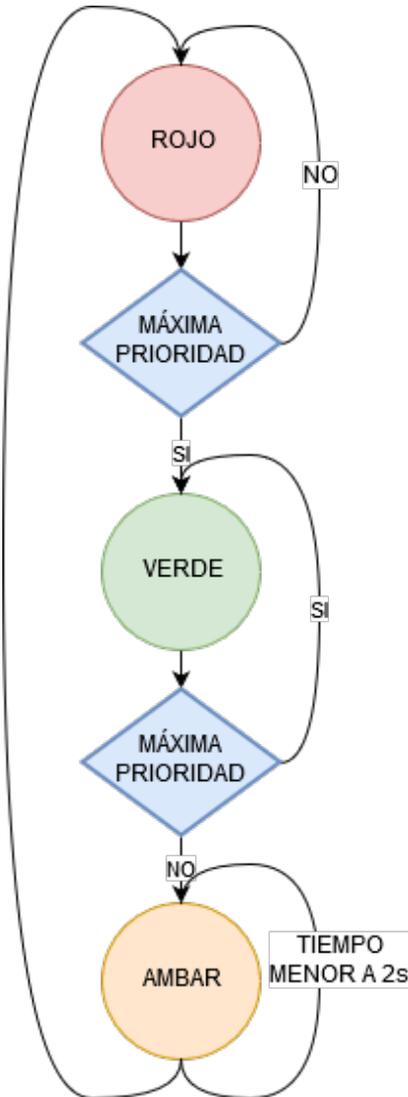


Ilustración 10-7 Diagrama de estados del subsistema de control

11 | METODOLOGÍA

En este apartado corresponde a la fase del proyecto en la que se realizarán diversas pruebas sobre el software desarrollado y así poder comprobar su funcionamiento, versatilidad y poder realizar pruebas de rendimiento.

11.1 SIMULADOR

Antes de probar el rendimiento del sistema T-lights se debe generar el escenario en el que este operará. Gracias al estudio realizado (*CONTEXTO*) podemos alimentar el simulador y verificar la veracidad de los datos obtenidos. En el estudio realizado se analizaba (*Ilustración 3-2 Intersección Actual C/Briñas-Av. Juan Antonio Zunzunegui*) por lo que se ha tomado esta misma intersección para la simulación.

La utilización de un simulador permite la obtención de datos relevantes de una forma objetiva, con gran precisión y utilidad, ya que podemos obtener datos de decenas de horas en cuestión de pocos minutos, para ello es importante ajustar los parámetros de los vehículos y las vías para que se asemejen a los escenarios reales.

Los parámetros que reciben los vehículos y rigen su comportamiento están sujetos a los modelos de flujos que pueden ir desde un comportamiento perfecto destinados a vehículos autónomos hasta modelos que definen la imperfección humana, en este caso usaremos el modelo Krauss y unos parámetros de aceleración, deceleración distancias de seguridad, imperfección del conductor y tiempos de reacción ajustados a la realidad.

Hay multitud de datos relevantes que podemos obtener provenientes en tiempo real de la simulación y otros que se pueden calcular de una manera simple, entre estos los más destacados para este propósito serán los siguientes:

- Origen y destino de cada vehículo
- Tiempo de espera de cada vehículo
- Niveles de CO₂/CO/HC/NOX en cada vía
- Cantidad de combustible consumida por cada vehículo
- Velocidades máxima y media de cada vía

Se podría llegar a analizar otra serie de datos si hubiese interés por ellos como pueden ser los niveles de ruido, consumo eléctrico, niveles de ocupación de cada vía o tiempo total de cada viaje.

11.2 PRUEBAS FUNCIONALES

Para que las pruebas sean lo más objetivas posibles para la generación de vehículos se utilizará una función que a partir de una semilla genere valores aleatorios y así se pueda replicar la simulación todas las veces necesarias.

A partir de estos valores aleatorios se generarán 250 vehículos, se crearán diferentes modelos que irán desde una situación con un tráfico muy bajo como puede ser de madrugada hasta la máxima congestión que se puede llegar a dar en hora punta.

Con estos modelos se obtendrán los datos anteriormente mencionados en un primer instante con el funcionamiento convencional de tiempos de semáforos constantes y en segundo lugar con la utilización del sistema T-lights, una vez obtenidos los datos se podrán analizar estos resultados y así obtener datos de rendimiento.

Para esta prueba se han creado 5 modelos diferentes con diferentes concentraciones de tráfico, a continuación analizaremos únicamente los extremos.

11.2.1 Simulación en máxima congestión

En este modelo se generan los 250 vehículos de la forma más rápida que la intersección pueda atender.

Este modelo es para el cual los semáforos actualmente están optimizados, ya que su objetivo es intentar evitar la congestión. Para este modelo se ha calculado un throughput medio en el centro de la intersección de 0.81 vehiculos/s.

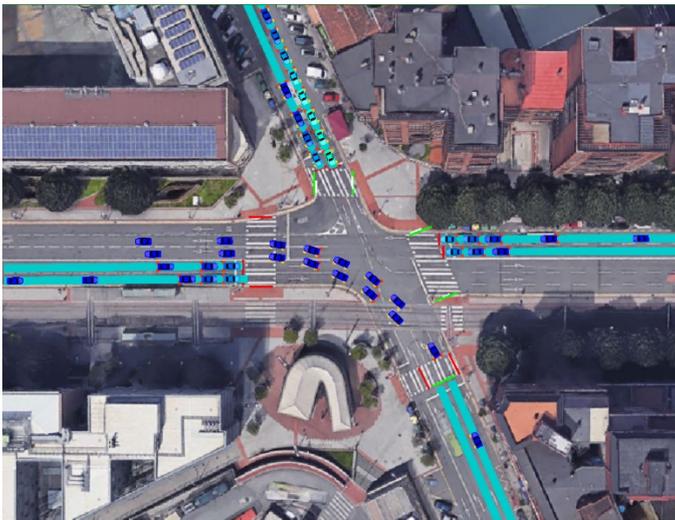


Ilustración 11-1 Simulación máxima congestión

A partir de este modelo y tras simular con los tiempos constantes, se simula con el sistema T-lights implementado y se llega a los siguientes resultados:

Tabla 18 Resultados simulación máxima congestión

	CONVENCIONAL	T-LIGHTS
Tiempo de simulación (min)	13	9.2
Emisiones gases nocivos (kg)	57.4	48.1
Espera total (min)	218	165.8
Espera unitaria (s/vehículo)	52.4	39.8
Combustible consumido (l)	8.3	6.7
Productividad (%)	71.6	72.7

A pesar de que el sistema actual este más optimizado para situaciones de congestión , el sistema T-lights aporta unos datos muy prometedores. Podemos observar que en

periodos de congestión la población pierde 53 minutos cada 13 minutos en esta intersección y se consume un 16% más de lo necesario con un sistema alternativo como puede ser T-lights.

11.2.2 Simulación en muy baja congestión

Para este caso se simulará una situación en la que los 250 coches se encontrarán en la intersección con una prioridad muy baja siendo el nivel de ocupación muy bajo obteniendo un throughput en el centro de la intersección de 0.04 vehículos/s.

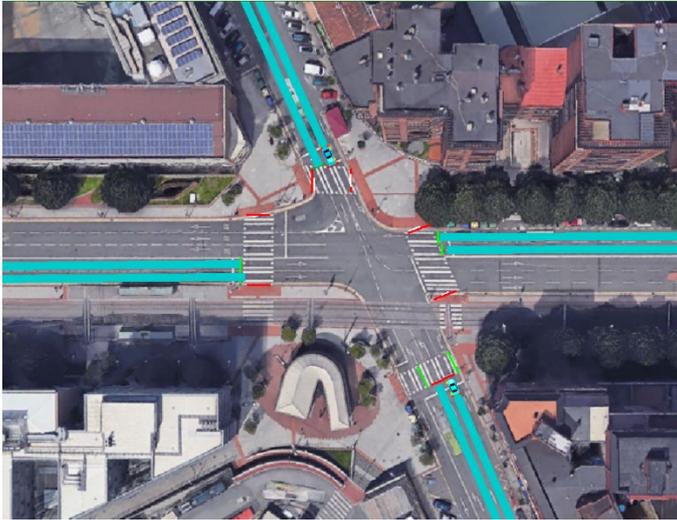


Ilustración 11-2 Simulación baja congestión

Para este caso ya se puede prever que el rendimiento actual es muy deficiente para verificar esta suposición haremos uso de los resultados y así tener datos que lo apoyen.

Tabla 19 Resultados simulación baja congestión

	CONVENCIONAL	T-LIGHTS
Tiempo de simulación (min)	60	60
Emisiones gases nocivos (kg)	18.72	11.6
Espera total (min)	44.2	1.5
Espera unitaria (s/vehículo)	17.1	0.59
Combustible consumido (l)	2.6	1.8
Productividad (%)	79	98.5

Con estos datos podemos observar que en este tipo de casos la población pierde 42.7 minutos en esta intersección cada hora siendo evitable un 96% del tiempo.

A la vista de los resultados verificamos que en periodos de baja congestión el sistema actual es muy poco eficiente y un sistema alternativo como T-lights permitiría una circulación continua prácticamente sin esperas.

11.3 RESULTADOS

Realizando el mismo procedimiento visto en el apartado anterior se han creado modelos que representen casos intermedios y de esta forma poder obtener unos resultados válidos para esta intersección.

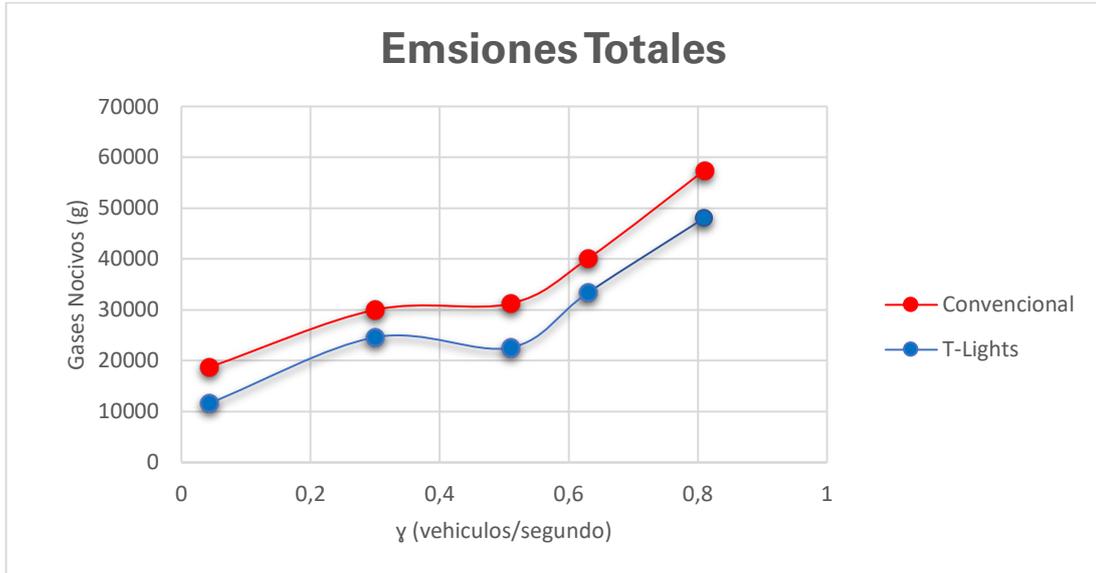


Ilustración 11-3 Resultados emisiones

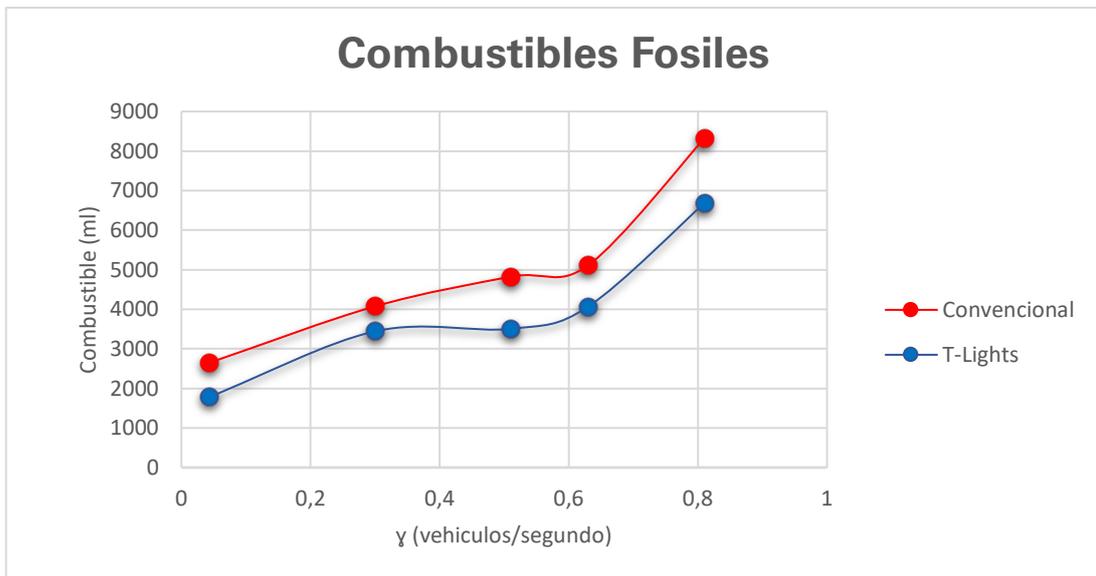


Ilustración 11-4 Resultados Combustibles

En un principio se definió como beneficio medioambiental esperado una contribución en la lucha contra el cambio climático, una vez obtenidos los primeros datos podemos observar una reducción entre un 20-40% del consumo de combustibles fósiles en esta intersección, lo que significa una disminución importante de la emisión de gases nocivos.

Por último y objetivo de este proyecto el análisis de los tiempos de espera, observemos los resultados.

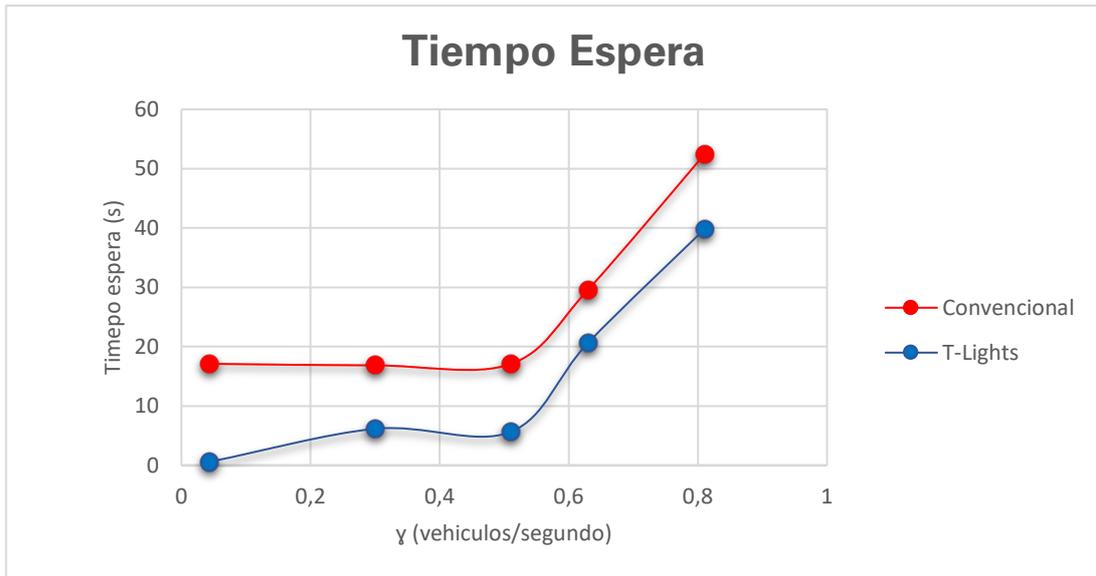


Ilustración 11-5 Resultados tiempo de espera

Con estos resultados se puede observar la continuidad del tiempo de espera en el sistema actual que aumenta por los tiempos de reacción y cuando un solo ciclo del semáforo no permite desalojar la totalidad de los vehículos que esperaban.

Con estos datos podemos confirmar una disminución considerable de los tiempos de espera de un sistema como T-lights frente al sistema convencional.

Estos resultados se basan en funcionamientos para flujos constantes, en casos donde el tráfico se concentra en una sola vía o se producen casos extraordinarios es cuando los tiempos de espera para el sistema actual se disparan y donde un sistema dinámico como T-lights saca fuerza. Estos casos pueden ir desde un pico de esporádico hasta vías que aumentan significativamente su tráfico en franjas horarias como pueden ser vías de accesos a fabricas o parques tecnológicos. Para estos casos la vía sufre en horas aisladas un aumento del tráfico para el cual los semáforos estáticos ralentizan los desplazamientos.

12 | PLANIFICACIÓN

La planificación para el proyecto está planteada para el curso lectivo 2018-2019. El proyecto se divide en paquetes de trabajo relacionado con temáticas distintas.

Al comienzo del proyecto se establece un periodo de formación para familiarizarse con los lenguajes y tecnologías que se van a emplear para el desarrollo. Después se comienza adaptando el software de terceros para que encaje en el proyecto. Estos paquetes corresponden al desarrollo del entorno de simulación, que finalizarían con el hito de la prueba del simulador de tráfico.

Posterior al simulador, comienza el desarrollo del algoritmo y del sistema T-lights. Es un paquete dedicado íntegramente a este desarrollo que finalizará con un hito con las pruebas de este sistema.

Lo siguiente es la integración de los dos módulos desarrollados hasta hora. Se tratará de combinar los dos sistemas en nuestro software final. Esta fase vendrá con la correspondiente ejecución de las pruebas de integración. Finalizará esta fase con unas pruebas de todo el software integrado.

Por último, existirá a lo largo del proyecto un paquete dedicado a la documentación del proyecto.

A continuación, el diagrama de Gantt del proyecto:

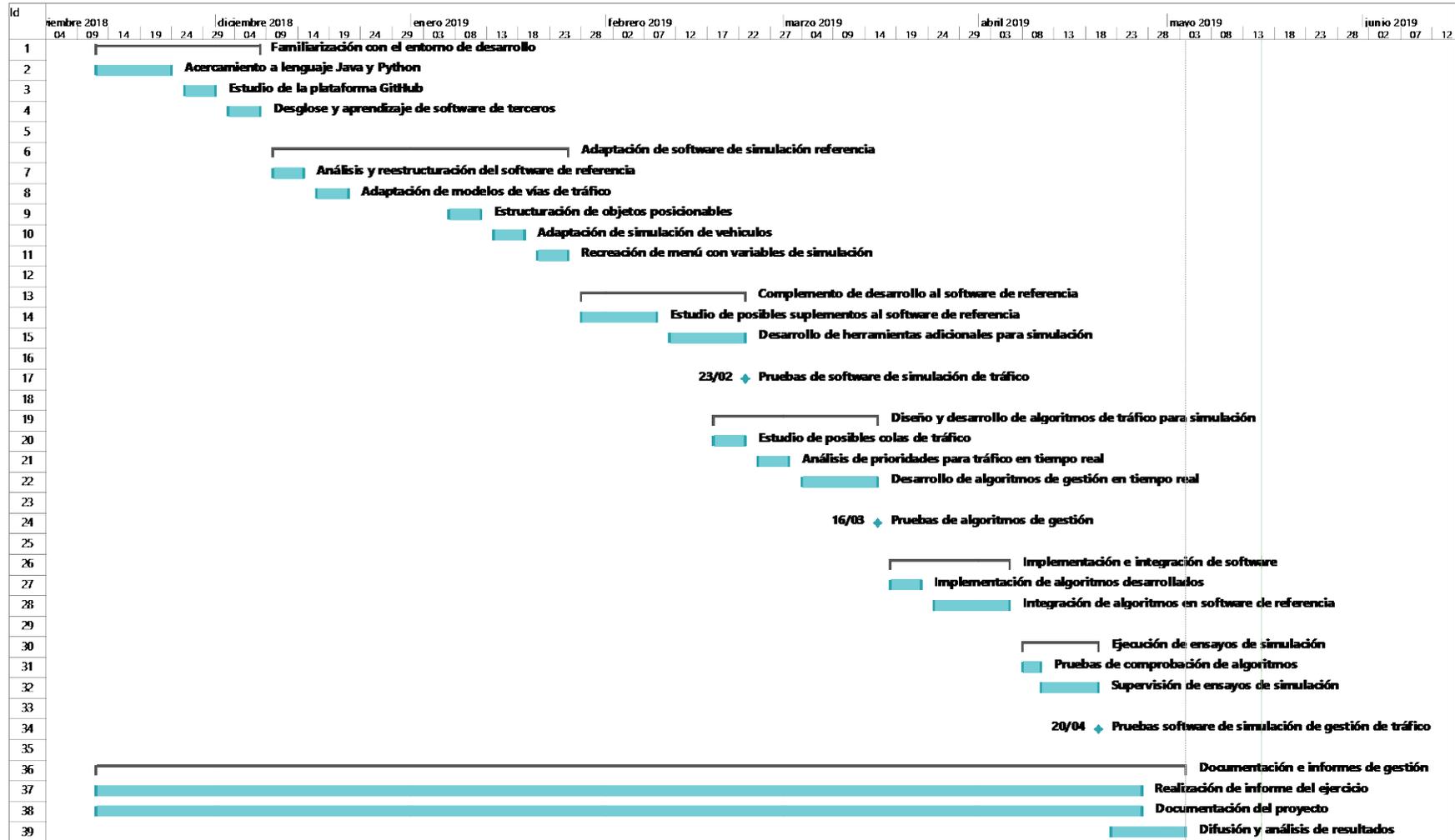


Ilustración 12-1 Diagrama de Gantt del proyecto

Tabla 20 Diagrama de Gantt del proyecto

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Familiarización con el entorno de desarrollo	20 días	lun 12/11/18	vie 07/12/18
Acercamiento a lenguaje Java y Python	10 días	lun 12/11/18	vie 23/11/18
Estudio de la plataforma GitHub	5 días	lun 26/11/18	vie 30/11/18
Desglose y aprendizaje de software de terceros	5 días	lun 03/12/18	vie 07/12/18
Adaptación de software de simulación referencia	35 días	lun 10/12/18	vie 25/01/19
Análisis y reestructuración del software de referencia	5 días	lun 10/12/18	vie 14/12/18
Adaptación de modelos de vías de tráfico	5 días	lun 17/12/18	vie 21/12/18
Estructuración de objetos posicionables	5 días	lun 07/01/19	vie 11/01/19
Adaptación de simulación de vehículos	5 días	lun 14/01/19	vie 18/01/19
Recreación de menú con variables de simulación	5 días	lun 21/01/19	vie 25/01/19
Complemento de desarrollo al software de referencia	20 días	lun 28/01/19	sáb 23/02/19
Estudio de posibles suplementos al software de referencia	10 días	lun 28/01/19	vie 08/02/19
Desarrollo de herramientas adicionales para simulación	10 días	lun 11/02/19	vie 22/02/19
Pruebas de software de simulación de tráfico	0 días	sáb 23/02/19	sáb 23/02/19

Diseño y desarrollo de algoritmos de tráfico para simulación	20 días	lun 18/02/19	sáb 16/03/19
Estudio de posibles colas de tráfico	5 días	lun 18/02/19	vie 22/02/19
Análisis de prioridades para tráfico en tiempo real	5 días	lun 25/02/19	vie 01/03/19
Desarrollo de algoritmos de gestión en tiempo real	10 días	lun 04/03/19	vie 15/03/19
Pruebas de algoritmos de gestión	0 días	sáb 16/03/19	sáb 16/03/19
Implementación e integración de software	15 días	lun 18/03/19	vie 05/04/19
Implementación de algoritmos desarrollados	5 días	lun 18/03/19	vie 22/03/19
Integración de algoritmos en software de referencia	10 días	lun 25/03/19	vie 05/04/19
Ejecución de ensayos de simulación	10 días	lun 08/04/19	sáb 20/04/19
Pruebas de comprobación de algoritmos	3 días	lun 08/04/19	mié 10/04/19
Supervisión de ensayos de simulación	7 días	jue 11/04/19	vie 19/04/19
Pruebas software de simulación de gestión de tráfico	0 días	sáb 20/04/19	sáb 20/04/19
Documentación e informes de gestión	125 días	lun 12/11/18	vie 03/05/19
Realización de informe del ejercicio	120 días	lun 12/11/18	vie 26/04/19
Documentación del proyecto	120 días	lun 12/11/18	vie 26/04/19
Difusión y análisis de resultados	10 días	lun 22/04/19	vie 03/05/19

13 | PRESUPUESTO

Hay dos fases claramente diferenciadas en la elaboración de este producto, en primer lugar, tenemos el desarrollo software que ayuda a la hora de analizar la viabilidad del producto final y en segunda parte tenemos la implantación del sistema que supondría tanto un coste hardware como de personal.

La primera fase de desarrollo está completa, por lo que los costes son en función a las necesidades que he ido teniendo. Los costes fijos que se han producido en el desarrollo software son los siguientes:

PRODUCTO	CANTIDAD	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Ingeniería	500h	20€/h	10000€
PC desarrollo	1	1500€	1500€
Licencias software	1	650€/año	650€

T-Lights es un sistema que funciona en una concentración de carriles en los que los semáforos dependan unos de otros, por lo que los costes variables dependerán del número de semáforos que comprendan la intersección.

PRODUCTO	CANTIDAD	COSTE UNITARIO
Detección/control	1/semáforo	20-30€
Inteligencia	1/intersección	50-60€
Comunicaciones	1/semáforo +1/intersección	15-20€

Una vez trasladado el software dentro del hardware, nos encontraríamos con costes de instalación del nuevo sistema en los semáforos. Estos costes también dependen del número de semáforos de la intersección. Se necesitaría un técnico que supervise e inicie el sistema y un instalador que monta el software en los semáforos con los siguientes costes:

PRODUCTO	CANTIDAD	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Técnico	30min/semáforo + 1h/intersección	15€/h	7,5€/semáforo + 15€/intersección
Instalador	1h/semáforo	10€/h	10€/semáforo

Una vez instalado el sistema y comprobado su correcto funcionamiento requeriría de energía proveniente del sistema actual de alumbrado y un servicio de mantenimiento en caso de reparación o sustitución, se han determinado que los costes serian:

PRODUCTO	CANTIDAD	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Electricidad	26280 W/año	0.124€/kw	3.26€/semáforo-año
Técnico mantenimiento		30€/h	

Una vez desglosados los costes vemos su variabilidad en función del número de semáforos que compongan la intersección a instalar, como esta herramienta podría instalarse en una intersección aislada. He supuesto unos costes aproximados de la implantación de este algoritmo en varias intersecciones muy concurridas y con gran número de semáforos en Bilbao, como ejemplos.

En primer lugar, tenemos la intersección entre la calle Briñas y la avenida Juan Antonio Zunzunegui, en donde confluyen flujos de 14 semáforos, esta intersección es la que sirvió como modelo de la simulación de un entorno real, para obtención de resultados de rendimientos de T-lights. La implantación del sistema completo en esta intersección ascendería a unos 1800€.

14 | CONCLUSIONES

La propuesta de este proyecto pretende mejorar y optimizar el funcionamiento de los semáforos, su regulación y su gestión para mejorar los tiempos de espera de los usuarios. La idea de desarrollar este software nace de la necesidad de optimizar un sistema que funciona de manera estática que no es capaz de adecuarse a su entorno. Por eso propongo una gestión inteligente y dinámica, ya que creo que existe la tecnología suficiente para conseguir esa optimización. En cuanto al ámbito financiero, creo que la idea tiene su lugar en el mercado y puede ser un proyecto rentable por su carácter innovador.

En conclusión, el sistema T-lights obedece a una necesidad de mejora de las tecnologías convencionales y de aportar dinamismo a un sistema que está quedando obsoleto y primitivo. El objetivo es desarrollar un software inteligente y preparado para sustituir el actual sistema de gestión de semáforos y proponer una oferta interesante para el mercado de la regulación del tráfico.

En todo momento pienso en el algoritmo como un sistema totalmente aislado de la simulación y gracias a esta estructura de diseño, el mismo algoritmo podría ser usado para máquinas autónomas, como podemos encontrar en un gran almacén o en un futuro los coches autónomos.

Gracias a todo el proceso realizado hasta elaborar este estudio de viabilidad, se ha creado el algoritmo completo y se ha simulado en un entorno para analizar su funcionamiento y obtener datos sobre el rendimiento.

Según los resultados obtenidos llego a la conclusión que T-lights es un sistema totalmente viable y cuyos resultados probados en simulación supondrían una mejora sustancial, si se llegase a implantar.

15 | BIBLIOGRAFIA

Las referencias utilizadas durante este documento son las siguientes:

- Ayuntamiento de Bilbao. *Datos sobre accidentes Bilbao 2018*. Bilbao.eus 06/02/2019. URL:
http://www.bilbao.eus/cs/Satellite?c=BIO_Noticia_FA&cid=1279186527097&language=es&pageid=3000075248&pagename=Bilbaonet%2FBIO_Noticia_FA%2FBIO_Noticia&rendermode=previewnoinstite%2F1279183833335%2F1279184245503%2F1279184995182%2F1279185852378%2F1279185061534%2F1279185995968%2F1279185238918%2F1279185238918
- Aleksandra Zeleznik. *Smart traffic lights in Netherlands*. trans.iINFO. 19/02/2019. URL:
<https://trans.info/en/smart-traffic-lights-in-the-netherlands-trucks-will-take-advantage-of-it-127344>
- Deia. Asistencia San Mamés. 21/05/2018. URL:
<https://www.deia.eus/2018/05/21/athletic/-la-asistencia-a-san-mames-en-liga-cae-un-9-una-media-de-3700-espectadores->
- Wikipedia. Kendall's notation. 26/10/2018. URL:
https://en.wikipedia.org/wiki/Kendall%27s_notation
- Universidad de Chile. Colas D/D/1. 2016. URL:
<https://es.coursera.org/lecture/analisis-sistemas-de-transporte/sistemas-d-d-1-y-notacion-de-kendall-EEu5h>
- Murat Aycin. Comparación modelos flujos de vehículos. 30/03/1999. URL:
https://www.researchgate.net/publication/245558657_Comparison_of_Car-Following_Models_for_Simulation
- P.S.Bokare. Acceleration-Deceleration Behaviour of Various Vehicle Types. WCTR 2016 Shanghai. 10-15/07/2016. URL:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517307937>
- Ecologistas en acción. Emisiones de CO2 de los vehículos convencionales e híbridos. 01/12/2009. URL:
<https://www.ecologistasenaccion.org/16233/2-emisiones-de-co2-de-los-vehiculos-convencionales-e-hibridos/>
- Peter Wagner. Relationship between travel time, fuel consumption and trac demand. 02/2012. URL:
https://www.researchgate.net/figure/Relationship-between-travel-time-fuel-consumption-and-trac-demand-The-travel-time-eq_fig1_259902450
- VVAA. Second Generation of Pollutant Emission Models for SUMO. 15-16/05/2012. URL:
<https://elib.dlr.de/89398/>

- Nuria Casabella. Calcula las emisiones de CO2 que produce tu coche. 28/01/2016. URL:
<https://noticias.eltiempo.es/calculadora-emisiones-de-co2-cuanto-emite-coche/>
- Mauricio González Restrepo, Edward Jovan Sepulveda Abalo. Aplicación de teoría de colas en los semáforos para mejorar la movilidad en la carrera 7 entre calles 15 y 20 de la ciudad de Pereira. 11/2010. URL:
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/2008?show=full>
- Daniel Krajzewicz, Jakob Erdmann, Michael Behrisch, and Laura Bieker. *Recent Development and Applications of SUMO - Simulation of Urban MObility*. International Journal On Advances in Systems and Measurements, 5 (3&4):128-138, December 2012.
- Apuntes asignatura Planificación de redes y modelado
- Apuntes asignatura Sistemas de Telecomunicaciones

DIAGRAMAS UML

I DIAGRAMA DE CASOS DE USO

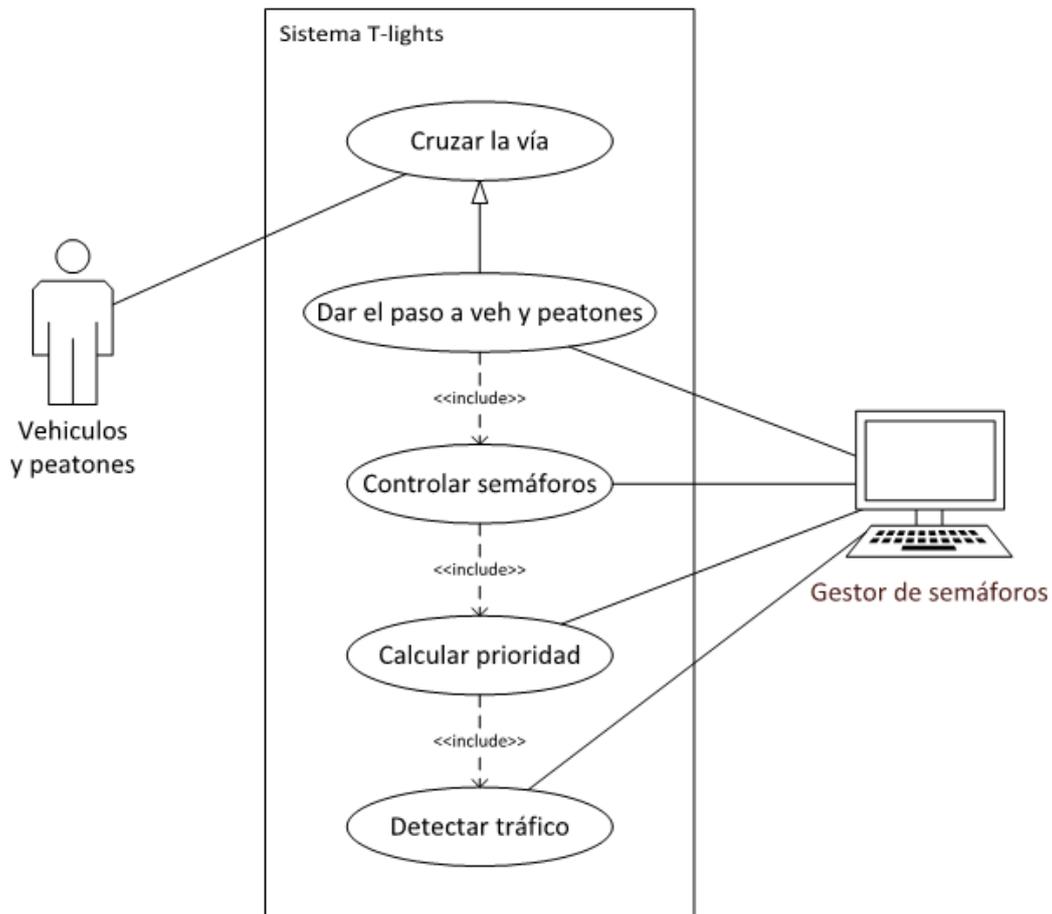


Figura 5. Diagrama de casos de uso

En el caso de mi software, existen dos actores en el sistema: los usuarios de la vía (vehículos y peatones) y el propio gestor de los semáforos. El caso de uso más simple por parte de los usuarios de la vía es cruzar la vía, pues es la acción que quieren cumplir, esperando el menor tiempo posible.

Para lograr dar este servicio a los usuarios, el gestor debe dar el paso a los usuarios correspondientes, acción que incluye las funciones propias del software, que son detectar el tráfico (gestionado por el módulo de detección), calcular las prioridades de las colas de vehículos (gestionado por el módulo de inteligencia y el algoritmo del sistema T-lights) y finalmente controlar los semáforos mediante directivas de activación y desactivación (gestionado por el módulo de control). Con estas funciones, el gestor de semáforos será capaz de dar el paso a los usuarios de manera dinámica y adaptándose a las condiciones de tráfico en tiempo real.

II DIAGRAMA DE ACTIVIDADES



Figura 6. Diagrama de actividades

En este sencillo diagrama de actividades, podemos ver el proceso de bucle que sigue el software de T-lights para cumplir su funcionalidad principal: realizar una gestión dinámica de los semáforos en tiempo real.

Para ello, deberá comenzar detectando los vehículos en las colas de los semáforos y otro inputs necesarios para los cálculos de prioridad de los grupos de semáforos como pueden ser el posicionamiento de los vehículos, los tiempos en verde y rojo de los semáforos y el tipo de usuario que se encuentra en la cola. Corresponde al módulo de detección, reunir esta información, procesarla y enviarla al submódulo de inteligencia para ejecutar su algoritmo.

El módulo de inteligencia introducirá los datos recopilados por detección para, mediante el algoritmo de cálculo de prioridad, determinar si existen cambios en las fases de activación de los grupos de semáforos en tiempo real. Si no existen cambios se procederá a detectar de nuevo cambios en la situación de tráfico.

En caso de que exista algún cambio de grupo de semáforos determinado por el algoritmo, el módulo de control deberá enviar directivas de cambio a los grupos de semáforos para reflejar los cambios en la intersección a regular.

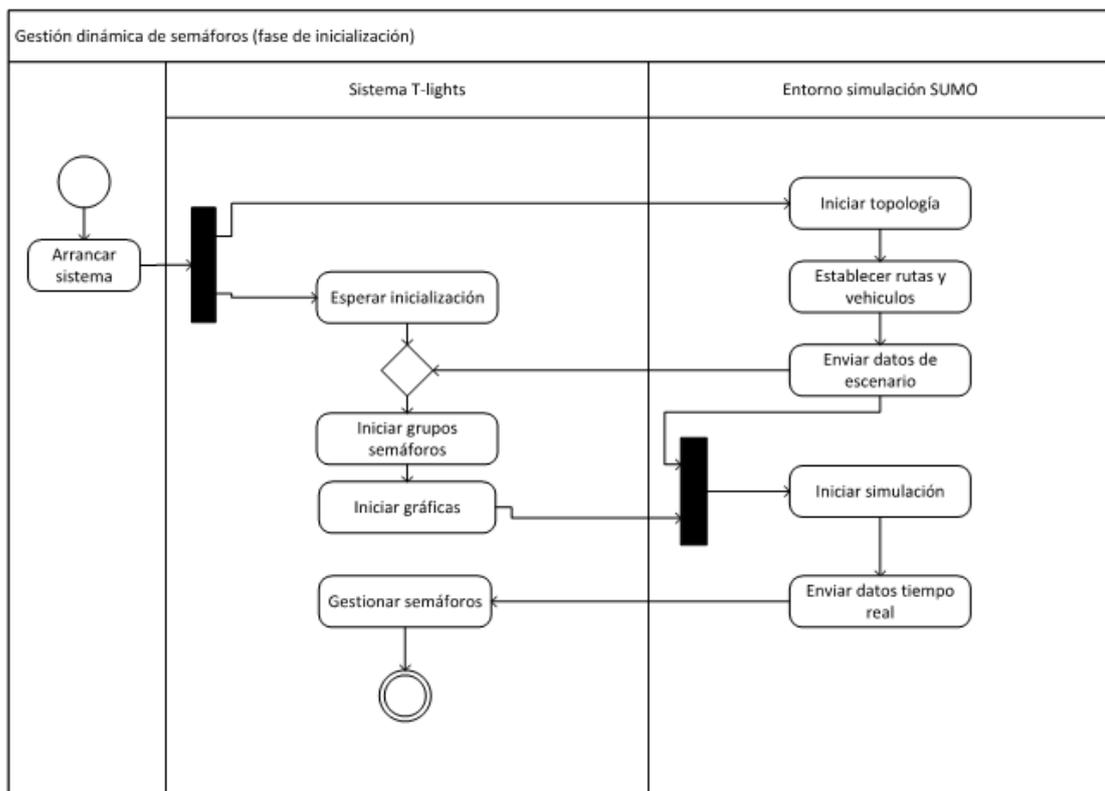


Figura 7. Diagrama 2 de actividades

Este diagrama de actividades refleja el proceso de inicialización del software que permite que los dos sistemas principales que componen el software se integren correctamente.

Tenemos dos sistemas diferenciados: el sistema T-lights, que posee la inteligencia que permite regular el tráfico dinámicamente y el entorno de simulación SUMO que simula diversos entornos de tráfico y permite reflejar los cambios del sistema T-lights.

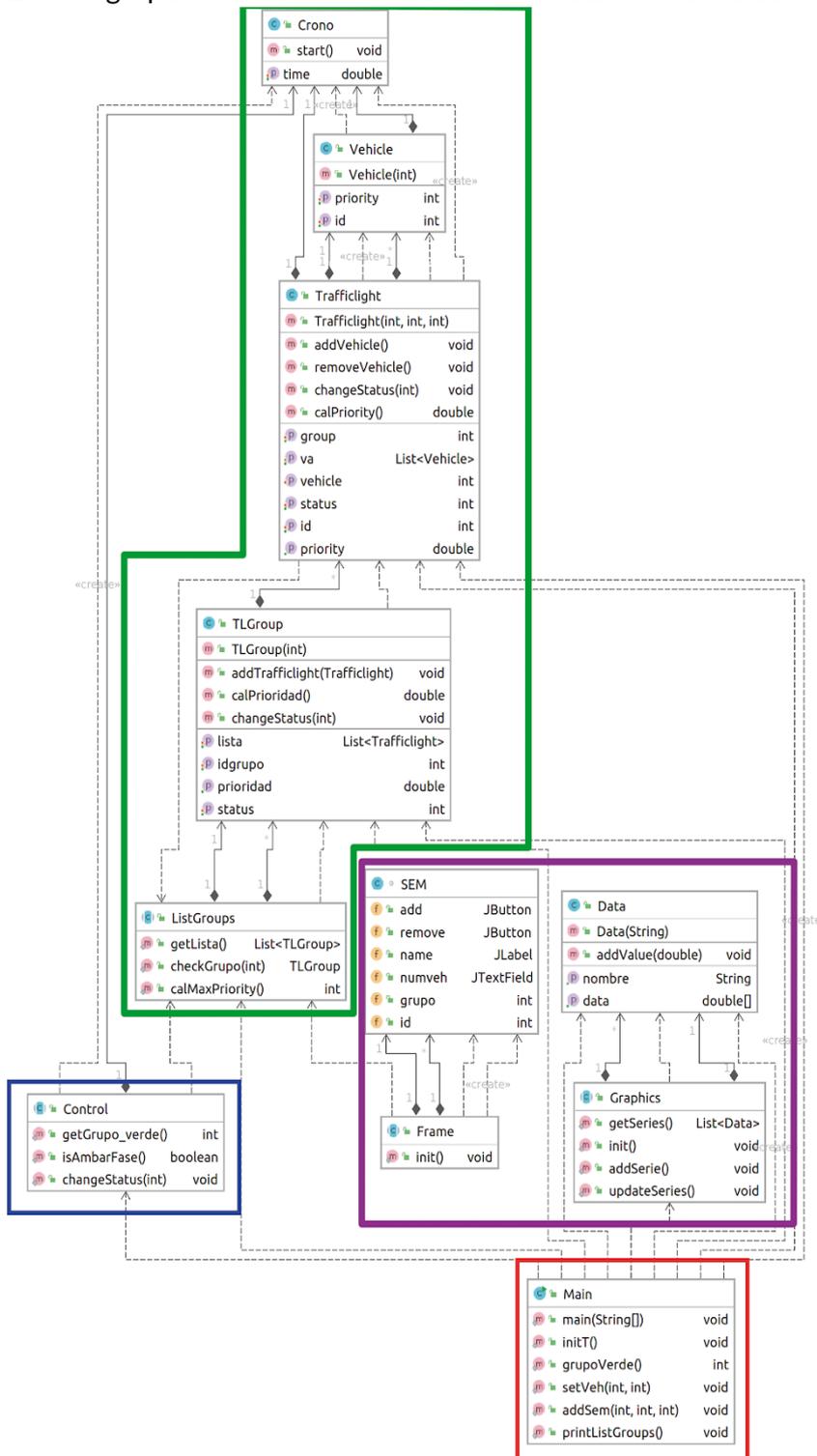
Para poder inicializar el sistema, primero ha de cargarse la topología que se va a simular y después, establecer el número de vehículos que van a simularse y sus posibles rutas en la intersección. Después, deberá enviar los datos de la topología al sistema T-lights.

El sistema T-lights esperará esos datos para proceder a iniciar los grupos de semáforos que existen en la topología e inicializar las gráficas que representan las prioridades de las colas de semáforos determinadas por el algoritmo.

Una vez preparados los sistemas, arrancará la simulación y los dos sistemas intercambiarán datos para continuar con la gestión de los semáforos. Concretamente, el sistema T-lights se encargará de enviar las directivas de activación y desactivación a los grupos de semáforos y el SUMO se encargará de enviar los datos que necesite detección correspondiente a la situación del tráfico en tiempo real (nº de usuarios en colas, posicionamiento de vehículos, tipos de usuarios...).

III DIAGRAMA DE CLASE

El grupo de funciones está dividido por colores:



- Representa las funciones de detección y comunicación con SUMO
- En este grupo de funciones se encuentra la inteligencia, con la estructura explicada en diseño de la solución.
- Mediante estas funciones se ejecutan las funciones de control, que gracias al grupo de comunicación, actuará sobre el simulador.

- Por último este conjunto de funciones se encarga de la representación gráfica para obtener de una forma visual lo que ocurre en el modulo inteligencia y obtener resultados objetivos.

IV DIAGRAMA DE SECUENCIA

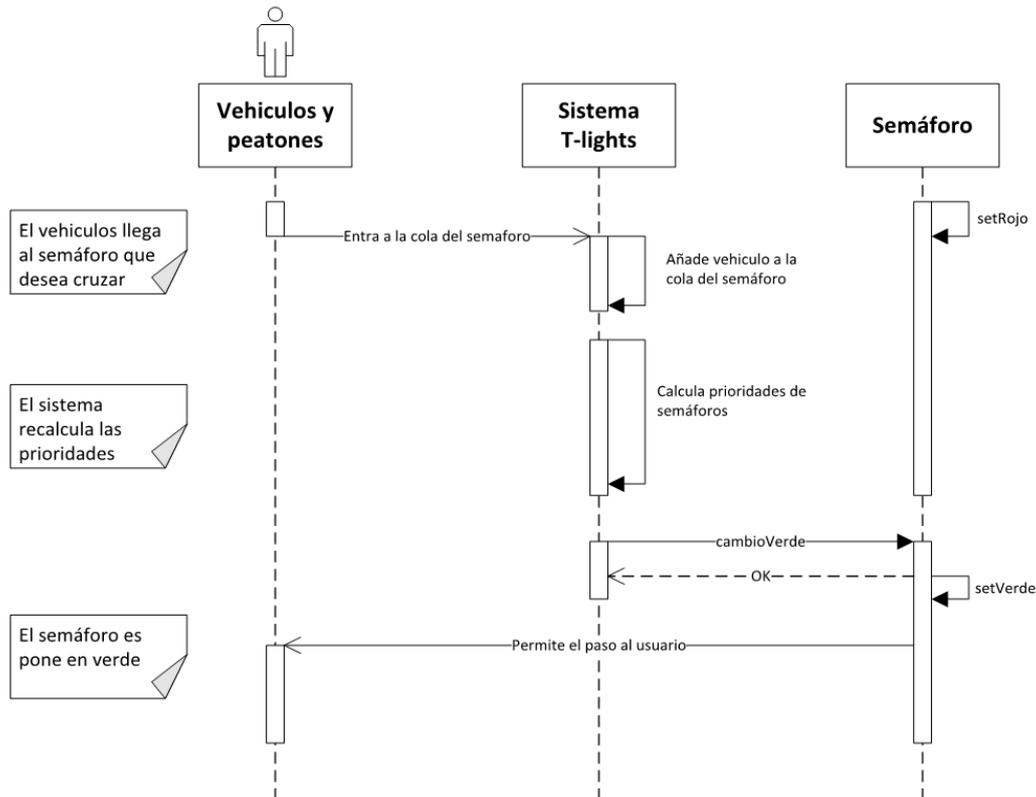


Figura 8. Diagrama de secuencia

El diagrama de secuencia de la figura muestra como un usuario llega a la intersección que desea cruzar -con el semáforo en rojo- y el proceso que atraviesa hasta cruzar la vía. Para comenzar, el vehículo ha de entrar a la cola del semáforo, donde el sistema de detección le añadirá a la cola de su semaforo.

Después, tras recalculer las prioridades de los grupos de semáforos, el algoritmo determinará que, en un momento dado, esa cola ha de ser la prioritaria, por lo que procederá a dar la directiva de activación al grupo de semáforos donde se encuentra ese usuario esperando. Es entonces cuando el semáforo pasará a verde y el usuario cruzará la vía.

PLAN DE PRUEBAS

Para verificar que el software desarrollado cumple con la calidad requerida del producto, el proyecto se atenderá a los factores de calidad de Garvin que valoran la aplicación por su desempeño, características, fiabilidad, conformidad, durabilidad, calidad de servicio, estética y calidad percibida.

Los factores de calidad definidos se encuentran en la siguiente tabla, y durante la fase de gestión de calidad, se verificará que se cumplen para determinar que el producto tiene la calidad suficiente.

FACTORES DE CALIDAD GARVIN	
Desempeño	Funcionamiento continuo y mejora del sistema actual de gestión de semáforos
Características	Módulos de detección, inteligencia y control que complementan el sistema
Fiabilidad	Preparado para recuperarse ante fallos en el sistema
Conformidad	Cumplimenta las especificaciones definidas en la fase de diseño del software
Durabilidad	Fase de mantenimiento del producto establecida y diseño modular del programa
Calidad de servicio	Valoración y medición estadística de la reducción de los tiempos de espera en semáforos.
Estética	Mejora a nivel estético de intersecciones y semáforos.
Calidad percibida	Mejora en tiempos de espera para los usuarios, sensación de fluidez en el tráfico.

Por otro lado, se requiere de una serie de pruebas de la calidad del producto software para su correspondiente gestión. Para ello, se plantea el siguiente plan de pruebas a distintos niveles (unitarias, integración y validación). En él, se describen las funcionalidades que se van a probar durante la fase de gestión de la calidad del producto.

I PRUEBAS UNITARIAS

- Bloque de T-lights funciona de manera independiente al simulador.

Módulo de detección

- Adición de nuevos radares definiendo la zona de contado.
- El sistema tiene una capacidad de actualización suficientemente rápida.
- Cómputo de diferencia entre radares para cálculo de tamaño de cola.
- Capacidad de funcionamiento independiente al sistema del simulador.

Módulo de inteligencia

- Almacenamiento de datos en el tiempo.
- Gestión de tiempos y funcionamiento causal.
- Cálculo de prioridades en función de los parámetros obtenidos y almacenados.

- Asignar estado prioritario en función de prioridades obtenidas y datos almacenados.
- Integridad de los datos.

Módulo de control

- Capacidad de asignar estados de semáforos.
- Desarrollar directivas de asignación de estados.
- Comprobación de bloqueo de estados conflictivos.

II PRUEBAS DE INTEGRACIÓN

Sistema T-lights

- Los parámetros recibidos por simulador encajan en el módulo.
- Asignación de interfaces de entrada/salida de datos a cada módulo.
- El sistema trabaja con los módulos de manera correcta y sincronizada.
- El sistema es capaz de recibir datos del entorno de simulación.

Módulo de detección

- Datos etiquetados/clasificados a inteligencia.
- Paso de datos a inteligencia solo en situaciones de eventos.
- Funcionamiento correcto con la forma de detección de simulador.

Módulo de inteligencia

- Ser capaz de administrar y clasificar los datos recibidos por detección.
- Gestión de múltiples flujos de datos.
- Transmitir el estado prioritario asignado al módulo de control.
- Adaptación a la velocidad requerida por el sistema en cada momento.

Módulo de control

- Interfaz de datos entre simulador y este módulo.

III PRUEBAS DE VALIDACIÓN

Sistema T-lights

- Determina correctamente la mejor solución ante las diferentes situaciones.
- Computo ágil, para evitar detenerse a los vehículos si no es necesario.
- Sistema de recuperación ante fallos en el sistema (backup).
- Capacidad de resolver situaciones complejas

PLAN DE FORMACIÓN

Dirigido a	Objetivo	Actividad	Planificación	Responsable
Programadores	Conocer las bases de la arquitectura.	Conocimientos de lenguajes de programación: Python Java SE	4 días a la semana Periodo: 01/01/2019- 01/02/2019	Jefe de proyecto
Director	Adquirir formación adicional en la dirección de empresa	Curso de administración de empresas avanzado.	1 día al mes Periodo: 01/01/2019- 31/05/2019	Subdirector
Jefe de proyecto	Ser capaz de tratar con las personas que están a su cargo maximizando la eficiencia del equipo.	Resolución de problemas y peopleware	4 días al mes Periodo: 01/01/2019- 01/03/2019	Director
Analistas	Comprender y evaluar con espíritu crítico el trabajo realizado por los programadores.	Rendimiento de algoritmos.	2 días a la semana Periodo: 01/01/2019- 01/02/2019	Jefe de proyecto

Marketing y relaciones públicas	Conocer las técnicas de venta y el posicionamiento web.	Curso de posicionamiento web	2 días al mes Periodo: 01/01/2019- 31/05/2019	Director
Gestor documental	Tener la capacidad para organizar los documentos relaciones con el proyecto de manera accesible.	Técnicas de gestión documental digitalizadas (Git).	1 día a la semana Periodo: 01/01/2019- 01/02/2019	Jefe de proyecto
Técnicos de calidad	Optimizar y comprender las técnicas de control de calidad.	Curso en gestión de calidad y estudio de metodología Six Sigma	3 días al mes Periodo: 01/01/2019- 01/03/2019	Jefe de proyecto