



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



Estudio de tráfico y movilidad en relación con la implantación de un centro comercial en Madrid.

Trabajo realizado por:

Carlota Fleitas González

Dirigido:

Borja Alonso Oreña

Titulación:

**Máster Universitario en Ingeniería de
Caminos, Canales y Puertos**

Santander, Febrero de 2023

TRABAJO FIN DE MASTER

Intenta no convertirte en una persona de éxito, sino en una persona de valor.

Albert Einstein

RESUMEN

Título: Estudio de tráfico y movilidad en relación con la implantación de un centro comercial en Madrid

Autor: Carlota Fleitas González

Director: Borja Alonso Oreña

Convocatoria: Febrero 2023

Palabras clave: Macrosimulación, microsimulación, tráfico, Visum, Aimsun, ITE, transporte, movilidad, aforos, ciclos semafóricos, modelización, etc.

Planeamiento, desarrollo y conclusiones:

El objetivo del presente estudio de tráfico es evaluar el funcionamiento del tráfico y la movilidad con motivo de la implantación de un centro comercial en el barrio de Cuatro Caminos en el distrito de Tetuán en Madrid.

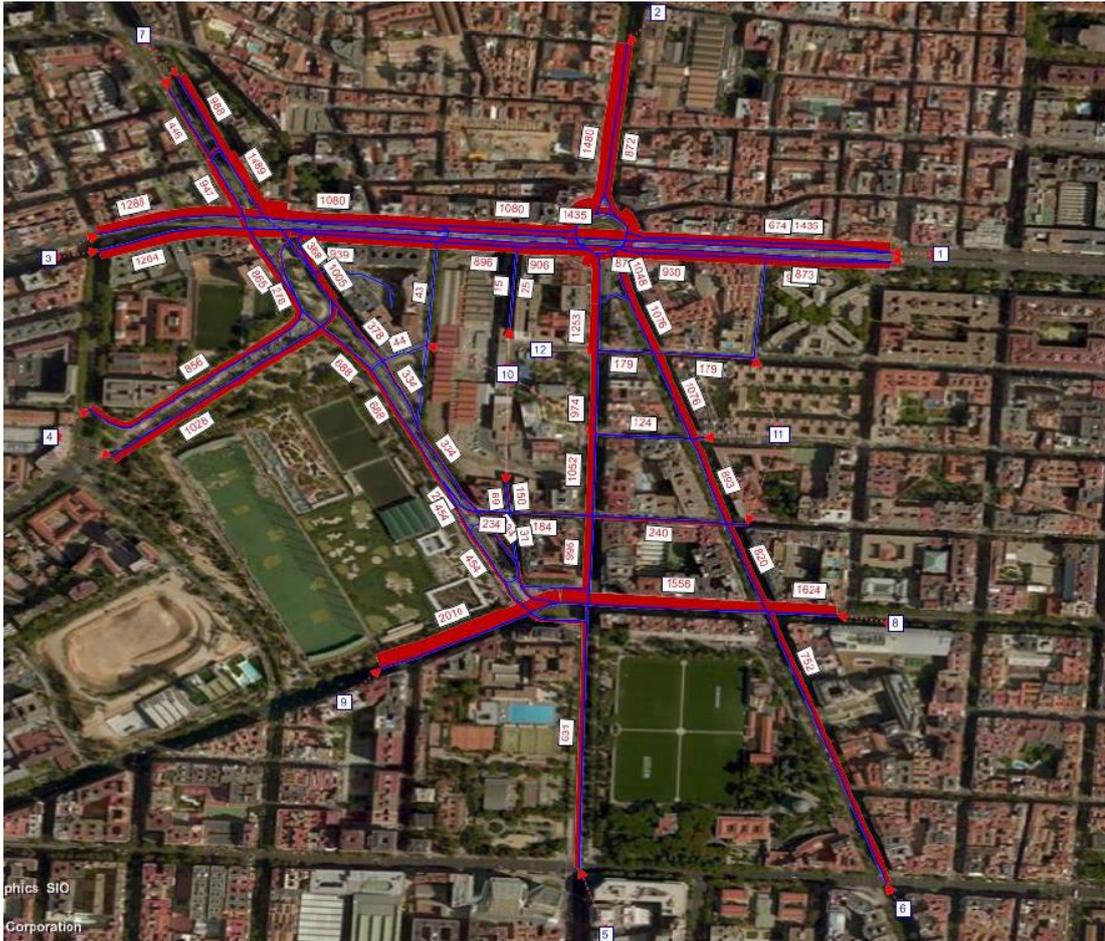
Se realizará una caracterización del viario y tráfico existente en la zona. Para ello se partirá de los datos de los aforos aportados por la empresa Tema G.C. en el entorno más próximo del sector para poder estimar así el funcionamiento del tráfico en la zona y ver así la afección en el resto de los viales.

Con los resultados de los aforos se determinarán los principales patrones de movilidad en el ámbito, identificando principalmente la hora punta de la mañana y la hora punta de la tarde objeto de estudio, siendo estas las más desfavorables.

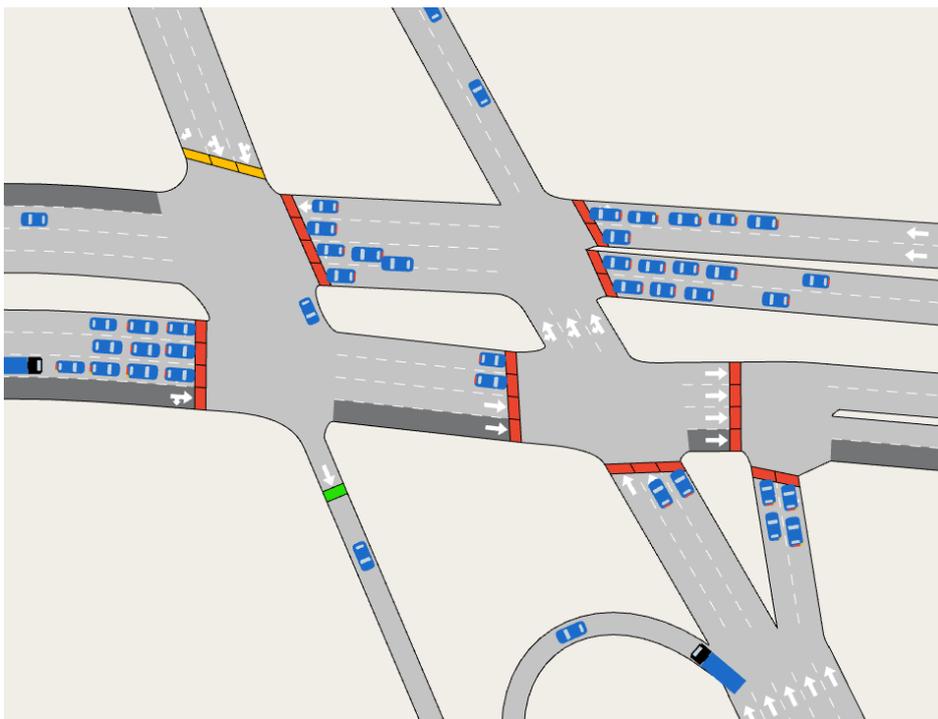
Para su análisis se construirá un modelo en VISUM que permite, a partir de los datos de los aforos, ajustar los tráficos en el conjunto de la red en esa zona con una mayor precisión, dando como resultado mapas de intensidad por día u hora, como el de la siguiente figura, en el que se muestra el valor del tráfico y se representa con líneas de grosor proporcional al tráfico. Para realizar el modelo se llevarán a cabo las siguientes etapas:

- Oferta: definición de la red viaria, número de carriles, capacidad de la vía, velocidades, etc.
- Demanda: construcción de la matriz origen/destino.
- Asignación, calibración y validación de los aforos: coeficiente R^2 , estadístico GEH y error cuadrático medio (%RMSE).

Se realizarán dos modelos de hora punta (hora punta de la mañana y hora punta de la tarde).



Por otro lado, el análisis del funcionamiento del entorno en las horas punta se realizará mediante el software de microsimulación AIMSUN Next, que analiza el comportamiento del tráfico vehículo a vehículo, pudiendo obtener las longitudes de colas, tiempos de demora y demás parámetros en cualquier punto de la red simulado. En las siguientes figuras se muestra el grado de detalle de este tipo de herramientas.





Los resultados obtenidos en el estudio demuestran que el funcionamiento del viario analizado es adecuado y que la implantación de un centro comercial en el ámbito estudiado en la situación más desfavorable no produce afecciones significativas. De esto se deduce que no tendrá un impacto importante sobre el tráfico del entorno, no siendo necesarias nuevas propuestas de actuación sobre el viario ni modificación de los ciclos semafóricos.

ABSTRACT

Title: Study of traffic and mobility in relation to the implementation of a shopping center in Madrid

Author: Carlota Fleitas González

Director: Borja Alonso Oreña

Submission: February 2023

Keywords: Macrosimulation, microsimulation, traffic, Visum, Aimsun, ITE, transport, mobility, capacity, traffic light cycles, modeling, etc.

Planning, development and conclusions:

The objective of this traffic study is to evaluate the operation of traffic and mobility on the occasion of the implementation of a shopping center in the neighborhood of Cuatro Caminos in the district of Tetuán in Madrid.

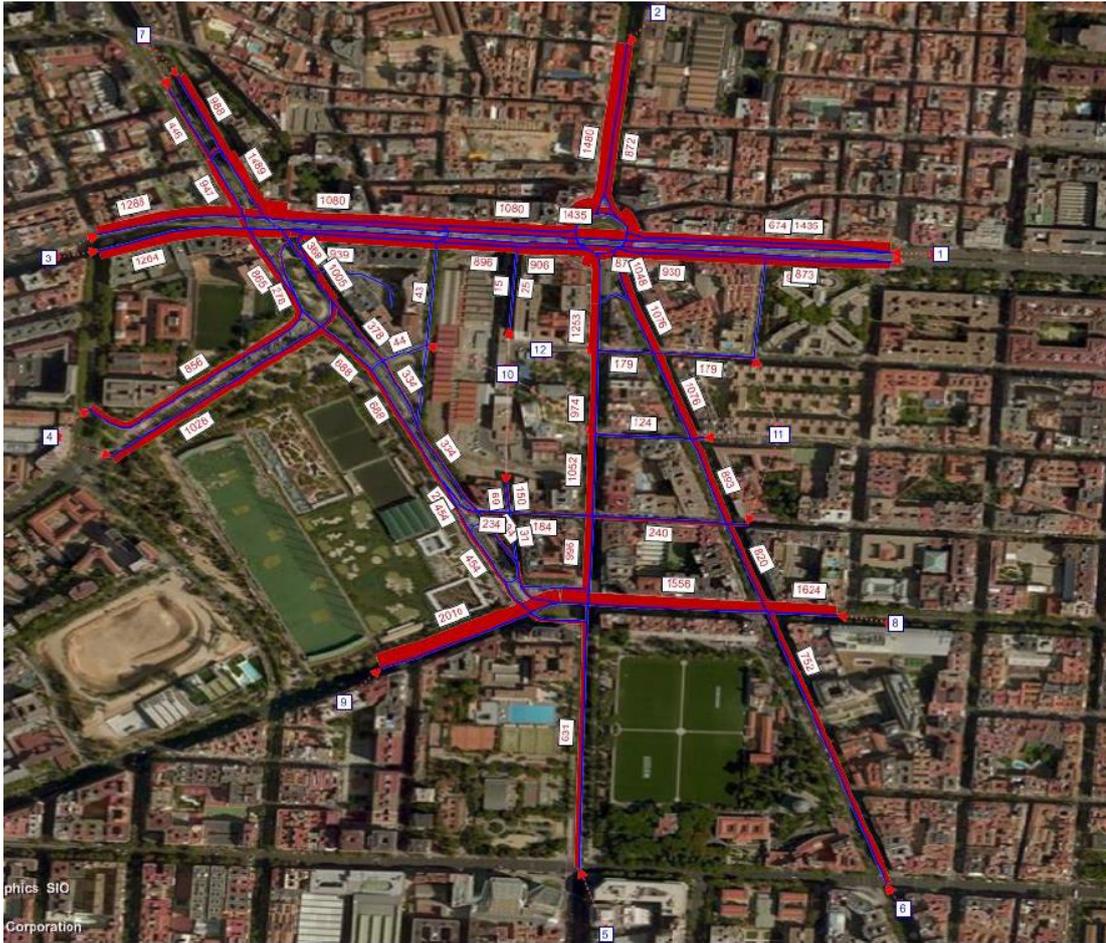
A characterization of the existing road and traffic in the area will be carried out. For this, it will be based on the data of the capacities provided by the company Tema G.C. in the closest environment of the sector to be able to estimate the operation of traffic in the area and thus see the affection in the rest of the roads.

With the results of the capacity, the main mobility patterns in the area will be determined, mainly identifying the morning rush hour and the afternoon rush hour under study, these being the most unfavorable.

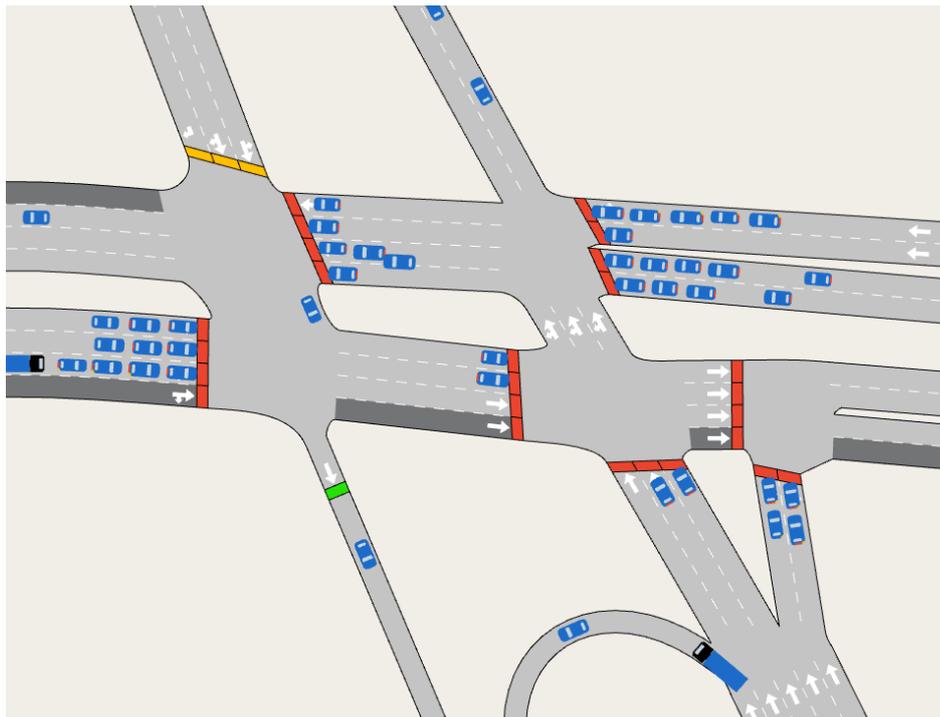
For its analysis, a model will be built in VISUM that allows, from the data of the capacity, to adjust the traffic in the whole of the network in that area with greater precision, resulting in intensity maps by day or hour, such as the one in the following figure, in which the value of the traffic is shown and is represented with lines of thickness proportional to the traffic. To make the model, the following stages will be carried out:

- Offer: definition of the road network, number of lanes, track capacity, speeds, etc.
- Demand: construction of the origin/destination matrix.
- Assigning, calibration and validation of gauges: coefficient R^2 , GHG statistic and mean square error (%RMSE).

Two rush hour models will be made (morning rush hour and afternoon rush hour).



On the other hand, the analysis of the operation of the environment at peak times will be carried out using the AIMSUN Next microsimulation software, which analyzes the behavior of vehicle-to-vehicle traffic, being able to obtain queue lengths, delay times and other parameters at any point of the simulated network. The following figures show the degree of detail of this type of tools.





The results obtained in the study show that the operation of the road analyzed is adequate and that the implementation of a shopping center in the area studied in the most unfavorable situation does not produce significant effects. From this it follows that it will not have a significant impact on the traffic of the environment, not being necessary new proposals for action on the road or modification of the traffic light cycles.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	14
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	16
2.1. Introducción a la Ingeniería del Tráfico.....	16
2.2. Características básicas del tráfico	16
2.2.1. Composición	16
2.2.2. Intensidad.....	17
2.2.3. Velocidad.....	18
2.2.4. Variables propias de circulación interrumpida	18
2.2.5. Características del transporte en vía urbana	19
2.3. Estudios de tráfico.....	20
2.3.1. Aforos de tráfico.....	20
2.3.2. Estudios origen y destino	21
2.3.3. Otros estudios	22
2.4. Ordenación y regulación del tráfico	22
2.4.1. Regulación semafórica	23
2.5. Capacidad y nivel de servicio	26
2.5.1. Capacidad	26
2.5.2. Nivel de servicio	27
2.6. Caracterización de la demanda de tráfico.....	29
2.7. Movilidad urbana	30
2.7.1. Tipos de movilidad urbana	30
2.7.2. Planes de movilidad	31
2.8. Fundamentos de la simulación de tráfico	31
2.8.1. Tipos de modelos de simulación	32
2.8.2. Modelos macroscópicos.....	33
2.8.3. Modelos microscópicos.....	37
2.9. Generación de viajes	46
2.9.1. Trip Generation Manual	46
2.10. Nota de Servicio 5/2014.....	47
2.11. Ley 9/2001 del Suelo de la Comunidad de Madrid	48
2.12. Instrucción de la Vía Pública del Ayuntamiento de Madrid	51
3. METODOLOGÍA.....	53
3.1. Introducción	53
3.2. Modelo de macrosimulación.....	53
3.3. Niveles de congestión	55

3.4.	Modelo de microsimulación.....	56
3.5.	Niveles de servicio.....	57
3.6.	Movilidad generada y atraída	59
4.	CARACTERÍSTICAS DE LA ACTUACIÓN	62
4.1.	Situación y características principales.....	62
4.2.	Principales accesos en vehículo privado	64
5.	CARACTERIZACIÓN DEL ENTORNO URBANO. OFERTA DE TRANSPORTE	66
5.1.	Características del Viario	66
5.2.	Características del Aparcamiento	71
5.3.	Características del Viario Peatonal.....	75
5.4.	Características de la oferta de transporte público.....	78
5.4.1.	Autobuses urbanos (EMT).....	79
5.4.2.	Red de Metro de Madrid.....	86
6.	CARACTERIZACIÓN DEL TRÁFICO	88
6.1.	Tráfico en el entorno. Trabajo de campo.....	88
6.2.	Datos de aforos	89
7.	MODELO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	92
7.1.	Modelización situación actual.....	92
7.2.	Funcionamiento del viario.....	96
7.2.1.	Niveles de Congestión	96
7.2.2.	Niveles de Servicio.....	98
8.	MOVILIDAD FUTURA.....	104
9.	ANÁLISIS DE LA MOVILIDAD FUTURA	105
9.1.	Modificaciones en el modelado	105
9.1.1.	Niveles de congestión	108
9.1.2.	Niveles de Servicio.....	110
9.1.	Impacto en la movilidad	115
9.2.	Impacto en la demanda de Aparcamiento.....	115
9.3.	Impacto en la movilidad Peatonal.....	116
10.	PROPUESTAS DE ACTUACIÓN	118
11.	CONCLUSIONES	119
	BIBLIOGRAFÍA.....	120
	ANEJO I. LÍNEAS DE TRANSPORTE PÚBLICO	122
	ANEJO II. TRABAJOS DE CAMPO	130
	ANEJO III. MATRICES ORIGEN-DESTINO	141
	ANEJO IV. CICLOS SEMAFÓRICOS	146

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Parcela de estudio	14
Figura 2.	Ejemplo de matriz origen-destino. Fuente: Aimsun.....	30
Figura 3.	Modelos de simulación según el nivel de detalle. Fuente: Aimsun.....	32
Figura 4.	Resultados de la validación. Fuente: elaboración propia	35
Figura 5.	Componentes de un modelo macroscópico. Fuente: Vectio	37
Figura 6.	Esquema de situaciones posibles en el modelo de cambio de carril. Fuente: Aimsun	40
Figura 7.	Zonas de cambio de carril. Fuente: Aimsun.....	41
Figura 8.	Aceptación de hueco en función del tiempo de espera transcurrido. Fuente: Aimsun	41
Figura 9.	Fases del desarrollo de un modelo microscópico. Fuente: elaboración propia	42
Figura 10.	Representación de secciones e intersecciones en software de microsimulación. Fuente: Elaboración propia	43
Figura 11.	Porcentajes de giro determinados para un estado de tráfico. Fuente: Elaboración propia	44
Figura 12.	Definición de grupos semafóricos. Fuente: Elaboración propia.....	44
Figura 13.	Configuración de los ciclos semafóricos. Fuente: elaboración propia.....	45
Figura 14.	Definición del recorrido de una línea de transporte público. Fuente: elaboración propia	45
Figura 15.	Configuración de las características de una línea de transporte público. Fuente: elaboración propia	46
Figura 16.	Grafo de la red viaria. Fuente: elaboración propia	54
Figura 17.	Ratio I/C en el ámbito de estudio. Fuente: elaboración propia	56
Figura 18.	Modelo micro de la red viaria. Fuente: elaboración propia	57
Figura 19.	Niveles de servicio	58
Figura 20.	Modelo micro de la red viaria. Fuente: elaboración propia	59
Figura 21.	Estimación de viajes generados. Shopping Center. Trip Generation Manual. ITE	60
Figura 22.	Ubicación del centro comercial	62
Figura 23.	Esquema de ordenación.....	63
Figura 24.	Localización acceso actual a la parcela.....	64
Figura 25.	Itinerarios de Acceso y Dispersión.....	65
Figura 26.	Localización y denominación del viario en el entorno de la parcela	66
Figura 27.	Jerarquización del viario	68
Figura 28.	Sentidos de circulación	69
Figura 29.	Secciones geométricas y número de carriles.....	70
Figura 30.	Plazas de aparcamiento en el viario	72
Figura 31.	Tipología de las plazas de aparcamiento en el viario	73
Figura 32.	Plazas de SER.....	74



Figura 33.	Accesos peatonales	75
Figura 34.	Localización de pasos de cebra y semáforos	76
Figura 35.	Localización general de paradas y estaciones de transporte público.....	77
Figura 36.	Plano de Transportes del centro de Madrid. Consorcio Regional de Transportes.....	78
Figura 37.	Localización de paradas de autobús urbano.....	79
Figura 38.	Líneas de Metro.....	86
Figura 39.	Localización de las bocas de Metro Cuatro Caminos.....	87
Figura 40.	Localización de los puntos de aforo	88
Figura 41.	Distribución horaria. Aforos punto 1	89
Figura 42.	Tráfico en aforo 1	90
Figura 43.	Tráfico en aforo 2	90
Figura 44.	Tráfico en aforo 3	91
Figura 45.	Tráfico en aforo 4	91
Figura 46.	Grafo de la red viaria en el escenario base. Arcos según tipo de vía.....	92
Figura 47.	Grafo de la red viaria en situación actual. Modelo Visum.....	93
Figura 48.	Asignación de tráfico. Situación actual. HPM	94
Figura 49.	Asignación de tráfico. Situación actual. HPT	95
Figura 50.	Nivel de congestión. Situación actual. HPM	96
Figura 51.	Nivel de congestión. Situación actual HPT	97
Figura 52.	Red viaria actual. Aimsun.....	98
Figura 53.	Niveles de servicio. Situación actual. HPM.....	99
Figura 54.	Niveles de servicio. Situación actual. Sección norte. HPM.	100
Figura 55.	Niveles de servicio. Situación actual. Sección sur. HPM.....	100
Figura 56.	Niveles de servicio. Situación actual. HPT	101
Figura 57.	Niveles de servicio. Situación actual. Sección norte. HPT.....	102
Figura 58.	Niveles de servicio. Situación actual. Sección sur. HPT.	102
Figura 59.	Grafo de la red viaria en situación futura. Modelo Visum.....	105
Figura 60.	Asignación de tráfico. Situación futura. HPM.....	106
Figura 61.	Asignación de tráfico. Situación futura. HPT	107
Figura 62.	Nivel de congestión. Situación futura. HPM.....	108
Figura 63.	Nivel de congestión. Situación futura. HPT	109
Figura 64.	Red viaria futura. Aimsun	110
Figura 65.	Niveles de servicio. Situación futura. HPM	111
Figura 66.	Niveles de servicio. Situación futura. Sección norte. HPM	112
Figura 67.	Niveles de servicio. Situación futura. Sección sur. HPM.....	112
Figura 68.	Niveles de servicio. Situación futura. HPT	113



Figura 69.	Niveles de servicio. Situación futura. Sección norte. HPT	114
Figura 70.	Niveles de servicio. Situación futura. Sección sur. HPT	114
Figura 71.	Localización pasos de cebra	117
Figura 72.	Ubicación punto 1.....	131
Figura 73.	Ubicación punto 2.....	133
Figura 74.	Ubicación punto 3.....	135
Figura 75.	Ubicación punto 4.....	139



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Niveles de servicio para intersecciones reguladas por semáforos (HCM 1965).	28
Tabla 2.	Niveles de servicio para intersecciones reguladas por semáforos (HCM 2010).	29
Tabla 3.	Niveles de congestión según la Instrucción de la Vía Pública del Ayuntamiento de Madrid	55
Tabla 4.	Nivel de servicio en función de la demora media. Intersección semaforizada	58
Tabla 5.	Usos y superficies	62
Tabla 6.	Líneas de EMT	79
Tabla 7.	Resultados de la validación	93
Tabla 8.	Usos y superficies	115
Tabla 9.	Aforos punto 1	132
Tabla 10.	Aforos punto 2	134
Tabla 11.	Aforos punto 3	137
Tabla 12.	Aforos punto 4	140
Tabla 13.	Matriz origen-destino actual. Ligeros. Hora Punta de Mañana	142
Tabla 14.	Matriz origen-destino actual. Pesados. Hora Punta de Mañana	142
Tabla 15.	Matriz origen-destino actual. Ligeros. Hora Punta de Tarde	143
Tabla 16.	Matriz origen-destino actual. Pesados. Hora Punta de Tarde	143
Tabla 17.	Matriz origen-destino futura. Ligeros. Hora Punta de Mañana	144
Tabla 18.	Matriz origen-destino futura. Pesados. Hora Punta de Mañana	144
Tabla 19.	Matriz origen-destino futura. Ligeros. Hora Punta de Tarde	145
Tabla 20.	Matriz origen-destino futura. Pesados. Hora Punta de Tarde	145

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio de tráfico tiene por objeto evaluar el funcionamiento del tráfico y la movilidad con motivo de la implantación de un centro comercial en el barrio de Cuatro Caminos en el distrito de Tetuán en Madrid.

Figura 1. Parcela de estudio



Este documento tiene como objeto:

- Caracterizar el estado actual del tráfico y el viario.
- Analizar el funcionamiento actual de las intersecciones existentes.
- Analizar la demanda de transporte que se atraería con el cambio de uso de la parcela.
- Analizar la movilidad peatonal, el transporte público y el aparcamiento en el ámbito.
- Determinar las necesidades de aparcamiento futuro.
- Analizar el funcionamiento del tráfico teniendo en cuenta el impacto que supondrá el cambio de uso y proponer las medidas necesarias para minimizar dicho impacto.

Para evaluar el funcionamiento del tráfico, se analizará la situación actual y la situación futura tras la puesta en servicio del centro comercial mediante el software de macrosimulación VISUM para el modelo macroscópico y el software de microsimulación AIMSUN Next para el modelo microscópico.



El documento se ha estructurado en los siguientes capítulos:

- Introducción
- Fundamentos teóricos
- Metodología
- Características de la actuación
- Caracterización del entorno urbano. Oferta de transporte
- Caracterización de tráfico
- Modelo de la situación actual
- Movilidad futura
- Análisis de la movilidad futura
- Propuesta de actuación
- Conclusiones
- Bibliografía

Además, al final del documento se incluyen los siguientes anejos:

- Anejo I: Líneas de transporte público
- Anejo II: Trabajos de campo
- Anejo III: Matrices origen-destino
- Anejo IV: Ciclos semafóricos

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Introducción a la Ingeniería del Tráfico

La Ingeniería de Tráfico, se inició en EEUU, hacia el año 1920, como rama dependiente de la Ingeniería Civil, debido al aumento en el grado de motorización que era aproximadamente, de un vehículo por cada 9 habitantes. Debido a la alta concentración de vehículos, que superaba una serie de normas básicas de circulación, asumidas por la población y aplicadas por la policía, se orientó en la búsqueda de unos principios técnicos que permitiesen obtener un mayor rendimiento de las calles existentes.

En sus inicios, fue una disciplina intermedia entre la Ingeniería y la policía, que se ha desarrollado, con el paso del tiempo, hacia el campo del planeamiento y del transporte, permitiendo abordar un amplio abanico de problemas cada vez de forma más cuantitativa.

Desde el Instituto de Ingenieros de Tráfico de EEUU, nos llega una definición más completa que recoge desde la solución de pequeños problemas locales, hasta la elaboración de complejos planes de transporte. Se entiende la Ingeniería de Tráfico como «la rama de la Ingeniería que trata del planeamiento, trazado y funcionamiento de las calles y carreteras, así como de los aparcamientos, terrenos colindantes y zonas de influencia y su relación con otros medios de transporte. Su objetivo es que el movimiento de personas y mercancías se realice de formas más segura, eficaz y cómoda».

Las actividades comprendidas en la Ingeniería del Tráfico pueden dividirse en dos grandes grupos:

- Planeamiento de Tráfico: muy relacionado con otras ramas de la ciencia como la estadística, matemáticas, urbanismo y la economía. Trata de problemas con solución a medio y largo plazo.
- Ordenación de la circulación: corresponde con el origen de esta rama de la Ingeniería, que busca establecer una circulación fluida y segura y la integración de la vía en su entorno. Busca actuaciones inmediatas que ha cumplir la policía mediante la señalización viaria, el establecimiento de sentidos únicos, el control del estacionamiento y la prohibición de giros. Su objetivo fundamental es lograr el máximo rendimiento de las redes viarias existentes.

2.2. Características básicas del tráfico

A la hora de describir el tráfico, se puede diferenciar entre circulación ininterrumpida o continua y circulación interrumpida o discontinua:

- Circulación continua: las únicas detenciones que pueden sufrir los vehículos durante su desplazamiento son producidas por problemas generados por la propia corriente del tráfico, (colisiones, averías, etc.), pues no existen elementos regulatorios que corten el flujo. Este tipo de circulación es propio de autopistas/autovías y carreteras convencionales.
- Circulación discontinua: presenta elementos fijos de señalización y regulación que provoca reducciones de velocidad y paradas periódicas. Este tipo de circulación se caracteriza por las pérdidas de tiempo causadas por las fases de frenado, parada y aceleración, se asocia a zonas urbanas y próximas a núcleos de población.

En la Ingeniería del tráfico destacan tres características, no son independientes, que lo definen técnicamente: Intensidad de tráfico, composición y velocidad. Además de las citadas características, se puede considerar la separación entre vehículos, el intervalo y la densidad.

2.2.1. Composición

La corriente de tráfico está compuesta por vehículos motorizados que se diferencian entre sí en cuanto a dimensiones, peso y velocidad. Estos vehículos se dividen en siete clases: motos, turismos, camionetas, tractores agrícolas, camiones sin remolque, camiones con remolque y autocares. Existe

una octava clase de vehículo, no motorizado, es el caso de las bicicletas, que han sido descartadas del estudio debido a la poca influencia que ejercería en los resultados obtenidos.

Dada la naturaleza de este proyecto y de su relocalización, se ha optado por una clasificación más simple, distinguiendo tres tipos: autocares, turismos y vehículos pesados, en la que se engloban pequeños y grandes camiones.

2.2.2. Intensidad

La intensidad es un parámetro que cuantifica el número de vehículos que circulan por un punto o sección transversal de un carril o carretera durante un período de tiempo determinado. Aunque es posible utilizar cualquier intervalo de tiempo, lo más característico es expresarla en términos diarios (IMD) u horarios.

Desde el punto de vista de la ingeniería de tráfico interesan, en especial, dos estados de esta variable en función del tiempo:

- Intensidad media diaria anual (IMD): se refiere al número de vehículos que pasan por una sección dada durante un año, dividido por 365. Puede considerarse como la intensidad de tráfico que corresponde al día medio del año. Utilizada fundamentalmente desde el punto de vista del planeamiento.
- Intensidad horaria punta: número de vehículos que pasan por una sección durante la hora de mayor circulación, considerando que las oscilaciones de tráfico tienen lugar en intervalos de tiempo inferiores a una hora. Resulta más interesante desde el punto de vista del proyecto y de la ordenación. Para el cálculo de este valor se recurre al factor de hora punta, siendo la relación entre la intensidad de la hora completa y la intensidad correspondiente al período más cargado dentro de dicha hora. Utilizando períodos de 15 minutos como intervalo de magnitud inferior.

El factor de hora punta se determina mediante la siguiente expresión:

$$FHP = \frac{I_h}{4 \times I_{15}}$$

donde I_h es la intensidad en el conjunto horario y I_{15} la intensidad durante los 15 minutos de mayor circulación.

El factor que más influye en la intensidad es el tiempo, por eso es preciso conocer en qué momento debe realizarse el análisis de tráfico para lograr una mayor precisión, se puede distinguir tres ciclos de la intensidad:

- Ciclo anual: la variación de la intensidad de tráfico del día típico de un mes seguirá unas leyes relativamente constantes a lo largo de los años, siempre y cuando las características físicas y fundamentales de la vía o el uso del suelo próximo a ella, no sufran modificaciones. Dicha variación, normalmente, es más acusada en las zonas rurales que en las urbanas. En la mayoría de los casos, los valores máximos y mínimos corresponden a los meses de agosto y enero, respectivamente.
- Ciclo semanal: el tráfico es distinto en días laborables, en sábados y en domingos, siendo estos últimos días de mayor y menor intensidad, respectivamente, en las vías urbanas.
- Ciclo diario: es el más interesante desde el punto de vista técnico, en el cual los porcentajes horarios varían entre el uno por ciento y el triple de la cifra media. Es normal que se produzca un porcentaje de tráfico del ochenta al noventa por ciento entre las seis de la mañana y las diez de la noche. Cuando las intensidades horarias son elevadas, interesa realizar una distribución de la intensidad dentro del período de una hora, aunque las variaciones en períodos muy cortos se consideran inestables.

2.2.3. Velocidad

La velocidad se define como la distancia recorrida por unidad de tiempo, generalmente en kilómetros hora. Puede hacer referencia a la de un vehículo determinado, la de un grupo de vehículos o a una magnitud que tiene en cuenta las circunstancias de la circulación y de la vía.

La velocidad de un determinado vehículo puede definirse de tres formas:

- Velocidad local: velocidad de un vehículo al atravesar una determinada sección.
- Velocidad de circulación: igual a la distancia recorrida dividida por el tiempo en el que el vehículo está en movimiento.
- Velocidad de recorrido: el cociente entre la distancia total recorrida y el tiempo que transcurre desde el instante en que el vehículo inicia el viaje hasta que llega a su destino, incluyendo las posibles detenciones y retrasos debidos al tráfico.

La velocidad de un conjunto de vehículos se puede definir mediante varios parámetros:

- Velocidad media de recorrido (VMR): es igual a la longitud del tramo considerado dividido por el tiempo medio de recorrido de todos los vehículos, incluyendo todas las demoras debidas a paradas.
- Velocidad media espacial: término estadístico que representa la velocidad media basada en el tiempo medio de recorrido de los vehículos en atravesar un tramo de carretera.
- Velocidad media temporal o puntual: media aritmética de las velocidades individuales de los vehículos que atraviesan por un punto fijo.
- Velocidad libre (VL): es la velocidad media de los vehículos en un tramo cuando los conductores son libres sin verse limitados por la presencia de otros vehículos o por elementos de regulación (semáforos, Ceda el paso o Stop).

Se debe considerar otros dos conceptos de velocidad que tienen en cuenta las circunstancias de la vía:

- Velocidad de proyecto: es la base para definir los elementos geométricos de la vía.
- Velocidad de servicio: es la velocidad a la que se puede circular por una determinada vía en situaciones atmosféricas favorables, en las condiciones de circulación existentes en cada momento, dentro de unos márgenes de seguridad. Es de gran interés a la hora de definir la capacidad y los niveles de servicio.

2.2.4. Variables propias de circulación interrumpida

2.2.4.1. Tiempo de demora

Es el tiempo adicional que emplea un conductor para completar el recorrido hasta su destino, a mayores del requerido por el propio trayecto, la demora es una variable fundamental en vías con circulación interrumpida que puede clasificarse en diversas tipologías.

- Demora por regulación: es la producida por los propios elementos de circulación, engloba las demoras relacionadas con la reducción de velocidad y la aceleración generadas por la llegada y la salida de una intersección, el tiempo de parada en la línea de detención de la misma y el tiempo gastado en avanzar dentro de la cola de vehículos.
- Demora por geometría: originada por una variación en las propias características de la vía, que pueden obligar a los vehículos a reducir su velocidad para poder gestionar adecuadamente un elemento de la red viaria.
- Demora por incidente: tiempo adicional de desplazamiento experimentado como consecuencia de un incidente producido en la vía, comparado con el tiempo empleado en condiciones normales de circulación.
- Demora por tráfico: resultado de la interacción entre vehículos, la cual obliga a los conductores a reducir la velocidad por debajo de la velocidad libre.

- Demora total: igual a la suma de todas las anteriores.

2.2.4.2. Número de detenciones

Es el cociente entre paradas efectuadas y el número de vehículos afectados, expresado en unidades de paradas/vehículos, debido a los elementos de regulación utilizados para separar aquellas trayectorias en conflicto. El índice de paradas resulta útil a la hora de evaluar la circulación de una vía y de calcular el coste para los usuarios, dicho coste está asociado en términos de consumo de combustible y desgaste del vehículo.

2.2.4.3. Colas

Cuando la demanda excede a la capacidad o cuando en intersecciones el intervalo de llegada es inferior al tiempo necesario para que los vehículos sean atendidos, se formaran retenciones de vehículos. Cuando las colas son más largas que la longitud de almacenamiento de la pata de una intersección puede producirse varios tipos de problemas como el bloqueo de ciertos giros y accesos a viviendas y aparcamientos y, en el peor de los casos, alcanzar intersecciones aguas arriba y bloquearlas. Pueden ser calculados varios parámetros relacionados con las colas, incluyendo la longitud media de la cola, la posición del último vehículo o la cola máxima más probable.

2.2.4.4. Tiempo de viaje

Definido como el intervalo de tiempo utilizado por un vehículo para completar su trayectoria desde su origen hasta su destino en condiciones normales de circulación, el tiempo de viaje engloba tanto el periodo producido por las propias características y geometría de la vía como aquellos desfases producidos por las diferentes demoras.

2.2.5. Características del transporte en vía urbana

2.2.5.1. Infraestructuras para ciclistas

En esta categoría se incluye aquellas vías en las que los ciclistas comparten un carril normal de circulación con el tráfico rodado, carriles dedicados a bicicletas, arcenes de carreteras pavimentados para el uso de bicicleta, y carriles-bici en plataformas reservadas ubicadas entre la calzada y la acera y separadas de estas por bordillos rebajados. Todas las vías nombradas anteriormente serán de sentido único y habrá que considerar la calidad de servicio, la seguridad y el entorno.

Dichas infraestructuras no se tendrán en cuenta en este proyecto debido a que no afectan a la circulación de los vehículos y a la dificultad de su simulación.

2.2.5.2. Transporte público

Dada la naturaleza de este proyecto, cabe destacar la importancia del autobús urbano, el cual se describe a continuación.

Autobús urbano

Está operado por vehículos con neumáticos que siguen rutas y horarios prefijados. Otro tipo es el trolebús eléctrico, considerado como un submodo diferente al autobús por la Federal Transit Administration.

El autobús urbano ofrece una considerable flexibilidad de explotación. El servicio puede abarcar desde líneas locales con paradas cada dos o tres manzanas hasta servicios con paradas localizadas a grandes distancias o incluso servicios exprés viajando por carretera sin paradas. Las paradas pueden estar en los propios carriles de circulación, en carriles de aparcamiento o en apartaderos fuera de la calzada.

Carriles exclusivos

Son carriles en vía urbana destinados a vehículos de transporte público, cuyo uso podrá ser a tiempo parcial o total. Generalmente están separados del resto de carriles por una marca vial, sin embargo,

en ocasiones está permitida a otros vehículos la ocupación de dicho carril para posibilitar giros a la derecha en intersecciones, o bien se permite su uso a ciclistas, coches compartidos y taxis.

Plataformas reservadas para transporte público en vía urbana

Algunas veces los autobuses circulan en vía urbana con prioridad de paso, físicamente segregados del resto del tráfico y localizado en la mediana o en uno de los márgenes. En estas plataformas reservadas no está permitida la circulación de otro tipo de vehículos. La duración de fase verde asignada al transporte público puede ser diferente de la asignada a los movimientos paralelos de tráfico.

2.3. Estudios de tráfico

2.3.1. Aforos de tráfico

La intensidad de circulación es un requisito básico para la realización de cualquier estudio de planeamiento, proyecto y explotación de redes viarias. Se trata de contar o aforar el número de vehículos que pasan por determinadas secciones de la red. Puede realizarse manualmente o por medio de aparatos especiales, y puede hacerse clasificando más o menos detalladamente los tipos de vehículos que circulan. La precisión y el coste del estudio dependerán del número de secciones en que realicen los aforos y de la duración de los mismos. Será necesario estudiar:

- Los medios disponibles para realizar los aforos.
- Los métodos para elegir las secciones donde aforar y la duración de los aforos.
- Los procedimientos para la obtención de los datos necesarios a partir de los resultados de los aforos.

2.3.1.1. Técnicas de aforo

A la hora de elegir un método u otro hay q tener en cuenta dos factores fundamentales:

- Los medios empleados deben ser lo más económicos posibles
- Los resultados que se desea obtener

Por otra parte, los aforos presentan, en ocasiones, ciertas dificultades. Los aforos automáticos no sirven para estudiar los movimientos de giro o la composición del tráfico si las condiciones físicas de la vía dificultan la instalación de contadores automáticos. Del mismo modo, los aforos manuales se realizan con dificultad si las intensidades horarias son muy elevadas o si se requiere un conocimiento continuo de la intensidad.

Aforo manual:

El procedimiento de medición se realiza manualmente situando un observador que cuente todos los vehículos que pasan por ella durante un periodo determinado. Para facilitar la tarea se utilizan normalmente impresos preparados con la clasificación de los vehículos que interesa contar. Pueden utilizarse contadores manuales. Hoy en día, existen aplicaciones informáticas para teléfonos móviles o tabletas, que, dada su comodidad y adaptabilidad, se han convertido en la principal herramienta empleada en la realización de aforos.

Este tipo de aforo tiene la ventaja de que permiten distinguir entre distintos tipos de vehículos. El inconveniente principal es su alto coste, que hace normalmente imposible su utilización en conteos de duración superior a las 24 horas. Se emplea como complemento a los aforos automáticos para obtener información que de cualquier otro método sería imposible obtener.

Aforo automático:

La mayor parte de los aforos en carreteras y calles se realizan de forma automática empleando aparatos aptos para detectar el paso de vehículos, contar el número de pasos detectados y registrar el número de pasos contados en un espacio de tiempo. En las estaciones de aforo que se instalan de forma permanente existen diferentes tipos de detectores, los más utilizados son los detectores de lazo

que consisten en un cable empotrado en el pavimento formando un lazo por el que circula una corriente eléctrica. Al pasar sobre el lazo la masa metálica del vehículo, se produce un cambio en las características de la corriente eléctrica que acciona el contador. Los detectores de lazo pueden contar el número total de vehículos que pasan, clasificarlos por su longitud y número de ejes, y empleando dos lazos próximos pueden medir las velocidades de los vehículos.

Cuando se realizan aforos ocasionales en instalaciones temporales se emplean detectores que puedan colocarse fácilmente sobre la calzada, es habitual el uso de un tubo neumático. Cuando pasan sobre él las ruedas de los vehículos aumenta la presión de aire en su interior, lo que acciona el dispositivo contador.

2.3.1.2. Planes de aforo

Para determinar las intensidades con cierta precisión es necesario realizar los aforos durante un tiempo suficiente para registrar las variaciones de tráfico, aunque por otra parte conviene reducir la duración de dichos aforos para disminuir su coste. Interesa organizar los aforos de forma que se pueda aprovechar la información obtenida en unas secciones para estimar los datos de otras

Selección de estaciones y programación de aforos.

Según la duración de las medidas, las estaciones se pueden clasificar en:

- Estaciones permanentes: en las que se realiza un aforo continuo por medio de un contador automático. Permiten un conocimiento de las variaciones (estacionales, semanales y diarias), así como la obtención de las tendencias del tráfico a largo plazo, por lo que da a conocer la intensidad durante todas las horas del año. Se localizan en todos los tipos de carretera representativos de la red.
- Estaciones de control: conocen las variaciones diarias, semanales y estacionales. Se pueden distinguir dos tipos:
- Primarias: se realizan aforos continuos, como mínimo, durante un periodo de 4 días que incluya dos días laborales, un sábado y un domingo, y repetirlos cada mes o dos meses.
- Secundarias: en este caso se debe realizar al menos un día completo cada dos meses o preferiblemente dos días laborales al mes.
- Estaciones de cobertura: se realiza como mínimo un aforo anual durante 16 horas (de 6h a 22h) en primavera u otoño, cuando la intensidad del tráfico es similar a la media anual.

2.3.2. Estudios origen y destino

Los aforos de tráfico no permiten conocer las características de los viajes, como pueden ser su origen y destino, ni por qué se realizan. Aunque son datos esenciales para muchos estudios de planificación. Para obtenerlos, se realizan encuestas directamente a los propios viajeros.

Encuestas de pantalla y cordón

Conocidas así por formar una pantalla que corta el eje o corredor que se está estudiando, o un cordón alrededor del área considerada. Las encuestas se realizan en todas las estaciones simultáneamente, y su duración suele ser de un día entero (o de 16 horas, si el tráfico nocturno no es importante). Si el tráfico es poco intenso se pregunta a todos los vehículos, por otro lado, es preciso conformarse con una muestra reducida de vehículos seleccionada aleatoriamente.

Encuestas domiciliarias

Se entrevista a los habitantes de una zona en sus domicilios, directamente o por correo; siendo, este tipo de encuestas, muy común en las zonas urbanas. Dado que el número de personas entrevistadas suele ser muy elevado, los datos obtenidos son más complejos que en la encuesta mencionada anteriormente, debido a que en ellas se pide a los entrevistados detalles de los viajes realizados el día anterior, destino, modo de transporte, motivo del viaje, etc., además de información personal como su ocupación.

Este tipo de entrevistas son utilizados para el estudio del transporte interurbano de mercancías. Para ello, se envía cuestionarios a las empresas de transporte o a otras empresas que tienen vehículos de transporte propio, solicitando información sobre los servicios realizados por sus vehículos durante los viajes realizados.

2.3.3. Otros estudios

2.3.3.1. Estudios en nudos viarios

Es necesario conocer la intensidad de tráfico y las intensidades de los diferentes movimientos de paso y giro que se realizan en todos los tramos para analizar el funcionamiento de los nudos viarios, dado que es complicado aforar separadamente los distintos movimientos de giro con los detectores normalmente utilizados. Se recurre frecuentemente a los aforos manuales. Para ello, se colocan observadores que cuentan el número de vehículos que pasan por cada acceso, clasificándolos según el movimiento que realizan (rectos, giros a la derecha, giros a la izquierda). También pueden utilizarse grabaciones de video eligiendo adecuadamente la ubicación de las cámaras.

Las colas formadas en los accesos a un nudo permiten realizar estimaciones del nivel de servicio alcanzado.

2.3.3.2. Estudios del estacionamiento

En zonas urbanas la demanda de estacionamiento se satisface en gran medida utilizando gran parte de la calzada. Para diseñar adecuadamente las calles es necesario realizar una serie de estudios:

- Inventarios de plazas existentes, en los que se relacionan: sus dimensiones, máxima duración permitida, horas en las que se permite el estacionamiento, su coste, uso público o privado, etc.
- Análisis de la autorización de las plazas: se anota periódicamente las plazas ocupadas y la matrícula de los coches que las ocupan para deducir la duración del estacionamiento de cada vehículo. En los estacionamientos públicos las entidades encargadas de su explotación son las que realizan este registro.

Análisis de la demanda de estacionamiento: se recurre a encuestas a los conductores de los vehículos al estacionarlos, preguntándoles cuál es su destino final, como llegaron a él, el motivo del viaje, etc.

2.4. Ordenación y regulación del tráfico

La ordenación del tráfico es un conjunto de medidas y actuaciones destinadas a mejorar la explotación de una infraestructura viaria existente. Tiene como objetivos básicos el aumento de la seguridad en la circulación y la mejora del nivel de servicio.

En las zonas urbanas las medidas de ordenación deben contribuir al mantenimiento de la fluidez de la circulación. Para ello se deben adoptar una serie de medidas:

- Establecimiento de sentidos únicos de circulación, consiguiendo así un aumento de la velocidad y una disminución de las demoras.
- La prohibición de giros a la izquierda en determinados puntos o el establecimiento de una fase semafórica especial para que se puedan efectuar estos giros.
- La limitación y el control de la velocidad en zonas concretas.
- La distribución de los carriles, reservando algunos para los vehículos de transporte público o los ciclistas.
- La señalización y el acondicionamiento de los puntos de cruce para los peatones.
- El establecimiento de prioridades en las intersecciones en las vías con tráfico importantes.
- La regulación de la carga y descarga de mercancías, esta acción debe realizarse en las horas de menos tráfico. Se deben reservar espacios variando la ubicación y dimensiones.

- Disposición del estacionamiento según sea la forma de estacionar y la duración del mismo.

La regulación de la circulación es el resultado de la decisión y ejecución en cada momento de unas medidas y actuaciones encaminadas al mejor funcionamiento de la ordenación del tráfico. En España, los documentos de referencia que recogen las disposiciones legales son el Reglamento General de Circulación, el Reglamento General de Conductores y el Reglamento General de Vehículos.

Los dispositivos que se emplean en la regulación de la circulación, además de los agentes de la circulación, son:

- Señales fijas y variables
- Semáforos
- Sistemas avanzados de control de tráfico (detectores)

2.4.1. Regulación semafórica

El principal campo de aplicación son las zonas urbanas, aunque también tiene su uso en carreteras convencionales. La instalación de semáforos en aquellos cruces cuya intensidad es mayor a la gestionable y que constan de dos o más vías urbanas, tienen una preferencia de paso fija suponiendo un medio seguro, económico y eficaz para la regulación del tráfico, a pesar de generar detenciones y demoras.

2.4.1.1. Conceptos básicos

Un semáforo es un dispositivo de regulación del tráfico que asigna de forma secuencial el derecho de paso a cada movimiento o grupo de movimientos que concurren en una intersección. Hay una serie de conceptos fundamentales relativos a la regulación semafórica que precisan ser definidos para su posterior diferenciación:

- Grupo semafórico: conjunto de movimientos posibles en una intersección de manera simultánea y paralela. El semáforo que los regula se pone al mismo tiempo en verde, ámbar o rojo.
- Ciclo: tiempo necesario para que se cumpla una secuencia completa de indicaciones en los semáforos conectados a un mismo regulador.
- Fase: cada una de las combinaciones de indicaciones del ciclo que permiten uno o varios movimientos simultáneos a través de la intersección.
- Tiempo de despeje: períodos intermedios en los que se encienden las luces ámbar o en que todos los semáforos se encuentran en rojo para permitir que los vehículos que se encuentran en la intersección al final de una fase en la que tienen permitido el paso, salgan de ella y se pueda dar paso a los flujos procedentes de otros accesos.
- Reparto del ciclo: distribución del tiempo asignado al ciclo entre las distintas calles que confluyen en la intersección.
- Desfase: intervalo de tiempo transcurrido entre los cambios de fase de semáforos situados en intersecciones sucesivas.

2.4.1.2. Funcionamiento del cruce semafórico

El funcionamiento de los semáforos de una intersección regulada por estos se clasifica en función del grado de adaptación a la circulación en:

- Semáforos de tiempos fijos: cuando el tiempo de fase asignado a cada acceso permanece invariable en todas las repeticiones.
- Semáforos actuados por el tráfico: cuando el tiempo de fase de cada acceso varía atendiendo a la demanda de tráfico recogida por detectores instalados en la infraestructura o a pulsadores accionados por los peatones.

Semáforos de tiempos fijos:

Los reguladores de tiempos fijos no hacen sino cumplir lo que previamente se les ha ordenado, sin depender para nada de las variaciones en intensidad, velocidad o composición que, a lo largo del

tiempo se producen en el tráfico. Se puede intervenir en el funcionamiento de un regulador de tiempos fijos modificando de una manera u otra la duración de alguna de las funciones. Es más efectivo juntar en uno solo varios reguladores que entraran en funcionamiento tras su selección manual o por medio de un reloj.

Semáforos semiaccionados:

Este tipo de regulación suele instalarse cuando se trata de un cruce de una calle de relativa importancia con otra, que se considera menos importante. Los detectores se colocan en la vía secundaria y el regulador da paso libre a dicha vía siempre que, además de producirse detección, haya finalizado el tiempo mínimo de verde asignado a la vía principal.

Semáforos accionados:

Todo el tráfico que llega a la intersección es detectado y los tiempos se reparten de acuerdo con unos determinados criterios. Es posible fijar entre ciertos límites algunas de las partes que componen el ciclo total. Aunque los detectores empleados en la mayoría de los casos analizan únicamente la intensidad del tráfico, hay otros aparatos que además tienen en cuenta el número de vehículos que están parados y el tiempo que lo están; también pueden considerar los intervalos entre unos vehículos y otros, lo que se conoce como densidad del tráfico.

Comparación entre los semáforos accionados y los no accionados:

Siempre que sea aconsejable la instalación de semáforos, es preferible que su regulación pueda depender del tráfico.

Ventajas de los semáforos no accionados:

- Debido a la constancia de su ciclo y su reparto, facilitan una mejor coordinación con los de intersecciones adyacentes.
- El funcionamiento no se ve nunca afectado por anomalías en el detector ya sean obras o un vehículo afectado.
- Ofrecen mejor resultado en lugares donde constantemente hay grandes masas de peatones.
- Son más económicos.

Ventajas de los semáforos accionados:

- Son más eficaces cuando existen fluctuaciones de tráfico de difícil previsión.
- Son mejores en intersecciones donde haya movimientos esporádicos o cuya intensidad varía mucho a lo largo del día.
- Su rendimiento es superior en los cruces de vías de poca importancia con otras que la tienen relativamente grande.
- Son más adecuados donde los semáforos de tiempos fijos deben ser puestos en destellos durante varias horas.

2.4.1.3. Determinación de las fases

La determinación de las fases dependerá de las características del tráfico y del trazado de la intersección.

Los criterios que deben presidir el estudio de las fases son:

- El número de fases debe ser lo menor posible ya que se reducen los tiempos perdidos en cada ciclo.
- El número de movimientos simultáneos debe ser máximo.
- Se procurará que el recorrido dentro de la intersección sea lo más corto posible logrando unos tiempos de despeje inferiores.

- Cuando un ciclo se divide en más de dos fases es necesario considerar el tiempo en que se producen ya que ello repercute en la seguridad y rendimiento de la intersección.

Cuando durante la fase de peatones, tanto el número de estos como el de vehículos no sean muy elevados, puede permitirse el paso de ambos asignando la preferencia a los peatones.

2.4.1.4. Cálculo del ciclo

La proximidad entre intersecciones obliga a que se adopte una misma duración de ciclo. Cuando las distancias entre intersecciones son grandes, es posible elegir diferentes ciclos, ya que se produce una dispersión de los vehículos que circulaban agrupados.

Puesto que el tiempo de salida de un vehículo es mayor que el intervalo medio entre varios en movimiento, a mayor cantidad de ciclos por hora, se efectuarán mayor número de arrancadas y se acumularán mayores pérdidas de tiempo. Se procura obtener un ciclo lo más corto posible puesto que con ello se suelen reducir los tiempos de espera, aunque la capacidad disminuya con la duración del ciclo.

El método más exacto para el cálculo de la longitud del ciclo se basa en el tiempo mínimo requerido por cada movimiento, siendo este:

$$T_n = P_n + \frac{I_n}{C_n} * C$$

Donde T_n es el tiempo requerido por el movimiento con origen en un acceso "n"; P_n la suma de los tiempos perdidos para frenar, reaccionar, arrancar y despejar el nudo; I_n la intensidad registrada en dicho acceso a la intersección; C_n la capacidad de este y C la longitud del ciclo.

Dado que la suma de los tiempos asignados a cada movimiento es igual al ciclo, se puede representar la suma de todos los tiempos perdidos como P_t y la suma de todas las relaciones intensidad-capacidad como Y , es posible definir la longitud del ciclo como:

$$C = P_t + C * Y \rightarrow C_{min} = \frac{P_t}{1 - Y}$$

Se obtiene así la ecuación del ciclo más corto, medido en segundos, con que puede funcionar una intersección regulada por semáforos.

2.4.1.5. Cálculo de reparto de tiempos

El supuesto más sencillo es aquel en que se pretende repartir un ciclo de una duración dada entre dos calles con una intensidad de tráfico conocida; para resolver el caso más desfavorable, se toma la que corresponde a los 15 minutos punta.

$$\frac{I_a}{I_b} = \frac{T_a}{T_b} \quad y \quad T_a + T_b = C$$

Donde I_a , I_b son las intensidades máximas por carril en las calles A y B; T_a , T_b los tiempos de verde correspondientes a cada calle y C la duración del ciclo en segundos.

Duración del tiempo ámbar

La utilización de la luz ámbar entre la verde y la roja se debe a que no es posible detener instantáneamente un vehículo. El cálculo de la duración del ámbar se basa en dos supuestos:

- El tiempo de ámbar será igual o superior al requerido para frenar antes de la línea de detención.
- Si se ha entrado en la intersección, dará tiempo a atravesarla antes de que se encienda la luz roja.

A pesar de que los criterios antes indicados parecen muy razonables, con la aplicación de las fórmulas teóricas se llega generalmente a tiempos de ámba muy largos, la mayoría de los autores recomiendan reducirlo a 3 o 4 segundos.

La introducción de los tiempos de “todo rojo” hace innecesario incluir en el ámba el tiempo de despeje, con lo cual el único valor que cuenta es el del tiempo de frenado.

La tendencia general es llegar a una duración del ámba uniforme, con lo cual los conductores reaccionarán siempre de la misma forma y las únicas variables que intervendrán en su decisión serán la distancia a que se encuentra del semáforo y la velocidad a que circulan.

2.5. Capacidad y nivel de servicio

2.5.1. Capacidad

La capacidad de una vía es la máxima intensidad con la que, de una forma razonable, puede esperarse poder atravesar su sección transversal durante un periodo de tiempo dado para unas condiciones reales conocidas ambientales, de tráfico, pavimento y regulación.

Viajeros hora, vehículos ligeros hora y vehículos hora son unidades de medida dependiendo del tipo de elemento y del tipo de análisis elegido.

Las condiciones reales diferirán de las condiciones ideales. De esta manera, los procedimientos de cálculo de capacidad, intensidad de servicio y nivel de servicio incluirán factores de ajuste.

- Condiciones de calzada: Relacionadas con el diseño geométrico, el estado del pavimento, etc. Podrían afectar a parámetros de circulación como la velocidad, sin afectar a la capacidad o a la máxima intensidad. Condiciones:
 - Número de carriles.
 - Tipo de elemento viario.
 - Ancho de carril.
 - Ancho de arcén.
 - Obstáculo lateral.
 - Velocidad de diseño.
 - Alineaciones en planta y en alzado.
 - Disponibilidad de carriles exclusivos para giros.
- Condiciones ambientales: incorporan la meteorología y la iluminación, fijándose como escenario ideal aquel que presenta buenas condiciones climatológicas y luminosidad suficiente.
- Condiciones de tráfico: Se pueden diferenciar:
 - Tipo de vehículo: La mayor o menor presencia de vehículos pesados afectará de forma negativa al número de vehículos que podrán ser atendidos por una infraestructura ocupando un mayor espacio en la calzada dado que presenta una longitud superior; y entorpeciendo la circulación, consecuencia de su menor capacidad de maniobra.
 - Reparto por sentidos y distribución por carriles: El reparto por sentidos tiene un impacto importante en la circulación en carreteras rurales de dos carriles. En ellas las condiciones óptimas se alcanzan cuando dicho reparto es equilibrado. Los análisis de vías multicarril están enfocados al estudio de cada sentido por separado, aunque será necesario conocer igualmente el reparto por sentidos. El carril derecho soporta una intensidad inferior al resto de carriles.
 - Características de los conductores: Los conductores no muestran las mismas habilidades para la conducción en sus desplazamientos habituales por infraestructuras conocidas que en desplazamientos de tipo discrecional. Como ejemplo, en un mismo tramo de autopista,

con un tráfico de tipo turístico su capacidad fue entre un 10% y un 15% inferior que con tráfico regular.

- Condiciones de regulación: En vías con circulación discontinua, la regulación del tiempo durante el cual se permita la circulación a un determinado movimiento resultará crítica para la capacidad, la intensidad de servicio y el nivel de servicio. Una regulación mediante prioridad fija también afectará a la capacidad. La regulación más crítica será la semaforización por las fases semafóricas, el reparto de fase verde, la duración del ciclo y su coordinación en onda verde con otras intersecciones próximas.

Otros tipos de regulación podrían también afectar restringiendo ciertos giros y por la existencia de carriles reversibles.

Hay otra serie de condicionantes propios de las intersecciones a nivel además de los factores vinculados a la regulación mencionados anteriormente:

- Anchura de la calle: el ancho de la calle es el factor más significativo que afecta a la capacidad de una intersección. Los anchos pueden variar a lo largo del día con el fin de acomodarse a las variaciones del tráfico, por medio de conos u otro tipo simple de balizamiento. A menudo, los carriles marcados en el pavimento no son respetados (especialmente en horas punta) y cuando existe espacio suficiente los vehículos se sitúan formando más filas que los carriles marcados.
- Circulación en sentido único o doble: En una calle de sentido único hay una serie de ventajas que se reflejan no solo en la capacidad, sino que se pueden hacer giros a la izquierda con mayor facilidad y tiene menos movimientos posibles que en vías de doble sentido.
- Estacionamiento: La restricción de anchura producida por la presencia de un vehículo parado es bastante mayor que el ancho real de dicho vehículo. Los conductores, al pasar junto a ese vehículo, temen cualquier tipo de maniobra imprevista, como puede ser la simple apertura de una puerta.
- Factor de hora punta: Se define como el “cociente del número de vehículos contados durante una hora punta entre cuatro veces el número de vehículos contados durante los quince minutos consecutivos más cargados”.
- Un factor de hora punta puede variar entre 0,25 y 1,00. En el primer caso se trataría de una calle en que todo el tráfico de la hora se produzca en un cuarto de hora. El segundo caso es también poco frecuente e indicaría que el tráfico es completamente uniforme durante la hora punta.
- Población: Entre dos intersecciones de idéntico trazado y regulación tiene más capacidad aquella que está situada en una ciudad más importante. El conductor de la gran ciudad tiene más experiencia en situaciones de congestión. El factor de población es muy difícil de valorar, ya que sobre todo la población influye en el factor de hora punta, pero, además, también influye la situación de la intersección ubicándose en zona centro, zona intermedia, centros satélites o zonas residenciales.

2.5.2. Nivel de servicio

Los niveles de servicio establecidos por el HCM1 son una clasificación cuantitativa de las medidas y parámetros de circulación que caracterizan la calidad de servicio. Se establece 6 niveles de servicio desde A hasta F, siendo A el de mejores condiciones de circulación y F el de peores.

A la hora de analizar uno u otro parámetro, la elección se basa en función de la infraestructura que se va a estudiar, siendo el principal parámetro de servicio la densidad equivalente para autovías y vías multicarril, la velocidad y el porcentaje de tiempo siguiendo a otro vehículo para carreteras de dos carriles de doble sentido, la velocidad para los tramos de vía en zonas urbanas y la demora en las intersecciones.

Aunque los programas informáticos basados en metodologías del HCM puedan arrojar resultados precisos en numerosas ocasiones, existen motivos principales de incertidumbre que influirán en los valores de los parámetros de servicio:



- El comportamiento de los conductores puede variar, por esta razón, los modelos de circulación predecirán valores medios de ciertos parámetros, siendo su valor real superior o inferior.
- Un modelo de tráfico puede depender de los resultados de otros modelos, los cuales tendrán a su vez sus propios grados de incertidumbre asociados.
- Algunos datos iniciales son tomados como valores fijos cuando realmente están sufriendo variaciones a largo, medio y corto plazo.
- Algunos modelos del HCM predicen la percepción que tendrán los usuarios respecto de algún aspecto del funcionamiento. Dos viajeros pueden percibir de manera diferente idénticas experiencias vividas.

2.5.2.1. Nivel de servicio en circulación interrumpida

Dado al elevado número de intersecciones del área de estudio, es necesario especificar más sobre los parámetros con mayor influencia en la ordenación de los niveles de servicio en vías de circulación discontinua, en los que destacamos:

- Demora por regulación: como ya se ha definido anteriormente, es el retraso debido a los elementos de regulación del tráfico y engloba las demoras relacionadas con la reducción de velocidad y la aceleración generadas por la llegada y la salida de una intersección, el tiempo de parada en la línea de detención de la misma y el tiempo gastado en avanzar dentro de la cola de vehículos.
- Porcentaje sobre la velocidad libre básica: a pesar del deseo de los conductores de llevar una velocidad igual o próxima a la máxima, a medida que se incrementa la demora por regulación y las interacciones entre los diferentes usuarios, la velocidad disminuye y, en consecuencia, el nivel de servicio empeora.
- Número de detenciones: es la frecuencia con que un vehículo sufre una interrupción en la circulación a causa de un elemento de regulación o de la presencia de una intersección.
- Longitud de cola: esencial a la hora de diseñar, no solo por las consecuencias de la cola en la vía proyectada, sino también en las adyacentes, refleja la distancia a la que se situará el último elemento de una cola de vehículos originada por un elemento regulador o un incidente en alguno de los carriles.

2.5.2.2. Nivel de servicio en intersecciones con semáforos

En 1965 se publica la segunda edición del HCM, surgiendo la determinación del nivel de servicio de una intersección regulada por semáforos o de uno de sus accesos mediante un nuevo parámetro denominado 'índice de servicio' la cual se define como «el resultado de dividir el número de intervalos verdes que tienen lugar durante el mismo período». Se dice que un ciclo está congestionado cuando siempre hay vehículos dispuestos a entrar en la intersección por todos los carriles cuando al encenderse la luz verde. Por norma general este valor es similar en el resto del mundo, aunque no tiene por qué ser igual para todos los accesos.

En función del valor del índice de congestión, el nivel de servicio será:

Tabla 1. Niveles de servicio para intersecciones reguladas por semáforos (HCM 1965).

Nivel de servicio	Índice de servicio	Observaciones
A	$I_s = 0,0$	Espera menor o igual a un ciclo, no se emplea el tiempo verde completo. Movimientos realizados con facilidad.
B	$0 < I_s < 0,1$	Libertad de movimientos ligeramente menor. Nivel de referencia en zonas rurales.
C	$0,1 < I_s < 0,3$	Congestiones intermitentes con colas tras vehículos pendientes de realizar giros. Nivel aceptable en zonas urbanas.

Nivel de servicio	Índice de servicio	Observaciones
D	$0.3 < IS \leq 0.7$	Colas frecuentes y de mayor longitud existiendo ciclos sin congestión. El valor a partir del cual se considera un funcionamiento malo = 0.4
E	$0.7 < IS \leq 1.0$	Espera constante de vehículos a la entrada del cruce. Previo paso a la capacidad de la intersección.
F	$IS=1.0$	Congestión por colas iniciadas en un nudo cercano o por vehículos procedentes de calles transversales detenidos en mitad del cruce impidiendo el paso.

Con el paso del tiempo, el criterio de determinación del nivel de servicio en una intersección regulada por semáforos se ha ido modificando debido a la evolución de la ingeniería del tráfico y sus características. Por lo que, tras la publicación del Manual de Capacidad de 2010, se toma como factor diferenciador para la elaboración de la clasificación la demora media de parada por vehículo:

Tabla 2. Niveles de servicio para intersecciones reguladas por semáforos (HCM 2010).

Nivel de servicio	Índice de servicio	Observaciones
A	$t \leq 5.0$	Asociado a longitudes de ciclo cortas. Los vehículos llegan, en su mayoría, a la intersección en la fase verde.
B	$5.0 < t \leq 15.0$	Aun teniendo tiempo superiores al nivel anterior, se puede alcanzar una buena progresión con ciclos cortos o con una comunicación de ambos.
C	$15.0 < t \leq 25.0$	El número de vehículos que atraviesan el cruce deteniéndose es significativo, comienza a producirse la falta de capacidad de ciertos ciclos.
D	$25.0 < t \leq 40.0$	Mayor falta de capacidad en algunos ciclos, congestión más apreciable. El porcentaje de vehículos que necesitan detenerse aumenta.
E	$40.0 < t \leq 60.0$	Nivel límite de demora aceptable, al que se le asocian las altas relaciones intensidad/capacidad y un avance lento de vehículos.
F	$t < 60.0$	Sobresaturación, la capacidad del nudo es sobrepasada por las elevadas intensidades de llegada. Tiempos de demora inaceptables.

2.6. Caracterización de la demanda de tráfico

Existen dos formas de caracterizar la demanda de tráfico: a través de matrices origen-destino (O/D) o mediante estados de tráfico. La elección de uno u otro método dependerá de los datos de partida disponibles.

- Matices origen-destino: la representación de la demanda de tráfico mediante matrices O/D es posible cuando se conoce el volumen de vehículos que, partiendo de cada origen, alcanza cada destino, pues en esta relación se basa su funcionamiento. A nivel software, los puntos origen y destino se denominan 'centroides' y, bien sea mediante su importación desde una hoja de cálculo, su incorporación manual o como resultado de la modificación de otra matriz existente, será necesario definir matrices O/D para cada tipo de vehículo y para cada intervalo de tiempo en que se hayan recogido los datos.



Figura 2. Ejemplo de matriz origen-destino. Fuente: Aimsun.

	Aldrans	Amras	Andech	Arlz	Center	E45 Italy	E60 Salz	E60 Swiss	Factories	Malls	Pradl-E
Aldrans		5	5	5	10	40	50	50	10	10	5
Amras	5		10	20	30	50	50	50	10	5	2
Andech	20	25		20	20	50	50	50	50	20	10
Arlz	5	10	20		30	80	30	40		5	5
Center	10	20	30	50		25	100	40	30	25	10
E45 Italy	40	20	50	50	5		1300	20	150	50	5
E60 Salz	40	40	50	50	50	1500		1800	100	45	10
E60 Swiss	40	30	50	50	30		1200		150	55	10
Factories	5	5	20		20	100	100	100		30	
Malls			5	5	5	20	50	40			
Pradl-E		10	20	10	30	40	40	40	20	10	

- Estados de tráfico: en aquellos casos en que la calidad o la cantidad de los datos disponibles es insuficiente o que los aforos realizados no aportan la información necesaria acerca del destino final de cada vehículo, debe recurrirse al empleo de estados de tráfico. Para ello, se define el flujo de vehículos que acceden a la red por cada una de las secciones de entrada y el porcentaje que se desvía en cada cruce. Al igual que sucede con las matrices O/D, debe repetirse el proceso para cada tipo de vehículo y cada intervalo de tiempo determinados.

2.7. Movilidad urbana

La movilidad urbana es el conjunto de desplazamientos en transporte público o privado, tanto de personas como de mercancías, que se producen en una ciudad.

2.7.1. Tipos de movilidad urbana

Los movimientos que se realizan en las ciudades pueden ser motorizados (moto, coche, furgoneta, transporte público, etc.) o no motorizados (peatonal, bicicleta, patinete, patines, etc.), y suelen componer un entramado complejo.

Los modos de transporte más comunes son:

- Peatonal: se utiliza principalmente para trayectos cortos y su popularidad está condicionada por el tamaño de la ciudad. En las últimas décadas, este modo de transporte se ha visto cada vez más desplazado por la pérdida de espacio público en favor de las infraestructuras y la circulación vehicular, pero en los últimos años hay un regreso a la peatonalización urbana por razones ambientales y de calidad de vida.
- Vehículo privado: desde su aparición el coche ha sido un símbolo de autonomía y comodidad, pero con el tiempo se ha ido convirtiendo en uno de los principales contaminantes sonoros, atmosféricos y de los problemas de circulación urbana.
- El transporte colectivo: puede ser público o privado y su posibilidad de implementación depende de las características de la ciudad. Generalmente, son tres:
 - Autobús: es el modo de transporte de menor capacidad y velocidad. Suele usarse para trayectos cortos o como conexión a otros medios de transporte.
 - Metro: se considera como el más eficiente porque no ocupa superficie terrestre (generalmente es subterráneo), puede transportar a gran cantidad de gente a la vez, no

depende del volumen de tráfico de otros medios de transporte ni se ve afectado por las condiciones atmosféricas.

- Ferrocarril: su desarrollo se debe a los fuertes procesos de suburbanización en las periferias metropolitanas.

2.7.2. Planes de movilidad

Los planes de movilidad urbana pretenden fomentar un transporte más sostenible, seguro, competitivo y universal. Se han desarrollado para responder a las necesidades de desplazamiento en las grandes ciudades y sus principales retos son la contaminación medioambiental y la optimización del tiempo que la ciudadanía en sus desplazamientos diarios.

Para conseguir una movilidad más sostenible, estos planes se centran en la protección del medio ambiente y la calidad de vida. Las plataformas de gestión de tráfico, las aplicaciones de movilidad, la introducción de nuevos vehículos inteligentes y sostenibles (eléctricos, híbridos, autónomos, etc.) son algunos de los medios de una ciudad inteligente para elaborar un plan de movilidad urbana eficiente.

Este plan sostenible generalmente se desarrolla en cuatro fases diferenciadas:

- Diagnóstico de la situación actual
- Establecimiento de los objetivos
- Diseño de medidas orientadas al cumplimiento de los objetivos
- Establecimiento de los indicadores para el seguimiento de las medidas

Algunas de las medidas para mejorar la movilidad urbana son:

- Desincentivar el transporte privado
- Potenciar el transporte público
- Gestionar el tráfico de manera eficaz
- Potenciar de modos alternativos de transporte

Otras medidas pueden centrarse en el ahorro energético promoviendo mejoras en los vehículos de transporte colectivo y privado o la conducción eficiente.

2.8. Fundamentos de la simulación de tráfico

Para la ingeniería del tráfico y transporte los distintos tipos de simulaciones son clave para garantizar la rentabilidad y la sostenibilidad de los modelos de movilidad propuestos. Las microsimulaciones y macrosimulaciones son algunas de las herramientas de análisis que nos permiten conocer, entender y tomar decisiones respecto a sistemas de alta complejidad.

La simulación de la movilidad parte de la necesidad de entender los procesos que ocurren para pronosticar comportamientos y situaciones, permitiendo una adecuada gestión del tráfico en un futuro.

Para ejecutar una simulación es necesario un modelo base, es decir, una representación del ámbito de estudio creada para observar el funcionamiento del lugar y cuyo objetivo es resolver todas sus carencias. El equipo de simulación se encargará de modificar el modelo base para generar diferentes modelos de movilidad y representarlos gráficamente.

En los modelos de movilidad, estas alternativas se ejecutan en diferentes escenarios desarrollándose una simulación para cada uno de ellos con el fin de analizar el funcionamiento del tráfico y el transporte representados.

Un modelo de tráfico se compone de varios parámetros cuyo objetivo es simular el comportamiento de los vehículos y de los peatones. Los resultados dependen de la propia estructura del modelo (sistema viario, cruces semafóricos...) y del comportamiento de dichos vehículos y peatones.

Para analizar distintas opciones de control, soluciones constructivas o situaciones particulares es esencial que el comportamiento de los vehículos sea coherente y se ajuste a la realidad.

Para que un modelo sea válido nos debe permitir realizar un análisis de la situación actual y de la futura correcto en nuestros estudios. Para que esto ocurra, los parámetros de comportamiento deben tener el valor adecuado para que los resultados de la simulación sean realistas.

El ajuste de los parámetros para que un modelo represente el sistema correctamente es el proceso de calibración y validación que se lleva a cabo en cada estudio. Generalmente, estos parámetros se calibran manualmente con el método de error y aproximación. Normalmente a la hora de calibrar los modelos de tráfico se dispone de medidas reales de las velocidades, flujos y densidades que deberán ser optimizados para lograr la máxima validez.

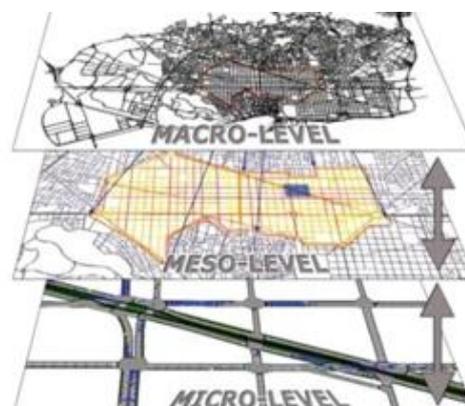
2.8.1. Tipos de modelos de simulación

La existencia de modelos matemáticos capaces de describir el fenómeno del flujo vehicular es un requisito básico para la aplicación de la teoría de control. Hay diferentes enfoques para la simulación de tráfico que se pueden separar en tres grandes ramas, de menor a mayor definición, dependiendo del grado de detalle con el que sea preciso recrear la red viaria objeto de estudio. Dichas ramas son las que se describen a continuación:

- **Modelos macroscópicos:** su uso se limita al análisis de grandes áreas, considerando el tráfico una corriente de materia y centrándose en la relación entre las tres variables fundamentales: velocidad, densidad e intensidad. A pesar de arrojar resultados menos precisos, su menor coste computacional en comparación con las otras tipologías los hace idóneos para dichos ámbitos.
- **Modelos mesoscópicos:** a medio camino entre los modelos macroscópicos y los microscópicos, a pesar de considerar el comportamiento de cada vehículo por separado, permiten únicamente actualizar sus datos en determinados eventos.
- **Modelos microscópicos:** su nivel de definición es mucho mayor. Se simula el movimiento de cada vehículo individual que accede al modelo y su interacción con la red viaria y con las restantes unidades simuladas. En esta ocasión, el valor de las variables fundamentales no se obtiene únicamente en términos medios, sino para cada vehículo independientemente y, finalmente, de manera global por agregación. Este tipo de modelos es idóneo para realizar estudios con un elevado nivel de detalle.

Por último, destaca la existencia de modelos híbridos que emplean de manera simultánea dos tipologías distintas de modelos: partiendo de un modelo macroscópico como base, se recurre a un modelo microscópico para aquellas zonas que requieren un estudio en mayor profundidad.

Figura 3. Modelos de simulación según el nivel de detalle. Fuente: Aimsun



2.8.2. Modelos macroscópicos

El modelo macroscópico sirve planificar, diseñar, controlar y gestionar el tráfico basándose en la dinámica de fluidos computacional y manejando cada vehículo de la misma manera, como si fuera un grupo, ignorando que los vehículos tienen un comportamiento individual.

El principal uso del modelo macroscópico es predecir las características de viaje y el uso de los servicios de transporte (una nueva línea de autobús) o la política de gestión (esquema de precios de congestión) en escenarios socioeconómicos alternativos, y predecir servicios de transporte alternativos y configuraciones de uso del suelo. Los resultados del modelo macroscópico pueden ayudar a pronosticar la respuesta de ciertos cambios del sistema de transporte en las elecciones de los pasajeros sobre el modo de viaje y la ruta.

Uno de los primeros modelos macroscópicos es conocido como Lighthill-Whitham-Richards (LWR) desarrollado en 1995 para representar fenómenos de tráfico como “traffic shock waves”, evacuación de tráfico en medida matemática. Hoy en día, el modelo macro se desarrolla para analizar la demanda de tráfico de dos maneras:

- Basado en los viajes
- Basado en las actividades

La manera basada en los viajes se conoce por el 4-etapas que trata cada viaje como la unidad de análisis. Mientras que la basada en las actividades trata los viajes como una demanda derivada y se utiliza principalmente para analizar estrategias urbanas “Transport Demand Management Measures” (gestión de la demanda de viajes) en relación con la programación de viajes.

Los modelos de simulación macroscópicos necesitan unos inputs para generar unos outputs. Hay que tener en cuenta que este tipo de modelos utilizan variables agregadas en lugar de información desagregada.

2.8.2.1. Inputs

La red de carreteras es el input principal la cual se puede importar automáticamente desde otras fuentes como el Openstreet Map. Los modeladores tienen que corregir la red en función de la situación real, incluyendo la geometría, la capacidad, la velocidad de flujo libre, el número de carriles, etc. Todo tipo de carreteras debe tener definidos la función volumen-demora y los modos de transporte permitidos. Para simular el sistema de transporte público también se necesita la información de las líneas de autobuses, los recorridos y los horarios.

Las matrices Origen-Destino (OD) hacen referencia al número de viajes entre cada zona de origen y de destino que, dependiendo del propósito del análisis, se deben proporcionar o estimar matrices específicas por tipo de vehículo, por propósito de viaje, por rango de tiempo o tipo de actividad. La mayoría de los softwares existentes permiten ajustar o calibrar matrices OD basadas en datos de tráfico reales que ayuda al modelador a conseguir datos más precisos.

El objetivo de las matrices OD es estimar la frecuencia de viajes que suceden entre distintas zonas y permite conocer los principales polos generadores de viajes dentro del área de estudio. Por ello, es importante el muestreo y la toma de datos representativos de la realidad. Los modelos se pueden simplificar limitando el número de variables y datos a considerar.

Los datos de tráfico reales se pueden obtener mediante la base de datos de los organismos de tráfico competentes o se pueden recopilar por los mismos modeladores, los cuales son datos críticos para ayudar a la calibración y validación del modelo.

2.8.2.2. Modelo de simulación macroscópica

Los pasos que deben realizar los modeladores para poder simular el tráfico incluyen la zonificación del área estudiada, la configuración de parámetros relevantes, la calibración de coeficientes basados en datos reales y, finalmente, la validación del modelo según las variables elegidas.



- **Verificación:** El proceso de verificación consiste en revisar los elementos incorporados durante la fase de edición, desde la geometría de la red, con la existencia de posibles fallos en la forma de los giros, hasta la correspondencia de los flujos de vehículos introducidos con los reflejados en los datos de partida. Se puede afirmar, por tanto, que a través de la verificación se corrigen los errores ocasionados por el usuario.
- **Calibración:** La calibración trata de variar ligeramente los parámetros del proyecto referentes a la vía, los vehículos y su comportamiento, el modelo en su conjunto, etc. para que, una vez más, se refleje la realidad con la mayor fidelidad posible. En este caso, la calibración pretende reajustar el funcionamiento del software corrigiendo aquellas desviaciones que se puedan estar produciendo durante la simulación.
- **Validación:** La validación del modelo es la comprobación de la correspondencia de los resultados arrojados por la simulación con los datos reales disponibles, disponiendo detectores en aquellos puntos de la red en que se pretenda cotejar los valores. Para ello, será necesario introducir en el modelo el 'Conjunto de Datos Reales' con que realizar la comparación mediante su importación.

A continuación, se hace referencia a una serie de normativas existentes en el mundo empleadas en la verificación de la calibración de un modelo con la suficiente precisión para reproducir las condiciones reales de tráfico.

España

Según la Nota de Servicio 5/2014 sobre 'Prescripciones y recomendaciones técnicas para la realización de estudios de tráfico de los Estudios Informáticos, Anteproyectos y Proyectos de carreteras', Ministerio de Fomento en su apartado de modelización del tráfico, los criterios que se han de tener en cuenta para la calibración del modelo se representan a continuación:

- El valor de la pendiente de la recta de regresión obtenida será cercano a 1.
- El valor de intercepción de ésta con el eje Y será cercano a 0.
- El coeficiente de Correlación R^2 debe ser mayor que 0,7.

$$R = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}}$$

Donde,

X: valor del dato real observado

Y: dato asignado por el software de simulación de tráfico para cada uno de los puntos de estudio

- El estadístico GEH, siguiendo las recomendaciones de la FHWA se debe cumplir que al menos un 85% de los arcos debe tener un GEH <5 por arco individual, o bien que para la suma sobre flujos de arco el GEH debe ser menor que 4.

$$GEH = \sqrt{\frac{(q_{obs} - q_{sim})^2}{0,5(q_{obs} + q_{sim})}}$$

Donde,

q_{obs} : tráfico observado en el periodo considerado

q_{sim} : tráfico simulado en el periodo considerado

- El Indicador %RMSE (Percentage Mean Square Error) debe ser inferior al 30%.

$$\%RMSE = 100 \sqrt{\frac{\frac{\sum(E_i - O_i)^2}{N-1}}{\frac{\sum O_i^2}{N}}}$$

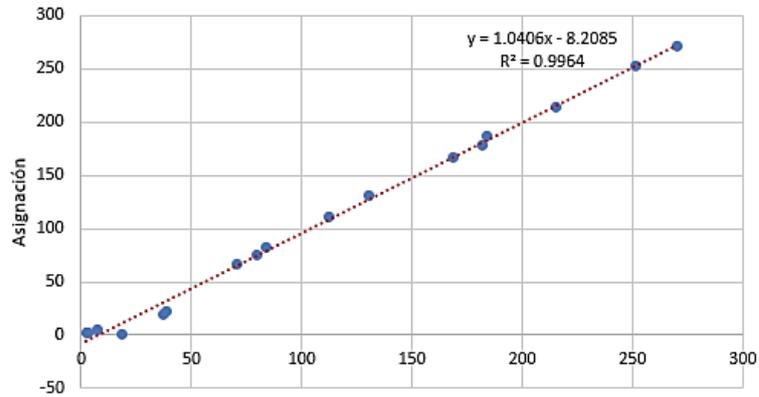
Donde:

Ei: Valor estimado por el modelo

Oi: Valor estimado por los aforos

Ei: Número de observaciones

Figura 4. Resultados de la validación. Fuente: elaboración propia

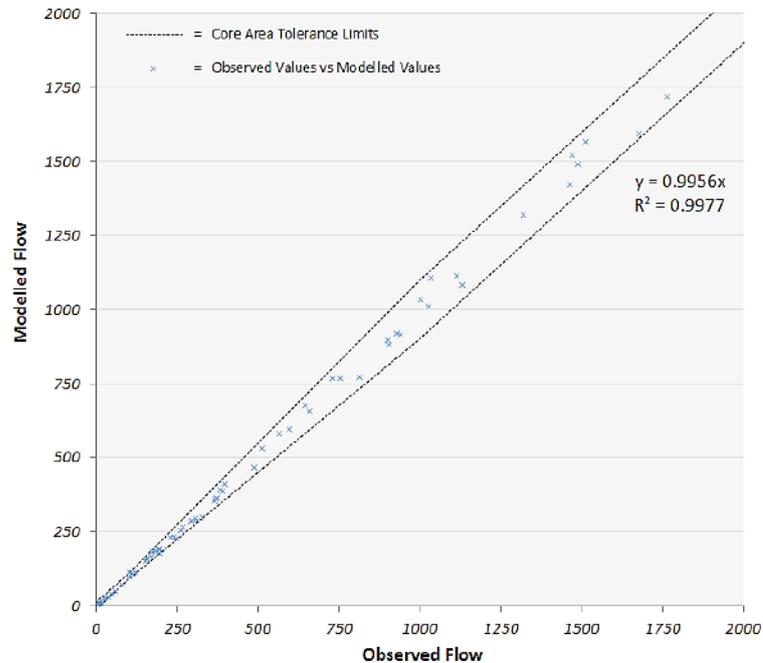


Australia

“Traffic Modelling Guidelines”, Transport Roads&Maritime Services, Nueva Gales del Sur. Es la normativa con mayor grado de desarrollo en el mundo sobre la validación de modelos de simulación. Se observa el flujo (veh/h), realizando la validación a través de la recta de regresión de datos modelados frente a datos reales.

$$GEH = \sqrt{\frac{(V_o - V_m)^2}{0.5(V_o + V_m)}}$$

Donde Vo es el flujo observado en vehículos por hora y Vm es el flujo modelado en vehículos por hora.



- GEH < 5
- R2 > 0.9
- Intercepción eje Y ≈ 0

Inglaterra

“Traffic Modelling Guidelines, TfL Traffic Manager and Network Performance Best Practice”, Transport of London, Mayor of London.

- GEH < 4 para todas o casi todas las líneas de la pantalla
- GEH < 5 para al menos el 85% de los flujos conectados
- GEH < 5 para al menos el 75% de los flujos de giro

Nueva Zelanda

“Transport Model Development Guidelines”, Transport Agency, new Zealand Government.

- Se emplean modelos mesoscópicos e híbridos.

2.8.2.3. Outputs

Uno de los principales resultados del modelo macroscópico es el número de vehículos por tiempo definido (intensidad de tráfico) o por distancia (densidad), que describen las propiedades del tráfico real y revela las leyes básicas del flujo de tráfico. También se puede obtener la velocidad de viaje promedio y el tiempo de viaje de cada sección de carretera.

Otro output son las matrices OD que hacen referencia a los tiempos de viaje, velocidad o distancia de cada zona origen y destino que se pueden calcular como resultados y sirven para construir el modelo de elección, tal como ocurre con los inputs.

Además, los resultados del modelo macroscópico también se pueden usar para derivar otros indicadores como la probabilidad de accidentes automovilísticos, el índice de contaminación ambiental, etc.

El modelo de simulación de tráfico se emplea para analizar el impacto de ciertos servicios de transporte o infraestructura. Habitualmente, se construyen varios escenarios que involucran diferentes inputs del modelo y compara los outputs entre los diferentes escenarios.

Estos escenarios pueden ser:

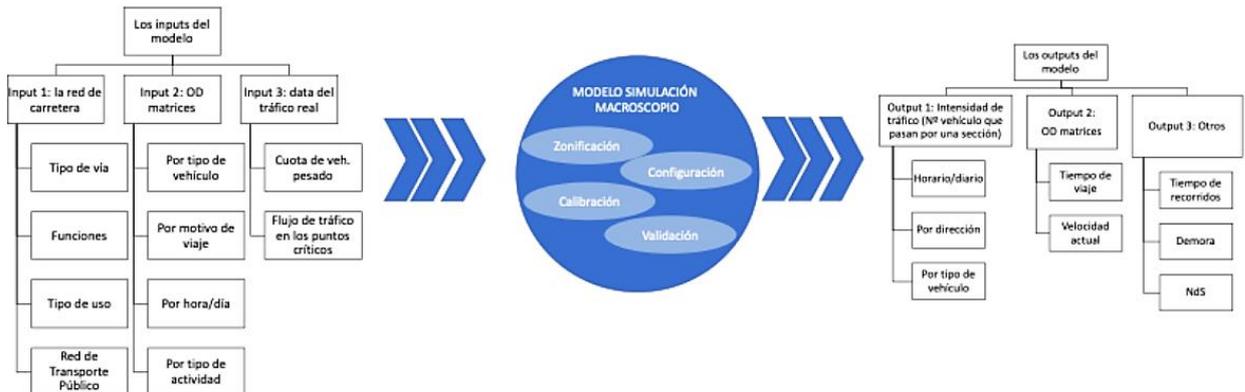
- **Escenario base:** representa la situación del año actual cuyos inputs aportados son del año actual.
- **Escenario de referencia:** representa el año futuro sin intervención de nuevos elementos como nuevo viario, nuevos desarrollos, etc. En este escenario solo se considera el crecimiento natural de los años para la demanda. El área de estudio puede ser de dos tipos: consolidada o no consolidada. Una zona consolidada no requiere de transformación urbanística y se supone que no aumentará con el paso de los años. Una zona no consolidada precisa de la transformación urbanística, por lo que se considera que el tráfico aumentará con el paso de los años.
- **Escenario modificado:** hace referencia al año futuro con intervenciones específicas, considerando el crecimiento natural y las consecuencias de la implementación de las modificaciones planteadas.

El modelo macroscópico tiene ciertas limitaciones, el modelo basado en viajes generalmente no modela los viajes en cada hora del día sino simula el tráfico en un tiempo definido como una hora punta. La programación de viajes generalmente no se considera o se ignora, resulta en una relación de los atributos de viajes múltiples. La resultante limitación de la medida basado en el viaje es la inadecuación de los comportamientos.

La simulación macroscópica ignora muchos detalles existentes en la realidad, en la que existen muchos tipos de vehículos conducidos por personas diferentes con su propio comportamiento. Sin embargo, el modelo macro es rápido y preciso y es el único que proporciona información integral para ayudar a la planificación de la toma de decisiones.

En la siguiente imagen se muestra un esquema de los componentes de un modelo macroscópico.

Figura 5. Componentes de un modelo macroscópico. Fuente: Vectio



2.8.3. Modelos microscópicos

Los modelos microscópicos tratan de representar con gran nivel de detalle el comportamiento de los vehículos que circulan a través del viario. Para ello, es necesario describir exhaustivamente el entorno que se pretende simular y el modo de comportamiento de los vehículos en las distintas situaciones. Este tipo de modelos, a diferencia de los demás, permite incorporar planes de control semafórico aportando una herramienta más con la que poder trabajar.

Los modelos de simulación microscópica de tráfico urbano se basan en la combinación de modelos de simulación de tiempo discreto y modelos de eventos. Estos modelos pueden tener distinta naturaleza en función de las necesidades de aquello que se pretenda simular.

- **Modelo de tiempo discreto:** Se aplican para la caracterización del comportamiento de los conductores. El tiempo total de simulación se descompone en pequeños intervalos de tiempo en los que los conductores deciden qué acciones efectuar en función de la situación con la que se encuentren.
- **Modelos de eventos:** Son empleados para determinar el efecto que ejercen los semáforos, obstáculos y otros sucesos puntuales sobre los conductores que transitan por el viario.

Los modelos estocásticos se aplican a todas aquellas situaciones en las que existe cierta aleatoriedad en los sucesos. Son utilizados en la generación de nuevos vehículos y en todo aquello que tenga cierta probabilidad de producirse.

El proceder de los vehículos en los modelos microscópicos se basa fundamentalmente en una serie de modelos de comportamiento: modelo de seguimiento de vehículos (car following model), modelo de cambio de carril (lane changing model) y modelo de aceptación de hueco (gap acceptance model). Del mismo modo, el acceso de cada uno de dichos vehículos se rige por diferentes modelos de llegada que definirán la cantidad y el instante de entrada de los mismos al modelo.

2.8.3.1. Modelo de llegadas

Los datos de demanda de tráfico contenidos en las matrices origen-destino O/D o en los estados de tráfico, según la opción elegida, son gestionados por un modelo de llegadas que determine la distribución de las llegadas de los vehículos y el momento exacto de acceso de cada uno de ellos a la red viaria. A pesar de la existencia de numerosos modelos para tal fin basados en diversas distribuciones (exponencial, uniforme, normal, constante, etc.) la tipología escogida para este proyecto es el modelo de llegadas exponencial al ser uno de los modelos más comúnmente empleados.

En el modelo exponencial, el tiempo t transcurrido entre dos llegadas consecutivas de vehículos en una sección de entrada a la red se determina mediante una distribución exponencial donde el parámetro λ representa el flujo de entrada medio (veh/s), siendo $1/\lambda$ el tiempo medio de intervalo (s). Tras definirse el valor de λ , dicho tiempo t para cada llegada, se halla mediante la siguiente expresión:



$$t = \left(\frac{-1}{\lambda}\right) \cdot \ln u$$

siendo u un parámetro aleatorio de valor comprendido en el intervalo (0,1).

Una vez se ha deducido el tiempo t , es preciso comprobar también la existencia de espacio físico suficiente, con respecto al vehículo precedente, para poder incorporarse a la red. Las variables involucradas en el cálculo se agrupan en tres categorías diferentes en función de la entidad a la que afectan, distinguiéndose así:

- Parámetros de la sección de entrada:
 - Velocidad máxima permitida en la sección (Slímite).
- Parámetros del vehículo precedente o líder:
 - Posición actual ($X_{líder}$).
 - Velocidad actual ($V_{líder}$).
 - Desaceleración normal del vehículo ($d_{normal, líder}$).
 - Longitud del vehículo ($L_{líder}$).
- Parámetros del vehículo entrante o seguidor:
 - Valor medio de la velocidad media máxima ($V_{máx}$).
 - Velocidad medio de aceptación del límite de velocidad (Θ).
 - Valor medio de desaceleración máxima ($d_{normal, seguidor}$).
 - Velocidad máxima deseada en la sección de entrada ($V_{deseada, seguidor}$), definida como el mínimo de dos valores: la velocidad máxima admitida en la sección multiplicada por el valor medio de aceptación del límite; la velocidad media máxima.

El espacio disponible para el acceso $L_{disponible}$ se determina mediante la expresión:

$$L_{disponible} = X_{líder} + D_{frenado, líder} - L_{líder} - D_{seguridad}$$

siendo $D_{frenado, líder}$ la distancia de frenado del líder, definida como la distancia requerida para su detención mediante la aplicación de la desaceleración normal máxima.

$$D_{frenado, líder} = \frac{V_{líder}^2}{-2 \cdot d_{normal, líder}}$$

Se puede afirmar, por tanto, que el espacio disponible resulta del sumatorio de la posición del vehículo líder más su distancia de frenado menos la longitud del vehículo líder y una distancia de seguridad mínima entre ambos vehículos:

Se puede afirmar, por tanto, que el espacio disponible resulta del sumatorio de la posición del vehículo líder más su distancia de frenado menos la longitud del vehículo líder y una distancia de seguridad mínima.

Finalmente, para la posterior comparación de ambos parámetros, es preciso determinar el espacio necesario $L_{necesario}$ para el acceso del vehículo, entendido como la distancia de frenado requerida por éste:

$$L_{necesaria} = D_{frenado, seguidor} = \frac{V_{deseada, seguidor}^2}{-2 \cdot d_{normal, seguidor}}$$

Si el valor obtenido para el espacio disponible es mayor que el espacio necesario, el vehículo podrá acceder a la red, apareciendo una nueva variable nombrada d en referencia a la distancia restante entre el espacio disponible y el necesario. Por el contrario, si éste es inferior, el vehículo deberá mantenerse a la espera de que se cumpla la condición establecida en una cola virtual, definida como una lista de vehículos tipo de la que se toma el primer elemento y se genera el vehículo en el momento del ingreso.

Por otra parte, en aquellos casos en los que sí existe suficiente espacio disponible y, como consecuencia, el vehículo se dispone a acceder a la red, es necesario calcular el instante y la posición de entrada.

La variable temporal t_{real} se determina cómo el máximo de dos términos:

$$t_{real} = \max(t_e, (t + T) - t_d)$$

donde: t_e es el tiempo teórico de entrada a la red.

t es el tiempo de simulación.

T es el paso de simulación.

t_d es el tiempo necesario para recorrer la distancia d

$$t_d = \frac{L_{disponible} - L_{necesario}}{V_{deseada}}$$

Por último, una vez se tiene el valor del tiempo t_{real} de entrada del vehículo en la red, se establece la posición en la que lo hace de acuerdo a la expresión:

$$X_{entrada} = V_{deseada} \cdot ((t + T) + t_{real})$$

2.8.3.2. Modelo de seguimiento de vehículos (CAR FOLLOWING)

Empleado para analizar la influencia ejercida por un determinado vehículo sobre el que le sigue, el modelo de seguimiento de vehículos implementado en el software de microsimulación se basa en el modelo de Gipps de 1981 y 1986 y permite conocer la velocidad de cada vehículo en el instante de tiempo ' $t + T$ ' a partir de una serie de parámetros recogidos en el instante de tiempo t : geometría de la vía, influencia de los vehículos en carriles adyacentes, límite de velocidad de la vía, etc.

El modelo proporciona un par de valores de la velocidad diferentes, asociado cada uno de ellos a una situación de tráfico experimentada por vehículo ' n ' analizado:

- El vehículo precedente se encuentra a una distancia suficiente como para que el vehículo objeto de estudio pueda acelerar tratando de alcanzar la velocidad deseada. En este contexto se determina la velocidad V_a .

$$V_a(n, t + T) = V(n, t) + 2,5 \cdot a \cdot T \cdot \left(1 - \frac{V(n, t)}{V_{deseada}(n)}\right) \cdot \sqrt{0,025 + \frac{V(n, t)}{V_{deseada}(n)}}$$

donde:

$V_a(n, t+T)$ es la velocidad del vehículo n en el instante temporal $(t+T)$.

$V(n)$ es la velocidad del vehículo n .

$a(n)$ es la aceleración máxima para el vehículo n .

T es el tiempo de reacción.

- La distancia limitada con el vehículo precedente condiciona la circulación del vehículo analizado, viéndose en la obligación de decelerar, denominándose la velocidad obtenida V_d .

$$V_d(n, t + T) = d(n) \cdot T + \sqrt{d(n)^2 \cdot T^2 - \left[2 \cdot (x(n-1, t) - s(n-1) - x(n, t)) - V(n, t) \cdot T - \frac{V(n-1, t)^2}{d'(n-1)}\right]}$$

donde:

$d(n)$ es la desaceleración normal del vehículo n .

$x(n, t)$ es la posición del vehículo n en el instante t .

$x(n-1, t)$ es la posición del vehículo precedente en el instante t .

$s(n-1)$ es la longitud efectiva del vehículo precedente.

$d'(n-1)$ es la desaceleración normal del vehículo.

Finalmente, la velocidad del vehículo n en el instante $(t+T)$ es el valor mínimo de las dos opciones recientemente mencionadas:

$$V(n, t + T) = \min(Va(n, t + T), Vd(n, t + T))$$

Partiendo del valor obtenido mediante esta última ecuación, se actualiza la posición del vehículo n en el carril de acuerdo con la expresión:

$$x(n, t + T) = x(n, t) + V(n, t + T) \cdot T$$

Si bien, de manera previa a dicha actualización de la posición $x(n, t+T)$, el modelo tiene en cuenta el hueco mínimo entre el vehículo precedente y el seguidor como una restricción de la desaceleración.

Si

$$x(n-1, t + T) - [x(n, t) + (n, t + T) \cdot T] < ((n, t + T) \cdot Mí(n))$$

entonces

$$V(n, t + T) = \frac{x(n-1, t + T) - x(n, t)}{MínHW(n) + T}$$

donde:

$x(n, t)$ es la posición del vehículo n en el instante t .

$x(n-1, t)$ es la posición del vehículo precedente en el instante t .

$MínHW(n)$ es el hueco o avance mínimo del vehículo n con respecto a su seguidor.

2.8.3.3. Modelo de cambio de carril (LANE CHANGING)

Considerado también como un desarrollo del modelo de Gipps (1986), se basa en las decisiones tomadas por cada conductor en cada instante de tiempo acerca de la idoneidad de mantenerse en el carril por el que circula o cambiar hacia carriles que le permitan mejorar su velocidad, evitar obstáculos presentes en la vía o situarse de forma correcta ante un futuro giro. El cambio de carril se hará efectivo únicamente si el conductor responde afirmativamente a la cuestión '¿es deseable, posible y necesario el cambio de carril?'.

Figura 6. Esquema de situaciones posibles en el modelo de cambio de carril. Fuente: Aimsun

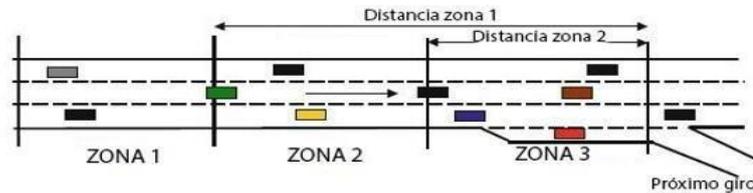


El modelo de cambio de carril requiere la definición de tres zonas (ver figura 2.4):

- Zona 1: es la más alejada de las tres del punto de giro, no viéndose influida la decisión de cambio de carril por éste, sino exclusivamente por aquellos parámetros que pueden optimizar el trayecto. Es por ello por lo que se valoran: la velocidad deseada, la velocidad y la distancia del vehículo precedente en los carriles actual y futuro.
- Zona 2: intervalo en el cuál empieza a influir la presencia del próximo giro. Los vehículos comienzan a posicionarse buscando hueco en los carriles oportunos, sin influir por ello en el comportamiento de los vehículos allí presentes.

- Zona 3: última franja antes del giro. Los vehículos que no han variado su posición en las zonas previas se ven obligados a reducir su velocidad e incluso pararse para hacerlo en ésta, afectando así tanto a los vehículos circulando por detrás como a los de los carriles adyacentes.

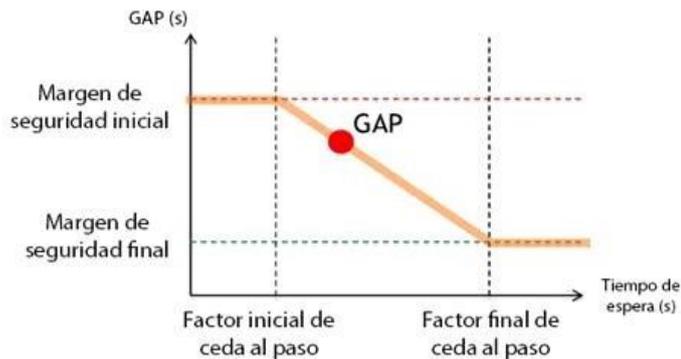
Figura 7. Zonas de cambio de carril. Fuente: Aimsun



2.8.3.4. Modelo de aceptación de huecos (GAP ACCEPTANCE)

El modelo de aceptación de hueco permite determinar si un vehículo que se aproxima a una intersección dispone del margen suficiente, con respecto a los vehículos más próximos, para acometer la maniobra, basándose para la resolución de la incógnita en la distancia que separa a cada uno de ellos del punto en el que se produciría una hipotética colisión, así como sus velocidades y sus tasas de aceleración. Se entiende, por tanto, el concepto de 'hueco' (Gap) como el tiempo y el espacio necesarios para integrarse un vehículo entre otros dos de manera segura, resultando fundamental conocer las dimensiones de dicho espacio mínimo.

Figura 8. Aceptación de hueco en función del tiempo de espera transcurrido. Fuente: Aimsun



Tras establecer los márgenes de seguridad inicial y final, es posible relacionar el hueco requerido por la maniobra y el tiempo de espera del vehículo en el acceso a la intersección o en el carril original de acuerdo con la función que se presenta en la figura anterior. Según ésta, el Gap inicial se mantiene constante durante un cierto período, dado que no se percibe de forma negativa el paso del tiempo. Una vez sobrepasada dicha frontera, el Gap disminuye a medida que aumenta el riesgo que está dispuesto a asumir el conductor. Finalmente, se alcanza una nueva fase en la que el Gap vuelve a tornarse invariable por alcanzarse el mínimo requerido por razones de seguridad.

Para exponer el funcionamiento del modelo, se recurre al caso de un vehículo VEHY que se aproxima a un ceda el paso, siendo necesario determinar la posibilidad de cruzar o no:

- Se determina cuál es el vehículo más próximo VEHP con prioridad sobre el inicial.
- Se define la ubicación del punto teórico de colisión TCP.
- Se calcula el tiempo t_1 que emplea el vehículo objeto de estudio VEHY en alcanzar el lugar de conflicto TCP desde su posición de partida y el tiempo t_2 que necesita para cruzarlo y dejar libre la intersección.
- Del mismo modo, pero para el vehículo prioritario, se calcula tanto el tiempo que requiere para llegar a dicho punto clave como el tiempo necesario para sobrepasarlo, obteniéndose así los valores de t_{1p} y t_{2p} , respectivamente.

Una vez definidas todas las variables, se pueden dar varias situaciones:

- Si t_{2y} (más el margen de seguridad) es menor que t_{1y} , el vehículo VEHY dispone de tiempo suficiente para cruzar la intersección.
- Si t_{2p} (más el margen de seguridad) es inferior que t_{1y} , vehículo prioritario VEHP ya habrá sobrepasado el punto de conflicto para cuando el vehículo de estudio VEHY lo alcance, de modo que será preciso buscar de nuevo el vehículo prioritario más próximo y repetir el proceso.
- En los restantes casos, el vehículo VEHY deberá ceder, desacelerando hasta incluso detenerse si fuese necesario.

2.8.3.5. Implementación del modelo de microsimulación

Con la utilización del software adecuado de modelado y simulación es posible comprobar el funcionamiento actual de una red viaria, predecir su comportamiento futuro y comprobar como de eficaces serían las posibles actuaciones acometidas en ésta. Un modelo de microsimulación consta de cuatro etapas que, con la combinación de este tipo de modelado junto con uno macroscópico, se pueden simplificar a tres etapas diferenciadas:

Figura 9. Fases del desarrollo de un modelo microscópico. Fuente: elaboración propia



Edición del modelo

El primer paso de la edición es definir la zona y el intervalo de tiempo de estudio. Una vez hecho esto, y tras importar la base cartográfica y la documentación gráfica que se considere pueda aportar información y facilitar el trabajo, se procede a modelar la geometría de una manera lo más fiel posible a la realidad. Finalmente, se modelan la demanda de tráfico, los planes de control semafórico y los planes de transporte público.

Delimitación espacial y temporal

La zona de estudio deberá adaptarse a los objetivos finales del proyecto. El perímetro definido no puede limitarse exclusivamente al espacio afectado directamente por las hipótesis planteadas, sino que deberá incorporar también aquellas áreas cuyo funcionamiento se vea igualmente perturbado, en mayor o menor medida, a consecuencia de las actuaciones previstas. De igual modo, dadas las características y limitaciones del software, la zona modelada será lo suficientemente amplia como para evitar la formación de colas virtuales que desvirtúen los resultados obtenidos posteriormente en las simulaciones.

El intervalo de tiempo a estudiar estará igualmente condicionado por las propiedades del proyecto, estableciéndose una duración acorde a su escala y a las variables concretas que se pretendan analizar.

Base cartográfica

De modo similar a otros programas informáticos de diseño, este tipo de software se sirve de un sistema de capas para la estructuración de los elementos, facilitando la operación y disminuyendo el coste computacional al activar unas u otras en función de lo requerido en cada instante. Uno de los niveles se reservará de manera exclusiva para la representación de la geometría propiamente dicha, mientras que en los restantes se incorporarán los diferentes elementos que puedan servir de apoyo, como sucede con la base cartográfica.

El software de simulación de modelos permite importar una cierta variedad de archivos, siendo los utilizados con más frecuencia los planos de AutoCAD o similares, los archivos de sistemas de información geográfica (GIS) y las imágenes 2D.

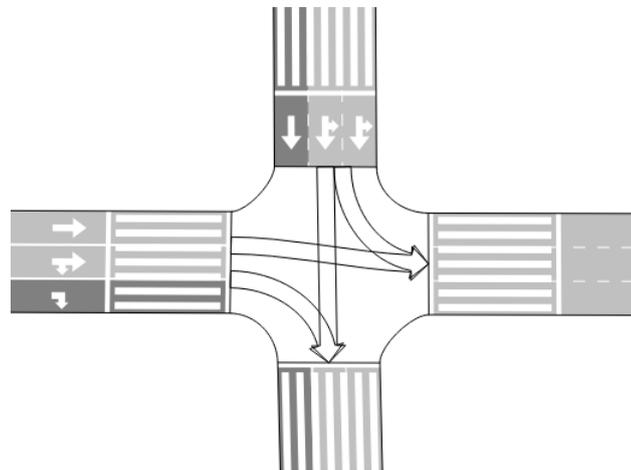
Modelado de la geometría

El modelado de la geometría, independientemente de lo compleja y amplia que sea la red, se basará en dos elementos básicos: las secciones y las intersecciones o 'nodos'.

Las secciones son la representación gráfica de cada uno de los tramos de vía que conforman la red. Su definición se realizará ubicando los vértices de sus extremos en la posición adecuada e incorporando vértices intermedios, rectos o curvos, de tal forma que se consiga el trazado deseado. Posteriormente, es posible modificar una serie de parámetros de las secciones que afectan al comportamiento de los vehículos, siendo los principales la velocidad de circulación de los vehículos y la capacidad de la vía. Esta operación podrá realizarse de manera individual para cada sección o de forma global, asignando a un conjunto de secciones un tipo de vía con valores prefijados para cada parámetro.

Figura 10. Representación de secciones e intersecciones en software de microsimulación.

Fuente: Elaboración propia



Las intersecciones, también denominadas 'nodos', suponen el punto de unión entre varias secciones como su propio nombre indica. En cada uno de los nudos viarios será preciso establecer los movimientos permitidos, los carriles de entrada y salida empleados para ello y la trayectoria de los vehículos durante los giros, tratando de plasmar su comportamiento en la realidad.

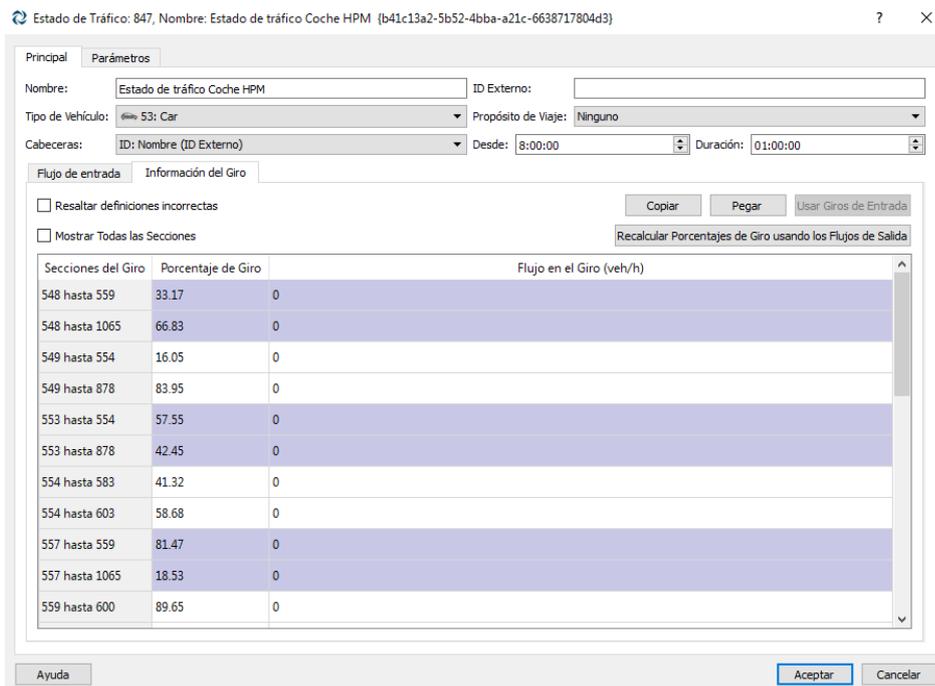
Una vez finalizada la representación, se establecen las prioridades fijas de paso en cada cruce por medio de señales de stop y ceda el paso, así como líneas de parada que determinen la posición límite de los vehículos.

Modelado de la demanda de tráfico

El propio software de modelado ya incorpora por defecto los distintos tipos de vehículos más frecuentes, con los parámetros fundamentales adaptados a cada uno de ellos: longitud, anchura, velocidad máxima deseada, etc. Dado que su determinación se basa en una distribución normal, con valores medios, máximos y mínimos y desviación para cada parámetro, dentro de cada tipología existen vehículos con características y comportamientos distintos. En caso de que se considere oportuno, todos estos factores pueden ser modificados por el usuario libremente e incluso es posible crear nuevos tipos de vehículos si los existentes no se adaptan a lo observado en campo.

Para la caracterización de la demanda de tráfico se recurre al empleo de estados de tráfico, dadas las características de los datos disponibles.

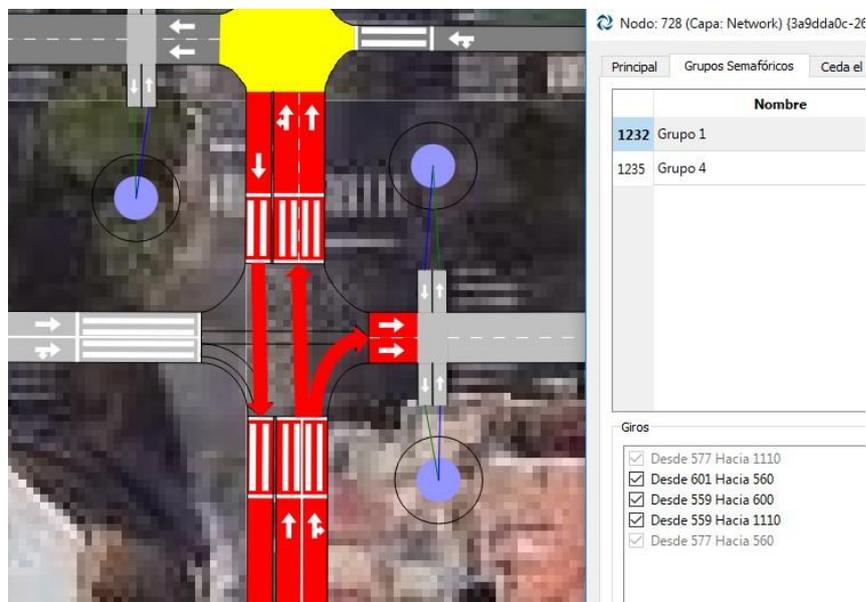
Figura 11. Porcentajes de giro determinados para un estado de tráfico. Fuente: Elaboración propia



Plan de control semafórico

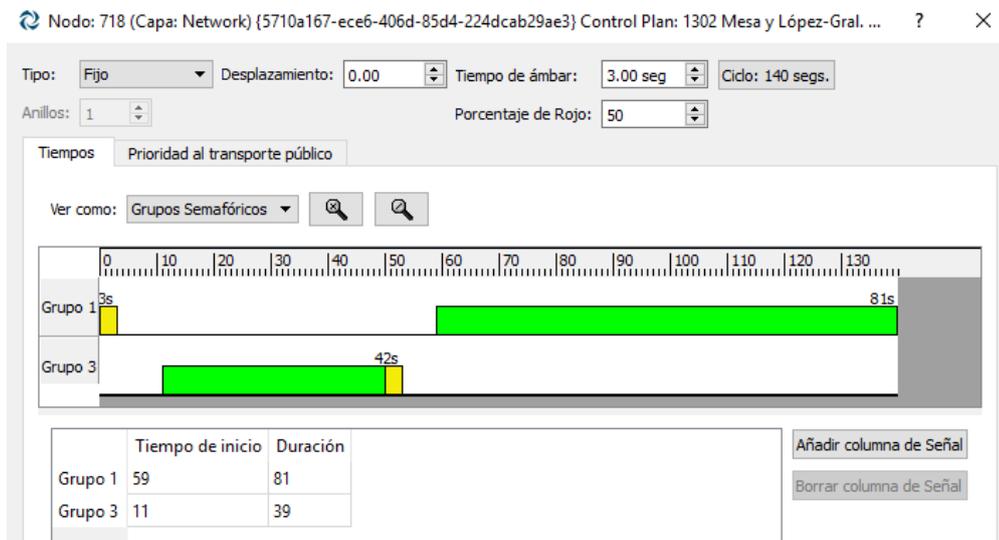
El punto de partida para la creación del plan de control semafórico de un 'nodo' así reglado es la creación de los correspondientes grupos semafóricos, es decir, la definición de cada conjunto de giros cuyos reguladores se ponen en verde, ámbar o rojo al mismo tiempo:

Figura 12. Definición de grupos semafóricos. Fuente: Elaboración propia



Una vez hecho esto, se crea el plan de control semafórico para el cruce seleccionado, fijándose el desfase o desplazamiento con respecto a otros planes para su correcta sincronización, la duración total del ciclo y el tiempo de ámbar. A continuación, se establece el momento de inicio del tiempo verde de cada grupo semafórico y su duración. Finalmente, una vez se han implantado los planes de control de todos los cruces, se crea un plan de control maestro que los englobe, ajustando la hora de activación de cada uno de ellos y su duración, puesto que para cada intersección pueden y suelen existir diferentes planes a lo largo del día.

Figura 13. Configuración de los ciclos semafóricos. Fuente: elaboración propia



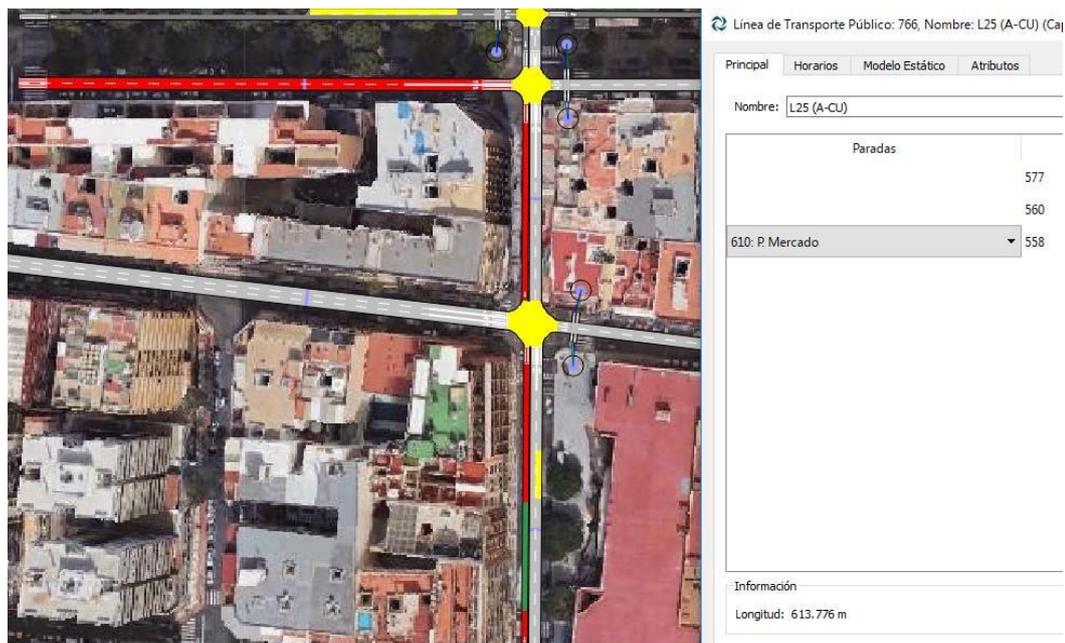
Todo el proceso expuesto hace referencia a la rutina a seguir para cruces a tiempos fijos, sin embargo, al igual que sucede en la práctica, el software de simulación permite la creación de ciclos variables automáticamente atendiendo a las circunstancias del tráfico.

Plan de transporte público

Como paso previo a la creación de cada una de las líneas de transporte público, deben fijarse las paradas existentes dentro de la zona de estudio con la ubicación y la longitud precisas. Existen dos tipos de paradas: normales (dentro de la calzada) o segregadas (fuera de ésta, a un lado).

Tras esto, se definen una a una todas las líneas cuyo recorrido transcurre por el espacio modelado, escogiendo las sucesivas secciones por las que discurre. De manera automática, el programa incorporará aquellas paradas situadas en dichos tramos, siendo posible su modificación manual a posteriori o, directamente, la desactivación de este procedimiento.

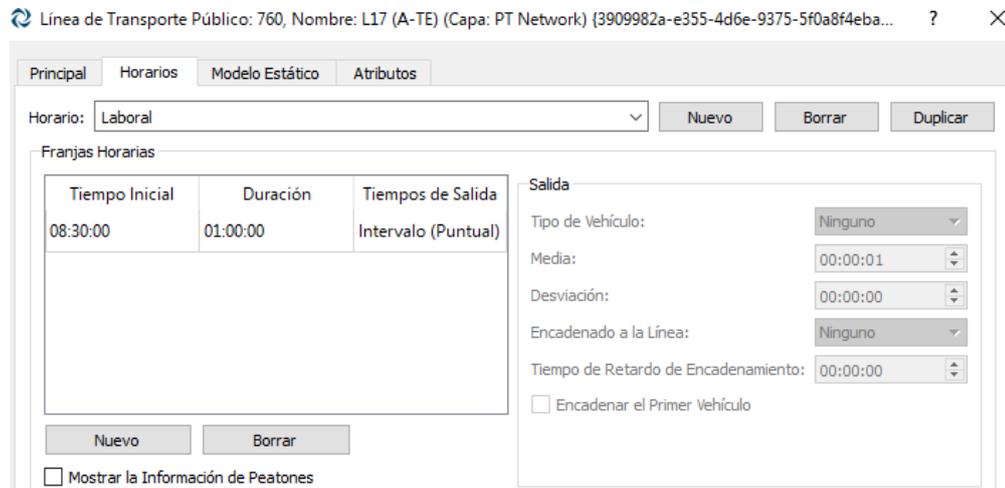
Figura 14. Definición del recorrido de una línea de transporte público. Fuente: elaboración propia



Una vez definido el camino, es el momento de determinar la franja horaria de operación de la línea, el tiempo medio y la desviación por parada y el momento de entrada en la red, pudiendo estar éste

basado en repeticiones en bucle con una determinada frecuencia o en el establecimiento de horarios específicos que no sigan un patrón concreto:

Figura 15. Configuración de las características de una línea de transporte público.
Fuente: elaboración propia



2.9. Generación de viajes

El modelo de generación y atracción de viajes que se emplea en este trabajo está basado en ratios de movilidad asignados para cada uso de suelo concreto. Existen diversas metodologías basadas en los usos de suelo. En el presente apartado se describirán diversos métodos empleados para el cálculo de la movilidad generada por el nuevo centro comercial

Debido a que en España no existe en la actualidad experiencia en cuanto a recopilar datos de la generación de viajes, se suelen tomar como referencia los datos americanos del Institute of Transportation Engineering (ITE). Estos datos y la metodología de cálculo propuesta por el ITE quedan recogidos en su publicación Trip Generation Manual (TGM).

2.9.1. Trip Generation Manual

El Instituto de Ingenieros de Transporte es una asociación educativa y científica internacional de profesionales del transporte que son responsables de satisfacer las necesidades de movilidad y seguridad. ITE facilita la aplicación de tecnología y principios científicos a la investigación, planificación, diseño funcional, implementación, operación, desarrollo de políticas y gestión para cualquier modo de transporte terrestre. A través de sus productos y servicios, ITE promueve el desarrollo profesional de sus miembros, apoya y fomenta la educación, estimula la investigación, desarrolla programas de concienciación pública y sirve como conducto para el intercambio de información profesional.

Fundada en 1930, ITE es una comunidad de profesionales del transporte que incluye, entre otros, ingenieros de transporte, planificadores de transporte, consultores, educadores e investigadores. A través de reuniones, seminarios, publicaciones y una red de casi 17.000 miembros que trabajan en más de 90 países, ITE es su fuente de experiencia, conocimiento e ideas.

Trip Generation Manual es una publicación del Instituto de Ingenieros de Transporte (ITE) que está compuesto por 3 volúmenes:

- Volumen 1 'Guía y manual del usuario': contiene definiciones de las variables independientes y los términos utilizados en este manual. También proporciona material instructivo general sobre datos estadísticos y ayuda a los usuarios a comprender los gráficos de datos contenidos en el segundo y tercer volumen. Las dos ediciones publicadas tienen dos propósitos principales: brindar instrucción y orientación en el uso adecuado de los datos presentados en generación de viajes y proporcionar información sobre temas complementarios de



importancia en la estimación de generación de viajes para sitios de desarrollo. Algunos temas adicionales que se tratan en el Manual de generación incluyen viajes de enlaces primarios/de paso/desviados, desarrollos por usos múltiples, generación de viajes en camiones y programas de gestión de la demanda de transporte.

- Volúmenes 2 y 3 'Datos': estos volúmenes tienen únicamente fines informativos y no incluyen recomendaciones del ITE sobre el mejor curso de acción o la aplicación preferida de los datos. La información de estos volúmenes se basa en estudios de generación de viajes presentados voluntariamente al ITE por organismos públicos, promotores, consultoras y asociaciones. Se alienta a los usuarios a revisar y familiarizarse con la Guía del usuario y el Manual antes de utilizar los datos contenidos en los Volúmenes 2 y 3.

Para llevar a cabo la estimación del tráfico generado y atraído por el centro comercial se utilizarán los criterios establecidos en el Manual Trip Generation en su volumen 3.

El manual contempla la estimación para diferentes momentos como un día de la semana, la hora punta de la mañana y la hora punta de la tarde.

En el Trip Generation Manual del ITE se analiza la generación de viajes por medio de regresiones lineales o múltiples en función de las diferentes variables independientes más representativas de cada uso de suelo. Todas sus fórmulas y variables están basadas en datos de movilidad de Estados Unidos, por lo que su extrapolación a casos españoles puede generar ciertas distorsiones con la realidad, proporcionando en la mayor parte de los casos un mayor número de vehículos al ser mayor el uso de vehículos en la vida diaria en Estados Unidos.

2.9.1.1. Procedimiento

El Trip Generation Manual realiza un estudio de los viajes que son atraídos y generados por diferentes usos de suelo recogidos en diferentes códigos. Para cada código de uso de suelo, se proponen una serie de variables representativas.

El TGM indica que la toma de decisión sobre la variable a elegir a la hora de calcular la generación de viajes es lo más relevante del modelo. En caso de que existan varias, las recomendaciones para elegir las más adecuadas son:

- Aquella variable que guarde una relación más directa en la variación del viaje generado por un determinado uso del suelo.
- La que se obtenga de una primera medida y no derivada de una segunda.
- La que presente un mejor ajuste de los datos, representado por el coeficiente de correlación R^2 . Si R^2 es mayor que 0,75 se considera un buen ajuste.
- Aquellas que sean estables y no puedan cambiar con el tiempo.
- En caso de que exista igualdad de ajuste entre dos variables, se elegirá la que tenga un mayor tamaño de muestra.

2.10. Nota de Servicio 5/2014

La Nota de Servicio 5/2014 "Prescripciones y recomendaciones técnicas para la realización de estudios de tráfico de los Estudios Informativos, Anteproyectos y Proyectos de carreteras", introduce mejoras y novedades entre las que destacan las siguientes recomendaciones:

- La aplicación de la metodología del Manual de Capacidad 2010 del Transportation Research Board de los Estados Unidos de América (HCM 2010) para el cálculo de los niveles de servicio (teniendo en cuenta que los algoritmos utilizados son con unidades del sistema inglés y no son unidades del sistema internacional).
- El estudio detallado del tráfico en nudos, ya que desde la selección del tipo de nudo resulta imprescindible conocer: las intensidades horarias de la circulación, la composición del tráfico

(sobre todo en zonas urbanas), la velocidad de los vehículos y la evolución de todos los parámetros hasta el año horizonte.

- La utilización de modelos de previsión de la demanda de tráfico, basados en la experiencia internacional (modelo logit, modelo de generación-atracción y modelo de asignación a la red).
- La utilización de gráficos para la representación de resultados, especialmente en la calibración de los modelos y en los resultados de los modelos de evolución del tráfico.

Esta Nota de Servicio 5/2014 tiene por objeto establecer las prescripciones y recomendaciones que deben tenerse en cuenta para la redacción de los estudios de tráfico en los estudios informativos, anteproyectos y proyectos de la Subdirección General de Estudios y Proyectos.

En ella se establecen las bases metodológicas, reglas de aplicación práctica y requisitos que deben cumplir los estudios de tráfico incluidos en los estudios y proyectos de la red estatal de carreteras competencia del Ministerio de Fomento.

El contenido se estructura en siete capítulos y dos anexos, que en su conjunto contemplan todos los aspectos relevantes que deben considerarse para redactar un estudio de tráfico:

- El capítulo 1 “Datos básicos”: Describe las fuentes de información para la recopilación de datos de tráfico, movilidad y socioeconómicos de utilidad para la modelización.
- El capítulo 2 “Análisis del tráfico actual”: Describe los criterios para establecer el ámbito del estudio y tramificación, la realización de la campaña complementaria de toma de datos en campo (aforos y encuestas) y la metodología para el cálculo de la IMD y la caracterización del tráfico a partir de los aforos.
- El capítulo 3 “Modelos de crecimiento de tráfico”: Describe los tipos de modelos más utilizados para analizar el crecimiento del tráfico y los métodos para determinar el tráfico inducido y el periodo de transición.
- El capítulo 4 “Niveles de servicio”: Describe la metodología a utilizar para el cálculo de los niveles de servicio.
- El capítulo 5 “Estudio de tráfico en nudos”: Describe los criterios para analizar el tráfico en nudos, integrando y actualizando lo establecido en la Guía de Nudos Viarios (Orden Circular 32/2012) y añadiendo los criterios metodológicos para analizar el tráfico en glorietas.
- El capítulo 6 “Modelización del tráfico”: Describe los criterios para establecer escenarios y periodos de modelización, las tipologías de modelos más utilizados y los criterios para aplicación de los mismos.
- El capítulo 7 “Alcance del estudio y presentación de resultados”: Describe el alcance de las actividades a realizar en los estudios de tráfico dependiendo del tipo de estudio o proyecto en el que se integre y los criterios para la presentación de resultados, con el fin de asegurar la transparencia y facilidad de consulta posterior del Estudio de tráfico.
- El anexo nº 1 contiene los enlaces de interés y referencias bibliográficas.
- El anexo nº 2 contiene tablas de intensidades de servicio generalizadas utilizadas para el cálculo simplificado de niveles de servicio.

2.11. Ley 9/2001 del Suelo de la Comunidad de Madrid

La presente Ley tiene por objeto la ordenación urbanística del suelo en la Comunidad de Madrid.

Objeto, contenido y naturaleza de la ordenación urbanística

La ordenación urbanística regula la utilización del suelo; los procesos de transformación de éste mediante la urbanización, la edificación y la construcción en general o cualquiera de las otras formas previstas en la presente Ley; y el uso, la explotación, la conservación y la rehabilitación de las obras, los edificios, las construcciones y las instalaciones.

A los efectos de la ordenación urbanística del suelo se entiende comprendida la superficie del terreno, así como el suelo y el subsuelo, tanto en su estado natural como transformado.

La ordenación urbanística comprende las siguientes actividades:

- Garantía de la efectividad del régimen urbanístico del suelo.
- Planeamiento urbanístico.
- Ejecución del planeamiento urbanístico.
- Intervención en el uso del suelo, en la edificación y en el mercado inmobiliario.

La actividad urbanística constituye una función pública cuya titularidad corresponde a las Administraciones públicas competentes, que la gestionarán y desarrollarán conforme a una equilibrada y equitativa ponderación de los bienes jurídicos relevantes protegidos por la Constitución y para la máxima realización posible en cada caso del orden por ésta definido.

Determinaciones sobre las redes públicas.

1. Se entiende por red pública el conjunto de los elementos de las redes de infraestructuras, equipamientos y servicios públicos que se relacionan entre sí con la finalidad de dar un servicio integral. Los elementos de cada red, aun estando integrados de forma unitaria en la misma, son susceptibles de distinguirse jerárquicamente en tres niveles:
 - Los que conforman la red supramunicipal, que son aquellos cuya función, uso, servicio y/o gestión se puede considerar predominantemente de carácter supramunicipal y, por tanto, propia de las políticas de la Administración del Estado o de la Comunidad de Madrid.
 - Los que conforman la red general, que son aquellos cuya función se limita al uso y servicio de los residentes en el municipio y gestión de su propio espacio, pero sin ser claramente adscribibles a ningún área homogénea, ámbito de actuación, sector o barrio urbano o rural concreto, ni tampoco al nivel supramunicipal.
 - Los que conforman la red local, que son aquellos cuya función se puede limitar al uso, servicio y gestión predominante de los residentes en un área homogénea, ámbito de actuación, sector o barrio urbano o rural concreto.
2. El conjunto de los elementos de la red pública es susceptible de distinguirse, a efectos de la presente Ley, desde el punto de vista funcional en los siguientes sistemas de redes:
 - Redes de infraestructuras, que comprenden, a su vez:
 - Red de comunicaciones, tales como viarias, ferroviarias, portuarias, aeroportuarias y telefónicas.
 - Red de infraestructuras sociales, tales como abastecimiento, saneamiento y depuración.
 - Red de infraestructuras energéticas, tales como eléctricas y gasísticas.
 - Redes de equipamientos, que comprenden, a su vez:
 - Red de zonas verdes y espacios libres, tales como espacios protegidos regionales, parques municipales y urbanos, jardines y plazas.
 - Red de equipamientos sociales, tales como educativos, culturales, sanitarios, asistenciales, deportivos, recreativos, administrativos y demás usos de interés social.
 - Redes de servicios, que comprenden, a su vez:
 - Red de servicios urbanos, tales como suministro de agua, alcantarillado, suministro de energía eléctrica, alumbrado público, servicio telefónico, acceso rodado y aparcamientos.
 - Red de viviendas públicas o de integración social.
3. La definición de las redes públicas implica señalar expresamente todos aquellos de sus elementos necesarios para asegurar el funcionamiento correcto y adecuado a las necesidades previstas de la red correspondiente. A tal efecto, se establecen las siguientes precisiones:
 - Tendrán el carácter de determinaciones estructurantes todas aquellas que consistan en señalar las reservas y dimensiones de cualquier suelo que se prevea como elemento de una red pública supramunicipal o general.

- Asimismo, tendrán el mismo carácter de determinaciones estructurantes las que definan las condiciones básicas de ordenación de cada uno de tales elementos, si bien el desarrollo detallado de los mismos se concretará a través de determinaciones pormenorizadas.
 - El señalamiento de los espacios destinados a elementos de las redes locales, así como de cualesquiera otros parámetros necesarios para su ordenación detallada, tendrán el carácter de determinaciones pormenorizadas. En cambio, serán determinaciones estructurantes las Instrucciones normativas al planeamiento de desarrollo sobre la localización y características de elementos de nivel local que resulten necesarias para asegurar la funcionalidad de la red correspondiente.
4. El sistema de redes supramunicipales sólo podrá ser establecido por el planeamiento regional territorial o, en su defecto, por el planeamiento general. En consecuencia, la definición de cualquier elemento de una red pública supramunicipal, localización, capacidad o cualesquiera otras características de los suelos que formen parte de las redes supramunicipales en un Municipio serán las que resulten de las determinaciones establecidas por estos planeamientos en suelos urbanizables.
 5. El sistema de redes generales deberá definirse en la ordenación estructurante respecto al conjunto del Municipio, de forma que cada una tenga las dimensiones y características suficientes para satisfacer adecuadamente las necesidades sociales actuales y potenciales.

A tales efectos, y por referencia a la capacidad total máxima de los suelos urbanos no consolidados y urbanizables y respecto a un módulo de 100 metros cuadrados de superficie edificable de cualquier uso, excepto el industrial, deberán cederse 20 metros cuadrados por dicho concepto, cuyo destino será fijado por dichas necesidades.

6. El sistema de redes locales de un municipio se dimensionará respecto a cada ámbito de actuación o sector y/o unidad de ejecución atendiendo a las necesidades de la población prevista y de complementariedad respecto a las respectivas redes generales y supramunicipales. El planeamiento urbanístico podrá imponer condiciones de agrupación a las dotaciones locales de forma que se mejoren sus condiciones funcionales, sin que ello redunde en ningún caso en reducción de los estándares fijados en este artículo. En todo caso, en cada ámbito de suelo urbano no consolidado o sector y/o unidad de ejecución de suelo urbanizable no destinados a uso industrial, se cumplirán las siguientes condiciones mínimas:
 - La superficie total en el ámbito o sector y/o unidad de ejecución de elementos de las redes locales de equipamientos y/o infraestructuras y/o servicios será de 30 metros cuadrados por cada 100 metros cuadrados construidos.
 - Del total de la reserva resultante de cumplir el apartado anterior, al menos el 50 por 100 deberá destinarse a espacios libres públicos arbolados.
 - Por cada 100 metros cuadrados edificables o fracción de cualquier uso deberá preverse, como mínimo, una plaza y media de aparcamiento, siempre en el interior de la parcela privada. La dotación mínima de plazas de aparcamiento deberá mantenerse, aunque se modifique el uso.
 - Los estándares del apartado anterior sobre reservas de aparcamiento no serán de aplicación en los siguientes supuestos:
 - Cuando, por razones de congestión y densidad de los centros urbanos, el instrumento de planeamiento general establezca límites máximos a las plazas de aparcamiento privado o público para comercios, espectáculos y oficinas.
 - Cuando, por las condiciones de accesibilidad o las dimensiones de las manzanas o parcelas existentes, las Ordenanzas municipales eximan de la obligatoriedad de plaza de garaje en el propio edificio; en tal supuesto, los requerimientos de aparcamiento deberán suplirse en otro lugar.

- Los estándares de la anterior letra b) no serán de aplicación cuando se trate de vivienda que cuente con zonas verdes o espacios libres privadas al menos en la misma cuantía que la cesión a la que estaría obligada. En el caso de que no se alcanzará, se cederá hasta completarla.
 - En suelo urbano, el deber de cesión de suelo recogido en la letra a) podrá satisfacerse mediante el pago de su equivalente en dinero, cuando dentro del ámbito de actuación no se disponga de la superficie necesaria para ello. Dicho deber se cumplirá en el momento del otorgamiento de la licencia de obra y, en su caso, licencia de actividad.
7. Por Orden motivada del consejero competente en materia de ordenación urbanística, dictada previo informe de la Administración responsable del servicio afectado y de la Comisión de Urbanismo de Madrid, podrán reducirse las dimensiones mínimas para las redes locales hasta alcanzar valores iguales o superiores al 80 por 100 de los estándares establecidos en este artículo, sobre sectores en los que concurra cualquiera de los supuestos siguientes:
- Que tengan como uso característico el turístico, recreativo y/o residencial estacional, tipología edificatoria aislada y bajas densidad y edificabilidad, además de presentar autonomía suficiente respecto de cualesquiera otros. En tal caso, para admitirse la reducción de la superficie de redes locales, deberán preverse servicios y dotaciones privadas especialmente significativas o concurrir condiciones medioambientales excepcionales.
 - Que se corresponda con una actuación para el establecimiento de complejos industriales aislados, en cuyo caso se aplicarán las mismas condiciones que en el apartado anterior.
 - Que, por sus características y sin merma de la coherencia de la ordenación, requiera redes viarias de grandes dimensiones; en tales casos, el exceso de superficie viaria respecto a las proporciones normales en otros ámbitos o sectores podrá ser compensado reduciendo los mínimos exigidos en la presente Ley para cualesquiera de las otras redes, siempre que los valores finales no resulten inferiores al 90 por 100 de los estándares correspondientes.
8. Reglamentariamente podrán diferenciarse las dotaciones mínimas de suelo que, dentro de cada grupo de redes generales o locales hayan de destinarse a usos específicos, sean públicos o privados.

2.12. Instrucción de la Vía Pública del Ayuntamiento de Madrid

Ámbito y carácter de la Instrucción

El ámbito geográfico de aplicación de la presente Instrucción para el Diseño de la Vía Pública son los suelos calificados como vía pública directamente por el Plan General de Ordenación Urbana de Madrid o por sus instrumentos de desarrollo. Su ámbito temático son las condiciones generales de diseño de dichos suelos.

A la presente Instrucción de Vía Pública deberán ajustarse todos los planes y proyectos en los que se definan características de la red viaria, de las áreas estanciales y de las plataformas reservadas. No obstante, con carácter excepcional, en áreas consolidadas se podrá requerir justificadamente un tratamiento diferenciado en función de sus características específicas.

Marco Normativo

La presente Instrucción desarrolla el Plan General de Ordenación Urbana de Madrid, por lo que su contenido no podrá, en ningún caso, contradecir al de aquel.

Sin embargo, el cumplimiento de los contenidos de la presente Instrucción no exime del cumplimiento de otras regulaciones y normas que pudieran ser de aplicación al objeto concreto de planificación o proyecto de que se trate, tanto municipales, como regionales, estatales, comunitarias o internacionales. El proyectista o planificador deberá buscar soluciones de diseño que cumplan con el conjunto de normas en vigor, entre ellas, las establecidas por la presente Instrucción.

En particular, se consideran normativas complementarias a las de la presente Instrucción, las siguientes ordenanzas o documentos municipales:

- Normalización de elementos constructivos para obras de urbanización.
- Pliego de Condiciones Técnicas Generales. Aplicable a la redacción de proyectos y ejecución de las obras municipales.
- Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano.
- Ordenanza General de Mobiliario Urbano.
- Ordenanza sobre Uso y Conservación de espacios libres.
- Ordenanza sobre Supresión de Barreras Arquitectónicas en las Vías Públicas y Espacios Públicos.

2.12.1.1. Estudios de transporte. Ficha 12.

Objetivos

La inclusión de un Estudio de Transporte en planes parciales, planes especiales y proyectos de edificación tiene como objetivos principales:

- Garantizar la fundamentación técnica de las decisiones relativas a transporte y diseño de la vía pública en el planeamiento de desarrollo.
- Impedir que el aumento de la congestión circulatoria en la red principal supere ciertos niveles.

Niveles de congestión

Se establecen los siguientes niveles de congestión circulatoria en hora punta:

- Nivel 1, cuando la relación Intensidad/Capacidad sea igual o inferior a 0,6
- Nivel 2, cuando la relación Intensidad/Capacidad sea superior a 0,6, e inferior a 0,7.
- Nivel 2, cuando la relación Intensidad/Capacidad sea superior a 0,7.

Mediante la adecuada localización y diseño de sus conexiones con la red principal o de su trama interna, los planes y proyectos tratarán de mantener la congestión circulatoria en el nivel 1, en todos y cada uno de los elementos de la red principal.

En los casos en que, agotadas las opciones de disposición y diseño, la congestión alcance el nivel 2, los planes y proyectos incluirán la previsión de medidas complementarias dirigidas a desincentivar el uso del vehículo privado ocupado por una sola persona y potenciar la utilización de medios de transporte alternativos. Los servicios municipales competentes valorarán si las medidas complementarias propuestas se consideran suficientemente eficaces para paliar el nivel de congestión estimado.

En cualquier caso, no se dará la aprobación a aquellos planes y proyectos por cuyo efecto la congestión en cualquier elemento de la red principal alcance el nivel 3.

Alcance

Deberán incluir un Estudio de Transporte:

- Todos los planes y proyectos que superen cualquiera de los siguientes umbrales en edificación de nueva construcción:
 - 150 viviendas o 15.000 m², en edificación residencial
 - 5.000 m² en edificación para oficinas
 - 4.000 m² de edificación comercial, o de ocio
 - 500 plazas en locales de espectáculos
 - 18.000 m² en cualquier tipo de edificación
- Todos los planes especiales que, aún sin prever los umbrales de construcción establecidos en el punto anterior, afecten a más de 500 viviendas o 50.000 m² de edificación o a elementos de la red viaria principal del municipio de Madrid.

3. METODOLOGÍA

3.1. Introducción

En este estudio se ha empleado la combinación del modelo macroscópico junto con el modelo microscópico para evaluar el funcionamiento del tráfico y la movilidad actual y futura de menor a mayor detalle.

Las etapas para el desarrollo del presente proyecto pueden ser enumeradas de la siguiente manera:

- Delimitación del ámbito de estudio.
- Análisis de la información de tráfico disponible en la zona de actuación.
- Análisis de los datos de tráfico obtenidos.
- Implementación de los modelos de macrosimulación y microsimulación.
- Análisis de la situación actual y de la situación posterior a la implantación del centro comercial.
- Definición de propuestas para optimizar la movilidad en la situación futura.

3.2. Modelo de macrosimulación

Para la modelización de la red y simulación del tráfico se ha utilizado la aplicación de planificación de transportes VISUM de PTV en su versión 21.0. Con este software de planificación de transporte se puede obtener una solución adecuada para planificar eficientemente su red de transporte. Ya sea que necesite modelar las demandas de viaje de una ciudad o región entera o entender todos los detalles de las operaciones de tráfico, nuestro planificador de transporte proporciona la mejor solución para las necesidades actuales y futuras de su sistema de transporte. Utilizando PTV Visum, se puede crear un plan maestro de transporte y utilizar estas funcionalidades:

- Importar redes de carreteras y de transporte público de diversas fuentes (shape, DIVA, HAFAs, OpenStreetMap, etc.) o aprovechar las redes de navegación de Vision Traffic Data.
- Rutinas incorporadas para calcular de forma transparente varios modelos de demanda (algoritmo de 4 pasos, basado en recorridos, basado en actividades) y realizar cálculos de pronóstico confiables en modelos de demanda bien fundamentados.
- Seleccionar entre los procedimientos de asignación más rápidos y reducir las desviaciones de los flujos de tráfico utilizando las técnicas de corrección de matrices.
- Utilizar el modelo de transporte para cuantificar la evolución de los escenarios y acciones para un óptimo análisis.
- Permitir que los gobiernos creen planes a futuro con seguridad y eficiencia con la ayuda de mapas y escenarios claros.

Esta modelización consiste en obtener un modelo matemático que recoja las relaciones de movilidad existentes en el ámbito de estudio y que simule adecuadamente el comportamiento de los usuarios de la red viaria, reflejando un tráfico sobre el mismo que se asemeje suficientemente al tráfico observado en las carreteras.

Asignación de datos reales

Una vez representada la oferta viaria, es necesario asignar la demanda a nivel horario. Visum cuenta con algoritmos que permiten, a partir de una matriz de partida, ajustar los tráficos en el conjunto de la red, reduciendo la diferencia entre los datos aforados y los datos estimados por el modelo.

El procedimiento de asignación elegido ha sido el denominado “Equilibrium-Lohse” con los parámetros por defecto que asigna la aplicación VISUM. Se ha utilizado la “Regla heurística” para la estimación de impedancias a partir de los resultados de cada iteración con un máximo de 40 iteraciones para completar la asignación.

El procedimiento “Equilibrium-Lohse” fue desarrollado por el profesor Lohse en el año 1997. Este procedimiento modeliza el proceso de aprendizaje de los conductores utilizando la red. Está basado en una asignación “Todo – Nada” en la que los conductores hacen uso de la información obtenida durante su viaje previo para la selección de la nueva ruta. Mediante un proceso iterativo son buscadas las rutas más cortas. En este proceso, para la búsqueda de rutas, la impedancia es deducida de la impedancia derivada del actual volumen y de la impedancia previamente estimada en una iteración anterior.

Para la validación se ha seguido lo descrito en la Nota de Servicio 5/2014 sobre ‘Prescripciones y recomendaciones técnicas para la realización de estudios de tráfico de los Estudios Informáticos, Anteproyectos y Proyectos de carreteras’, Ministerio de Fomento en su apartado de modelización del tráfico

3.3. Niveles de congestión

Para el estudio del grado de saturación de las vías, es decir, el ratio intensidad/capacidad, se emplean los niveles estipulados por la Instrucción de la Vía Pública del Ayuntamiento de Madrid, en su Ficha 12 de “Estudios de transporte”.

En ella se definen los niveles de congestión circulatoria en hora punta como:

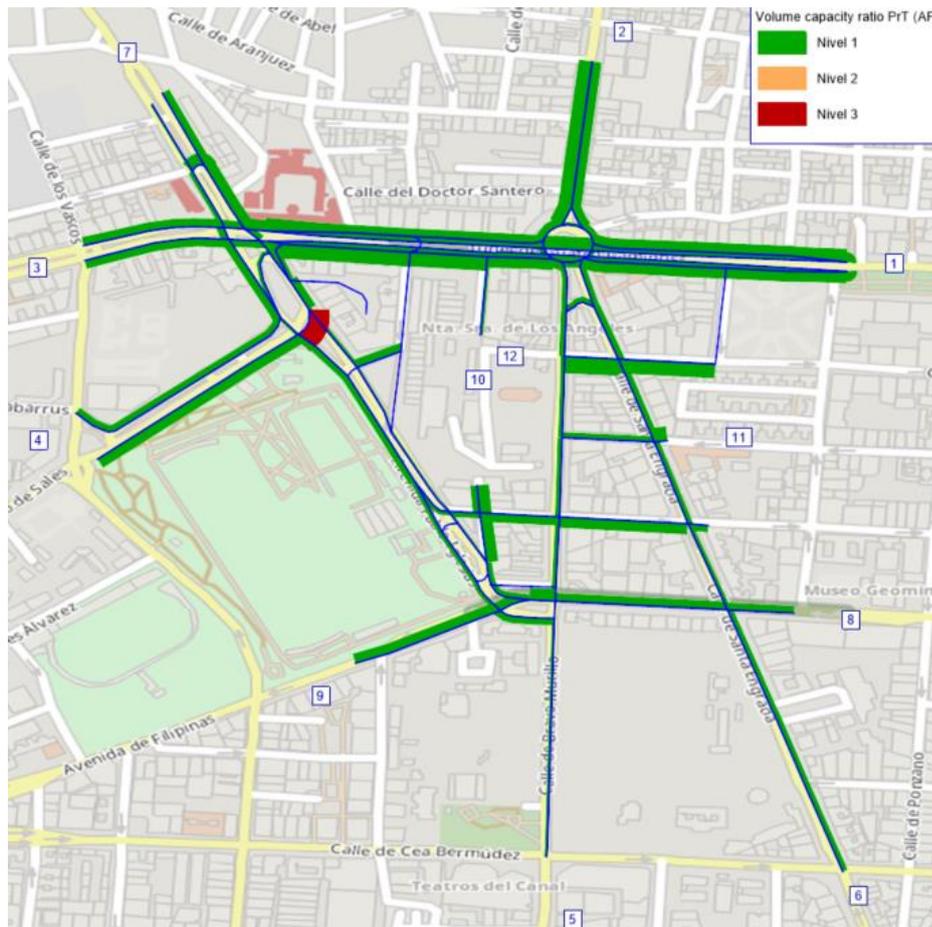
- Nivel 1, cuando la relación Intensidad/Capacidad sea igual o inferior a 0,6 (60%).
- Nivel 2, cuando la relación Intensidad/Capacidad sea superior a 0,6 (60%) e inferior a 0,7 (70%).
- Nivel 3, cuando la relación Intensidad/Capacidad sea superior a 0,7 (70%).

Se han calculado los niveles de congestión del viario público, establecidos como la relación entre la intensidad del tráfico y la capacidad del viario. La I/C reflejada en la figura de asignación de la situación actual se ilustra por colores según la siguiente tabla de correspondencia.

Tabla 3. Niveles de congestión según la Instrucción de la Vía Pública del Ayuntamiento de Madrid

I/C	Nivel	Color
0-0,6	1	
0,6-0,7	2	
>0,7	3	

Figura 17. Ratio I/C en el ámbito de estudio. Fuente: elaboración propia



3.4. Modelo de microsimulación

El análisis del funcionamiento del tráfico se ha realizado con la herramienta de microsimulación AIMSUN Next, en su versión 22, un software de modelado de transporte desarrollado por la compañía TSS (Transport Simulation Systems) y la Universidad Politécnica de Cataluña. A diferencia de los modelos de tráfico “macro”, los modelos “micro” simulan el comportamiento de cada uno de los vehículos que circulan por una determinada red de forma individual.

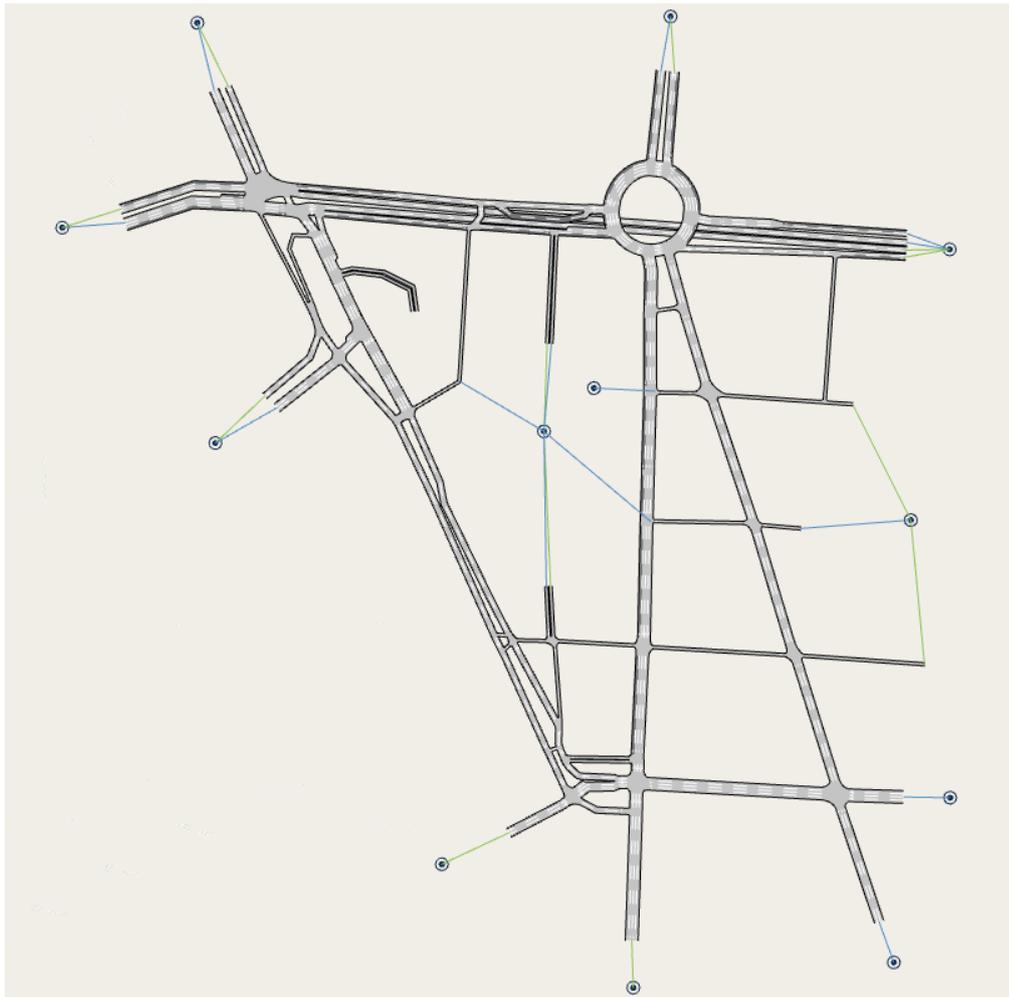
Para una modelización correcta el modelo ha de ser alimentado con más información que los modelos clásicos, definiéndose perfectamente todos los componentes geométricos de la red, así como los componentes relacionados con la regulación del tráfico (señalización y semaforización).

Mientras que la red viaria se corresponde con la oferta, la demanda se modeliza mediante las matrices origen-destino obtenidas en la fase anterior mediante el programa de macrosimulación VISUM. Durante el proceso de asignación, el modelo calcula el itinerario a recorrer por cada vehículo y simula el comportamiento de dicho vehículo al circular, así como su interacción con el resto de vehículos. En total, para la microsimulación se han considerado los siguientes datos:

- Geometría de la vía.
- Matrices OD para vehículos (ligeros, motos y pesados). Las cuales se obtienen del ajuste macro.
- Matrices OD para peatones. Las cuales se obtuvieron de los aforos peatonales.
- Ciclos semafóricos. Los cuales fueron facilitados por el hospital.
- Transporte público. Cuyas líneas y frecuencias se describen en un apartado previo.

En la siguiente imagen se muestra la representación del modelo micro obtenido a partir del modelo macro situando los centroides en el mismo orden de colocación.

Figura 18. Modelo micro de la red viaria. Fuente: elaboración propia



3.5. Niveles de servicio

La capacidad de una vía, de manera técnica, se define como la máxima intensidad de tráfico sostenida durante un periodo de tiempo determinado bajo condiciones de vía, tráfico y sistemas de control del mismo dados.

Más coloquialmente, la capacidad de una calle o de una carretera, es el parámetro que define el máximo número de vehículos que pueden circular por esa vía en un determinado periodo de tiempo, y se suele expresar en vehículos por hora. Por ejemplo, si la capacidad máxima de una calle son 1.500 vehículos/hora, quiere decir que es el máximo número de vehículos que pueden pasar por una determinada calle a lo largo de una hora.

La capacidad de la vía depende de numerosos factores, aunque los más importantes son la velocidad a la que se permita circular y el número de carriles. A mayor velocidad, y mayor número de carriles, mayor capacidad de la vía.

Conocida la capacidad de la vía, se define el nivel de servicio como una forma de caracterizar la congestión de la vía. Los niveles de servicio se caracterizan con un código de letras que va desde la "A" (nivel de servicio muy bueno) hasta "F" (tráfico muy congestionado). Así, si el tráfico que circula por la vía es muy inferior a la capacidad, no habrá congestión y el nivel de servicio será bueno ("A"). Si el tráfico que circula por la vía es similar a la capacidad de la vía, el nivel de congestión será elevado y el nivel de servicio será malo ("F").

Los niveles de servicio tienen la descripción cualitativa descrita en la siguiente figura. Mientras que los ciclos semafóricos empleados en el modelo se muestran detallados en el Anejo IV.

Figura 19. Niveles de servicio

NIVEL DE SERVICIO	CONDICIONES DE FLUJO	DESCRIPCIÓN DE CIRCULACIÓN
A		Alta calidad de servicio. El tráfico fluye libremente con poca o ninguna restricción de velocidad o maniobra. No hay demoras
B		El tráfico es estable y fluye libremente. La capacidad de maniobra se encuentra tan solo levemente restringida. No hay demoras
C		Se mantiene en zona estable, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad, y la libertad de maniobra está restringida. Los conductores deben ser más cuidadosos en los cambios de carril. Demoras mínimas
D		La velocidad disminuye ligeramente y aumenta la densidad. La libertad de maniobra se encuentra notablemente limitada. Demoras mínimas
E		Proximidad de los vehículos entre sí, con poco espacio para maniobras. La comodidad de los conductores es escasa. Demoras significativas
F		Tráfico muy congestionado con atascos, especialmente en áreas donde los vehículos confluyen. Demoras significativas

Se consideran los criterios del Highway Capacity Manual (HCM) como referencia para determinar el nivel de servicio de las glorietas y de las intersecciones, más concretamente la demora media y el ratio volumen/capacidad. En la siguiente tabla se muestran estos criterios:

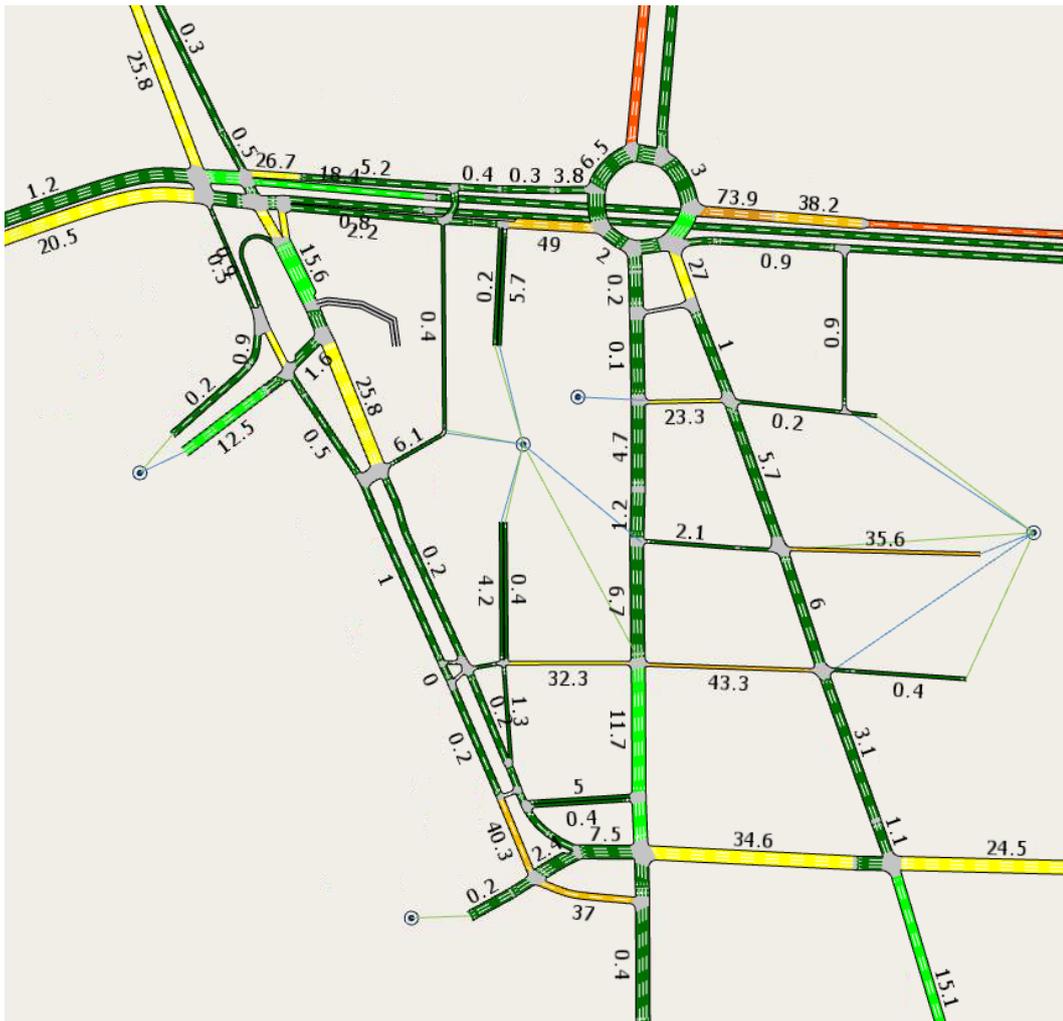
Tabla 4. Nivel de servicio en función de la demora media. Intersección semaforizada

Demora media (s/veh)	Nivel de servicio por ratio volumen/capacidad	
	V/C ≤ 1,0	V/C > 1,0
0-10	A	F
>10-20	B	F
>20-35	C	F
>35-55	D	F
>55-80	E	F
>80	F	F

Es decir, tiempos de demora bajos corresponden con niveles de servicio buenos (“A” y “B”). Sin embargo, tiempos de demora altos, corresponden a niveles de servicio malos (“E” y “F”).

En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de los niveles de servicio obtenidos en el análisis de las intersecciones y el tronco principales del ámbito de estudio, junto con los tiempos de demora en segundos.

Figura 20. Modelo micro de la red viaria. Fuente: elaboración propia



3.6. Movilidad generada y atraída

El tráfico generado y atraído por el nuevo desarrollo se estimará mediante la utilización de los criterios establecidos en el Manual Trip Generation, publicado por el Institute of Transportation Engineers (ITE).

El uso de suelo 820 del ITE "Shopping Center" será el considerado para modelar la atracción del centro comercial.

- Shopping Center

El Trip Generation Manual define los "shopping center" como un grupo integrado de establecimientos comerciales desarrollados y dirigidos como una unidad. Se relacionan con su área de mercado en función de su tamaño, localización y tipos de tienda. Se encuentran provistos de aparcamientos.

En el desarrollo de los modelos de atracción del Trip Generation Manual fueron analizados más de 500 centros comerciales de diferentes tamaños y tipos, localizados en zonas urbanas de los Estados Unidos. Los centros pueden incluir usos distintos al comercial enfocados al ocio, o usos de oficinas.

Los viajes generados por el centro comercial se basan en la superficie alquilable del centro, que en ciertos casos puede coincidir con la superficie de este.

Los datos indican que el ratio de creación de viajes decrece a la vez que el tamaño del centro aumenta de forma exponencial.



El manual contempla la estimación para diferentes momentos como la hora punta de la mañana y la hora punta de la tarde. Para la generación de tráfico del centro comercial se considerará la información de la siguiente imagen para la hora punta de la mañana (One Hour Between 7 and 9 a.m.) y la hora punta de la tarde (One Hour Between 4 and 6 p.m.).

Se realiza una distinción de la ecuación a utilizar en función de la superficie del centro comercial utilizando la siguiente expresión:

$$T = 2,58 X + 381$$

Donde:

T: número de viajes producidos o el volumen total del tráfico en ambos sentidos

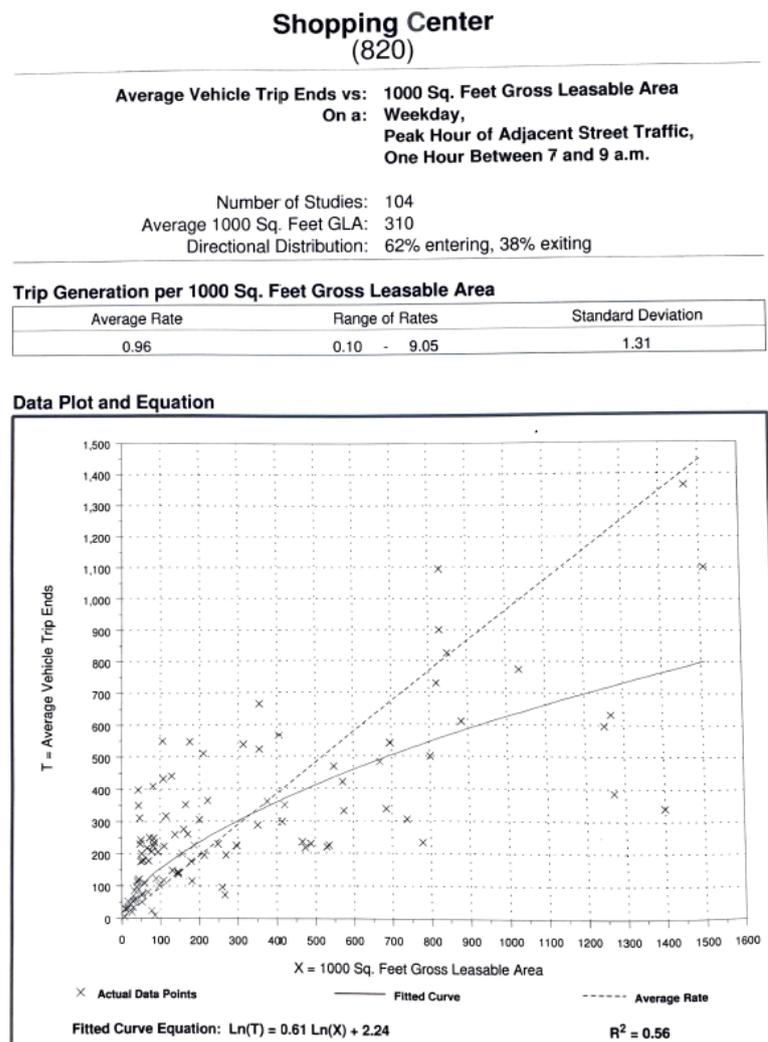
X: superficie por cada 1000 ft²

A esta ecuación se proporciona también el porcentaje de distribución por sentidos en función del periodo de tiempo que se esté analizando, estos porcentajes hacen referencia a los viajes que serán de entrada al centro comercial y la proporción de viajes que saldrán del mismo.

Los resultados obtenidos con esta metodología consideran la hipótesis más desfavorable, quedando del lado de la seguridad.

En las siguientes imágenes se muestran los parámetros propuestos por el ITE para la generación de viajes de un centro comercial en la hora punta de la mañana y en la hora punta de la tarde.

Figura 21. Estimación de viajes generados. Shopping Center. Trip Generation Manual. ITE





Shopping Center (820)

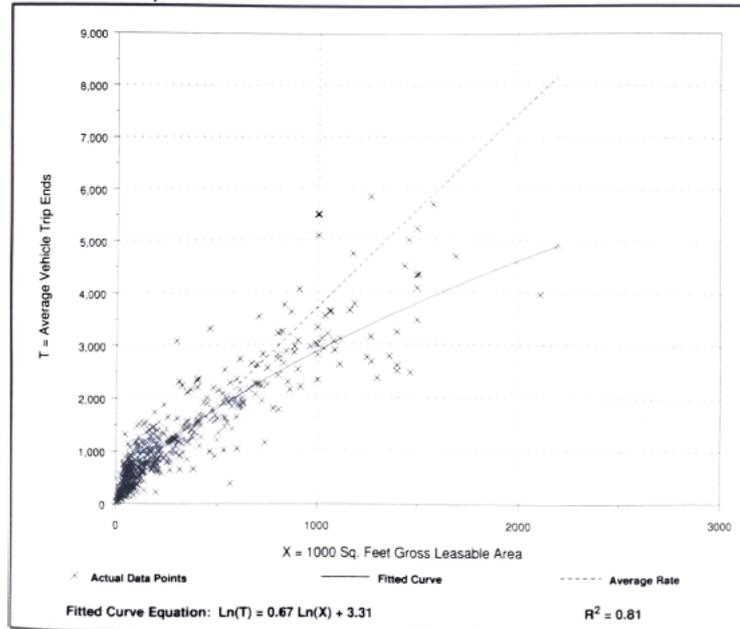
Average Vehicle Trip Ends vs: 1000 Sq. Feet Gross Leasable Area
On a: Weekday,
Peak Hour of Adjacent Street Traffic,
One Hour Between 4 and 6 p.m.

Number of Studies: 426
Average 1000 Sq. Feet GLA: 376
Directional Distribution: 48% entering, 52% exiting

Trip Generation per 1000 Sq. Feet Gross Leasable Area

Average Rate	Range of Rates	Standard Deviation
3.71	0.68 - 29.27	2.74

Data Plot and Equation



4. CARACTERÍSTICAS DE LA ACTUACIÓN

4.1. Situación y características principales

La parcela objeto de estudio se encuentra ubicada en el barrio de Cuatro Caminos situado en la zona noroeste de Madrid, Comunidad de Madrid, en la manzana que comprenden la Avenida de la Reina Victoria, Avenida de Pablo Iglesias, la calle de Marqués de Lema y la calle de Esquilache.

Figura 22. Ubicación del centro comercial



La parcela tendrá un uso terciario y estará ocupada por un centro comercial, con una edificabilidad total de 8.500 m² y 260 plazas de aparcamiento. Además del centro comercial la parcela contará con zonas verdes y nuevo viario.

Las superficies establecidas por usos para este ámbito de actuación son las siguientes:

Tabla 5. Usos y superficies

Uso	Superficie (m ² e)
Terciario	8.500
Zonas verdes	12.300

A continuación, se muestra un plano del emplazamiento con los diferentes usos asociados.

Figura 23. Esquema de ordenación



4.2. Principales accesos en vehículo privado

Actualmente el acceso a la parcela se realiza a través de la Calle Virgen de Nieva.

Figura 24. Localización acceso actual a la parcela



Cuatro son los principales itinerarios de acceso a la parcela:

- Calle de Bravo Murillo, conectando con la Plaza de Castilla.
- Calle de Raimundo Fernández Villaverde, conectando con la Calle de Joaquín Costa.
- Calle de Santa Engracia, conectando con Glorieta de Alonso Martínez.
- Avenida de Reina Victoria, conectando con San Francisco de Sales.

El primero de los itinerarios se utiliza para el acceso desde el arco norte de la ciudad, así como alternativa al segundo de los itinerarios, desde el cual también se da servicio al acceso desde el norte.

El segundo itinerario, apoyado en Calle Raimundo Fdez. Villaverde se utiliza principalmente para el acceso desde el Este de la ciudad, a través de la Calle de Joaquín Costa.

El tercer itinerario se utiliza para el acceso desde la zona sur, mediante la Calle de Santa Engracia.

El cuarto acceso se utiliza para acceder desde el oeste, Paseo San Francisco de Sales y Avenida de Reina Victoria.

Cuatro son los principales itinerarios de dispersión desde la parcela:

- Calle de Bravo Murillo, conectando con la Plaza de Castilla.
- Calle de Raimundo Fernández Villaverde, conectando con la Calle de Joaquín Costa.
- Calle de Bravo Murillo, conectando con Glorieta de San Bernardo.
- Calle de Bravo Murillo, conectando con Avenida de Filipinas.

El primero de los itinerarios se utiliza para la dispersión hacia el norte de la ciudad, y como alternativa al segundo de los itinerarios, desde el cual también se da servicio a la dispersión desde el norte.

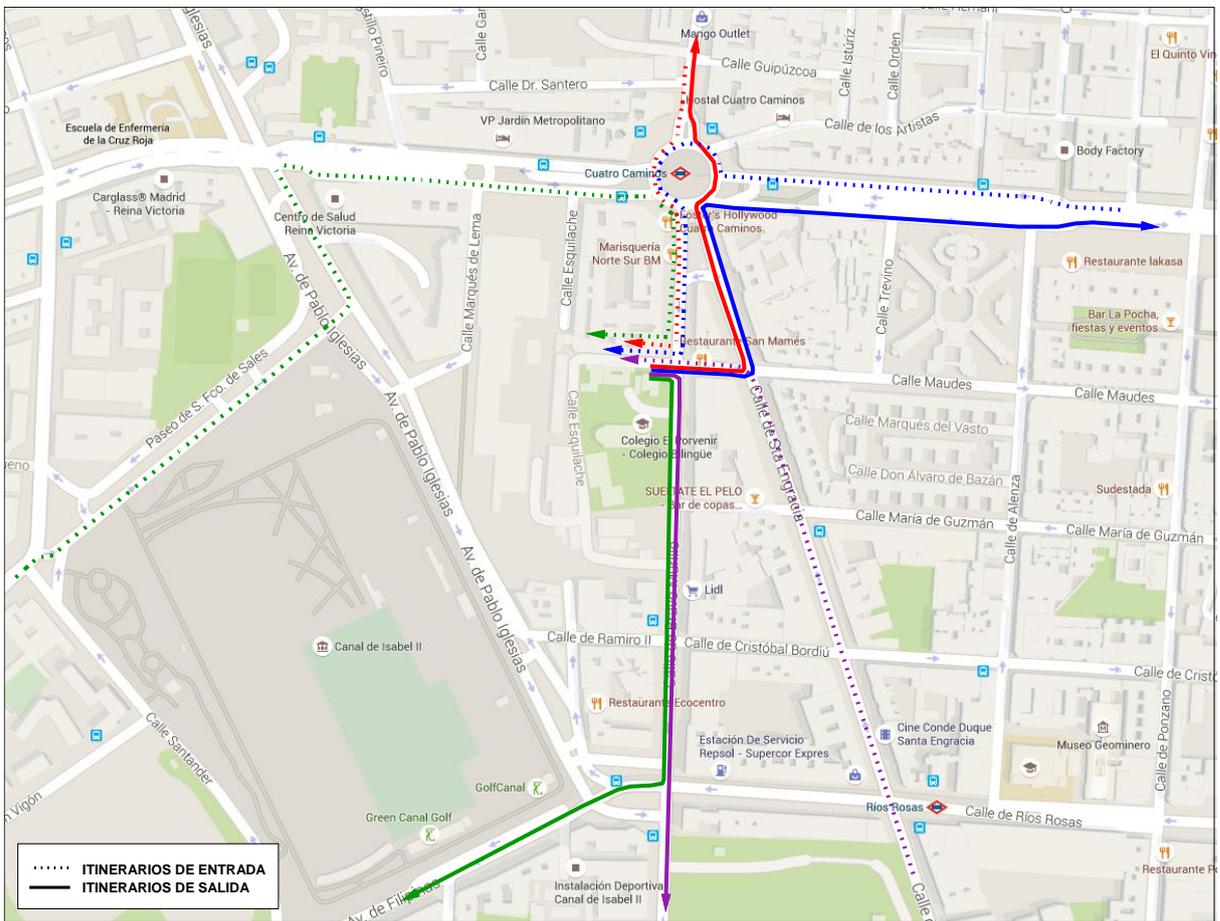
El segundo itinerario, apoyado en Calle Raimundo Fernández Villaverde, se utiliza principalmente para la dispersión hacia el Este de la ciudad mediante la Calle de Joaquín Costa.

El tercer itinerario se utiliza para la dispersión hacia la zona sur, mediante la Calle Bravo Murillo.

El cuarto itinerario de dispersión se utilizaría para las salidas hacia el oeste, Calle Bravo Murillo conectando con Avenida de Filipinas.

La siguiente figura recoge los itinerarios de acceso y dispersión anteriormente explicados.

Figura 25. Itinerarios de Acceso y Dispersión.



5. CARACTERIZACIÓN DEL ENTORNO URBANO. OFERTA DE TRANSPORTE

5.1. Características del Viario

En el presente apartado se recoge la localización y caracterización del viario en el entorno de la parcela objeto de estudio.

Figura 26. Localización y denominación del viario en el entorno de la parcela



La red viaria existente en el entorno estudiado se compone de un viario arterial, que tiene una mayor capacidad y velocidad de circulación y que vertebra el ámbito, y de un viario local, que tiene una menor capacidad y velocidad de circulación y que es utilizado para viajes de más corto recorrido y, además, da acceso a diferentes aparcamientos.

El Viario Arterial está compuesto por las siguientes vías:

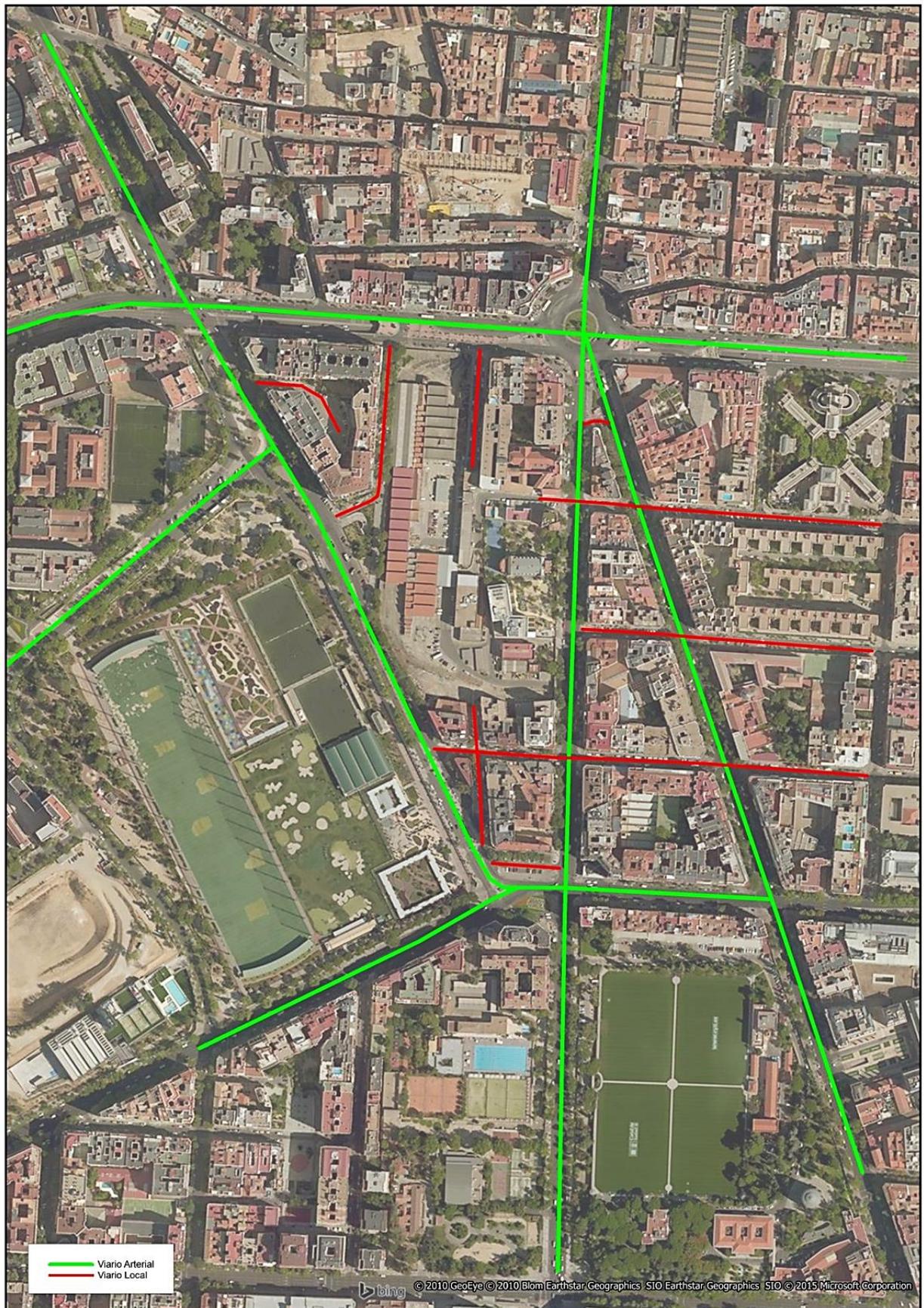
- **Eje de Avda. de Reina Victoria con Calle de Raimundo Fernández Villaverde:** son vías arteriales que se componen en el tramo objeto de estudio de vías laterales de dos carriles por sentido de circulación además de un viario en túnel que discurre por debajo de la glorieta de cuatro caminos con dos carriles por sentido.
- **Calle de Bravo Murillo:**
 - En el tramo que discurre entre la Glorieta de Quevedo y la Glorieta de Cuatro Caminos, es una vía de gran capacidad con 5 carriles en un único sentido de circulación Norte - Sur.
 - En el tramo que discurre entre la Glorieta de Cuatro Caminos y Plaza de Castilla, es una vía de con 2 carriles por sentido de circulación.
- **Calle de Santa Engracia:** es una vía con 3 carriles de un único sentido de circulación, que discurre en sentido Sur - Norte.
- **Eje de Calle de Ríos Rosas con Avda. de Filipinas:** son vías de 4 carriles con un único sentido de circulación, que conforman un eje Este - Oeste.
- **Avda. de Pablo Iglesias:** se trata de una vía de doble sentido circulatorio con dos carriles por sentido de circulación.

Forman parte del Viario Local las siguientes vías:

- Paseo San Francisco de Sales
- Calle Marqués de Lema
- Eje de la Calle Virgen de Nieva con Calle Maudes
- Calle de Esquilache
- Calle de Santa María de Guzmán
- Eje de la Calle de Ramiro II con Calle de Cristóbal Bordiú

La siguiente figura recoge la jerarquización del viario en el entorno de la actuación.

Figura 27. Jerarquización del viario



Las siguientes figuras recogen los sentidos de circulación en el entorno y las secciones geométricas de las principales vías y el número de carriles.

En general se observa que el viario local es de un único sentido de circulación y de un carril de circulación, a excepción de la Calle Esquilache, que al ser en fondo de saco se utiliza en doble sentido circulatorio, y del eje formado por la Calle Ramiro II con Calle Cristóbal Bordiú que es de un sentido de circulación, pero con dos carriles.

Por su parte, el viario de tipo arterial es también mayoritariamente de un único sentido circulatorio, con excepción de la Avda. de Reina Victoria, la Calle de Raimundo Fernández Villaverde y de la Avenida de Pablo Iglesias, que son de doble sentido de circulación.

Figura 28. Sentidos de circulación

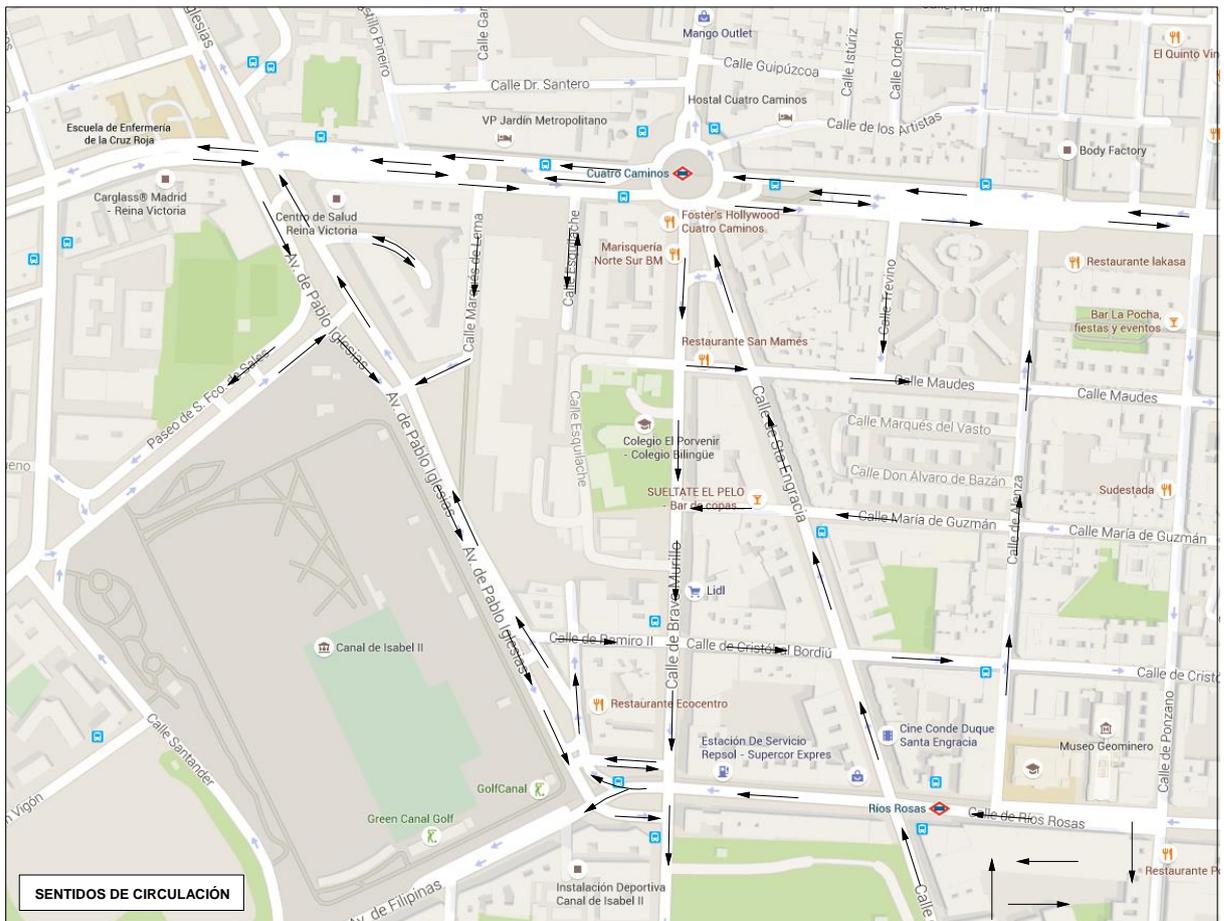


Figura 29. Secciones geométricas y número de carriles



5.2. Características del Aparcamiento

Se observa que la tipología del viario en el ámbito muestra generalmente plazas de aparcamiento en ambos lados de la calle. En él se han contabilizado un total de 738 plazas de aparcamiento, de las cuales 710 son para turismo y 28 son para motos.

Con respecto a la tipología de las 710 plazas de turismos, se observa que 599 plazas son en línea (64%) frente a 254 plazas que son en batería (36%), dicho número de plazas incluye las plazas reservadas a carga y descarga, Personas de Movilidad Reducida, etc.

Por otra parte, las 28 plazas de aparcamiento disponibles para motos se encuentran principalmente concentradas en la Avda. de Pablo Iglesias, con 12 plazas, y en la Calle Bravo Murillo, con 16 plazas.

El aparcamiento en el viario del entorno de las Cocheras de Metro de Cuatro Caminos se caracteriza por pertenecer en su totalidad al ámbito de la zona de Servicio de Estacionamiento Regulado (*SER*).

La mayoría de las plazas de aparcamiento son verdes, es decir, destinadas preferentemente a residentes del barrio, aunque también podrán estacionar los visitantes (no residentes del barrio o zona específica) por un tiempo máximo de 2 horas. En total se han contabilizado 599 plazas verdes (81%) y 139 azules (19%).

Las plazas de zona Azul son mayoritariamente en línea (92%), mientras que las plazas de zona Verde se encuentran más repartidas, con un 59% de plazas en línea y un 41% en batería.

Las plazas azules se concentran principalmente en la Avda. de Pablo Iglesias en el sentido Norte-Sur y en la Calle Bravo Murillo.

En las siguientes figuras se observan todas las indicaciones sobre la localización, tipología de las plazas de aparcamiento y plazas de zona SER, antes descritas.

Figura 30. Plazas de aparcamiento en el viario



Figura 31. Tipología de las plazas de aparcamiento en el viario



Figura 32. Plazas de SER

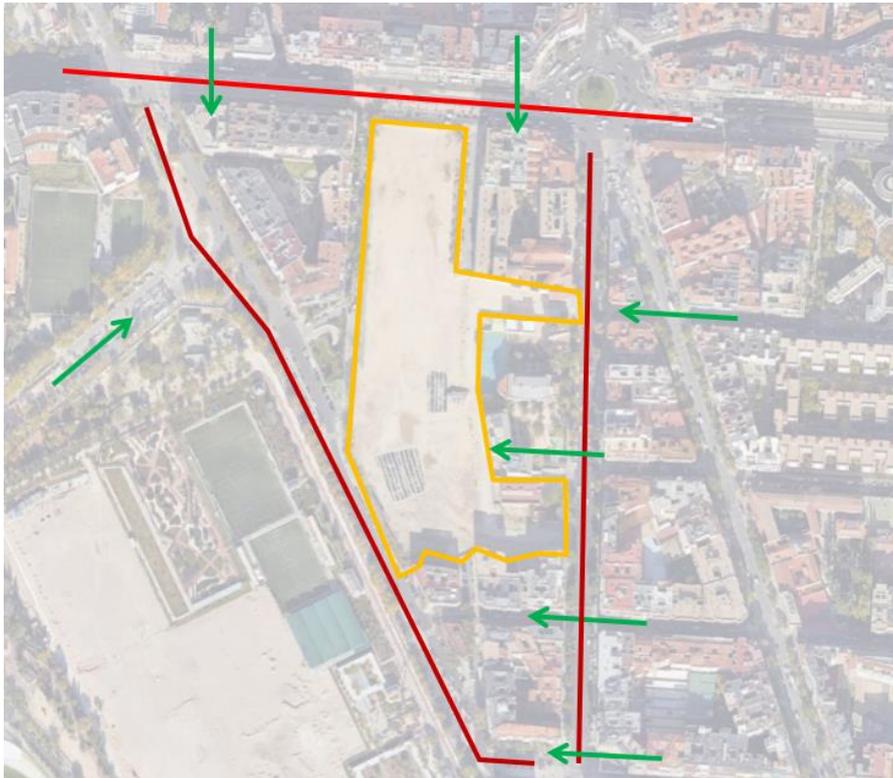


5.3. Características del Viario Peatonal

En este apartado se describe la situación actual de los accesos peatonales a la zona objeto de estudio, así como su relación con las paradas de transporte público próximas.

El acceso a pie al área de estudio se realiza desde el Norte por la Avda. de Reina Victoria, desde el Suroeste a través de la Avda. de Pablo Iglesias y desde el Este por las calles perpendiculares de acceso a Bravo Murillo, como son Virgen de Nieva, María de Guzmán y Cristóbal Bordiú.

Figura 33. Accesos peatonales



Actualmente todas las intersecciones que dan acceso al ámbito tienen pasos de cebra, lo que facilita la movilidad.

De todas las intersecciones del área, únicamente se encuentran pasos semaforizados para peatones en las intersecciones de mayor la complejidad, como es la glorieta de Cuatro Caminos, la intersección de Avda. de Reina Victoria con la Avda. de Pablo Iglesias y la Plaza de Juan de Zorrilla. A parte de dichas intersecciones, cabe señalar la semaforización ubicada en Avda. de Pablo Iglesias con Paseo de San Francisco de Sales, y la de la calle de Bravo Murillo con Ramiro II.

Los usuarios de Metro que se apean en la estación Cuatro Caminos tienen un total de 6 puntos de acceso, dos en Avenida Reina Victoria, dos en Calle Bravo Murillo, otro en Calle Santa Engracia y otro en Calle Maudes. Todos ellos se encuentran bien comunicados y tienen fácil acceso, además uno de ellos se lleva a cabo mediante ascensor (Calle Bravo Murillo), facilitando el acceso-dispersión de las Personas de Movilidad Reducida.

La accesibilidad a las paradas de las líneas de EMT es buena en todos los casos. Además, debido a la elevada oferta de líneas en el ámbito, los usuarios tienen múltiples opciones de comunicación con los distintos ámbitos del municipio de Madrid.

En las siguientes figuras se representa la situación de los pasos de peatones y semáforos del área de estudio, así como la situación de las paradas y estaciones de transporte público cercanas.

Figura 34. Localización de pasos de cebra y semáforos



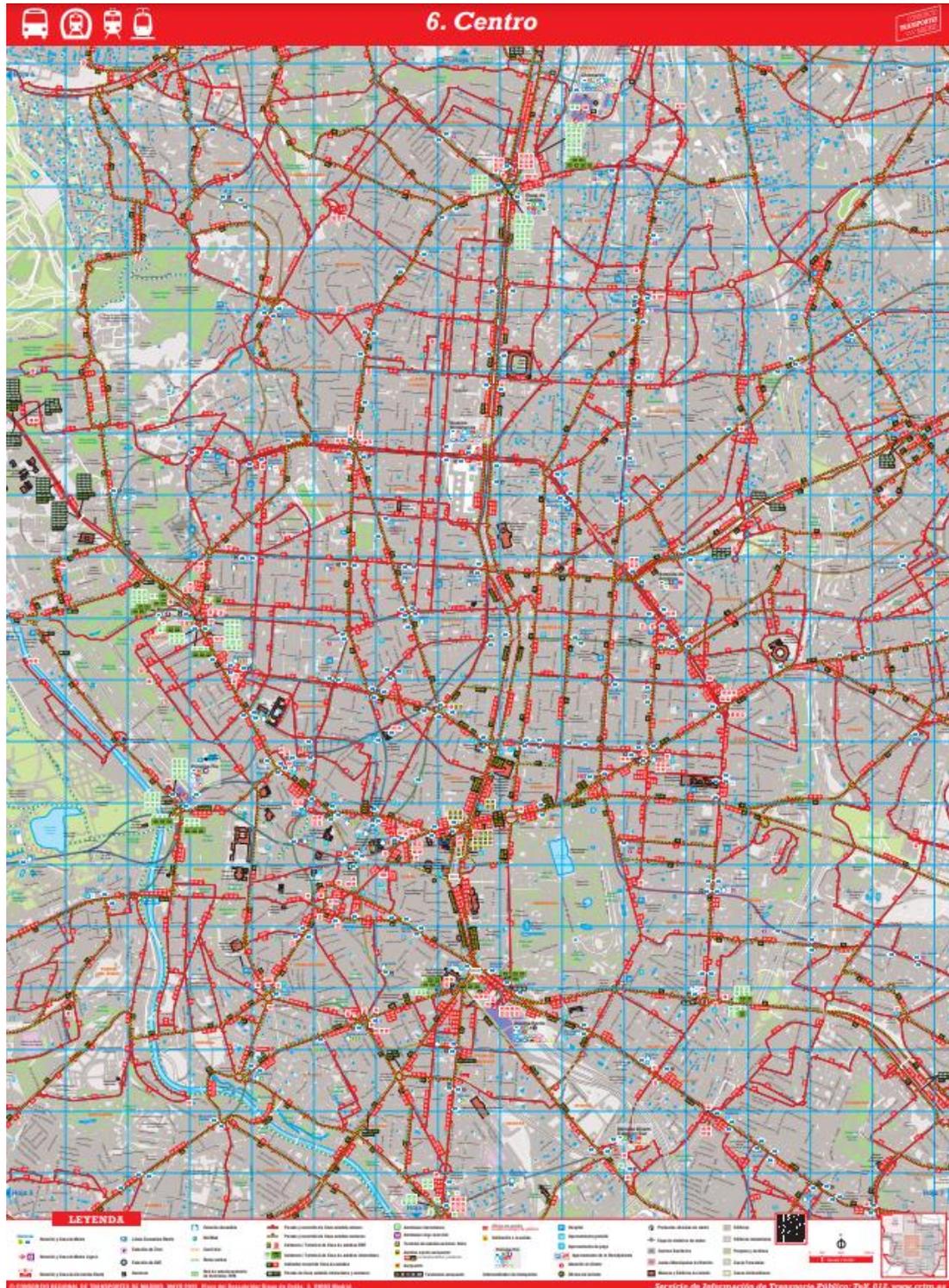
Figura 35. Localización general de paradas y estaciones de transporte público



5.4. Características de la oferta de transporte público

A la hora de analizar la movilidad del entorno se debe caracterizar la oferta de transporte público existente que podrá dar servicio al nuevo desarrollo; este sistema de transporte está compuesto por la red de autobuses urbanos (EMT) y por la red de metro.

Figura 36. Plano de Transportes del centro de Madrid. Consorcio Regional de Transportes



En el Anejo I se recogen los horarios e itinerarios de las líneas de transporte del centro de Madrid.

5.4.1. Autobuses urbanos (EMT)

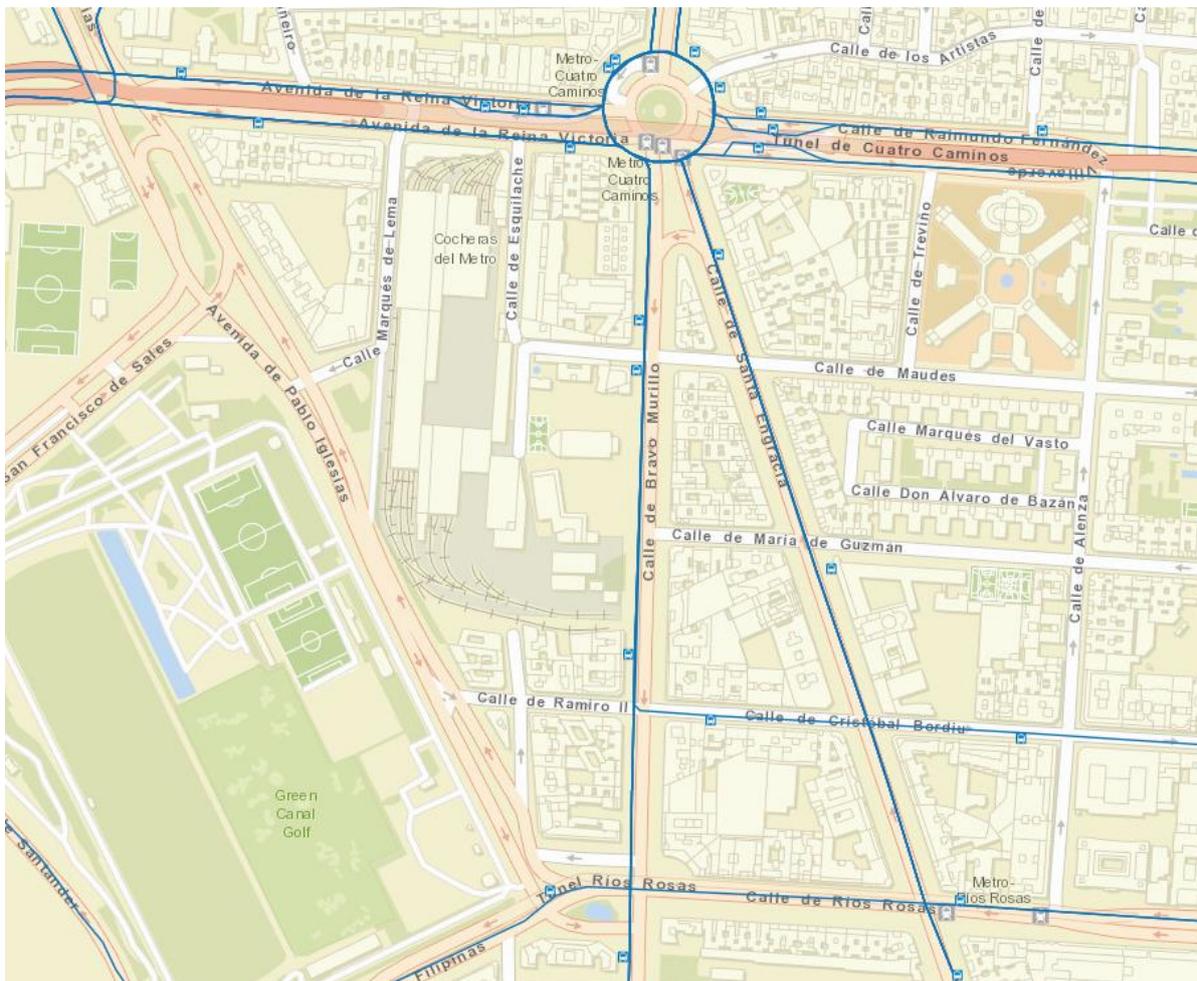
Las líneas de EMT que dan servicio de forma más directa a la parcela objeto de estudio son las que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6. Líneas de EMT

Línea	Descripción
3	Puerta de Toledo – San Amaro
37	Alonso Martínez - Manoteras
45	Legazpi – Reina Victoria
64	Cuatro Caminos – Arroyo Fresno
66	Cuatro Caminos - Fuencarral
124	Cuatro Caminos - Lacoma
127	Cuatro Caminos – Calle Periodistas
128	Calle Caminos – Barrio del Pilar
149	Tribunal – Plaza Castilla
C1	Circular 1
C2	Circular 2
F	Cuatro Caminos – Calle Universitaria

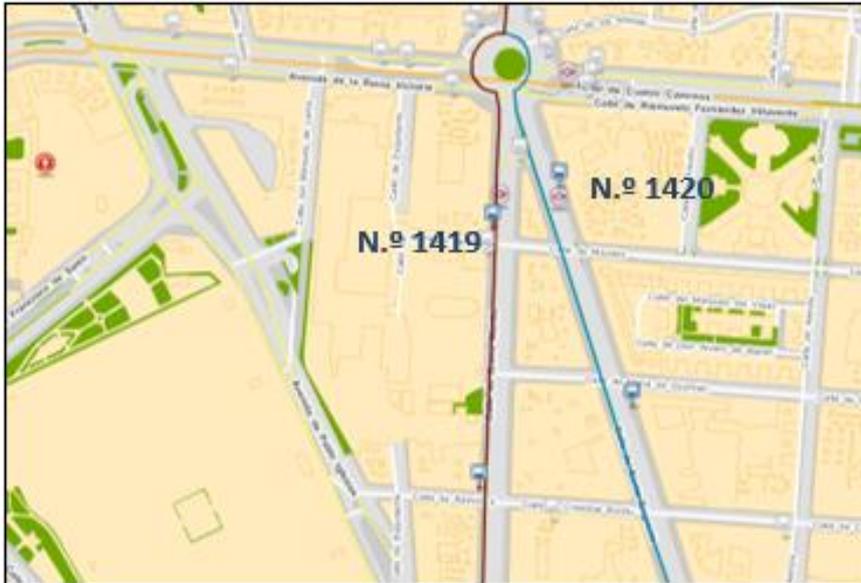
La localización de las paradas de autobús urbano existentes en el entorno se muestra en la siguiente figura:

Figura 37. Localización de paradas de autobús urbano.

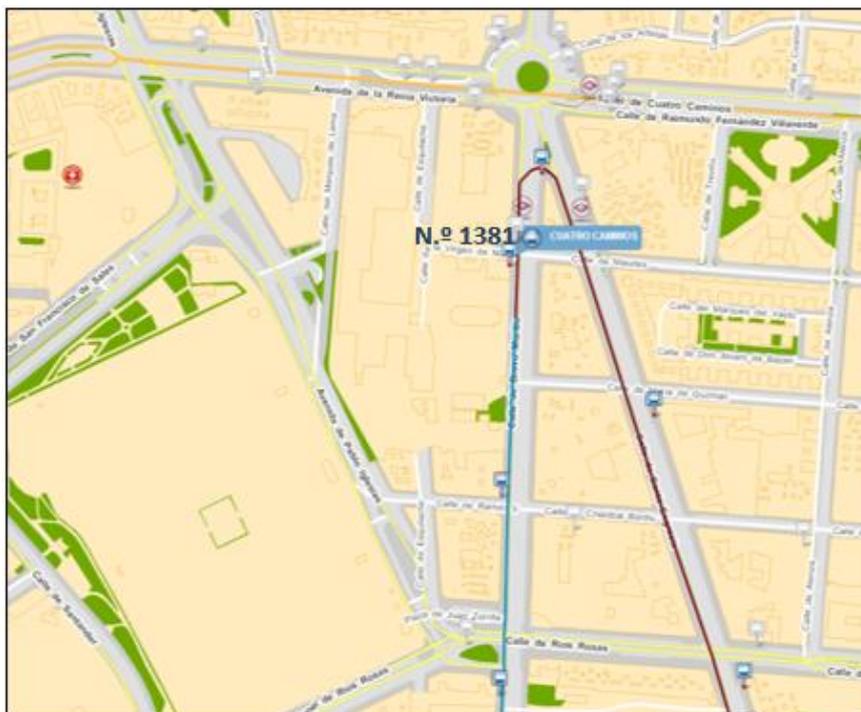


Por otra parte, se han seleccionado las paradas más cercanas y que pueden resultar significativas, estas son:

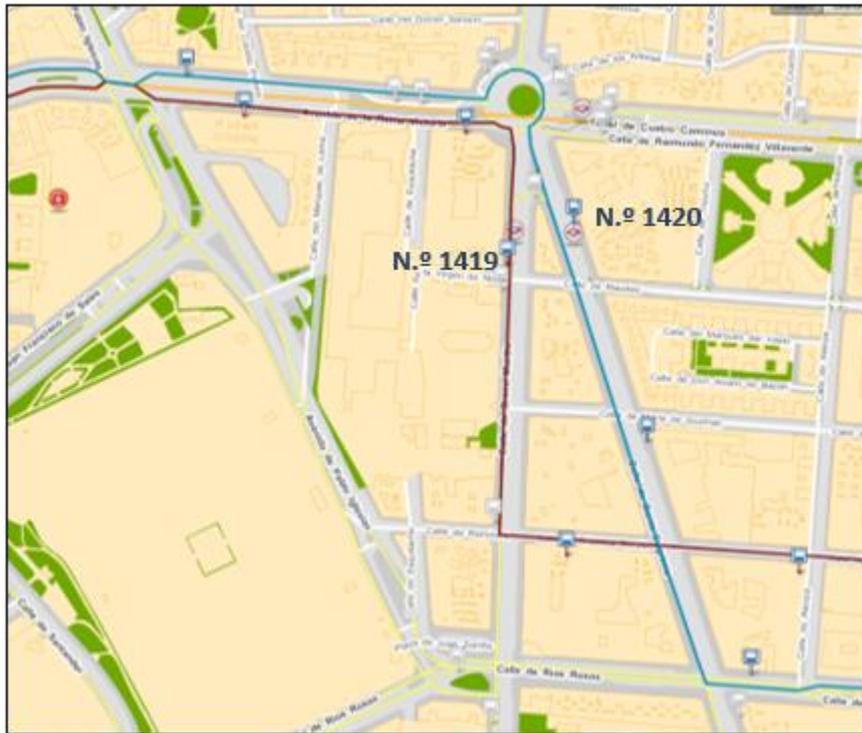
- Línea 3:
- Paradas Cuatro Caminos. N.º.1419 y N.º.1420.



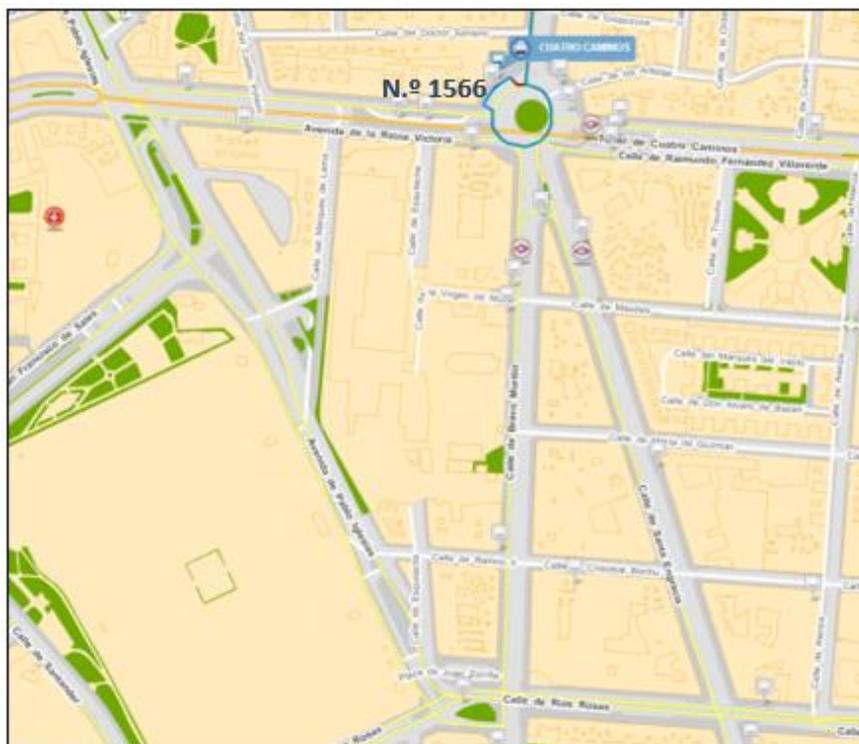
- Línea 37:
- Parada Bravo Murillo – Maudes. N.º.1381.



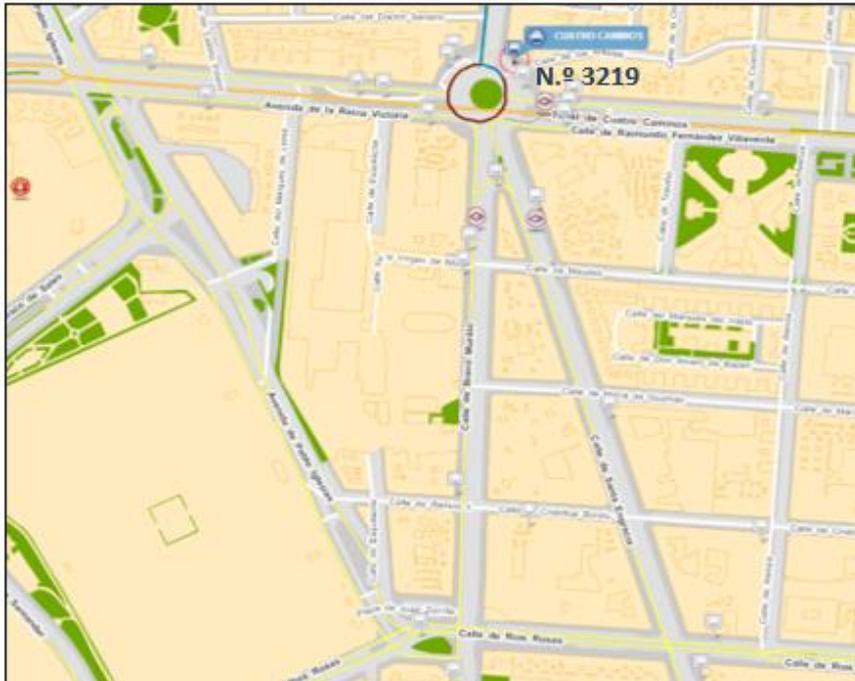
- Línea 45:
- Paradas Cuatro Caminos. N.º.1419 y N.º.1420.



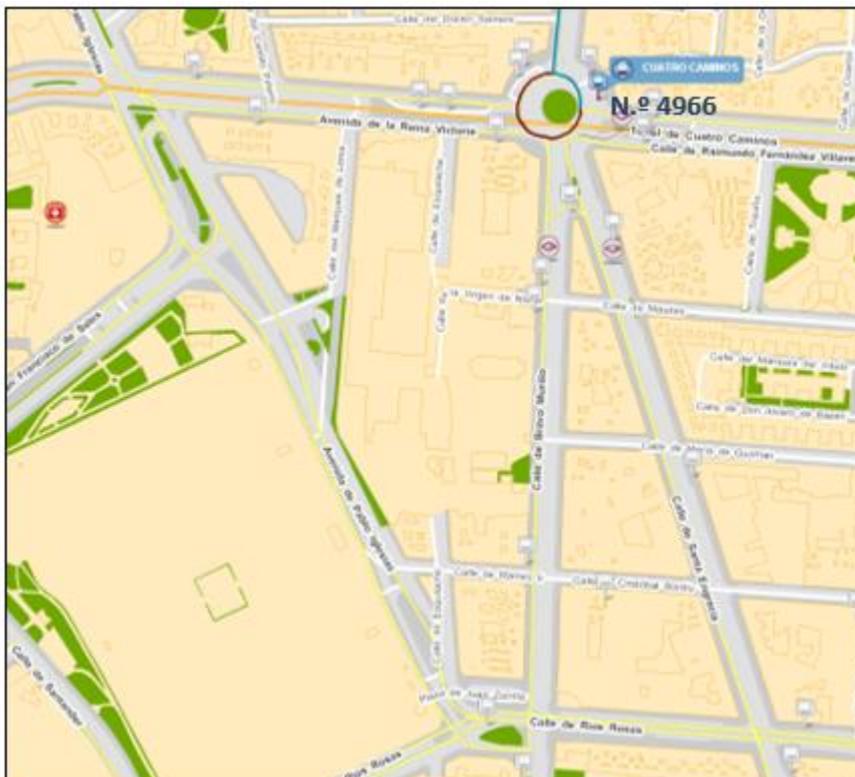
- Línea 64:
- Parada Gta. Cuatro Caminos. N.º.1566.



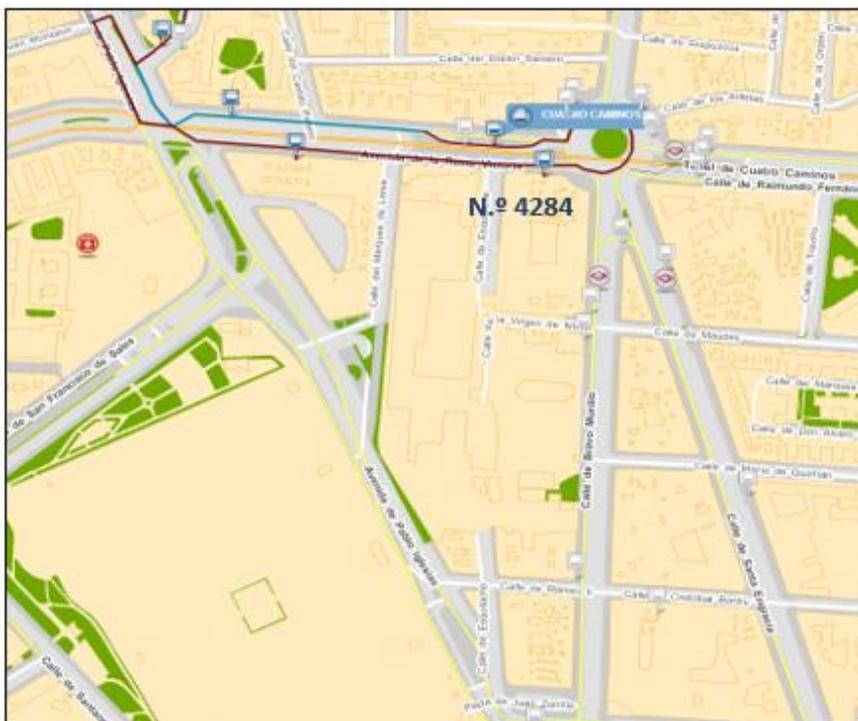
- Línea 66:
- Parada Gta. Cuatro Caminos. Nº.3219.



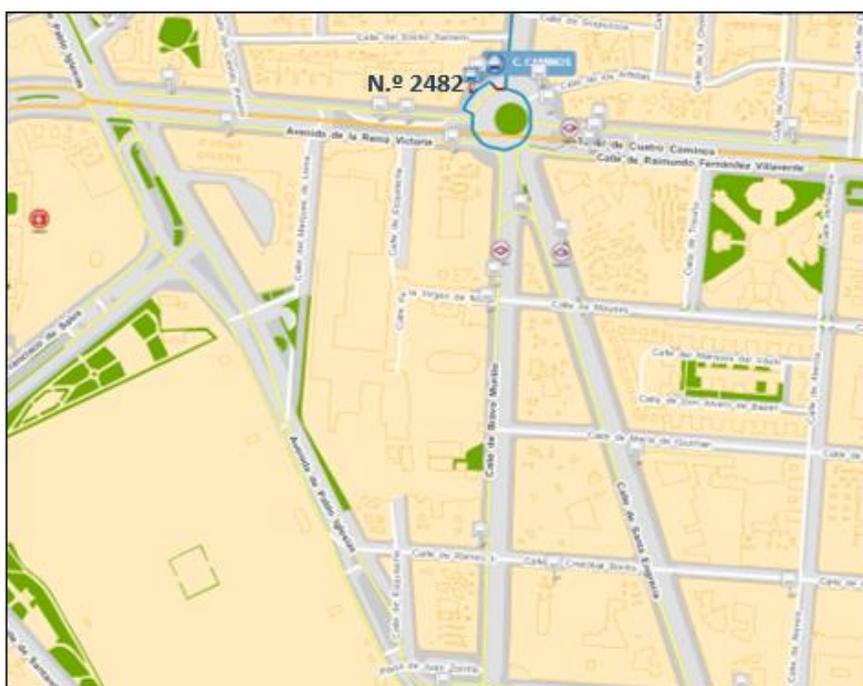
- Línea 124:
- Parada Gta. Cuatro Caminos. Nº.4966.



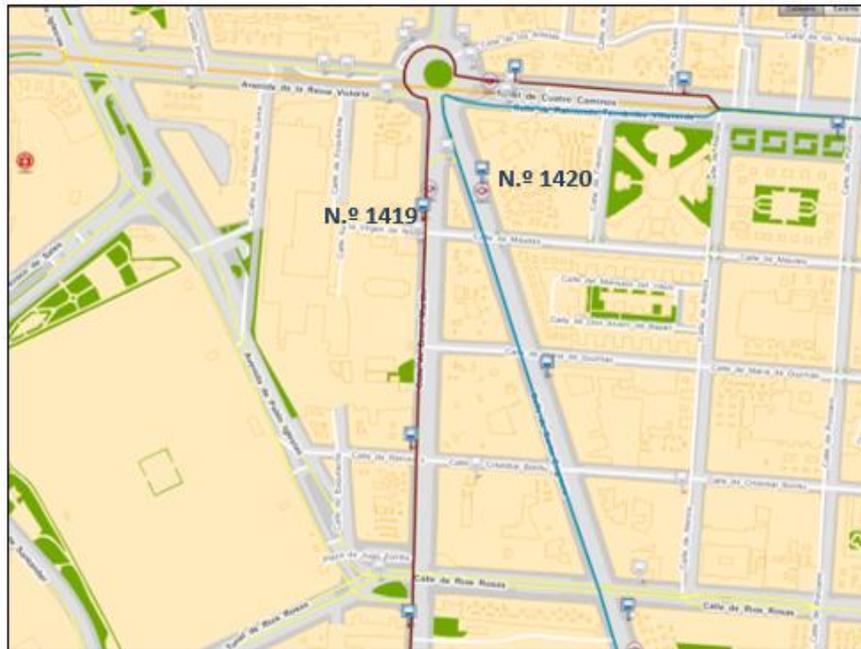
- Línea 127:
- Parada Gta. Cuatro Caminos. N.º.4284.



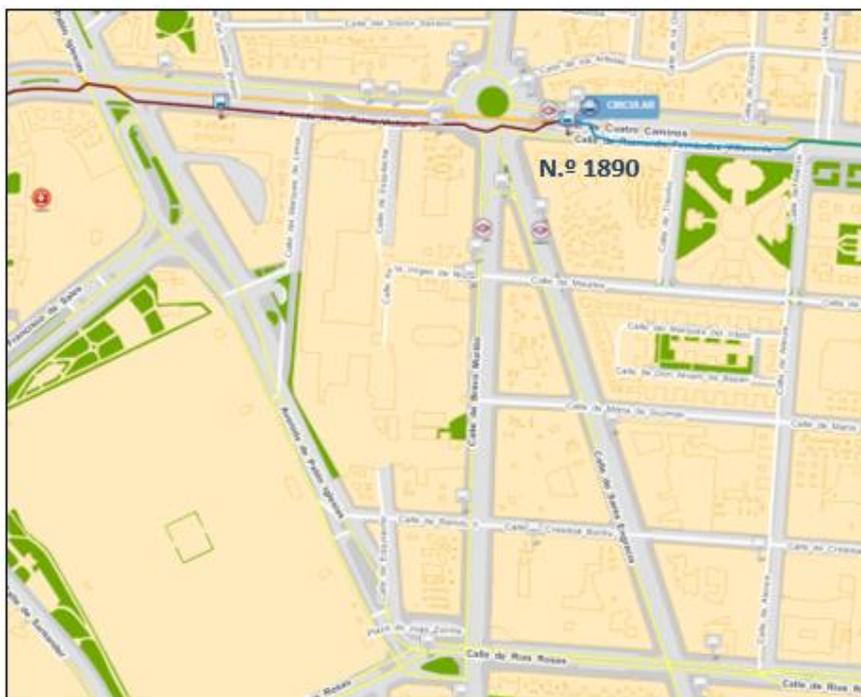
- Línea 128:
- Parada Gta. Cuatro Caminos. N.º.2482.



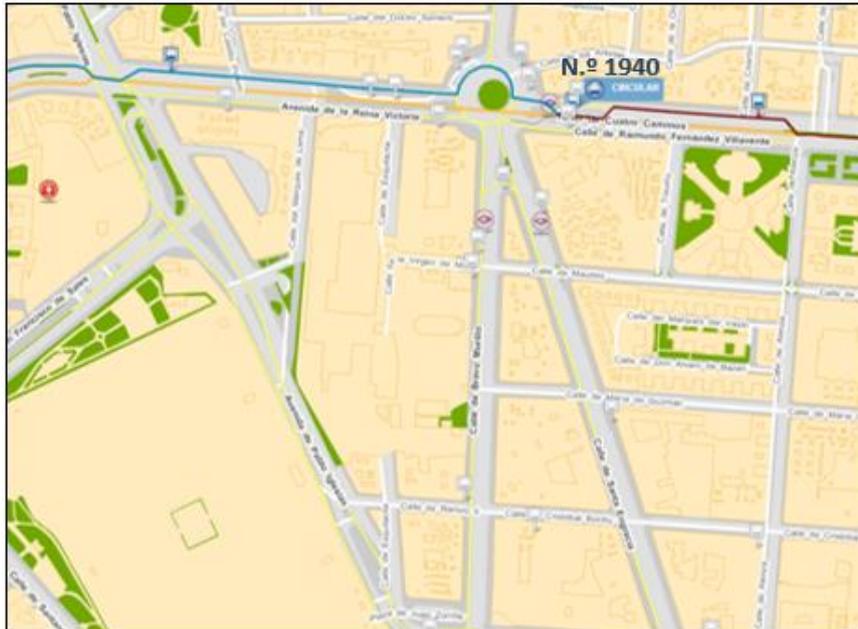
- Línea 149:
- Paradas Cuatro Caminos. N.º.1419 y N.º.1420.



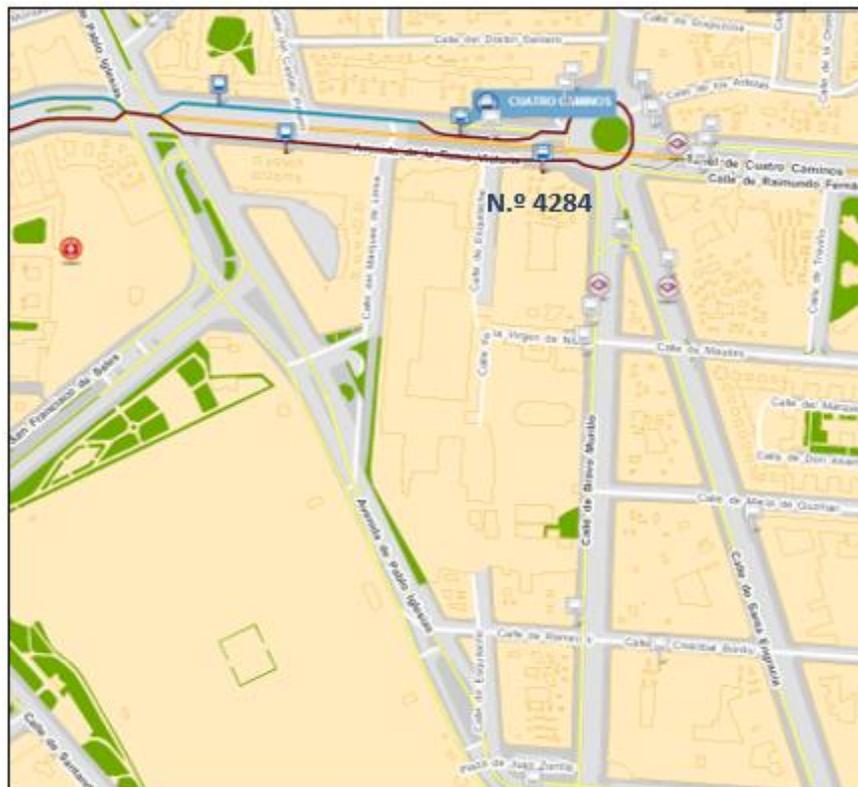
- Línea C1:
- Parada Cuatro Caminos. N.º.1890.



- Línea C2:
- Parada Cuatro Caminos. Nº.1940.



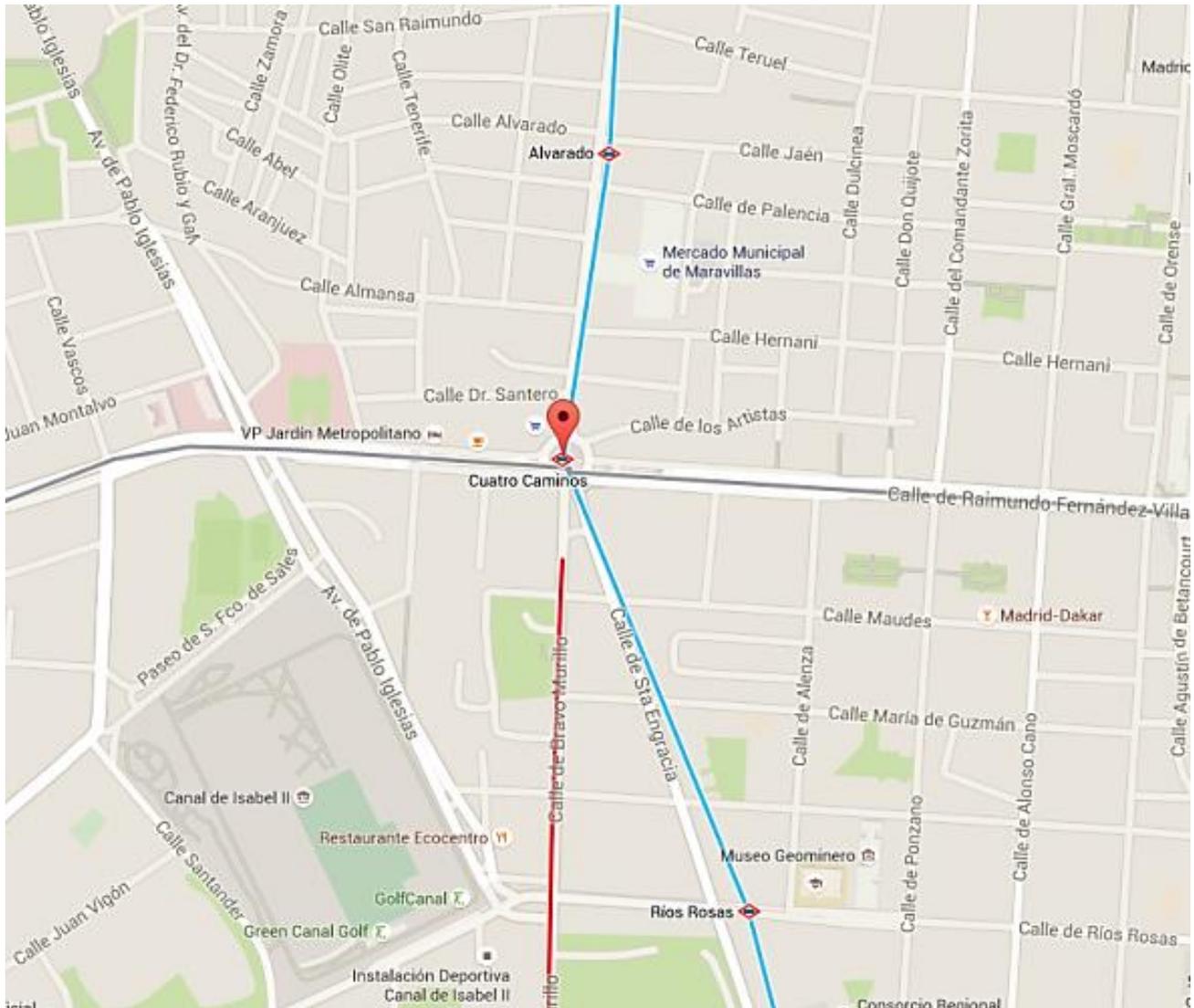
- Línea F:
- Parada Gta. Cuatro Caminos. Nº.4284.



5.4.2. Red de Metro de Madrid

La estación de Metro que se encuentra más próxima al área estudiada es la de Cuatro Caminos. Esta parada conecta con la **línea 1** “Pinar de Chamartín – Valdecarros”, la **línea 2** “Las Rosas – Cuatro Caminos” y la línea 6 “Circular”.

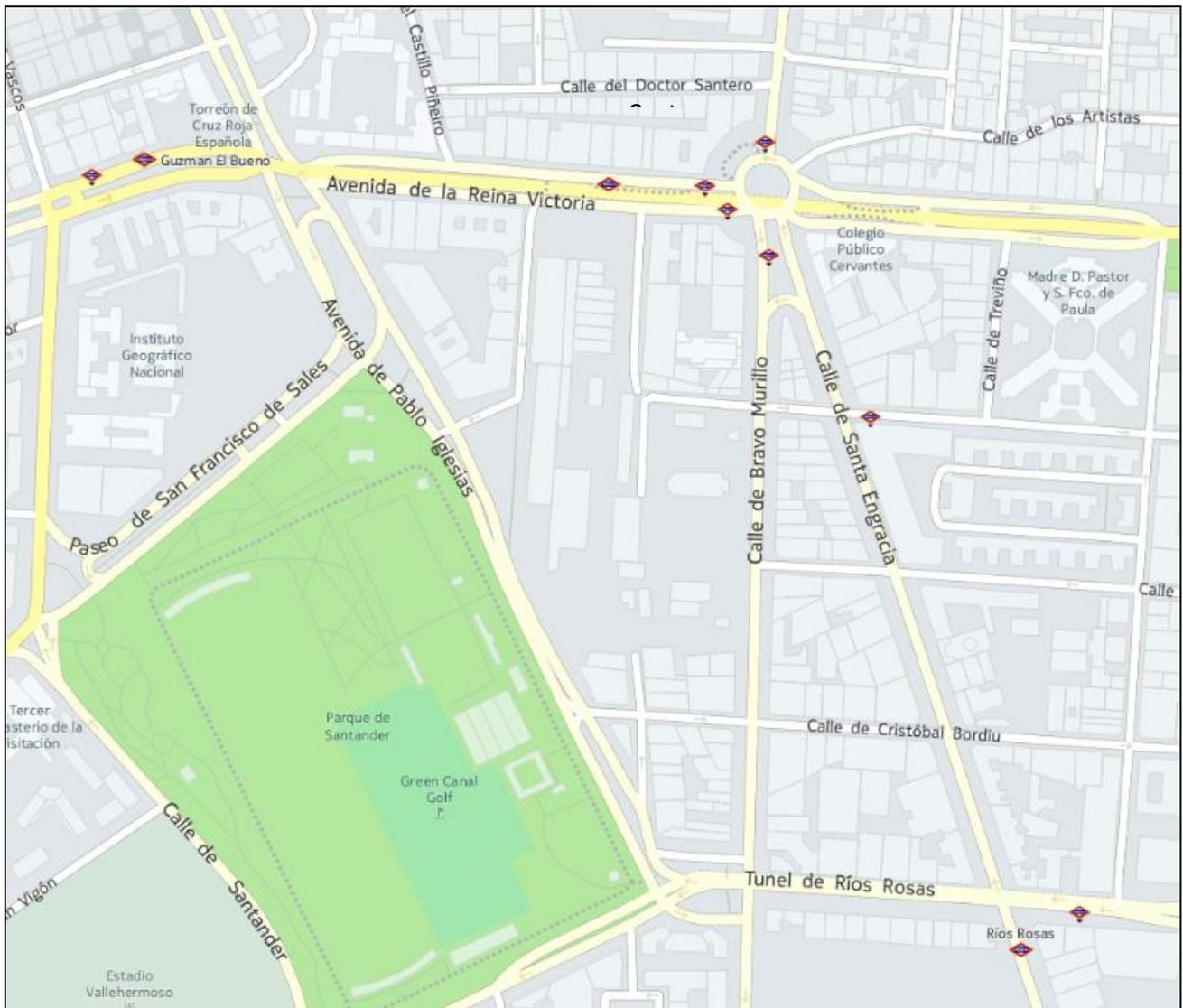
Figura 38. Líneas de Metro



Dicha estación de Cuatro Caminos tiene 6 accesos desde la calle:

- Reina Victoria impares: Gta. Cuatro Caminos (esq. Reina Victoria, 1).
- Reina Victoria pares: Avda. Reina Victoria, 2
- Santa Engracia: Calle Santa Engracia, 168
- Bravo Murillo: Calle Bravo Murillo, 101 (esq. Gta. Cuatro Caminos)
- Ascensor Exterior: Calle Santa Engracia (semiesquina Calle Bravo Murillo)
- Maudes: Calle Maudes, 8

Figura 39. Localización de las bocas de Metro Cuatro Caminos



6. CARACTERIZACIÓN DEL TRÁFICO

6.1. Tráfico en el entorno. Trabajo de campo

Para completar la información sobre tráfico y movilidad y determinar los flujos de vehículos en el ámbito de estudio se realizaron una serie de aforos sobre el terreno en los puntos que se detallan a continuación:

- Punto 1: Intersección de la Avda. de Reina Victoria con la Calle Marqués de Lema
- Punto 2: Intersección de la Calle de Bravo Murillo con la Calle María de Guzmán
- Punto 3: Intersección de la Avda. de Pablo Iglesias con la Calle Ramiro II
- Punto 4: Tronco de la Avda. de Pablo Iglesias

Los datos de aforos son aportados por la empresa Tema G.C., los cuales se recogieron mediante aforos automáticos de un día laborable. El periodo de investigación fue de 16 horas, entre las 6:00 de la mañana y las 22:00 de la tarde, distinguiéndose entre motos, ligeros y pesados. En la figura adjunta se refleja la localización de los puntos de aforo:

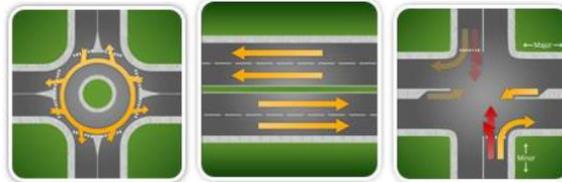
Figura 40. Localización de los puntos de aforo



Para la realización de aforos en intersecciones, troncales y glorietas, se utilizó un sistema de aforo automáticos mediante captura de VIDEO PORTATIL (Unidad Recolectora de video SCOUT) que permite la realización de aforos en el viario, realizando una recolección automática. Este sistema brinda como beneficios:

- Gran precisión de datos
- Proceso automatizado de recopilación de datos para reunir datos durante la noche y ante climas adversos
- Técnica no invasiva
- Portátil, puede ser transportada por distintos lugares

Con este sistema se pueden realizar todos los tipos de estudio:



Asimismo, se pueden realizar diferentes clasificaciones de los vehículos:



Con este sistema se mejora la precisión en un 95% a un 98%. El sistema permite realizar diferentes tipos de estudios como aforos de tronco, de intersecciones o de glorietas, y obtener información precisa respecto de la distribución temporal de los vehículos y la clasificación según la tipología de los mismos.

En el Anejo II del presente documento se recogen los resultados de dichos trabajos de campo.

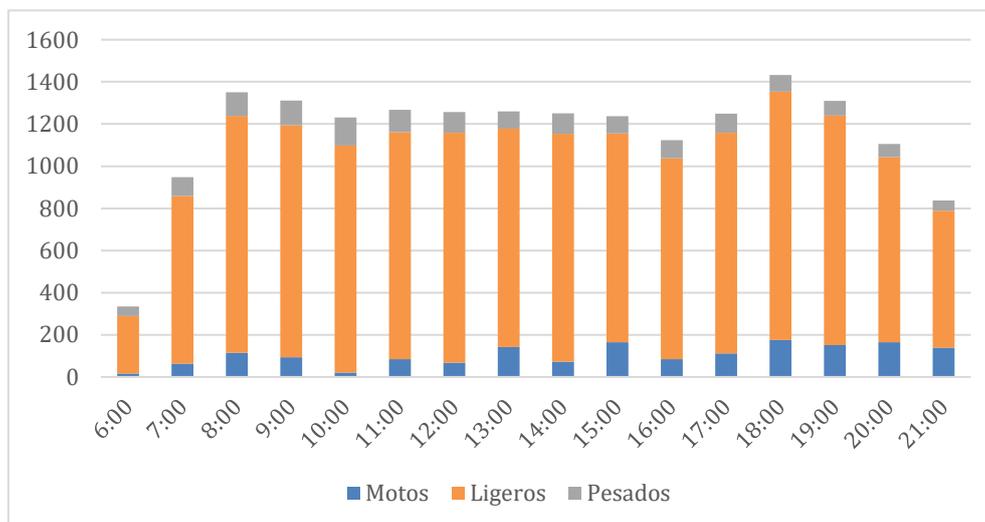
6.2. Datos de aforos

Para determinar las horas punta se ha tomado como referencia los datos recogidos en el punto 1 al ser el que registra un mayor flujo. En la siguiente figura se muestra la distribución de estos tráficos, donde se pueden observar dos picos de mayor intensidad uno por la mañana entre las 8:00 y las 9:00 horas y otro por la tarde entre las 18:00 y las 19:00 horas; por lo que las horas punta consideradas son las siguientes:

- Hora Punta de la Mañana (HPM), de 8:00 a 9:00
- Hora Punta de la Tarde (HPT), de 18:00 a 19:00

Por otro lado, del análisis de los aforos en el punto de referencia se ha obtenido que la proporción de vehículos pesados con respecto a los totales analizados es aproximadamente del 0,6% en la hora punta de la mañana y del 0,4% en la hora punta de la tarde.

Figura 41. Distribución horaria. Aforos punto 1



En las siguientes figuras se muestran los flujos actuales de vehículos ligeros y pesados tanto en la hora punta de la mañana como en la hora punta de la tarde:

Figura 42. Tráfico en aforo 1



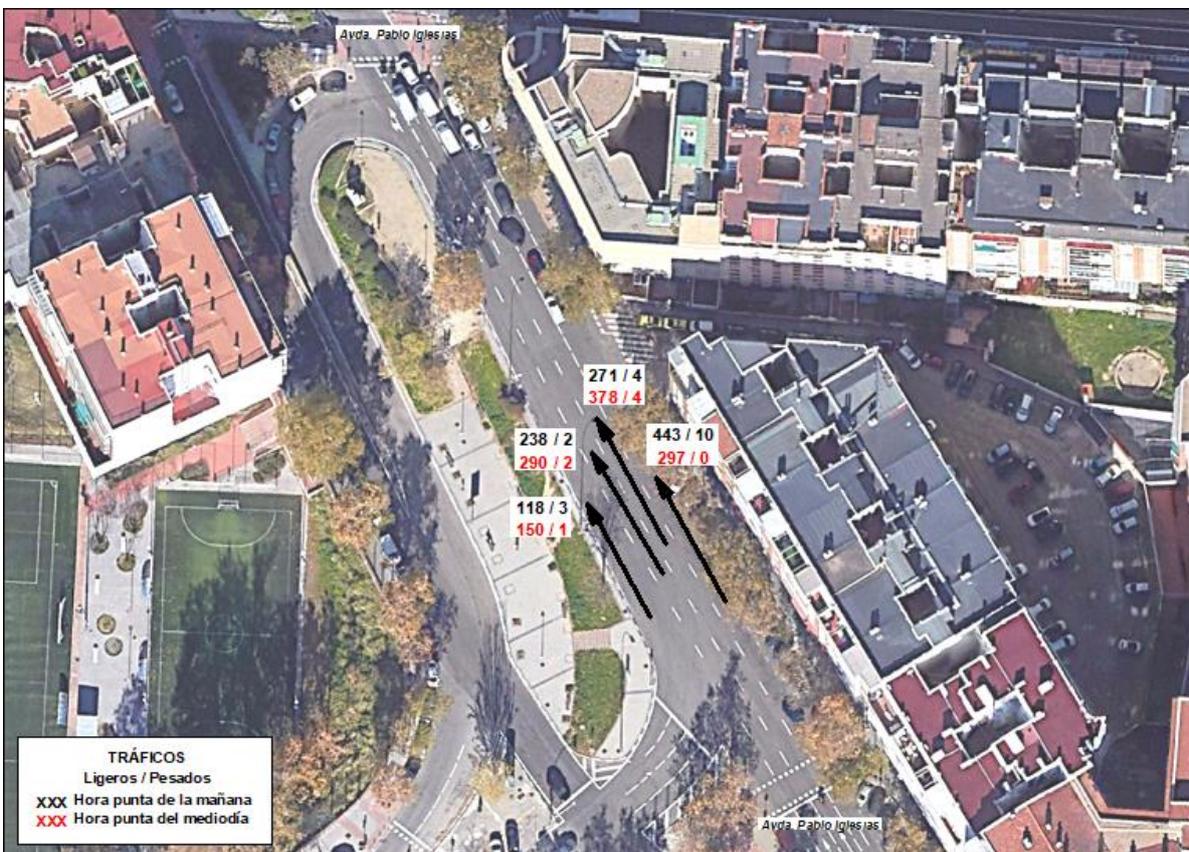
Figura 43. Tráfico en aforo 2



Figura 44. Tráfico en aforo 3



Figura 45. Tráfico en aforo 4



7. MODELO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

7.1. Modelización situación actual

Se ha modelizado toda la red viaria en el ámbito de estudio existente en el año actual, 2023. La red base correspondiente a la situación actual se compone de 84 nodos, 206 arcos y 12 zonas.

Se han distinguido los siguientes tipos de arco:

- **Viaro túnel**, tipo vía primaria, con unas velocidades en flujo libre de 50 km/h.
- **Viaro arterial**, con unas velocidades en flujo libre de entre 40 km/h.
- **Viaro local**, con unas velocidades en flujo libre de entre 25 km/h.

La siguiente figura recoge a modo ilustrativo el grafo completo del modelo de red viaria utilizado para el escenario base distinguiéndose los distintos tipos de arcos según el tipo de vía considerada para cada uno de los viales modelados.

Figura 46. Grafo de la red viaria en el escenario base. Arcos según tipo de vía.



En la siguiente figura se muestra la red modelizada tanto a nivel de viario como de zonas, las cuales suman 12.

Figura 47. Grafo de la red viaria en situación actual. Modelo Visum.



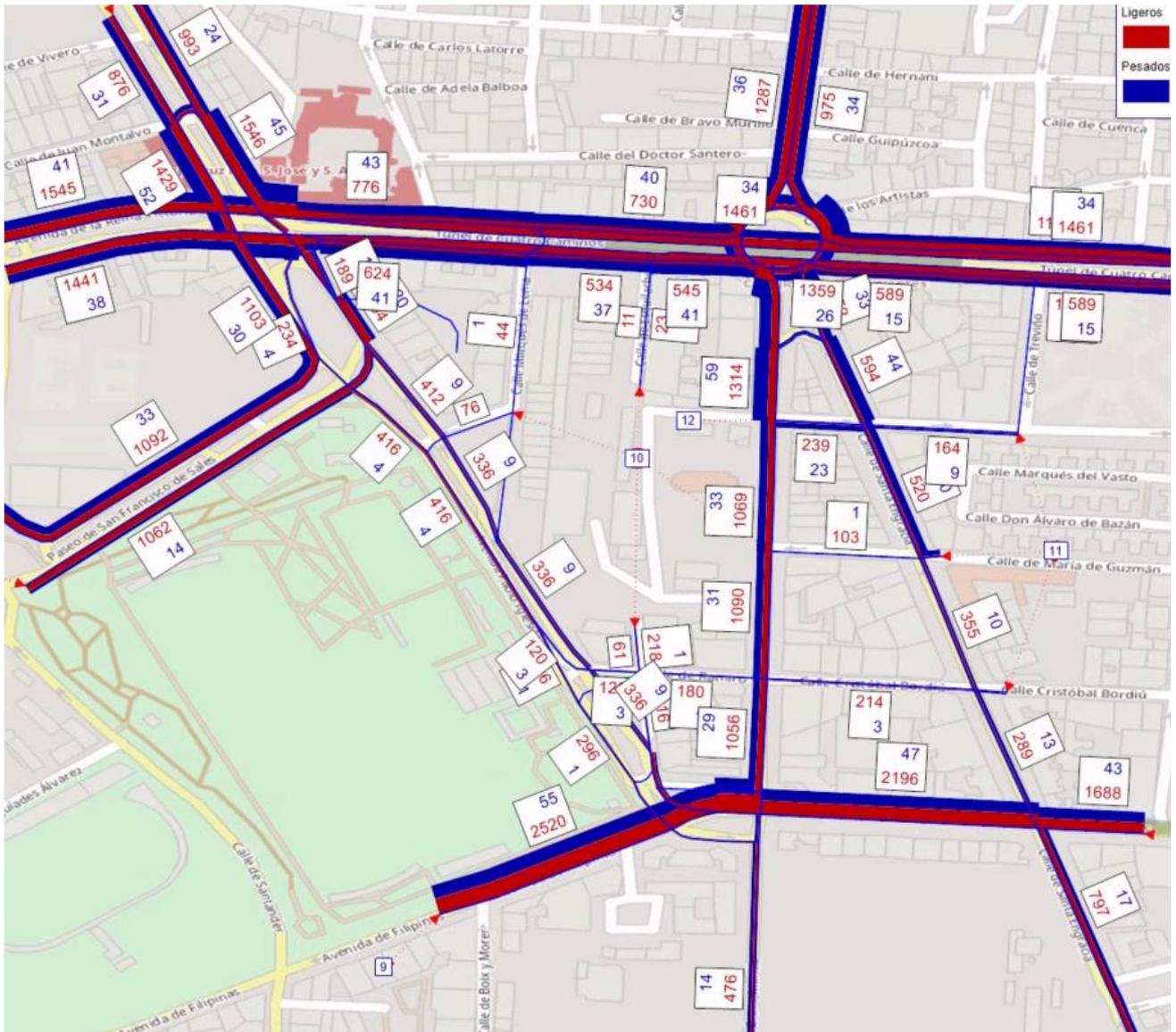
En el Anejo III se muestran las matrices actuales origen/destino horarias, obtenidas tras la asignación realizada y su ajuste empleando el método de mínimos cuadrados.

En la siguiente tabla se recogen los resultados de la calibración del modelo en los dos escenarios anteriores, donde se puede observar que la validación de la asignación es correcta, habiéndose demostrado la bondad de la asignación realizada mediante las técnicas descritas en la Nota de Servicio 5/2014.

Tabla 7. Resultados de la validación

	Escenarios	
	Hora Punta Mañana	Hora Punta Tarde
Valor de la pendiente	1,0013	1,0033
Valor de interceptación del eje y	-0,2958	-2,2958
Coefficiente de correlación R ²	1,00	1,00
GEH<5	1,00	1,00
GEH promedio	0,39	0,53
%RMSE	0,64%	0,75%

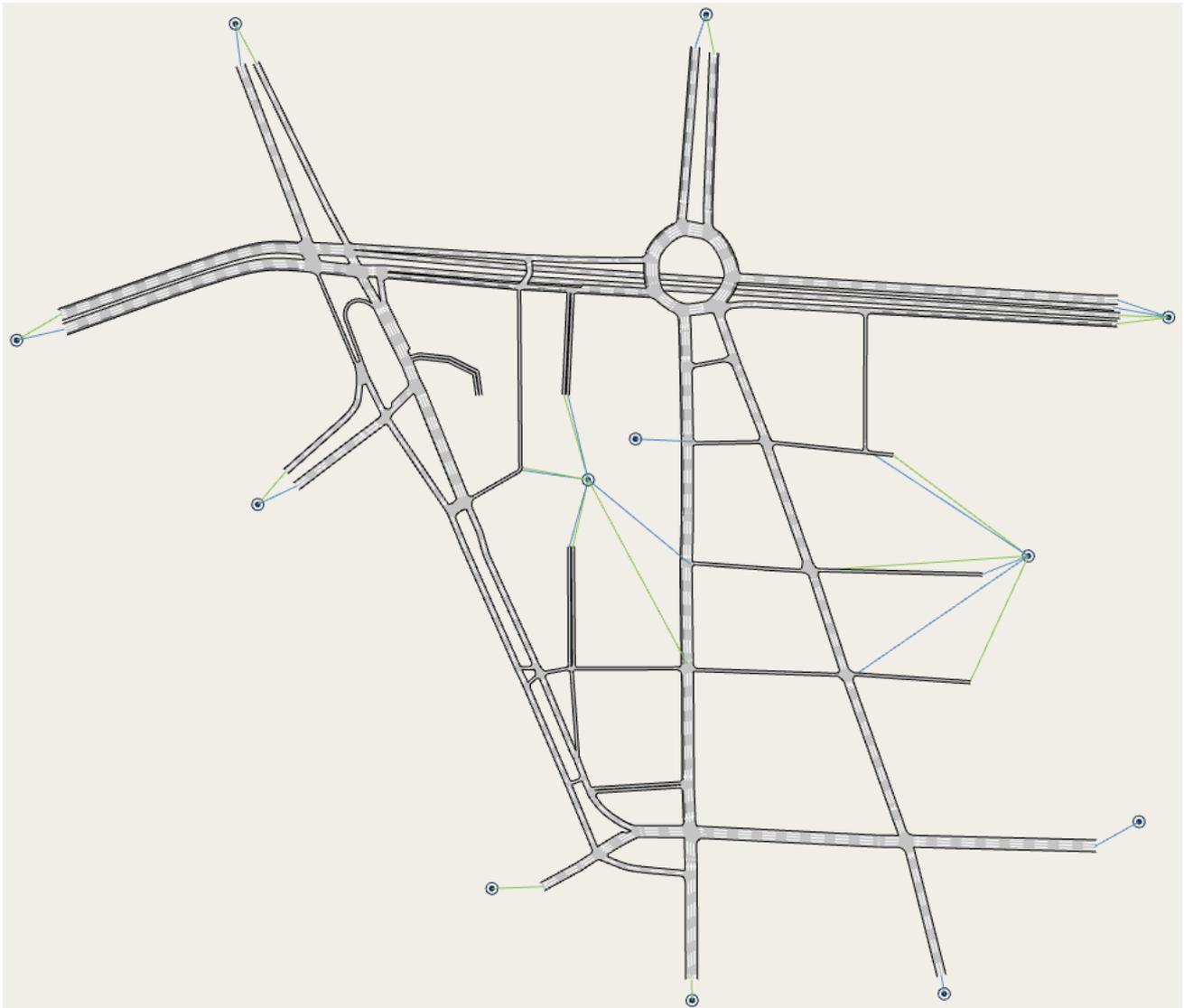
Figura 49. Asignación de tráfico. Situación actual. HPT



7.2.2. Niveles de Servicio

La siguiente imagen muestra la representación del modelo micro obtenido a partir del modelo macro situando los centroides en el mismo orden de colocación.

Figura 52. Red viaria actual. Aimsun



En las imágenes posteriores se presentan los resultados de los niveles de servicio de las dos horas punta analizadas en un plano general y en las secciones norte y sur con el fin de mostrar dichos resultados con mayor detalle.

Figura 53. Niveles de servicio. Situación actual. HPM

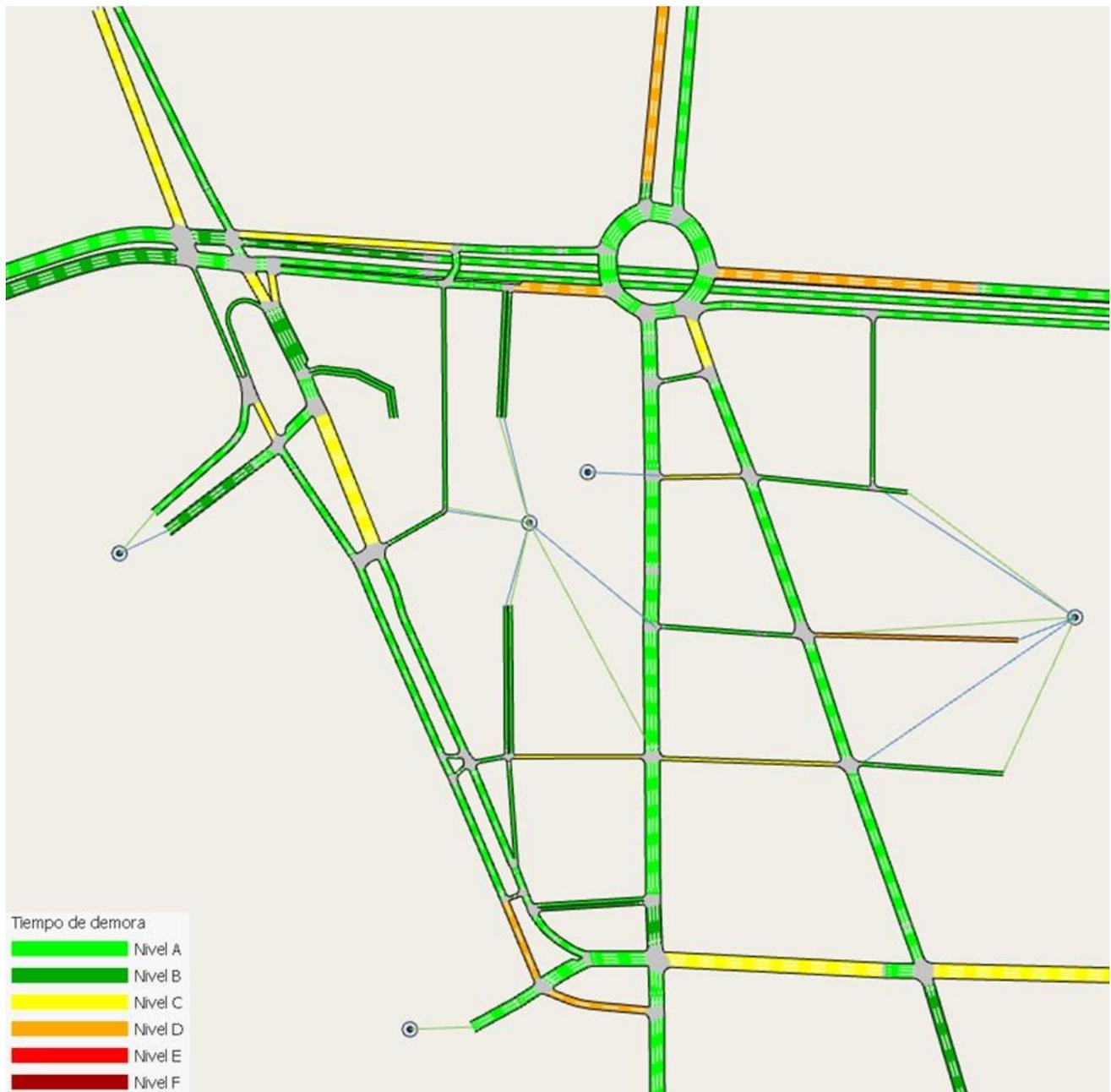


Figura 54. Niveles de servicio. Situación actual. Sección norte. HPM.

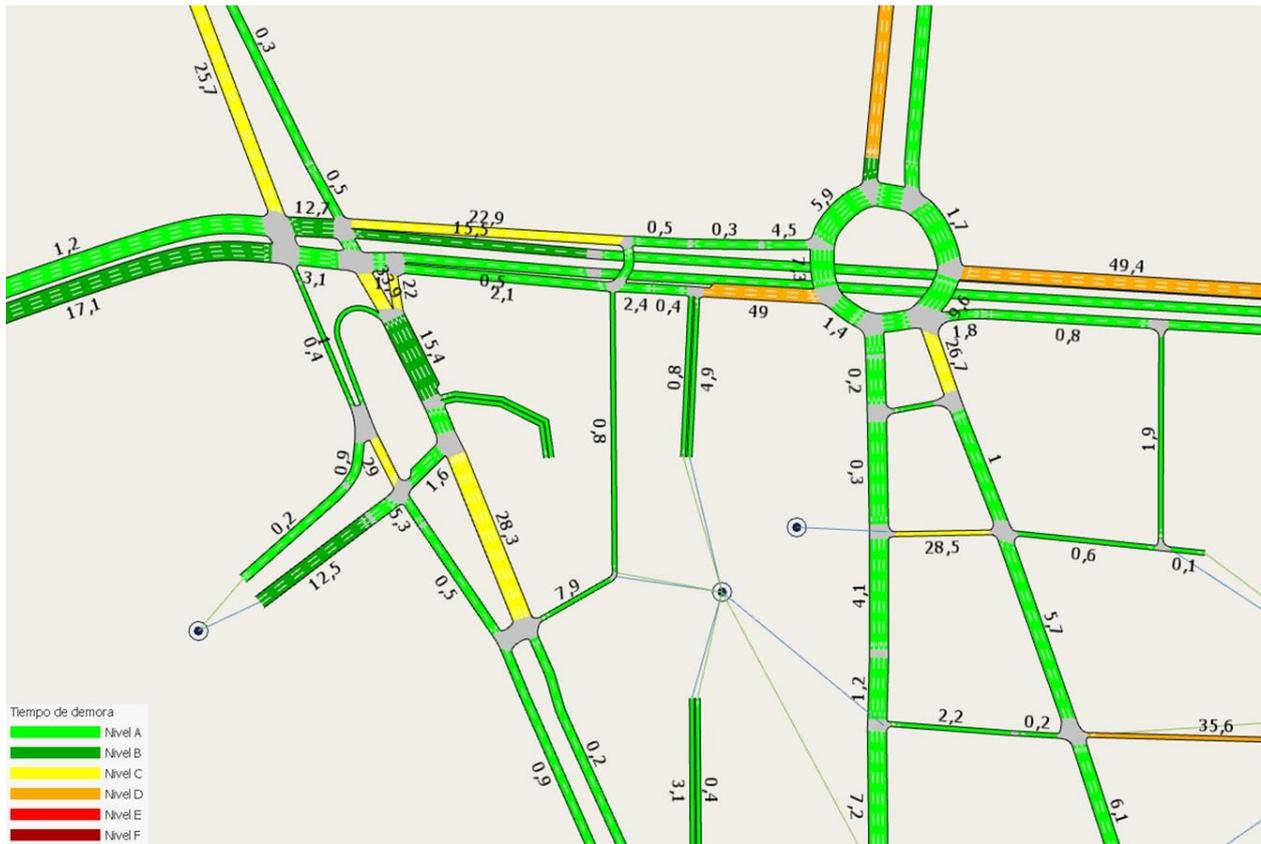


Figura 55. Niveles de servicio. Situación actual. Sección sur. HPM.

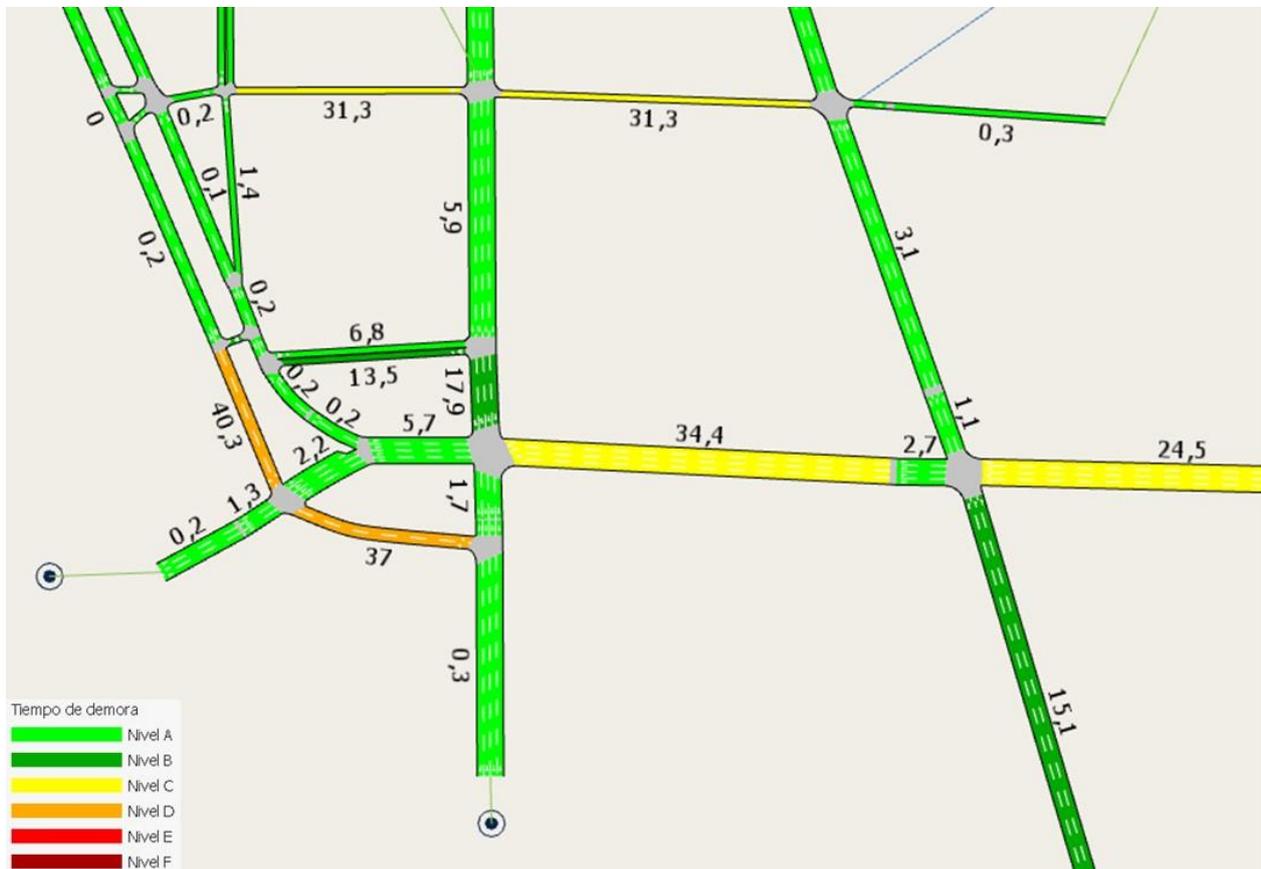


Figura 56. Niveles de servicio. Situación actual. HPT

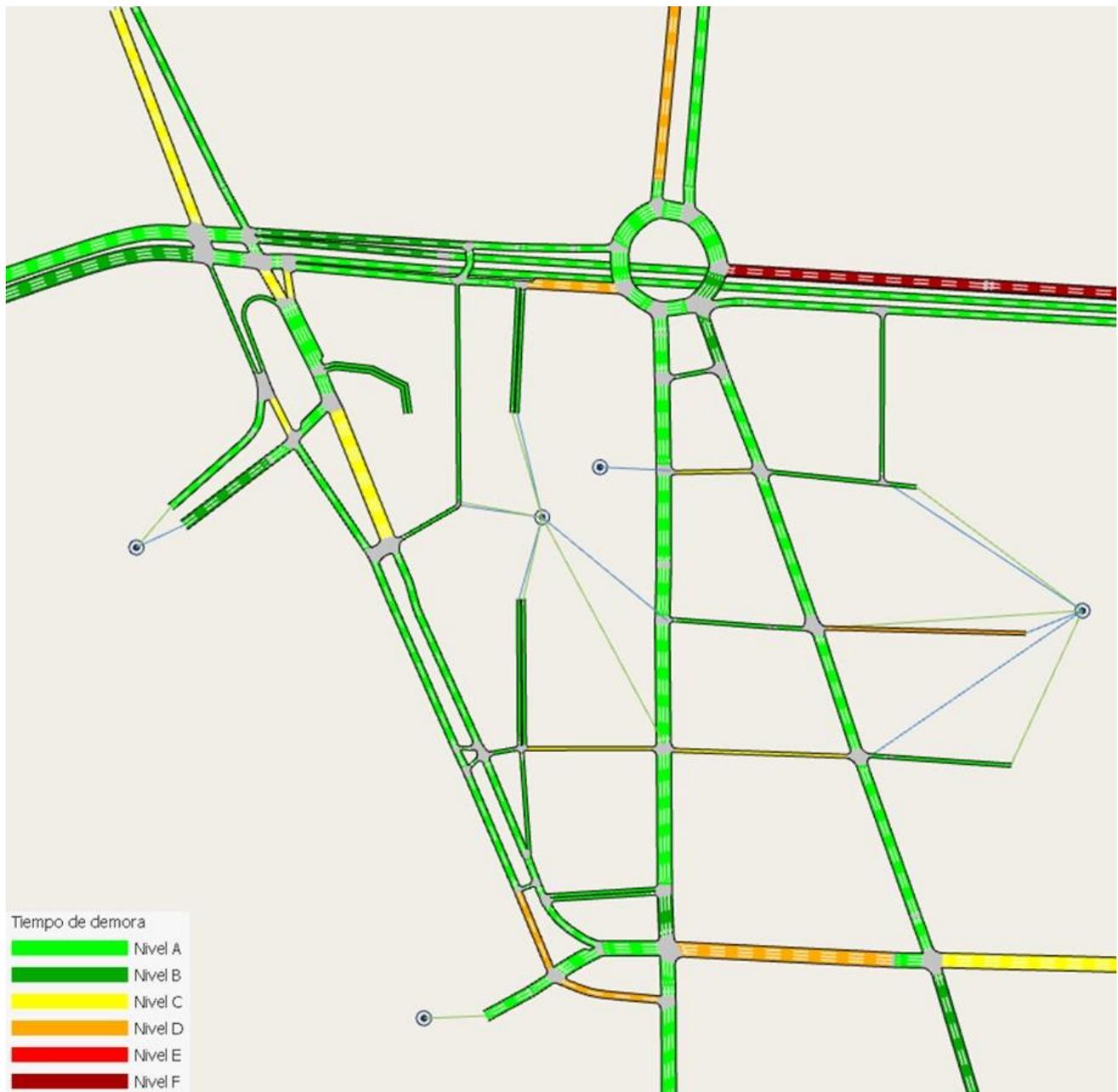


Figura 57. Niveles de servicio. Situación actual. Sección norte. HPT.

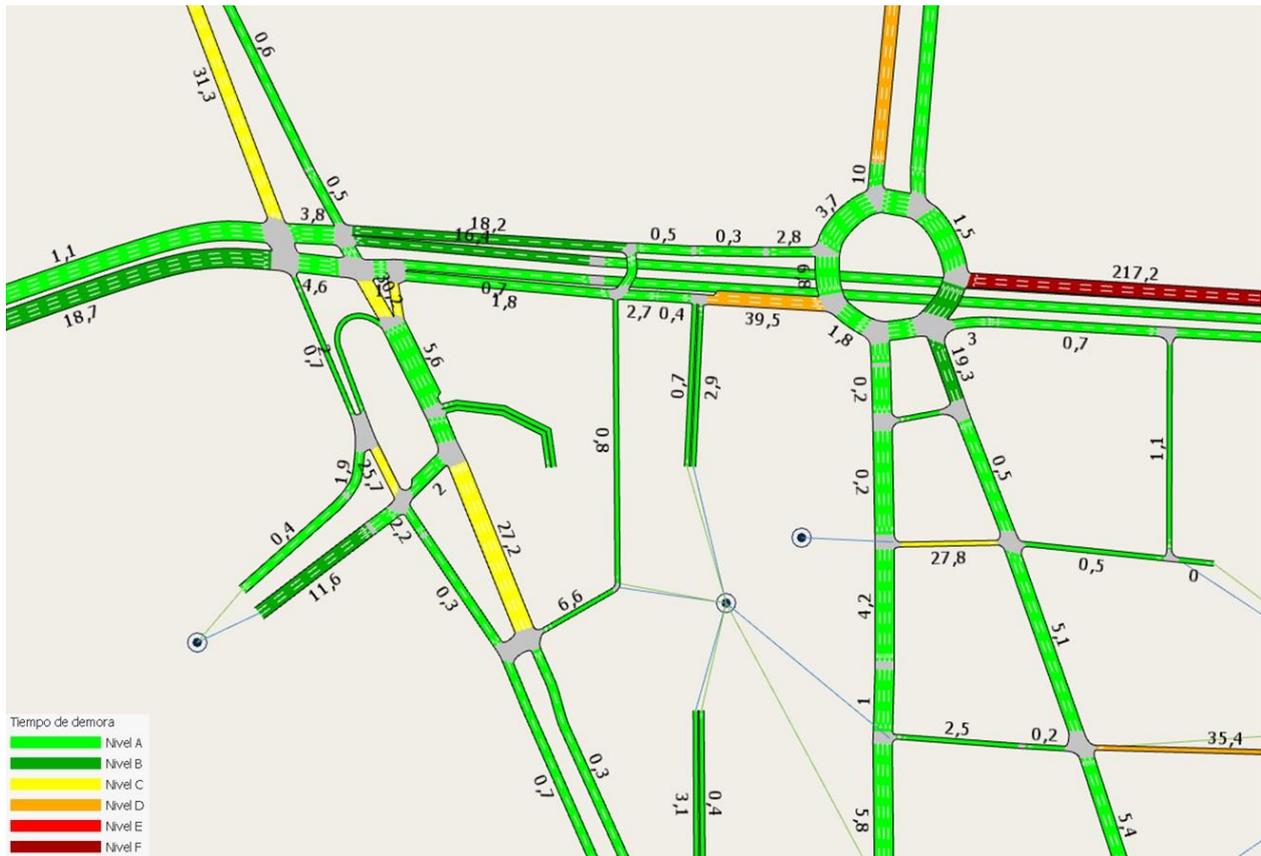


Figura 58. Niveles de servicio. Situación actual. Sección sur. HPT.





En la hora punta de la mañana se observan niveles de servicio adecuados, siendo el nivel de servicio D el máximo registrado. En la hora punta de la tarde se aprecian mayores afecciones, en la que se pueden ver niveles de servicio similares a los obtenidos en la hora punta de la mañana. Sin embargo, en la calle de Raimundo Fernández Villaverde en dirección Oeste se llega a alcanzar el nivel de servicio F.

8. MOVILIDAD FUTURA

El tráfico generado y atraído por el nuevo desarrollo se estimará mediante la utilización de los criterios establecidos en el Manual Trip Generation, publicado por el Institute of Transportation Engineers (ITE).

El uso de suelo 820 del ITE “Shopping Center” será el considerado para modelar la atracción del centro comercial.

- Shopping Center

El Trip Generation Manual define los “shopping center” como un grupo integrado de establecimientos comerciales desarrollados y dirigidos como una unidad. Se relacionan con su área de mercado en función de su tamaño, localización y tipos de tienda. Se encuentran provistos de aparcamientos.

El manual contempla la estimación para diferentes momentos como la hora punta de la mañana y la hora punta de la tarde. Para la generación de tráfico del centro comercial se considerará la información de la siguiente imagen para la hora punta de la mañana (One Hour Between 7 and 9 a.m.) y la hora punta de la tarde (One Hour Between 4 and 6 p.m.).

Con estos criterios, un centro comercial con una superficie de 8.500 metros cuadrados genera, para un día laborable, lo siguiente:

- Hora punta de mañana: 88 vehículos (entradas+salidas), de los cuales 54 son de entradas y 33 son salidas. La cual será la correspondiente a nuestra generación y atracción para nuestra hora punta de la mañana.
- Hora punta de la tarde: 339 vehículos (entradas+salidas), de los cuales 163 son entradas y 177 son salidas. La cual será la correspondiente a nuestra generación y atracción para nuestra hora punta del mediodía y de la tarde.

En cuanto a la distribución del nuevo tráfico generado, se realizará en base a los datos de los aforos, estimando el porcentaje de vehículos que acceden y se dispersan por cada una de las vías de acceso a la zona ámbito de estudio. Una vez distribuidos los tráficos generados, estos se suman a las matrices de situación actual.

En el Anejo III se muestran las matrices futuras.

9. ANÁLISIS DE LA MOVILIDAD FUTURA

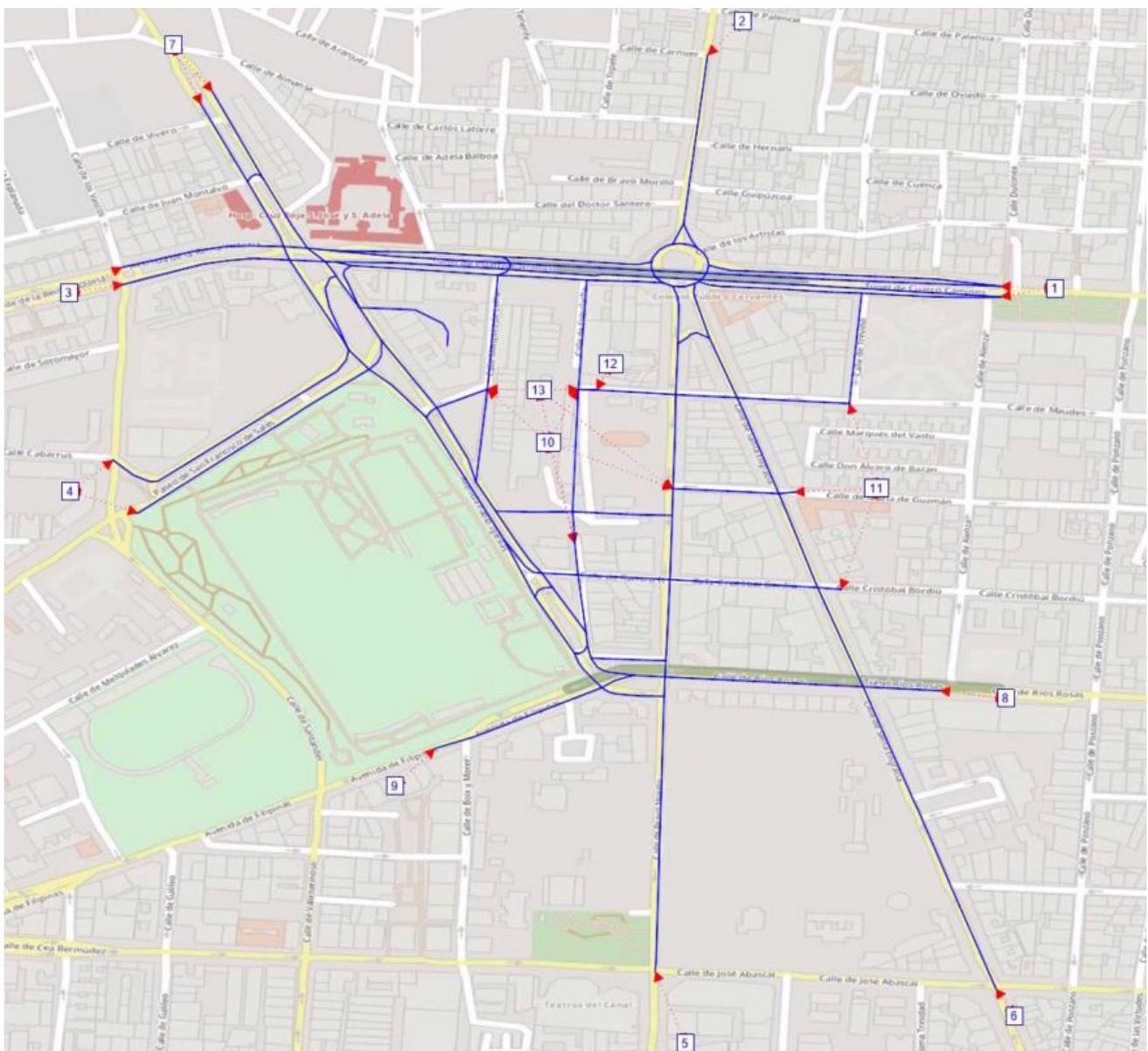
9.1. Modificaciones en el modelado

Las modificaciones en el viario se han limitado a la implementación del viario interno de la parcela y a cambios en las vías que dan acceso a dicha parcela y, por consiguiente, la creación de nuevas intersecciones entre el viario existente y el nuevo viario planteado dentro de la superficie estudiada.

Las modificaciones se han realizado tanto en el modelo macro como en el modelo micro para su análisis, colocando el centroide correspondiente al centro comercial (centroide 13).

En la siguiente figura se muestra la red modelizada con los cambios descritos para la situación futura.

Figura 59. Grafo de la red viaria en situación futura. Modelo Visum.

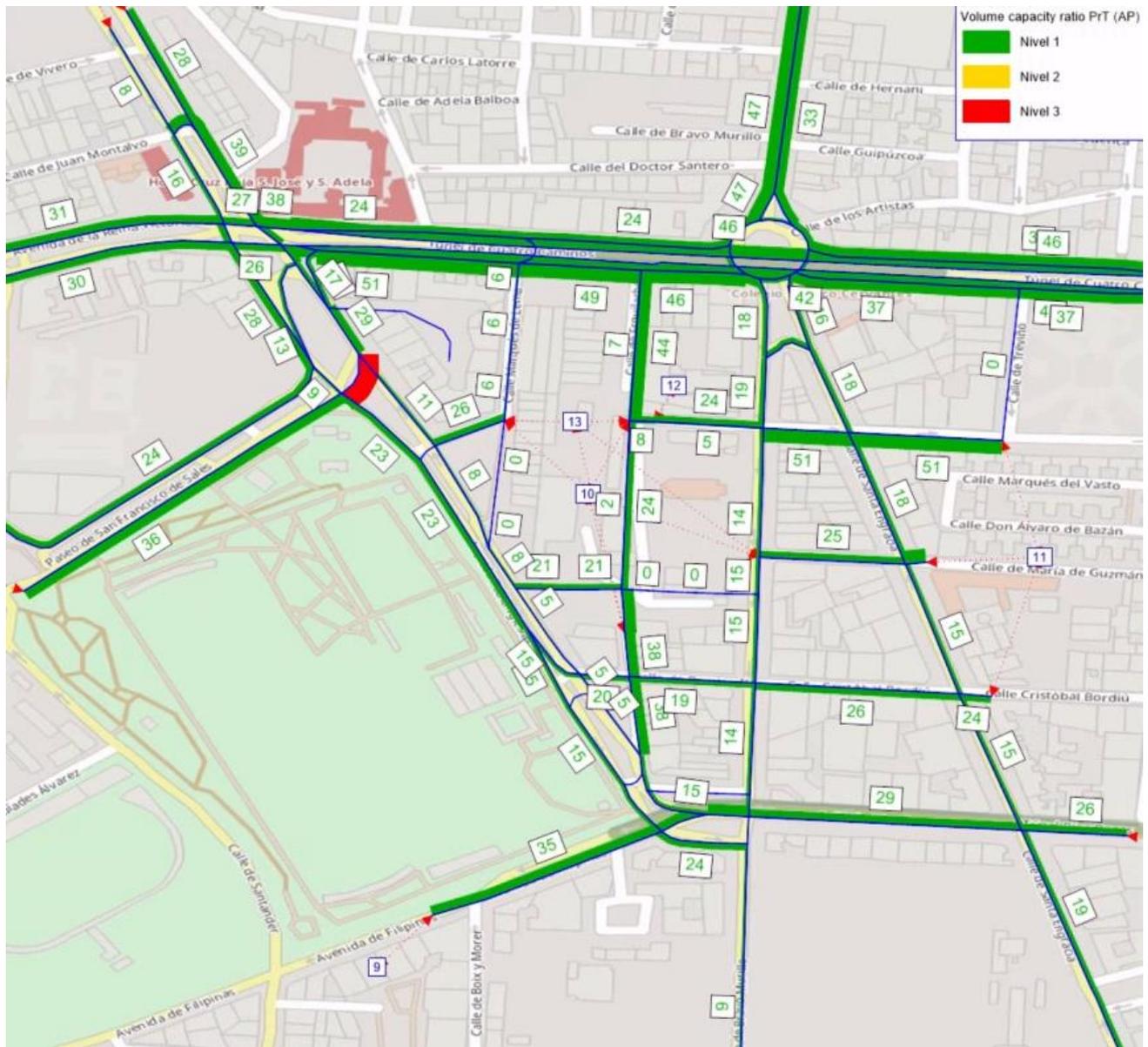


En las siguientes imágenes se muestran los tráficos asignados por el programa Visum en la situación futura.

9.1.1. Niveles de congestión

En las siguientes figuras se muestran los niveles de congestión de la situación futura.

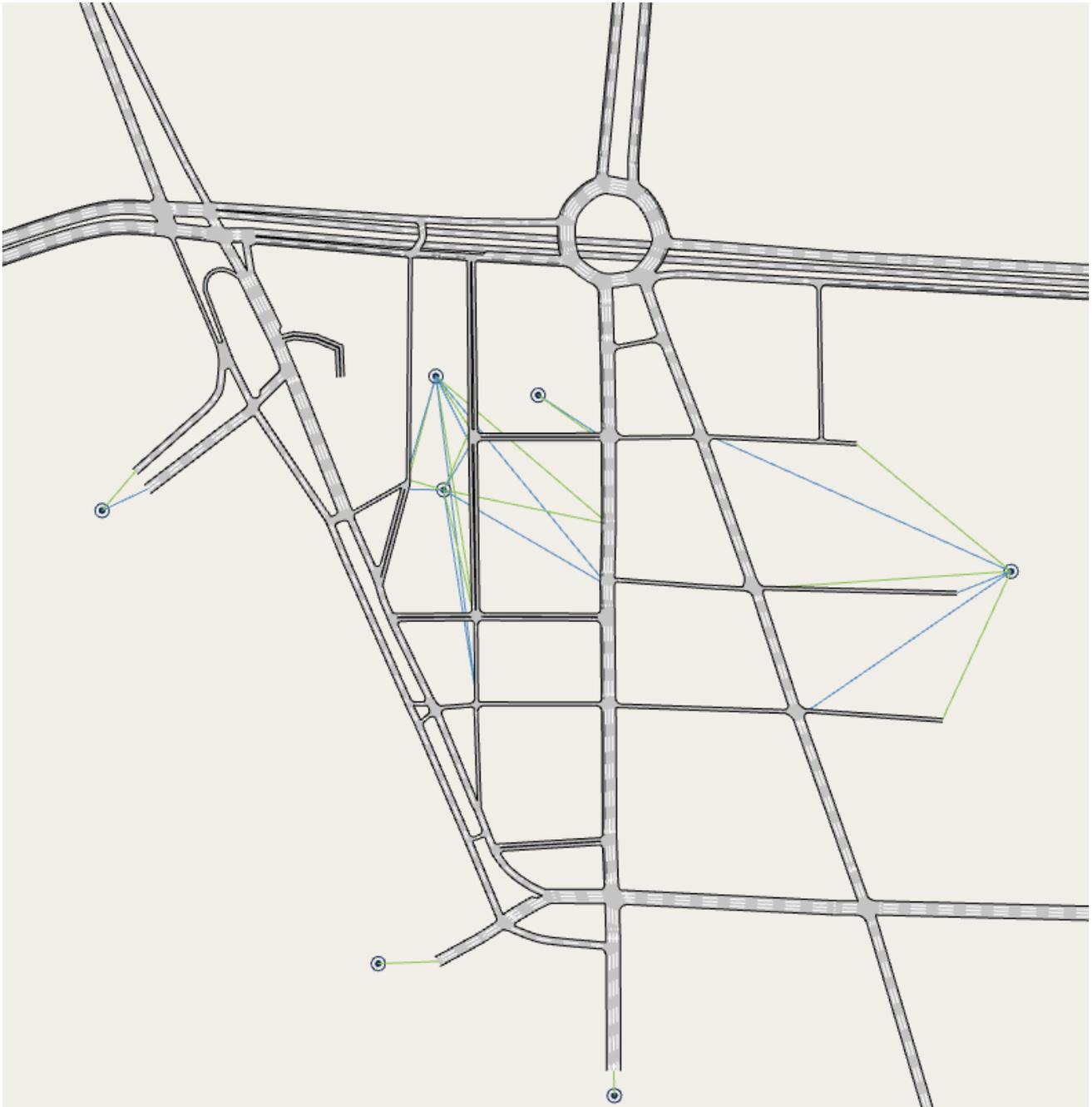
Figura 62. Nivel de congestión. Situación futura. HPM



9.1.2. Niveles de Servicio

Como se ha comentado anteriormente, se han realizado una serie de modificaciones dando como resultado el modelo micro que se muestra en la siguiente figura.

Figura 64. Red viaria futura. Aimsun



Por su parte, en las imágenes posteriores se presentan los resultados de los niveles de servicio de las dos horas punta analizadas tanto en un plano general como en las secciones norte y sur con el fin de ver dichos resultados con más detalle.

Figura 65. Niveles de servicio. Situación futura. HPM

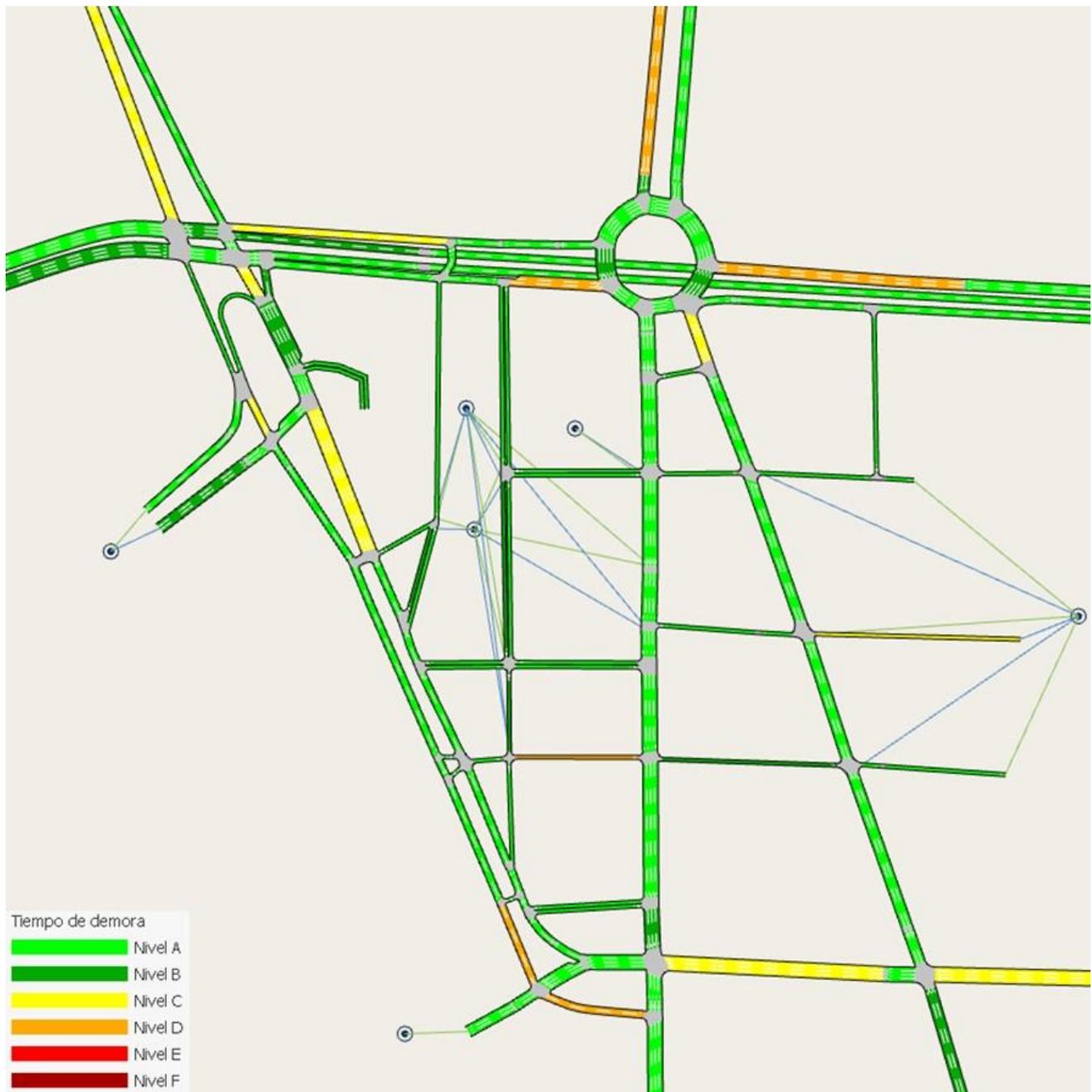


Figura 66. Niveles de servicio. Situación futura. Sección norte. HPM

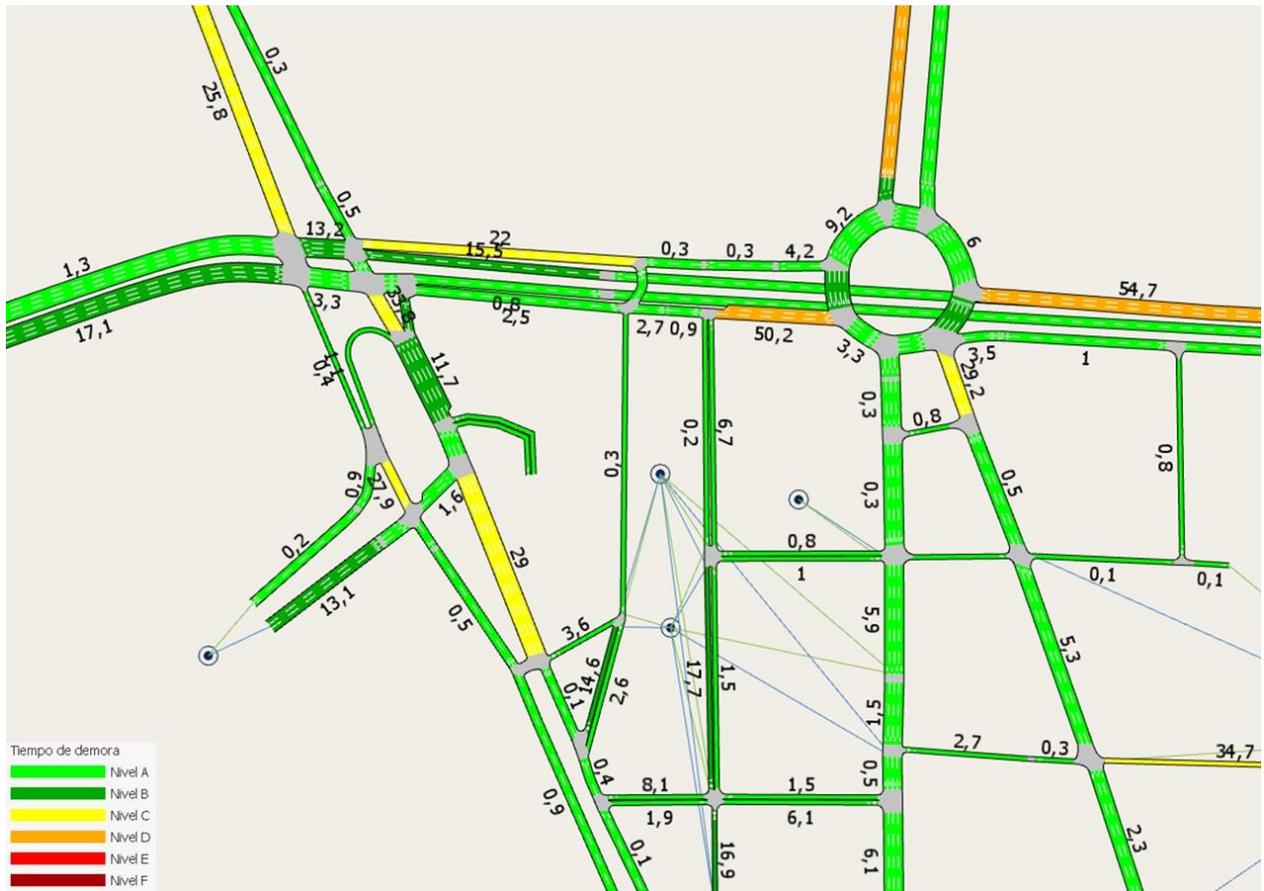


Figura 67. Niveles de servicio. Situación futura. Sección sur. HPM



Figura 68. Niveles de servicio. Situación futura. HPT

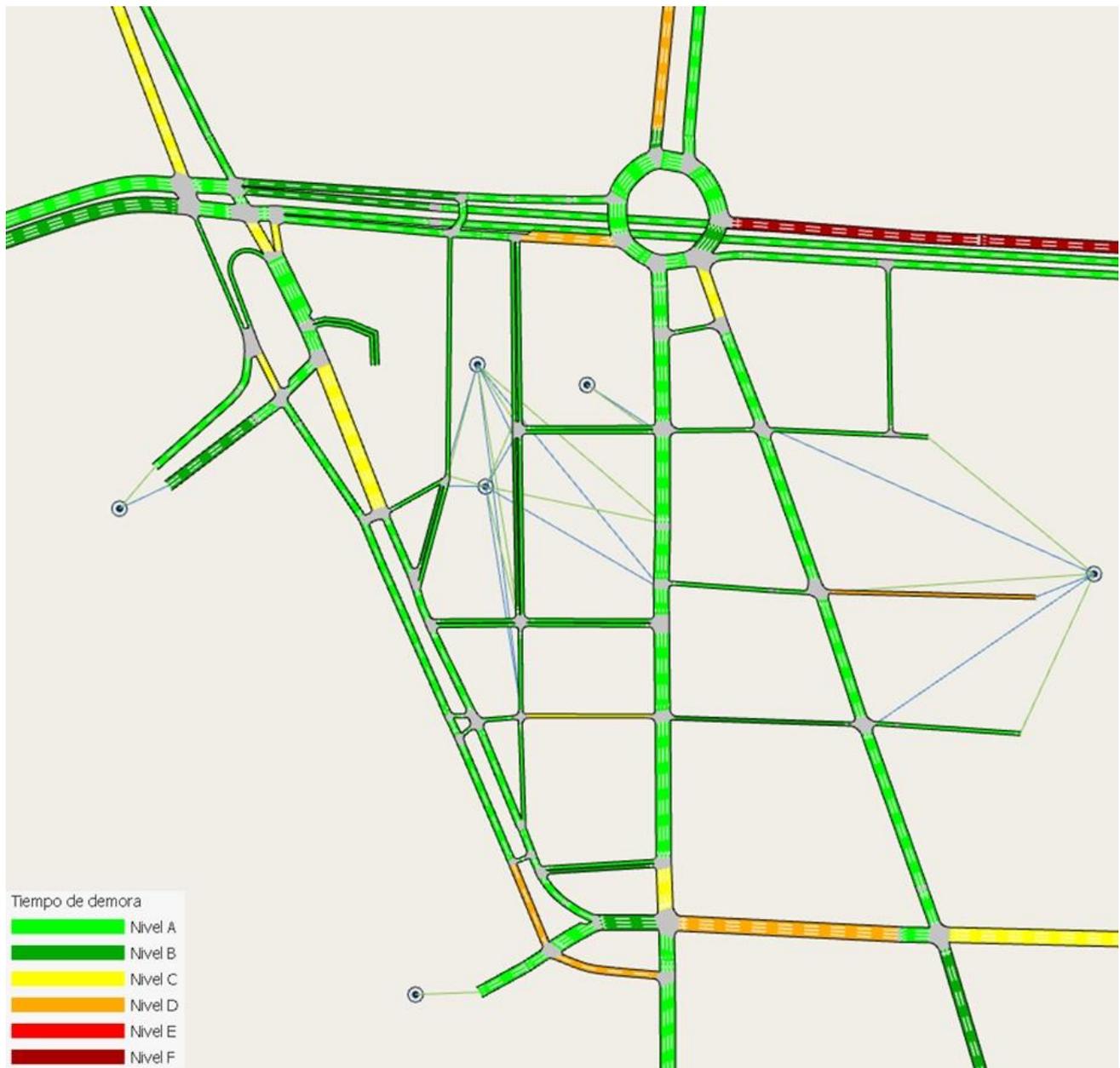


Figura 69. Niveles de servicio. Situación futura. Sección norte. HPT

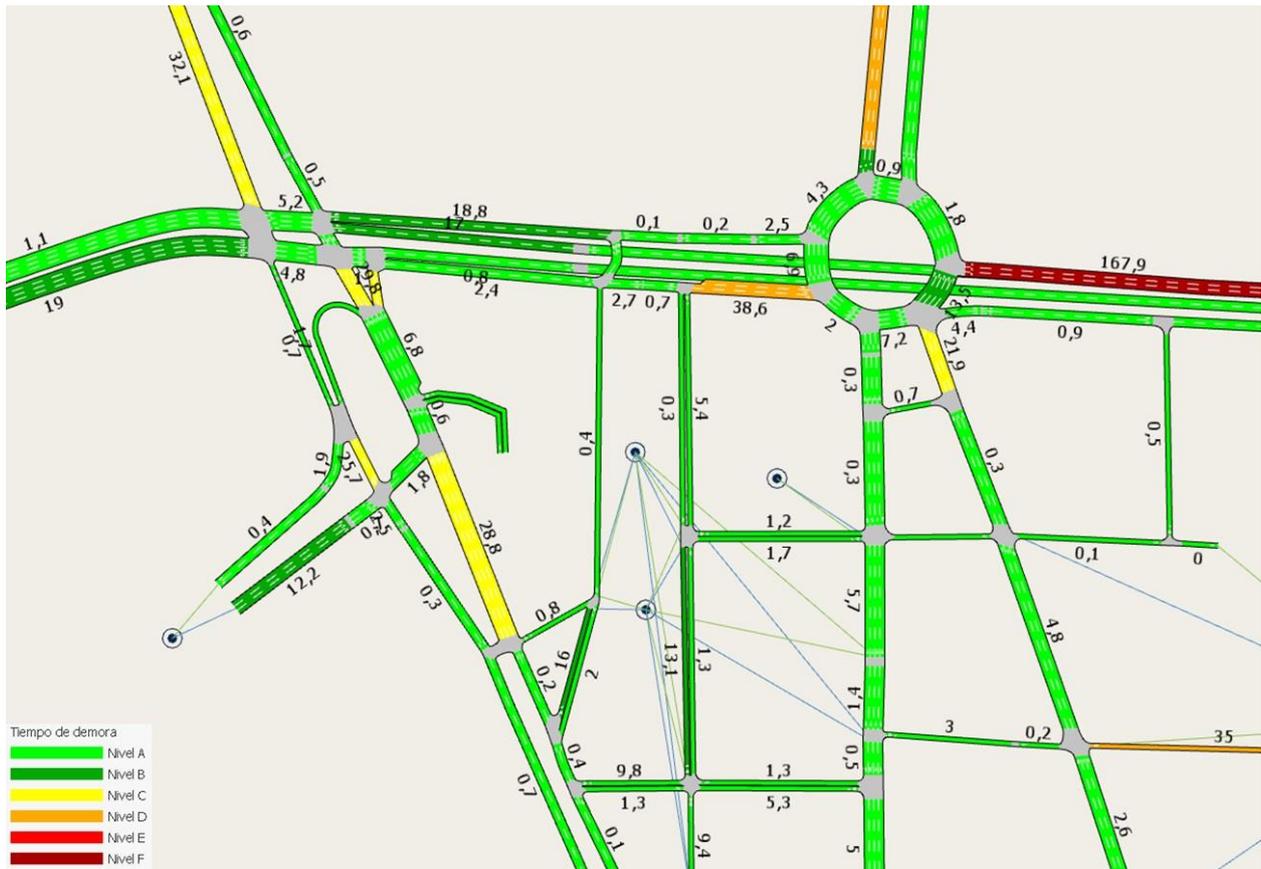


Figura 70. Niveles de servicio. Situación futura. Sección sur. HPT



En los resultados obtenidos en la situación futura se puede comprobar que los niveles de servicio apenas se ven alterados, manteniéndose los mismos niveles en la mayoría del viario. Hay que destacar que en la hora punta de la tarde, en la calle de Raimundo Fernández Villaverde en dirección Oeste, se reduce el tiempo de demora del nivel F.

9.1. Impacto en la movilidad

La implantación de superficies comerciales suele conllevar la destrucción de parte del tejido comercial del entorno, lo que conlleva una pérdida de calidad de vida de los barrios, al desaparecer servicios y parte del comercio local.

La localización de los centros comerciales en las ciudades suele tener importantes afecciones sobre el tráfico que deben tenerse en cuenta en los modelos de la ciudad para planificar planes de movilidad coherentes y una red de transporte público eficaz. Cuando no existen esos planes de movilidad suelen aparecer problemas en la circulación del tráfico.

Una superficie comercial promoverá una gran atracción del tráfico. Por lo tanto, será necesario realizar un estudio del impacto que pueda producir la nueva dotación y una estimación de cómo afectará al tráfico existente en el entorno.

En la actualidad esta zona soporta un tráfico considerable, destacando el flujo de vehículos en las horas punta en las que el sistema viario colapsa provocando importantes problemas y limitaciones. El análisis de la capacidad de absorber el tráfico inducido por la apertura del centro comercial es imprescindible.

El aumento del número de vehículos en el ámbito puede provocar problemas derivados de la congestión en el tráfico, contaminación acústica y contaminación ambiental atmosférica. Por lo que, su correcto análisis es fundamental para establecer unas medidas que puedan garantizar unos accesos adecuados al ámbito y evitar problemas de colapso.

9.2. Impacto en la demanda de Aparcamiento

A continuación, se calcula el número de plazas de aparcamiento que son suficientes para satisfacer la demanda de aparcamiento que se genera por los nuevos usos, atendiendo si cumple con la normativa vigente.

Mientras que, el desarrollo propuesto supone las superficies recogidas en la siguiente tabla para los diferentes usos previstos para los que se estima que habrá 260 plazas de aparcamiento.

Tabla 8. Usos y superficies

Uso	Superficie (m ² e)
Terciario	8.500
Zonas verdes	12.300

Dotación según Ley 9/2001 del Suelo de la Comunidad de Madrid

Por otro lado, según la Ley del Suelo de la Comunidad de Madrid, en el artículo 36.6 se establecen unas necesidades de aparcamiento de 1,5 plazas por cada 100 m² de superficie construida, si bien dicho estándar no será de aplicación cuando, por razones de congestión y densidad de los centros urbanos, el instrumento de planeamiento general establezca límites máximos a las plazas de aparcamiento privado o público, para comercio, espectáculos y oficinas.

De acuerdo con esta normativa, las necesidades de aparcamiento según la Ley 9/2001 CAM serán **128** plazas, correspondientes a toda la edificabilidad prevista en el ámbito.

Por tanto, se cubrirán sobradamente las plazas planteadas (**260 plazas**), con las plazas necesarias según la Ley 9/2001 CAM (128 plazas).

9.3. Impacto en la movilidad Peatonal

Con respecto al impacto en la movilidad peatonal se puede decir que, en cualquier caso, esta se va a ver mejorada y ampliada con las medidas propuestas, y se señala en primer lugar que en todo momento se tendrá siempre en cuenta, y de manera prioritaria, la adecuada accesibilidad de las PMR (Personas de Movilidad Reducida).

Así, en función de la problemática detectada en la situación actual se van a intentar solventar las incidencias detectadas, y además se va a mejorar en gran medida la movilidad peatonal con la implantación de los nuevos desarrollos y su viario asociado, mejorándose de forma considerable la permeabilidad del ámbito.

La propuesta también incluye la inclusión de nuevos pasos de peatones, que faciliten la transitabilidad y el cruce en el nuevo viario interior.

Con respecto a la accesibilidad a los distintos sistemas de transporte público se observa que, en todo caso, se mantendrá la accesibilidad que actualmente existe, tanto para el Metro como para el autobús.

La siguiente figura recoge una tentativa de la posible localización de pasos de cebra en el ámbito; en cualquier caso, se podrá modificar o ampliar en caso de que se considere necesario.

Figura 71. Localización pasos de cebra



10. PROPUESTAS DE ACTUACIÓN

Con objeto de minimizar el impacto de los nuevos usos sobre la movilidad en el ámbito de estudio se deberán desarrollar las siguientes actuaciones encaminadas a fomentar una movilidad más sostenible en el entorno:

Optimización del uso del vehículo privado.

Inicialmente, no se prevén problemas graves de congestión del tráfico en el entorno debido a los nuevos usos, sin embargo, será necesario durante el desarrollo del proyecto prever los siguientes aspectos para evitar disfunciones en el sistema:

- Mejoras en la permeabilidad y los flujos por la ampliación y conectividad de los nuevos viales.
- Se deberán señalar adecuadamente las salidas más adecuadas en función del destino del conductor.

Potenciación del acceso a pie.

- Actualmente no se observan problemas de accesibilidad, pero sí de permeabilidad. Este es debido mayoritariamente a la parcela y los usos que la ocupan, y se solventará con los nuevos viarios propuestos.
- Además, el área central antes ocupada por el grueso de la infraestructura ferroviaria pasa a convertirse en superficie en una gran Zona Verde a la que se vuelcan las edificaciones situadas en su perímetro, sirviendo esta pieza a su vez de elemento de prolongación y conexión de los espacios de esparcimiento.

Potenciación del uso del transporte público.

En principio no se prevén problemas en el sistema de transporte público. La excelente localización de la estación de Metro en relación con los nuevos desarrollos es una garantía para obtener una alta utilización del transporte público, unido a la complementariedad de la gran cantidad de líneas de transporte público urbano (EMT), existentes en el ámbito.

11. CONCLUSIONES

El objetivo del presente estudio es evaluar el funcionamiento del tráfico y la movilidad con motivo de la implantación de un centro comercial en el barrio de Cuatro Caminos en el distrito de Tetuán en Madrid.

Para ello, se ha construido un modelo de tráfico con aforos realizados expresamente para dicho estudio y se ha realizado una estimación de tráfico futuros.

Para caracterizar el tráfico actual en el ámbito de estudio, se tomaron los datos de aforos aportados por la empresa Tema G.G., de donde se obtuvieron las siguientes horas punta: hora punta de la mañana de 8:00 a 9:00 y hora punta de tarde de 18:00 a 19:00.

En relación con la dotación de aparcamiento obligatoria en función de la normativa vigente se han analizado las determinaciones establecidas en la Ley 9/2001 del Suelo de la Comunidad de Madrid, resultando que las dotaciones mínimas previstas por la legislación vigente son suficientes para la demanda prevista.

Con respecto a la movilidad peatonal, se considera que habrá una mejora sustancial de la misma, debido a la mejora en la permeabilidad en el ámbito y su entorno.

La demanda de transporte público puede ser absorbida por la oferta existente en el ámbito sin necesidad de aumentos de capacidad.

Respecto a la situación futura, a partir del tipo de uso "Shopping Center" del Manual Trip Generation publicado por el Institute Transportation Engineers (ITE), se han realizado unas hipótesis de generación y atracción de tráfico.

Una vez conocidos los tráfico actuales, y los atraídos por los futuros desarrollos, se han analizado los escenarios de situación actual y futura, pudiéndose concluir lo siguiente.

- Niveles de congestión:
 - Los niveles de congestión en situación actual son adecuados en la mayoría del viario, exceptuando algunas vías que presentan un nivel de congestión 2 y 3.
 - En situación futura se mantienen los niveles de congestión de la situación actual.
- Niveles de servicio:
 - En situación actual el funcionamiento del viario es adecuado en la hora punta de la mañana con un nivel de servicio máximo de D. En la hora punta de la tarde se aprecian mayores afecciones llegando a alcanzar un nivel de servicio F en la calle de Raimundo Fernández Villaverde en dirección Oeste.
 - El funcionamiento de la situación futura se puede comprobar que los niveles de servicio apenas se ven alterados, manteniéndose los mismos niveles en la mayoría del viario. Hay que destacar que en la hora punta de la tarde, en la calle de Raimundo Fernández Villaverde en dirección Oeste, se reduce el tiempo de demora del nivel F.

Por todo ello, se concluye que el funcionamiento del viario analizado es adecuado y que la implantación de un centro comercial en el ámbito estudiado en la situación más desfavorable no produce afecciones significativas. De esto se deduce que no tendrá un impacto importante sobre el tráfico del entorno, no siendo necesarias nuevas propuestas de actuación sobre el viario ni modificación de los ciclos semafóricos.

BIBLIOGRAFÍA

Documentos

- Valdés, A. (2008). *Ingeniería de Tráfico*. Madrid: Bellisco Ediciones.
- Kraemer, C.; Pardillo, J. M.; Rocci, S.; Romana, M. G.; Sánchez, V.; Del Val, M. Á. (2004). *Ingeniería de Carreteras. Volumen I*. Madrid: McGraw-Hill.
- Blanco, A.; Pino, S.; Sánchez, M. (2014). Temario para oposiciones a la Escala Superior de Técnicos de Tráfico. Parte III: Gestión Técnica del Tráfico. Madrid: Material para convocatoria de acceso a empleo público.
- Díez, R.; Martínez, J. M.; Núñez, M.; Romana, M. (2017). Manual de Capacidad de Carreteras. Traducción al castellano de HCM 2010 de Transportation Research Board of The National Academies. Madrid: Fundación Confemetal.
- Ministerio de Fomento (2014). Nota de Servicio 5/2014. Prescripciones y recomendaciones técnicas para la realización de estudios de tráfico de los Estudios Informativos, Anteproyectos y Proyectos de carretera. Madrid: Nota de Servicio.
- Boletín Oficial del Estado (BOE) (2001). Ley 9/2001 del Suelo de la Comunidad de Madrid. Madrid.
- Gerencia Municipal de Urbanismo del Ayuntamiento de Madrid (2000). Instrucción para el Diseño de la Vía Pública. Madrid: Instrucción de Vía Pública.
- Universidad Carlos III - Departamento de Ingeniería Mecánica (2008).
- *Ingeniería del tráfico*. Madrid: Material didáctico de clase.
- Fernández, J. (2015). Análisis y Simulación del Tráfico Rodado del Barrio de la Rondilla. Valladolid: Trabajo Fin de Grado.
- Rodil, R. (2018). Estudio del Tráfico mediante Simulación en el tramo de 'A Mosqueira' de la Ronda de la Muralla (Lugo). Lugo: Trabajo de Fin de Grado.
- Ramos, C. (2017). Simulación de un modelo microscópico de seguimiento de vehículos. Madrid: Trabajo de Fin de Grado.
- Ruiz, M. (2017). Modelación de una red de transporte universitaria mediante el software VISUM 15. Perú: Tesis para el título de Ingeniería Civil.
- Sánchez, J. (2018). Microsimulación del impacto en el tráfico de la apertura del centro comercial de Palmas Altas. Sevilla: Trabajo de Fin de Master.
- Pérez, R. (2005). Módulo de simulación microscópica para la herramienta tramos. Integración de modelos y animación gráfica. Sevilla: Proyecto de Fin de Carrera.
- Estudio de movilidad y espacio público. Propuesta de transformación. Análisis de permeabilidad peatonal. Vitoria-Gasteiz: Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz.
- Gipps, P. G. (1981). "A behavioural car-following model for computer simulation". *Transportation Research Part B: Methodological*. Volume 15. Elsevier.
- Gipps, P. G. (1986). "A model for the structure of lane-changing decisions". *Transportation Research Part B: Methodological*. Volume 20. Elsevier.
- Salgado, D. "Área de conocimiento: Tráfico y transporte urbano e interurbano. Herramientas de simulación".

Direcciones de internet

- <https://earth.google.com/> (último acceso febrero 2023)
- Google Maps. <https://www.google.es/maps/> (último acceso febrero 2023)
- Simulaciones de tráfico, grandes aliadas en la gestión de la movilidad. <https://www.vectio.es/blog/simulaciones-movilidad/> (último acceso febrero 2023)
- Una herramienta imprescindible para la planificación de las infraestructuras de transporte. <https://www.vectio.es/blog/modelo-macro/#::~:~:text=EI> (último acceso febrero 2023)
- Movilidad. <https://www.ferrovial.com/es/recursos/movilidad/> (último acceso febrero 2023)
- PTV Visum. <https://www.ptvgroup.com/es/soluciones/productos/ptv-visum/areas-de-aplicacion/> (último acceso febrero 2023)

ANEJO I. LÍNEAS DE TRANSPORTE PÚBLICO

Línea 3



Horarios y frecuencias del servicio (Excepto puentes y temporadas de Semana Santa y Verano)				
Tipo de día	Horario de salida de cabecera Primer servicio - Último servicio		Frecuencias de paso programadas	
	Puerta de Toledo	San Amaro	Horas	Frecuencias
Lunes a Viernes Laborables	6:30 - 23:30	5:55 - 23:00	De 6 a 7 De 7 a 20 De 20 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Cada 10-13 min ➢ Cada 7-11 min ➢ Cada 8-18 min
Sábados Laborables	6:30 - 23:30	5:55 - 23:00	De 6 a 10 De 10 a 21 De 21 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Cada 12-25 min ➢ Cada 10-13 min ➢ Cada 12-20 min
Domingos y Festivos	7:30 - 23:30	7:00 - 23:00	De 7 a 11 De 11 a 21 De 21 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Cada 14-25 min ➢ Cada 12-16 min ➢ Cada 14-25 min

Línea 37



Horarios y frecuencias del servicio (Excepto puentes y temporadas de Semana Santa y Verano)				
Tipo de día	Horario de salida de cabecera Primer servicio - Último servicio		Frecuencias de paso programadas	
	Cuatro Caminos	Puente Vallecas	Horas	Frecuencias
Lunes a Viernes Laborables	6:00 - 23:30	5:30 - 23:00	De 6 a 8 De 8 a 19 De 19 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Cada 10-20 min ➢ Cada 10-11 min ➢ Cada 10-20 min
Sábados Laborables	6:00 - 23:30	5:30 - 23:00	De 6 a 10 De 10 a 20 De 20 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Cada 16-32 min ➢ Cada 16-17 min ➢ Cada 17-22 min
Domingos y Festivos	7:00 - 23:30	7:00 - 23:00	De 7 a 10 De 10 a 22 De 22 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Cada 21-30 min ➢ Cada 18-21 min ➢ Cada 18-25 min

Línea 45



Horarios y frecuencias del servicio (Excepto puentes y temporadas de Semana Santa y Verano)

Tipo de día	Horario de salida de cabecera Primer servicio - Último servicio		Frecuencias de paso programadas	
	Plaza Legazpi	Av. Reina Victoria	Horas	Frecuencias
Lunes a Viernes Laborables	5:00 - 23:02	5:30 - 23:30	De 6 a 8 De 8 a 19 De 19 a 23	➢ Cada 7-14 min ➢ Cada 7-9 min ➢ Cada 8-17 min
Sábados Laborables	5:00 - 23:02	5:30 - 23:30	De 6 a 10 De 10 a 21 De 21 a 23	➢ Cada 13-22 min ➢ Cada 11-15 min ➢ Cada 12-18 min
Domingos y Festivos	7:00 - 23:02	7:00 - 23:30	De 7 a 10 De 10 a 21 De 21 a 23	➢ Cada 17-35 min ➢ Cada 15-20 min ➢ Cada 16-25 min

Línea 64



Horarios y frecuencias del servicio (Excepto puentes y temporadas de Semana Santa y Verano)

Tipo de día	Horario de salida de cabecera Primer servicio - Último servicio		Frecuencias de paso programadas	
	Cuatro Caminos	Pitis	Horas	Frecuencias
Lunes a Viernes Laborables	6:00 - 23:45	5:30 - 23:15	De 5 a 7 De 7 a 19 De 19 a 23	➢ Cada 10-17 min ➢ Cada 9-12 min ➢ Cada 10-22 min
Sábados Laborables	6:00 - 23:45	5:30 - 23:15	De 5 a 9 De 9 a 22 De 22 a 23	➢ Cada 15-23 min ➢ Cada 13-17 min ➢ Cada 16-23 min
Domingos y Festivos	7:30 - 23:45	7:00 - 23:15	De 7 a 10 De 10 a 22 De 22 a 23	➢ Cada 18-24 min ➢ Cada 15-20 min ➢ Cada 17-28 min



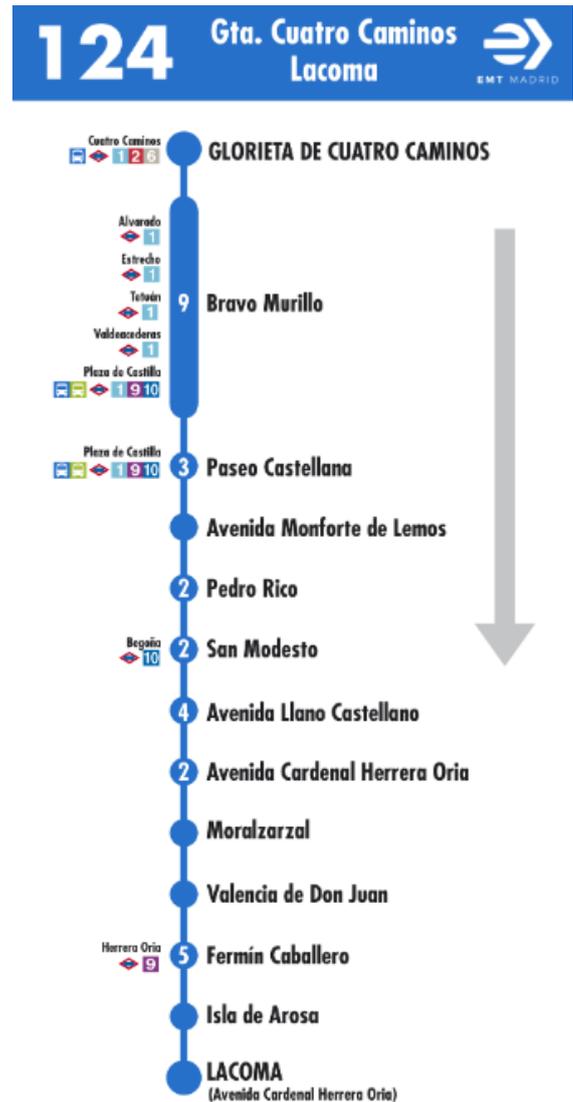
Línea 66



Horarios y frecuencias del servicio (Excepto puentes y temporadas de Semana Santa y Verano)

Tipo de día	Horario de salida de cabecera Primer servicio - Último servicio		Frecuencias de paso programadas	
	Cuatro Caminos	Fuencarral	Horas	Frecuencias
Lunes a Viernes Laborables	5:25 - 23:45	5:40 - 23:15	De 6 a 8 De 8 a 21 De 21 a 23	► Cada 10-16 min ► Cada 10-13 min ► Cada 11-22 min
Sábados Laborables	5:25 - 23:45	5:40 - 23:15	De 6 a 8 De 8 a 21 De 21 a 23	► Cada 15-23 min ► Cada 12-16 min ► Cada 15-25 min
Domingos y Festivos	7:30 - 23:45	7:00 - 23:15	De 7 a 11 De 11 a 20 De 20 a 23	► Cada 15-32 min ► Cada 14-16 min ► Cada 15-26 min

Línea 124



Horarios y frecuencias del servicio (Excepto puentes y temporadas de Semana Santa y Verano)

Tipo de día	Horario de salida de cabecera Primer servicio - Último servicio		Frecuencias de paso programadas	
	Cuatro Caminos	Lacoma	Horas	Frecuencias
Lunes a Viernes Laborables	6:15 - 23:45	5:40 - 23:10	De 6 a 20 De 20 a 23	► Cada 9-12 min ► Cada 8-16 min
Sábados Laborables	6:15 - 23:45	5:40 - 23:10	De 6 a 11 De 11 a 19 De 19 a 23	► Cada 13-24 min ► Cada 11-15 min ► Cada 15-22 min
Domingos y Festivos	7:30 - 23:45	7:00 - 23:10	De 7 a 10 De 10 a 20 De 20 a 23	► Cada 18-31 min ► Cada 15-18 min ► Cada 18-25 min

Línea 127

127 Cuatro Caminos
Ciudad Periodistas



Horarios y frecuencias del servicio (Excepto puentes y temporadas de Semana Santa y Verano)

Tipo de día	Horario de salida de cabecera		Frecuencias de paso programadas	
	Primer servicio	Último servicio	Horas	Frecuencias
Lunes a Viernes Laborables	6:00 - 23:45	5:35 - 23:20	De 6 a 8 De 8 a 20 De 20 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ► Cada 10-20 min. ► Cada 10-12 min. ► Cada 11-20 min.
Sábados Laborables	6:00 - 23:45	5:35 - 23:20	De 6 a 10 De 10 a 22 De 22 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ► Cada 13-26 min. ► Cada 13-16 min. ► Cada 15-26 min.
Domingos y Festivos	7:30 - 23:45	7:00 - 23:20	De 7 a 10 De 10 a 22 De 22 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ► Cada 15-28 min. ► Cada 15-16 min. ► Cada 16-26 min.

Línea 128

128 Gta. Cuatro Caminos
Barrio del Pilar



Horarios y frecuencias del servicio (Excepto puentes y temporadas de Semana Santa y Verano)

Tipo de día	Horario de salida de cabecera		Frecuencias de paso programadas	
	Primer servicio	Último servicio	Horas	Frecuencias
Lunes a Viernes Laborables	6:20 - 23:45	6:00 - 23:25	De 6 a 8 De 8 a 21 De 21 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ► Cada 8-13 min. ► Cada 8-10 min. ► Cada 9-13 min.
Sábados Laborables	6:20 - 23:45	6:00 - 23:25	De 6 a 10 De 10 a 21 De 21 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ► Cada 11-23 min. ► Cada 8-11 min. ► Cada 9-24 min.
Domingos y Festivos	7:30 - 23:45	7:00 - 23:25	De 7 a 11 De 11 a 20 De 20 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ► Cada 15-28 min. ► Cada 10-20 min. ► Cada 13-23 min.

Línea 149



Horarios y frecuencias del servicio (Excepto puentes y temporadas de Semana Santa y Verano)				
Tipo de día	Horario de salida de cabecera Primer servicio - Último servicio		Frecuencias de paso programadas	
	Tribunal	Plaza de Castilla	Horas	Frecuencias
Lunes a Viernes Laborables	6:52 - 23:30	6:30 - 23:08	De 6 a 9 De 9 a 16 De 16 a 21 De 21 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Cada 12-19 min. ▶ Cada 11-13 min. ▶ Cada 9-12 min. ▶ Cada 10-16 min.
Sábados Laborables	6:52 - 23:30	6:30 - 23:08	De 6 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Cada 17-22 min.
Domingos y Festivos	7:30 - 23:30	7:00 - 23:08	De 7 a 10 De 10 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Cada 18-29 min. ▶ Cada 18-26 min.

Línea C1



Horarios y frecuencias del servicio (Excepto puentes y temporadas de Semana Santa y Verano)				
Tipo de día	Horario de salida de cabecera Primer servicio - Último servicio		Frecuencias de paso programadas	
	Cuatro Caminos	Embajadores	Horas	Frecuencias
Lunes a Viernes Laborables	5:25 - 23:00	6:00 - 23:30	De 6 a 7 De 7 a 20 De 20 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Cada 4-8 min. ▶ Cada 4-4 min. ▶ Cada 6-10 min.
Sábados Laborables	5:25 - 23:00	6:00 - 23:30	De 6 a 9 De 9 a 22 De 22 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Cada 8-15 min. ▶ Cada 7-10 min. ▶ Cada 9-12 min.
Domingos y Festivos	7:00 - 23:00	7:00 - 23:30	De 7 a 10 De 10 a 22 De 22 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Cada 10-20 min. ▶ Cada 9-12 min. ▶ Cada 12-15 min.

Línea C2



Horarios y frecuencias del servicio (Excepto puentes y temporadas de Semana Santa y Verano)

Tipo de día	Horario de salida de cabecera Primer servicio - Último servicio		Frecuencias de paso programadas	
	Cuatro Caminos	Embajadores	Horas	Frecuencias
Lunes a Viernes Laborables	5:25 - 23:00	6:00 - 23:30	De 6 a 7 De 7 a 20 De 20 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cada 5-10 min ➤ Cada 4-7 min ➤ Cada 6-12 min
Sábados Laborables	5:25 - 23:00	6:00 - 23:30	De 6 a 9 De 9 a 22 De 22 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cada 9-15 min ➤ Cada 7-11 min ➤ Cada 11-12 min
Domingos y Festivos	7:00 - 23:00	7:00 - 23:30	De 7 a 10 De 10 a 22 De 22 a 23	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cada 10-20 min ➤ Cada 9-13 min ➤ Cada 14-18 min

Línea F



Horarios y frecuencias de servicio

Tipo de día	Horario de salida de cabecera Primer servicio - Último servicio		Frecuencias de paso programadas	
	Cuatro Caminos	C. Universitaria	Horas	Frecuencias
Periodo Lectivo / Excepto Puentes, Junio y Septiembre				
Laborables	7:30 - 22:05	7:42 - 22:20	De 7 a 14 De 14 a 20 De 20 a 22	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cada 4-7 min ➤ Cada 6-8 min ➤ Cada 9-18 min
Viernes Laborables	7:30 - 22:05	7:42 - 22:20	De 7 a 14 De 14 a 20 De 20 a 22	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cada 5-9 min ➤ Cada 10-14 min ➤ Cada 13-20 min
Festivos	Sin Servicio			
Periodo No Lectivo				
Sin Servicio				

Intervalo medio entre trenes en la **línea 1**

De 6:00 de la mañana a 1:30 de la madrugada / From 6:00 am to 1:30 am

Intervalo medio entre trenes / Average time between trains



Línea / Line 1 Pinar de Chamartín - Valdecarros

Periodo / Period	6:05 - 7:00	7:00 - 7:30	7:30 - 9:30	9:30 - 10:00	10:00 - 14:00	14:00 - 16:00	16:00 - 18:00	18:00 - 20:00	20:00 - 21:00	21:00 - 22:00	22:00 - 23:00	23:00 - 0:00	0:00 - 1:00	1:00 - 2:00
Lunes a Jueves (minutos) <i>Monday to Thursday (minutes)</i>	4 - 8 ½	3 - 4	2 ½ - 3 ½	4 - 5			3 ½ - 4 ½	4 - 5	4 ½ - 5 ½	6 - 7	7 ½*	15 *		
Viernes (minutos) <i>Fridays (minutes)</i>	4 - 8 ½	3 - 4	2 ½ - 3 ½	4 - 5	3 - 4	3 ½ - 4 ½			4 ½ - 5 ½	6 - 7	7 ½*	10 *	15 *	
Sábados (minutos) <i>Saturdays (minutes)</i>	7 - 9	7 - 8		6 - 7			4 ½ - 5 ½			6 - 7	7 ½*		10 ½*	
Domingos y festivos (minutos) <i>Sundays & public holidays (minutes)</i>	7 - 9	7 - 8		5 ½ - 6 ½						7 - 8	7 ½*	15 *		

Nota:

Los intervalos medios se mantendrán de acuerdo con este cuadro, salvo incidencias en la línea.
*Consulte el horario de trenes.

Note:

Average times will be in accordance with this table, unless there are incidents on the line.
* Check the train timetable.

Intervalo medio entre trenes en la **línea 2**

De 6:00 de la mañana a 1:30 de la madrugada / From 6:00 am to 1:30 am

Intervalo medio entre trenes / Average time between trains



Línea / Line 2 Las Rosas - Cuatro Caminos

Periodo / Period	6:05 - 7:00	7:00 - 7:30	7:30 - 9:30	9:30 - 10:30	10:00 - 11:00	11:00 - 14:00	14:00 - 16:00	16:00 - 20:00	20:00 - 21:00	21:00 - 22:00	22:00 - 23:00	23:00 - 0:00	0:00 - 1:00	1:00 - 2:00
Lunes a Jueves (minutos) <i>Monday to Thursday (minutes)</i>	4 ½ - 7 ½	3 ½ - 4 ½	3 - 4	3 ½ - 4 ½		4 - 5	3 - 4	3 ½ - 4 ½	4 - 5	6 - 7	7 ½*	15 *		
Viernes (minutos) <i>Fridays (minutes)</i>	4 ½ - 7 ½	3 ½ - 4 ½	3 - 4	3 ½ - 4 ½		4 - 5	2 ½ - 3 ½	3 - 4		4 ½ - 5 ½	7 *		10 *	
Sábados (minutos) <i>Saturdays (minutes)</i>	7 - 9	7 - 8		4 ½ - 5 ½			3 - 4		4 - 5	5 ½ - 6 ½	6 - 7	9 *		
Domingos y festivos (minutos) <i>Sundays & public holidays (minutes)</i>	7 - 9	7 - 8		4 ½ - 5 ½			4 - 5		6 - 7	7 ½*	15 *			

Nota:

Los intervalos medios se mantendrán de acuerdo con este cuadro, salvo incidencias en la línea.
*Consulte el horario de trenes.

Note:

Average times will be in accordance with this table, unless there are incidents on the line.
* Check the train timetable.

Intervalo medio entre trenes en la **línea 6**

De 6:00 de la mañana a 1:30 de la madrugada / From 6:00 am to 1:30 am

Intervalo medio entre trenes / Average time between trains



Línea / Line 6 Circular Andén 1 / Platform 1

Periodo / Period	6:05 - 7:00	7:00 - 9:00	9:00 - 9:30	9:30 - 10:00	10:00 - 11:00	11:00 - 21:00	21:00 - 22:00	22:00 - 23:00	23:00 - 0:00	0:00 - 2:00
Lunes a Jueves (minutos) <i>Monday to Thursday (minutes)</i>	4 - 9	2 ½ - 3 ½		3 ½ - 4 ½		4 - 5	7 ½*		15 *	
Viernes (minutos) <i>Fridays (minutes)</i>	4 - 9	2 ½ - 3 ½		3 ½ - 4 ½		4 - 5	7 ½*		15 *	
Sábados (minutos) <i>Saturdays (minutes)</i>	7 - 9	7 - 8	6 ½ - 7 ½			5 - 6		6 - 7	7 ½*	15 *
Domingos y festivos (minutos) <i>Sundays & public holidays (minutes)</i>	7 - 9	7 - 8			5 - 6		7 - 8	7 ½*		15 *

Nota:

Los intervalos medios se mantendrán de acuerdo con este cuadro, salvo incidencias en la línea.
*Consulte el horario de trenes.

Note:

Average times will be in accordance with this table, unless there are incidents on the line.
* Check the train timetable.

ANEJO II. TRABAJOS DE CAMPO

Figura 72. Ubicación punto 1

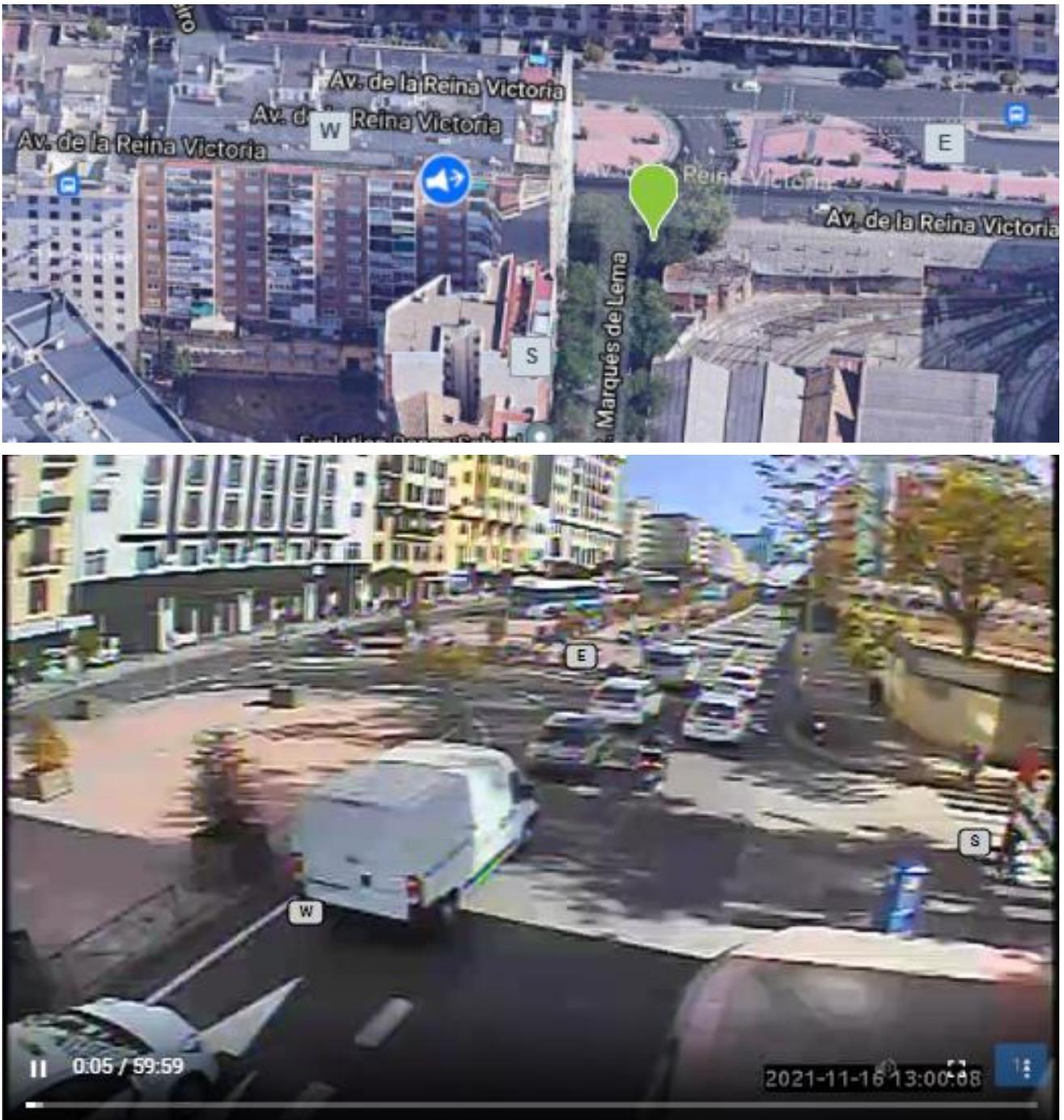


Tabla 9. Aforos punto 1

Horario de comienzo	Motos				Ligeros				Pesados			
	E- Avenida de la Reina Victoria Westbound		W- Avenida de la Reina Victoria Eastbound		E- Avenida de la Reina Victoria Westbound		W- Avenida de la Reina Victoria Eastbound		E- Avenida de la Reina Victoria Westbound		W- Avenida de la Reina Victoria Eastbound	
	Thru	Right	Thru	U-Turn	Thru	Right	Thru	U-Turn	Thru	Right	Thru	U-Turn
	E-W	W-S	W-E	W-W	E-W	W-S	W-E	W-W	E-W	W-S	W-E	W-W
6:00	1	0	0	0	20	0	17	5	5	0	3	0
6:15	0	0	2	0	28	0	20	3	6	0	3	0
6:30	5	0	1	1	34	2	23	6	6	0	5	0
6:45	1	0	6	0	68	0	41	5	6	0	12	0
7:00	8	0	2	0	72	0	59	8	7	0	7	1
7:15	10	0	0	0	96	2	83	18	12	0	8	0
7:30	7	0	15	3	104	1	103	10	12	0	12	0
7:45	9	0	8	1	114	2	113	10	15	0	15	0
8:00	12	0	8	2	135	1	116	9	15	0	8	0
8:15	13	0	10	1	124	4	140	11	15	0	12	1
8:30	10	0	14	2	144	6	142	8	16	1	13	0
8:45	11	0	28	3	135	3	138	8	15	0	15	1
9:00	9	1	16	2	168	2	120	15	11	0	13	1
9:15	3	0	20	2	126	5	128	8	16	1	15	0
9:30	7	0	16	0	136	3	121	11	10	0	15	1
9:45	3	2	12	1	125	8	111	13	15	1	18	0
10:00	1	0	4	0	139	1	126	14	17	0	19	0
10:15	0	0	4	0	113	7	132	8	13	1	12	1
10:30	0	1	10	0	145	7	114	5	14	2	15	4
10:45	0	0	1	0	132	6	118	10	14	2	18	1
11:00	2	0	12	1	133	6	129	17	17	1	13	0
11:15	3	0	13	1	128	8	120	8	16	0	8	0
11:30	10	2	13	1	129	14	103	13	13	1	10	1
11:45	13	2	11	1	125	10	127	6	11	0	14	2
12:00	5	0	8	1	114	7	124	19	11	1	14	0
12:15	2	0	12	0	140	9	119	11	11	0	10	0
12:30	2	1	9	1	154	9	117	12	10	0	14	1
12:45	13	0	14	0	127	4	111	13	10	2	14	1
13:00	20	0	13	2	138	7	119	8	11	0	13	0
13:15	14	1	15	1	136	2	119	7	12	0	5	0
13:30	21	1	21	2	111	8	98	11	11	0	8	0
13:45	14	1	16	0	163	3	91	15	11	0	11	0
14:00	1	0	11	1	135	3	114	16	13	0	10	0
14:15	1	1	21	0	133	2	115	17	14	0	16	1
14:30	7	0	9	0	137	9	105	20	12	1	6	0
14:45	5	0	14	2	161	7	94	12	12	0	11	2
15:00	22	2	19	1	139	6	99	10	9	1	12	0
15:15	25	1	14	0	141	5	88	8	10	0	9	0
15:30	21	2	13	3	125	4	111	12	10	0	13	0
15:45	19	0	16	6	118	1	118	6	11	0	6	1

Horario de comienzo	Motos				Ligeros				Pesados			
	E- Avenida de la Reina Victoria Westbound		W- Avenida de la Reina Victoria Eastbound		E- Avenida de la Reina Victoria Westbound		W- Avenida de la Reina Victoria Eastbound		E- Avenida de la Reina Victoria Westbound		W- Avenida de la Reina Victoria Eastbound	
	Thru	Right	Thru	U-Turn	Thru	Right	Thru	U-Turn	Thru	Right	Thru	U-Turn
	E-W	W-S	W-E	W-W	E-W	W-S	W-E	W-W	E-W	W-S	W-E	W-W
16:00	9	1	10	0	100	7	103	8	9	0	13	0
16:15	10	0	14	1	121	6	90	9	10	0	8	0
16:30	8	2	5	1	114	6	107	15	7	1	10	0
16:45	5	4	13	1	145	5	110	7	17	0	11	1
17:00	8	3	18	1	117	7	104	6	13	0	15	0
17:15	16	1	15	0	125	4	116	9	11	0	10	1
17:30	11	0	16	0	138	15	102	15	10	2	9	0
17:45	10	0	12	1	153	2	124	9	10	0	10	0
18:00	23	1	22	1	157	9	126	10	11	1	9	0
18:15	28	0	20	2	179	15	115	14	12	0	10	0
18:30	28	0	13	1	141	12	108	10	7	0	10	0
18:45	20	2	14	1	154	5	116	7	10	0	8	0
19:00	16	1	21	1	176	6	97	14	11	0	10	0
19:15	23	0	17	2	138	3	103	5	10	0	9	0
19:30	17	2	13	1	151	11	113	9	7	0	9	0
19:45	16	3	18	0	149	8	99	7	8	0	6	0
20:00	28	3	16	1	113	7	87	3	14	0	10	0
20:15	15	0	16	0	123	5	92	7	8	0	7	0
20:30	20	0	20	2	139	10	100	8	5	0	6	0
20:45	21	0	19	4	91	3	80	10	6	0	6	0
21:00	25	1	21	1	90	7	73	6	5	0	6	0
21:15	14	2	19	3	97	6	76	9	6	0	5	0
21:30	7	1	9	2	92	4	60	2	8	1	7	0
21:45	15	1	18	0	67	5	54	2	6	0	4	0
Totales	723	46	830	69	7915	352	6541	627	696	20	663	22

Figura 73. Ubicación punto 2

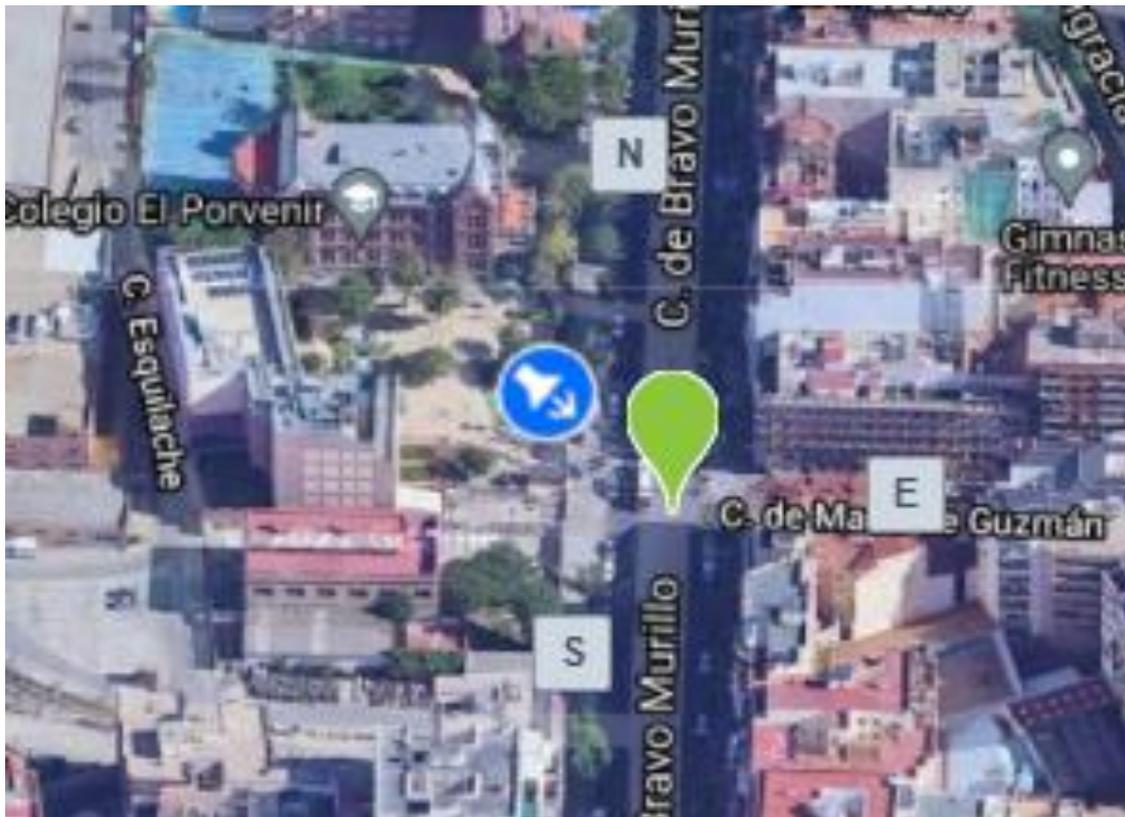


Tabla 10. Aforos punto 2

Horario de comienzo	Motos		Cars & Light Goods		Other Vehicles	
	N- Calle de Bravo Murillo Southbound	E- Calle María de Guzmán Westbound	N- Calle de Bravo Murillo Southbound	E- Calle María de Guzmán Westbound	N- Calle de Bravo Murillo Southbound	E- Calle María de Guzmán Westbound
	Thru	Left	Thru	Left	Thru	Left
	N-S	E-S	N-S	E-S	N-S	E-S
6:00	2	0	34	1	5	0
6:15	1	0	45	3	6	0
6:30	10	1	44	4	8	0
6:45	7	1	58	1	13	0
7:00	9	1	71	8	7	1
7:15	9	0	94	7	10	0
7:30	20	0	115	15	12	2
7:45	18	1	150	16	7	1
8:00	18	1	158	27	10	0
8:15	19	5	197	19	7	1
8:30	28	2	224	13	13	0
8:45	40	0	217	31	9	1
9:00	53	1	255	39	14	0
9:15	37	1	208	31	15	0
9:30	34	3	184	18	18	2
9:45	41	0	190	20	15	2
10:00	36	1	204	32	13	1
10:15	28	2	168	27	13	1
10:30	33	4	182	17	16	1
10:45	37	3	189	15	14	4
11:00	19	5	182	24	20	1
11:15	38	3	181	33	14	1
11:30	32	1	174	26	15	0
11:45	27	0	196	37	14	1
12:00	38	2	154	38	12	2
12:15	48	1	206	36	16	8
12:30	31	3	174	30	6	2
12:45	21	4	170	39	16	0
13:00	30	2	173	29	14	1
13:15	34	2	191	37	13	0
13:30	26	8	172	23	11	3
13:45	44	7	159	39	13	0
14:00	52	7	163	23	9	0
14:15	55	6	184	26	11	0
14:30	45	1	177	24	8	1
14:45	40	2	188	24	8	1
15:00	47	4	202	17	13	0
15:15	34	2	165	37	6	1
15:30	37	1	169	25	12	0
15:45	24	1	144	18	6	1

Horario de comienzo	Motos		Cars & Light Goods		Other Vehicles	
	N- Calle de Bravo Murillo Southbound	E- Calle María de Guzmán Westbound	N- Calle de Bravo Murillo Southbound	E- Calle María de Guzmán Westbound	N- Calle de Bravo Murillo Southbound	E- Calle María de Guzmán Westbound
	Thru	Left	Thru	Left	Thru	Left
	N-S	E-S	N-S	E-S	N-S	E-S
16:00	27	0	181	30	10	0
16:15	22	3	182	33	11	0
16:30	40	0	174	14	11	1
16:45	38	6	241	32	10	0
17:00	47	9	199	29	9	1
17:15	43	4	187	31	10	1
17:30	45	10	175	35	11	0
17:45	46	3	225	25	9	0
18:00	41	1	235	25	8	0
18:15	59	10	194	22	7	1
18:30	51	4	228	15	8	0
18:45	44	3	217	29	10	0
19:00	57	3	218	19	8	0
19:15	50	6	218	34	5	0
19:30	46	10	197	33	9	0
19:45	52	7	182	39	7	0
20:00	65	7	167	26	6	0
20:15	56	7	172	24	9	0
20:30	46	3	142	22	6	1
20:45	44	5	126	29	6	1
21:00	41	4	113	14	5	0
21:15	23	4	118	21	5	0
21:30	36	3	90	12	6	0
21:45	31	1	81	14	5	0
Totales	2252	202	10773	1536	653	46

Figura 74. Ubicación punto 3

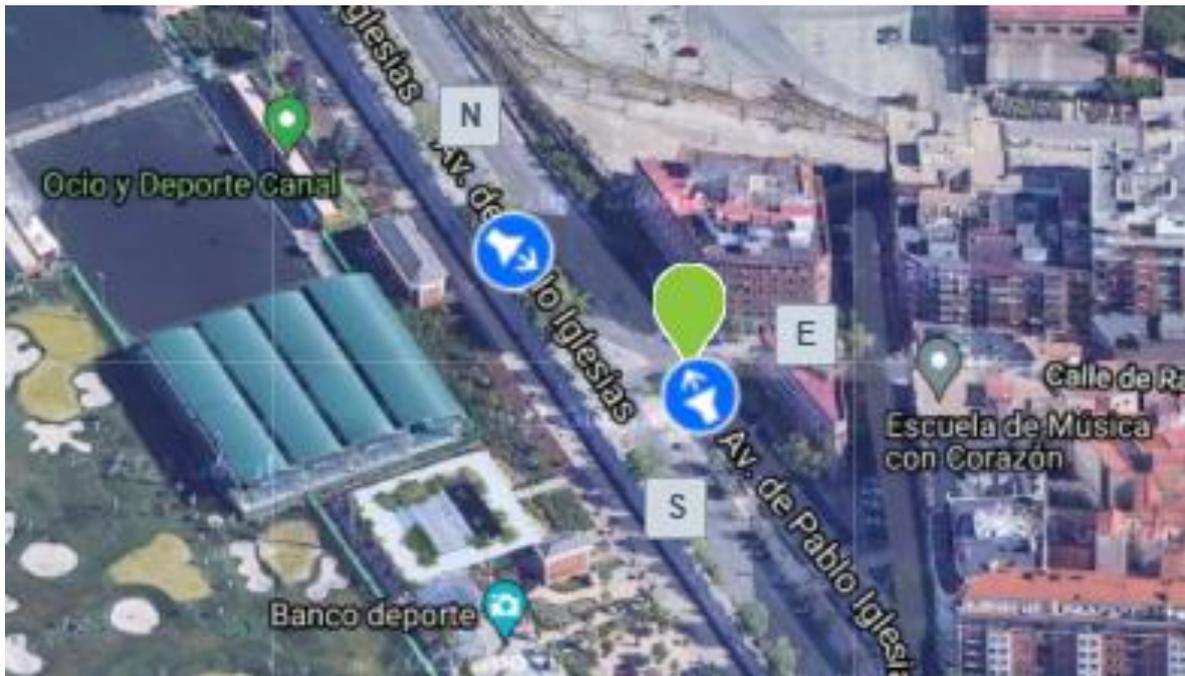






Tabla 11. Aforos punto 3

Horario de comienzo	Motos									Cars & Light Goods									Other Vehicles									
	N- Avenida de Pablo Iglesias Southbound			E- Calle de Ramiro II Westbound			S- venida de Pablo Iglesias Northbound			N- Avenida de Pablo Iglesias Southbound			E- Calle de Ramiro II Westbound			S- venida de Pablo Iglesias Northbound			N- Avenida de Pablo Iglesias Southbound			E- Calle de Ramiro II Westbound			S- venida de Pablo Iglesias Northbound			
	Thru	Left	U-Turn	Right	Left	U-Turn	Right	Thru	U-Turn	Thru	Left	U-Turn	Right	Left	U-Turn	Right	Thru	U-Turn	Thru	Left	U-Turn	Right	Left	U-Turn	Right	Thru	U-Turn	
	N-S	N-E	N-N	E-N	E-S	E-E	S-E	S-N	S-S	N-S	N-E	N-N	E-N	E-S	E-E	S-E	S-N	S-S	N-S	N-E	N-N	E-N	E-S	E-E	S-E	S-N	S-S	
6:00	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	5	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
6:15	1	0	0	0	0	0	0	1	0	6	3	0	0	0	0	1	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	8	0	0	0	0	3	12	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6:45	0	1	0	0	0	0	0	0	0	20	7	0	0	0	0	1	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
7:00	3	1	0	0	0	0	1	0	0	13	14	0	0	0	0	2	23	6	1	1	0	0	0	0	0	2	0	
7:15	8	3	0	0	0	0	0	3	0	32	18	2	0	0	0	1	21	1	2	4	0	0	0	0	0	3	0	
7:30	4	3	0	0	0	0	1	8	0	47	20	0	0	0	0	2	38	2	1	1	0	0	0	0	1	3	0	
7:45	20	3	0	0	0	0	0	5	0	60	28	0	0	0	0	2	59	1	2	1	0	0	0	0	1	2	0	
8:00	10	1	0	0	0	0	0	4	0	63	29	0	0	0	0	3	47	1	1	0	0	0	0	0	0	3	1	
8:15	13	6	0	0	0	0	0	6	0	93	39	1	0	0	0	1	50	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	
8:30	13	10	0	0	0	0	0	6	0	75	42	0	0	0	0	3	68	3	3	1	0	0	0	0	0	3	0	
8:45	14	11	0	0	0	0	0	10	0	110	55	2	0	0	0	1	73	2	0	1	0	0	0	0	0	3	0	
9:00	11	7	0	0	0	0	0	8	0	95	48	1	0	0	0	0	66	10	1	0	0	0	0	0	0	1	0	
9:15	24	6	0	0	0	0	0	6	0	94	35	0	0	0	0	2	67	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
9:30	11	3	0	0	0	0	0	7	0	76	32	1	0	0	0	1	63	5	1	0	0	0	0	0	2	3	0	
9:45	9	3	0	0	0	0	1	4	1	79	24	1	0	0	0	4	47	5	4	1	0	0	0	0	0	2	0	
10:00	9	1	0	1	0	0	0	2	0	48	18	0	0	0	0	11	43	2	2	0	0	0	0	0	0	1	4	0
10:15	5	1	0	0	0	0	0	5	0	57	21	2	0	0	0	2	47	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	
10:30	4	1	0	0	0	0	0	3	0	57	21	0	0	0	0	2	52	7	4	1	0	0	0	0	1	4	0	
10:45	6	4	0	0	0	0	0	8	0	60	23	2	0	0	0	1	62	7	3	0	0	0	0	0	0	2	0	
11:00	17	3	0	0	0	0	0	10	0	67	28	0	0	0	0	4	48	4	2	1	0	0	0	0	0	1	0	
11:15	5	2	0	0	0	0	0	3	0	44	26	0	0	0	0	7	58	4	7	1	0	0	0	0	0	6	0	
11:30	10	1	0	0	0	0	0	6	0	53	16	2	0	0	0	6	49	3	4	1	0	0	0	0	1	1	0	
11:45	6	4	0	0	0	0	0	6	1	55	22	3	0	0	0	1	54	4	4	1	0	0	0	0	0	1	0	
12:00	8	4	0	0	0	0	0	7	0	58	18	0	0	0	0	8	63	4	2	0	0	0	0	0	0	1	0	
12:15	7	9	0	1	0	0	0	10	1	55	19	0	0	0	0	2	56	2	1	1	0	0	0	0	1	4	0	
12:30	7	2	0	0	0	0	0	7	0	69	25	1	1	0	0	2	62	9	2	0	0	0	0	0	0	1	0	
12:45	10	2	0	0	0	0	0	4	0	60	15	0	0	0	0	2	49	5	1	0	0	0	0	0	0	2	0	
13:00	11	5	0	0	1	0	0	12	0	47	22	2	0	0	0	3	62	3	4	1	0	0	0	0	2	2	0	
13:15	8	2	0	0	0	0	0	12	0	57	17	1	0	0	0	1	60	5	2	1	0	0	0	0	0	3	0	
13:30	7	3	0	0	0	0	0	12	0	56	21	0	0	0	0	2	49	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	
13:45	15	5	0	0	0	0	0	14	0	51	23	1	0	0	0	3	64	2	0	0	0	0	0	0	1	2	0	
14:00	16	3	0	0	0	0	0	18	2	56	27	1	0	0	0	0	71	4	0	1	0	0	0	0	0	2	0	
14:15	15	6	0	0	1	0	0	18	1	54	20	1	0	0	0	2	67	2	1	0	0	0	0	0	0	2	0	
14:30	7	3	0	0	1	0	0	21	0	52	23	0	0	0	0	0	92	1	2	0	0	0	0	0	0	1	0	
14:45	14	5	0	0	1	0	0	14	0	59	31	0	0	0	0	2	93	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
15:00	9	3	1	0	0	0	0	12	0	51	19	1	0	0	0	2	66	6	1	0	0	0	0	0	1	1	0	
15:15	6	4	0	0	0	0	0	1	12	45	20	1	0	0	0	0	59	3	1	0	0	0	0	0	0	1	0	
15:30	8	1	1	0	0	0	0	12	0	69	18	1	0	0	0	1	60	4	2	1	0	0	0	0	1	1	0	
15:45	5	3	0	0	0	0	1	8	0	45	22	0	0	0	0	1	54	4	1	0	0	0	0	0	0	2	0	



Horario de comienzo	Motos									Cars & Light Goods									Other Vehicles								
	N- Avenida de Pablo Iglesias Southbound			E- Calle de Ramiro II Westbound			S- venida de Pablo Iglesias Northbound			N- Avenida de Pablo Iglesias Southbound			E- Calle de Ramiro II Westbound			S- venida de Pablo Iglesias Northbound			N- Avenida de Pablo Iglesias Southbound			E- Calle de Ramiro II Westbound			S- venida de Pablo Iglesias Northbound		
	Thru	Left	U-Turn	Right	Left	U-Turn	Right	Thru	U-Turn	Thru	Left	U-Turn	Right	Left	U-Turn	Right	Thru	U-Turn	Thru	Left	U-Turn	Right	Left	U-Turn	Right	Thru	U-Turn
	N-S	N-E	N-N	E-N	E-S	E-E	S-E	S-N	S-S	N-S	N-E	N-N	E-N	E-S	E-E	S-E	S-N	S-S	N-S	N-E	N-N	E-N	E-S	E-E	S-E	S-N	S-S
16:00	8	4	0	0	0	0	0	8	0	54	16	0	0	0	0	2	42	2	1	0	0	0	0	0	0	1	1
16:15	4	2	0	0	0	0	0	3	0	52	17	1	0	0	0	1	53	6	2	0	0	0	0	0	0	2	0
16:30	13	1	0	0	0	0	0	12	0	70	20	2	0	0	0	4	72	6	3	0	0	0	0	0	0	2	0
16:45	5	4	1	0	0	0	0	16	0	57	25	0	0	0	0	3	77	9	0	2	0	0	0	0	0	2	0
17:00	7	0	0	0	0	0	0	17	0	72	30	0	0	0	0	3	70	9	1	0	0	0	0	0	0	3	1
17:15	9	4	0	0	0	0	0	8	0	68	22	3	0	0	0	1	61	3	3	0	0	0	0	0	0	3	0
17:30	5	8	0	0	0	0	0	13	0	57	24	1	0	0	0	3	59	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0
17:45	7	1	0	1	1	0	0	17	0	69	24	2	0	0	0	5	73	7	2	1	0	0	0	0	0	0	0
18:00	11	7	0	0	0	0	0	19	0	66	27	2	0	0	0	2	76	3	1	0	0	0	0	0	0	6	0
18:15	7	4	0	0	0	0	0	17	0	62	27	0	0	0	0	0	68	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0
18:30	14	4	0	1	0	0	0	10	0	53	22	1	0	0	0	1	47	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18:45	9	2	0	0	0	0	0	18	0	74	27	2	0	0	0	2	78	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0
19:00	11	3	0	0	0	0	0	23	1	90	20	6	0	0	0	3	90	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0
19:15	12	9	0	0	0	0	0	9	0	48	23	3	0	0	0	1	84	5	1	0	0	0	0	0	0	1	0
19:30	4	1	0	0	0	0	0	13	0	61	23	0	0	0	0	2	86	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:45	15	5	0	0	0	0	1	12	2	48	31	2	0	0	0	8	86	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00	8	8	0	0	0	0	0	16	1	72	12	4	0	0	0	3	68	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
20:15	11	7	1	0	0	0	0	22	0	47	15	6	0	0	0	5	64	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:30	9	2	0	0	0	0	0	10	2	40	17	3	0	0	0	4	54	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0
20:45	8	4	0	0	0	0	1	11	0	49	14	1	0	0	0	7	55	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00	7	3	0	2	0	0	2	17	1	38	15	3	1	0	0	3	45	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:15	11	4	0	0	0	0	0	18	0	35	7	3	0	0	0	1	50	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
21:30	9	2	0	0	0	0	0	5	0	31	12	2	0	0	0	2	48	5	1	0	0	0	0	0	0	2	0
21:45	9	2	1	0	0	0	0	9	0	23	8	0	0	0	0	1	38	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Totales	569	226	5	6	5	0	9	628	13	3544	1395	74	2	0	0	159	3642	245	92	24	0	0	0	0	14	104	4

Figura 75. Ubicación punto 4



Tabla 12. Aforos punto 4

Horario de comienzo	Motos				Cars & Light Goods				Other Vehicles			
	Lane 1	Lane 2	Lane 3	Lane 4	Lane 1	Lane 2	Lane 3	Lane 4	Lane 1	Lane 2	Lane 3	Lane 4
	Northbound	Northbound	Northbound	Northbound	Northbound	Northbound	Northbound	Northbound	Northbound	Northbound	Northbound	Northbound
6:00	0	0	0	0	3	17	1	1	0	1	1	1
6:15	1	1	1	0	9	14	10	2	0	1	0	0
6:30	1	3	0	1	14	20	6	2	2	0	0	0
6:45	1	3	0	1	18	48	12	2	0	3	0	0
7:00	2	4	2	2	67	41	22	9	1	2	0	0
7:15	4	4	0	0	74	61	30	14	0	2	2	0
7:30	14	6	3	3	90	53	33	8	2	2	0	1
7:45	11	6	1	4	96	50	48	17	2	1	2	0
8:00	6	8	4	4	94	54	34	27	3	0	1	0
8:15	10	13	12	4	101	42	41	21	2	1	0	1
8:30	14	17	11	3	97	58	76	27	5	2	0	0
8:45	28	22	7	4	93	57	53	28	0	1	1	2
9:00	15	20	10	6	82	75	59	33	1	1	1	0
9:15	18	12	8	5	56	70	55	30	2	0	2	0
9:30	13	11	8	5	63	52	43	16	1	0	1	1
9:45	10	9	4	2	70	52	40	23	1	2	3	0
10:00	4	10	2	1	52	52	41	13	1	3	2	0
10:15	8	6	2	3	69	50	49	21	1	3	2	0
10:30	2	11	6	0	63	50	42	24	6	3	7	0
10:45	7	7	10	4	56	56	57	21	1	3	4	0
11:00	6	10	9	4	64	49	38	18	3	0	0	1
11:15	5	3	2	4	80	52	56	14	1	1	6	0
11:30	10	8	2	3	62	50	53	23	3	3	2	0
11:45	4	8	9	4	73	45	32	21	2	1	2	0
12:00	3	5	5	3	74	68	73	17	0	2	1	0
12:15	5	12	7	7	58	64	46	20	2	2	2	1
12:30	8	5	6	2	76	64	49	15	3	2	2	1
12:45	7	15	11	1	79	56	59	21	3	1	0	0
13:00	11	3	6	2	62	55	59	14	1	3	1	1
13:15	8	5	9	4	64	61	49	26	1	2	0	1
13:30	14	11	6	5	61	69	44	21	1	0	0	1
13:45	9	9	14	5	83	56	58	32	1	1	3	0
14:00	16	16	13	10	76	96	75	27	0	1	1	1
14:15	13	20	11	7	55	90	64	24	0	2	0	0
14:30	7	15	15	10	84	79	68	26	1	1	0	0
14:45	16	20	10	4	84	63	71	29	1	2	1	0
15:00	6	17	5	3	87	54	62	17	2	0	0	2
15:15	11	11	10	6	73	70	50	15	0	0	1	0
15:30	7	10	10	6	63	62	45	13	1	0	3	0
15:45	12	10	9	3	64	73	44	22	0	1	1	2
16:00	13	9	10	7	70	57	48	16	1	2	0	0
16:15	9	8	5	0	61	57	49	22	0	3	2	0
16:30	5	7	11	5	66	67	62	23	0	2	0	1
16:45	9	12	2	8	71	61	54	32	2	0	1	1
17:00	8	11	5	6	54	89	58	30	2	3	0	1
17:15	6	13	6	6	73	64	56	26	1	2	2	2

Horario de comienzo	Motos				Cars & Light Goods				Other Vehicles			
	Lane 1	Lane 2	Lane 3	Lane 4	Lane 1	Lane 2	Lane 3	Lane 4	Lane 1	Lane 2	Lane 3	Lane 4
	Northbound	Northbound	Northbound	Northbound	Northbound	Northbound	Northbound	Northbound	Northbound	Northbound	Northbound	Northbound
17:30	4	13	12	2	87	62	46	27	2	2	0	0
17:45	8	11	10	8	55	88	62	30	0	0	0	0
18:00	12	15	9	5	74	69	69	37	0	1	0	0
18:15	6	10	16	8	79	95	61	36	0	2	0	0
18:30	5	6	7	6	65	82	57	27	0	0	1	1
18:45	8	14	10	2	48	87	61	29	0	1	1	0
19:00	9	15	20	8	73	66	69	40	1	1	1	0
19:15	11	11	12	7	85	59	66	36	0	0	0	0
19:30	14	14	9	3	77	58	70	28	1	0	0	0
19:45	13	9	10	6	73	69	55	34	0	0	0	0
20:00	7	14	6	4	28	101	63	29	0	0	0	0
20:15	15	21	13	7	54	83	55	33	0	0	0	0
20:30	2	15	12	5	24	96	56	18	0	0	0	0
20:45	13	13	4	6	59	48	51	28	0	0	0	0
21:00	10	18	14	11	37	69	34	14	0	0	0	0
21:15	9	13	10	7	40	65	47	12	0	0	0	0
21:30	6	9	8	5	21	63	45	19	0	3	0	0
21:45	8	9	6	5	26	38	27	8	0	0	0	0
Totales	557	676	487	282	4089	3941	3168	1388	67	78	63	23



ANEJO III. MATRICES ORIGEN-DESTINO



Matrices origen-destino. Situación actual

Tabla 13. Matriz origen-destino actual. Ligeros. Hora Punta de Mañana

O/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	10	437	283	3	0	535	0	534	8	39	16
2	223	0	230	109	223	0	237	0	36	23	76	23
3	711	132	0	35	109	0	44	0	44	0	27	13
4	396	291	132	0	148	0	127	0	7	14	273	3
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	123	250	5	4	9	0	0	0	63	210	29	15
7	52	36	139	44	59	0	0	0	24	0	8	4
8	2	3	118	72	6	0	1	0	974	91	1	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	169	43	74	43	1	0	97	0	17	0	12	0
11	112	36	1	0	1	0	1	0	42	18	0	9
12	9	9	2	2	3	0	2	0	3	3	9	0

Tabla 14. Matriz origen-destino actual. Pesados. Hora Punta de Mañana

O/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	2	16	10	2	0	18	0	10	2	2	2
2	8	0	9	7	6	0	9	0	2	2	2	2
3	24	7	0	2	1	0	2	0	0	1	5	5
4	4	9	1	0	1	0	1	0	0	1	1	5
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	4	8	1	1	2	0	1	0	2	1	2	2
7	2	5	4	2	0	0	0	0	0	1	5	5
8	2	2	4	3	2	0	1	0	34	1	2	2
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	4	2	1	1	2	0	1	0	2	0	2	2
11	4	2	6	6	2	0	6	0	2	2	0	2
12	2	2	6	6	2	0	6	0	2	2	2	0



Tabla 15. Matriz origen-destino actual. Ligeros. Hora Punta de Tarde

O/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	414	787	369	4	0	306	0	716	8	30	10
2	295	0	450	175	170	0	43	0	24	33	87	10
3	981	231	0	39	71	0	46	0	32	9	17	14
4	200	143	62	0	32	0	440	0	18	34	118	14
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	78	50	12	161	10	0	81	0	161	216	18	10
7	177	69	174	265	131	0	0	0	11	13	21	14
8	10	10	16	49	56	0	1	0	1435	100	1	10
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	78	21	26	24	1	0	42	0	26	0	10	10
11	92	25	13	1	1	0	23	0	89	14	0	10
12	36	13	6	8	0	0	11	0	6	4	9	0

Tabla 16. Matriz origen-destino actual. Pesados. Hora Punta de Tarde

O/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	9	18	9	2	0	7	0	12	2	1	1
2	7	0	10	6	4	0	4	0	2	2	1	1
3	22	7	0	1	0	0	3	0	0	0	0	5
4	0	6	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	1	1	3	1	0	2	0	3	1	1	1
7	4	5	4	6	0	0	0	0	0	1	5	5
8	1	1	1	1	1	0	1	0	32	1	1	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1
11	1	1	4	4	2	0	4	0	3	2	0	1
12	1	1	4	4	2	0	4	0	2	2	1	0



Matrices origen-destino. Situación futura

Tabla 17. Matriz origen-destino futura. Ligeros. Hora Punta de Mañana

O/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	10	437	283	3	0	535	0	534	8	39	16	11
2	223	0	230	109	223	0	237	0	36	23	76	23	7
3	711	132	0	35	109	0	44	0	44	0	27	13	7
4	396	291	132	0	148	0	127	0	7	14	273	3	8
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	123	250	5	4	9	0	0	0	63	210	29	15	4
7	52	36	139	44	59	0	0	0	24	0	8	4	2
8	2	3	118	72	6	0	1	0	974	91	1	1	8
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	169	43	74	43	1	0	97	0	17	0	12	0	3
11	112	36	1	0	1	0	1	0	42	18	0	9	1
12	9	9	2	2	3	0	2	0	3	3	9	0	0
13	7	3	4	2	2	0	4	0	6	1	2	0	0

Tabla 18. Matriz origen-destino futura. Pesados. Hora Punta de Mañana

O/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	2	16	10	2	0	18	0	10	2	2	2	0
2	8	0	9	7	6	0	9	0	2	2	2	2	0
3	24	7	0	2	1	0	2	0	0	1	5	5	0
4	4	9	1	0	1	0	1	0	0	1	1	5	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	4	8	1	1	2	0	1	0	2	1	2	2	0
7	2	5	4	2	0	0	0	0	0	1	5	5	0
8	2	2	4	3	2	0	1	0	34	1	2	2	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	4	2	1	1	2	0	1	0	2	0	2	2	0
11	4	2	6	6	2	0	6	0	2	2	0	2	0
12	2	2	6	6	2	0	6	0	2	2	2	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabla 19. Matriz origen-destino futura. Ligeros. Hora Punta de Tarde

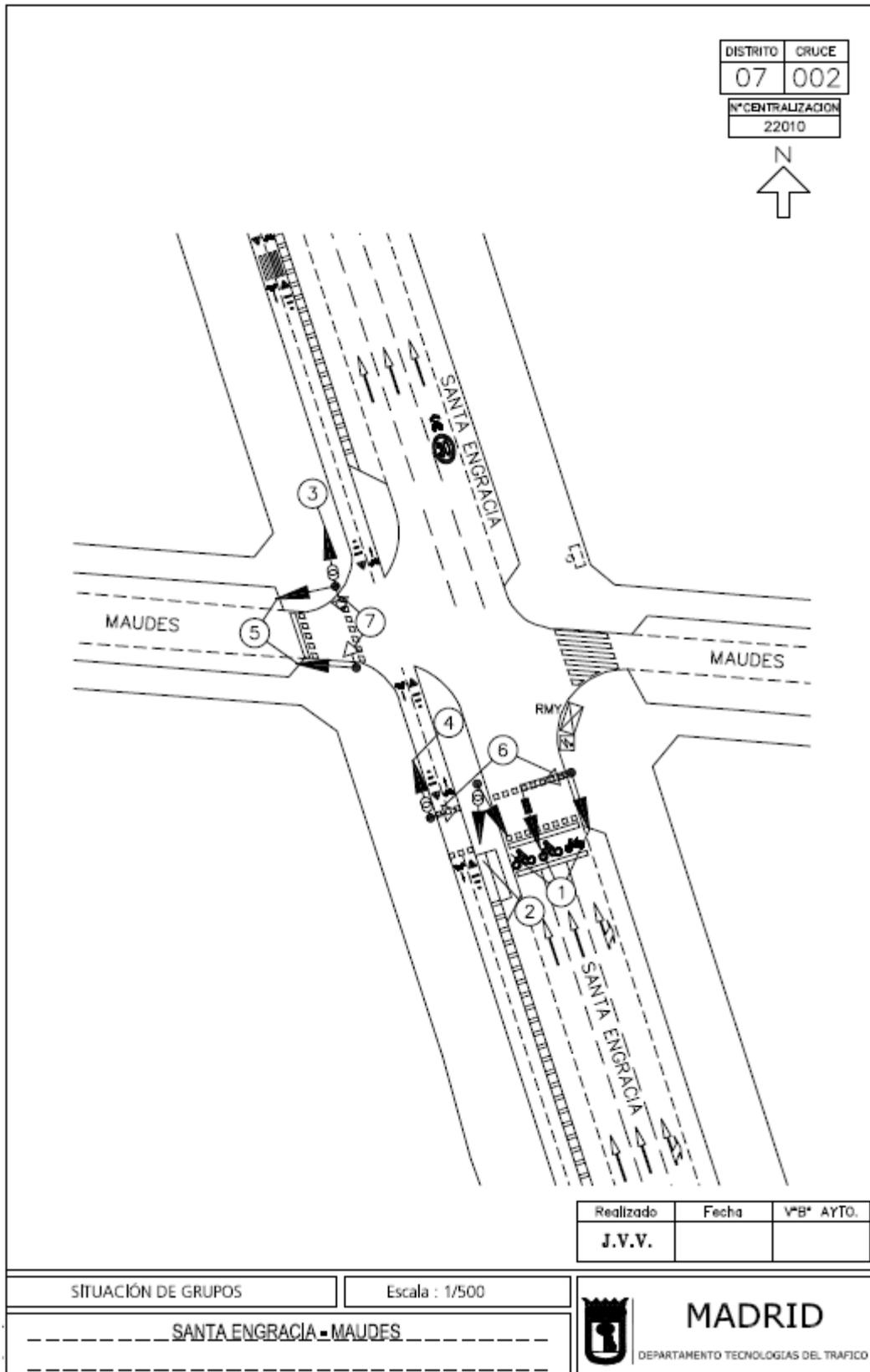
O/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	414	787	369	4	0	306	0	716	8	30	10	48
2	295	0	450	175	170	0	43	0	24	33	87	10	24
3	981	231	0	39	71	0	46	0	32	9	17	14	26
4	200	143	62	0	32	0	440	0	18	34	118	14	19
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	78	50	12	161	10	0	81	0	161	216	18	10	15
7	177	69	174	265	131	0	0	0	11	13	21	14	16
8	10	10	16	49	56	0	1	0	1435	100	1	10	31
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	78	21	26	24	1	0	42	0	26	0	10	10	4
11	92	25	13	1	1	0	23	0	89	14	0	10	5
12	36	13	6	8	0	0	11	0	6	4	9	0	2
13	39	19	31	22	9	0	20	0	50	9	6	2	0

Tabla 20. Matriz origen-destino futura. Pesados. Hora Punta de Tarde

O/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	9	18	9	2	0	7	0	12	2	1	1	0
2	7	0	10	6	4	0	4	0	2	2	1	1	0
3	22	7	0	1	0	0	3	0	0	0	0	5	0
4	0	6	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	1	1	3	1	0	2	0	3	1	1	1	0
7	4	5	4	6	0	0	0	0	0	1	5	5	0
8	1	1	1	1	1	0	1	0	32	1	1	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0
11	1	1	4	4	2	0	4	0	3	2	0	1	0
12	1	1	4	4	2	0	4	0	2	2	1	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



ANEJO IV. CICLOS SEMAFÓRICOS



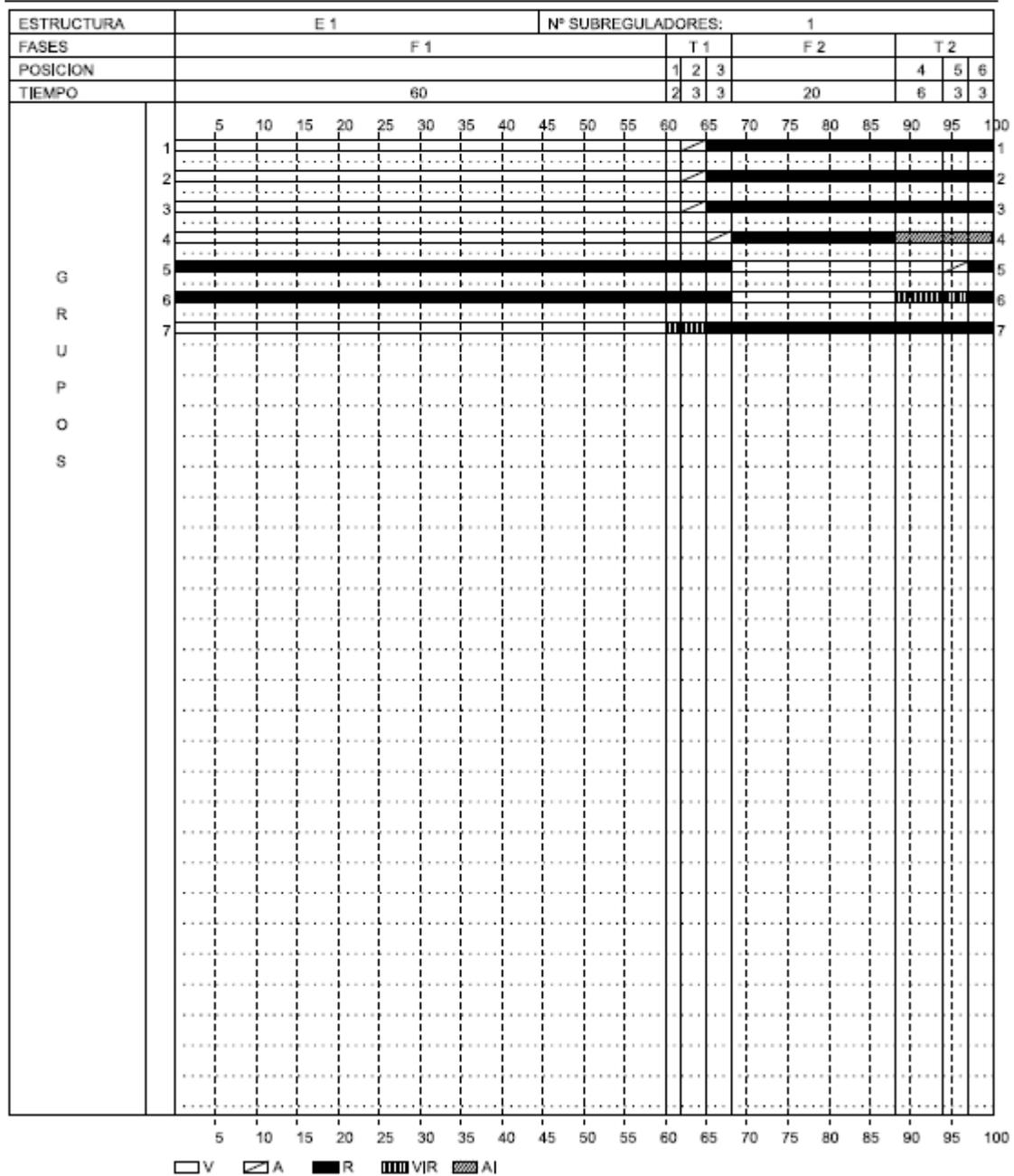


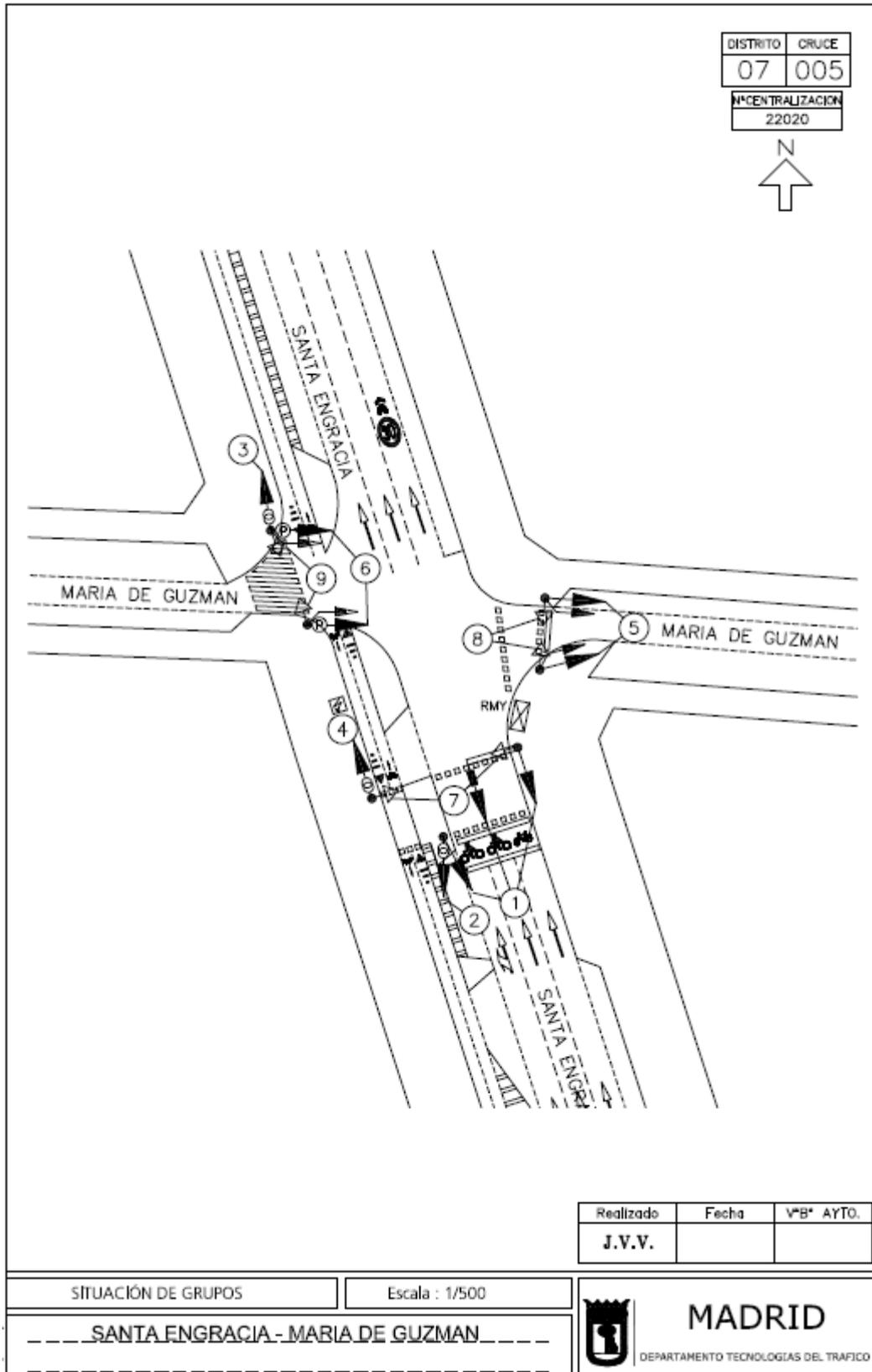
CRUCE : SANTA ENGRACIA-MAUDES
Nº DE CRUCE : 07002

AYUNTAMIENTO MADRID
Nº REGULADOR : 2201
Nº SUBREGULADORES : 1

REGULADOR : RMY
TENSION : 230
C.ELECTR :
ARMARIO :

REN MARCHA : / / :
VERSION : 2721
MODO FUNC :





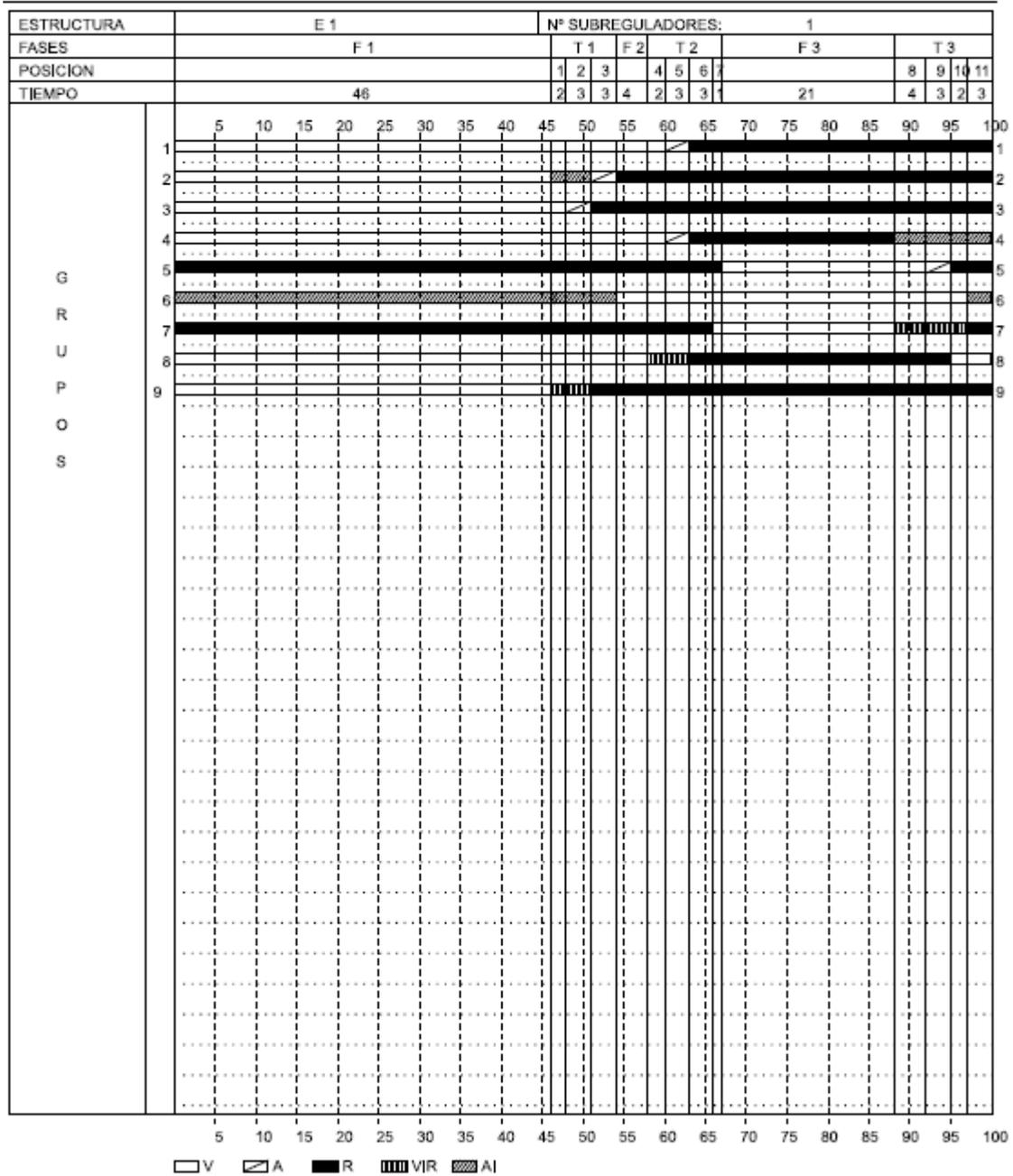


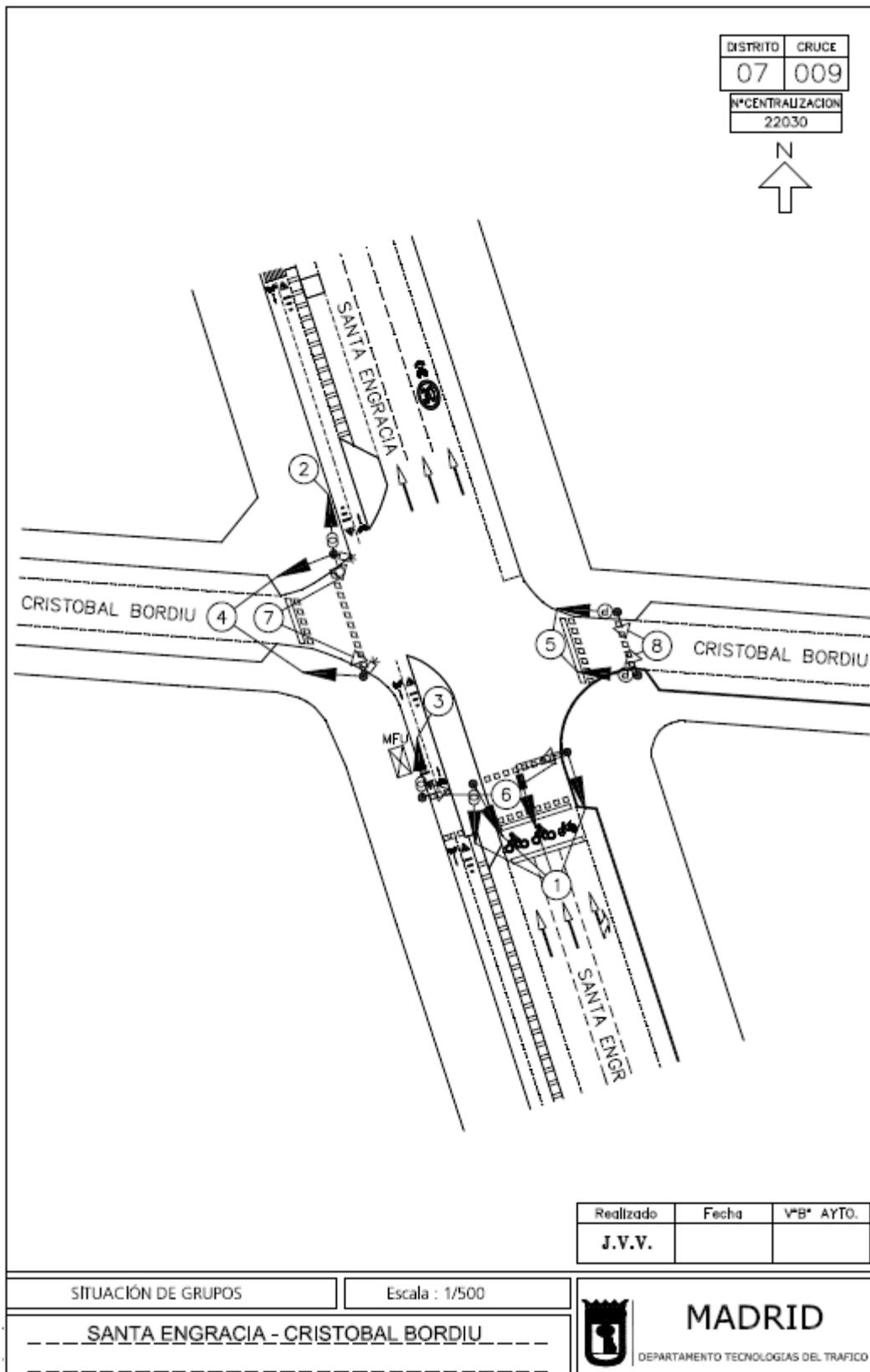
CRUCE : STA, ENGRACIA - MARIA DE GUZMAN
Nº DE CRUCE : 07005

AYUNTAMIENTO MADRID
Nº REGULADOR : 2202
Nº SUBREGULADORES 1

REGULADOR : RMY
TENSION :
C.ELECTR :
ARMARIO :

REN MARCHA :
VERSION :
MODO FUNC :



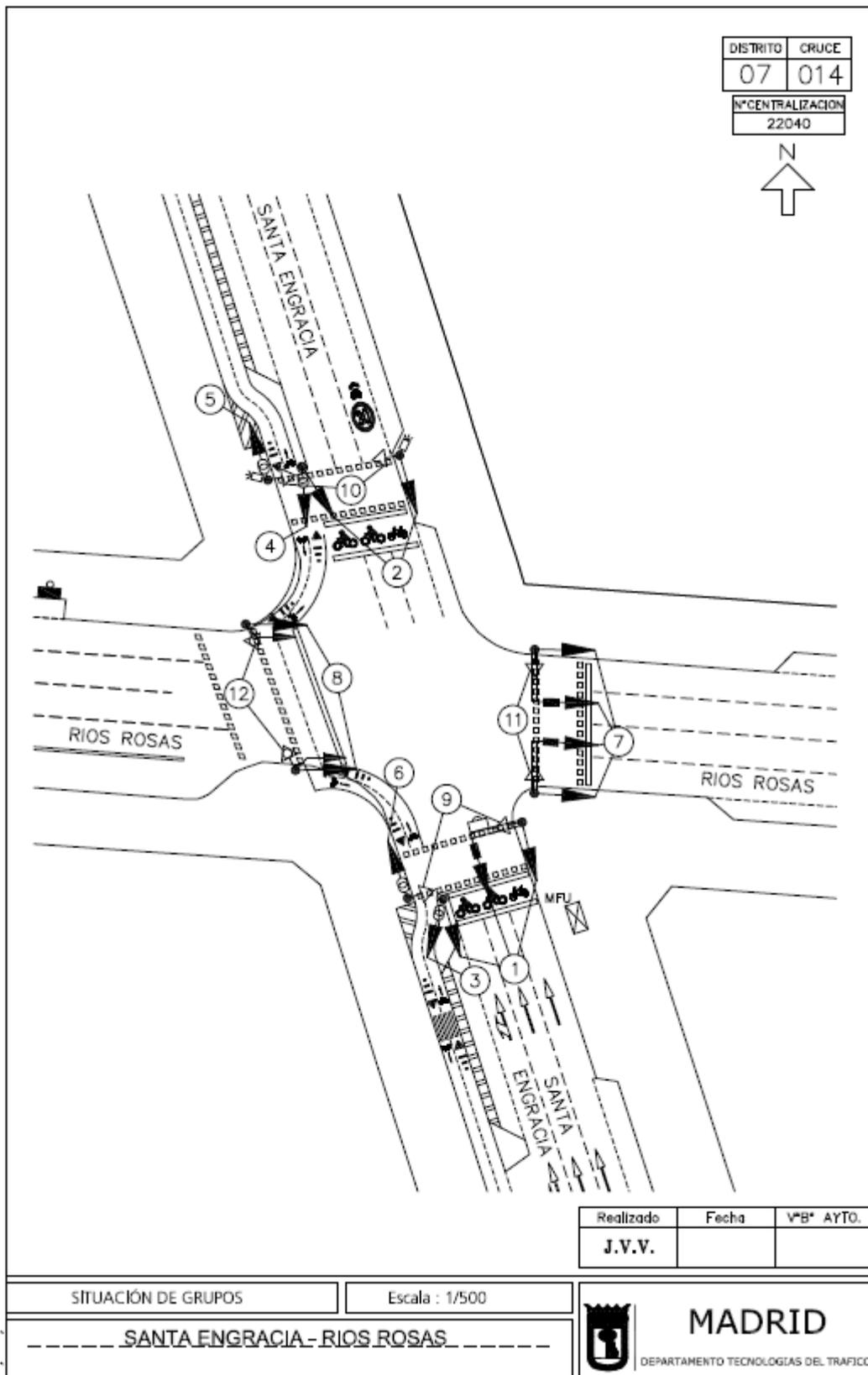




EXCMO. AYUNTAMIENTO DE MADRID 07009 SANTA ENGRACIA-CRISTOBAL BORDIU



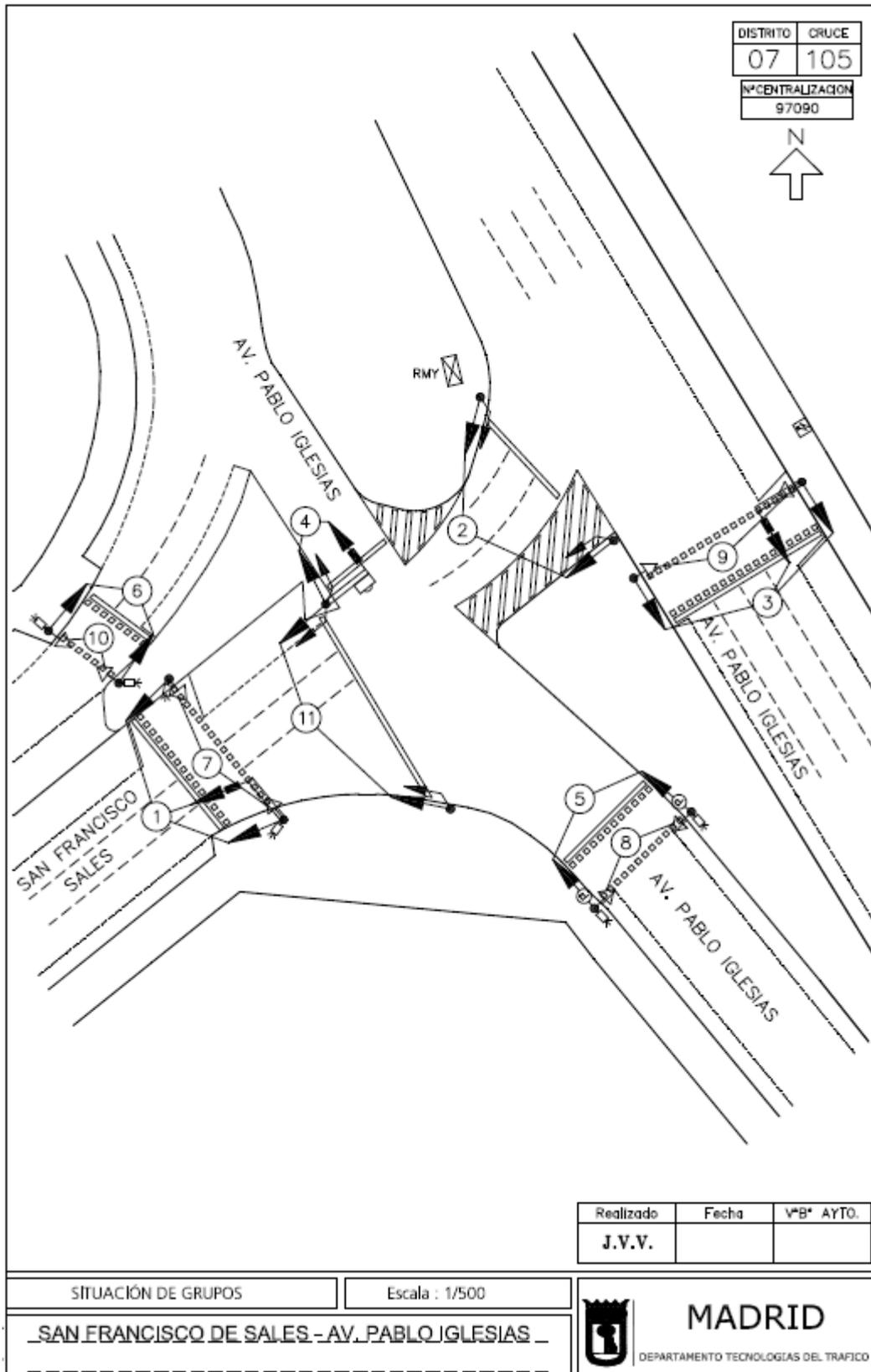
Regulador: 2203 - Subregulador: 1 - Nº de Estructura : 1 - Plan 7 - Desfase 28 - Ciclo : 100





EXCMO. AYUNTAMIENTO DE MADRID 07014 SANTA ENGRACIA - RIOS ROSAS







CRUCE : SAN FRANCISCO DE SALES-AV. PABLO IGLESIAS

Nº DE CRUCE : 07-105

AYUNTAMIENTO MADRID

Nº REGULADOR : 9709

Nº SUBREGULADORES 1

REGULADOR : RMY

TENSION :

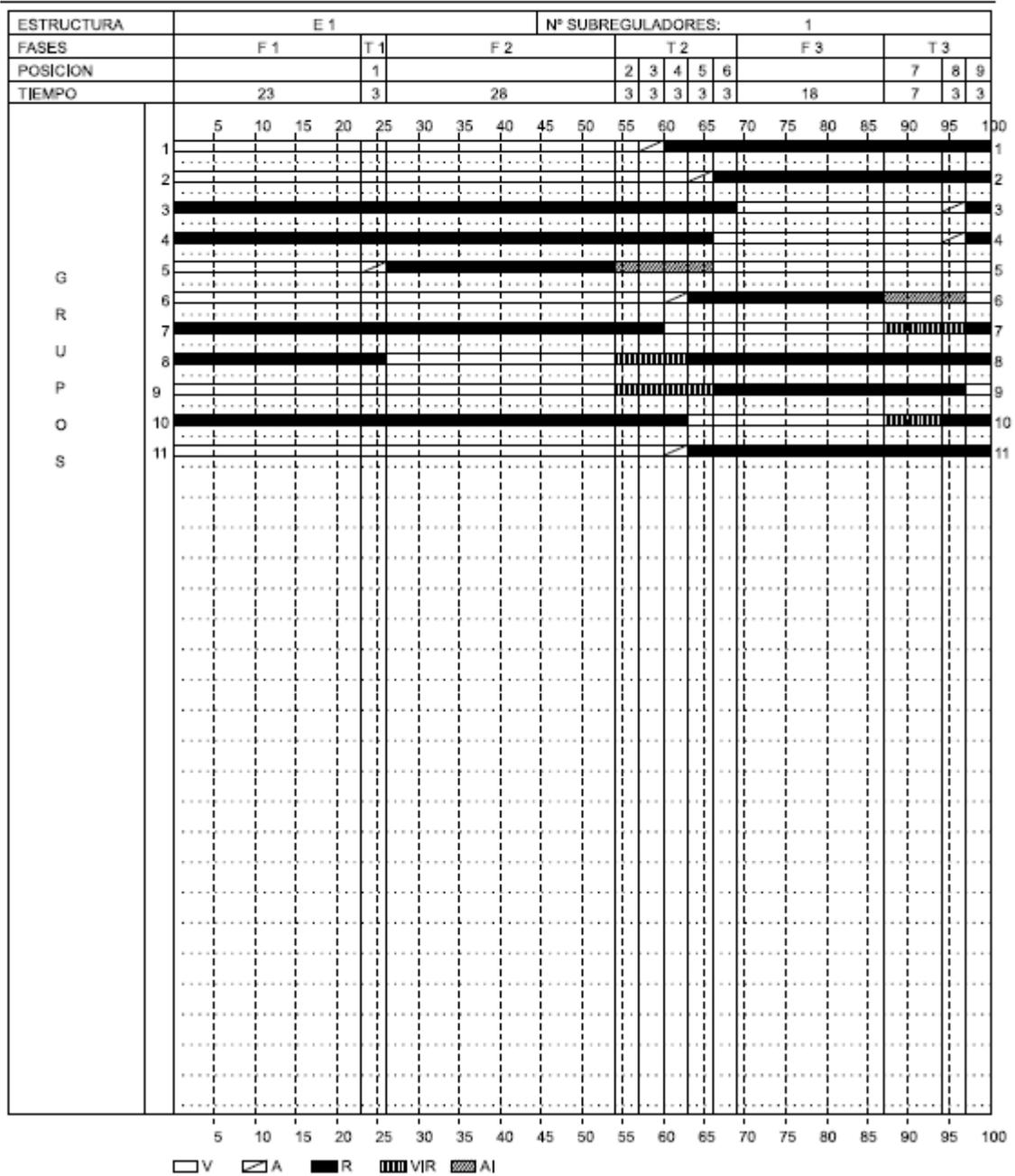
C,ELECTR :

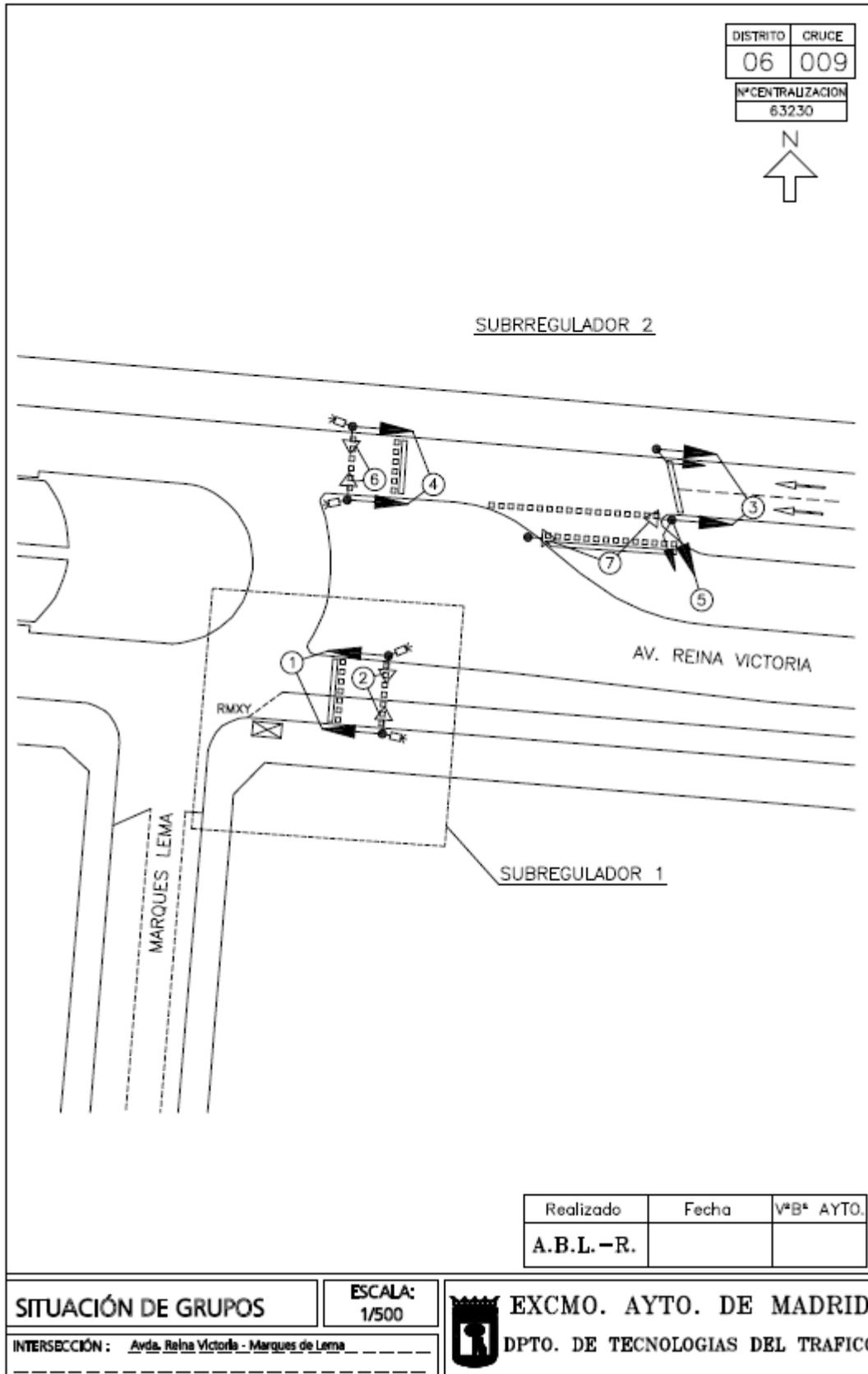
ARMARIO :

P,EN MARCHA :/.../.../.../...

VERSION :

MODO FUNC :





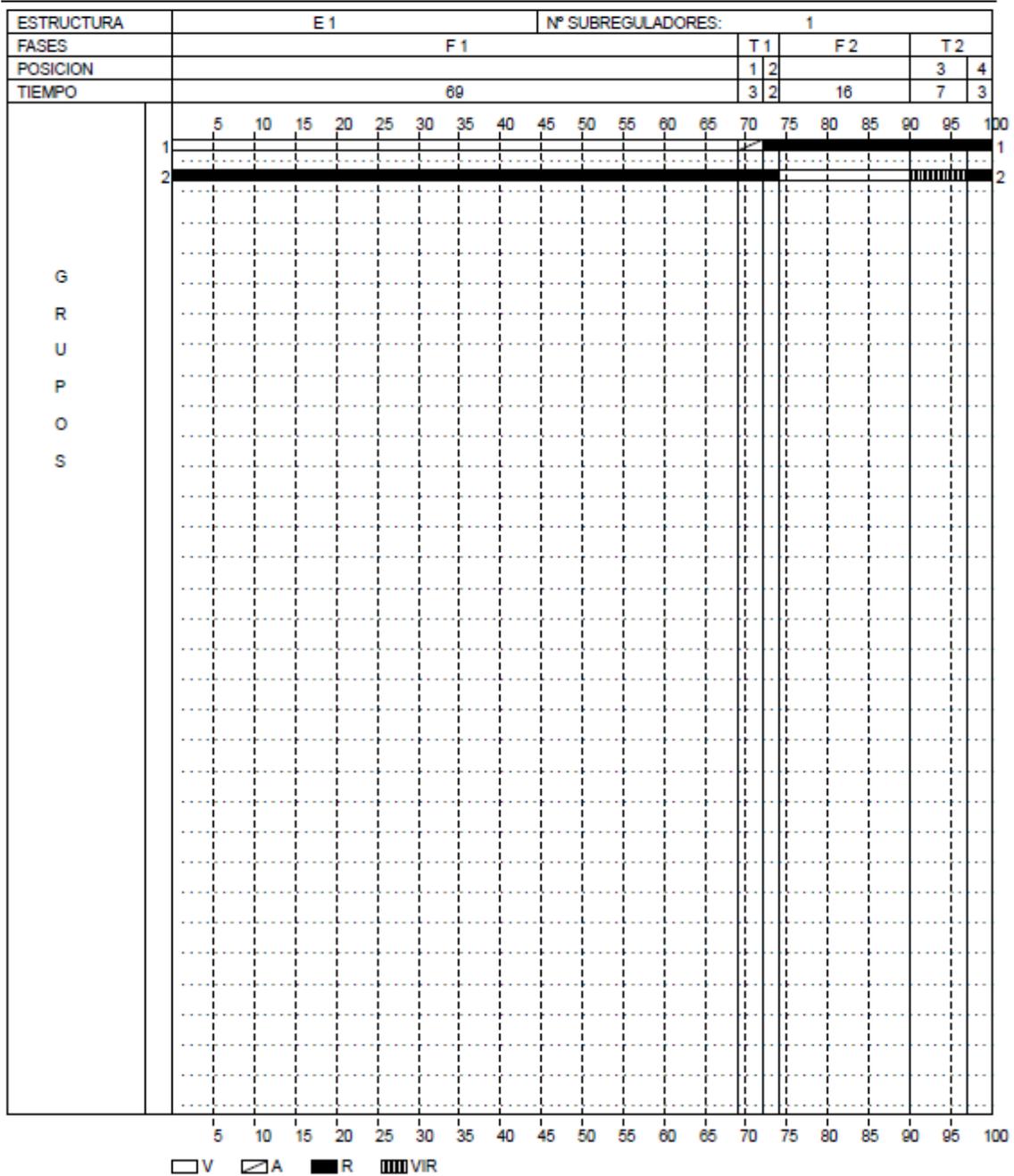


CRUCE : REINA VICTORIA - MARQUES DELEMA
Nº DE CRUCE : 06-009

AYUNTAMIENTO MADRID
Nº REGULADOR : 6323
Nº SUBREGULADORES : 2

REGULADOR : RMX42
TENSION : 230
C.ELECTR :
ARMARIO :

PEN MARCHA : / / :
VERSION : 3.10
MODO FUNC :



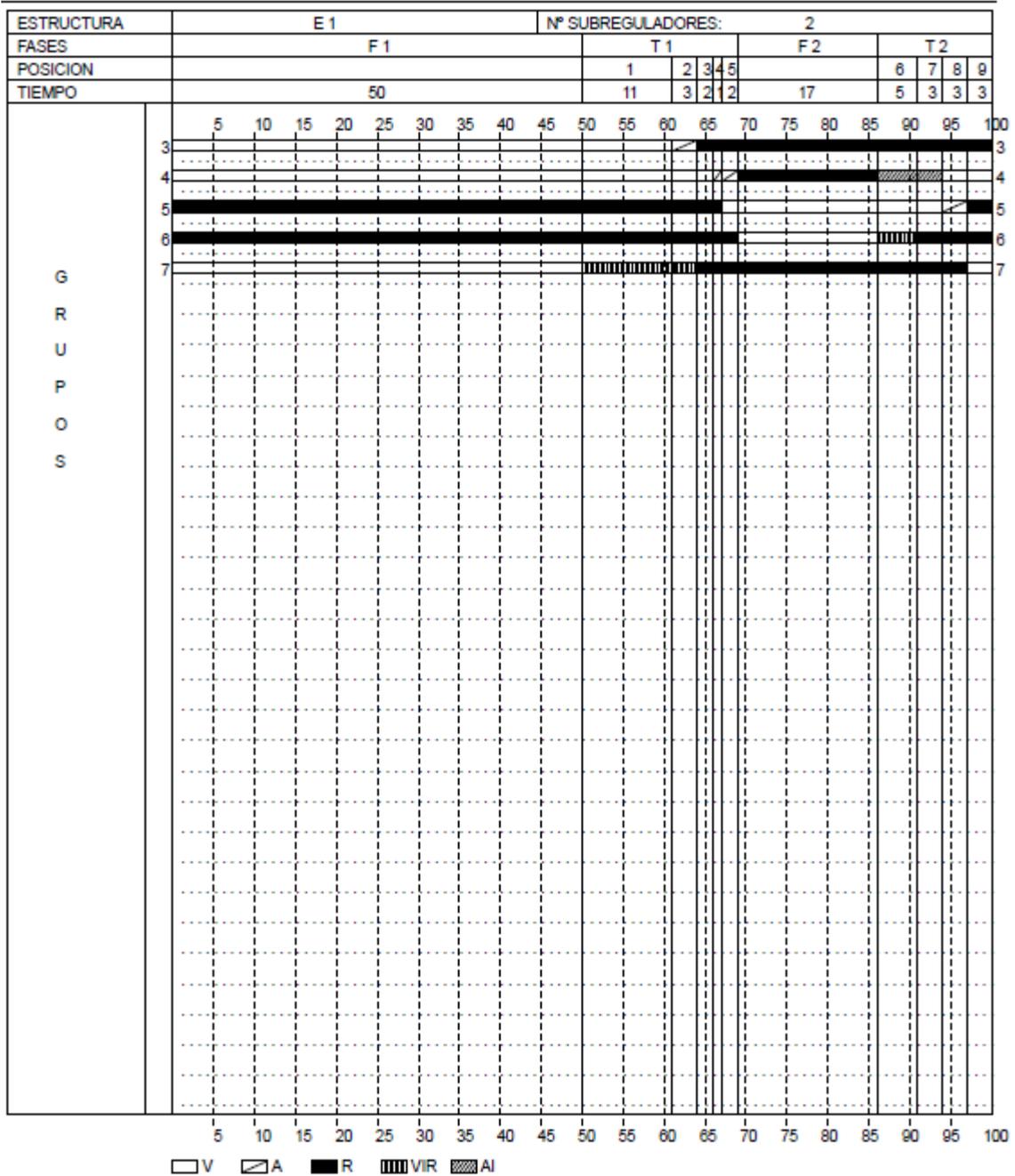


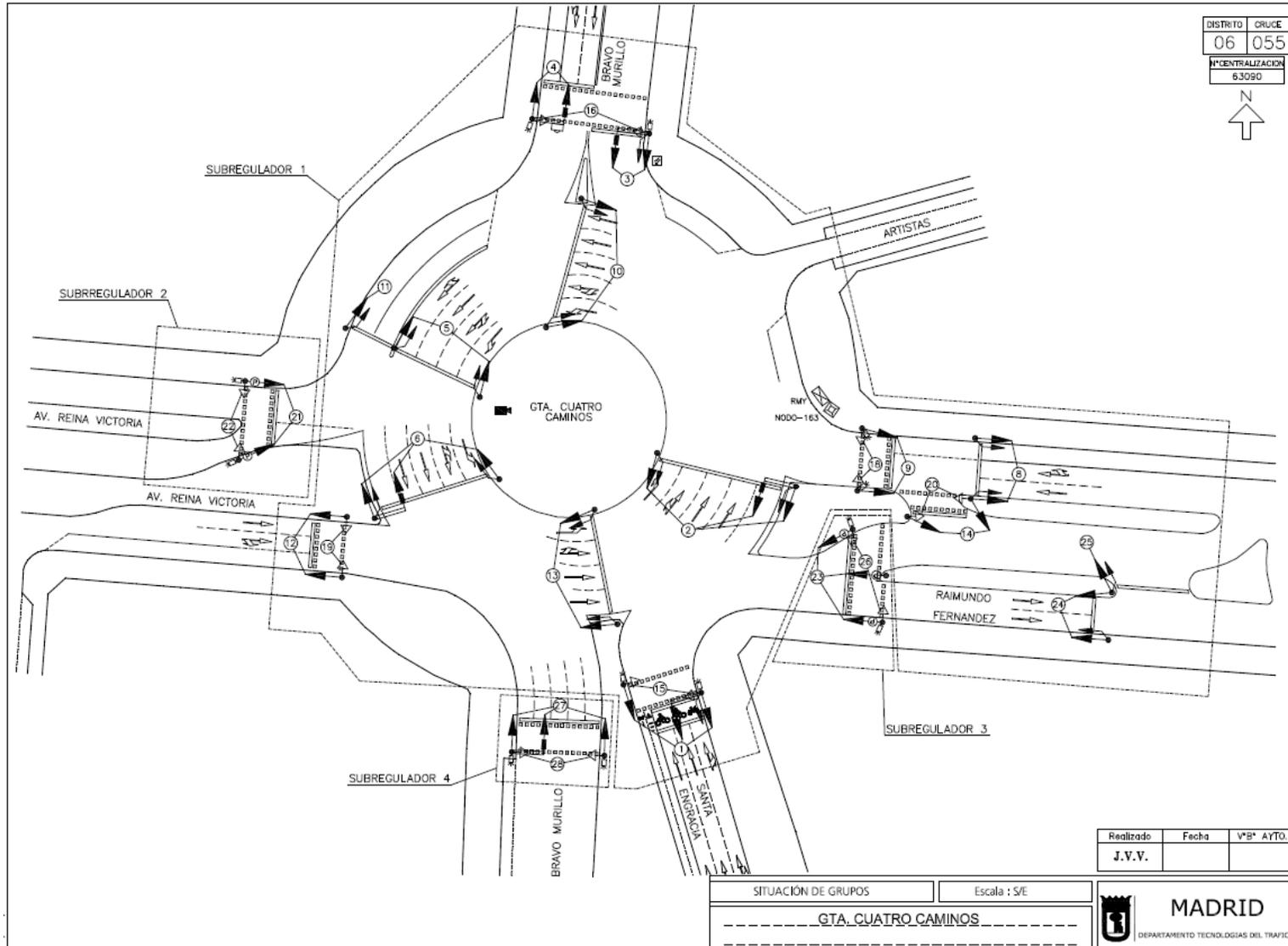
CRUCE : REINA VICTORIA - MARQUES DELEMA
Nº DE CRUCE : 06-009

AYUNTAMIENTO MADRID
Nº REGULADOR : 6323
Nº SUBREGULADORES : 2

REGULADOR : RMX42
TENSION : 230
C.ELECTR :
ARMARIO :

PEN MARCHA : / / :
VERSION : 3.10
MODO FUNC :





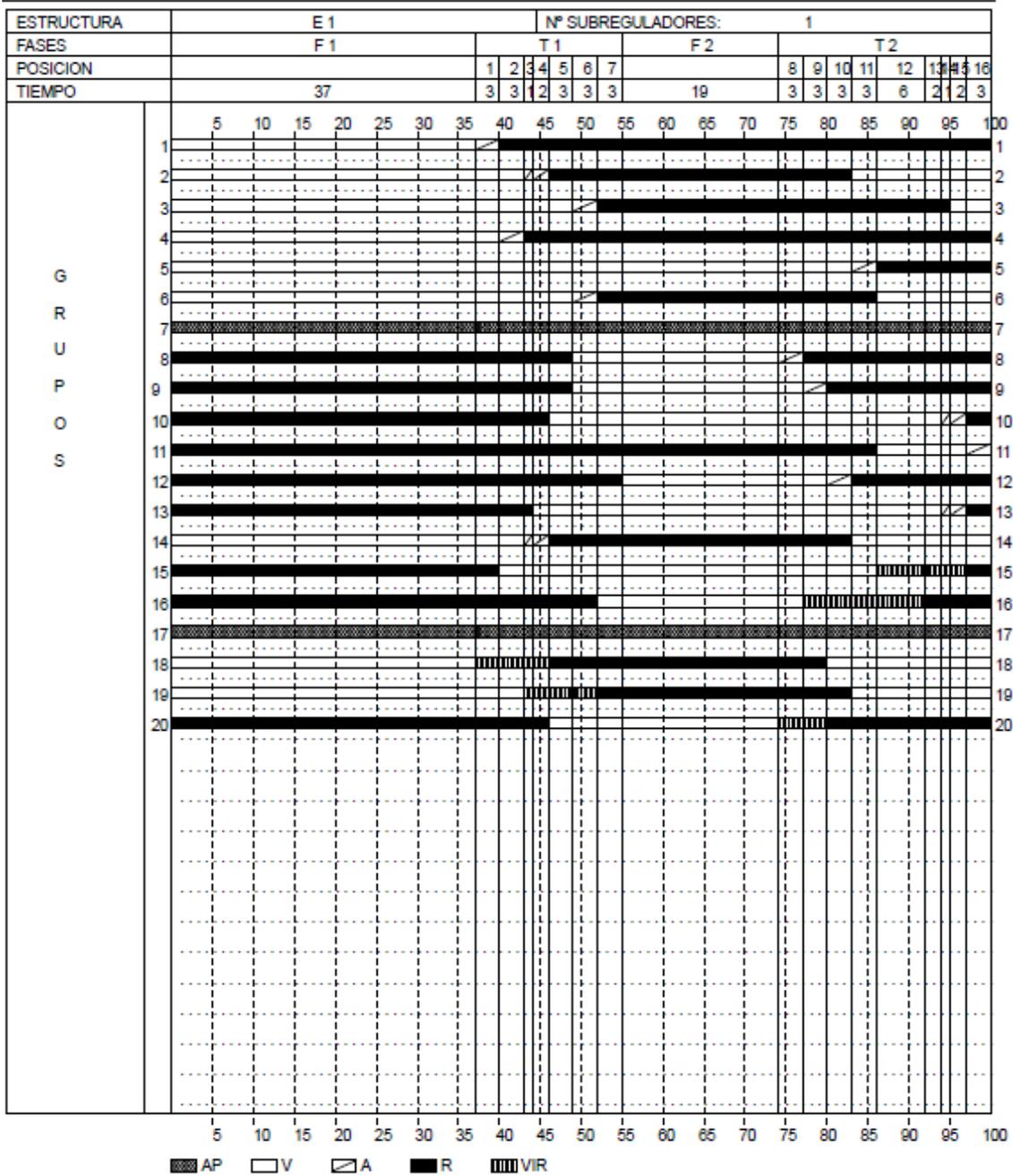


CRUCE : GLORIETA CUATRO CAMINOS
Nº DE CRUCE : 06-055

AYUNTAMIENTO MADRID
Nº REGULADOR : 6309
Nº SUBREGULADORES : 4

REGULADOR : RMY42
TENSION : 230v.
C.ELECTR :
ARMARIO :

P.EN MARCHA : / / :
VERSION : 2721
MODO FUNC :



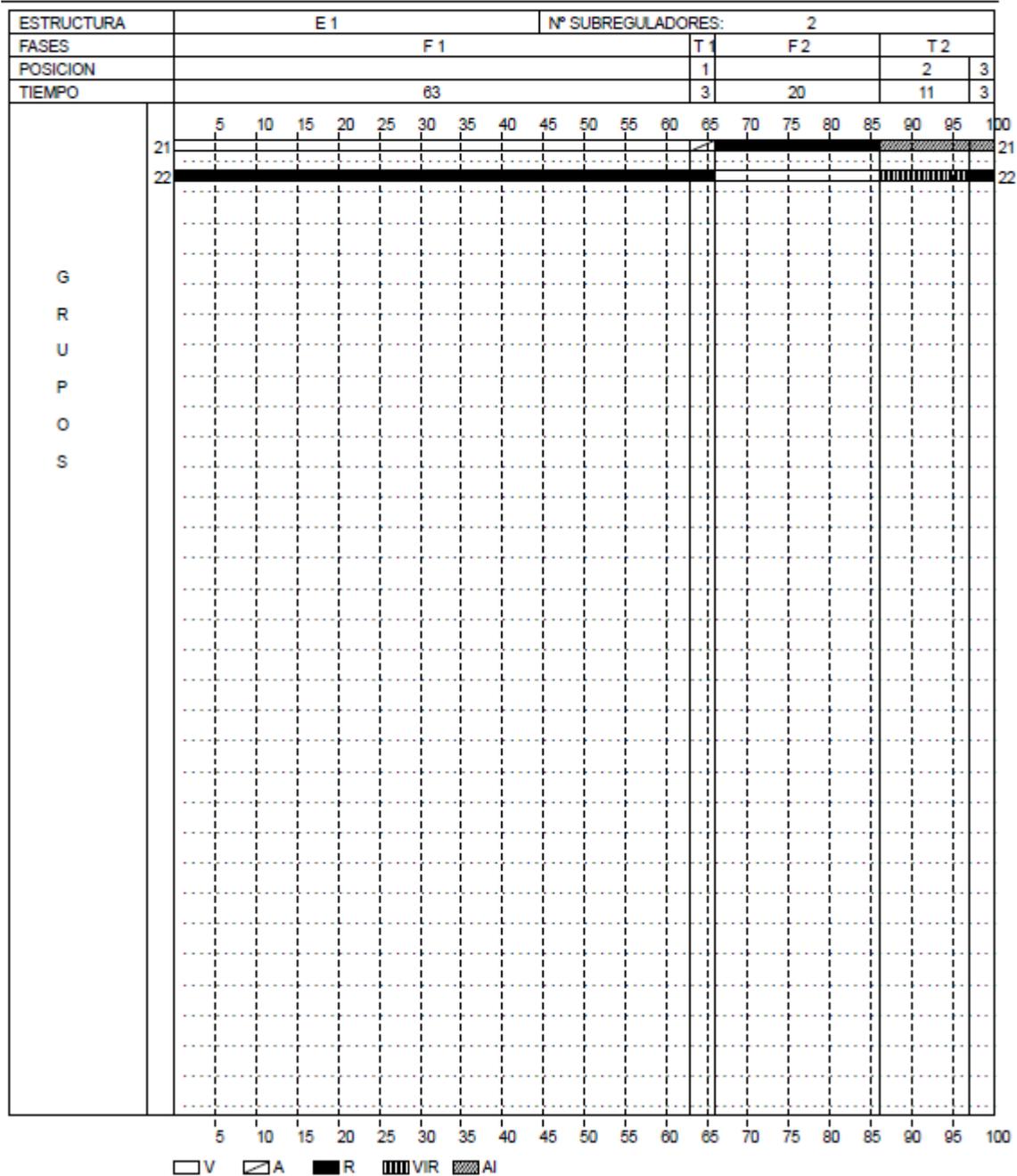


CRUCE : GLORIETA CUATRO CAMINOS
Nº DE CRUCE : 06-055

AYUNTAMIENTO MADRID
Nº REGULADOR : 6309
Nº SUBREGULADORES : 4

REGULADOR : RMY-42
TENSION : 230v.
C.ELECTR :
ARMARIO :

PEN MARCHA : / / :
VERSION : 2721
MODO FUNC :



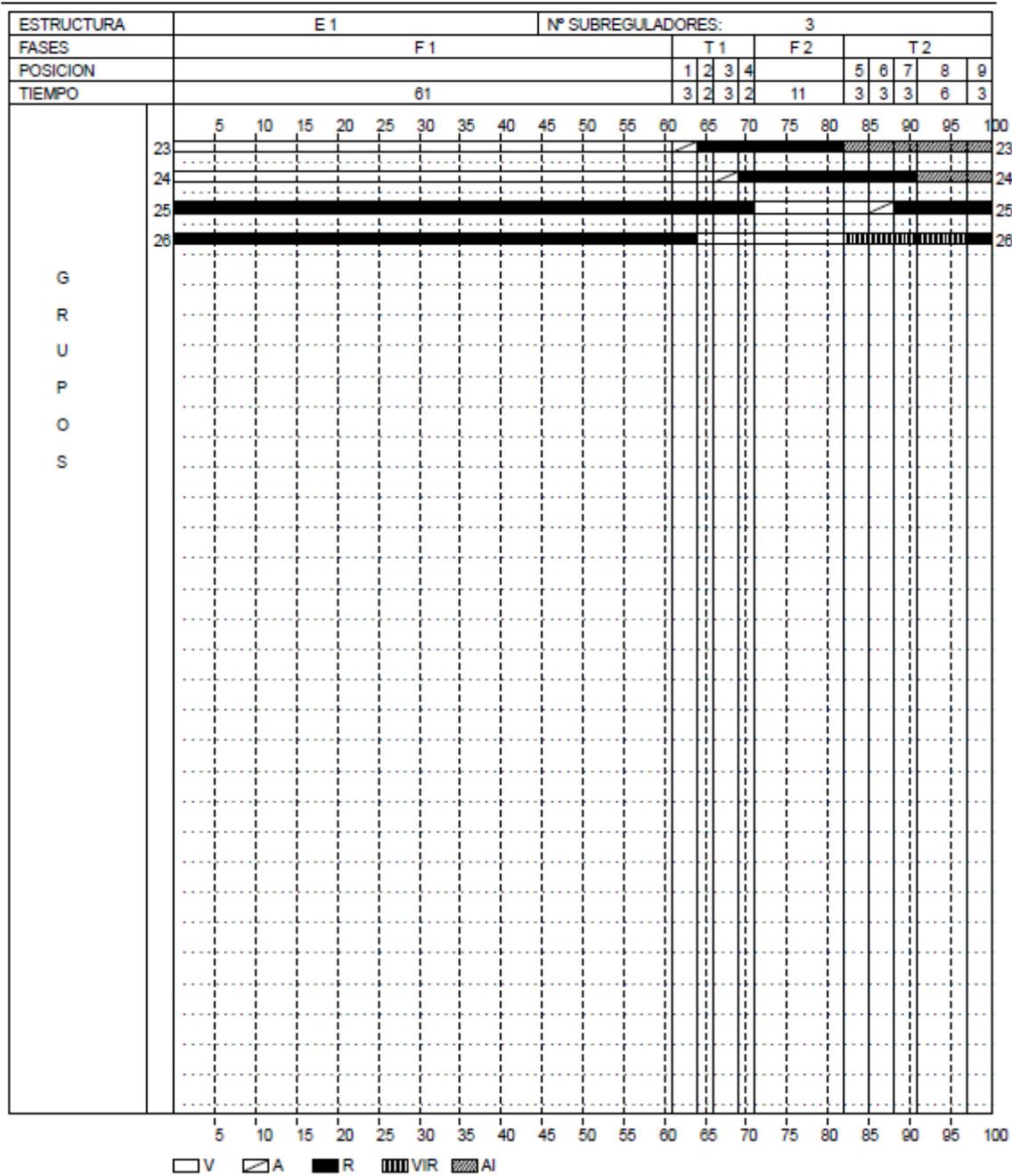


CRUCE : GLORIETA CUATRO CAMINOS
Nº DE CRUCE : 06-055

AYUNTAMIENTO MADRID
Nº REGULADOR : 6309
Nº SUBREGULADORES : 4

REGULADOR : RMY-42
TENSION : 230v.
C.ELECTR :
ARMARIO :

PEN MARCHA :/...../..... :
VERSION : 2721
MODO FUNC :



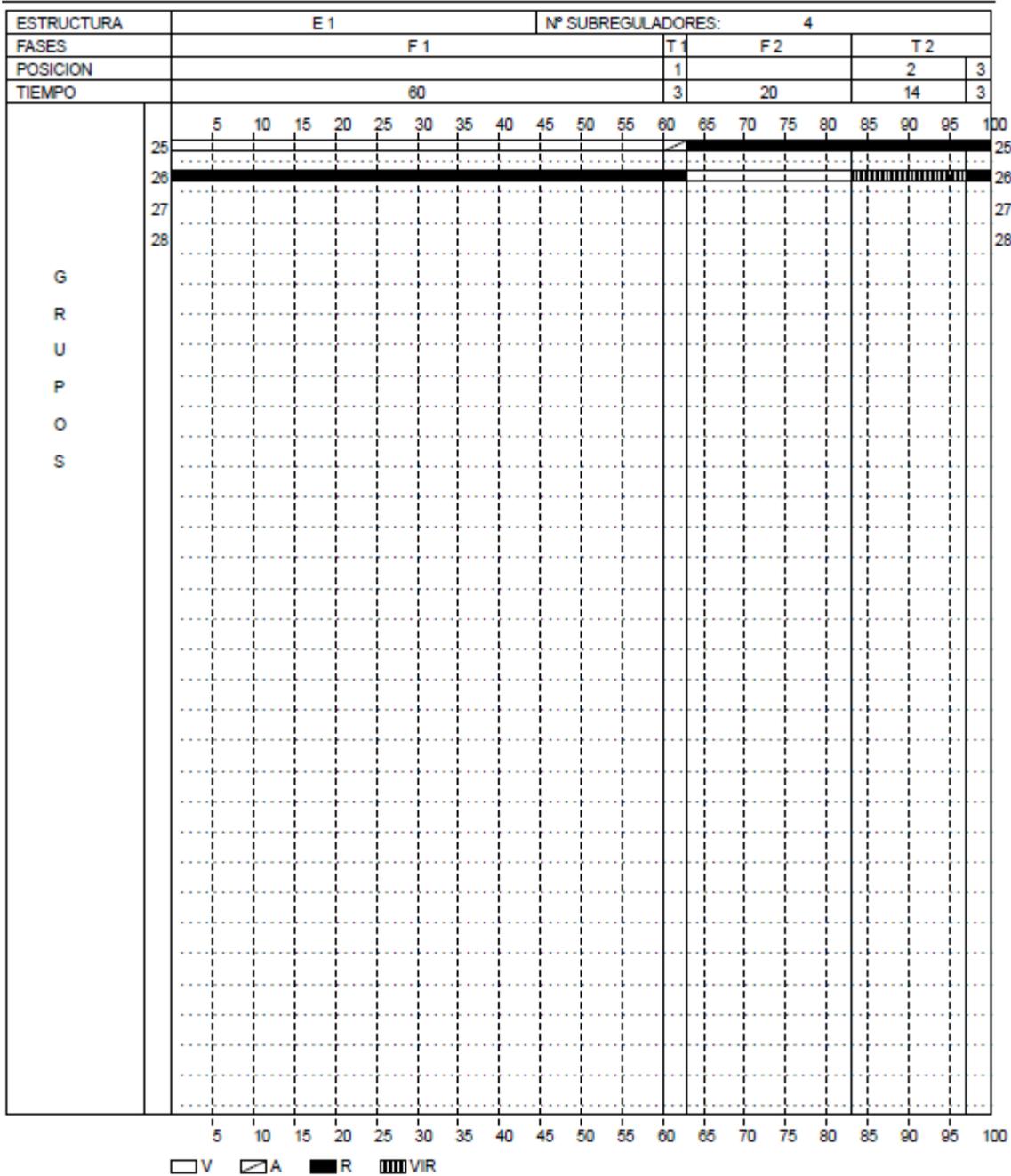


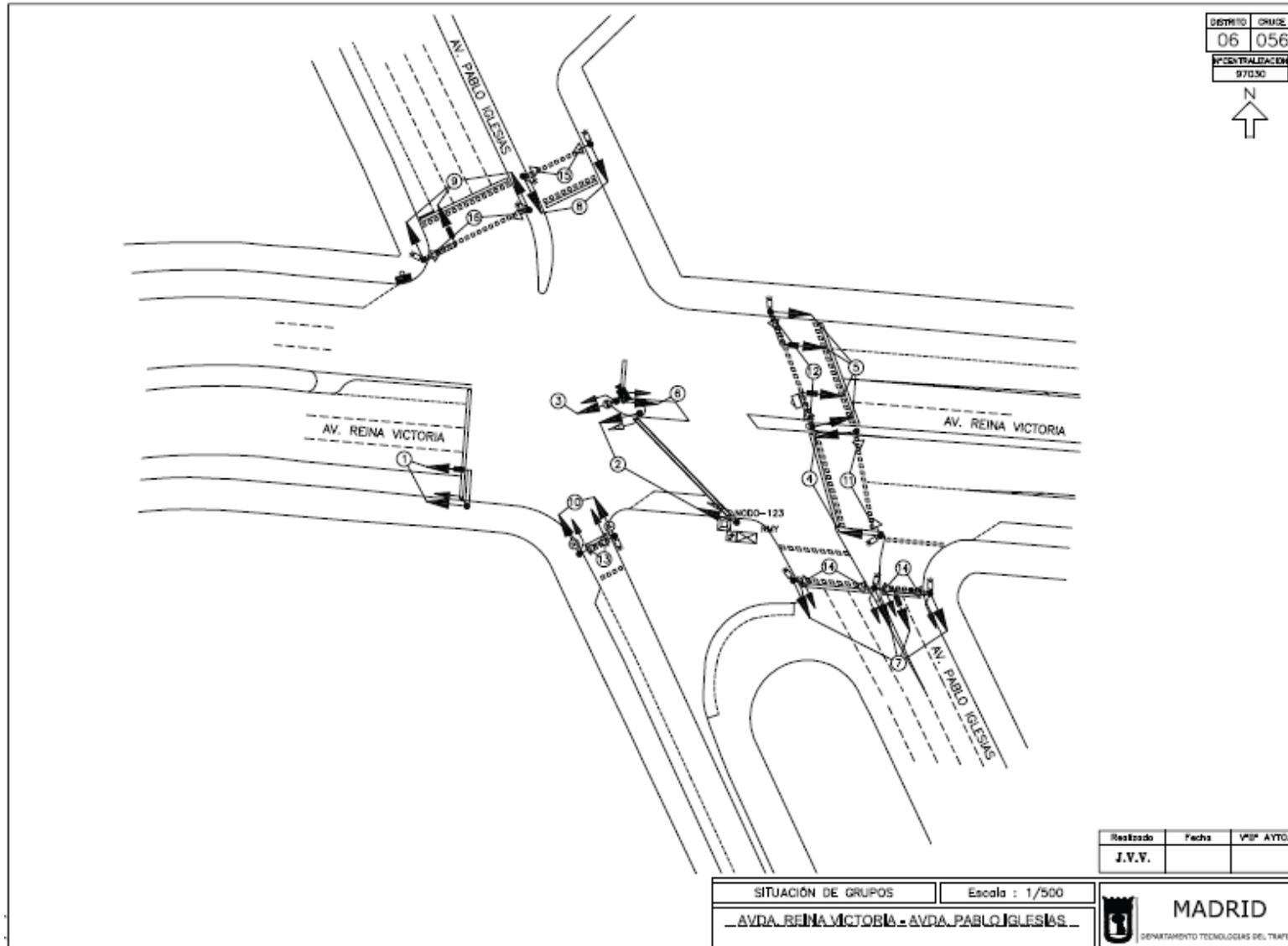
CRUCE : GLORIETA CUATRO CAMINOS
Nº DE CRUCE : 06-055

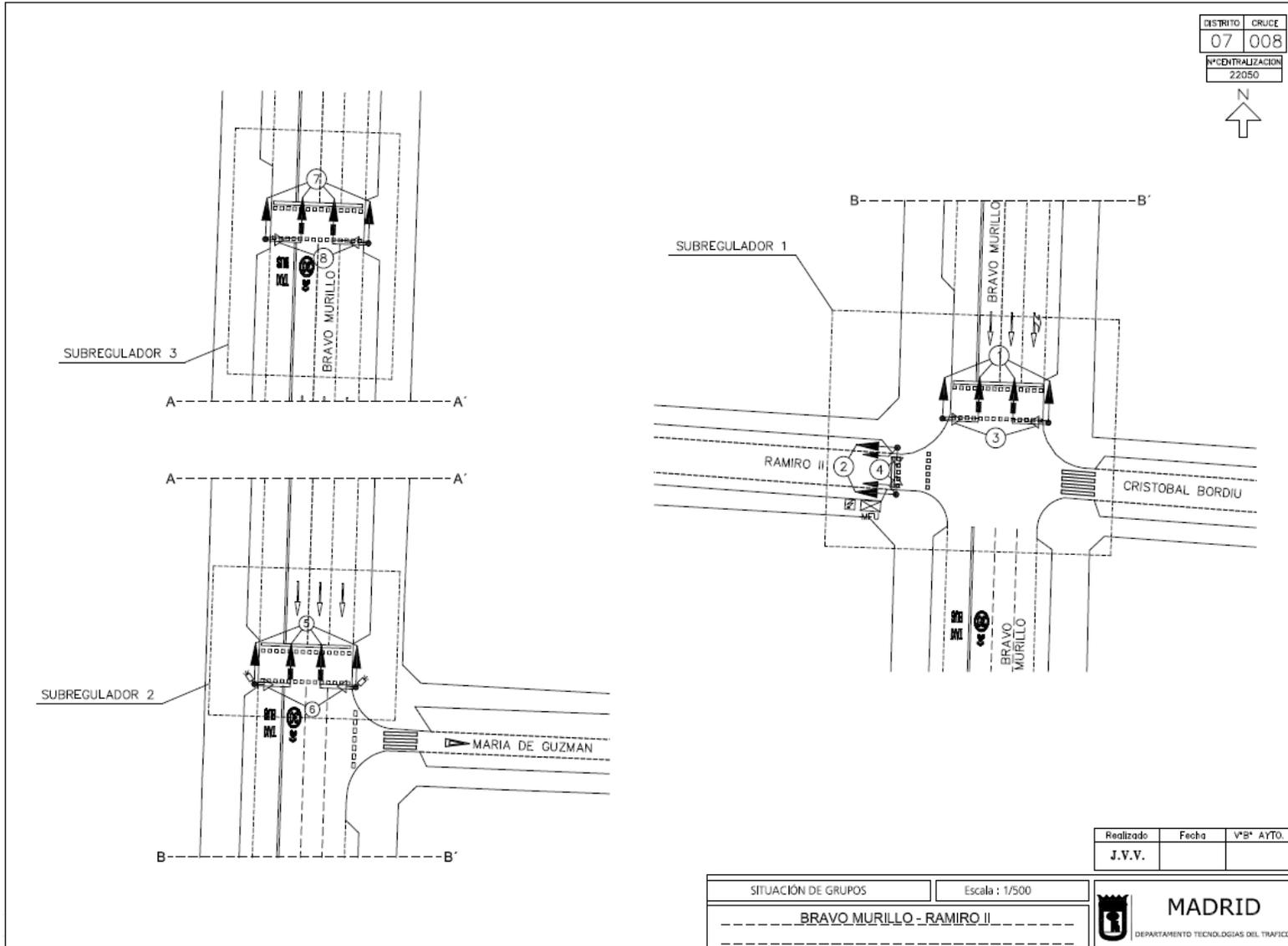
AYUNTAMIENTO MADRID
Nº REGULADOR : 6309
Nº SUBREGULADORES : 4

REGULADOR : RMY-42
TENSION : 230v.
C.ELECTR :
ARMARIO :

PEN MARCHA : / / :
VERSION : 2721
MODO FUNC :

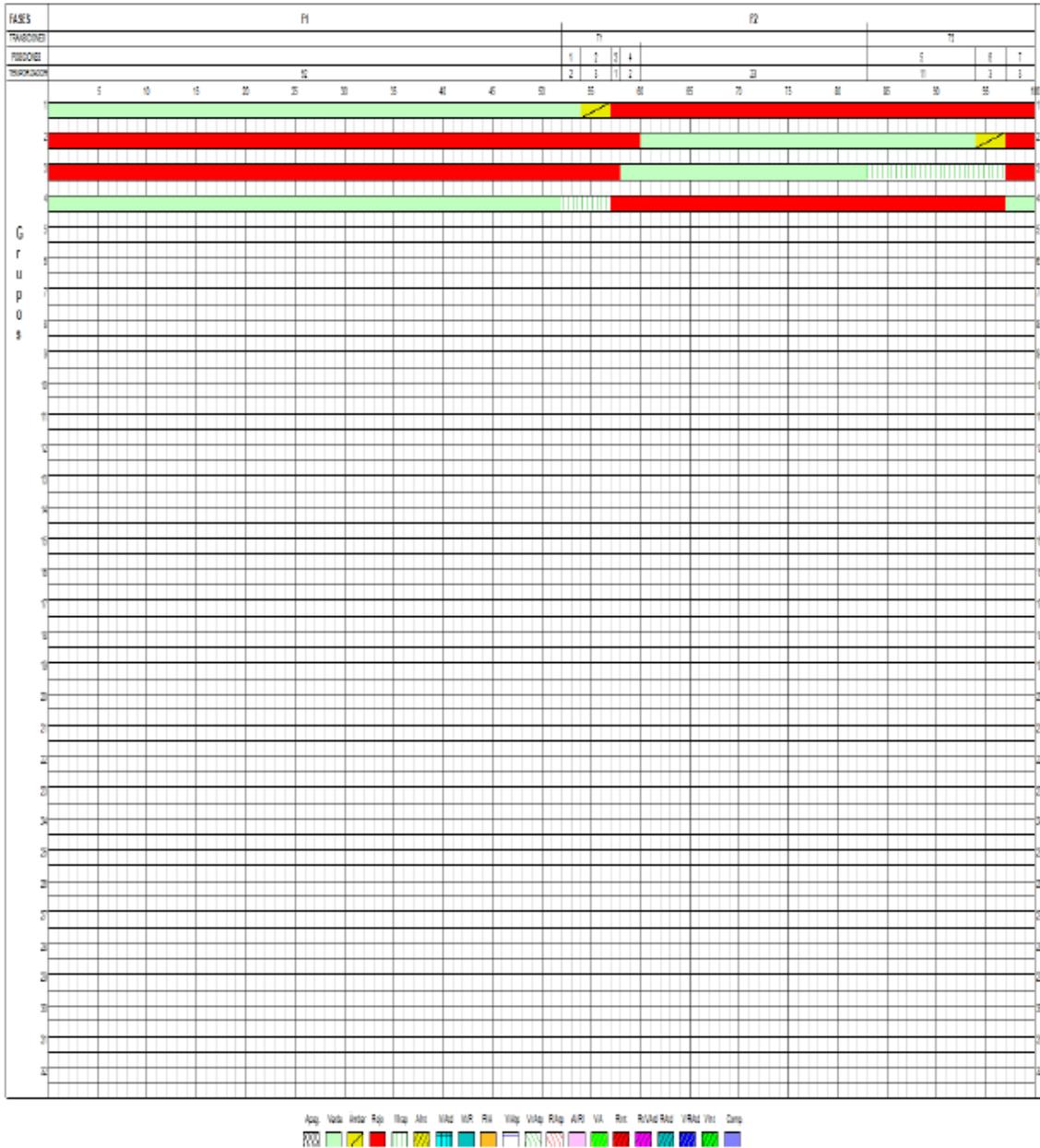






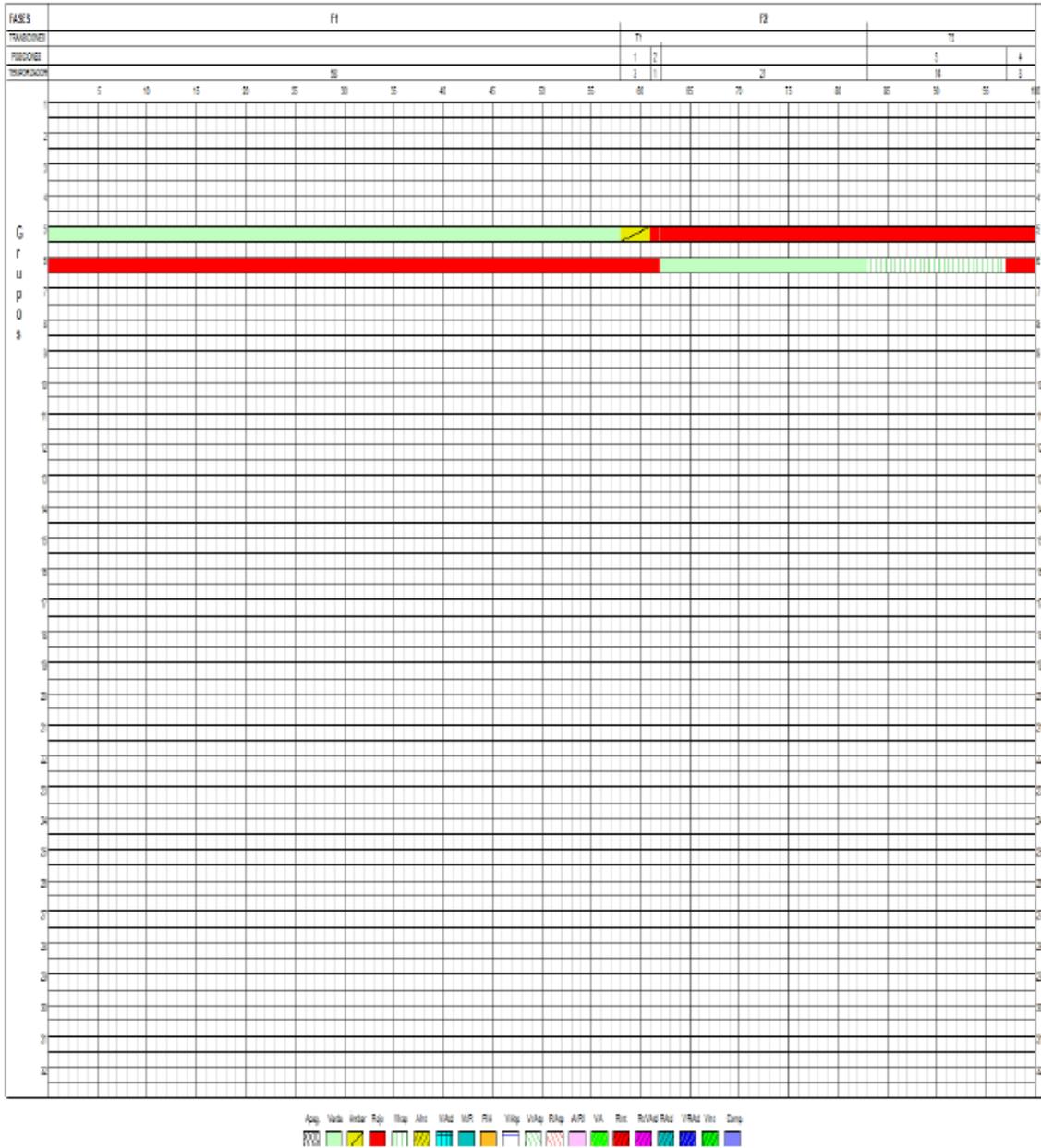


EXCMO. AYUNTAMIENTO DE MADRID 07008 BRAVO MURILLO - RAMIRO II



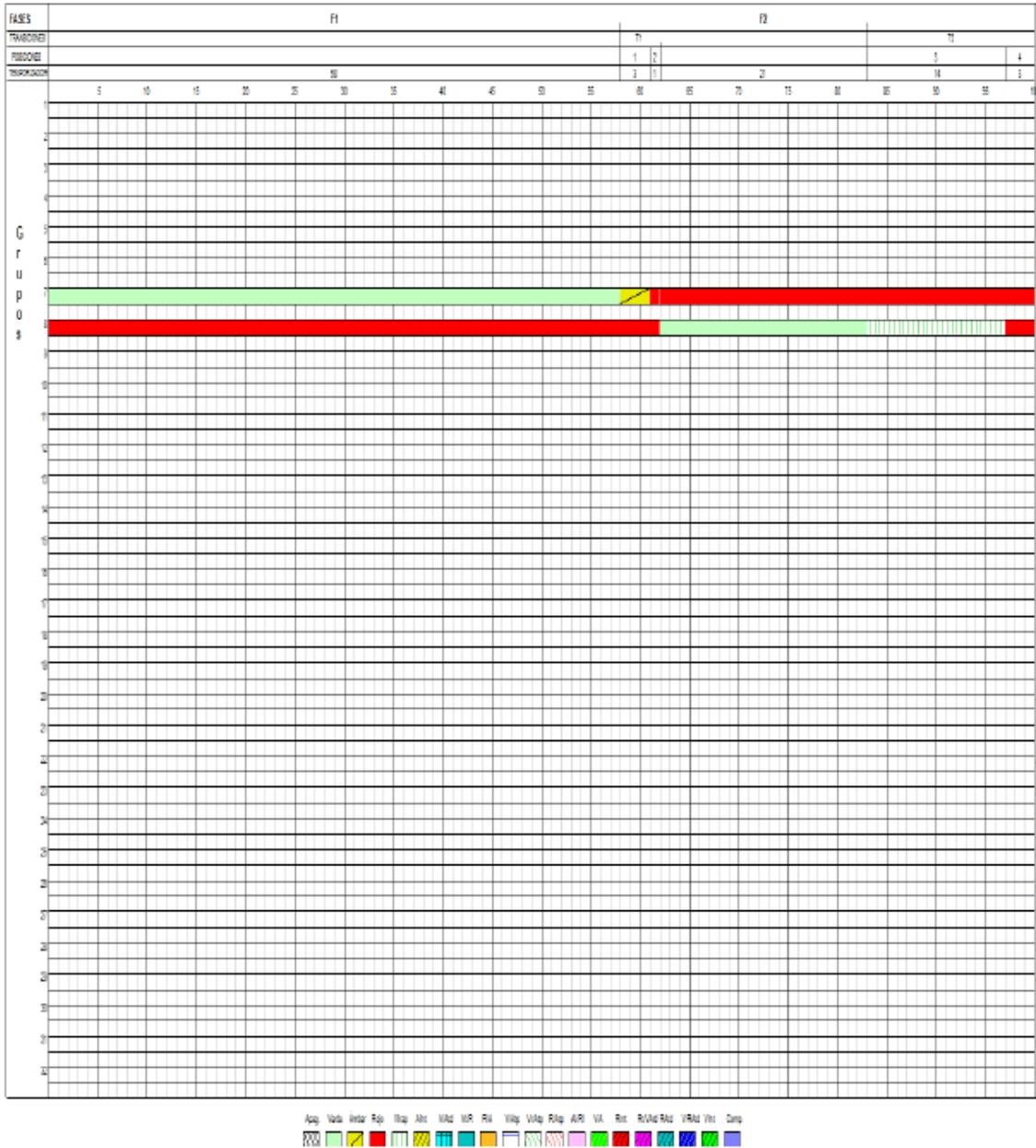


EXCMO. AYUNTAMIENTO DE MADRID
07008 BRAVO MURILLO - RAMIRO II

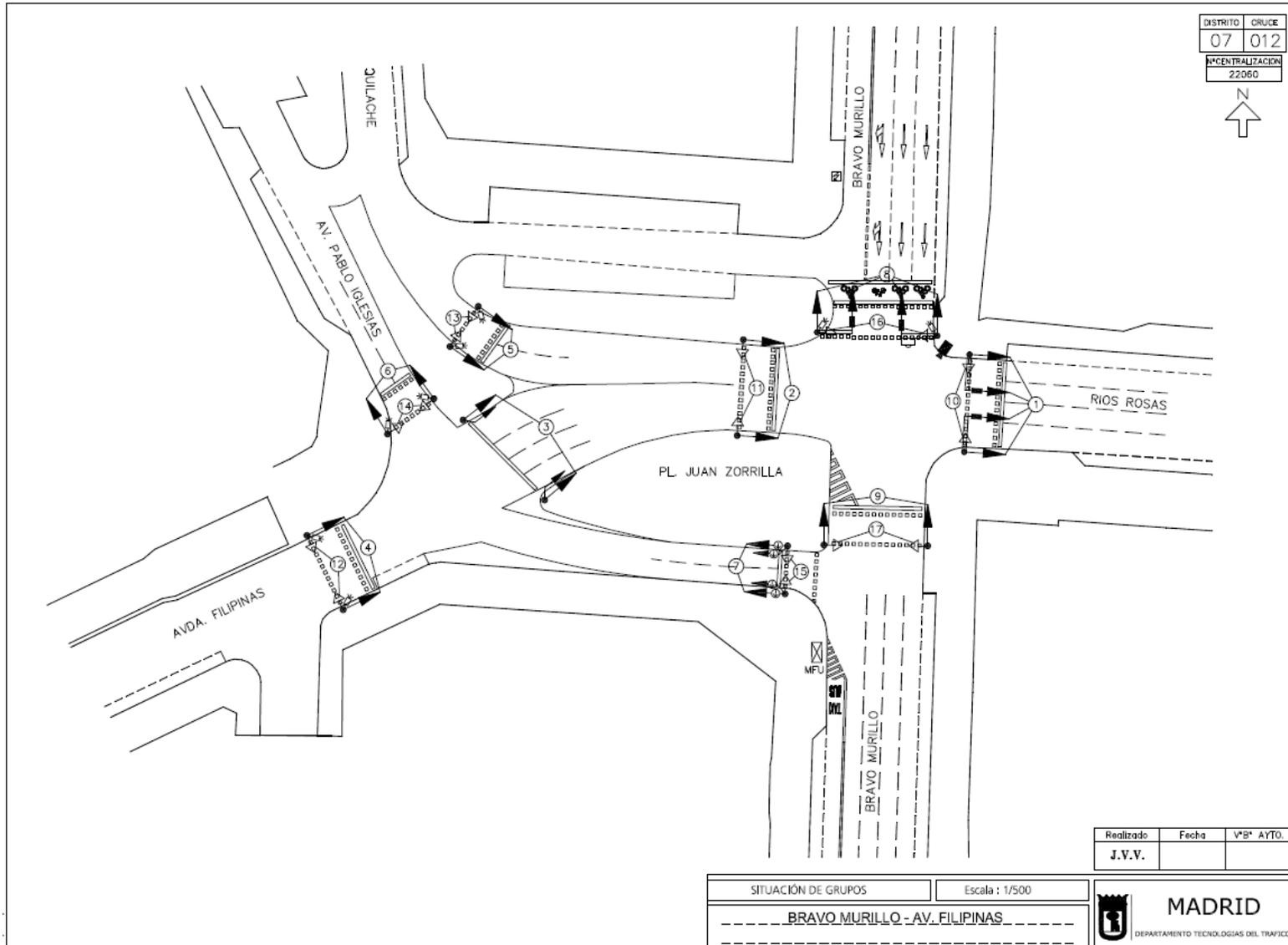




EXCMO. AYUNTAMIENTO DE MADRID 07008 BRAVO MURILLO - RAMIRO II



Regulador: 2205 - Subregulador: 3 - N. de Estructura : 1 - Plan 7 - Desfase 7 - Ciclo : 100





EXCMO. AYUNTAMIENTO DE MADRID
07012 BRAVO MURILLO - AV. FILIPINAS



Regulador: 2206 - Subregulador: 1 - Nº de Estructura : 1 - Plan 7 - Desfase 85 - Ciclo : 100