



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,  
Canales y Puertos.*  
**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



# **ESTUDIO OPERACIONAL DE CARRIL BUS Y PRIORIZACIÓN SEMAFÓRICA EN EL EJE CASTILLA-HERMIDA (SANTANDER)**

Trabajo realizado por:  
***Pilar Melero Gallego***

Dirigido:  
***Borja Alonso***  
***Luigi dell'Olio***

Titulación:  
**Grado en Ingeniería Civil**

Mención:  
**Transportes y servicios  
urbanos**

Santander, Julio de 2016

**TRABAJO FINAL DE GRADO**



# INDICE

|                                                  |                                      |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....                    | 4                                    |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                           | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| RESUMEN .....                                    | 7                                    |
| SUMMARY .....                                    | 8                                    |
| CAPÍTULO 1.....                                  | 9                                    |
| INTRODUCCIÓN .....                               | 10                                   |
| ANTECEDENTES ADMINISTRATIVOS.....                | 11                                   |
| DEFINICION DEL ÁREA DE ESTUDIO .....             | 12                                   |
| CAPÍTULO 2.....                                  | 13                                   |
| OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....                      | 14                                   |
| Introducción .....                               | 14                                   |
| Objetivos.....                                   | 14                                   |
| CAPÍTULO 3.....                                  | 15                                   |
| INTRODUCCIÓN .....                               | 16                                   |
| TIPOLOGÍA.....                                   | 16                                   |
| SEPARADORES.....                                 | 21                                   |
| Tipos.....                                       | 21                                   |
| CAPÍTULO 4.....                                  | 27                                   |
| DATOS DE PARTIDA .....                           | 28                                   |
| CAPÍTULO 5.....                                  | 35                                   |
| ESCENARIOS PROPUESTOS .....                      | 36                                   |
| Carril Bus Convencional .....                    | 36                                   |
| BLIP (Bus Lanes with Intermittent Priority)..... | 37                                   |
| Priorización Semafórica .....                    | 41                                   |
| CAPÍTULO 6.....                                  | 42                                   |

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| SOFTWARE.....                                        | 43 |
| Modelos de microsimulación.....                      | 43 |
| Simulaciones llevadas a cabo en entorno AIMSUN ..... | 44 |
| Metodología en el entorno AIMSUN.....                | 46 |
| CAPÍTULO 7.....                                      | 60 |
| ANÁLISIS DE SOLUCIONES.....                          | 61 |
| Generalidades .....                                  | 61 |
| Resultados Tiempos de Parada.....                    | 62 |
| Resultados Tiempos de Demora.....                    | 64 |
| Resultados Densidad.....                             | 66 |
| Resultados Nº de Paradas.....                        | 68 |
| Resultados Velocidad .....                           | 70 |
| CAPÍTULO 8.....                                      | 72 |
| PRESUPUESTO .....                                    | 73 |
| CAPÍTULO 8.....                                      | 74 |
| CONCLUSIONES .....                                   | 75 |
| ANEXO 1.....                                         | 76 |
| MATRIZ ORIGEN DESTINO .....                          | 77 |
| ANEXO 2.....                                         | 78 |
| RESULTADOS.....                                      | 79 |
| ANEXO 3.....                                         | 80 |
| PLANOS .....                                         | 81 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1: Espacio ocupado por los distintos modos de transporte para 200 personas ..... | 10 |
| Ilustración 2: Área de estudio.....                                                          | 12 |
| Ilustración 3: Carril bus situado a la derecha del sentido de la circulación .....           | 16 |
| Ilustración 4: Carril bus situado a la izquierda del sentido de la circulación.....          | 17 |
| Ilustración 5: Carril bus en sentido contrario al de la circulación .....                    | 18 |
| Ilustración 6: Carril bus con plataforma reservada en superficie .....                       | 18 |
| Ilustración 7: Carril bus con plataforma reservada en superficie .....                       | 19 |
| Ilustración 8: Carril bus con plataforma reservada en superficie .....                       | 19 |
| Ilustración 9: Carril bus con plataforma reservada en superficie .....                       | 20 |
| Ilustración 10: Carril bus con plataforma reservada en túnel.....                            | 20 |
| Ilustración 11: Carril bus sin separadores verticales .....                                  | 21 |
| Ilustración 12: Carril bus con mediana .....                                                 | 22 |
| Ilustración 13: Carril bus con separadores de hormigón .....                                 | 23 |
| Ilustración 14: Carril bus con separadores plásticos .....                                   | 24 |
| Ilustración 15: Localización de las espiras .....                                            | 28 |
| Ilustración 16: Gráfico hora - intensidad (Espira 1023).....                                 | 29 |
| Ilustración 17: Gráfico hora - intensidad (Espira 1008).....                                 | 29 |
| Ilustración 18: Gráfico hora - intensidad (Espira 1009).....                                 | 30 |
| Ilustración 19: Gráfico hora - intensidad (Espira 1011).....                                 | 30 |
| Ilustración 20: Gráfico hora - intensidad (Espira 1031).....                                 | 31 |
| Ilustración 21: Gráfico hora - intensidad (Espira 1012).....                                 | 31 |
| Ilustración 22: Gráfico hora - intensidad (Espira 1015).....                                 | 32 |
| Ilustración 23: Gráfico hora - intensidad (Espira 1016).....                                 | 32 |
| Ilustración 24: Gráfico hora - intensidad (Espira 1029).....                                 | 33 |
| Ilustración 25: Intensidades Medias por Espira .....                                         | 33 |
| Ilustración 26: Implantación carril bus .....                                                | 37 |
| <i>Ilustración 27: División del eje</i> .....                                                | 38 |
| Ilustración 28: Funcionamiento BLIP.....                                                     | 39 |
| Ilustración 29: Leds.....                                                                    | 40 |
| Ilustración 30: Leds.....                                                                    | 40 |
| Ilustración 31: Obstáculos en la red .....                                                   | 44 |

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 32: Trazado en planta de la red .....                                | 46 |
| Ilustración 33: Detalle de la red.....                                           | 47 |
| Ilustración 34: Detalle de la red.....                                           | 47 |
| Ilustración 35: Detalle de la red.....                                           | 48 |
| Ilustración 36: Modelo 3D .....                                                  | 49 |
| Ilustración 37: Modelo 3D .....                                                  | 49 |
| Ilustración 38: Definición de grupos semafóricos .....                           | 50 |
| Ilustración 39: Definición de grupos semafóricos .....                           | 50 |
| Ilustración 40: Definición de grupos semafóricos .....                           | 51 |
| Ilustración 41: Asignación de fases.....                                         | 51 |
| Ilustración 42: Asignación de fases.....                                         | 52 |
| Ilustración 43: Recorrido Línea 4 .....                                          | 52 |
| Ilustración 44: Recorrido Línea 14 .....                                         | 53 |
| Ilustración 45: Recorrido Línea 19 .....                                         | 53 |
| Ilustración 46: Recorrido Línea 23 .....                                         | 54 |
| Ilustración 47: Recorrido de salida de las líneas interurbanas y regionales..... | 55 |
| Ilustración 48: Ubicación de centroides.....                                     | 56 |
| Ilustración 49: Tiempo de Parada Bus .....                                       | 62 |
| Ilustración 50: Tiempo de Parada Coches .....                                    | 63 |
| Ilustración 51: Tiempo de Parada Total.....                                      | 63 |
| Ilustración 52: Tiempo de Demora Bus .....                                       | 64 |
| Ilustración 53: Tiempo de Demora Coches .....                                    | 65 |
| Ilustración 54: Tiempo de Demora Total .....                                     | 65 |
| Ilustración 55: Densidad Bus .....                                               | 66 |
| Ilustración 56: Densidad Coches .....                                            | 67 |
| Ilustración 57: Densidad Total.....                                              | 67 |
| Ilustración 58: Nº de Paradas Bus .....                                          | 68 |
| Ilustración 59: Nº de Paradas Coches.....                                        | 69 |
| Ilustración 60: Nº de Paradas Total.....                                         | 69 |
| Ilustración 61: Velocidad Bus.....                                               | 70 |
| Ilustración 62: Velocidad Coches.....                                            | 71 |
| Ilustración 63: Velocidad Total .....                                            | 71 |

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: Ventajas e inconvenientes de los distintos separadores ..... | 25 |
| Tabla 2: Datos de intensidades medias en hora punta.....              | 34 |
| Tabla 3: Datos de espiras para estimación de matriz O-D .....         | 34 |
| Tabla 4: Datos Líneas de Autobús .....                                | 54 |
| Tabla 5: Tiempos de Parada.....                                       | 62 |
| Tabla 6: Tiempos de Demora.....                                       | 64 |
| Tabla 7: Resultados Densidad .....                                    | 66 |
| Tabla 8: Resultados Nº de Paradas .....                               | 68 |
| Tabla 9: Resultados Velocidad .....                                   | 70 |
| Tabla 10: Presupuesto carril bus convencional .....                   | 73 |
| Tabla 11: Presupuesto Carril Bus BLIP .....                           | 73 |
| Tabla 12: Matriz O-D.....                                             | 77 |
| Tabla 13: Resultados .....                                            | 79 |

## RESUMEN

El presente estudio consiste en el análisis de las opciones para la priorización del transporte público en el eje Castilla – Hermida (Santander). Se plantean tres escenarios posibles, la situación inicial sin ningún tipo de priorización, la situación de la implantación de un carril reservado a autobuses en el margen derecho con priorización semafórica del carril bus, y una última en la que se plantea la implantación de un carril bus de prioridad intermitente (BLIP – Bus Lines With Intermittent Priority) priorizado semafóricamente.

Para el análisis de las tres situaciones se han llevado a cabo seis simulaciones, una para cada escenario modelando los aparcamientos en doble fila, y otra para cada uno en la que se permiten los aparcamientos en el margen derecho del carril.

Además del estudio operacional en el que se valoran las consecuencias de cada alternativa y el funcionamiento de la red, se ha realizado un estudio económico de cada alternativa.

Tras analizar todos los escenarios y su coste se ha concluido que la mejor alternativa es la implantación del carril bus de prioridad intermitente BLIP, que, aunque otorga densidades mayores, consigue un mayor aprovechamiento del espacio, mejorando la velocidad de los autobuses, y su número de paradas; lo que se traducirá en una red de líneas más eficiente, sin congestionar al resto de vehículos.

### Palabras Clave:

Transporte público, priorización semafórica, prioridad intermitente, carril bus, implantación, eje, ciclo semafórico.



## SUMMARY

The current study involves the analysis of the different options to prioritize the public transport in the axis Castilla – Hermida (Santander). Three possible scenarios are raised, first the initial situation without any type of prioritisation, after the situation where a bus lane is placed in the right margin of the road with stoplight prioritisation, and the last, where is proposed to place a BLIP lane (Bus Lines With Intermittent Priority) with stoplight prioritisation.

To analyse the three situations six simulations had been made, one for each scenario modelling the double parking, and another for each one taken into account the parks in the right margin of the street.

In addition to the operational study where are value the consequences of each alternative, and the transport network operation, an economic study had been evaluated.

After the analyse of all the scenarios and their cost, it has been concluded that the best alternative is the implementation of a bus line with intermittent priority BLIP, that, also it gives bigger densities, achieves a better utilization of the space, improving the buses speed and their and their stop number; what will conduce to a more efficient network, without congest the other vehicles.

### Key words:

Public transport, stoplight prioritisation, intermittent priority, bus line, implementation, axis, traffic line cycle.

# CAPÍTULO 1

---

## INTRODUCCIÓN

## INTRODUCCIÓN

La continua evolución de las ciudades unida a los cambios en exigencias y necesidades de la sociedad ha conducido a complejos entramados de tráfico que requieren actuaciones específicas para su fluido y correcto funcionamiento.

Uno de los principales problemas actuales en las ciudades es la congestión del tráfico que afecta directamente a la calidad de vida de los ciudadanos y al desarrollo económico de la ciudad, lo que está motivando la creciente preocupación por una gestión eficiente de la red.

Ante esta problemática una de las principales vías de actuación es la motivación del uso del transporte público, que al contar con mayor número de plazas que los vehículos privados, reduce el espacio ocupado y además los recursos energéticos utilizados.

Siguiendo esta línea de actuación, la ciudad de Santander recoge en su “Plan Estratégico Santander 2020” la mejora de la red de transporte público, lo cual motiva la aparición de este estudio que pretende regular las líneas de transporte urbano dotándolas de un carril reservado, en uno de los principales ejes de entrada y salida a la ciudad, el eje Castilla-Hermida.



*Ilustración 1: Espacio ocupado por los distintos modos de transporte para 200 personas*

## ANTECEDENTES ADMINISTRATIVOS

Como ya se ha mencionado anteriormente el presente estudio está enmarcado en el Plan Estratégico Santander 2010-2020. El plan estratégico se plantea como “un instrumento que pretende incidir y alinear la capacidad de organización y acción de la ciudad para responder colectivamente, y con mayor eficiencia, a los retos compartidos y avanzar así, hacia el modelo de ciudad que se aspira a alcanzar” <sup>1</sup>.

Además, este Plan Estratégico recoge el Plan de Movilidad Sostenible de Santander cuya finalidad es plantear un nuevo modelo de transporte y movilidad en el municipio. A su vez, este recoge el Plan de Fomento del transporte colectivo que incluye la red de metro ligero, los carriles bus-taxi e intermodalidad autobús-barco.

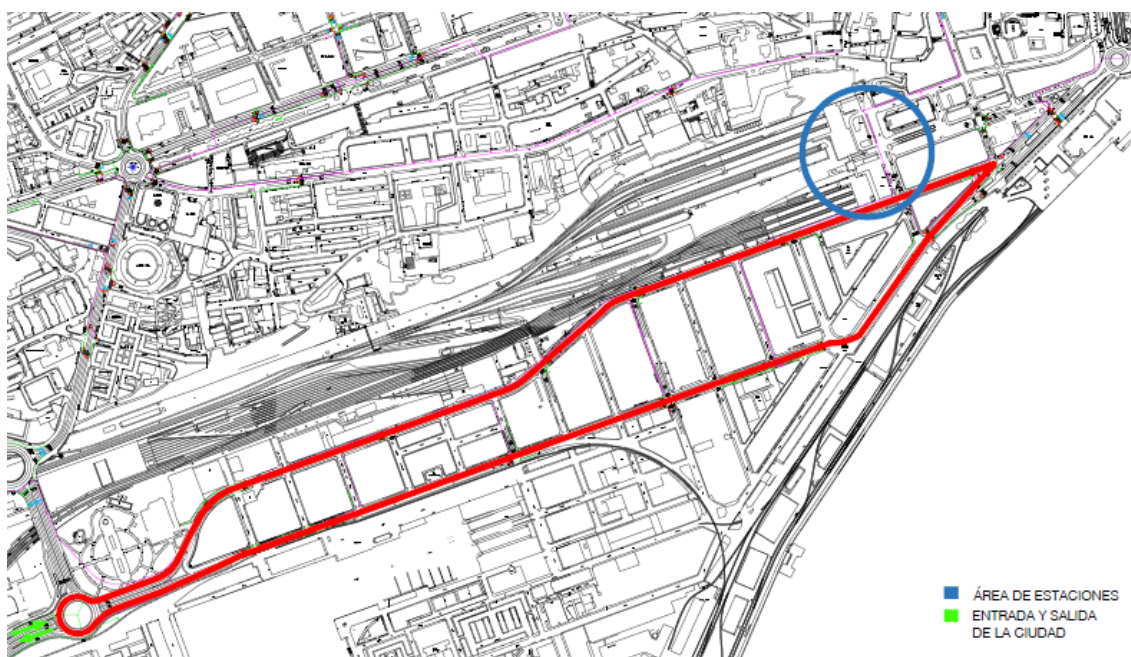
Todas estas actuaciones enmarcan el estudio que pretende articular el Plan de Fomento del transporte colectivo, concretamente el apartado de carriles bus-taxi, y para el cuál se estudiarán las alternativas descritas en los siguientes apartados.

## DEFINICION DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área objeto de estudio corresponde con el eje Castilla-Hermida, uno de los principales ejes de entrada y salida de la ciudad, que además cuenta con varios factores que le aportan gran importancia para el desarrollo económico de la ciudad.

Este eje es una vía de entrada para los vehículos que acceden al puerto de Santander, de gran importancia para la ciudad, la región y la comunicación marítima de la costa norte de España. Por lo que un tráfico fluido en este eje propiciará el correcto funcionamiento del puerto.

Por otro lado, el eje Castilla-Hermida da acceso a las principales estaciones de transporte de la ciudad, la estación de autobuses, la estación de ferrocarril y la de FEVE, por lo que para permitir un buen acceso y una buena intermodalidad este eje es esencial.



*Ilustración 2: Área de estudio*

## CAPÍTULO 2

---

### OBJETIVOS

## OBJETIVOS DEL ESTUDIO

### Introducción

El presente estudio pretende prever el impacto de implantar un carril reservado para autobuses en el eje Castilla-Hermida, comparando la situación actual, y la posible situación futura, proponiendo las actuaciones que pudiesen mejorar la implantación y el funcionamiento de la red de tráfico en este eje.

Además, se aborda el estudio de la priorización semafórica en el eje, que consiste en dotar de preferencia en los ciclos semafóricos a las líneas de transporte público, modificando sus fases para favorecer el paso de estos, y reducir al mínimo las paradas debidas a las señales semafóricas, reduciendo, así, su tiempo total de viaje.

### Objetivos

**Objetivo 1: Modelizar desde el punto de vista operacional la red que transcurre por las calles Castilla y Marqués de la Hermida.** Para lo cual, se llevará a cabo una microsimulación con el software Aimsun basándose en la cartografía y los datos de la red.

**Objetivo 2: Analizar la situación actual.** Identificar la situación actual, las posibles problemáticas que presenta la red, y los tiempos actuales de las líneas de transporte público.

**Objetivo 3: Modelizar la implantación de un carril reservado en el margen derecho de la plataforma.** De esta forma podremos prever el impacto de su implantación y compararlo con la situación inicial.

**Objetivo 4: Estudio de la situación con carril reservado.** Comprobación de viabilidad y planteamiento de otras posibles soluciones.

**Objetivo 5: Priorización semafórica.** Planificación de la red semafórica que otorgue prioridad al transporte público.

## CAPÍTULO 3

---

### CARRIL BUS: DEFINICIÓN Y TIPOS



## INTRODUCCIÓN

El carril bus se da generalmente en vías urbanas, destinándose normalmente el carril exterior por ser el más próximo a la acera, zona donde se emplazan las paradas. Con eso se persigue facilitar la circulación urbana del transporte público evitando retrasos y demoras, lo que se traduce en un fomento de este tipo de transporte.

El gran inconveniente de este tipo de carriles es la reducción del número de carriles útiles para el resto de vehículos, que en situaciones de congestión acabarán por invadir el carril reservado, con lo que éste pierde toda su funcionalidad.

## TIPOLOGÍA

Por la forma de implantación, el carril bus puede ser:

- **Carril bus situado a la derecha del sentido de la circulación**

Consiste en la disposición del carril de circulación exclusiva del autobús entre los carriles de circulación general y la acera en el sentido de la circulación, con o sin separadores.



*Ilustración 3: Carril bus situado a la derecha del sentido de la circulación*

- **Carril bus situado a la izquierda del sentido de la circulación, bien como carriles situados en el eje de una vía de doble sentido o bien en la izquierda de una calzada de sentido único.**

Esta tipología dispone el carril de circulación exclusiva del autobús entre los carriles de circulación general y la acera en el sentido de la de la circulación, con o sin separadores.



*Ilustración 4: Carril bus situado a la izquierda del sentido de la circulación*

- **Carril bus en sentido contrario al normal de la circulación.**

Disposición del carril de circulación exclusiva del autobús en sentido contrario al de la circulación en un eje de sentido único para vehículos privados.



*Ilustración 5: Carril bus en sentido contrario al de la circulación*

- **Carril bus en plataforma reservada en superficie.**

Disposición del carril de circulación exclusiva del autobús en medio de la calzada, entre ambos sentidos de circulación (y por tanto alejado de la acera).



*Ilustración 6: Carril bus con plataforma reservada en superficie*





*Ilustración 7: Carril bus con plataforma reservada en superficie*



*Ilustración 8: Carril bus con plataforma reservada en superficie*



*Ilustración 9: Carril bus con plataforma reservada en superficie*

- **Carril bus en plataforma reservada en túnel**

Disposición del carril exclusivo en túneles, normalmente en acceso a los intercambiadores de transporte público.



*Ilustración 10: Carril bus con plataforma reservada en túnel*

## SEPARADORES

En muchas ocasiones para un uso correcto de los carriles reservados surge la necesidad de aislar estos carriles para evitar que vehículos no autorizados transcurran por ellos y alteren su normal funcionamiento.

Existen diferentes tipologías de separadores cuyo objetivo común es proteger al máximo el carril a la invasión de vehículos privados (carga y descarga, estacionamiento ilegal, etc.) para así asegurar su eficacia.

### Tipos

- **Sin separadores verticales**

Separación del carril por señalización o diferencia del color. Es el tipo más extendido, pero permite un incremento de velocidad comercial moderado por las frecuentes invasiones.



*Ilustración 11: Carril bus sin separadores verticales*



- **Instalación de medianas**

Construcción de una mediana que separe completamente ambas plataformas; opcionalmente con arbolado para una mayor diferenciación del carril. Suponen un fuerte incremento en la velocidad comercial con operación cercana a los autobuses de alto nivel de servicio.



*Ilustración 12: Carril bus con mediana*

- **Separadores altos y de hormigón**

Instalación de separadores metálicos o de hormigón altos: permite un fuerte incremento de la velocidad comercial con operación propia de autobuses de alto nivel de servicio.



*Ilustración 13: Carril bus con separadores de hormigón*

- **Separadores plásticos y aletas de tiburón**

Piezas alineadas con colores reflectantes por ambas caras para mayor visibilidad. También bolardos plásticos similares a los dispuestos en carreteras. Numerosas experiencias han resultado con una buena segregación de modos.





*Ilustración 14: Carril bus con separadores plásticos*

- **Separadores bajos rebasables de hormigón**

La tendencia actual se centra en la construcción de un bordillo de hormigón bajo, existen varios ejemplos de su aplicación en los que se ha alcanzado una alta velocidad comercial.

En el cuadro que se muestra a continuación se recogen las ventajas e inconvenientes de las distintas opciones de separación.

|                                                  | Ventajas                                                                                                                                                                                     | Inconvenientes                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Sin separadores</b>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Tipología más barata</li> <li>-Unos autobuses pueden adelantar a otros</li> <li>-Pueden ser designados sólo para hora punta</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Fueres medidas de protección frente a la invasión del carril</li> <li>-Se recomienda la diferenciación de color, señalización luminosa, bandas rugosas etc.</li> </ul> |
| <b>Medianas</b>                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Gran protección frente a la invasión del carril</li> </ul>                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Requiere una reserva de espacio mayor</li> <li>-Riesgo de bloqueo de tráfico en caso de accidentes de autobuses</li> </ul>                                             |
| <b>Separadores altos y de hormigón</b>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Barrera visual para los conductores que evita su invasión</li> <li>-Reserva mínima de espacio</li> </ul>                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Elevado cose</li> <li>-Mayor accidentalidad</li> <li>-Riesgo de bloqueo en caso de accidentes de autobuses</li> </ul>                                                  |
| <b>Separadores plásticos y aletas de tiburón</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Mejora en la accidentalidad en caso de colisión puesto que absorben el impacto</li> <li>-Menor coste de instalación que separadores altos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Altos costes de mantenimiento (reposición de piezas)</li> </ul>                                                                                                        |
| <b>Separadores bajos rebasables de hormigón</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Mejora en la accidentalidad: se sobrepasa el bordillo en caso de necesidad</li> <li>-Mantenimiento más económico</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Coste de instalación algo superior a otros separadores</li> <li>-Requiere abrir la calzada para embeber el bordillo</li> </ul>                                         |

Tabla 1: Ventajas e inconvenientes de los distintos separadores

Tras el análisis de los distintos tipos de carril bus y de los separadores existentes, se opta por un carril bus lateral continuo en el sentido de la circulación con separador bajo rebasable de hormigón.

La elección de esta tipología viene dada por las condiciones geométricas de la red, además de la posición de las paradas actuales de autobús situadas todas ellas en el margen derecho que limitan la ubicación del carril a este margen.

Por otro lado, la elección de separadores bajos rebasables de hormigón es consecuencia de la comparativa de las ventajas e inconvenientes de los distintos métodos, considerando éste el más adecuado para la red estudiada puesto que requiere menos espacio que otros separadores, permite en caso de necesidad rebasarlo, lo que en situaciones accidentales como la avería de un autobús propiciará que la red no se colapse. Además, su coste de mantenimientos es inferior al de otros separadores, aunque el de instalación sea ligeramente superior.

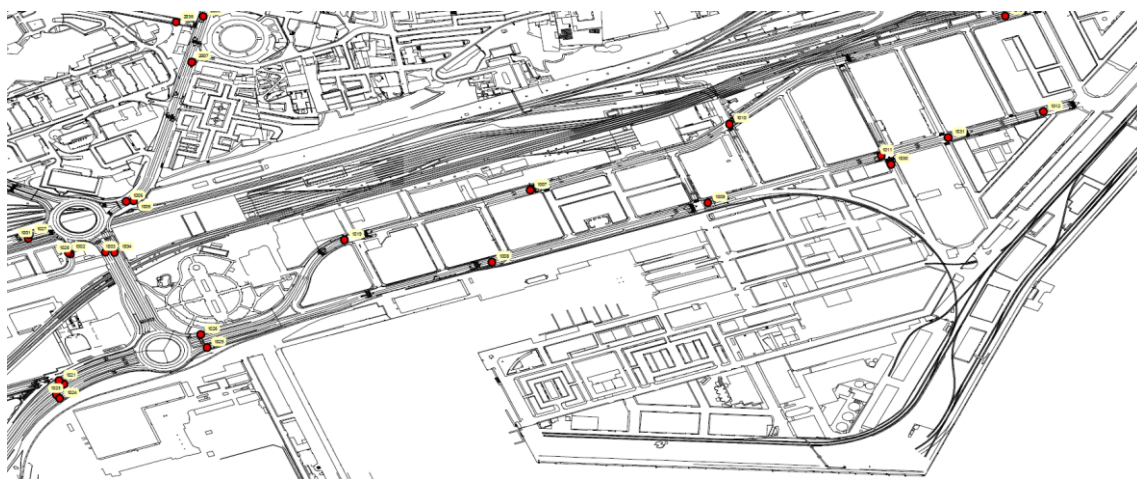
## CAPÍTULO 4

---

### DATOS DE PARTIDA

## DATOS DE PARTIDA

Para la modelización de la red se dispone de los datos de las espiras situadas en el área de estudio. Se cuenta con datos de 30 días completos por lo que se ha procedido a analizar y filtrar los datos para elegir la hora punta en la que se realizará la simulación.



*Ilustración 15: Localización de las espiras*

La hora punta u hora pico es la denominación que se le da al periodo de tiempo, no necesariamente una hora, en el que regularmente se producen congestiones. Generalmente se refieren a congestiones en la vía pública, y pueden ser una sobredemanda o congestión de picos a las autopistas o avenidas principales como de la saturación del transporte público, y las principales razones por las cuales se producen estas congestiones son debido a que en las grandes ciudades, la mayor parte de la masa laboral se retira de sus puestos de trabajo a una misma hora.

Es por esto que de los 30 días de los que se dispone de datos, se han filtrado los días laborables, lo que arrojará resultados más precisos.

La elección de la hora punta ha venido condicionada por las gráficas hora-intensidad de las distintas espiras en los días laborables de los 30 días, de ellas se ha obtenido una media diaria de intensidad para cada espira la cual representada junto a los tramos horarios nos muestra la distribución de la intensidad y facilita la identificación de la hora punta.

A continuación, se presentan los datos de intensidad media para cada una de las espiras a través de gráficas hora-intensidad:



Ilustración 16: Gráfico hora - intensidad (Espira 1023)

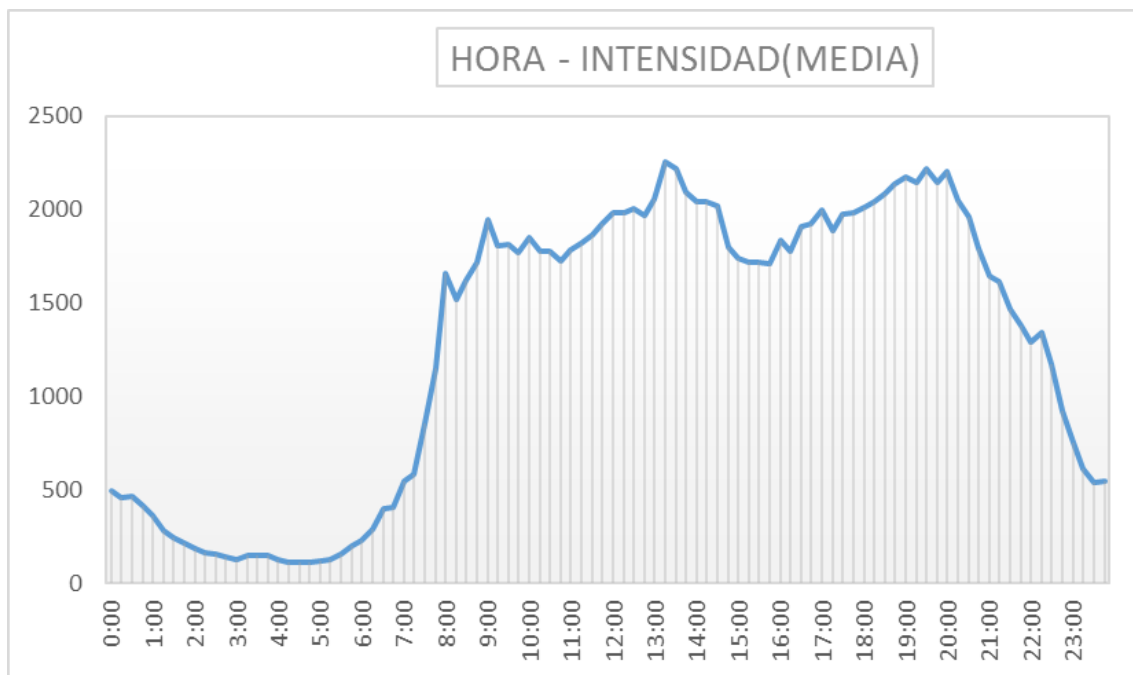


Ilustración 17: Gráfico hora - intensidad (Espira 1008)



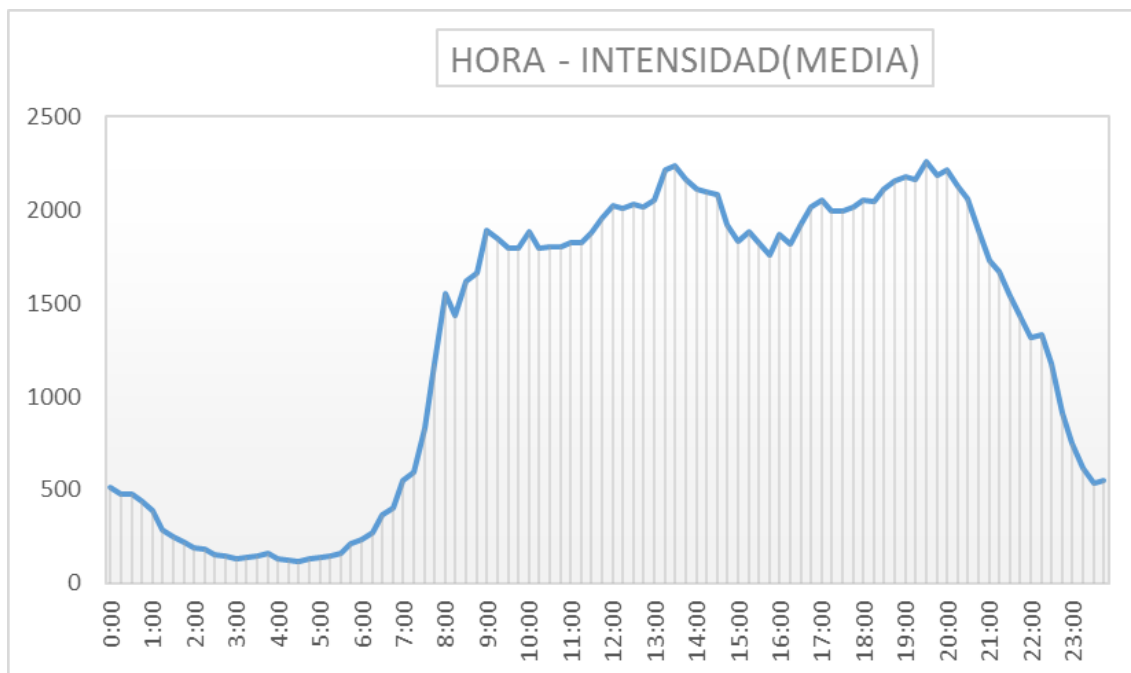


Ilustración 18: Gráfico hora - intensidad (Espira 1009)

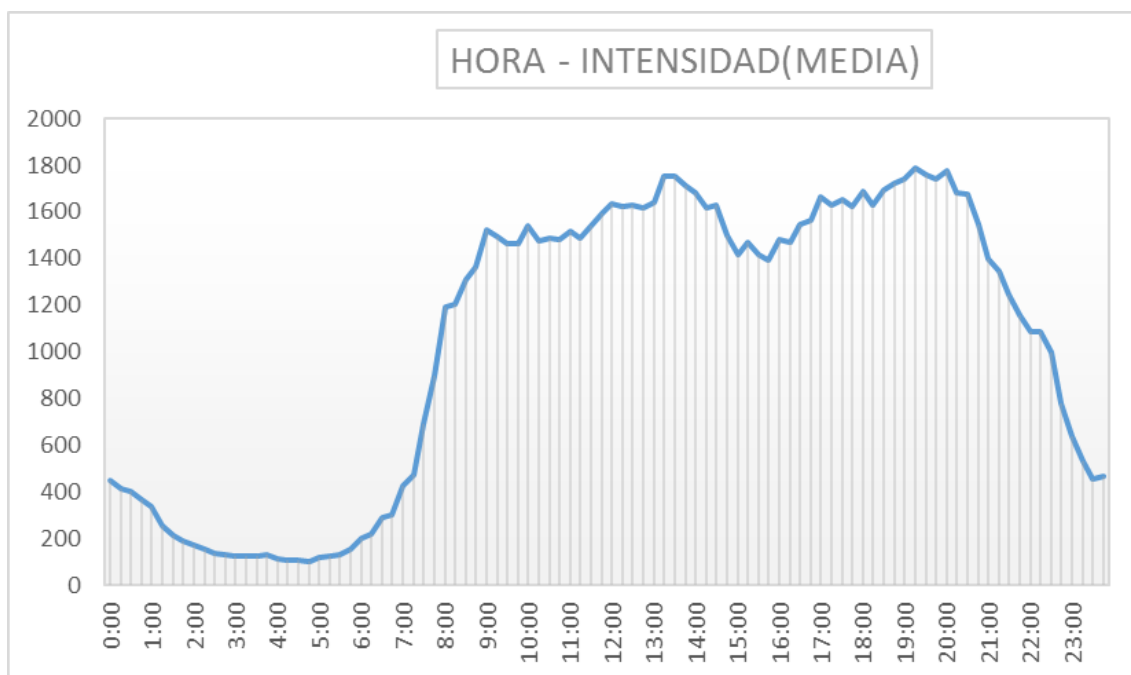


Ilustración 19: Gráfico hora - intensidad (Espira 1011)

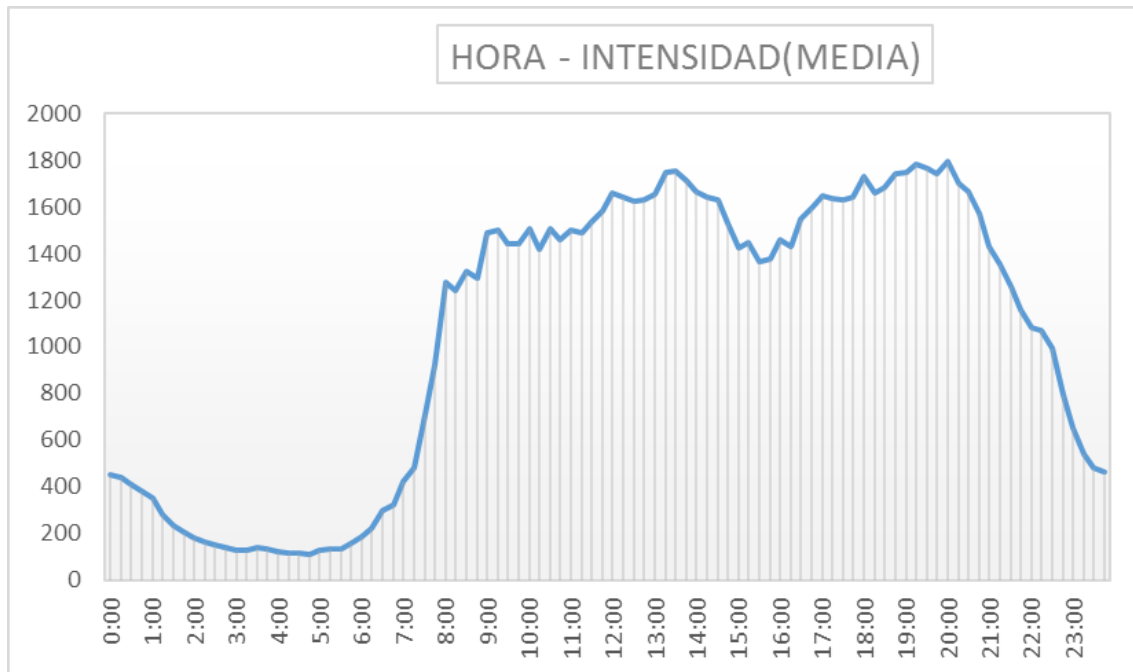


Ilustración 20: Gráfico hora - intensidad (Espira 1031)



Ilustración 21: Gráfico hora - intensidad (Espira 1012)

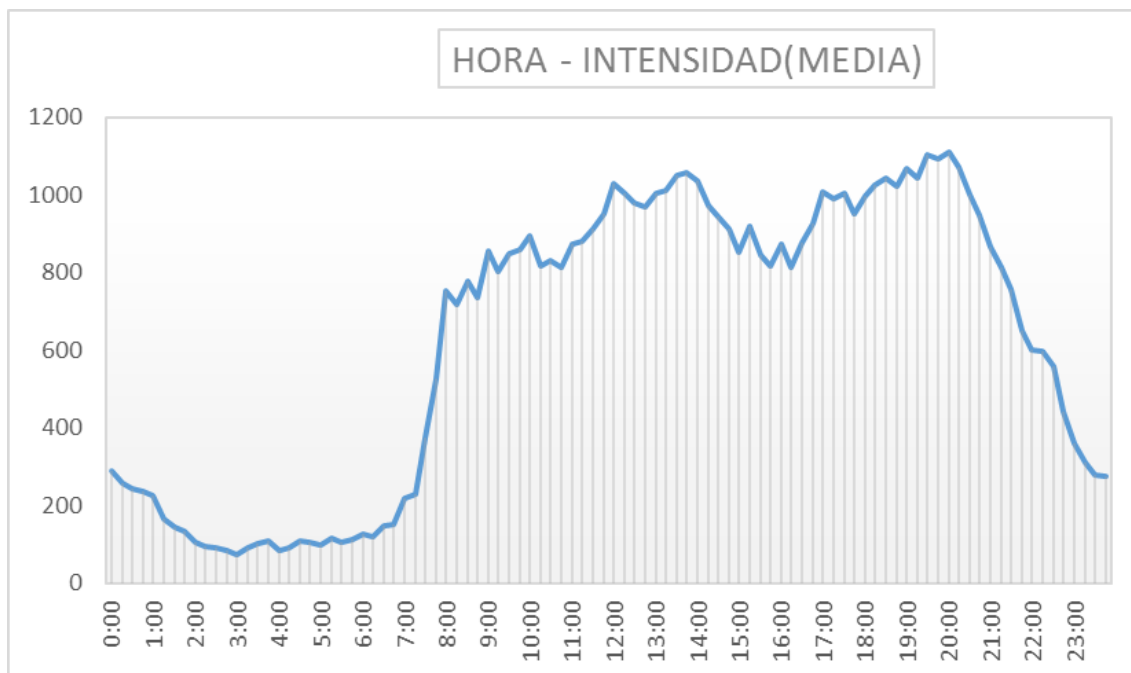


Ilustración 22: Gráfico hora - intensidad (Espira 1015)

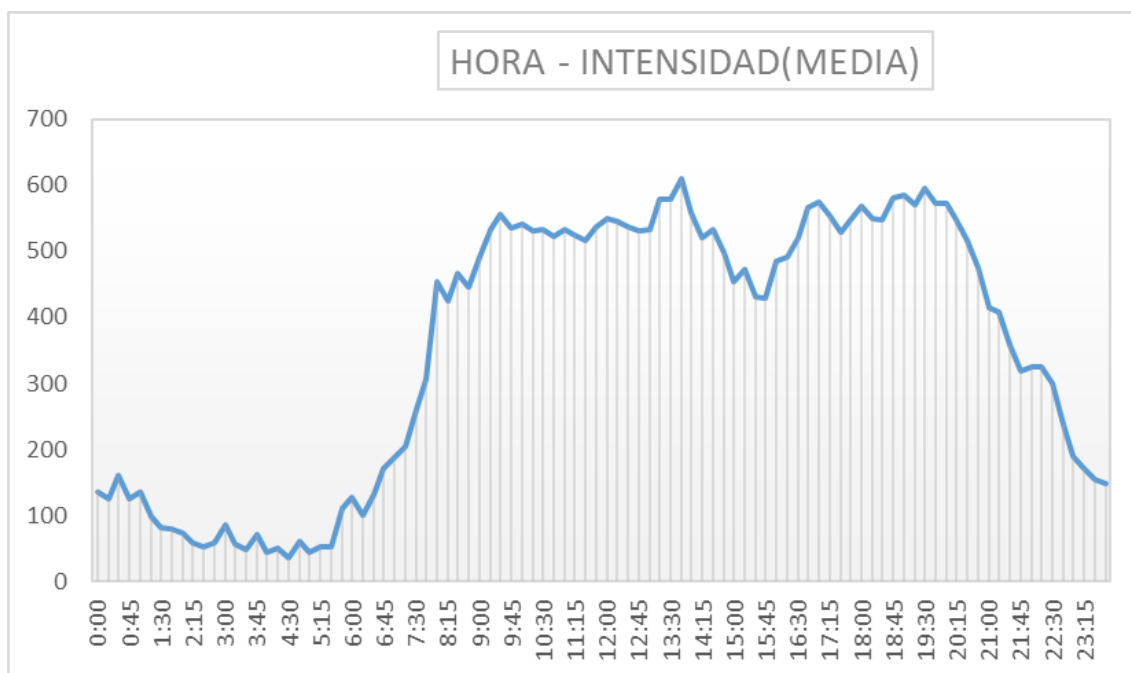


Ilustración 23: Gráfico hora - intensidad (Espira 1016)

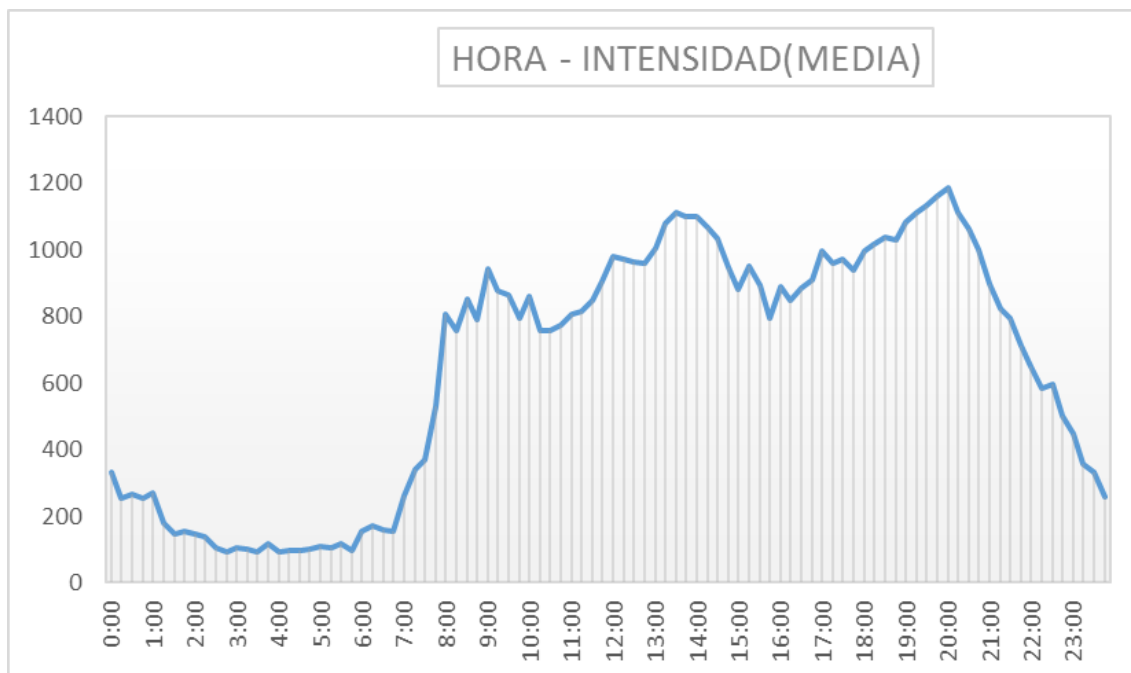


Ilustración 24: Gráfico hora - intensidad (Espira 1029)

Finalmente, en la siguiente imagen podemos ver las anteriores gráficas superpuestas lo que facilita la elección del tramo de hora punta, como podemos ver los dos picos más altos se producen en el tramo horario 13:00 a 14:00 y en el de 19:00 a 20:00, de los cuáles elegiremos el tramo de 13:00 a 14:00h como hora punta para la modelización de la red.

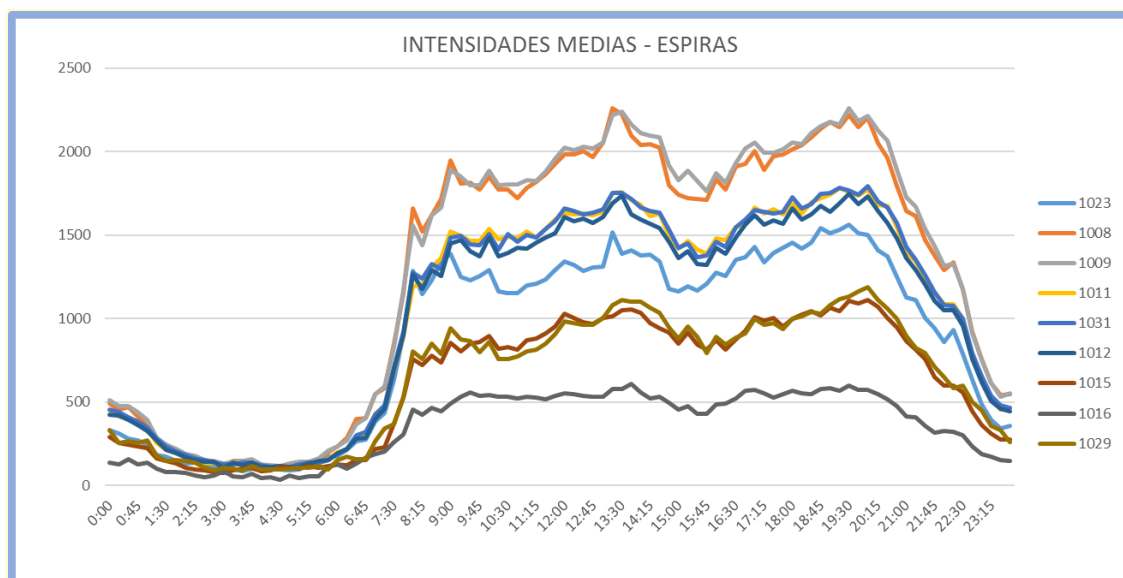


Ilustración 25: Intensidades Medias por Espira

Tras el filtrado y la elección de la hora punta obtenemos los siguientes datos, para periodos de 15 minutos, de entre estos elegimos la máxima intensidad que se produce en nuestra hora punta.

| HORA  | 1023 | 1008 | 1009 | 1011 | 1031 | 1012 | 1015 | 1016 | 1029 | $\Sigma$ |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| 13:15 | 1515 | 2258 | 2217 | 1751 | 1751 | 1692 | 1012 | 578  | 1080 | 13854    |
| 13:30 | 1390 | 2222 | 2239 | 1755 | 1754 | 1738 | 1051 | 578  | 1112 | 13839    |
| 13:45 | 1411 | 2095 | 2163 | 1709 | 1714 | 1623 | 1057 | 609  | 1100 | 13481    |
| 14:00 | 1377 | 2040 | 2112 | 1679 | 1664 | 1595 | 1036 | 558  | 1100 | 13161    |
| Máx.  | 1515 | 2258 | 2239 | 1755 | 1754 | 1738 | 1057 | 609  | 1112 |          |

Tabla 2: Datos de intensidades medias en hora punta

Como resultado de este análisis obtenemos los siguientes datos, que serán introducidos en las espiras para la estimación de la matriz origen – destino que se le asignará a la red.

| Id   | volumen | hora de finalización |
|------|---------|----------------------|
| 1023 | 1515    | 14:00:00             |
| 1008 | 2258    | 14:00:00             |
| 1009 | 2239    | 14:00:00             |
| 1011 | 1755    | 14:00:00             |
| 1031 | 1754    | 14:00:00             |
| 1012 | 1738    | 14:00:00             |
| 1015 | 1057    | 14:00:00             |
| 1016 | 609     | 14:00:00             |
| 1029 | 1112    | 14:00:00             |

Tabla 3: Datos de espiras para estimación de matriz O-D

## CAPÍTULO 5

---

### ESCENARIOS PROPUESTOS



## ESCENARIOS PROPUESTOS

Para la mejora de la eficiencia de las líneas de autobús urbano se han propuesto distintas alternativas, que posteriormente han sido modelizadas y estudiadas.

### Carril Bus Convencional

La primera alternativa planteada en el estudio es la instalación de un carril bus convencional.

El carril bus convencional se define como la reserva de un espacio exclusivo para la circulación de autobuses mediante diferentes herramientas y relaciones con el esquema viario, sus principales objetivos son la mejora del tiempo de viaje y regularidad, librándolo de la congestión del tráfico para hacer del autobús un modo más competitivo.

Sus beneficios pueden resumirse de la siguiente forma:

|                   |                      |                      |                      |                      |
|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| - Tiempo de viaje | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| - Regularidad     | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| - Frecuencia      | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| - Costes Externos | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| - Demanda         | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| - Calidad         | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

Su implantación implica eliminar un carril de circulación para vehículos o bien, suprimir los aparcamientos en uno de los márgenes, por lo que puede tener efectos negativos que deberán ser estudiados.

Normalmente se implanta en vías de 3 carriles por sentido con una congestión recurrente y en aquellos ejes en los que haya una elevada frecuencia de transporte colectivo (a partir de 20 expediciones por hora).

De las distintas opciones de implantación descritas anteriormente se ha optado por implantar el carril bus en el margen derecho con un separador bajo rebasable, para evitar un mal uso de este carril.

Su implantación se llevaría a cabo en las calles Marqués de la Hermida y Castilla, como se muestra a continuación:



*Ilustración 26: Implantación carril bus*

La implantación de un carril bus convencional en este caso implicaría la retirada de un carril de circulación para los coches y por lo tanto afectará negativamente a su circulación, aumentando los problemas de congestión para este tipo de vehículos, por esta razón se han estudiado otras posibilidades que no afecten tanto a la circulación de los vehículos.

De esta forma surge la idea de implementar un carril bus intermitente que reduzca el impacto negativo del carril bus en el resto de vehículos, este tipo de carril es conocido como BLIP (*Bus Lanes with Intermittent Priority*). Esta alternativa será la segunda actuación propuesta.

## BLIP (Bus Lanes with Intermittent Priority)

Los carriles exclusivos otorgan la total prioridad a los autobuses, lo que puede derivar en una infrautilización del carril, y una saturación de los carriles no reservados, de esta forma, aunque habremos mejorado la eficiencia de las líneas de transporte público, el resto de vehículos se verán afectados negativamente.

Este problema puede resolverse mediante la implementación de carriles de prioridad intermitente que reserven el carril sólo cuando un autobús necesita transitarlo.

Esta situación puede mejorar los niveles de aprovechamiento de la infraestructura alcanzando una situación ideal que priorice el transporte público, sin perder un carril de circulación.

La implementación física de esta alternativa se lleva a cabo mediante la colocación de hileras de leds a ambos límites del carril. Para su correcto funcionamiento el tramo de estudio se divide en distintas franjas independientes que se activaran o desactivaran en función de la proximidad de un autobús.

Así podemos encontrar situaciones en las que ningún carril se encuentre reservado a autobuses, o que varios de ellos, debido al tránsito de estos, estén bloqueados.

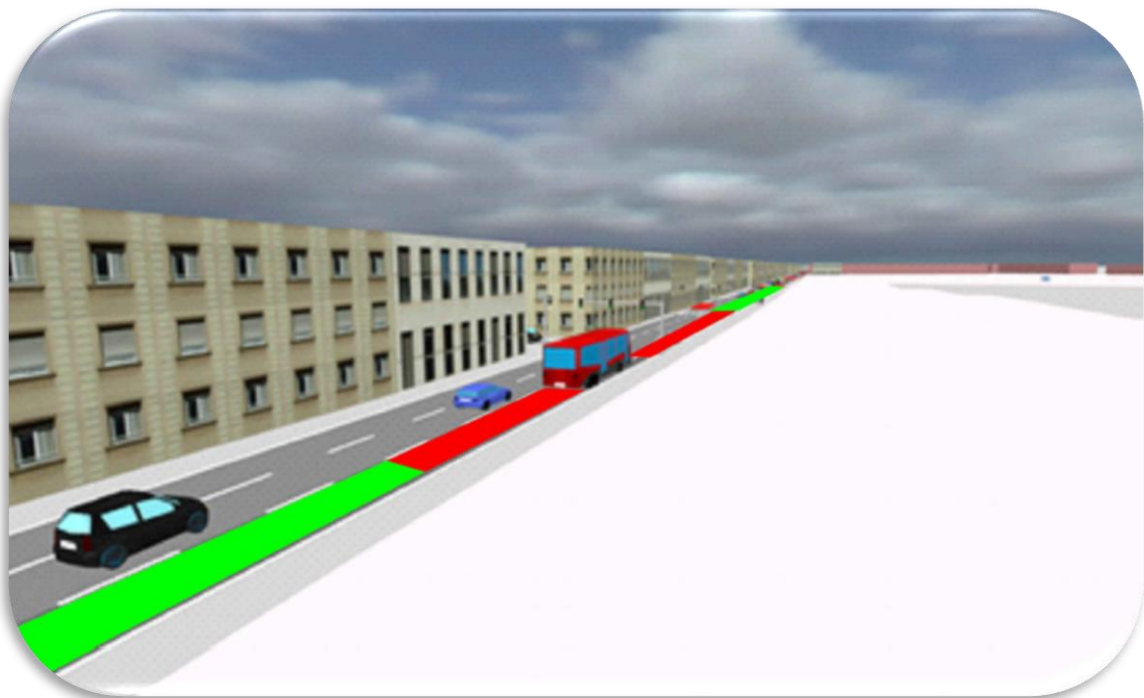


*Ilustración 27: División del eje*

Los leds reciben la señal GPS de la ubicación del autobús y cuando éste se acerca a cada franja cambian de color, prohibiendo la entrada al resto de vehículos, una vez que el autobús se aleja de este segmento, los leds vuelven a cambiar de color permitiendo el paso del resto de vehículos.

Idealmente los distintos tramos irán reservándose al paso del autobús y se abrirán al resto de vehículos cuándo éste abandone dicho segmento.

Aunque también es posible que varios tramos consecutivos se encuentren reservados por la presencia de varios autobuses, es por esto que la implementación de este tipo de infraestructuras es adecuada y alcanza su uso óptimo cuando la frecuencia de autobuses es media. De otra forma, con una frecuencia muy alta de autobuses, el carril se encontraría cerrado continuamente y su funcionamiento sería similar al de un carril bus convencional, reduciendo así los beneficios del carril bus BLIP (Bus Lines with Intermittent Priority).



*Ilustración 28: Funcionamiento BLIP*

Para su implementación física en este estudio los dispositivos leds elegidos tienen el formato mostrado en las siguientes imágenes, la luz roja marcaría la situación en la que el carril queda reservado al transporte público, y la verde la que permite el paso de todo tipo de vehículos, además para que esta señalización sea efectiva deben instalarse paneles informativos que alerten e informen sobre la presencia y funcionamiento de este sistema.

En las siguientes imágenes podemos ver el formato de los leds indicativos y sus dos estados que diferenciarán las distintas situaciones.



*Ilustración 29: Leds*

Como podemos ver en la imagen inferior los leds permiten la visualización de varios colores entre ellos el rojo y el verde que se utilizarán para señalar el carril en estado reservado para autobuses y abierto a todo tipo de vehículos respectivamente.



*Ilustración 30: Leds*

## Priorización Semafórica

El objetivo de la priorización semafórica es dar prioridad de paso a los autobuses públicos cuando estos se acercan a la red. Es decir, conseguir que cuando un autobús se aproxime el semáforo se encuentre abierto y así evitar paradas que aumentan notablemente el tiempo de viaje.

Esta actuación consigue disminuir los retrasos en las líneas de transporte sin apenas inversión lo que hace de esta una alternativa muy interesante.

No obstante, esta alternativa tiene sus limitaciones, por ejemplo, no es adecuada para zonas con altas frecuencias de autobuses puesto que estos activarían continuamente los semáforos que permiten su paso, bloqueando el resto de movimientos y por tanto inmovilizando a gran número de vehículos.

Su implementación se consigue editando el plan de control que rige cada intersección y modificando sus fases para conseguir una situación recurrente que active el verde a los autobuses cuándo unas espiras previas detecten su presencia.

La zona de estudio presenta una frecuencia media de paso de autobuses por lo que el análisis de la priorización semafórica resulta de gran interés.

# CAPÍTULO 6

---

## SOFTWARE



## SOFTWARE

La modelización y análisis de la red se han llevado a cabo con el software AIMSUN, un software que es capaz de reproducir las condiciones reales de una red viaria incluyendo todos sus elementos, como, por ejemplo, semáforos, peatones o líneas de transporte público. Permitiendo así el control de estas variables y el planteamiento de los diversos escenarios que facilitarán la toma de decisiones entorno a las actuaciones en la red.

### Modelos de microsimulación

El uso de microsimuladores en la ingeniería del transporte es muy extendido debido a sus ventajas como son la flexibilidad de sus modelos, la posibilidad de experimentación y la rápida variación de sus parámetros, una vez definido el modelo.

El software AIMSUN está basado en la microsimulación la cual consiste en experimentar con un modelo a nivel microscópico, es decir basándose en el movimiento individual de los vehículos y realizando un análisis vehículo por vehículo.

El movimiento de estos vehículos dependerá de su comportamiento y del de los vehículos con los que interactúa.

Sobre este modelo podemos controlar las variables cuya modificación nos arrojará distintos resultados que tras ser analizados conducirán a la elección del mejor escenario posible.

La simulación en AIMSUN depende del paso de simulación, un parámetro modificable entre 0.1 y 1 segundo que influye en el número de operaciones que realiza el programa. De esta forma cuanto menor es el valor del paso de simulación, mayor es el número de operaciones y la precisión, pero también hace el modelo más pesado y ralentiza el trabajo.

Otro concepto asociado a AIMSUN es el calentamiento, que tiene la función de introducir una serie de vehículos de entrada para evitar que el modelo empiece con una red sin vehículos, puesto que no sería una situación real. El tiempo de calentamiento tiene que ser suficiente para empezar por debajo de la capacidad y en un estado estable.

Este aspecto que tiene carácter aleatorio hace que cada replicación muestre unos resultados ligeramente diferentes, por lo que para obtener buenos resultados es necesario realizar la media de las distintas replicaciones, para eliminar este aspecto de aleatoriedad.

## Simulaciones llevadas a cabo en entorno AIMSUN

Siguiendo con las alternativas antes propuestas, se llevarán a cabo distintas simulaciones que reflejen las alternativas propuestas.

Para un estudio que se aproxime más a la red real se han introducido posibles obstáculos en la red como son coches mal aparcados, en segunda fila, o coches aparcando que momentáneamente bloquean un carril.

En la siguiente imagen podemos ver un ejemplo de estos obstáculos, representado por un recuadro rojo en el carril derecho.



*Ilustración 31: Obstáculos en la red*

Estos obstáculos se definen por la posición y longitud que pueden ocupar, y la frecuencia y desviación con la que aparecerán. De esta forma los vehículos que bloquean un carril variarán a lo largo de la simulación.

Este aspecto, unido a las tres alternativas anteriormente propuestas conducen a seis simulaciones diferentes:

- Situación inicial sin considerar los aparcamientos y vehículos mal aparcados.
- Situación inicial considerando los aparcamientos y vehículos mal aparcados.
- Implantación de carril bus convencional sin considerar los aparcamientos y vehículos mal aparcados.
- Implantación de carril bus convencional considerando los aparcamientos y vehículos mal aparcados.
- Implantación de carril bus BLIP sin considerar los aparcamientos y vehículos mal aparcados.
- Implantación de carril bus BLIP considerando los aparcamientos y vehículos mal aparcados.
- Implantación de carril bus convencional con priorización semafórica sin considerar los aparcamientos y vehículos mal aparcados.
- Implantación de carril bus convencional con priorización semafórica considerando los aparcamientos y vehículos mal aparcados.

La modelización y el posterior análisis de los resultados de las simulaciones descritas conducirá a la elección del mejor escenario.

## Metodología en el entorno AIMSUN

Para el desarrollo de este proyecto la metodología seguida en el software AIMSUN ha sido la siguiente:

- Definición geométrica de la red

La modelización de la red comienza con la definición geométrica de la red, para ello primero se define el trazado en planta y se le asignan el número de carriles correspondientes. Posteriormente se definen las intersecciones y las trayectorias permitidas en cada una de ellas.



*Ilustración 32: Trazado en planta de la red*



*Ilustración 33: Detalle de la red*



*Ilustración 34: Detalle de la red*



*Ilustración 35: Detalle de la red*

Por otro lado, se ha modelizado el entorno de la red en tres dimensiones aproximando el aspecto de la ciudad en la zona de estudio.



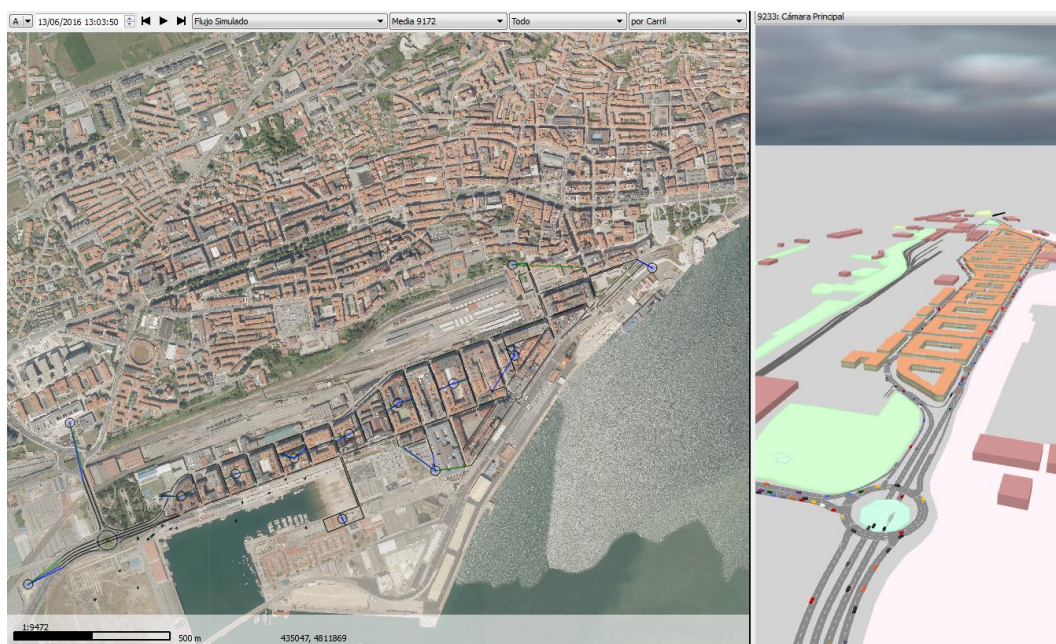


Ilustración 36: Modelo 3D



Ilustración 37: Modelo 3D

- Definición de grupos semafóricos

Una vez definida la red geoméricamente se procede a identificar los grupos semafóricos a los que posteriormente se les asignara una fase.



Para ello es necesario identificar los distintos movimientos y los diferentes grupos semafóricos. La definición en el entorno AIMSUN se lleva a cabo de la siguiente forma:

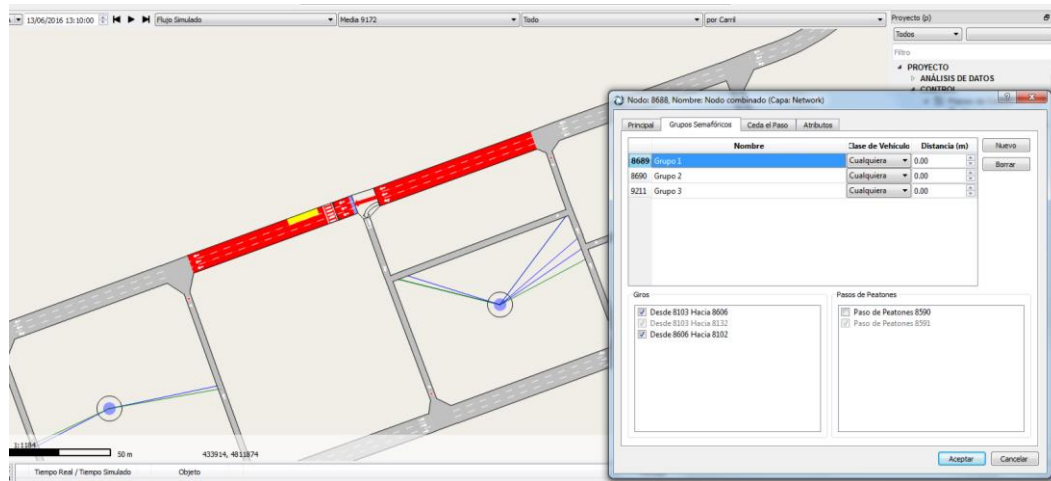


Ilustración 38: Definición de grupos semafóricos

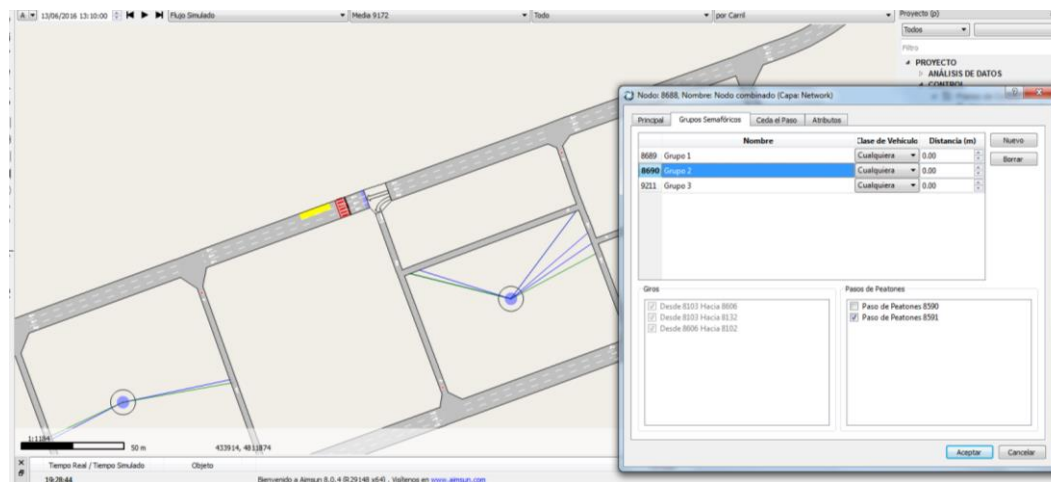


Ilustración 39: Definición de grupos semafóricos

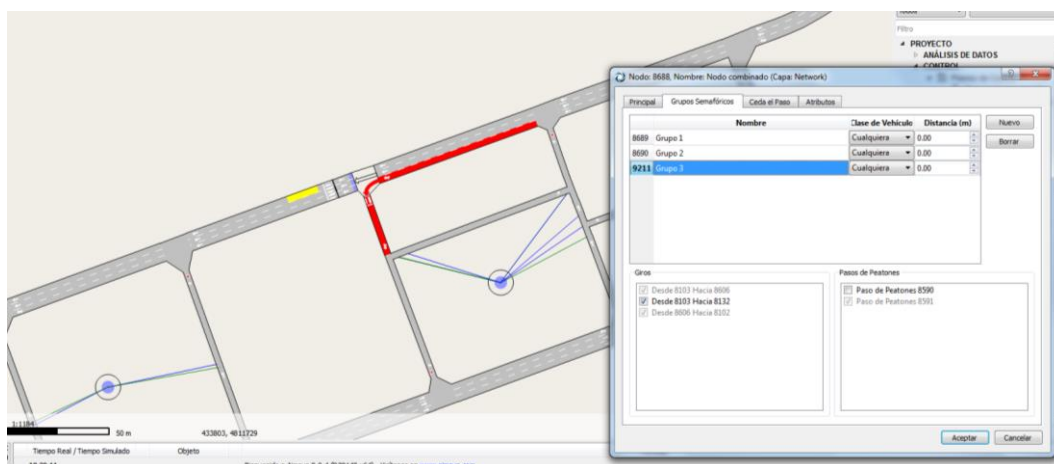


Ilustración 40: Definición de grupos semafóricos

- Asignación de fases a los distintos grupos semafóricos

Las fases de los distintos grupos semafóricos han sido introducidas respetando la configuración actual, además todos los semáforos de la red son de tipo fijo, a continuación, se muestra el entorno de definición.

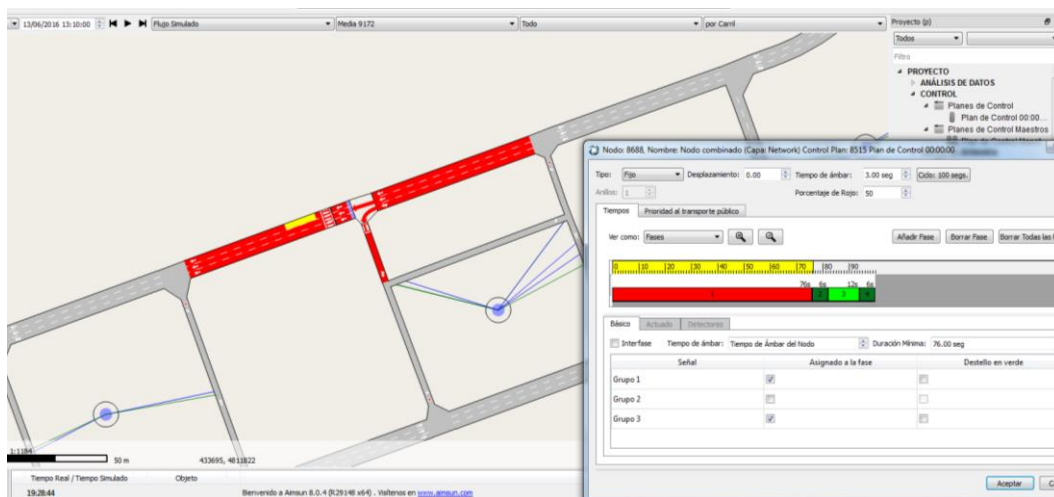


Ilustración 41: Asignación de fases

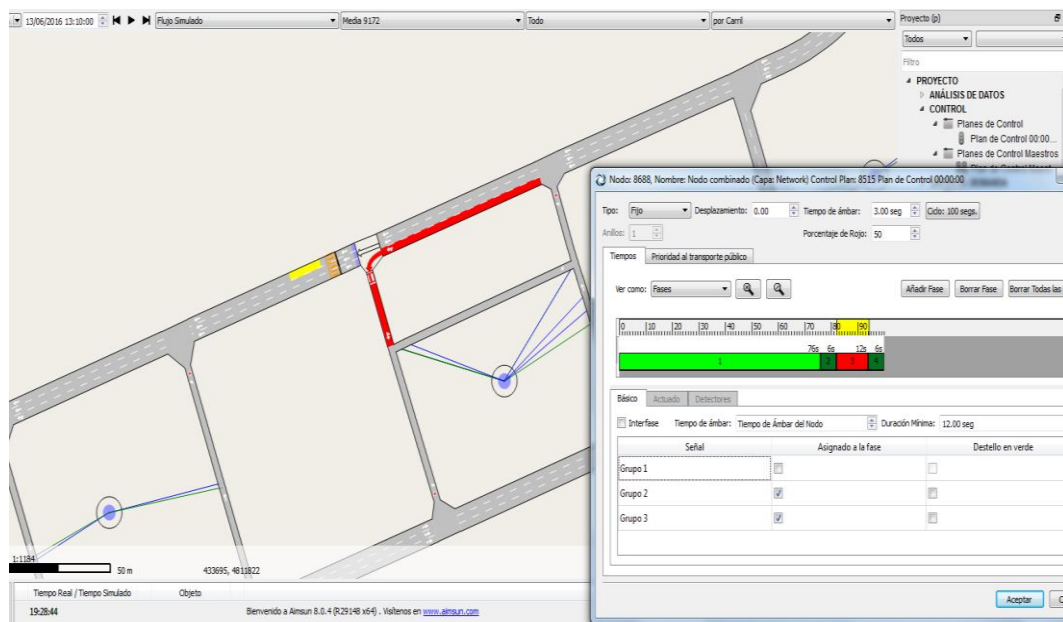


Ilustración 42: Asignación de fases

- Modelización de las líneas de transporte urbano

Basándose en datos reales de las líneas de transporte público que transcurren por este eje, se han modelado las distintas líneas introduciendo su frecuencia, recorrido, tiempos de parada y desviaciones.

A continuación, se muestran las distintas líneas y sus correspondientes recorridos.



Ilustración 43: Recorrido Línea 4

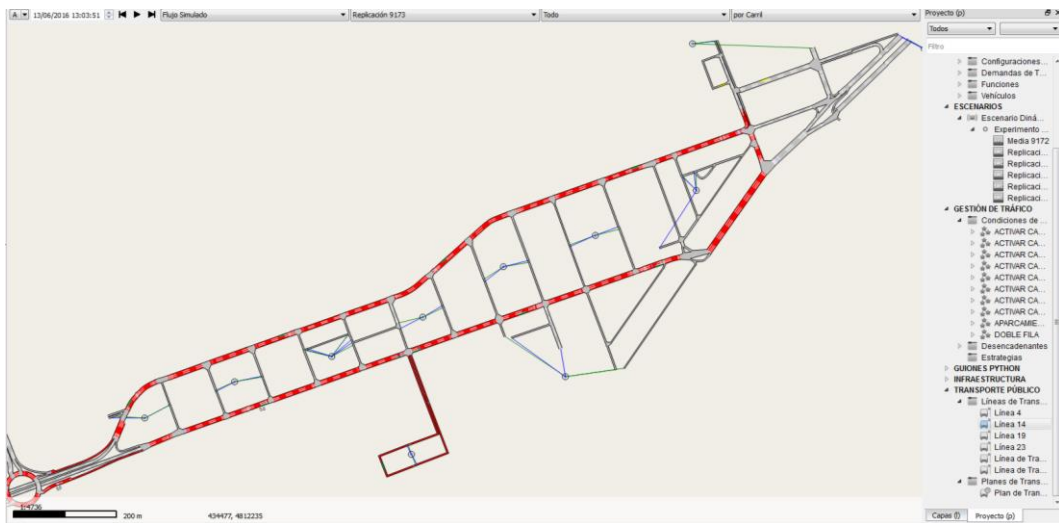


Ilustración 44: Recorrido Línea 14



Ilustración 45: Recorrido Línea 19



Ilustración 46: Recorrido Línea 23

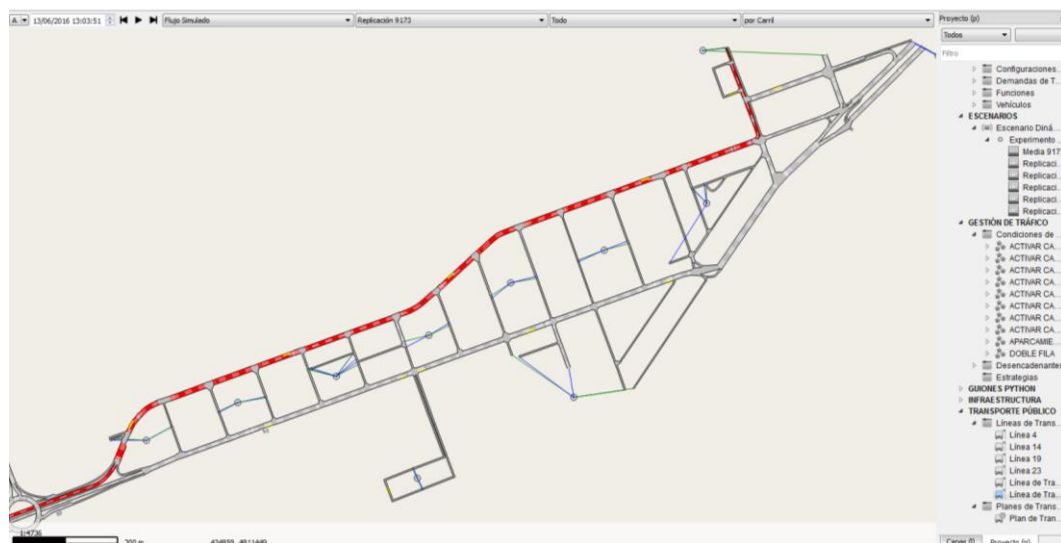
| LÍNEA | DESCRIPCIÓN                                  | INTERVALO DE<br>TIEMPO ENTRE<br>SALIDAS | DESVIACION | TIEMPO DE<br>PARADA | DESVIACION |
|-------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|------------|---------------------|------------|
| 4     | Bº Pesquero -<br>Brisas                      | 15 min                                  | 5 min      | 20 s                | 10 s       |
| 14    | P. Estaciones -<br>Residencia                | 22 min                                  | 5 min      | 20 s                | 10 s       |
| 19    | Zoco                                         | 30 min                                  | 5 min      | 20 s                | 10 s       |
| 23    | Estaciones –<br>Camarreal (Peña<br>Castillo) | 30 min                                  | 5 min      | 20 s                | 10 s       |

Tabla 4: Datos Líneas de Autobús

- Modelización de las líneas de transporte regular interurbano y regional

Al ser este eje la principal salida y entrada de autobuses interurbanos y regionales, se ha tenido en cuenta en la modelización, realizando una estimación del número de autobuses que entran y salen en la hora de simulación.

A continuación, se muestran tanto el recorrido de entrada, como el de salida de las líneas de transporte regular interurbano y regional.



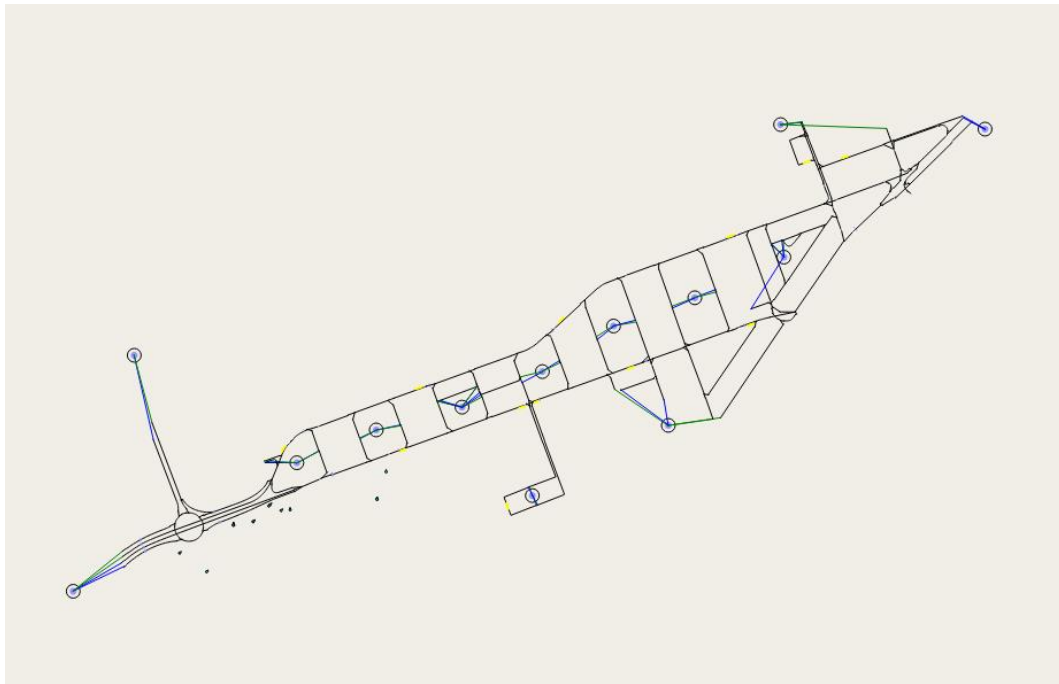
*Ilustración 47: Recorrido de salida de las líneas interurbanas y regionales*

- Ubicación de centroides

Una vez definida toda la red, se procede a introducir los datos de demanda, para ello es necesario definir los centroides que atraerán y generarán viajes.

En total se han definido 13 centroides, 7 interiores a las manzanas y 6 exteriores que conectan la red con su entorno.

La ubicación de los centroides ha sido impuesta por los límites de la red a estudiar, y en el caso de las zonas intermedias se ha procurado una distribución uniforme ubicando los centroides en las manzanas intermedias a la calle Castilla y la calle Marqués de la Hermida que simulan los viajes generados y atraídos por cada manzana.



*Ilustración 48: Ubicación de centroides*

- Introducción de los datos de demanda en hora punta

Tras haber analizado y filtrado los datos reales de las espiras se procede a introducirlos en la red para su posterior calibración.

- Estimación de la matriz origen destino

Para la estimación de la matriz origen destino se ha partido de los datos de las espiras reales, analizados en el apartado datos de partida, posteriormente se ha estimado la matriz mediante AIMSUN, que basándose en el método gravitacional aproxima la matriz que se adapte a los datos de espiras reales.

- Calibración de la red

Una vez introducidos los datos de las espiras y estimado la matriz origen-destino se procede a evaluar la similitud de los datos reales con los obtenidos para la matriz estimada.



- Estudio de la situación actual

Tras definir por completo la red se procede a evaluar la situación actual estudiando las posibles deficiencias de esta.

- Introducción de carril bus reservado

Se procede a modelar el carril bus convencional en el cual se reserva el carril derecho de la plataforma para uso exclusivo de autobuses.

- Estudio de la situación futura

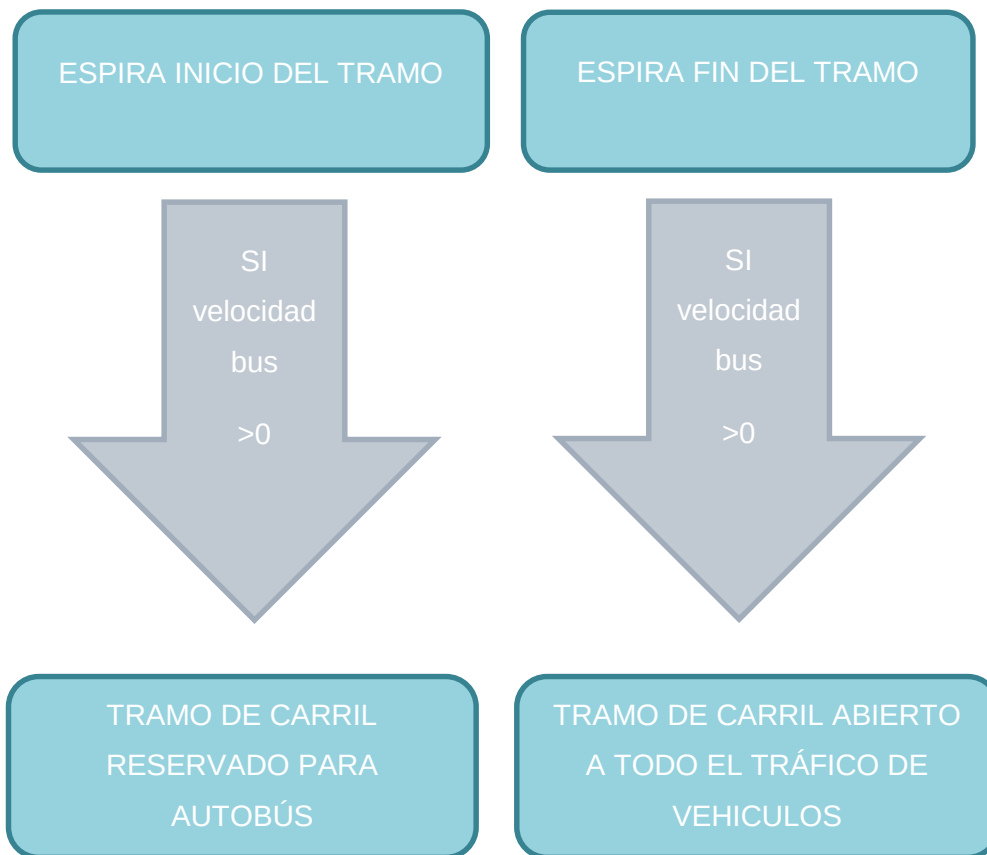
Una vez introducido el carril bus convencional se analizan el resultado y se compara con la situación inicial para la estimación del impacto de éste.

- Introducción de carril bus reservado de prioridad intermitente (BLIP)

La modelización del carril bus reservado de prioridad intermitente tiene una mayor dificultad respecto a un carril convencional.

Para ello se ha comenzado por dividir la traza en los distintos tramos que actuarán de manera independiente, estos tramos van asociados a dos espiras, una que registra la aproximación de un autobús y otro que detectará que se aleja.

Una vez definidos los distintos tramos se establece la metodología a seguir. Como podemos observar en el siguiente gráfico la metodología está basada en una condición que vendrá dada por las espiras que detectan el paso de autobuses.



Su implementación en AIMSUN se lleva a cabo mediante condiciones de tráfico las cuáles por medio de detonantes definidos por las condiciones de presencia o no de autobuses, estos detonantes marcarán el inicio y fin de las distintas estrategias.

Estas estrategias consisten en actuaciones dinámicas que vienen condicionadas por los detonantes, en este caso la estrategia será cerrar el paso a vehículos privados cuando el autobús se aproxime a cada tramo.

El fin de la estrategia está marcado por el momento en que la espira del fin del tramo registra la salida del autobús del tramo considerado.

- Estudio de la situación futura

De la misma forma que con el carril convencional, tras la modelización del carril BLIP, se analizan los resultados y comparan con las distintas alternativas.

- Priorización semafórica

La simulación en AIMSUN de la priorización semafórica se ha conseguido modificando el plan de control e imponiendo que cuando los detectores previos a la intersección registren el paso de un autobús se recurra a la fase que permite el paso de estos.

Se ha de tener en cuenta que la ubicación de las espiras debe ser a una determinada distancia que asegure que cuando el autobús rebase el semáforo este se encuentre en verde y no en el tiempo de interfase.

# CAPÍTULO 7

---

## ANÁLISIS DE SOLUCIONES

## ANÁLISIS DE SOLUCIONES

Tras la simulación de todas las alternativas se ha calculado la media de las replicaciones de la que se han obtenido los resultados.

Las principales variables analizadas son la densidad el número de paradas, el tiempo de demora, el tiempo de parada y la velocidad.

Estas variables se han analizado separadamente para coches y autobús para un mejor análisis de los resultados. A continuación, se muestran los resultados obtenidos acompañados de gráficas que presentan estos datos.

### Generalidades

Como a continuación podremos observar en las gráficas que muestran los resultados, las simulaciones que consideran vehículos mal aparcados y aparcamientos momentáneos defieren bastante de la situación ideal en la que sólo se simulan los aparcamientos en doble fila del margen izquierdo.

Si bien en una situación real es posible encontrarse con estos vehículos, en este estudio distorsionan en gran medida los resultados, puesto que la ocupación de un carril reservado por vehículos que no está permitido que lo transiten inutiliza este carril bus, eliminando sus ventajas y además saturando el resto de carriles.

Es por esto que, de manera general, en las simulaciones con estos obstáculos, podemos comprobar que las situaciones propuestas con carril bus convencional y carril bus BLIP otorgan peores resultados que la situación inicial que se pretende mejorar.

Para que la situación real se asemeje lo máximo posible a la modelizada sin tener en cuenta estos obstáculos será necesario controlar fuertemente los carriles reservados para evitar que sean ocupados por otros vehículos.

## Resultados Tiempos de Parada

El tiempo de parada refleja la cantidad de segundos que un vehículo se encuentra detenido por cada kilómetro que recorre.

Un tiempo de parada pequeño indicará que la circulación es fluida, además con un menor tiempo de parada el tiempo total de viaje será menor.

|                   | Tiempo de Parada - Todo (seg/km) | Tiempo de Parada - Bus (seg/km) | Tiempo de Parada - Coche (seg/km) |
|-------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| SIT_Actual + PARK | 0,03                             | 0,07                            | 0,03                              |
| SIT_Actual        | 0,03                             | 0,06                            | 0,03                              |
| CARRIL BUS+PARK   | 0,05                             | 0,08                            | 0,05                              |
| CARRIL BUS        | 0,05                             | 0,08                            | 0,05                              |
| BLIP+PARK         | 0,05                             | 0,07                            | 0,05                              |
| BLIP              | 0,05                             | 0,07                            | 0,05                              |

Tabla 5: Tiempos de Parada

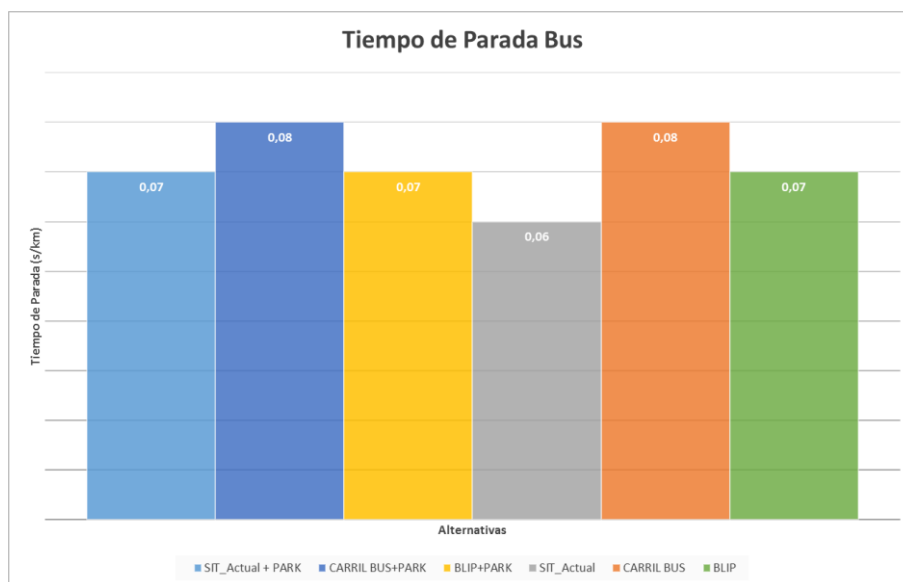
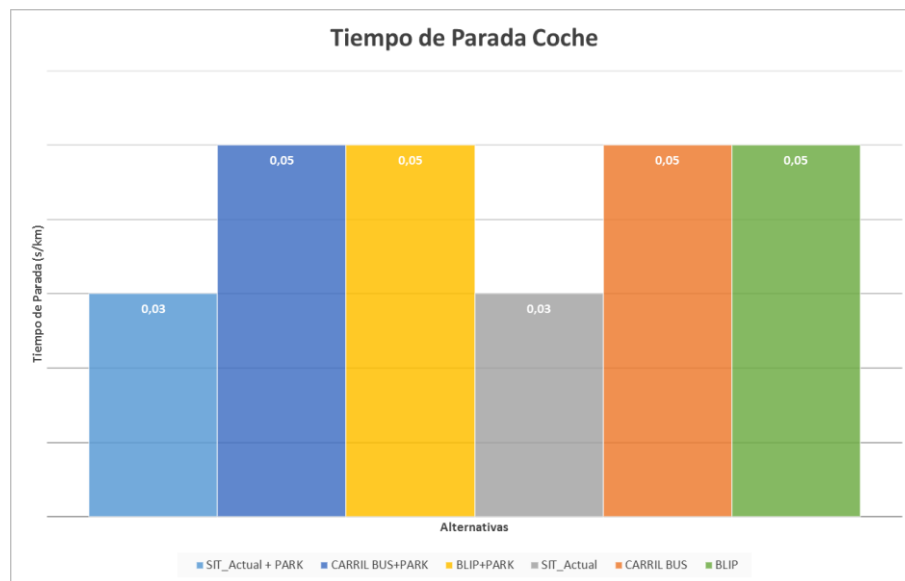
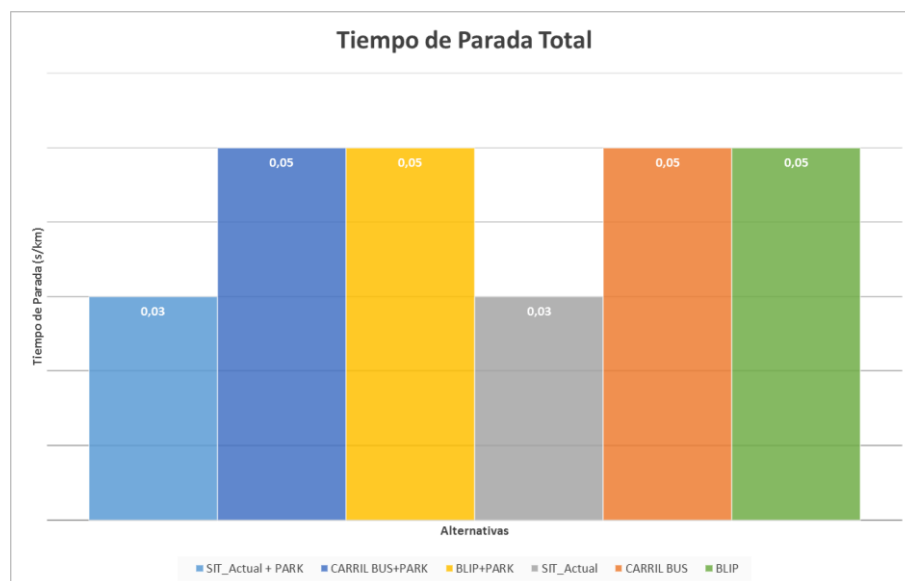


Ilustración 49: Tiempo de Parada Bus



*Ilustración 50: Tiempo de Parada Coches*



*Ilustración 51: Tiempo de Parada Total*

Como podemos observar en las gráficas anteriores en las situaciones modelizadas el tiempo de parada total aumenta al implantar un carril bus de cualquier tipo, pero el tiempo de parada de los autobuses se mejora con el carril BLIP respecto al convencional.



## Resultados Tiempos de Demora

Tiempo total transcurrido desde que un vehículo para al final de una cola hasta que el vehículo parte de la línea de parada.

Normalmente el tiempo de demora se relaciona directamente con el nivel de servicio, aunque en este caso se proporciona como parámetro global de la red.

Tiempos de demora elevados indicarán una red congestionada.

|                   | Tiempo de Demora - Todo (seg/km) | Tiempo de Demora - Bus (seg/km) | Tiempo de Demora - Coche (seg/km) |
|-------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| SIT_Actual + PARK | 99,41                            | 97,47                           | 99,41                             |
| SIT_Actual        | 90,06                            | 86,09                           | 90,06                             |
| CARRIL BUS+PARK   | 152,5                            | 154,68                          | 152,49                            |
| CARRIL BUS        | 151,93                           | 154,3                           | 151,93                            |
| BLIP+PARK         | 99,81                            | 84,27                           | 99,82                             |
| BLIP              | 99,14                            | 76,92                           | 99,17                             |

Tabla 6: Tiempos de Demora

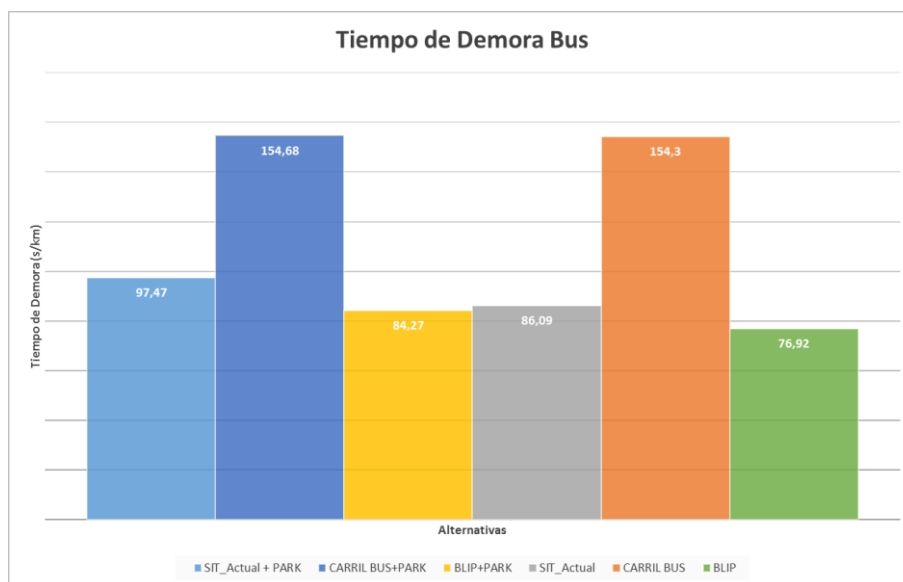
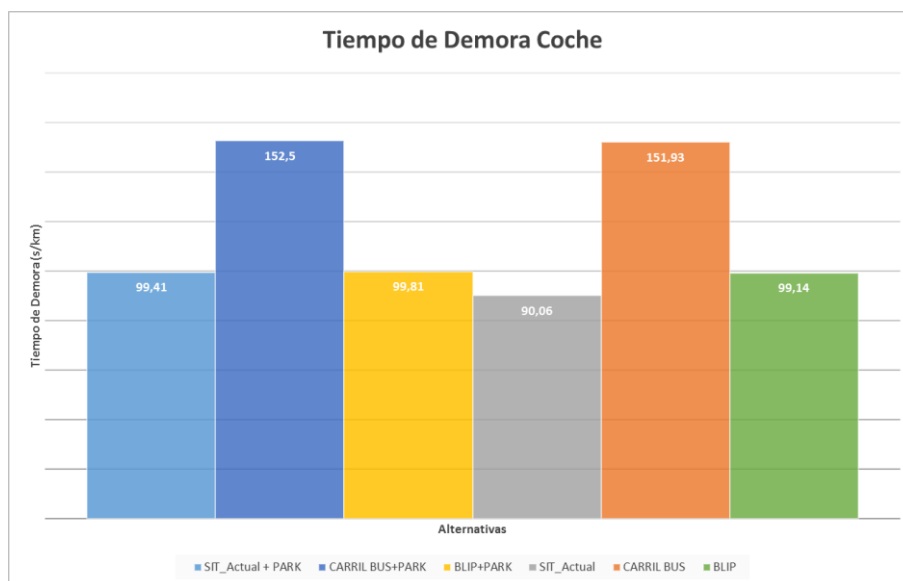
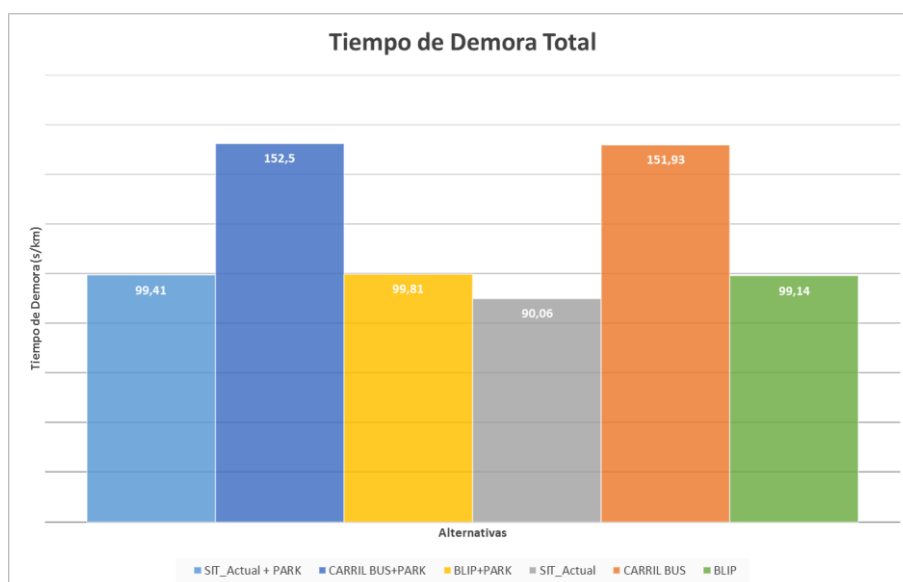


Ilustración 52: Tiempo de Demora Bus



*Ilustración 53: Tiempo de Demora Coches*



*Ilustración 54: Tiempo de Demora Total*

Los resultados muestran que el tiempo de demora en todos los casos aumenta notablemente con la implantación de un carril bus convencional, mientras que para el carril bus BLIP, se aproxima al tiempo de demora de la situación ideal. Además, para el caso de los autobuses el tiempo de demora se reduce respecto a la situación inicial.

## Resultados Densidad

Refleja la concentración de vehículos por cada kilómetro de la red. Densidades elevadas muestran una red más saturada y por lo tanto con menor nivel de servicio.

|                   | Densidad -<br>Todo<br>(veh/km) | Densidad -<br>Bus<br>(veh/km) | Densidad -<br>Coche<br>(veh/km) |
|-------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| SIT_Actual + PARK | 10,92                          | 0,09                          | 10,83                           |
| SIT_Actual        | 9,74                           | 0,08                          | 9,66                            |
| CARRIL BUS+PARK   | 17,05                          | 0,11                          | 16,94                           |
| CARRIL BUS        | 17,11                          | 0,11                          | 17                              |
| BLIP+PARK         | 13,51                          | 0,1                           | 13,41                           |
| BLIP              | 13,6                           | 0,09                          | 13,51                           |

Tabla 7: Resultados Densidad

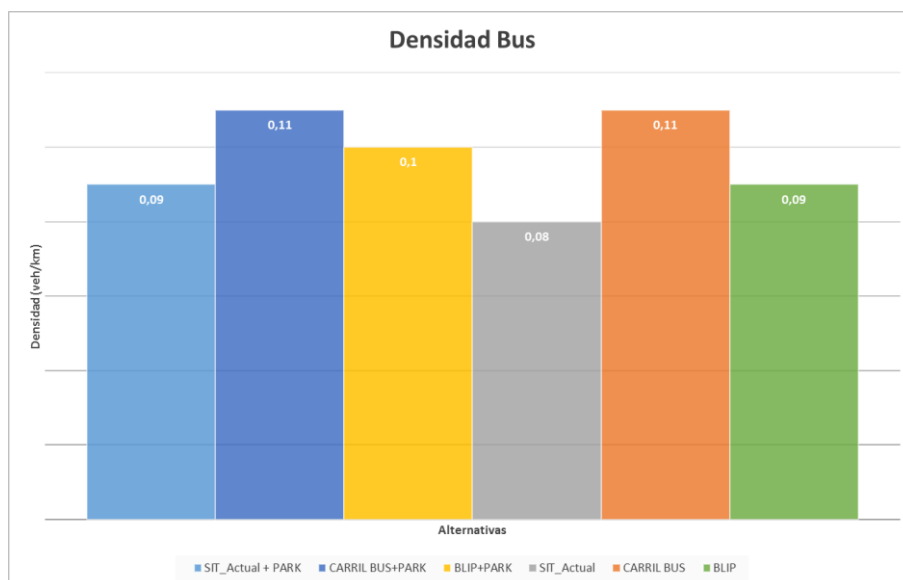
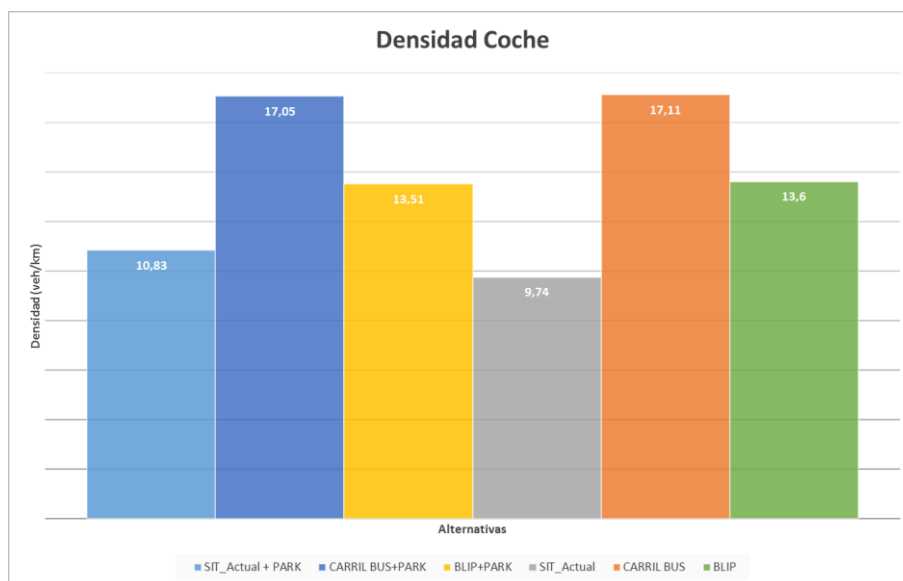
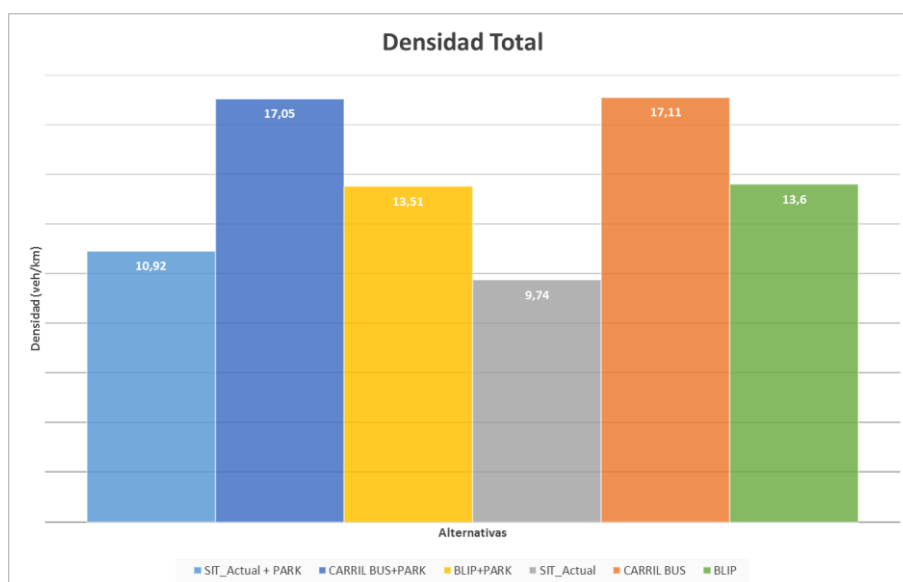


Ilustración 55: Densidad Bus



*Ilustración 56: Densidad Coches*



*Ilustración 57: Densidad Total*

La densidad aumenta con la implantación de un carril bus tanto para coches como para autobuses, aunque podemos observar que en el caso del carril bus BLIP el aumento no es tan elevado.

## Resultados Nº de Paradas

Indica la cantidad de paradas que un vehículo realiza en el recorrido de un kilómetro. A mayor número de paradas mayor tiempo de viaje y por lo tanto menor eficiencia de la red.

|                   | Nº de Paradas - Todo (#/veh/km) | Nº de Paradas - Bus (#/veh/km) | Nº de Parada - Coche (#/veh/km) |
|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| SIT_Actual + PARK | 0,03                            | 0,07                           | 0,03                            |
| SIT_Actual        | 0,03                            | 0,06                           | 0,03                            |
| CARRIL BUS+PARK   | 0,05                            | 0,08                           | 0,05                            |
| CARRIL BUS        | 0,05                            | 0,08                           | 0,05                            |
| BLIP+PARK         | 0,05                            | 0,07                           | 0,05                            |
| BLIP              | 0,05                            | 0,07                           | 0,05                            |

Tabla 8: Resultados Nº de Paradas

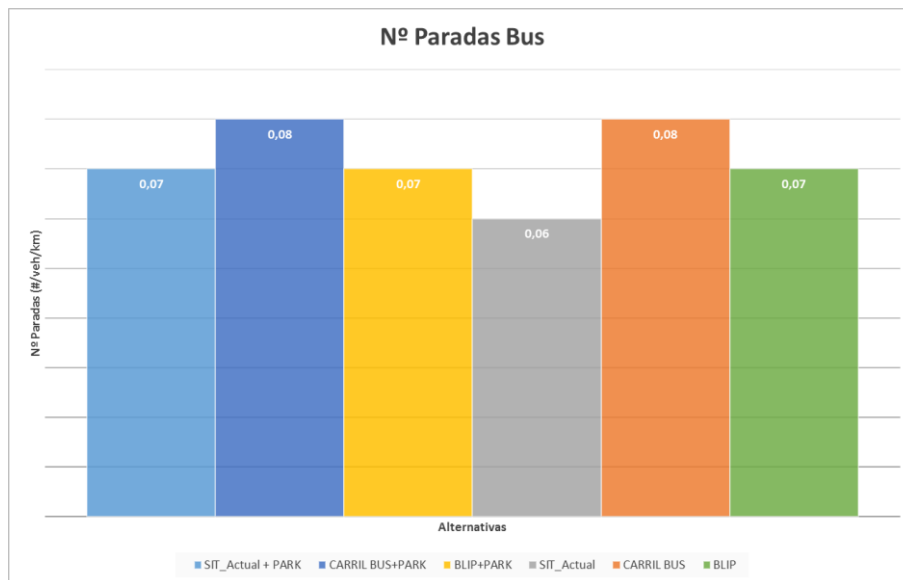


Ilustración 58: Nº de Paradas Bus

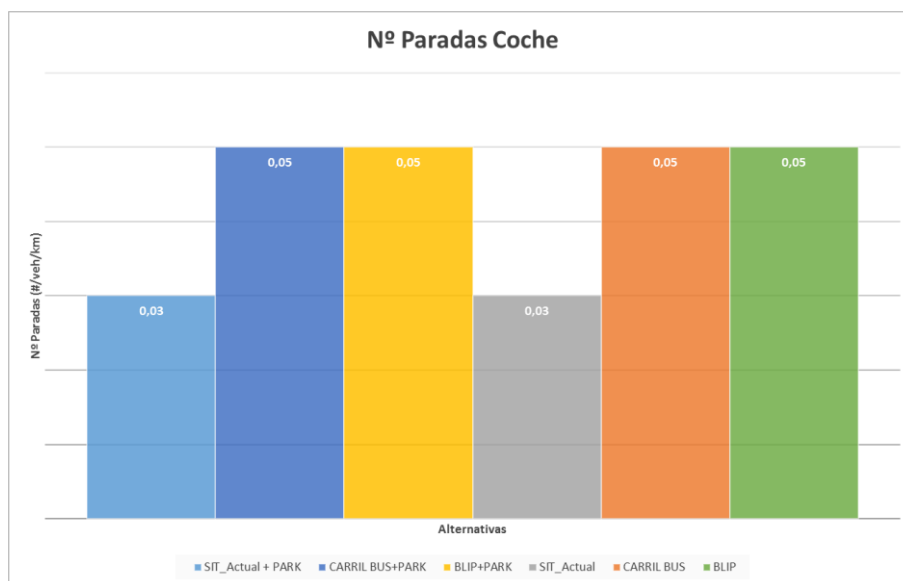


Ilustración 59: Nº de Paradas Coches

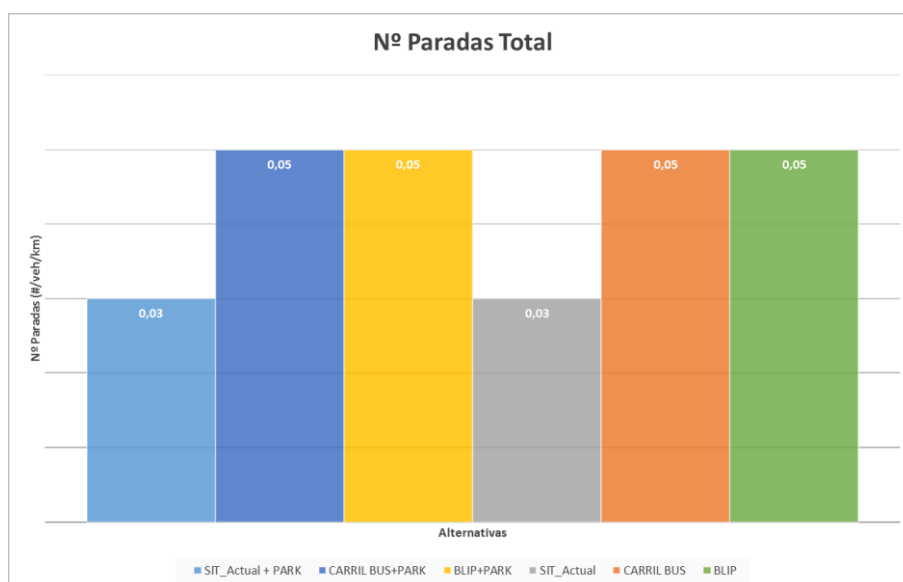


Ilustración 60: Nº de Paradas Total

En este caso los resultados muestran que el número de paradas para coches es el mismo tanto para el carril bus convencional como para el BLIP, mientras que para autobuses las paradas se reducen con el carril BLIP.

## Resultados Velocidad

Muestran la velocidad media en kilómetros hora que desarrolla cada tipo de vehículo y el conjunto. La velocidad media es un buen indicativo que nos da una idea de lo eficiente que es la red, comparando las velocidades reales con las velocidades máximas permitidas podemos observar lo que se aproxima la situación a una de flujo libre.

|                   | Velocidad -<br>Todo (km/h) | Velocidad -<br>Bus (km/h) | Velocidad -<br>Coche (km/h) |
|-------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| SIT_Actual + PARK | 31,26                      | 19,05                     | 31,27                       |
| SIT_Actual        | 33,12                      | 21                        | 33,13                       |
| CARRIL BUS+PARK   | 22,9                       | 16,15                     | 22,92                       |
| CARRIL BUS        | 22,99                      | 15,5                      | 23                          |
| BLIP+PARK         | 27,28                      | 21,54                     | 29,29                       |
| BLIP              | 27,72                      | 22,86                     | 29,73                       |

Tabla 9: Resultados Velocidad

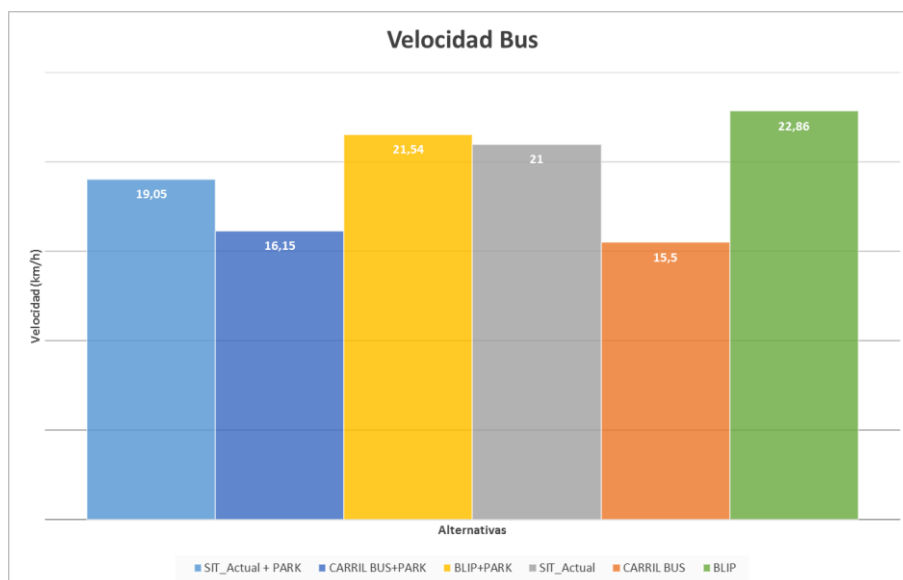
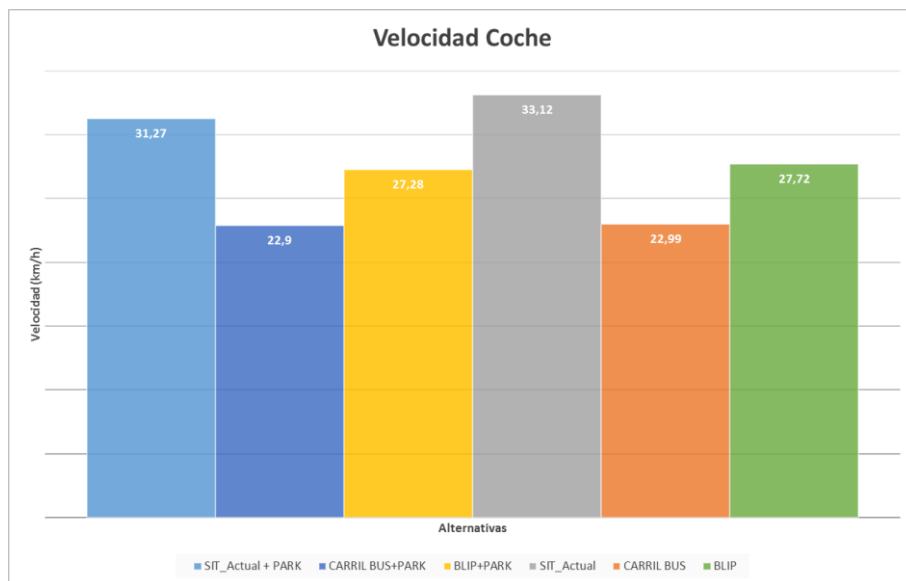
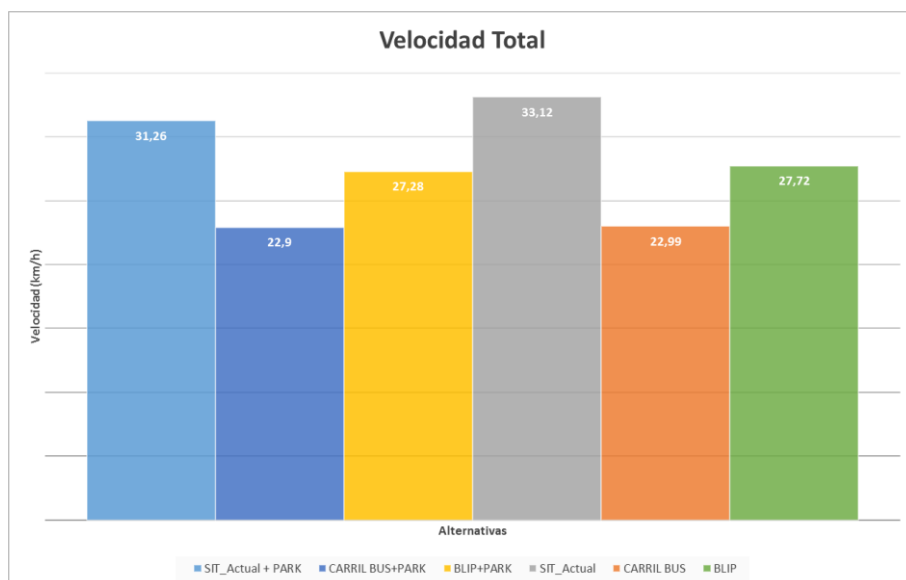


Ilustración 61: Velocidad Bus





*Ilustración 62: Velocidad Coches*



*Ilustración 63: Velocidad Total*

Una de las principales ventajas que podemos observar en las gráficas es que la implantación del carril BLIP consigue mejorar notablemente la velocidad de los autobuses, sin disminuir demasiado la de los coches, a diferencia que con el carril convencional que reduce la velocidad de los coches en torno a 10 km/h.

## CAPÍTULO 8

---

### PRESUPUESTO

## PRESUPUESTO

Tras el estudio de las dos alternativas que requieren una modificación de la infraestructura, se ha estimado el presupuesto de ambas alternativas, la primera la implantación de un carril bus convencional en el margen derecho de la calzada con separadores bajos de hormigón y priorización semafórica. Y la segunda la implantación de un carril bus de prioridad intermitente (BLIP) también priorizado.

La priorización semafórica del tramo en cuestión se ha estimado según datos del departamento de transportes de la Universidad de Cantabria en 150.000 €, que reflejan el coste de instalar actuadores en los semáforos correspondientes.

Basándose en los precios unitarios recogidos en el libro “Gestión Eficiente del Transporte Colectivo - Guía Técnica” del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, se ha estimado el coste de ambas alternativas como se recoge a continuación.

|                                                                                 | CANTIDAD | PRECIO       | IMPORTE             |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|---------------------|
| Precio unitario carril bus con separadores bajos rebasables de hormigón (€/ml.) | 2355     | 60,00 €      | 141.300,00 €        |
| Priorización semafórica                                                         |          |              | 150.000,00 €        |
|                                                                                 |          | <b>Total</b> | <b>291.300,00 €</b> |

Tabla 10: Presupuesto carril bus convencional

|                                              | CANTIDAD | PRECIO       | IMPORTE             |
|----------------------------------------------|----------|--------------|---------------------|
| Implantación de leds indicativos (€/ud.)     | 4710     | 15,57 €      | 73.334,70 €         |
| Pintura para señalización horizontal (€/ml.) | 2335     | 20,00 €      | 46.700,00 €         |
| Paneles informativos (€/ud.)                 | 4        | 22.020,87 €  | 88.083,48 €         |
| Priorización semafórica                      |          |              | 150.000,00 €        |
|                                              |          | <b>Total</b> | <b>358.118,18 €</b> |

Tabla 11: Presupuesto Carril Bus BLIP

Como podemos ver el presupuesto de un carril bus de prioridad intermitente es 67.218,18 € superior al del carril bus convencional, lo que supone un incremento sobre el presupuesto del convencional de un 22'93 %, este sobrecoste deberá estudiarse para determinar si está justificado por las mejoras que esta alternativa incluiría en la red.

## CAPÍTULO 8

---

### CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

Tras el análisis de los resultados arrojados por las ocho simulaciones llevadas a cabo podemos concluir que la implantación de un carril bus de prioridad intermitente es adecuada en zonas con frecuencias medias de autobuses.

Los resultados en general son notablemente mejores que los obtenidos con un carril bus convencional, puesto que se evita la infrautilización del carril reservado cuando no transitan vehículos de transporte público.

La zona de implantación sufre con la situación actual de graves problemas de congestión en hora punta, por lo que ante la necesidad de priorizar el paso de autobuses y así fomentar el uso del transporte público se considera que la implantación de un carril bus convencional acabaría por congestionar completamente la red, que verá disminuida su plataforma disponible para vehículos privados, en un carril.

De esta forma y tras el estudio de los resultados se concluye que la mejor solución para priorizar al transporte público será la implantación de un carril bus de prioridad intermitente (BLIP) que limite la reserva del carril a los momentos en que sea requerido por el paso de autobuses.

Además, tras la estimación del presupuesto de ambas alternativas y la comparativa de ambos, se determina que el sobrecosto del carril bus BLIP está suficientemente justificado por sus mejoras en la red de autobuses interfiriendo lo mínimo posible en el resto de vehículos.

# ANEXO 1

---

## MATRIZ ORIGEN-DESTINO

## MATRIZ ORIGEN DESTINO

|                     | 9020:<br>MARGA | 9021:<br>S10 | 9022   | 9023   | 9024:<br>MUELLE | 9025:<br>ESTACIONES | 9026   | 9027  | 9028   | 9029   | 9030   | 9031  | 9119   | Total    |
|---------------------|----------------|--------------|--------|--------|-----------------|---------------------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|----------|
| 9020: MARGA         |                | 2331,14      | 47,39  | 68,72  | 113,8           | 55,18               | 59,28  | 68,72 | 68,72  | 47,39  | 47,39  | 39,46 | 69,03  | 3016,24  |
| 9021: S10           | 1670,59        |              | 33,65  | 51,23  | 748,74          | 399,57              | 44,2   | 51,23 | 51,23  | 33,65  | 33,65  | 27,46 | 52,29  | 3197,5   |
| 9022                | 43,46          | 54,56        |        | 1,62   | 23,33           | 12,45               | 1,39   | 1,62  | 1,62   | 1,62   | 1,62   | 1,62  | 1,63   | 146,53   |
| 9023                | 29,68          | 37,26        | 1,1    |        | 18,66           | 9,96                | 1,1    | 1,1   | 1,1    | 1,1    | 1,1    | 1,1   | 1,3    | 104,59   |
| 9024:<br>MUELLE     | 870,13         | 1092,3       | 32,38  | 32,38  |                 | 247,44              | 32,38  | 32,38 | 32,38  | 32,38  | 32,38  | 32,38 | 32,38  | 2501,3   |
| 9025:<br>ESTACIONES | 192,18         | 241,24       | 7,15   | 7,15   | 102,45          |                     | 7,15   | 7,15  | 7,15   | 7,15   | 7,15   | 7,15  | 7,15   | 600,24   |
| 9026                | 29,68          | 37,26        | 1,1    | 1,1    | 18,66           | 9,96                |        | 1,1   | 1,1    | 1,1    | 1,1    | 1,1   | 1,3    | 104,59   |
| 9027                | 29,68          | 37,26        | 1,1    | 0,95   | 16,09           | 8,59                | 0,95   |       | 1,1    | 1,1    | 1,1    | 1,1   | 1,12   | 100,16   |
| 9028                | 29,68          | 37,26        | 1,1    | 1,62   | 23,33           | 12,45               | 1,39   | 1,62  |        | 1,1    | 1,1    | 1,1   | 1,63   | 113,39   |
| 9029                | 29,68          | 37,26        | 1,1    | 1,62   | 23,33           | 12,45               | 1,39   | 1,62  | 1,62   |        | 1,1    | 1,1   | 1,63   | 113,9    |
| 9030                | 29,68          | 37,26        | 1,33   | 1,92   | 27,67           | 14,76               | 1,66   | 1,92  | 1,92   | 1,33   |        | 1,1   | 1,93   | 122,49   |
| 9031                | 29,68          | 37,26        | 1,33   | 1,92   | 27,67           | 14,76               | 1,66   | 1,92  | 1,92   | 1,33   | 1,33   |       | 1,93   | 122,71   |
| 9119                | 29,68          | 37,26        | 1,1    | 1,1    | 15,81           | 8,44                | 1,1    | 1,1   | 1,1    | 1,1    | 1,1    | 1,1   |        | 100,03   |
| Total               | 3013,79        | 4017,3       | 129,86 | 171,34 | 1159,54         | 806,01              | 153,68 | 171,5 | 170,98 | 130,37 | 130,15 | 115,8 | 173,34 | 10343,65 |

Tabla 12: Matriz O-D

## ANEXO 2

---

### RESULTADOS



## RESULTADOS

| Serie Temporal            | Unidades | SIT_Actual + park | SIT_Actual | CARRIL BUS+PARK | CARRIL BUS | BLIP+PARK | BLIP  |
|---------------------------|----------|-------------------|------------|-----------------|------------|-----------|-------|
| Densidad - Todos          | veh/km   | 10,92             | 9,74       | 17,05           | 17,11      | 13,51     | 13,6  |
| Densidad - Bus            | veh/km   | 0,09              | 0,08       | 0,11            | 0,11       | 0,1       | 0,09  |
| Densidad - Coche          | veh/km   | 10,83             | 9,66       | 16,94           | 17         | 13,41     | 13,51 |
| Número de Paradas - Todos | #/veh/km | 0,03              | 0,03       | 0,05            | 0,05       | 0,05      | 0,05  |
| Número de Paradas - Bus   | #/veh/km | 0,07              | 0,06       | 0,08            | 0,08       | 0,07      | 0,07  |
| Número de Paradas - Coche | #/veh/km | 0,03              | 0,03       | 0,05            | 0,05       | 0,05      | 0,05  |
| Tiempo de Demora - Todos  | seg/km   | 99,41             | 90,06      | 152,5           | 151,93     | 99,81     | 99,14 |
| Tiempo de Demora - Bus    | seg/km   | 97,47             | 86,09      | 154,68          | 154,3      | 84,27     | 76,92 |
| Tiempo de Demora - Coche  | seg/km   | 99,41             | 90,06      | 152,49          | 151,93     | 99,82     | 99,17 |
| Tiempo de Parada - Todos  | seg/km   | 57,84             | 51,62      | 102,98          | 102,26     | 53,46     | 52,45 |
| Tiempo de Parada - Bus    | seg/km   | 58,14             | 50,5       | 129,64          | 129,73     | 57,31     | 50,63 |
| Tiempo de Parada - Coche  | seg/km   | 57,82             | 51,6       | 102,93          | 102,2      | 53,43     | 52,43 |
| Velocidad - Todos         | km/h     | 31,26             | 33,12      | 22,9            | 22,99      | 27,28     | 27,72 |
| Velocidad - Bus           | km/h     | 19,05             | 21         | 16,15           | 15,5       | 21,54     | 22,86 |
| Velocidad - Coche         | km/h     | 31,27             | 33,13      | 22,92           | 23         | 29,29     | 29,73 |

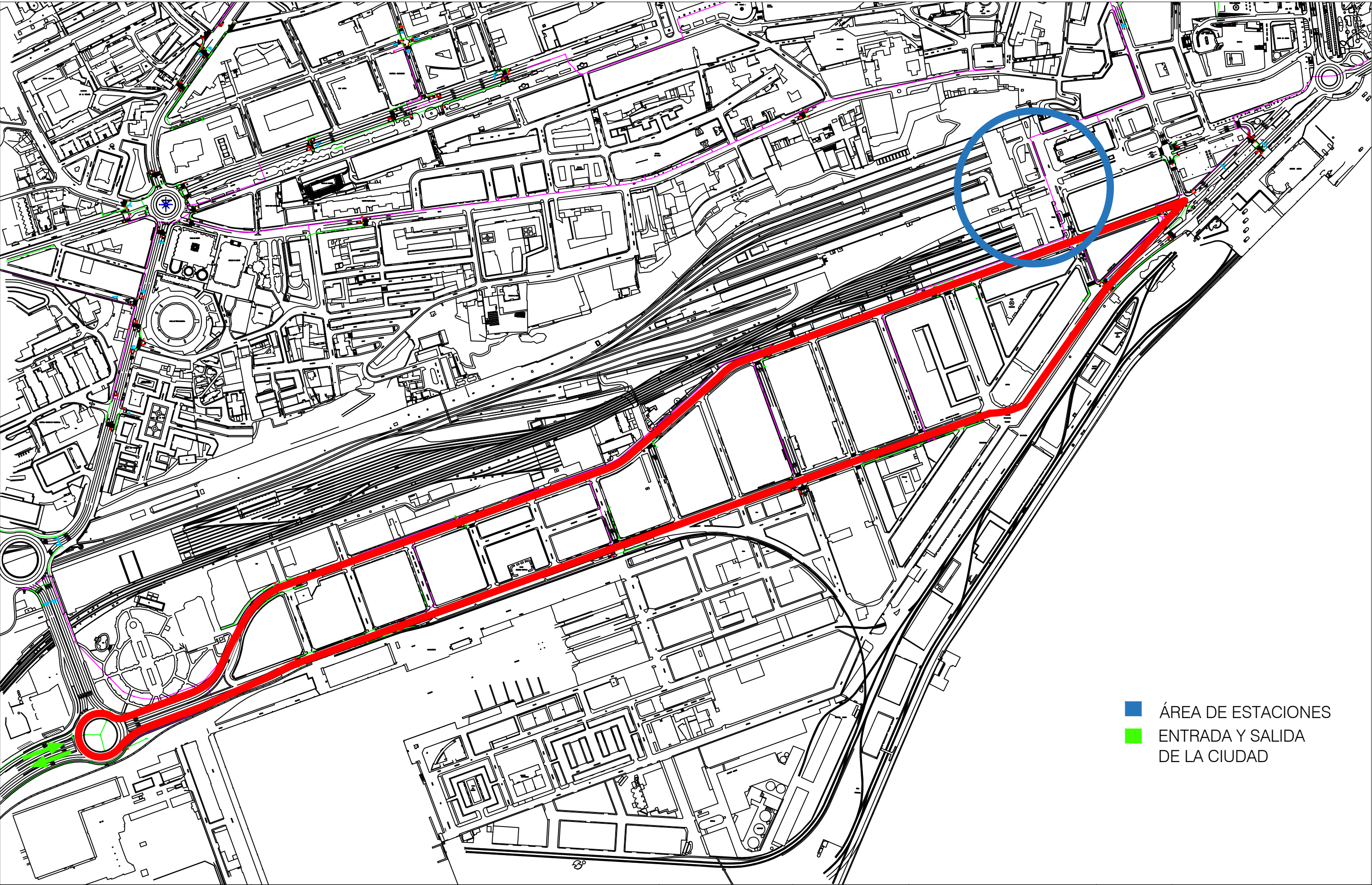
Tabla 13: Resultados

## ANEXO 3

---

### PLANOS

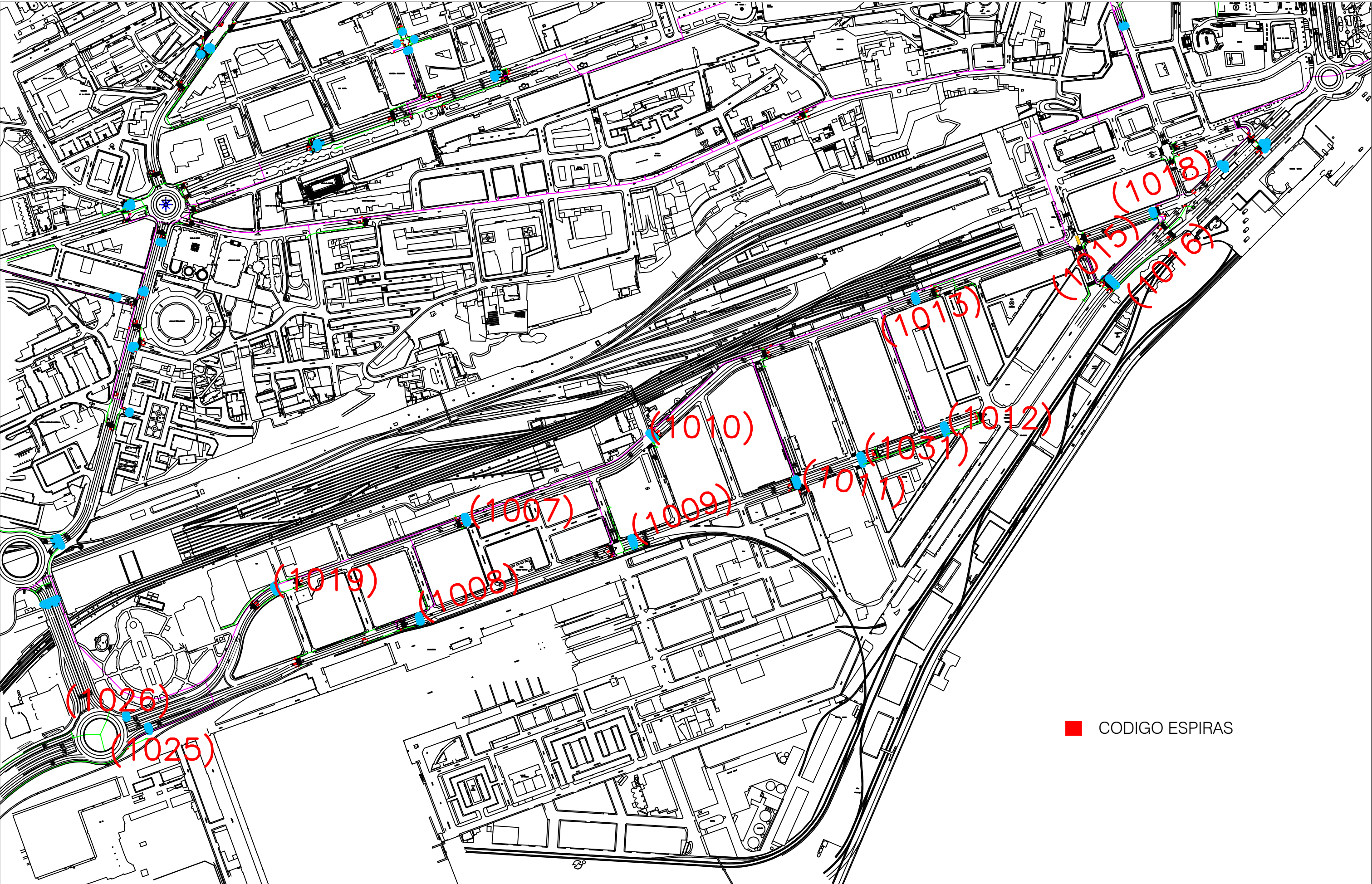
## PLANOS



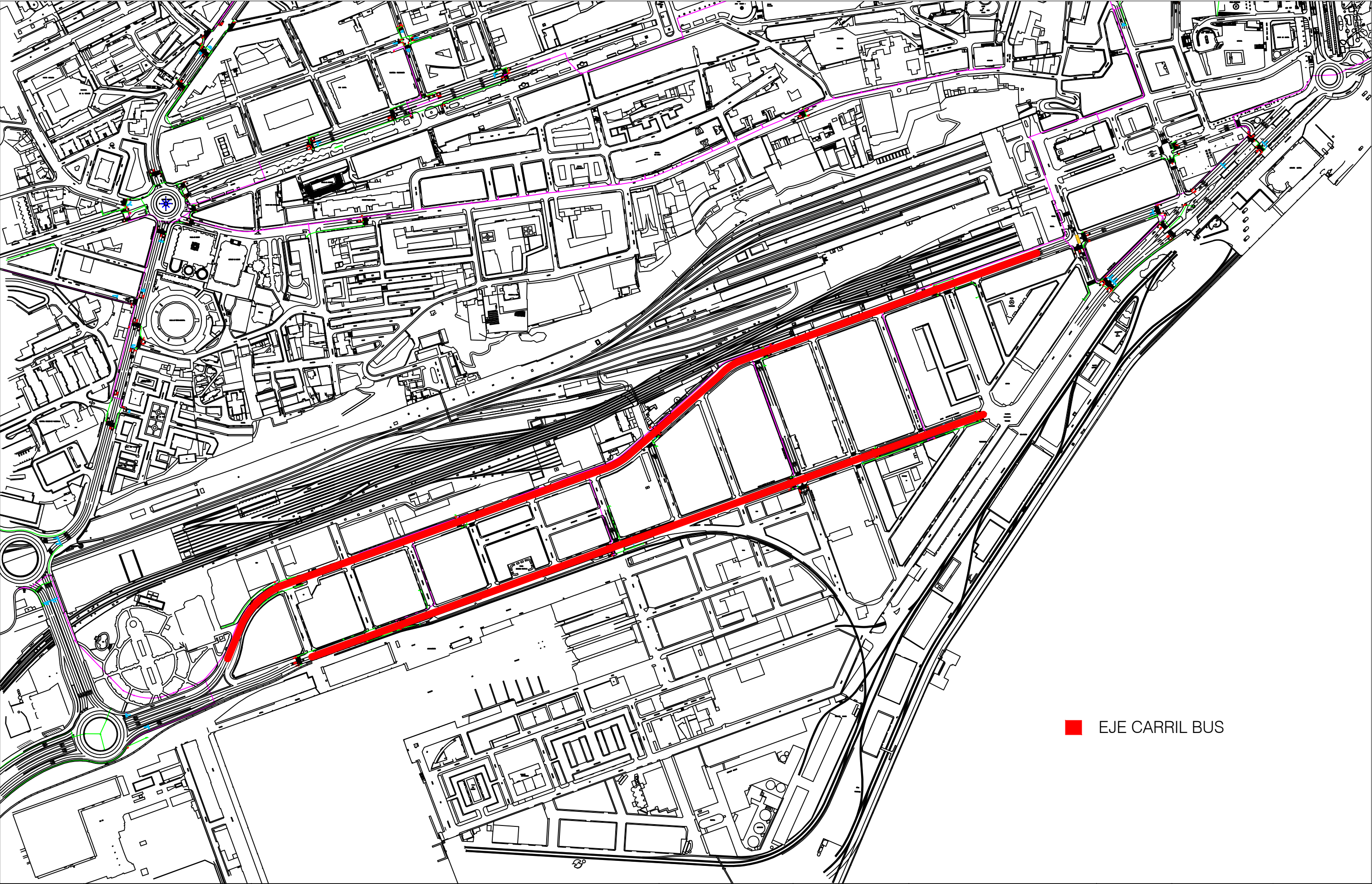
■ ÁREA DE ESTACIONES  
■ ENTRADA Y SALIDA  
DE LA CIUDAD

|                                                                                     |                                                                                                     |                                                                                                     |                                |                  |                               |                 |                     |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|---------------------|-------------|
|  | ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS<br>DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS<br>UNIVERSIDAD DE CANTABRIA | TÍTULO<br>ESTUDIO OPERACIONAL DE CARRIL BUS Y PRIORIZACIÓN<br>SEMAFÓRICA EN EL EJE CASTILLA-HERMIDA | TERMINO MUNICIPAL<br>SANTANDER | TÍTULO DEL PLANO | AUTOR<br>PILAR MELERO GALLEG0 | ESCALA<br>1:125 | FECHA<br>JUNIO 2016 | PLANO 1     |
|                                                                                     |                                                                                                     |                                                                                                     | PROVINCIA<br>CANTABRIA         | LOCALIZACIÓN     |                               |                 |                     | HOJA 1 DE 1 |









 EJE CARRIL BUS



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

TÍTULO  
ESTUDIO OPERACIONAL DE CARRIL BUS Y PRIORIZACIÓN  
SEMAFÓRICA EN EL EJE CASTILLA-HERMIDA

TERMINO MUNICIPAL  
SANTANDER  
PROVINCIA  
CANTABRIA

TÍTULO DEL PLANO  
IMPLANTACIÓN  
CARRIL BUS

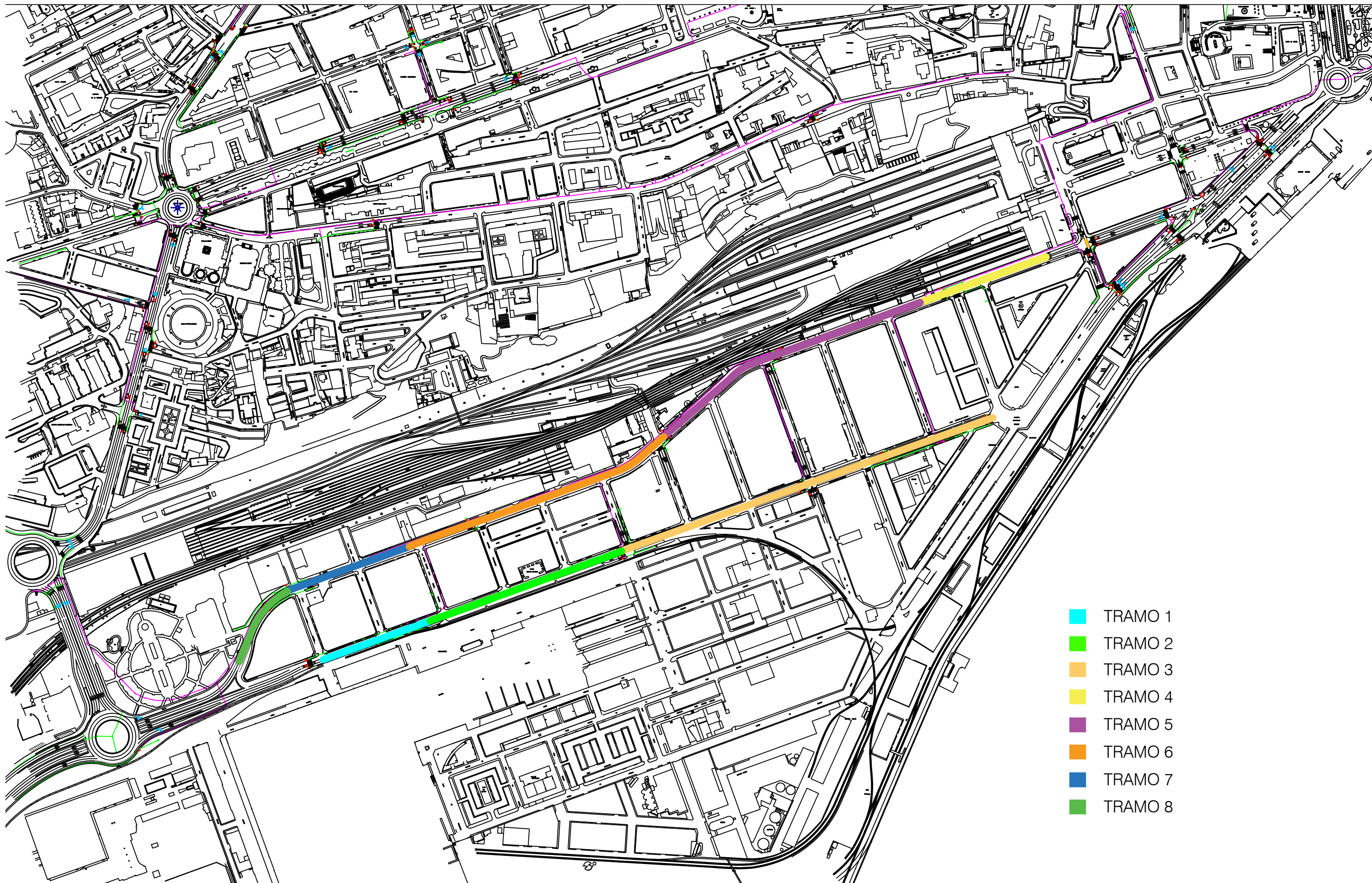
AUTOR  
PILAR MELERO GALLEG0

ESCALA  
1:125

FECHA  
JUNIO 2016

PLANO 3  
HOJA 1 DE 1





- TRAMO 1
- TRAMO 2
- TRAMO 3
- TRAMO 4
- TRAMO 5
- TRAMO 6
- TRAMO 7
- TRAMO 8



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

TÍTULO  
ESTUDIO OPERACIONAL DE CARRIL BUS Y PRIORIZACIÓN  
SEMAFÓRICA EN EL EJE CASTILLA-HERMIDA

TERMINO MUNICIPAL  
SANTANDER  
PROVINCIA  
CANTABRIA

TÍTULO DEL PLANO  
IMPLANTACIÓN  
CARRIL BUS BLIP

AUTOR  
PILAR MELERO GALLEG0

ESCALA  
1:125

FECHA  
JUNIO 2016

PLANO 4  
HOJA 1 DE 1