



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Organización Industrial

**Efecto sobre las emisiones gaseosas de la
implantación de un carril prioritario para
transporte público en vía urbana**

Autor:

Garrido Onecha, Marta

Tutor(es):

**Pérez Rueda, M^a Ángeles
Dpto CMelM, EGI, ICGyF, IM, IPF**

Pérez Blanco, Esteban

Valladolid, Julio 2020.



AGRADECIMIENTOS

A mis tutores de proyecto, María Ángeles y Esteban, que desde la primera reunión para tratar el desarrollo de este TFG, depositaron su confianza en mí para su realización. Sus indicaciones para enfocar los puntos clave que perseguíamos y su preocupación durante todo el desarrollo del trabajo.

A la Escuela de Ingenierías Industriales, por ayudarme a desarrollarme como persona y como profesional durante estos años a través de su plan de estudios, profesorado e instalaciones, además de diversas actividades y charlas.

Y, sobre todo, a las personas que me han estado acompañando estos años, compañeros de clase, amigos y familia, sin ellos la experiencia no hubiera sido igual.



RESUMEN

En las decisiones que se toman en el ámbito municipal, cada vez se hace más evidente la necesidad de dotarse de un sistema de transportes, que permita que los movimientos de personas y bienes en cuanto a; puntualidad, confort, seguridad, se hagan compatibles con un desarrollo económico armónico y con el uso más racional de los recursos con los que se cuenta (energéticos, de espacio, etc.). Consiguiéndose al mismo tiempo, una reducción de las emisiones producidas por esos consumos. Dicha disminución se logra, reduciendo el uso del vehículo privado en los desplazamientos por la ciudad y utilizando en mayor medida el transporte público.

En el ámbito urbano los movimientos que suelen hacer los vehículos, son normalmente de corta duración y en distancias pequeñas, lo que hace, que no dé tiempo a que los motores de los automóviles se calienten, en el arranque en frío y durante los primeros segundos que le siguen, se emiten muchos contaminantes, al no encontrarse aún el motor a la temperatura adecuada y no quemarse totalmente todo el combustible.

Este proyecto tiene como finalidad, aumentar el uso del autobús para reducir las emisiones de contaminantes a través de la incorporación de nuevos carriles bus-vao-eco y estudiar su adecuada integración en una zona residencial urbana como es el barrio de La Rondilla en Valladolid.

Por medio del software de simulación Aimsun se han generado tres modelos, el primero es el actual del barrio y los otros dos, son nuevos cambios realizados sobre el inicial, para su posterior análisis y comparación.

PALABRAS CLAVE

Rondilla, Aimsun, simulación, contaminación, autobús, carril bus-vao-eco.



ABSTRACT

At present, the need for a more optimal transportation system is unquestionable, especially at the municipal level. An optimal transportation system should allow not only a more punctual, comfortable and secure movement of goods and people, but also aim to reduce the need for resources and decrease harmful emissions. This can be achieved by reducing the use of private vehicles when traveling around the city, as well as promoting public transportation methods.

In urban areas, vehicles regularly travel for a short time and distance, which means that the engines do not have enough time to warm up. This could start, along with the first few seconds of operation, is where many pollutants are emitted as the engine is not at the right temperature to burn all the fuel completely.

The purpose of this project is to increase the use of the bus through the incorporation of new bus-vao-eco lanes, as well as to study its proper integration in an urban residential area such as the La Rondilla neighborhood in Valladolid.

Through Aimsun simulation software, three models have been generated. The first is the one that is currently in use in the neighborhood. The other two are improvements and changes made to the original, for later analysis and comparison.

KEYWORDS

Rondilla, Aimsun, simulation, pollution, bus, lane bus-vao-eco.



ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	15
1.1. Introducción	17
1.2. Motivación/Justificación del tfg	19
1.3. Objetivos	20
1.4. Descripción del trabajo	21
1.6. Fases de desarrollo	21
CAPÍTULO 2: INGENIERÍA DEL TRÁFICO	23
2.1. Conceptos generales de tráfico	25
2.1.1. Funciones de la ingeniería de tráfico	25
2.1.2. Papel que juega la ingeniería de tráfico.....	26
2.2. Planificación vial	26
2.2.1. Recogida y análisis de datos.....	27
2.2.2. Planificación vial y de transportes.....	29
2.2.3. Trazado de carreteras	29
2.3. Organización de la ingeniería de tráfico.....	30
2.3.1. Planificación del tráfico	31
2.3.2. Gestión del tráfico.....	32
2.3.3. Regulación legislativa del tráfico	33
2.3.4. Conclusiones.....	34
2.4. Características básicas (flujo vehicular)	35
2.4.1. Tipos de flujo vehicular.....	35
2.5 Variables básicas de tráfico	36
2.5.1. Relaciones entre intensidad, densidad y velocidad.....	41
2.5.1.1. Relación entre velocidad y densidad	42
2.5.1.2. Relación entre intensidad y densidad.....	43
2.5.1.3. Relación entre la velocidad y la densidad	44
2.5.1.4. Diagrama fundamental del flujo vehicular.....	45
2.6. Capacidad y nivel de servicio	46
2.6.1. Capacidad	46
2.6.2. Nivel de Servicio.....	48



CAPÍTULO 3: ESTRATEGIAS DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y MOVILIDAD

.....	51
3.1. Introducción	53
3.2. Agenda 2030	53
3.3. Políticas de la Unión Europea.	57
3.4. Estrategias de movilidad y sostenibilidad en el ámbito local durante el periodo 2010-2020.....	58
3.5. La contaminación atmosférica y sus fuentes.	60
3.5.1. Composición de la atmosfera.	60
3.5.2. La contaminación atmosférica	62
3.5.2.1. El proceso de la contaminación y sus unidades de medida... 63	
3.5.2.2. Tipos de contaminantes de la atmósfera.	64
3.5.2.3. Los contaminantes en el ámbito del transporte.	65
3.5.2.4. Control de la contaminación atmosférica	69
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DEL BARRIO DE LA RONDILLA.....	70
4.1. Introducción	71
4.2. Ordenación Urbanística del barrio de la rondilla.....	74
4.3. Aparcamientos en el barrio de La Rondilla.....	77
4.3.1. Datos numéricos.....	79
4.3.2. Consecuencias de la falta de estacionamientos.....	81
4.3.3. Construcción de aparcamientos para residentes	81
4.3.3.1. Referencias previas.....	82
4.3.3.2. Construcción de un aparcamiento subterráneo en suelo público.	83
4.3.3.3. Sistema de construcción y gestión.....	83
4.3.4. Valores añadidos que aporta un aparcamiento.	84
4.3.5. Localización de aparcamientos	85
4.4. Introducción al software Aimsun	87
4.4.1. Bases para la realización del estudio	89
4.4.2. Elección del tipo de modelo	89
4.4.3. Verificación, calibración y validación.....	90
4.4.3.1. Verificación.....	90



4.4.3.2. Calibración	91
4.4.3.3. Validación	95
4.5. Plan de transporte público	98
4.6. Modelos medioambientales.....	106
4.6.1. Modelo de emisión de Londres (LEM).....	106
4.6.2. Normativa europea sobre emisiones	106
4.6.3. Composición de flota	111
4.6.4. Modelo de consumo de combustible	117
4.6.5. Modelo de emisión QUARTET.....	119
4.6.6. Modelo de emisiones de Paris et al	123
4.7. Simulación de los modelos	125
4.7.1. Modelo inicial	126
4.7.2. Modelo con aumento de autobuses y disminución del número de coches	144
4.7.3. Modelo con carril bus	149
4.7.3.1. Plataformas especiales, definición, rasgos y tipos.	149
4.7.3.2. Criterios de implantación, localización y señalización.	150
4.7.3.3. Implantación del carril bus-vao-eco.....	151
4.7.3.4. Vehículos que pueden circular el Carril bus/vao/eco.....	152
4.7.3.5. Beneficios de la implantación de un carril.....	153
4.7.3.6. Modelado de las vías urbanas.....	154
4.7.3.7. Localización.....	156
CAPITULO 5: RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES	163
CAPÍTULO 6: ESTUDIO ECONÓMICO	183
6.1. Introducción	185
6.2. Costes directos	185
6.2.1. Costes de personal	185
6.2.2. Costes de amortización del material.....	188
6.2.3. Costes de material.....	189
6.2.4. Costes totales directos	189
6.3. Costes indirectos	189
6.4. Coste total del proyecto.....	190



CAPÍTULO 7: CONCLUSIÓN Y LÍNEAS FUTURAS	191
7.1. Conclusión final	193
7.2. Líneas futuras de trabajo	194
BIBLIOGRAFÍA	196
ANEXOS.....	201



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Intersección de rotonda	26
Figura 2.2: Trazado de carreteras.....	30
Figura 2.3: Tráfico urbano de una ciudad	32
Figura 2.4: Relación fundamental de tráfico	42
Figura 2.5: Relación entre velocidad y densidad.....	43
Figura 2.6: Relación entre densidad e intensidad.....	44
Figura 2.7: Relación entre velocidad y densidad.....	45
Figura 2.8: Diagrama fundamental del flujo vehicular.....	46
Figura 2.9: Capacidad máxima en un tramo.....	48
Figura 2.10: Niveles de servicio	50
Figura 3.1: Agenda 2030 para el desarrollo sostenible.....	53
Figura 3.2: Proyecto Remourban	59
Figura 3.3: Vehículos eléctricos híbridos y completos.	59
Figura 3.4: Infraestructura de carga.....	60
Figura 3.5: Transporte multimodalidad.....	60
Figura 3.6: Logística limpia.	60
Figura 3.7: Sistemas inteligentes de transporte.....	60
Figura 3.8: Incentivos	60
Figura 3.9: Composición de la atmosfera	61
Figura 3.10: Proceso de contaminación atmosférica	63
Figura 3.11: Tipos de contaminantes.....	65
Figura 4.1: Situación geográfica de Valladolid en el mapa de España.....	71
Figura 4.2: Situación del barrio La Rondilla	72
Figura 4.3: Macrozonas de la ciudad de Valladolid.....	72
Figura 4.4: Características socioeconómicas a cada nivel de macrozona	73
Figura 4.5: Distribución de los viajes según la hora de inicio.....	74
Figura 4.6: Cartografía del barrio de La Rondilla.....	75
Figura 4.7: Polígonos del barrio La Rondilla	76
Figura 4.8: Manzanas rectangulares barrio La Rondilla	77
Figura 4.9: Calle Cardenal Cisneros	78
Figura 4.10: Localización de la plaza Ribera de Castilla.....	85
Figura 4.11: Plaza de la Ribera de Castilla	86
Figura 4.12: Plaza de la Ribera de Castilla	87
Figura 4.13: Esquema de verificación, calibración y validación.....	90
Figura 4.14: Características del bus.....	92
Figura 4.15: Características del coche	92
Figura 4.16: Autobús 3D	94
Figura 4.17: Autobús 2D	94
Figura 4.18: Coche 2D.....	94
Figura 4.19: Coche 3D.....	94



Figura 4.20: Posición de las espiras y detectores en el barrio La Rondilla	97
Figura 4.21: Regresión lineal de los datos reales frente a los simulados	98
Figura 4.22: Mapa de paradas de autobús en el barrio de la Rondilla	100
Figura 4.23: Parada normal vista 3d	101
Figura 4.24: Parada normal vista 2d	101
Figura 4.25: Ruta para la línea de transporte 1 (ida)	102
Figura 4.26: Horarios de líneas de transporte	103
Figura 4.27: Plan de transporte público	104
Figura 4.28: Líneas de transporte público de la simulación	104
Figura 4.29: Leyenda de líneas de transporte público	105
Figura 4.30: Líneas de transporte público del barrio de la Rondilla	105
Figura 4.31: Normativa Euro de turismos	108
Figura 4.32: Normativa Euro de comerciales ligeros (≤ 1305 kg)	109
Figura 4.33: Normativa Euro para comerciales ligeros (1305 – 1760 kg) ..	109
Figura 4.34: Normativa Euro de comerciales ligeros (1760 – 3500) kg	110
Figura 4.35: Normativa Euro para vehículos pesados según los ciclos de prueba ESC Y ELR	111
Figura 4.36: Normativa Euro para vehículos pesados según el ciclo de prueba ETC	111
Figura 4.37: Autobuses según el año de matriculación	113
Figura 4.38: Antigüedad de la flota de AUVASA	113
Figura 4.39: Porcentaje de vehículos que siguen cada norma Euro	114
Figura 4.40: Las diferentes normativas Euro y su impacto	115
Figura 4.41: Composición de flota del coche	116
Figura 4.42: Composición de flota del autobús	116
Figura 4.43: Modelo de consumo de combustible del coche	118
Figura 4.44: Modelo de emisión QUARTET para coches	122
Figura 4.45: Modelo de emisión QUARTET para el autobús	123
Figura 4.46: Modelo de emisiones Panis et al del autobús	124
Figura 4.47: Modelo de Emisiones Panis et al del coche	125
Figura 4.48: Leyenda del mapa de flujo	127
Figura 4.49: Mapa de flujo del modelo inicial	127
Figura 4.50: Flujo (veh/h)	128
Figura 4.51: Velocidad (Km/h)	129
Figura 4.52: Tiempo de viaje (seg/km)	130
Figura 4.53: Tiempo de parada (seg/km)	131
Figura 4.54: Tiempo de Demora (seg/km)	132
Figura 4.55: Cola media (veh)	133
Figura 4.56: Leyenda de la cola media de vehículos	133
Figura 4.57: Mapa de las colas medias del barrio de la Rondilla	134
Figura 4.58: Emisión IEM NOx	136
Figura 4.59: Emisión IEM PM	137
Figura 4.60: Emisión IEM VOC	138



Figura 4.61: Emisión IEM CO2	140
Figura 4.62: Contaminante CO (g/s)	141
Figura 4.63: Contaminante HC (g/s)	142
Figura 4.64: Contaminante NOx (g/s)	143
Figura 4.65: Consumo de combustible (l)	144
Figura 4.66: Flujo del modelo 1	147
Figura 4.67: Mapa de las colas medias del barrio de La Rondilla modelo... ..	148
Figura 4.68: Carril reservado con barrera física	149
Figura 4.69: Señalización de las calzadas.....	151
Figura 4.70: Carril bus-vao-eco	151
Figura 4.71: Señal V-15.....	152
Figura 4.72: Representación de los carriles bus-vao-eco en la Rondilla	161
Figura 4.73: Cola media (veh) en el modelo 2.....	162
Figura 5.1: Flujo (veh/h) del turismo	165
Figura 5.2: Flujo (veh/h) del autobús	165
Figura 5.3: Velocidad (km/h) del turismo.....	166
Figura 5.4: Velocidad (km/h) del autobús.....	166
Figura 5.5: Tiempo de viaje (seg/km) del turismo.....	167
Figura 5.6: Tiempo de viaje (seg/km) del autobús.....	168
Figura 5.7: Tiempo de parada (seg/km) del turismo.....	170
Figura 5.8: Tiempo de parada (seg/km) del autobús.....	170
Figura 5.9: Tiempo de demora (seg/km) del turismo.....	171
Figura 5.10: Tiempo de demora (seg/km) del autobús	171
Figura 5.11: Cola media (veh coches).....	172
Figura 5.12: Cola media (veh autobús)	172
Figura 5.13: Emisión IEM CO2 (g) del autobús.....	173
Figura 5.14: Emisión IEM CO2 (g) del turismo	173
Figura 5.15: Emisión IEM NOx (g) del autobús	174
Figura 5.16: Emisión IEM NOx (g) del turismo	174
Figura 5.17: Emisión IEM PM (g) del turismo.....	175
Figura 5.18: Emisión IEM PM (g) del autobús.....	176
Figura 5.19: Emisión IEM VOC (g) turismos	176
Figura 5.20: Emisión IEM VOC (g) autobuses	177
Figura 5.21: Contaminante CO (g/s) del turismo.....	177
Figura 5.22: Contaminante CO (g/s) del autobús.....	178
Figura 5.23: Contaminante HC (g/s) del turismo	179
Figura 5.24: Contaminante HC (g/s) del autobús.....	179
Figura 5.25: Contaminante NOx (g/s) del turismo.....	180
Figura 5.26: Contaminante NOX (g/s) del autobús	180
Figura 5.27: Consumo de combustible (l) del autobús	181
Figura 5.28: Consumo de combustible (l) del turismo	181
Figura A.1: Mapa de la disposición de las espiras fijas	202
Figura A.2: Datos de espiras según la intensidad media diaria	203



Figura A.3: Mapa de intersecciones semafóricas.....	205
Figura A.4: Cruce 202- C/Rondilla de Santa Teresa- C/Mirabel.....	206
Figura A.5: Diagrama de fase del cruce 202- C/Rondilla de Santa Teresa- C/Mirabel.....	206
Figura A.7: Diagrama de fases del cruce 203- C/Rondilla de Santa Teresa- C/Cardenal Torquemada	207
Figura A.6: Cruce 203- C/Rondilla de Santa Teresa- C/Cardenal Torquemada	207
Figura A.10: Cruce 220- Avda. de Palencia - C/Amor de Dios	209
Figura A.11: Diagrama de fases del cruce 220- Avda. de Palencia - C/Amor de Dios	209
Figura A.14: Cruce 222- Avda. de Palencia - C/Real de Burgos.....	211
Figura A.15: Diagrama de fases del cruce 222- Avda. de Palencia - C/Real de Burgos.....	211
Figura A.16: Diagrama de fases del cruce 226- C/Cardenal Torquemada – C/Tirso de Molina.....	212
Figura A.17 : Cruce 226- C/Cardenal Torquemada – C/Tirso de Molina.....	212
Figura A.20: Cruce 228- C/Cardenal Cisneros – C/Las Moradas	214
Figura A.21: Diagrama de fases del cruce 228- C/Cardenal Cisneros – C/Las Moradas.....	214
Figura A.22: Cruce 229- C/Cardenal Cisneros – C/Portillo de Balboa	215
Figura A.23: Diagrama de fases del cruce 229- C/Cardenal Cisneros – C/Portillo de Balboa.....	215
Figura A.24: Cruce 230- C/Soto - C/Cardenal Torquemada	216
Figura A.25: Diagrama de fases del cruce 230- C/Soto - C/Cardenal Torquemada	216
Figura A.26: Cruce 231- C/Soto - C/Portillo de Balboa	217
Figura A.27: Diagrama de fases del cruce 231- C/Soto - C/Portillo de Balboa.	217
Figura A.28: Cruce 232- C/Cardenal Torquemada – C/Portillo de Balboa...	218
Figura A.29: Diagrama de fases del cruce 232- C/Cardenal Torquemada – C/Portillo de Balboa	218



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Resumen de los planes/estratégicas según el ámbito	56
Tabla 3.2: Composición de la atmosfera terrestre	62
Tabla 4.1: Parque de vehículos La Rondilla	79
Tabla 4.2: Vehículos y plazas de aparcamiento	80
Tabla 4.3: Normativa Euro según la antigüedad de los vehículos	114
Tabla 4.4: Valores medios de los parámetros globales	134
Tabla 4.5: Valores medios medioambientales modelo inicial	144
Tabla 4.6: Valores medios de los parámetros globales modelo 1	148
Tabla 4.7: Valores medios medioambientales modelo 1.....	148
Tabla 4.8: Valores medios de parámetros globales del modelo 2	162
Tabla 4.9: Valores medios medioambientales modelo 2.....	162
Tabla 5.1: Motivos de no utilización del Transporte Público en vez del transporte privado	169
Tabla 5.2: Distribución de los motivos de no utilización del vehículo privado.	169
Tabla 7.1: Costes de personal	186
Tabla 7.2: Coste horario del tutor del proyecto.	186
Tabla 7.3: Coste horario del Ingeniero	187
Tabla 7.4: Horas totales que realiza cada trabajador	187
Tabla 7.5: Coste de personal	187
Tabla 7.6: Amortización de los equipos.....	188
Tabla 7.7: Costes de material	189
Tabla 7.8: Costes totales directos	189
Tabla 7.9: Costes indirectos.....	190
Tabla 7.10: Coste total del proyecto. Fuente: Elaboración propia.	190



ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Ecuación fundamental del tráfico	36
Ecuación 2: Intensidad de tráfico	37
Ecuación 3: Función de densidad según la distribución de Poisson.	37
Ecuación 4: Función de densidad según la distribución Binomial	37
Ecuación 5: Función de densidad según una distribución binomial negativa.	38
Ecuación 6: Intensidad media diaria anual.....	38
Ecuación 7: Factor de hora punta.....	39
Ecuación 8: Densidad de tráfico.....	40
Ecuación 9: Velocidad media total del trayecto.....	40
Ecuación 10: Velocidad media espacial.....	41
Ecuación 11: Velocidad media temporal.....	41
Ecuación 12: Relación fundamental del tráfico.....	42
Ecuación 13: Capacidad.....	47
Ecuación 14: Separación media mínima	47
Ecuación 15: Separación por cautela de los conductores.....	47
Ecuación 16: Regresión lineal.....	96
Ecuación 17: Emisión de CO ₂ y NO _x para velocidades menor a 10 km/h...	106
Ecuación 18: Emisión de CO ₂ y NO _x para velocidades mayor a 10 km/h ...	106
Ecuación 19: Tiempo de demora.....	131



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS





1.1. Introducción

La movilidad es el conjunto de desplazamientos que se realizan en un entorno físico, como elemento del modelo social y económico de nuestra sociedad.

Por otra parte, la movilidad urbana se refiere a los desplazamientos que se generan en la ciudad, con el coche, la bicicleta, el transporte público, a pie, entre otros. Pero, ¿Cuál es el objetivo de los medios de transporte?, la respuesta es sencilla, disminuir el tiempo que separa el lugar de origen al de destino. Es decir, mejorar la accesibilidad a esos lugares.

El objetivo primordial es facilitar los traslados a los bienes o servicios, esto se consigue ofreciendo medios de transporte, adecuados espacios físicos que cumplan con las necesidades de los ciudadanos, es decir, mejorar el desarrollo urbanístico. Teniendo en cuenta que la población y los servicios se aglomeran en torno a la ciudad y área metropolitana, que cada vez es más grande, lo cual genera un desafío para su gestión a nivel de seguridad, gestión de residuos, suministro energético y asuntos medioambientales.

El comportamiento de la movilidad en el Estado Español está registrado en el Observatorio de la Movilidad Metropolitana (OMM), que contiene información histórica sobre la movilidad. Desde los años 70 la movilidad urbana en España ha apostado por la carretera, con grandes inversiones económicas se ha ido incrementado la red vial.

También se ha observado que el coche es el modo de transporte más utilizado en las actividades cotidianas, dejando en un segundo lugar el transporte público, la bicicleta o ir a pie, que no alcanzan el 50% del total.

A lo largo de los años en Valladolid han surgido cambios culturales, sociales, económicos y demográficos, los cuales han repercutido en la movilidad urbana. Causas como la dispersión de la población en entornos cercanos a la ciudad, el crecimiento de la población y el desarrollo de un mercado de consumo, han ocasionado situaciones a las que hacer frente en el día de hoy.

La congestión de los núcleos urbanos se ha convertido en un reto para las elaboraciones de los planes de sostenibilidad y movilidad de las ciudades, cuyo objetivo se basa en la reducción de la contaminación atmosférica y acústica, del consumo energético y del impacto en la salud de los ciudadanos.

Para lograr la consecución de estos objetivos, se han movilizado planes que abogan por el transporte público, y el aumento de medios no motorizados como



la bicicleta o el ir a pie, a los distintos lugares, creando a su vez una calidad de vida para los ciudadanos y una mejora en la imagen de la ciudad.

Valladolid, ha llevado a cabo desde 2004 un “Plan Integral de Movilidad Urbana Ciudad de Valladolid” (P.I.M.U.V.A). Basado en la movilidad y transporte de la ciudad, en regular los instrumentos de planificación para su desarrollo y a la vez, integrar a los órganos de gestión y participación relacionados con la movilidad [1].

Dicho plan se ha quedado obsoleto en temas relacionados con la seguridad y sostenibilidad, por lo que su aplicación se ha vuelto compleja, además de tener menor accesibilidad a las subvenciones. Sustituyendo este por un Plan de Movilidad Urbana Sostenible y segura (PIMUSS), o Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS), en 2015, el cual examina los tipos de desplazamientos realizados por los ciudadanos, con el fin de adoptar medidas más sostenibles y seguras en los medios de transporte desarrollando a su vez el crecimiento económico, la mejora del medio ambiente y la cohesión social [2].

Otro tipo de proyectos que apoyan este plan de acción son:

-INNOLID 2020, Estrategia de Desarrollo Urbano Sostenible e Integrado de la ciudad de Valladolid. La cual surgió ante la necesidad de disponer una estrategia que siguiera los pasos de Europa 2020 en cuanto crecimiento inteligente, sostenible e integrador, consiguiendo así la posible financiación de Estrategias de Desarrollo Urbano Sostenible e Integrado (EDUSI), por medio de los fondos FEDER y su Programa Operativo de Crecimiento Sostenible (POCS)2014-2020 [3].

-Proyecto PE4TRANS (Public Engagement for Sustainable Public Transport), basado en la estrategia INNOLID 2020+ y a partir de PIMUSSVA, se elaborarán mejoras en las políticas de transporte público contando con la participación de ciudadanos para el diseño de este proyecto, con el fin de reducir lo máximo posible la huella de carbono [4] .

- El Pacto de Alcaldes, firmado el 12 de abril de 2011, basado en una red de intercambio de información entre los máximos responsables de las ciudades europeas, para la consecución de la eficiencia energética en el casco urbano [5].

-El Proyecto “Faro” Remourban, financiado por la Unión Europea y basado en la modificación de la sostenibilidad de Valladolid por medio de la eficiencia energética, la movilidad eléctrica y soportes digitales, mejorando así la calidad de vida de la población [6].



Todas estas propuestas tienen en común, una movilidad urbana competitiva y eficiente.

1.2. Motivación/Justificación del tfg

La exposición de motivos de crear un plan de ordenación en el ámbito territorial de Valladolid, se basa, en que dicha ciudad se ha ido afianzando como núcleo más importante de Castilla y León, con una base industrial importante, junto con una gran cantidad de servicios, formando un núcleo urbano bastante amplio y con una gran cantidad de población, justificando así ser la capital regional.

Se suma su posición estratégica al pertenecer al eje diagonal que comunica Portugal y Francia, a su vez, Valladolid pertenece a una de las zonas más activas del Norte Peninsular, ya que comunica Madrid con el Norte y Noreste de España.

Tomando en cuenta la posición en la que se encuentra la región de Valladolid, en este proyecto, se va a examinar uno de los barrios más problemáticos de esta ciudad, el barrio de La Rondilla, debido a su situación dentro del núcleo urbano, ya que es una zona cercana al centro y a su vez es un punto de conexión con varias entradas y salidas a vías de gran densidad de tráfico, la Avenida Palencia, Avenida Gijón y la Avenida de Salamanca. A parte también hay que tomar en cuenta que es un barrio edificado hace tiempo sin ninguna planificación urbanística.

Otra de las motivaciones sobre el tema de este trabajo corresponde con el marco estratégico de los modelos territoriales y urbanos futuros basándose en la transición económica, social, cultural y ecológica de las ciudades, proponiendo una nueva visión de urbanismo que podría llamarse 1.0, la cual tendrá mejoras constituyendo así nuevas versiones, 2.0, 3.0, etc.

Con el propósito de conseguir una circulación fluida y no congestionada, impulsando para ello los transportes alternativos que utilicen nuevas tecnologías, aquellos que en comparación con los vehículos privados suponen una menor agresión al entorno natural, una reducción de los conflictos sociales y una disminución en el consumo de recursos, como sucede con el transporte público y colectivo, que además se utilicen con un nivel suficiente de ocupación y otros modos no motorizados como la bicicleta y la marcha a pie.



Este nuevo enfoque exige asentar las bases de una nueva conciencia sobre la movilidad, de forma que cualquier medida que tenga como objetivo reorientar la movilidad hacia un modelo más sostenible, pasa por desarrollar al mismo tiempo dos actuaciones básicas complementarias y de sentido contrario.

- La potenciación del uso de los transportes públicos y alternativos, que permitan a las personas utilizar el transporte colectivo ir en bicicleta o andar, en condiciones óptimas de comodidad y seguridad.
- La reducción de la utilización del automóvil privado.

Con el apoyo de los entes públicos y privados para incorporar procesos y mecanismos de implementación efectiva [7].

1.3. Objetivos

La finalidad de este proyecto está orientada al establecimiento de carriles- bus-vao-eco, utilizados como instrumento para el fomento del transporte en autobús y otro tipo de vehículos de bajas emisiones, y el estudio de su adecuada integración en una zona residencial urbana, como es el barrio de La Rondilla de Valladolid.

Los objetivos a alcanzar se establecen en estos términos:

- Facilitar la circulación de los autobuses.
- Utilizarse como método para dificultar el uso del coche, reduciendo el viario para el automóvil, a fin de conseguir un barrio más humanizado.
- Reducción de la congestión de las calles, aportando agilidad y fluidez al tráfico.
- Mejorar la accesibilidad de todas las personas, y especialmente aquellas con movilidad reducida en un barrio en el que el porcentaje de personas de la tercera edad es elevado. Dedicar menos tiempo a recorrer la distancia que separa a los vecinos, de los lugares donde acuden a cubrir sus necesidades o deseos.
- Aumento de las velocidades medias de circulación, con lo que se mejora notablemente los tiempos de viaje; acortándolos, al mismo tiempo que se garantiza la regularidad, haciendo del autobús un modo más competitivo.
- Incentivar que en los coches no viaje solamente una persona y de este modo reducir el número de automóviles en el interior del barrio.
- Reducción de la contaminación, Contribuyendo con ello a una movilidad sostenible y a la lucha contra el cambio climático
- La propuesta de construir un aparcamiento subterráneo en suelo público, el cual cumplirá varios objetivos, entre otros: como solución



para paliar el déficit de plazas de estacionamiento existentes en el barrio de la Rondilla, de modo que sirva de sustitución, a las plazas eliminadas por la creación de un carril para el autobús, facilitando el transporte de personas con movilidad reducida, disuadiendo el uso del vehículo privado en beneficio del transporte público y generando un espacio urbano más amable para las personas, libre de humos y de ruidos.

Entre los objetivos de este proyecto también se encuentra dar algunas soluciones a los problemas de tráfico del barrio de La Rondilla, observando todas sus infraestructuras y elementos que interfieren en la circulación de los vehículos por sus calles.

Además, se tomará en consideración toda la red de transporte público del barrio de La Rondilla para que la simulación sea lo más cercana a la realidad, teniendo en cuenta sus zonas de entrada y salida de autobuses urbanos, los puntos de confluencia vehicular, las paradas y demás factores que puedan afectar al tráfico.

1.4. Descripción del trabajo

Este se realizará a partir del análisis de la información existente y habilitada por de Jefatura Provincial de Tráfico de Valladolid sobre el tráfico en el barrio de la Rondilla, que se cargará en un Software de modelado de transporte y simulación de tráfico en tiempo real, llamado Aimsun. Para ello se tendrán en cuenta, tanto la ubicación de los detectores y espiras como de las encuestas Origen-Destino y los aforos “in situ”, junto con toda información que pueda ser de interés dentro de la gestión de la movilidad urbana sostenible. Tras la realización de los pasos necesarios para la creación del nuevo modelado de las vías urbanas, se establecen las diferentes variables a considerar en el análisis. En este caso se realizarán varios modelos, el primero correspondiente con la situación actual del barrio y los demás modelos presentarán alternativas para la mejora del transporte público, contaminación atmosférica, seguridad y acceso a bienes y servicios, implantando nuevos carriles destinados a autobuses, vehículos de alta ocupación (VAO) y con etiqueta cero emisiones o (ECO). Después, a partir de los resultados obtenidos, se extraerán las conclusiones del trabajo.

1.6. Fases de desarrollo

Esta memoria agrupa los resultados que se han recogido en la realización de este Trabajo de Fin de Grado. Se estructura en siete capítulos:



- Capítulo 1: Introducción del tema y objetivos que se quieren llevar a cabo.
- Capítulo 2: Conceptos elementales de la Ingeniería de tráfico en la que se fijan los aspectos teóricos.
- Capítulo 3: Estrategias de desarrollo sostenible y movilidad para la reducción de contaminantes vertidos a la atmósfera.
- Capítulo 4: Análisis del barrio de la Rondilla, realizándose un estudio global de la zona, para la posterior implantación del modelo Aimsun.
- Capítulo 5: Análisis de los resultados de las simulaciones.
- Capítulo 6: Estudio económico del proyecto donde se definen los diferentes costes.
- Capítulo 7: Conclusiones que se obtienen de este proyecto y nuevas líneas de trabajo y mejora en el futuro.

Por último, destacar que este TFG termina con los anexos y la bibliografía, donde se encuentran tanto los libros como las páginas web consultadas y los trabajos de años anteriores.



CAPÍTULO 2: INGENERÍA DEL TRÁFICO





2.1. Conceptos generales de tráfico

La Ingeniería de tráfico trata sobre la planificación, trazado y explotación del tráfico en las redes viarias, ya sean estas calles, carreteras o autopistas, así como de sus zonas adyacentes, aparcamientos, otros bienes afectados y de su relación con otras formas de transporte, de manera que la circulación y movilidad de personas y vehículos sean seguras, rápidas, económicas y eficientes.

2.1.1. Funciones de la ingeniería de tráfico

El propósito al que se orientan las actividades de la ingeniería de Tráfico se puede clasificar en dos grupos distintos:

El primer grupo se correspondería, con la elaboración de una planificación eficiente, proyectando el tráfico mediante modelos que determinen cual serán las necesidades del transporte en un futuro. El ingeniero trata de adelantarse al comportamiento de las personas, predecir cómo se van a mover, que les impulsa a coger un medio de transporte u otro, porque viajan, a donde van, para ello se apoya en otras disciplinas como la Estadística, La Sociología, El Urbanismo, La Economía y otras ramas de la Ingeniería. El objetivo es conseguir que exista fluidez en los desplazamientos, dedicando a ello el menor tiempo posible.

Una segunda rama la ingeniería del tránsito, se ocupa de la ordenación del tráfico que, en vez de dedicarse a la construcción de una nueva infraestructura, se centra en lograr optimizar al máximo las redes viarias existentes, no interviniendo o hacerlo de forma mínima en la estructura física existente. Para ello dedica su actividad, a dar soluciones inmediatas a los problemas de circulación que se plantean en el corto plazo, poniendo su esfuerzo en conocer las necesidades de las personas que viven en ella, con el objetivo de que éstas se muevan de forma óptima. Su cometido es el diseño y dimensionamiento adecuado de:

- Las intersecciones viales.
- El posicionamiento y control de semáforos.
- la señalización tanto vertical como horizontal.
- Los estacionamientos.
- La frecuencia de los autobuses.

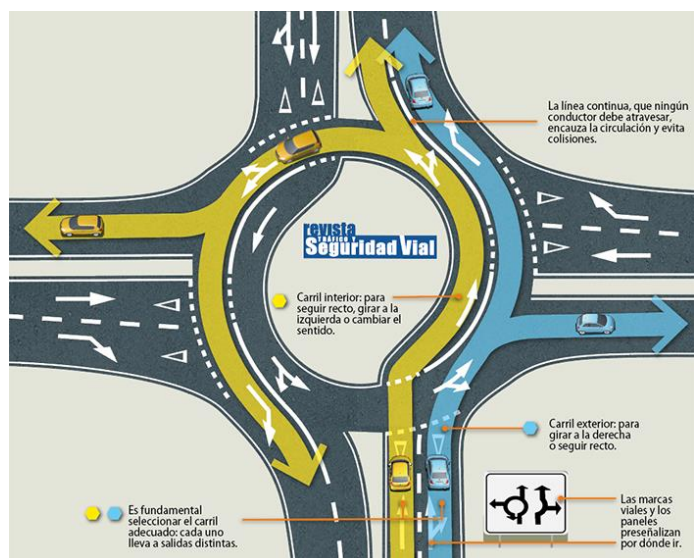


Figura 2.1: Intersección de rotonda. Recuperado de: <http://revista.dgt.es/es/reportajes/2017/12DICIEMBRE/1212turboglorietas.shtml#.XnkAi6hKg2x>

Todo ello con la finalidad de hacer más eficientes las infraestructuras viales existentes.

2.1.2. Papel que juega la ingeniería de tráfico

En etapas anteriores, la ingeniería de tráfico se limitaba a diseñar la infraestructura para los tráficos futuros si la demanda crecía fuertemente, los ingenieros de tráfico, sugerían la adición de carriles o incluso actuaciones aún más agresivas en el entramado viario.

En la actualidad, a causa de la necesidad de un transporte sostenible, se contempla un campo del transporte más amplio y mejor concebido en todas sus vertientes, no solo al referido al de la circulación de los vehículos, si no a construir menos vías, buscando soluciones más integrales, tendentes a lograr que las personas utilicen otros modos que sean más eficientes en el uso del espacio, como el transporte público o la bicicleta. Los métodos de gestión de la demanda del transporte complementan muy bien la ingeniería de tráfico.

2.2. Planificación vial

La ciudad es un espacio de relación para las personas, donde el contacto, la convivencia y la comunicación constituyen la esencia de la vida colectiva y se erige en el eje fundamental, donde se desarrolla el marco de la planificación y ejecución del entramado vial urbano.



El tráfico es un factor básico en la planificación de las carreteras y calles. La Ingeniería de tráfico, trata de dar soluciones a los problemas que se crean en ellas, para que exista una circulación eficiente en el transporte de mercancías y personas.

Por ello, en todos los trabajos de planificación de infraestructuras, para poder dar una solución a los complejos y variados problemas que genera el tráfico, es necesario el conocimiento de las características de éste. Estas características se pueden conocer de una forma rápida, eficaz y económica, con el desarrollo de nuevas técnicas, métodos y equipos de toma de datos.

2.2.1. Recogida y análisis de datos

Los datos de tráfico son esenciales para las tareas de planificación y gestión de la red además de dar solución a los problemas que el tráfico crea. Constituyéndose elementos fundamentales para el conocimiento de las características del mismo, tales como intensidad, composición, velocidad, etc.

Los sistemas usados en la recopilación de información acerca de las características del tráfico, pueden ser manuales o automáticos.

Los sistemas manuales hoy en día se utilizan poco, se realizan a través de personal especializado que refleja en impresos las características del tráfico, que visualmente son observados, ayudado en algún caso por elementos únicamente mecánicos.

En la actualidad se utilizan los sistemas automáticos de toma de datos de tráfico por medio de estaciones de aforo, con el propósito de que se pueda pasar directamente por ordenador toda la información recogida y se acelere así el sistema de datos y la elaboración de resultados.

En los sistemas automáticos de toma de datos hay que distinguir, como integrantes de cada uno de ellos, dos equipos perfectamente diferenciados; el equipo detector y el equipo de procesamiento.

- El equipo detector consta, de unos captadores que emiten una señal al paso de un vehículo y lo transmiten a los detectores que lo transforman en un impulso electrónico.
- El equipo de procesamiento, procesa los impulsos recibidos del equipo detector y da una salida de datos, en general, en forma de ejes o vehículos ordenados, clasificados por períodos de tiempo establecidos y clases limitadas.



Los equipos detectores se han desarrollado con el tiempo y son muchos los tipos creados entre los cuales destacan: de contacto, neumático, hidráulico, piezoeléctrico, magnético, fotoeléctrico, infrarrojo, acústico, ultrasónico, radar y bucle de inducción. La efectividad de estos equipos en cuanto a su explotación, viene dada en función de la frecuencia de reparación y de la frecuencia de reposición del elemento alimentador de la energía, que suele ser un acumulador eléctrico o batería.

De la experiencia en la utilización de equipos detectores, se ha reconocido a nivel técnico que los equipos más sencillos y económicos son los que se instalan en el pavimento, ya que solamente requieren que se adhieran al pavimento por medio de abrazaderas clavadas al mismo y sean a la vez resistentes al paso de vehículos. De entre estos tipos detectores los más generalizados son, el tubo neumático y el bucle portátil.

Los equipos de procesamiento son los que, con respecto a los equipos detectores han evolucionado de una forma más lenta en el desarrollo técnico de los sistemas.

Los equipos ofrecían a través de registradores gráficos las intensidades de una forma continua. Esto ofrecía la dificultad de tener que interpretar los gráficos para obtener valores en forma cuantitativa.

Posteriormente se incorporaron a los equipos unos contadores mecánicos de tambor y numéricos que permitían hacer lecturas a un operario que visitaba la estación sin que pudiera tener datos referidos a periodos horarios o más pequeños, siendo el período de tiempo el que transcurría entre dos lecturas consecutivas del operario.

Con la incorporación de un reloj mecánico o eléctrico alimentado con la misma batería del equipo y la incorporación, a su vez, de un sistema mecánico al equipo, permitían que los valores numéricos de los contadores quedasen impresos en una cinta de papel y referidos al intervalo de tiempo prefijado, quedando a su vez anotada la hora correspondiente a esos valores.

Los equipos descritos hasta el momento solo permiten obtener intensidades de vehículos, sin posibilidad de poder conocer la composición del tráfico o la velocidad de los vehículos. Excepción hecha de los sistemas equipados con radar, que permiten obtener velocidades de vehículos, clasificándolos por grupo de velocidad, pero que en general, solo recogen datos de un carril y un sentido y no distinguen los datos por períodos, requiriendo además la presencia de un operario.



En los últimos años debido al gran avance que ha experimentado la electrónica y sobre todo al desarrollo de la técnica de los microprocesadores, se han diseñado equipos totalmente electrónicos que tienen unas grandes posibilidades de aplicación, en los que se permiten obtener datos relativos a las variables del tráfico como intensidad, composición y velocidad [8].

2.2.2. Planificación vial y de transportes

La planificación del transporte, consiste en la elaboración de un proyecto que defina cuáles serán las necesidades del transporte presentes y futuras además de definir las soluciones a los problemas que se planteen, delimitando también los recursos necesarios para su puesta en marcha. El sistema de transporte que quede plasmado en este proyecto, deberá estar integrado en el desarrollo urbano y en consonancia con una movilidad sostenible.

La planificación se basará en adelantarse al comportamiento de las personas, predecir cómo se van a mover, que les impulsa a coger un medio de transporte u otro, porque viajan, a donde van, etc. Para su ejecución el proyecto deberá contar con el apoyo de otras disciplinas, como La Estadística, La Sociología, El Urbanismo, La Economía y otras ramas de la Ingeniería.

La planificación no tiene un único objetivo, sino que éstos pueden ser múltiples y acordes con el nuevo modelo socioterritorial que la ciudadanía demanda. Su finalidad es conseguir un sistema de transporte en el que el ciudadano dedique el menor tiempo posible a desplazarse, haciéndolo de una forma segura, siendo accesible para el mayor número de personas posible, independientemente de sus características personales o capacidad económica, en el que el coste de la movilidad sea menor, teniendo en cuenta también el espacio como recurso limitado, la calidad de vida, la intensidad de las relaciones sociales y el uso democrático del espacio público, así como el respeto por el entorno y el medio ambiente en el que se desarrolla.

Bajo estas premisas, en el transporte urbano se fomentará el transporte público y el transporte no motorizado como bicicleta o el ir a pie, mientras que se desincentivará el transporte motorizado individual, ya sea este mediante el uso del automóvil, taxi o en motocicleta.

2.2.3. Trazado de carreteras

Es la técnica que consiste en el diseño geométrico de carreteras y calles, incluyendo, así mismo el estudio y definición de las necesidades presentes y futuras, las afecciones al entorno y el impacto ambiental. Cobrando especial



importancia la Ingeniería de tráfico, en lo referido a sus intersecciones, nudos, enlaces y calles.

Aunque muchos de los aspectos de la confección geométrica de una carretera o calle, no son específicos de la Ingeniería de tráfico, si se hace necesaria su intervención en las últimas etapas de la realización de un proyecto con la aportación de su visión específica sobre el tráfico.



Figura 2.2: Trazado de carreteras. Recuperado de: <https://danielaguilo.com/home/trazado-carreteras/>

2.3. Organización de la ingeniería de tráfico

En la organización a escala municipal del tráfico, hay que tener en cuenta un hecho que lo condiciona, el crecimiento de las ciudades es imparable, decenas de proyectos de urbanización, nuevas vías, las cuales vienen dibujando un entramado, en ocasiones sin organización ni planificación del tráfico, lo que se traduce en la confusión y el desorden.

Los parques de vehículos crecen rápidamente y con ellos los problemas de circulación, estacionamiento, el deterioro del medio ambiente urbano y la pérdida de la calidad de vida de sus ciudadanos, siendo muy pocas las posibilidades de mejora y de resolución de los problemas que surgen, condicionadas en gran medida por el limitado espacio físico de las propias ciudades y una inadecuada planificación y ordenamiento urbano, e incluso hay veces que esto se hace imposible.

¿Dónde está el problema? Ante la construcción de nuevas vías, para originar un buen funcionamiento del tráfico, no sin antes elaborar una buena planificación urbana y su consecuente planificación del tráfico.



2.3.1. Planificación del tráfico

El planeamiento urbanístico o planificación urbana es el conjunto de instrumentos técnicos y normativos que se redactan para ordenar el uso del suelo y regular las condiciones para su transformación o en su caso, la conservación, estableciendo un modelo de ordenación para un ámbito espacial que generalmente se refiere a un municipio, a un área urbana o a una zona con escala de barrio. Puesto que, en teoría, sería imposible construir desordenadamente sin desarrollar previamente ciertas cuestiones basadas en la calidad de vida y sostenibilidad de la ciudad.

La planificación del tráfico es una rama principal a integrar dentro de los planes de desarrollo de crecimiento de las ciudades.

En Europa, concretamente en España, la Planificación Urbana y en especial la organización y planificación del tráfico urbano son particularidades que están dentro de las actividades públicas en todo el territorio nacional.

Así, gracias a estas planificaciones se han reducido las tasas de contaminación en el centro de las grandes ciudades, además de intentar que el tráfico en hora punta se convierta en una circulación lo más fluida posible, consiguiendo ganar tiempo en los desplazamientos disminuyendo los retrasos, y el consumo de combustibles fósiles. Claramente no todas las ciudades tienen estas pretensiones. Pero es posible evaluar una estrategia sobre la planificación del tráfico urbano. En primer lugar, con estudio del terreno por expertos profesionales. Estudios que han de recoger los principales agentes que actúan en el tráfico urbano de una ciudad: accesos, oferta de transporte, demanda, tiempos, etc. o conceptos más complejos como la Intensidad, Velocidad y Densidad del tráfico [9].



Figura 2.3: Tráfico urbano de una ciudad. Recuperado de: www.caliper.com

2.3.2. Gestión del tráfico

Realizada una planificación del tráfico urbano profesional y sostenible, es el momento de integrarla en el núcleo interno del área urbana, por medio de la adecuación de planes estratégicos de tráfico, que dispongan de distintas propuestas que puedan ayudar a conseguir un contexto saludable del tráfico urbano de las ciudades.

Algunas de estas propuestas para intentar mejorar el tráfico en nuestras ciudades son:

- La existencia de un área de planificación del tráfico o movilidad enmarcada dentro de la planificación del crecimiento de la ciudad es básica, sin ella es imposible dar un vuelco positivo y sostenible a una situación de caos circulatorio.
- Contar con suficiente personal de gestión de tráfico en la ciudad es fundamental. En ocasiones en tramos de gran embotellamiento su presencia es prácticamente obligatoria, evitando así la sensación anárquica de la circulación en hora punta.
- Una de las grandes conclusiones que resulta de un buen Plan Estratégico Urbano es la reorganización de los desplazamientos internos de la ciudad, mediante la construcción de nuevos aparcamientos, a poder ser de disuasión en la corona perimetral de los núcleos.
- Aumentar el uso del transporte público, ya que optimiza el uso de la circulación. Además, es una medida sostenible al ayudar a conservar el medio ambiente. Por cada autobús pueden eliminarse 20 automóviles.



- La restricción vehicular son un conjunto de medidas para disminuir el tráfico temporalmente en las ciudades, por ejemplo, limitando la circulación dependiendo del número de matrícula.
- Implantar un amplio y renovado programa de educación y concienciación vial, con el fin de mostrar los rasgos negativos del tráfico en la ciudad.
- Equilibrar la circulación peatonal de forma óptima y funcional, es una tarea muy importante para mejorar el tránsito en las ciudades. El volumen de peatones bien canalizado fomenta el no usar el coche.
- Una buena red de transporte público que llegue a los principales puntos de atracción de pasajeros, impulsará la utilización de este [9].

2.3.3. Regulación legislativa del tráfico

La necesidad de tener normas de obligado cumplimiento, lo primordial para una ordenación del tráfico y para la Ingeniería del tráfico, que con la ausencia de ellas sería imposible una circulación fluida y segura en nuestras ciudades. En España a día de hoy, la norma básica que se encuentra en vigor viene recogidas en el Real decreto legislativo 6/2015 de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la ley sobre tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial. En el ámbito municipal se encuentra redactada de la siguiente forma:

Artículo 7. Competencias de los municipios.

Corresponde a los municipios:

- a) La regulación, ordenación, gestión, vigilancia y disciplina, por medio de agentes propios, del tráfico en las vías urbanas de su titularidad, así como la denuncia de las infracciones que se cometan en dichas vías y la sanción de las mismas cuando no esté expresamente atribuida a otra Administración.
- b) La regulación mediante ordenanza municipal de circulación, de los usos de las vías urbanas, haciendo compatible la equitativa distribución de los aparcamientos entre todos los usuarios con la necesaria fluidez del tráfico rodado y con el uso peatonal de las calles, así como el establecimiento de medidas de estacionamiento limitado, con el fin de garantizar la rotación de los aparcamientos, prestando especial atención a las necesidades de las personas con discapacidad que tienen reducida su movilidad y que utilizan vehículos, todo ello con el fin de favorecer su integración social.



- c) La inmovilización de los vehículos en vías urbanas cuando no dispongan de título que habilite el estacionamiento en zonas limitadas en tiempo o excedan de la autorización concedida, hasta que se logre la identificación de su conductor.

La retirada de los vehículos de las vías urbanas y su posterior depósito cuando obstaculicen, dificulten o supongan un peligro para la circulación, o se encuentren incorrectamente aparcados en las zonas de estacionamiento restringido, en las condiciones previstas para la inmovilización en este mismo artículo. Las bicicletas sólo podrán ser retiradas y llevadas al correspondiente depósito si están abandonadas o si, estando amarradas, dificultan la circulación de vehículos o personas o dañan el mobiliario urbano.

Igualmente, la retirada de vehículos en las vías interurbanas y el posterior depósito de éstos, en los términos que reglamentariamente se determine.

- d) La autorización de pruebas deportivas cuando discurran íntegra y exclusivamente por el casco urbano, exceptuadas las travesías.
- e) La realización de las pruebas a que alude el artículo 5.o) en las vías urbanas, en los términos que reglamentariamente se determine.
- f) El cierre de vías urbanas cuando sea necesario.
- g) La restricción de la circulación a determinados vehículos en vías urbanas por motivos medioambientales [10].

2.3.4. Conclusiones

Nuestras ciudades cada vez más fomentan la sostenibilidad y el aumento de la calidad de vida en ellas, por lo que se hace necesaria una planificación y ordenamiento urbano modernos y, en especial, una adecuada gestión del tráfico urbano, y en consecuencia la Ingeniería de Tráfico está sometida a esta misma evolución, lo que conlleva su extensión al campo de los transportes y a otros campos.

La ingeniería del tráfico intenta comprender los procesos urbanos, plasmándolos en una planificación de la Movilidad, y, en consecuencia, a la integración del tráfico mediante la concepción y construcción de elementos que se inserten en el espacio que ocupan las ciudades.

La técnica del tráfico o del transporte ya no es sólo una rama más de la ingeniería, sino que se está convirtiendo en un aspecto fundamental del



urbanismo incluyéndose especialistas en tráfico y transportes en los equipos dedicados al urbanismo.

2.4. Características básicas (flujo vehicular)

Mediante el análisis del flujo vehicular se pueden estudiar las características y el comportamiento del movimiento de un vehículo sobre la calzada, necesario para el planteamiento de los proyectos y operaciones en carreteras o calles dentro del sistema de transporte.

La complejidad del estudio del flujo del tráfico, se debe a la dificultad de prever las variaciones aleatorias relacionadas con el sistema humano-vehículo-medio, ya que para observar el movimiento de un vehículo hay que considerar varios factores como el comportamiento del conductor o la capacidad de aceleración, frenado o velocidad máxima sobre la vía.

El análisis de este flujo de vehículos se lleva a cabo por medio de modelos de tráfico, los cuales estudian las variables básicas de tráfico.

Los modelos de tráfico se dividen en dos grupos, los modelos macroscópicos y los modelos microscópicos [11].

2.4.1. Tipos de flujo vehicular

El Manual de Capacidad de Carreteras, clasifica a los diferentes tipos de tramos en dos categorías según el flujo vehicular: Continuo y Discontinuo.

Solo se describe el tipo de tramo y no la calidad del flujo de tránsito que en un momento concreto circula por el mismo, es decir, si una autopista se encuentra en una situación determinada con una gran congestión del tráfico sigue siendo una infraestructura de flujo ininterrumpido, ya que el origen de la congestión es interno a la circulación (accidente, colisión, avería), es independiente del tipo de flujo vehicular.

- Flujo continuo o ininterrumpido: Es aquel en el que el vehículo que va circulando sobre la vía solo se ve obligado a parar por razones relacionadas con el tráfico. Como ocurre en el tráfico de carreteras. Los vehículos se detienen cuando llegan a su destino o tienen que realizar paradas intermedias o causas relacionadas con un accidente. Por lo tanto, el flujo ininterrumpido es el movimiento continuo de vehículos donde no existen intersecciones con las señales de stop o con los semáforos, de tal modo tendremos:



$$i = v \cdot k$$

Ecuación 2.1: Ecuación fundamental del tráfico

Donde:

- i : intensidad de tráfico (vehículos/hora).
- v : velocidad (km/hora).
- K : densidad de tráfico (vehículos/km).
- Flujo discontinuo interrumpido: Es el utilizado en las calles, dado en el tránsito urbano donde las interrupciones son habituales por cualquier motivo, por ejemplo, los elementos para ordenar la circulación, como son los semáforos, señales, y marcas viales.

Hay que tomar en cuenta el impacto que causa estos elementos, desde el espacio físico ocupado por ellos hasta la limitación del tiempo disponible para determinados movimientos. Causas producidas por las interrupciones:

- Seguridad: disminuir los siniestros del sistema de gestión.
- Medioambientales: provoca mayor contaminación al estar el vehículo parado sobre la calzada sin realizar ninguna contraprestación.
- Económicos: pérdida de PIB por la emisión de gases cuando el vehículo está detenido.
- Socio-personales: derivados por la pérdida del tiempo en la carretera en vez de usarlo para usos personales.

2.5 Variables básicas de tráfico

Previo a estudiar los modelos propuestos es recomendable definir las variables más usadas en la caracterización del tráfico según [12] :

- **Intensidad de tráfico.**

Se determina como el número de vehículos que transcurren por una determinada sección de la carretera en una unidad de tiempo en un intervalo. Normalmente se usa la hora o el día como unidades temporales. Por lo que entendemos que la intensidad, i , es el número de vehículos, N , dividido por el tiempo, T .



$$i = \frac{N}{T}$$

Ecuación 2.2: Intensidad de tráfico

Donde:

- i : intensidad de tráfico (vehículos/tiempo).
- N : número de vehículos.
- T : tiempo.

Esta variable se utiliza para determinar la demanda que pasa por un punto o sección expresado como número de vehículos por hora, aunque el intervalo de tiempo usado puede llegar a ser menor.

La cantidad de vehículos que transcurren una vía es un fenómeno aleatorio, es decir que no se puede predecir, por lo que existen varias distribuciones matemáticas en función del tipo de flujo de tráfico.

Hasta 200 vehículos por hora se denomina tráfico ligero, por lo que se utiliza la *distribución de Poisson*, cuya función de densidad es:

$$P(i) = e^{-q \cdot t} \frac{(q \cdot t)^i}{i!}$$

Ecuación 2.3: Función de densidad según la distribución de Poisson.

Donde:

- $P(i)$: probabilidad de que i vehículos pasen por una sección o punto de la vía en un tiempo t .
- q : número medio de llegadas.
- i : contador que empieza en cero y va con incrementos de una unidad.

Si la intensidad o volumen de vehículos es superior a 200 por hora, la distribución de Poisson no es fiable y se utilizara por consiguiente la distribución Binomial, la cual representa de forma más realista dicha situación.

$$P(i) = \binom{m}{i} \cdot p^i \cdot (1 - p)^{m-i}$$

Ecuación 2.4: Función de densidad según la distribución Binomial



Donde:

- $P(i)$: probabilidad de que i vehículos pasen por una sección o punto en un tiempo, t .
- i : contador de vehículos (variable aleatoria).
- m : número de vehículos que pasan por una sección en un tiempo t .
- p : probabilidad de éxito.
- $1-p$: probabilidad de fracaso.

Por último, si el tráfico presenta fuertes variaciones, como en el caso de las horas punta, que puede cambiar de un momento la subida o bajada de vehículos en ese tramo tenemos que cambiar la distribución matemática a otra más adecuada para dicho caso, como la distribución binomial negativa.

$$P(i) = \binom{i+k-1}{k-1} \cdot p^k \cdot (1-p)^i$$

Ecuación 2.5: Función de densidad según una distribución binomial negativa.

Donde:

- $P(i)$: Probabilidad de contar i vehículos antes del número que pasa por la sección en un tiempo t .
- i : vehículos contados antes de hallar el número que pasa por la sección en un tiempo t .
- k : vehículos que pasan por la sección en un tiempo t .
- p : probabilidad de éxito.
- $1-p$: probabilidad de fracaso.

Desde el punto de vista de la Ingeniería de Tráfico es de gran interés dos fases de la variable intensidad en función del tiempo.

- Intensidad media diaria anual: cantidad de vehículos que transcurren por una sección en un periodo de tiempo de un año, dividido por 365. Se conoce con las siglas IMD, que se corresponde con la intensidad de tráfico al día medio del año.

$$IMD = \frac{\text{Número de vehículos/Año}}{365}$$

Ecuación 2.6: Intensidad media diaria anual.



La IMD sirve sobre todo para el planeamiento, es decir, se usa para la clasificación de vías, el establecimiento de características geométricas generales, planes de señalización e iluminación, programas de mejora, pavimento, proyectos de conservación, etc.

- Intensidad máxima horaria o intensidad punta (IMH): cantidad de vehículos que transcurren por una sección en un periodo de tiempo de una hora, utilizada mayormente como unidad de medida en condiciones de mayor circulación.

Partiendo del concepto de hora punta, hay que tomar en cuenta que para el correcto funcionamiento de una carretera la capacidad no se mide respecto a intensidades medias, sino para intensidades en horas punta.

La intensidad horaria se usa para la ordenación y el proyecto, por lo que sirve para determinar la capacidad de las carreteras, definir enlaces e intersecciones, control de tráfico, coordinar las fases semafóricas y ordenar la circulación. También se utiliza la intensidad infrahoraria (15min) para la gestión del tráfico. Por lo que el intervalo de tiempo que se utilizará en este TFG será la hora en cuanto a la variable intensidad.

En cuanto al factor de hora punta, hay que tener en cuenta que las intensidades de circulación se asocian con los volúmenes horarios a través del factor de hora punta, determinado por la correlación entre el volumen total horario y la intensidad del tráfico máxima generada en un intervalo de tiempo de 15 minutos dentro de la hora.[12]

$$PHF = \frac{Q}{4 \cdot Q_{15}}$$

Ecuación 2.7: Factor de hora punta.

Donde:

- Q: volumen horario (v/h).
- Q₁₅: volumen durante los 15-min punta de la hora en v/15 min.
- **Densidad.**

Variable que define el número de vehículos por unidad de longitud que pasan por la vía en un momento dado. Se cuantifica a partir de la relación entre la variable intensidad y velocidad de tráfico.



$$K = \frac{i}{v}$$

Ecuación 2.8: Densidad de tráfico.

Donde:

- K: densidad (veh/km).
- i: intensidad de circulación (veh/h).
- v: velocidad media del recorrido (km/h).

El valor resultante representa la densidad en un tiempo y tramo determinado, suponiendo que no hay distancia entre vehículos, la congestión máxima se daría con los automóviles pegados con el movimiento totalmente restringido. Este tipo de modelo de tráfico no es posible encontrárselo en la realidad, por lo que se hará uso de unos valores orientativos entre los cuales se dará la congestión en la circulación, dichos valores varían entre los 40 y 160 vehículos por kilómetro de vía, dependiendo de las velocidades.

Por lo tanto, la densidad es una variable altamente relacionada con la calidad de la circulación, de ahí su interés para estudiarla.

- **Velocidad.**

La velocidad se define como el movimiento manifestado como distancia por unidad de tiempo, normalmente expresado en Kilómetros/hora. Se emplea para analizar los flujos de tráfico en muchos tipos de vía.

En cuanto la velocidad media total del trayecto, se toma en cuenta la longitud de la ruta dividido entre el tiempo medio de los vehículos durante dicho trayecto, incluyendo así las paradas provocadas por las interrupciones fijas o por el colapso de la circulación.

$$V = \frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n}} = \frac{nL}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

Ecuación 2.9: Velocidad media total del trayecto.

Donde t_i es el tiempo total del trayecto del i-ésimo vehículo que pasa sobre el tramo.

Otro factor que también tenemos que tomar en cuenta es la existencia de varios tipos de velocidad, definidos a continuación:



- Velocidad instantánea: relaciona el espacio con el tiempo. Dicha velocidad se encuentra fijada por la situación del propio vehículo y del conductor, además de encontrarse envuelta en otras circunstancias que la delimitan, como el volumen del tráfico, el clima, semáforos, cruces de calles, señales, etc. Por lo que presenta un carácter aleatorio.
- Velocidad media: se define como el promedio de las distintas velocidades.
- Velocidad media de recorrido: se define como la suma de las distancias recorridas de cada vehículo entre el conjunto de los tiempos invertidos en esos recorridos. También se toma en cuenta los tiempos de demora por paradas de semáforos, incidentes u otros sucesos.
- Velocidad media espacial: se define como el valor medio de todas las velocidades de los vehículos que están sobre un tramo de carretera en un momento determinado. En este proyecto se trabajará sobre esta velocidad, ya que los datos proporcionados son sobre vías urbanas, las cuales se obtienen al tomarse valores de distintos automóviles que pasan por el mismo tramo de sección.

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

Ecuación 2.10: Velocidad media espacial.

Donde:

- s_i es el espacio recorrido por los vehículos
 - m_i es el tiempo del vehículo i .
- Velocidad media temporal o local: se define como el valor medio de las velocidades de los vehículos que recorren el mismo tramo de carretera durante un periodo de tiempo determinado.

$$V = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^n v_i$$

Ecuación 2.11: Velocidad media temporal

2.5.1. Relaciones entre intensidad, densidad y velocidad

Entre los fundamentales parámetros de circulación vistos anteriormente, da cabida a una relación entre ambas, llamada relación fundamental del tráfico,



donde se puede deducir uno de los parámetros a partir de los otros dos, a través de la siguiente fórmula.

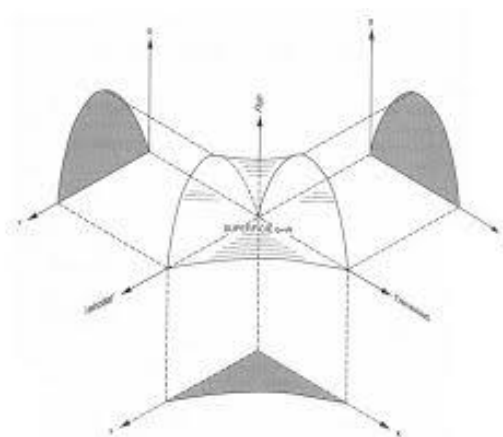
$$i = v \cdot d$$

Ecuación 2.12: Relación fundamental del tráfico

Donde se deduce que la circulación a la que se atañe dicha relación se basa en un tráfico de movimiento continuo, es decir, la interrupción de los vehículos será debida a las propias causas del tráfico y no de factores exteriores como los semáforos o los agentes de circulación.

A partir de una densidad baja y velocidad alta, puede llegar a dar un valor de intensidad bajo causando una capacidad infrautilizada, pero el problema real se da cuando la densidad es alta y la velocidad baja, observando así que el mejor uso de la carretera existe al contar con un valor constante de la velocidad.

La representación gráfica de esta ecuación es compleja, al figurar un parámetro en función de otros dos, dando lugar a una representación tridimensional [13].



*Figura 2.4: Relación fundamental de tráfico.
Fuente: Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones (Reyes Espíndola, y otros, 2007).*

2.5.1.1. Relación entre velocidad y densidad

Analizando la variable densidad vemos que nunca toma el valor cero, ya que su existencia se basa en la aparición como mínimo de un vehículo sobre un tramo de vía con una determinada velocidad.



Si la densidad es baja, la velocidad usada por el conductor será más alta, alcanzando valores muy altos llegando incluso a los límites de velocidad. Sin embargo, si la densidad es muy alta se darán colapsos en la carretera, con velocidades muy bajas o nulas, dependiendo del congestionamiento.

La intensidad se puede hallar a través de la gráfica velocidad-densidad, con la ecuación fundamental del tráfico, ya que el producto de la velocidad por la densidad es igual al área del rectángulo donde su lado horizontal representa el eje de la densidad y el lado vertical representa el eje de la velocidad.

Como observamos en la figura, el rectángulo de área máxima es la del punto E, límite entre el tráfico congestionado y no congestionado, el punto C representa un valor donde el tráfico no está congestionado y el punto D donde si esta congestionada la circulación [14].

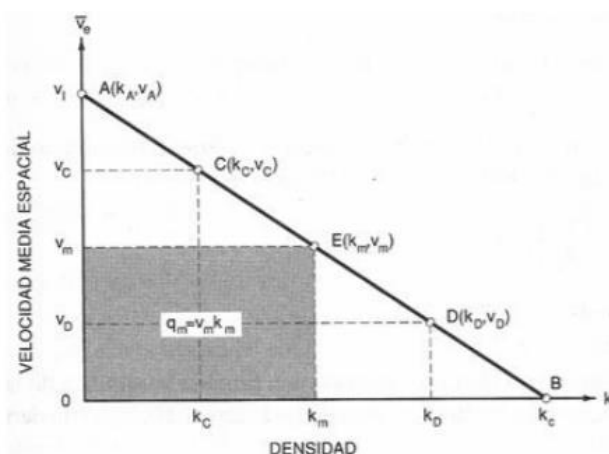


Figura 2.5: Relación entre velocidad y densidad.
Fuente: Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones (Reyes Espíndola, y otros, 2007)

2.5.1.2. Relación entre intensidad y densidad

La expresión que relaciona estos parámetros es una función parabólica, por lo que al representar los valores de dichas variables vemos que ante una densidad 0 la intensidad también muestra el valor 0, ante estas condiciones la circulación es continua y estable, dependiendo la velocidad del conductor, tipo de vehículo, visibilidad, condiciones meteorológicas y características geométricas de la vía (punto A), en cambio cuando la densidad es máxima la velocidad es muy baja llegando incluso a valer 0, es decir, que el tráfico que lo forma está colapsado o congestionado (punto B).



A partir de la ecuación fundamental de tráfico se calcula velocidad, a través de la tangente del ángulo que une la recta del punto A con otro punto situado en la curva, es decir calculando la pendiente de dicha recta.

También a través de la gráfica se puede observar con mayor claridad la capacidad máxima de la vía (punto E) o los puntos donde el tráfico no está congestionado como el punto C o, donde el tráfico está colapsado (punto D) [15].

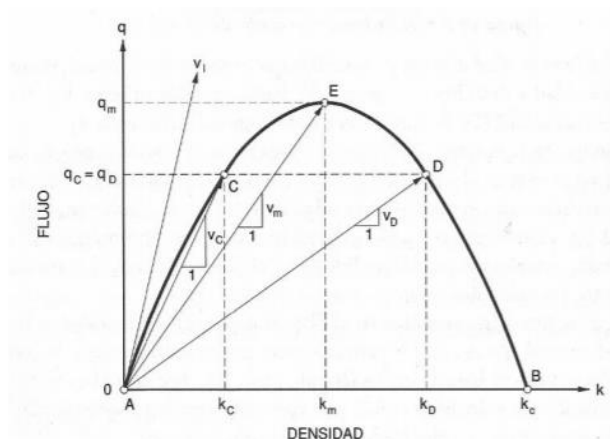


Figura 2.6: Relación entre densidad e intensidad. Fuente: Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones (Reyes Espíndola, y otros,2007).

2.5.1.3. Relación entre la velocidad y la densidad

La expresión que relaciona los parámetros de velocidad y densidad es una función parabólica que variara dependiendo de unas carreteras a otras, el peso que tiene el tipo de carretera será mayor cuanto más baja es la densidad, es decir, la velocidad depende de las características geométricas de la vía entre otros muchos factores, pero no de otros vehículos. Sin embargo, cuando la densidad es alta la velocidad si la determinan los demás vehículos.

Entre los dos extremos de la parábola, se sitúan muchos tipos de valores que determinan la calidad de la carretera, por ejemplo, el punto E es el que indica la capacidad máxima de la vía, el punto C indica que estamos antes un tráfico no congestionado y el punto D determina una circulación colapsada.



También a través de la pendiente del vector que va desde el punto B a cualquier punto de la curva se puede calcular el inverso de la densidad tomando como referencia la ecuación fundamental [14].

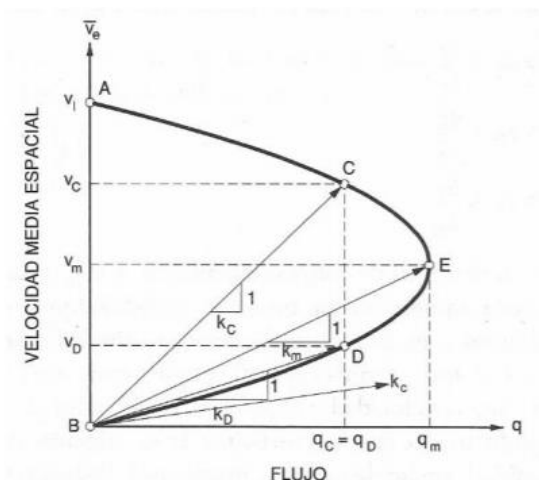


Figura 2.7: Relación entre velocidad y densidad.
Fuente: Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones (Reyes Espíndola, y otros, 2007).

2.5.1.4. Diagrama fundamental del flujo vehicular

Como vemos en la figura 8, se interrelacionan cada una de las tres relaciones básicas.

La relación velocidad-densidad es la fundamental para la mayoría de los modelos de flujo vehicular, ya que para un valor de densidad solo hay un valor de velocidad, suceso que en otras relaciones no ocurre.

La relación intensidad-densidad se utiliza para controlar la circulación en autopistas, ya que la densidad puede reflejarse en valores porcentuales de ocupación de tramos específicos en un momento determinado.

La relación velocidad-intensidad se usa para conocer los Niveles de productividad (intensidad) y los Niveles de Servicio (velocidad) [14].

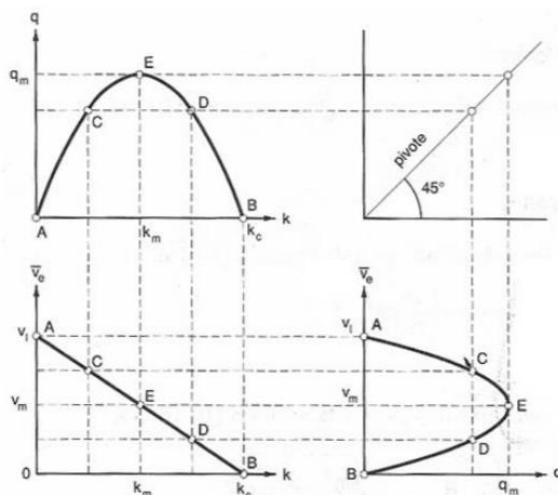


Figura 2.8: Diagrama fundamental del flujo vehicular.
Fuente: Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones
(Reyes Espíndola, y otros, 2007).

2.6. Capacidad y nivel de servicio

Para empezar, hay que tomar constancia de la utilización del análisis de capacidad y para qué sirve.

El análisis de capacidad es la aproximación del máximo número de vehículos y personas que puede dar cabida una instalación en un intervalo de tiempo concreto y con una seguridad establecida. Sin embargo, a veces las instalaciones funcionan mal en o cerca del umbral de capacidad, por eso mayormente las instalaciones no operan en ese estado.

En consecuencia, el análisis de capacidad facilita una forma de aproximar la posibilidad de las instalaciones para transportar una circulación en un ámbito concreto, es decir, en un nivel de servicio tomando en cuenta el tipo de instalación o las cantidades de tráfico [16].

2.6.1. Capacidad

Se entiende como el máximo número de vehículos que transcurren por un punto en un periodo de tiempo establecido sujeto a las características de la carretera, la circulación y las condiciones de control.

El periodo de tiempo usado en los análisis de capacidad es de 15 minutos, ya que este periodo de tiempo es el mínimo para estudiar un flujo estable en un tramo de carretera. A partir de este intervalo de tiempo establecemos una tasa de flujo horaria, a través de la cual se medirá la capacidad.



Por lo tanto, el número de vehículos/hora, es decir, el máximo número de vehículos que pueden pasar por un carril, considerando una velocidad uniforme, se puede deducir a través de la siguiente ecuación:

$$c = \frac{v}{s} \cdot 1000$$

Ecuación 2.13: Capacidad

Donde:

- v : velocidad km/h
- s : separación media mínima en metros para una velocidad establecida entre las partes frontales de dos automóviles sucesivos.

El valor de s esta expresado en función de la longitud de los vehículos, el tiempo de reacción de los conductores y de la distancia de frenado. Por lo que la variable s se expresa en función de la siguiente ecuación:

$$s = a + bv + cv^2$$

Ecuación 2.14: Separación media mínima

Donde:

- a : longitud de los vehículos.
- bv : tiempo de reacción de los conductores.
- cv^2 : distancia de frenado.

También hay que tomar en cuenta otro factor, la cautela de los conductores al observar las condiciones de circulación a las cuales están sometidos. Además, analizando los resultados de la separación teórica se ve que en la realidad los valores son inferiores, adecuando los valores obtenemos otra función que se ajusta más a la realidad.

$$s = 5.35 + 0.22 + 0.00094v^2$$

Ecuación 2.15: Separación por cautela de los conductores

Usando la anterior ecuación hallaremos la expresión de la capacidad teórica, la cual tampoco es semejante a la realidad, ya que nunca se va a llegar a capacidades tan altas como, por ejemplo, 2750 vehículos a 75 km/h.

La infraestructura vial, puede tener varios tipos de flujo vehicular, descrito anteriormente en otro capítulo. Como consecuencia, dependiendo de si



estamos ante un flujo vehicular continuo o discontinuo el cálculo de la Capacidad y calidad de operación se establece una forma específica.

A continuación, se ve una representación de la capacidad máxima en diferentes escenarios [17].

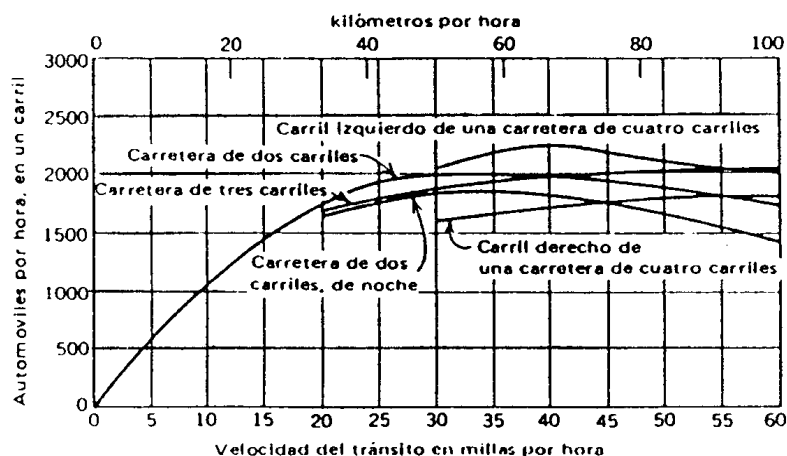


Figura 2.9: Capacidad máxima en un tramo. Fuente: Apuntes de Ingeniería de Transporte de la Universidad de Valladolid.

2.6.2. Nivel de Servicio

El Nivel de Servicio está relacionado con la calidad del flujo vehicular. Es una medida cualitativa que representa las condiciones de operación de un flujo vehicular y de su sensación por los conductores y pasajeros.

Si se quiere mantener un nivel de servicio, la intensidad tiene que ser inferior a la capacidad. La máxima intensidad acorde con cierto nivel de servicio se define como intensidad de servicio para ese nivel.

El Manual de Capacidad recomienda estudiar el nivel de servicio tomando en cuenta los siguientes factores:

- Velocidad y tiempo recorrido.
- Interrupciones de tráfico, es decir la cantidad de paradas por kilómetro además de su duración, magnitud y frecuencia de los cambios de velocidad vitales para seguir en la corriente de tráfico.
- Libertad de maniobra para disponer de la velocidad deseada.
- Seguridad, incluyendo los posibles peligros además de los accidentes de tráfico.
- Economía, haciendo referencia al coste que implica recorrer un tramo.



La evaluación de estos factores tan heterogéneos es complicada. Como consecuencia, el primero de los factores se utilizará para conocer el nivel de servicio, es decir en la velocidad y el tiempo usado para recorrer el tramo. Además, el Manual propone añadir un segundo criterio: la relación entre la intensidad de servicio y la capacidad, o de la intensidad de tráfico predicha y la capacidad (índice de servicio o relación i/c).

Para conseguir dichos índices se recomienda seguir estos criterios:

- La intensidad y la capacidad se cuantifica en el número de vehículos/hora para cada subtramo. En un tramo dichas variables pueden cambiar a lo largo de toda la longitud del tramo, por lo tanto, los valores medios pueden ser inservibles. Ante estas variaciones es fundamental determinar la longitud del tramo en la que se quiere medir la intensidad y capacidad según el grado de precisión que queramos conseguir.
- La catalogación del nivel de servicio de la vía debe tener constancia de las diferentes circunstancias de cada subtramo, ya sea por el tráfico, geometría de la vía, o las entradas y salidas, tomando en cuenta su efecto en el conjunto.
- Hay que estudiar la velocidad y el tiempo recorrido como la intensidad de tráfico en los subtramos semejantes, los cuales darán la media para saber a qué tipo de servicio corresponde dicha vía.
- La velocidad y el tiempo recorrido no dependen solo de la intensidad de tráfico, sino también de las características geométricas de la vía, por lo que los niveles de servicio hay que diferenciarles según el tipo de carretera que se está analizando. Entre los diferentes tipos de vía cabe destacar:
 - Carreteras de 4 o más carriles.
 - Carreteras de 2 o 3 carriles.
 - Grandes arterias urbanas.
 - Autopistas y autovías.
 - Calles céntricas no arteriales.

Para conocer un concreto nivel de servicio según el Manual de Capacidad se utilizan criterios diferentes. Las estudiadas en este TFG serían las vías urbanas no principales, cuya variable principal es el tiempo de recorrido y las grandes arterias urbanas donde aparte de analizar el tiempo también se considera el índice de servicio i/c .

El manual de Capacidad plantea seis niveles de servicio que delimitan todas las circunstancias de tráfico, aunque también habría cabida a otros niveles



intermedios. Los seis niveles de servicio determinan por las letras de la A hasta la F.

- El nivel A se da en situaciones de tráfico fluido, donde las características de la vía son las únicas que limitan la intensidad baja y las velocidades altas.
- El nivel B se retribuye a una circulación estable, es decir, no hay grandes variaciones de velocidad a pesar de que esta ya empieza a estar condicionada por otros vehículos, y los conductores todavía pueden elegir el carril por donde transitar.
- El nivel C también se retribuye a una circulación estable, aunque la velocidad y la maniobrabilidad ya están más condicionadas por los demás vehículos, es decir, los adelantamientos y los cambios de carril son más complicados.
- El nivel D corresponde a escenarios más inestables, por lo que se producen variaciones bruscas y repentinas en la velocidad y la conducción depende del resto de vehículos.
- El nivel E se aproxima a la máxima capacidad de la carretera, normalmente no se puede sobrepasar a los 50 km/h de velocidad.
- Finalmente, el nivel F se da en situaciones de congestión o donde la velocidad es muy baja [18].

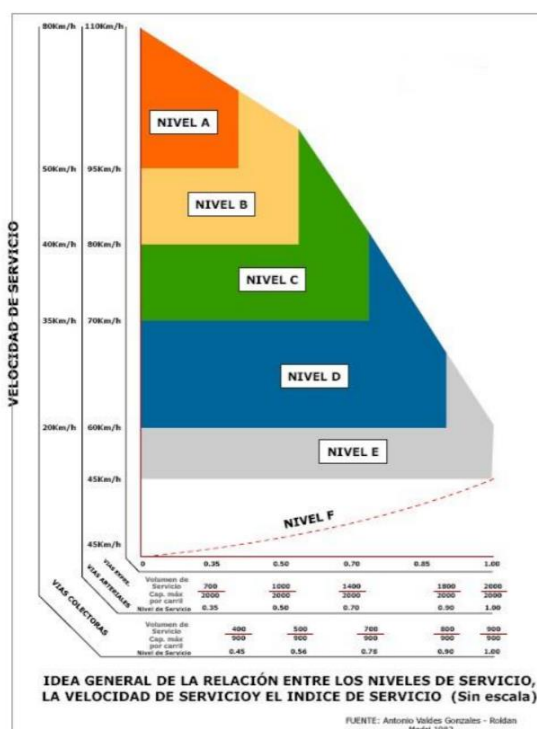


Figura 2.10: Niveles de servicio. Fuente: Antonio Valdés González-Roldán, Madrid 1982



CAPÍTULO 3: ESTRATEGIAS DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y MOVILIDAD





3.1. Introducción

En la actualidad, en el desarrollo sostenible influyen diversos elementos de un marcado carácter transversal, viéndose reflejados en objetivos y estrategias diversas políticas públicas. Ya sean éstas: medioambientales, de movilidad, económicas, industriales, demográficas, turísticas, de empleo, salud, etc.

Así, en el ámbito internacional, la agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (ONU, 2015) plantea 17 Objetivos con 169 metas de carácter integrado e indivisible que abarcan las esferas económica, social y ambiental.[19]



Figura 3.1: Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Fuente: Dirección General de Tráfico

3.2. Agenda 2030

En el siguiente resumen se describen las estrategias o planes aprobados de carácter internacional, europeo o nacional que están relacionados con los ámbitos medioambientales, urbanos, transporte, movilidad, Seguridad vial y automoción, para el próximo decenio 2021-2030.

1. Políticas Internacionales.

Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. (ONU, 2015).

- Medioambientales:



- La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21) (ONU, 2015).
- Seguridad vial y movilidad:
 - Paquete de Medidas Técnicas “Salve Vidas” (OMS, 2017).

2. Políticas Europeas.

Estrategia de la UE para la movilidad del futuro (CE, 2018).

- Medioambientales:
 - Estrategia a 2050. Un planeta limpio para todos: la visión a largo plazo para una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra para 2050 (CE, 2018).
 - Estrategia a 2030. Estrategia de movilidad de bajas emisiones (CE, 2016).
- Urbanas:
 - Agenda Urbana para la Unión Europea (CE, 2016).
- Transporte:
 - Libro Blanco. Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte, basado en una política de transportes competitiva y sostenible (CE, 2011).

3. Políticas nacionales.

- Medioambientales:
 - Marco Estratégico de Energía y Clima (MITECO).
 - Plan de acción para la implementación de la Agenda 2030 (MITECO, 2018).
 - Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica (MITECO 2019).
- Urbanas:
 - Agenda Urbana Española (MFOM, 2019).
- Transporte:
 - Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda 2012 – 2024 (MFOM, 2015).
- Automoción:
 - Plan Estratégico de apoyo integral al sector de automoción 2019-2025 (MINCOTUR).

Relación de acrónimos:

- ONU: Naciones Unidas.
- CE: Comisión Europea.



- MFOM: Ministerio de Fomento.
- MITECO: Ministerio de Transición Ecológica.

Las líneas de actuación de planes y estrategias aquí nombrados, que previsiblemente se pongan en marcha en el próximo decenio 2021-2030, y los que están o ya se han desarrollado en el periodo 2011-2020, son acuerdos de lucha contra el cambio climático que promueve una transición hacia una sociedad y economía baja en emisiones.

Mantienen como objetivos, aplicar el principio de “quien contamina paga”, el aumento de la eficiencia energética, la movilidad eléctrica, los sistemas de vehículos compartidos y de comodidad, el desarrollo de fuentes de energía alternativas, la elaboración de normas de calidad medioambiental y, ante todo, la promoción del transporte público.[20]



	INTERNACIONALES	EUROPEAS	NACIONALES
MEDIAMBIENTALES	* COP21	*Un planeta limpio para todos. Estrategia a 2050. *Estrategia de movilidad de bajas emisiones.	*Plan de acción para la implementación de la Agenda 2030 <i>* Anteproyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética.</i> <i>* Estrategia de Transición Justa.</i> <i>* Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030.</i>
URBANAS	*Agenda urbana de Naciones Unidas	*Agenda Urbana para la UE.	* Agenda urbana española.
TRANSPORTE		* Libro Blanco del transporte para 2050.	* Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda 2012 - 2024.
SEGURIDAD VIAL Y MOVILIDAD		* <i>Estrategia Europea de seguridad vial 2021-2030.</i> * <i>Estrategia europea sobre STI cooperativos.</i>	* <i>Estrategia española de seguridad vial 2021-2030 (en preparación).</i>
AUTOMOCIÓN			* Plan Estratégico de apoyo integral al sector de automoción 2019-2025.

Tabla 3.1: Resumen de los planes/estrategias según el ámbito. Fuente: Dirección general del tráfico.

Nota: En cursiva aquellas Estrategias/Planes no aprobados en la fecha de 8 de octubre de 2019.



3.3. Políticas de la Unión Europea.

En el ámbito medioambiental, el objetivo de la UE a largo plazo, en línea con las estrategias definidas en párrafos anteriores, es llegar a niveles de calidad del aire en la que no se vea comprometida la salud humana y el medio ambiente.

La UE interviene en la reducción de los niveles de contaminación atmosférica, a través de la generación de un acervo comunitario con la concurrencia y participación de todos los actores afectados, ya sean estos los operadores económicos responsables de la contaminación atmosférica, las administraciones estatales, regionales o locales y las organizaciones no gubernamentales.

En el ámbito de la investigación, la acción de la UE se dirige a limitar la exposición a la contaminación atmosférica, disminuyendo las emisiones y estableciendo límites y objetivos de calidad del aire. Su intención es reducir en Europa las emisiones netas de gases de efecto invernadero al menos un 40% en 2030 y del 80 % al 95 % para 2050, con respecto al nivel de emisiones de 1990.

En el ámbito urbano, en el desarrollo de las ciudades confluyen una serie de factores: sus poblaciones, sus tecnologías, sus infraestructuras, todo ello determina la calidad de vida de las mismas, las ciudades ya son los laboratorios de soluciones creativas y transformadoras.

Las infraestructuras urbanas y los edificios deben planificarse de manera más eficiente y sostenible, atendiendo especialmente, a sus aguas residuales, a las emisiones a la atmosfera, la gestión de los residuos, prevención de ruidos, vibraciones y daños medioambientales. También el diseño del espacio urbano determinara el desarrollo en un futuro.

El espacio en la ciudad ya está repartido, por lo que para introducir o aumentar el sitio dedicado al transporte público, se hace necesario la remodelación de las vías urbanas, y la opción elegida para ello no es disminuir la anchura de las aceras por donde transitan los ciudadanos, si no la de reducir el número de los vehículos motorizados privados.

Las zonas urbanas son los primeros espacios de innovación en movilidad, debido a que los viajes son de corta distancia y es donde existe una especial sensibilización hacia la consecución de una calidad del aire.



En el ámbito del transporte, una de las metas de la Unión Europea para reducir los efectos negativos del transporte, es apostar por una movilidad de bajas emisiones de carbono y contaminantes atmosféricos.

Para ello ya ha adoptado medidas en la línea de conseguir una mayor eficiencia en el sistema de transportes, mediante la utilización de energías alternativas y renovables de bajas emisiones, potenciando de forma destacable la electricidad o de emisión cero, los vehículos de bajas emisiones, y que los precios del transporte estén en relación con los efectos adversos en la salud y el entorno.

Las ciudades y municipios son señalados como entes fundamentales para lograr una movilidad respetuosa con el medio ambiente, los espacios urbanos deben dotarse de unos modos de transporte de bajas emisiones y como agentes para acelerar la transición a la electromovilidad y el crecimiento de vehículos de bajas emisiones.

En el ámbito de la movilidad, la Unión Europea pretende un reparto más equilibrado en las formas en los que la población se desplaza, con el objetivo de un uso mayor de los medios colectivos de transporte y dentro de éstos, los caracterizados por sus 0 emisiones como aquellos que son impulsados por electricidad y también el uso de aquellos otros medios alternativos menos contaminantes y más respetuosos con el medio ambiente, como la bicicleta y la movilidad a pie, desarrollados en condiciones idóneas de comodidad y garantías de seguridad, para lograr con todo ello, el objetivo de reducción del uso del automóvil en más del 70% y el consiguiente aumento de otros modos de desplazamiento por parte de la población, para ello ésta debe tener fácil acceso a los medios alternativos al vehículo privado.

La Comisión Europea también ha introducido obligaciones en la contratación pública, para impulsar la contratación de autobuses urbanos con emisiones 0 por parte de las autoridades municipales, valorando en estos momentos su actualización y ámbito de aplicación para hacerlas más eficaces. Trata con ello, de sustituir autobuses de transporte público que utilizan combustibles fósiles, por otros menos contaminantes y más eficientes de menor consumo. El objetivo es avanzar hacia ciudades descarbonizadas y neutras climáticamente.[21]

3.4. Estrategias de movilidad y sostenibilidad en el ámbito local durante el periodo 2010-2020.

Dentro del programa de investigación e innovación “Horizonte 2020” financiado por la Unión Europea durante el periodo 2010-2020, Valladolid fue



una de las tres ciudades elegidas como “faro” en el proyecto “Remourban”. las otras ciudades que la acompañan son Nottingham en el Reino Unido y Tepebasi en Turquía.



Figura 3.2: Proyecto Remourban. Recuperado de:
http://www.remourban.eu/imgpub/233625/0/0/logo_REMOURBAN_nopayoff190px.png

El proyecto está diseñado para implantar un modelo de regeneración urbana sostenible, que sirva de “faro” o de referencia de innovación en el entorno europeo y mundial, dentro del ámbito de la eficiencia energética, la movilidad eléctrica y las tecnologías de la información, con el objetivo de conseguir la mejora del bienestar social de sus ciudadanos.

El Ayuntamiento de Valladolid en su compromiso con el proyecto “Remourban”, ha intervenido en el sector de la movilidad en su ciudad, mediante la puesta en marcha de diversas iniciativas, como son el de la disminución del consumo de energía, la promoción de la utilización de vehículos eléctricos y la mejora de infraestructuras que faciliten la implantación del transporte sostenible.[22]

Las Medidas concretas para favorecer la implantación de la movilidad eléctrica, las ha resumido la institución municipal de la siguiente manera:



Vehículos eléctricos híbridos y completos:

- 20 taxis FEV (vehículo eléctrico completo).
- 3 autobuses eléctricos (1 FEV y 2 PHEV).
- 2 coches eléctricos (FEV) - flota de vehículos compartidos.

Figura 3.3: Vehículos eléctricos híbridos y completos.

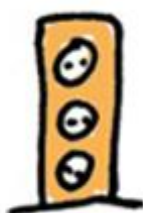


Figura 3.4: Infraestructura de carga.

Infraestructura de carga:

- 4 charg. Puntos para taxis eléctricos
- 1 carga rápida. Punto para taxis
- 4 carga rápida. Puntos para autobuses eléctricos.
- Actualización de 13 vehículos eléctricos Charge.
- Estaciones | 20 puntos de recarga en áreas de estacionamiento.



Figura 3.5: Transporte multimodalidad.

Transporte multimodalidad puerta a puerta:

- Sistema de tickets basado en tarjetas RFID, compartido entre usuarios de autobuses, bicicletas y flota de vehículos compartido.



Figura 3.6: Logística limpia.

Logística limpia:

- 5 vehículos eléctricos completos Última milla de entrega en Castilla y León Red regional de logística.



Figura 3.7: Sistemas inteligentes de transporte.

Sistemas inteligentes de transporte:

- Aplicación de teléfono inteligente como ayuda a la movilidad.



Figura 3.8: Incentivos.

Recuperado de:

<http://remourban.imginternet.it/imgpub/258255/0/0/NEW-road%20system.jpg>

Incentivos:

- Aparcamiento gratuito para vehículos eléctricos.
- Reducción de impuestos para vehículos eléctricos.
- Carriles especiales para vehículos eléctricos.

3.5. La contaminación atmosférica y sus fuentes.

En este epígrafe nos adentramos en el concepto de contaminación atmosférica. Así mismo, se describirán aquellos contaminantes más significativos del sector del transporte, sus consecuencias y cómo podemos disminuir su emisión.

3.5.1. Composición de la atmosfera.

La atmosfera es una capa fluida y muy fina de unos 100 km, es la zona más externa y menos densa de la tierra, está formada por varios gases, líquidos y



sólidos en suspensión, a esta mezcla se la denomina aire, en los 12 Km primeros contiene la mayoría de los gases de la atmósfera, a los primeros 500 metros se la llama capa sucia, porque en ellos se concentra el polvo en suspensión procedente de los desiertos, los volcanes y la contaminación.

El primer paso para definir lo que se considera contaminación atmosférica, parte de definir lo que se entiende por atmosfera normal o limpia. En la siguiente tabla puede verse la composición de esta atmosfera.[23]

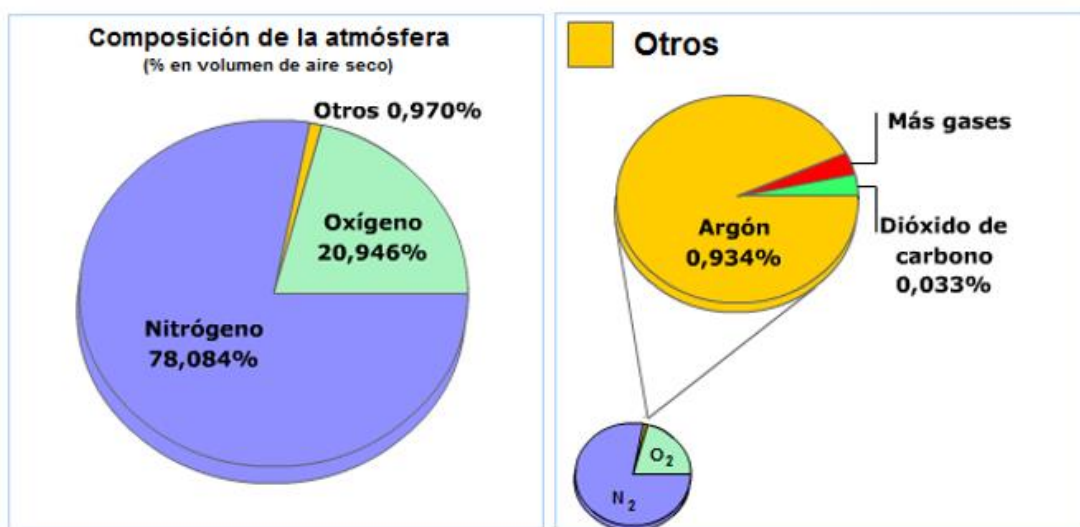


Figura 3.9:Composición de la atmosfera. Recuperado de:
http://www.educaplus.org/climatic/img/O1_atm_compo2.png



Los porcentajes por volumen de la composición de la atmosfera terrestre (aire seco) se muestran en la siguiente tabla:

Gas	Volumen (%)
Nitrógeno	78,084
Oxígeno	20,946
Argón	0,9340
Dióxido de carbono	0,035
Neón	0,001818
Helio	0,000524
Metano	0,000179
Kriptón	0,000114
Hidrógeno	0,000055
Óxido nitroso	0,00003
Monóxido de carbono	0,00001
Xenón	0,000009
Ozono	0 a 7×10^{-6}
Dióxido de nitrógeno	0,000002
Yodo	0,000001
Amoníaco	0,0003
Si el aire no es seco contiene Vapor de agua	0,40 % en capas altas de la atmósfera y de 1 a 4 % en la superficie.

Tabla 3.2: Composición de la atmosfera terrestre. Recuperado de: <https://www.curiosos.co/wp-content/uploads/2019/01/composicion-quimica-del-aire.jpg>

3.5.2. La contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica es la presencia en el aire, agua o suelo de sustancias o formas de energía que implican un riesgo, daño o molestia para la salud y bienestar de las personas y de los demás seres vivos, así como que puedan ser agresivos para distintos materiales, formen malos olores o disminuyan la visibilidad.

Las principales causas de la contaminación del aire son consecuencia de la utilización de combustibles fósiles, como el petróleo, el carbón, y el gas. La quema de estas materias primas se realiza principalmente durante el funcionamiento y las transformaciones de la industria, el transporte por carretera y la vivienda, liberando a la atmosfera sustancias químicas o partículas que alteran su composición.

Las consecuencias de la contaminación atmosférica son de diversa índole, perjudica la salud humana y el medio ambiente, siendo la causante de la alteración de la atmósfera, del calentamiento global y del cambio climático, lo que lleva a la desertificación, deforestación, la contaminación de las aguas dulces y del mar.



En Europa, las emisiones de muchos contaminantes atmosféricos se han reducido notablemente durante las últimas décadas, con la consiguiente mejora de la calidad del aire en toda la región.

3.5.2.1. El proceso de la contaminación y sus unidades de medida.

El proceso de contaminación atmosférica se desarrolla en varias etapas: emisión, diferentes procesos y efectos. En primer término, tiene lugar la emisión del contaminante al aire a una determinada velocidad, en el segundo paso de la contaminación aparecen los procesos de dispersión, dilución, transporte y transformación química en el aire, de donde resulta el nivel de inmisión o masa del contaminante en el aire, en un punto más o menos alejado de la fuente. Finalmente, los contaminantes se depositan en la superficie de la Tierra por precipitación, deposición seca o húmeda, dando lugar a los efectos.

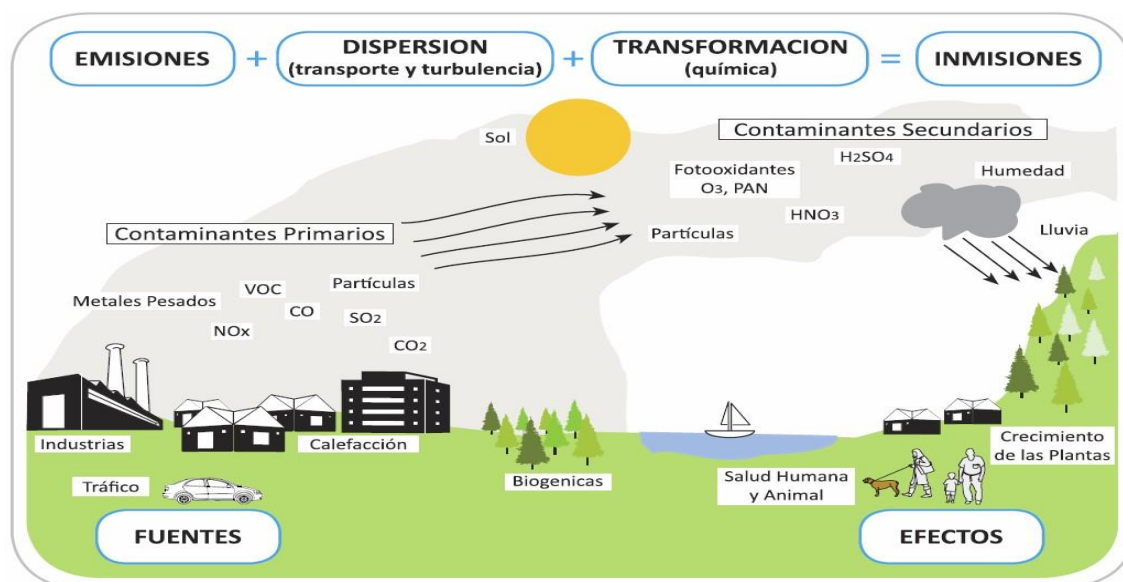


Figura 3.10: Proceso de contaminación atmosférica. Recuperado de: <https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/imagenes/Contaminaci%C3%B3n%20Atmosf%C3%A9rica.jpg>

Los contaminantes suelen estar en proporciones muy pequeñas en el aire. Comúnmente el contenido de un contaminante se expresa en:

- Masa del contaminante por unidad de volumen de aire.
 mg m^{-3} (10^{-3}), $\mu\text{g m}^{-3}$ (10^{-6}), ng m^{-3} (10^{-9}) o
- Volumen de contaminante por unidad de volumen de aire.
 ppm (ml m^{-3}) (10^{-6}), ppb ($\mu\text{l m}^{-3}$) (10^{-9})

La Unión Europea a través de reglamentos de obligado cumplimiento para todos su Miembros, determina unos valores de concentración máximos de estos contaminantes en la atmósfera, que no deben ser superados.



Sin embargo, si se diluyen los gases contaminantes emitidos por una fuente en otros que no lo son, se consigue no sobrepasar los límites establecidos por la normativa. No obstante, las emisiones netas continúan siendo iguales. [24]

Un ejemplo de este hecho, es el que se aparece en la combustión en motores diésel, la cual suele hacerse con exceso de oxígeno.

Por ello, en los vehículos a motor los gases contaminantes, suelen medirse en unidades referidas a la cantidad neta que se emite y no a la concentración.

Estas son: unidades de masa por tiempo (g/s), o unidades de masa por longitud (g/km).

3.5.2.2. Tipos de contaminantes de la atmósfera.

Debido a que la naturaleza y composición de las sustancias contaminantes es diversa, las clasificaciones que se pueden hacer de ellos también son muy variadas, algunas podrían ser estas:

- Según su origen: en naturales (representan el 80% de las partículas suspendidas en el aire) y los producidos por las actividades humanas.
- Contaminantes primarios y secundarios:
 - Los Contaminantes primarios: Son los que se emiten directamente a la atmósfera, como el dióxido de azufre SO_2 , el monóxido de carbono CO , hidrocarburos, partículas en suspensión, provenientes de fuentes diversas.
 - Los Contaminantes secundarios: son aquellos que se forman mediante procesos físico-químicos atmosféricos, generalmente a partir de contaminantes primarios o sobre partículas no contaminantes en la atmósfera. Entre otros el ácido sulfúrico, H_2SO_4 , que se forma de la reacción entre el agua de lluvia y el azufre que se desprende en combustiones de carbón y fuel, el dióxido de nitrógeno NO_2 , que se forma al oxidarse el contaminante primario NO y el ozono O_3 , que se forma a partir del oxígeno, O_2 .
- Por sus efectos:
 - Sustancias acidificantes: Óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y amoníaco.
 - Precursores de ozono troposférico: Óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles no metánicos, metano y monóxido de carbono.



- Gases de efecto invernadero: Dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, carburos hidrofluorados y perfluorados, y hexafluoruro de azufre.
- Partículas en suspensión.
- Metales pesados: Arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio, níquel, plomo, selenio y zinc.
- Contaminantes orgánicos persistentes: Hexaclorociclohexano, pentaclorofenol, hexaclorobenceno, tetraclorometano, tricloroetileno, tetracloroetileno, triclorobenceno, tricloroetano, dioxinas y furanos, hidrocarburos aromáticos policíclicos, etc.

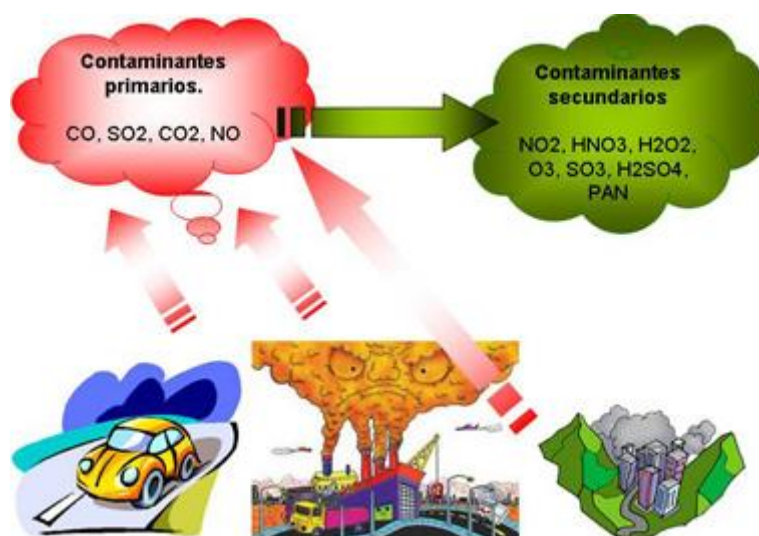


Figura 3.11: Tipos de contaminantes. Recuperado de: https://www.larioja.org/medio-ambiente/es/calidad-aire-cambio-climatico/contaminacion/problemas-contaminacion-atmosferica/tipos-contaminantes.ficheros/634224-tipos_contaminantes.jpg?width=382&height=272

3.5.2.3. Los contaminantes en el ámbito del transporte.

El sector del transporte tiene un papel determinante en la sociedad y en la economía, pero al mismo tiempo, el transporte terrestre es responsable del 80 % de las emisiones de gases de efecto invernadero y representa también una fuente importante de contaminación atmosférica y por tanto de la mala calidad del aire, especialmente en las ciudades.

Describimos a continuación los gases contaminantes más importantes relacionados con el transporte:

- Óxidos de nitrógeno (NOx):



Son compuestos que contienen nitrógeno. El monóxido de nitrógeno u óxido nítrico (NO) es un gas incoloro y poco soluble en agua presente en pequeñas cantidades en los mamíferos. Se forman por la combustión de petróleo, carbón o gas natural, generando óxido nítrico (NO), como contaminante primario, en la reacción posterior del NO da lugar al dióxido de nitrógeno (NO₂) y posteriormente al ácido nítrico (HNO₃). Como contaminantes secundarios, de los seis o siete óxidos de nitrógeno tan solo el monóxido (NO) y el dióxido (NO₂) son reconocidos actualmente como contaminantes atmosféricos. La conversión de NO en NO₂ en la atmósfera es muy rápida. Por ello se suele evaluar la contaminación sumando el contenido de ambas especies, y juntos se denominan NO_x. NO_x = NO + NO₂.

Son compuestos oxidantes, corrosivos y acidificantes. La mayor parte de las emisiones de óxidos de nitrógeno son de origen antrópico se producen de forma natural durante la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, la combustión vegetal (incendios forestales y quema de rastrojeras), las tormentas eléctricas, las erupciones volcánicas, etc.

Las actividades humanas contribuyen a la emisión de óxidos de nitrógeno mediante el escape de vehículos motorizados, sobre todo de tipo diésel, la combustión del carbón, petróleo o gas natural. Del conjunto de óxidos de nitrógeno emitidos a la atmósfera el más abundante es el óxido nítrico (NO) y, en menor proporción, el dióxido de nitrógeno (NO₂).

A pesar de que las fuentes antropogénicas son menores que las naturales, en los últimos años se ha producido un aumento notable de las primeras, dando como resultado que las cantidades de NO_x sean claramente superiores en las ciudades.

- Óxidos de carbono (CO_x):

Son compuestos que contienen carbono (monóxido, CO y dióxido CO₂). Se forman por la combustión incompleta de materias orgánicas (gas, carbón, madera, etc.), como contaminante primario, generando CO, la reacción posterior del CO en la atmósfera da lugar al (CO₂) como contaminante secundario.

El Monóxido de carbono es un gas tóxico, incoloro e inodoro, su fórmula química es CO, interviene en la química de la atmósfera, si se respira cuando se encuentra en concentraciones elevadas puede causar la muerte, pero que en la atmósfera libre no manifiesta este carácter tóxico al presentarse en concentraciones lo suficientemente bajas, si por el contrario la cantidad de



oxígeno en el aire con el que reaccionar disminuye, estas proporciones aumentan.

La mayor parte del CO se encuentra de forma natural en la atmósfera, es el elemento contaminante más abundante en la atmósfera de forma natural, como de origen antrópico, al proceder principalmente de la combustión de los carburantes de los automóviles, por lo que en las grandes ciudades es donde la concentración de este gas es más elevada.

Dentro del CO emitido debido a la combustión la fuente más importante la constituyen los vehículos automóviles y entre ellos, los de gasolina, especialmente durante su funcionamiento en tráfico urbano. El 70% de todo el CO que se genera es debido a la combustión de fuentes móviles.

Las emisiones de CO de motores y dispositivos de combustión están limitadas. Generalmente se especifica una inspección periódica, en España a través de la ITV, que incluye la medición de emisiones para prevenir una mala combustión, y con ello con el peligro de emitir altas concentraciones de este gas venenoso.

- Compuestos orgánicos volátiles (COV):

Se denominan compuestos orgánicos volátiles COV si ostentan tal propiedad y por tanto la posibilidad de estar diluidos en la atmósfera.

Son compuestos formados por una molécula de carbono y una de las siguientes moléculas: hidrógeno, halógenos, oxígeno, azufre, fósforo, silicio o nitrógeno. Forman parte de este grupo todos aquellos hidrocarburos que se presentan en estado gaseoso a temperatura ambiente normal o que son muy volátiles a dicha temperatura.

Se caracterizan por participar en reacciones químicas en la atmósfera generando otros contaminantes, como el ozono y smog fotoquímico. Los hidrocarburos se denominan a menudo HC.

Originan compuestos oxidantes, irritantes y cancerígenos.

Además, tienen un origen natural y antropogénico (debido a la evaporación de disolventes orgánicos, a la quema de combustibles, al transporte, etc.).



- Óxidos de azufre (SO_x):

Son compuestos que contienen azufre. Se forman por la combustión de sustancias con azufre, fundamentalmente carbón o petróleo, generando dióxido de azufre (SO₂) como contaminante primario, en la reacción posterior del SO₂ da lugar al trióxido de azufre (SO₃) y posteriormente al ácido sulfúrico (H₂SO₄), al combinarse con las gotas de agua de lluvia, como contaminantes secundarios.

Son compuestos corrosivos e irritantes, la mayor parte de los óxidos de azufre que contiene la atmósfera es de origen antrópico, a través de la combustión de los motores de los vehículos, de procesos industriales y de calderas de calefacción.

- Partículas en suspensión:

Son sustancias sólidas o líquidas de pequeño tamaño que se encuentran dispersas en el aire formadas por humo negro cargado de hollín, polvo, polen, incendios, erupciones, etc.

Tienen su origen tanto procedente de actividades humanas como las generadas en los procesos de combustión; en los transportes, calderas de calefacción, etc. Las emitidas en procesos extractivos o industriales, como minería, fábricas de cementos, electrólisis, canteras, etc.

Se suelen distinguir por su tamaño, a las partículas más grandes se les llama PM₁₀ y a las partículas más pequeñas PM_{2,5}.

- Ozono troposférico (O₃):

El ozono se forma por la presencia de luz solar y por la intervención de los denominados “precursores del ozono troposférico” siendo los principales los óxidos de nitrógeno (NO_x), el monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COVs), emitidos de forma natural en los volcanes, los incendios, o las tormentas, pero también derivados de las emisiones procedentes de motores de combustión o los procesos industriales.

Es un constituyente natural del aire que respiramos, es por tanto un contaminante secundario, caracterizado por su color azulado y de olor agradable. Está compuesto por tres átomos de oxígeno, O₃, que se forma de una manera natural en la estratosfera. A este ozono le llamamos y es el que constituye la llamada “Capa de Ozono”. Pero este mismo ozono cuando se sitúa



junto a la superficie terrestre, en la troposfera, se denomina Ozono troposférico y es tóxico a concentraciones elevadas.

Como efectos sobre el ser humano, el aparato respiratorio es el principal perjudicado. Cuando la concentración de ozono en el aire es alta, (aproximadamente 180 g/m³), se producen síntomas como: tos, dolor de cabeza, náuseas, dolores pectorales al inspirar profundamente o acortamiento de la respiración. Pero, si se supera el nivel de 240 g/m³, pueden producirse procesos más serios con deterioro de la función pulmonar. La época de mayor concentración se produce en verano ya que la síntesis de ozono se ve favorecida por la presencia de la luz solar.[25]

3.5.2.4. Control de la contaminación atmosférica

Entre las medidas típicas de vigilancia de la calidad atmosférica, se encuentran los controles de las propias fuentes, como el uso obligatorio de catalizadores en los vehículos, la imposición de límites a las emisiones de los incineradores, planificación del uso del suelo, cierre de fábricas o reducción de tráfico en condiciones climáticas desfavorables.

Las urbes generan el 70% de las emisiones de CO₂. Por eso, abanderan la causa para reducir su huella de carbono con medidas para mejorar el tráfico y hacer un uso de la energía más eficiente.

Así mismo, la normativa de la UE afronta los efectos perjudiciales del transporte sobre el medio ambiente y la salud, implantando normas de obligado cumplimiento, esta normativa introduce límites de emisiones para los vehículos, con requisitos específicos para los combustibles dedicados al transporte, así como mapas de ruido.

Todas estas políticas también han sido implementadas en España, debido a la obligatoriedad que implican las disposiciones Comunitarias hacia sus Estados miembros, por lo cual tiene un compromiso con la reducción de las emisiones atmosféricas específicas, de dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM), amoníaco (NH₃), partículas finas (PM_{2,5}), metales pesados y algunos Contaminantes Orgánicos Persistentes, según lo previsto en el Convenio de Ginebra contra la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia (CLRTAP) y en la Directiva (UE) 2016/2284 relativa a la reducción de las emisiones nacionales de determinados contaminantes atmosféricos (Directiva de Techos).



CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DEL BARRIO DE LA RONDILLA



4.1. Introducción

Situándonos dentro del mapa de España, el municipio de Valladolid se encuentra en el noroeste de la península ibérica, perteneciente al eje diagonal entre Portugal y Francia. Como añadido, es una de las zonas más activas del Norte Peninsular, ya que comunica Madrid con el Norte y Noreste de España. Además de ser la capital de Castilla y León.

Según los datos del Instituto Nacional de Estadística, la capital contaba a 1 de enero de 2019 con 298.412 vecinos.



Figura 4.1: Situación geográfica de Valladolid en el mapa de España. Fuente: Elaboración propia.

El lugar donde se va a realizar el plan de modelación del tráfico de este trabajo fin de grado, es en el barrio de la Rondilla, situado al norte de la ciudad de Valladolid, cuyos límites quedan enmarcados por un cuadrilátero formado por las calles: Río Pisuerga (situada junto a la margen izquierda de este río), Paseo del Cauce (paralelo a la orilla del río Esgueva), Avenida Palencia y Calle Rondilla de Santa Teresa.

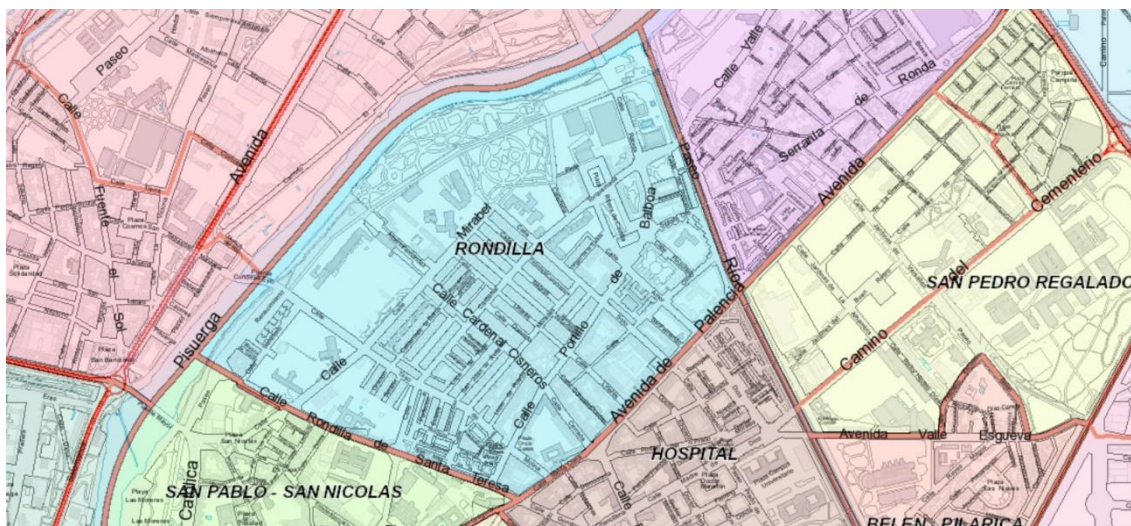


Figura 4.2: Situación del barrio La Rondilla. Recuperado de:

<https://www10.ava.es/portalva/apps/webappviewer/index.html?id=2c8f30fa132b48518a075b18aa7086c>

Para analizar este barrio con exactitud y comprender los problemas que puede acarrear el tráfico de dicha zona, contamos con una serie de datos mostrados en las figuras que están a continuación.

Para facilitar el estudio e interpretación de los resultados se hizo una microzonificación de zonas de la ciudad de Valladolid y exteriores, surgiendo así 26 macrozonas. De entre todas ellas, se va a realizar el estudio de la zona 6, equivalente al barrio de la Rondilla.

Macrozonas	Denominación
1	CENTRO
2	PLAZA CIRCULAR – VADILLOS
3	SAN JUAN – BATALLAS
4	SAN NICOLÁS
5	UNIVERSIDAD - HOSPITAL
6	RONDILLA - SANTA CLARA - 25 AÑOS DE PAZ
7	PASEO DE ZORRILLA NORTE
8	HUERTA DEL REY - GIRON
9	PARQUESOL
10	ARTURO EYRIES
11	PASEO DE ZORRILLA SUR
12	POLIGONO ARGALES - ARCA REAL
13	DELICIAS
14	PAJARILLOS BAJOS

Figura 4.3: Macrozonas de la ciudad de Valladolid. Recuperado de: http://www.pimussva.es/wp-content/uploads/2016/05/PIMUSSVA_Análisis_de_la_Movilidad.pdf (pág. 6)

La siguiente tabla de forma resumida presenta las principales características socioeconómicas asignadas a cada nivel de macrozona.



Macrozonas	Población	Hogares	Tamaño medio familiar	Turismos ¹	Nivel de Motorización	Empleo	Estudiantes
1	19.736	8.629	2,29	8.074	409	16.241	4.718
2	14.726	6.595	2,23	5.848	397	2.364	83
3	10.101	4.391	2,30	3.579	354	3.002	3.225
4	11.003	4.824	2,28	4.599	418	4.577	1.735
5	7.421	3.476	2,13	2.388	322	4.042	2.171
6	22.215	9.520	2,33	7.846	353	2.941	1.804
7	12.113	5.258	2,30	5.237	432	4.718	1.690
8	24.413	9.819	2,49	10.556	432	7.678	4.634

Figura 4.4: Características socioeconómicas a cada nivel de macrozona. Recuperado de http://www.pimussva.es/wp-content/uploads/2016/05/PIMUSSVA_Analisis_de_la_Movilidad.pdf (pág. 10).

Tras el estudio de los diferentes datos relacionados con la zona 6, observamos que la población respecto a la superficie de la zona es muy grande, ya que cuenta con 82 hectáreas y 22.215 habitantes, es decir, la densidad de población entendida como habitantes/superficie, tiene un porcentaje muy elevado. Observando otras macrozonas como la 8, correspondiente a Huerta del rey, vemos que también tiene un número elevado de habitantes, pero en este caso la superficie que presenta esta zona es superior a la que tiene el barrio de la rondilla, evitando así muchos de los problemas que presenta la zona 6 debido a la masificación.

Así mismo, observamos que debido a la densidad de habitantes en esta zona el tráfico y la falta de aparcamientos constituye aun un problema no resuelto, que se paliaría en parte con la intervención urbanística propuesta en los puntos siguientes de este tfg.[2]

- Intervalo de tiempos a estudiar:

En este proyecto se quiere dar soluciones a los problemas de congestión de vehículos, además de otras situaciones adversas correspondientes al tráfico del barrio. Por lo cual nos centraremos en el intervalo de 'hora punta', aquella donde la circulación de vehículos sea la mayor a lo largo del día y donde puede haber mayor número de problemas.

Para conocer cuál es el intervalo del día en el que la circulación de vehículos en la ciudad de Valladolid es el mayor, nos servimos del Plan Integral de Movilidad Urbana Sostenible y Segura de la Ciudad de Valladolid (PIMUSSVA). En él se puede ver el tramo del día en el que transcurren mayor número de movimientos de vehículos, el cual tiene lugar entre los intervalos de 8:00 a 9:00 y de 14:00 a 15:00 originando casi un 20% del total de los viajes diarios en la ciudad entre los dos



periodos. Ajustando nuestra simulación a la hora punta, impondremos el intervalo de tiempo entre las 13:30 hasta las 15:30 para tener en cuenta el tramo de mayor volumen de desplazamientos (14:00 a 15:00), el cual representa un 9,2% del total y en el que se realizan 60.502 desplazamientos, además de registrar la subida y bajada de tráfico anterior y posterior a esa hora punta.

Hora	Viajes	%
6 - 7	8.479	1,3%
7 - 8	28.537	4,4%
8 - 9	49.383	7,5%
9 - 10	37.873	5,8%
10 - 11	33.571	5,1%
11 - 12	46.283	7,1%
12 - 13	46.204	7,1%
13 - 14	49.874	7,6%
14 - 15	60.502	9,2%
15 - 16	45.274	6,9%
16 - 17	27.744	4,2%
17 - 18	47.988	7,3%
18 - 19	41.270	6,3%
19 - 20	44.235	6,8%
20 - 21	41.302	6,3%
21 - 22	22.469	3,4%
22 - 5	24.328	3,7%
Total	655.316	100,0%

Figura 4.5: Distribución de los viajes según la hora de inicio.
Fuente: PIMUSSVA, Plan Integral de Movilidad Urbana Sostenible y Segura de la Ciudad de Valladolid, E., 2015, p. 54.

4.2. Ordenación Urbanística del barrio de la rondilla.

La inexistencia de planificación urbana tal y como se concibe hoy, tuvo entre otras consecuencias, el desarrollo de un barrio construido en bloques de gran densidad, en el que se primaban las promociones urbanísticas economicistas y especulativas, con una utilización intensa del suelo disponible, formando calles estrechas y con falta de equipamientos.



Figura 4.6: Cartografía del barrio de La Rondilla. Recuperado de: https://2.bp.blogspot.com/-tAL1A8aN8sY/XDDT_xq_nI/AAAAAAAAAAY/wxAatNkXUZw0lxxHw1UZJ-vnaOWV5urJwCLcBGAs/s1600/rondilla.jpg

Se trataba de edificar el mayor número de viviendas posibles, con el empleo de bajas calidades constructivas que escondían vicios ocultos y carencias diversas, prácticamente con el único objetivo de maximizar el beneficio.

La implantación y crecimiento del barrio y la construcción de viviendas en él, se produjo en unos años en el que no estaba generalizada la tenencia de vehículo privado y aún menos entre las clases trabajadoras, que por ende son las que ocupaban este entorno de la ciudad, por lo que los edificios de viviendas se diseñaron y construyeron sin plazas de garaje.

Las carencias iniciales del barrio, han ido corrigiéndose a través de un proceso de rehabilitación, impulsado fundamentalmente por las asociaciones vecinales, primando en el nuevo rediseño viario criterios de coexistencia entre el peatón y el coche, dotándose de equipamientos y servicios, dando con ello respuesta a las necesidades de sus vecinos y logrando un barrio menos agresivo y más humano con las personas.

Sin embargo, las privaciones del barrio no se han cubierto en su totalidad al mismo tiempo que han ido apareciendo nuevas necesidades en otras

dimensiones, como el crecimiento de una población envejecida, que presenta dificultades para desenvolverse por sí mismas, un porcentaje de personas inmigrante importante y una población con un bajo nivel adquisitivo.

En la formación del barrio, en principio hay que diferenciar una forma de urbanización diferente, entre las dos promociones que siguen y el resto. Así el Polígono público “18 de Julio” situado al extremo sureste del barrio, construido en el año 1955 y enmarcado entre las calles Rondilla de Santa Teresa, Cardenal Torquemada, Tirso de Molina, Portillo de Balboa y el polígono público “XXV años de paz”, situado en el extremo noreste, construido en 1962 y a su vez enmarcado entre las calles portillo de Balboa, Siglo de Oro a ambos lados, Paseo del cauce, Avda. de Palencia, Amor de Dios, que en comparación con otras áreas de la Rondilla, la densidad edificatoria es bastante más baja y la edificación en tipología abierta garantiza mejores condiciones de soleamiento y ventilación.



Figura 4.7: Polígonos del barrio La Rondilla. Recuperado de:
<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fdocplayer.es%2F57717513-Ari-del-barrio-de-la-rondilla-valladolid.html&psig=A0vVaw31rENnUaOu7w88ph5iw79p&ust=1588147764929000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCMjPldTviukCFQAAAAAdAAAAABAZ>

Pero la mayor parte del barrio sigue una ordenación ortogonal:

En la parte Sur, son la construcción de grandes manzanas rectangulares muy largas en sentido Norte-Sur de 160-200m de largo por 50-60m de ancho. En la medida que nos movemos hacia la zona norte, estos rectángulos son más proporcionadas de dimensiones comprendidas entre 120m de largo por 60m de anchura, estando ubicadas perpendicularmente a las anteriores, constituidas todas ellas por viviendas con deficiente accesibilidad (hasta B+5 alturas sin ascensor).



Las dimensiones de las vías urbanas varían entre los 12 y los 20 m de anchura. Sin embargo, algunas de las calles interiores tienen menos de 12 m. [26]



Figura 4.8: Manzanas rectangulares barrio La Rondilla. Recuperado de: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.elmundo.es%2Felmundo%2F2011%2F08%2F28%2Fvalladolid%2F1314522149.html&psig=A0vVaw1qJHeyJCg9TpRC6CRXr2F0&ust=1588151779574000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCPi9icfkiukCFQAAAAAdAAAAABAT>

Estas construcciones de los años 70, se desarrollaron con una gran insuficiencia de equipamientos docentes, sanitarios, culturales, asistenciales y una práctica inexistencia de espacios libres de uso público, solo suplidas en décadas posteriores.

Las ordenaciones urbanas de años posteriores trajeron consigo una mayor racionalidad urbanística, que han provisto de mejores infraestructuras, equipamientos, zonas verdes y espacios público abiertos, encontrándose situadas en el extremo norte del barrio, en un área comprendida entre la margen izquierda del el Rio Pisuerga y el cauce del rio Esgueva.

La consecuencia de todo lo anterior, es que en la actualidad haya una escasez acuciante en plazas de aparcamiento dentro del entramado urbano, tanto en suelo privado como público. Además, la simulación que plantea este proyecto agravaría el problema del aparcamiento, si no se tomasen las medidas adecuadas para suplir las ahora existentes, que desaparecerían con él.

4.3. Aparcamientos en el barrio de La Rondilla.

El problema del aparcamiento es consustancial con el propio barrio, el cual se desarrolló en unos años en que el tráfico en la zona y la posesión de un vehículo



era inusual, caracterizándose éste por una elevada densidad de vivienda y poco espacio para aparcar vehículos.

La escasez de estacionamientos se deriva de varias causas:

La mayoría de los edificios construidos en la zona en su primera etapa de expansión carecen de plaza de garaje, sólo las promociones urbanísticas de las últimas décadas empezaron a incluirlos de forma habitual.

Otra de las razones es que se priorizaba en el desarrollo de la zona la máxima construcción de viviendas ocupando el mínimo espacio disponible, por lo cual, la distancia que separa unos edificios de otros es reducida, dando lugar a que la mayoría de las calles sean estrechas, teniendo una anchura comprendida entre los 12 y 20 metros y aún menores. Como norma general, cada calle tiene dos aceras (una a cada lado) y una zona central para el tránsito rodado de vehículos motorizados, con la inexistencia de zonas ajardinadas.

En función de la anchura de la sección transversal de la calle, entre la calzada y la acera hay bandas de aparcamiento de vehículos en superficie, en el viario del barrio se da un predominio del aparcamiento en línea, mientras que el aparcamiento en batería está representado en menor medida, existen calles con aparcamiento al mismo tiempo en línea y en batería, que coincide con calles de mayor ancho y que permiten que se puedan tener ambos tipos de aparcamientos a la vez y otras calles más estrechas con bandas de estacionamientos solo en línea.[27]



Figura 4.9: Calle Cardenal Cisneros. Fuente: Google maps.



4.3.1. Datos numéricos.

Según especifica el Plan Integral de Movilidad Urbana, Sostenible y Segura de la Ciudad de Valladolid (PIMUSSVA). El parque de vehículos en el área, en el momento de la elaboración de esta tabla era aproximadamente de 9000, por lo que presumiblemente en el momento actual su número haya sufrido un incremento.

En la siguiente tabla, aparece expresado el parque total de vehículos por barrio, el que nos atañe, destacado en rojo. Este parque de vehículos aparece dividido en dos grupos, plazas de aparcamiento privado y parque de vehículos que aparca en la calle.

Parque de Vehículos	Área		Ciudad
	Núm.	%	%
Turismos	9.084	83%	78%
Autobuses	7	0%	0%
Camiones	607	6%	8%
Motocicletas	447	4%	6%
Tractores	87	1%	2%
Remolques	54	0%	1%
Ciclomotores	604	6%	4%
Vehículos	10.890	100%	100%

Tabla 4.1: Parque de vehículos La Rondilla. Fuente: PIMUSSVA.

Como puede observarse en la tabla adjunta, en el barrio de la Rondilla el número de plazas de aparcamiento privadas o en alquiler, es muy parecido al del número de vehículos que estacionan en la calle, solo se diferencia en una cantidad de 250, mientras que en otros barrios se ve que distan 2000 vehículos, siendo superior los aparcamientos privados o en alquiler.



El dato relativo a la última columna, es el parque de vehículos de la zona que aparca en la calle, que no es lo mismo al número de plazas de estacionamiento que hay en la calle. Se estima, que en el barrio de la Rondilla hay un déficit de cerca de 800 plazas de aparcamiento.

MACROZONA	Parque Total	Plazas de Aparcamiento Privado y alquiler	Parque en la calle
1 Centro	8.909	5.814	3.095
2 Plaza Circular-Vadillos	6.210	4.237	1.973
3 San Juan-Batallas	4.527	2.789	1.738
4 San Nicolás	5.760	4.139	1.621
5 Universidad-Hospital	3.529	1.818	1.711
6 Rondilla-Santa Clara 25 Años de Paz	9.303	4.777	4.526
7 Paseo de Zorrilla Norte	5.783	3.475	2.308
8 Huerta del Rey-Girón	9.121	6.067	3.054
9 Parquesol	9.940	7.886	2.054
10 Arturo Eyries	2.185	1.500	685
11 Paseo de Zorrilla Sur	8.124	4.180	3.944
12 Polígono Argales-Arca Real	434	338	96
13 Delicias	14.642	8.038	6.604
14 Pajarillos Bajos	6.089	2.754	3.335
15 Belén-Pilarica	3.001	1.990	1.011

Tabla 4.2: Vehículos y plazas de aparcamiento. Fuente: PIMUSSVA.

De los aparcamientos aquí contados, destacaremos algunos de los destinados a aparcamientos para residentes:

- El denominado Aparcamientos Rondilla situado en la C/ Alberto Fernández con entrada y salida a la calle mirabel, este aparcamiento privado fue inaugurado en el año 2007, con capacidad para 641 Turismos. El alto precio al que se vendieron estos estacionamientos, ha imposibilitado el acceso a ellas a ciertas capas de la población.

- La Cooperativa San Nicolás, S.C.L., en la c/ Mirabel, posee otro aparcamiento para residentes, dotado con 219 plazas de garaje sin ninguna de ellas libre, situándose en la misma zona, con entrada y salida a la misma calle que el anterior.

Así mismo, se contempla la construcción de aparcamientos para residentes en dos promociones, compuestas por 55 y 57 plazas cada una respectivamente, en la zona de Ribera de Castilla, así como otros 3 proyectos repartidos por otros tantos puntos del barrio, con 41, 40, y 39 plazas cada una respectivamente.[2]



4.3.2. Consecuencias de la falta de estacionamientos.

El deficitario número de estacionamientos en superficie, determina que en este barrio se aparque en lugares prohibidos o en doble fila, habiéndose convertido este tipo de estacionamiento en una práctica habitual, pero no por ello dejando de suponer una anomalía urbanística, los vehículos invaden y entorpecen las vías de circulación o las bandas de tránsito reservadas al peatón. Esto tiene efectos negativos sobre el tráfico rodado, generando congestión, embotellamientos y tramos con poca visibilidad.

Durante determinados periodos de tiempo en las denominadas horas punta, suelen producirse regularmente atascos en la circulación dentro del barrio. Además de en estas franjas horarias, el problema del tráfico se ha convertido en algo endémico y recurrente, debido fundamentalmente a que la mayoría de las vías, no están preparadas para absorber la cantidad de tráfico, que se acumulan en determinadas horas y en general, aunque en menor medida, durante toda la jornada.

4.3.3. Construcción de aparcamientos para residentes

La implementación de un carril bus en el viario urbano de la Rondilla, supondrá una disminución del número de plazas de aparcamiento en superficie, puesto que se requerirá un nuevo rediseño de la sección transversal del viario, en el que será necesario reservar una parte del mismo, para la circulación de los vehículos que transiten por este carril.

Los residentes de cualquier zona de la ciudad, requieren de un lugar próximo a su domicilio donde dejar el coche, si no lo tienen; como está sucediendo, se trasladan a otros lugares donde puedan disponer de ese espacio para dejar su vehículo, dando lugar con ello a consecuencias no deseables para el barrio, como es el de favorecer una concentración de población envejecida y de unas capas sociales con rentas bajas, que o bien se ven impedidos o no pueden acceder a la tenencia de un vehículo.

El hecho de tener que liberar suelo público para permitir el tránsito del autobús por las vías de circulación que éste utilice y con ello la supresión de plazas de aparcamiento, implica, que se deba crear un espacio equivalente, que sustituya a los estacionamientos eliminados y que, al mismo tiempo, sirva en la medida de lo posible para suplir las carencias de estacionamientos que ya arrastraba la zona.



Además, debiendo cumplirse la premisa, de que este espacio se encuentre próximo a las viviendas y pueda dar el servicio que se espera de él; tanto a las personas que viven en el barrio y disponen de automóvil propio, como aquellas otras directamente afectadas que, por regentar un negocio en el barrio se trasladan hasta allí en automóvil.

El estacionamiento cumpliría varios objetivos, entre otros: sustituir a las plazas eliminadas por la creación de un carril para el autobús, facilitar el transporte de personas con movilidad reducida, disuadir el uso del vehículo privado en beneficio del transporte público y generar un espacio urbano más amable para las personas, libre de humos y de ruidos.

Por tanto, la necesidad de contar con una solución alternativa, se hace ineludible, por un lado, sustituyendo a las plazas suprimidas y por otro, creando otras, si ello fuese posible, de forma que se dotase de este equipamiento a la zona. Por lo que se hace prácticamente imprescindible la creación de un nuevo estacionamiento.[28]

4.3.3.1. Referencias previas.

La experiencia extraída de otras ciudades que se han dotado de aparcamientos a sus barrios, ha dado como resultado una respuesta positiva y favorable por parte de los ciudadanos, una vez que el equipamiento ha entrado en funcionamiento.

Son variadas las causas que han podido influir en que los residentes se muestren a favor, de que su barrio cuente con un sitio acondicionado donde poder aparcar sus vehículos:

- Tener asegurada una plaza propia.
- Ser propietario de un vehículo que se encuentra seguro, lo cual le traslada un bienestar, frente a la preocupación de tener que dejar su coche durante días en calles estrechas, expuesto a daños causados por otros vehículos o a posibles actos vandálicos, e incluso a dejarlo mal aparcado en la vía pública, con el riesgo añadido, de poder ser multado o retirado por la autoridad municipal.
- La tranquilidad que aporta al ciudadano saber que un bien tanpreciado como su coche, se encuentra protegido, hace que éste se decida a utilizar el autobús cuando tengan que trasladarse a otros lugares de la ciudad, sabedor de los problemas que tendrá, para encontrar aparcamiento en un sitio cercano a su punto de destino.



4.3.3.2. Construcción de un aparcamiento subterráneo en suelo público.

La solución para paliar el déficit de plazas de estacionamiento existentes en el barrio de la Rondilla, tanto del que se genere con motivo de la supresión de las que sean necesarias para la creación de carril-bus, como, en alguna medida del que ya existía estructuralmente. Se encuentra en la cesión de suelo público por parte de la corporación municipal para la construcción de un aparcamiento para residentes, en una parcela del subsuelo de la zona.

De esta manera, también se estaría dando respuesta a uno de los objetivos que define el (PIMUSSVA) en uno de sus programas, relativo a la ordenación viaria y aparcamiento, en el que literalmente se establece en su apartado 8.1: “Facilitar el estacionamiento, en la medida de lo posible, a los residentes en algunas zonas que soportan una excesiva demanda de estacionamiento y no cuentan con garajes”.

4.3.3.3. Sistema de construcción y gestión.

La construcción y financiación del aparcamiento, se efectuaría por cuenta del Ayuntamiento y su explotación posterior, por un operador económico privado. El aparcamiento sería de titularidad pública, respetando así la dimensión social que caracteriza el barrio.

El Ayuntamiento, se encargaría de la venta del derecho de uso de las plazas durante un número de años, determinaría cuáles serían los criterios para la cesión de las plazas, priorizaría hacia aquellos residentes con domicilio próximo a las plazas que sean suprimidas, seguidos del resto de vecinos, pudiendo también obtener aparcamiento los pequeños comerciantes instalados en el barrio que así lo solicitasen.

La administración municipal también establecería la forma y el precio de la venta de las plazas. En todo caso, siempre atendiendo a la existencia entre el vecindario con un elevado porcentaje de población socialmente desfavorecida.

Así mismo, establecería las condiciones de adjudicación de las plazas de residente cuando alguna de ellas quedase libre, procediéndose al cambio de cesionario. La transmisión del derecho de uso de las plazas, se haría de forma que no se induzca un proceso especulativo, ni éstas se faciliten a personas que no cumplan con las condiciones previamente establecidas. Además, se ocuparía de perseguir el alquiler de plazas a usuarios no residentes en la zona de forma irregular y la venta ilegal del derecho de cesión.



En definitiva, el aparcamiento se diseñaría para uso de residentes, dando respuesta en parte a las necesidades planteadas de falta de estacionamiento en el barrio. Los vecinos y comerciantes de la zona tendrían prioridad sobre las plazas, y las que no hubiesen sido solicitadas, pasarían a otras personas domiciliadas en los barrios limítrofes de la ciudad.

El hecho de la existencia en mayor medida, de aparcamientos para residentes de naturaleza privada en un extremo opuesto a la localización del que aquí se expone (a unos 600 m de distancia), hace si cabe, aún más necesario complementarle, con otro de naturaleza pública a iniciativa de la administración local.

La gestión diaria del aparcamiento sería desempeñada por un administrador de fincas urbanas en concepto de vigilancia, limpieza, mantenimiento de las instalaciones, gastos derivados, cobranza de cuotas, etc.

4.3.4. Valores añadidos que aporta un aparcamiento.

Con estas premisas este estacionamiento, sería un complemento en línea con los objetivos expuestos en este proyecto de simulación de tráfico, que incluye la implementación de un carril-Bús.

La construcción de este aparcamiento contribuiría, no solo a liberar el espacio necesario en aquellas calles por las que discurran los autobuses, si no a disminuir el tráfico y la presión de los vehículos privados, sobre el suelo utilizado en superficie para aparcar los automóviles, fomentando al mismo tiempo las compras de proximidad en los establecimientos del barrio, creando con todo ello un entorno favorecedor para las relaciones humanas y la recuperación de las calles para los peatones.

Las dotaciones de la zona en cuanto a otros usos del suelo, como pueden ser áreas de esparcimiento, juegos infantiles y zonas ajardinadas, no se verían mermadas por la construcción del aparcamiento, ya que éste, solo aprovecha el subsuelo para su ejecución.

Así mismo, el tráfico y la falta de aparcamientos constituye aun un problema no resuelto, que se paliaría en parte con la intervención urbanística aquí propuesta, que es la creación de un estacionamiento público.

Además, se evitaría al mismo tiempo, el abandono del barrio por esas capas de población joven que cuenta con una mayor capacidad adquisitiva y que pueden



disponer de un automóvil, demandando con ello un sitio cercano a su vivienda donde poder guardarlo en buenas condiciones, lo que contribuiría a crear un barrio más dinámico y atractivo para vivir en él. [29]

4.3.5. Localización de aparcamientos

La alta densidad de viviendas y la práctica inexistencia de espacios libres de uso público en el entorno de La Rondilla, complica la ubicación de un aparcamiento, y dado que en este momento la zona del barrio situado al noreste, es la que presenta un nuevo modelo de construcción, y es el único ejemplo de espacio abierto en el interior del barrio, se ha elegido este emplazamiento como óptimo, puesto que cuenta con la plaza Ribera de Castilla. Esta plaza reúne una gran actividad comercial, constituyéndose así mismo, en el principal punto de encuentro del barrio.

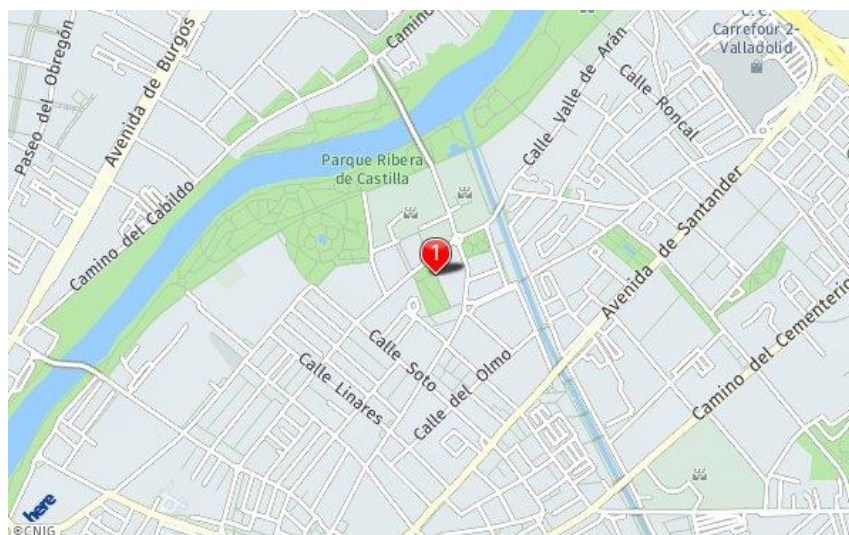


Figura 4.10: Localización de la plaza Ribera de Castilla. Recuperado de: <https://valladolid.callejero.net/plaza-ribera-de-castilla.html>

La plaza tiene acceso a la calle Torquemada, que constituye la calle principal de distribución del tráfico Norte-Sur, y que conecta con el centro urbano a través del transporte público por un lado y en dirección norte a la cercana calle de la Rábida, que es la que enlaza el barrio con la parte de la ciudad situada en la margen derecha a del río Pisuerga, una vez cruzado el puente de Santa teresa.

La descripción de la parcela integrada en la propia plaza según el centro de gestión catastral, tiene como referencia catastral: 6941511um5164b, con una superficie de 3333 m²; si bien es cierto, que el espacio que ocupa toda la plaza en su conjunto con un uso público es mayor a los 6000 m². Contando al mismo



tiempo, con salidas a varias calles con tráfico fluido y direcciones propicias para el tránsito hacia otros puntos de la ciudad.



Figura 4.11: Plaza de la Ribera de Castilla. Fuente: Catastro, Ministerio de Hacienda.

Junto a la plaza de la Ribera de Castilla la parcela con referencia catastral 6943803um5164d, situada en la calle Cardenal Torquemada, que ocupa 1.348 m², encontrándose contigua a la anterior parcela en el sentido longitudinal de la misma, con un uso igualmente de plaza pública, limitando por tanto con la plaza de la Ribera y quedando separadas entre ellas por la calle Torquemada. Contando el solar sobre el que se ubica la parcela descrita, con una superficie útil de más de 4000 m².

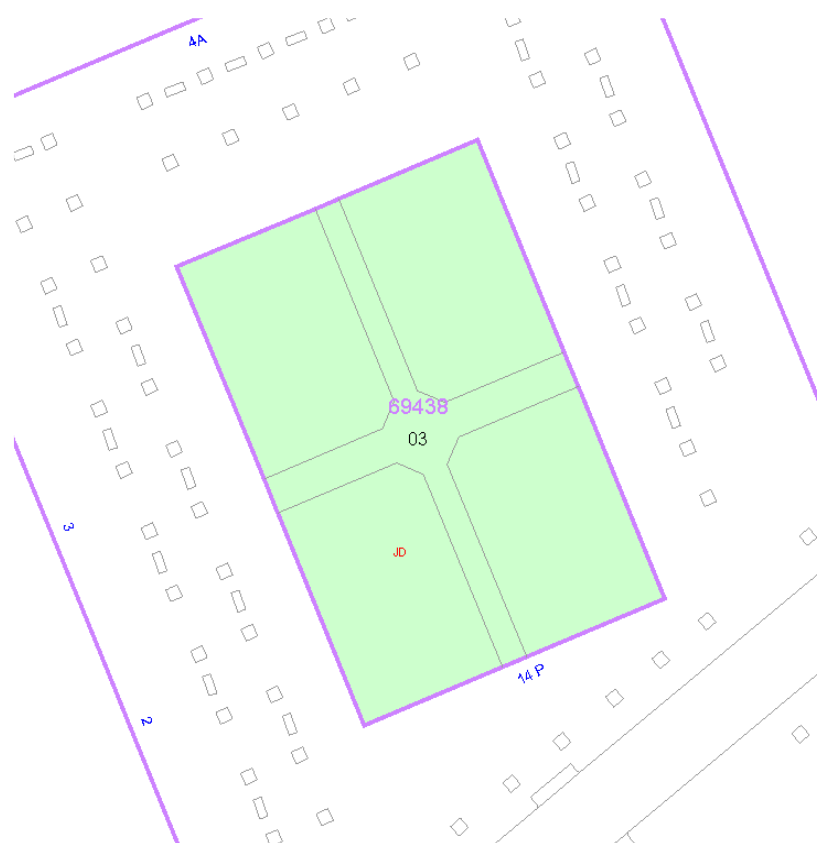


Figura 4.12: Plaza de la Ribera de Castilla. Fuente: Catastro, Ministerio de Hacienda.

Pudiendo considerarse que estas dos parcelas contiguas, puedan constituirse en solución para abordar la dotación de un número de plazas de estacionamiento suficientes, construidas en dos plantas en el subsuelo si ello fuese necesario y al menos equivalentes a las que sean eliminadas en la simulación al crear los corredores para el autobús.

Se encuentra en sus inmediaciones equipamientos asistenciales, sanitarios y deportivos, con lo que se verían facilitadas las condiciones de acceso a éstos por parte de los vecinos que utilizaran el vehículo privado para acercarse hasta allí.

También existe un aparcamiento de bicicletas en superficie y una parada de autobuses, lo que facilitaría tanto el acceso al aparcamiento, como el desplazamiento a los domicilios de los vecinos. [30]

4.4. Introducción al software Aimsun

El programa con el que se ha llevado a cabo la realización de este Trabajo de Fin de Grado es AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban



and Non-urban Networks) es un software de modelado de transporte integrado de origen español, desarrollado por la empresa TSS (Transport Simulation Systems) y la Universidad Politécnica de Cataluña desde 1989.

El equipo internacional de tecnólogos, científicos e ingenieros de transporte de Aimsun trabaja tanto con socios públicos como con privados para resolver los problemas de movilidad más complejos del mundo. Ya sea modelando la interacción de vehículos públicos y privados, simulando el papel de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, probando la capacidad de los vehículos autónomos o apoyando las aplicaciones orientadas al consumidor al ofrecer a los usuarios información sobre opciones de transporte multimodales más inteligentes, Aimsun nunca deja de aprovechar las innovaciones en ciencia y tecnología para mejorar la movilidad humana.

Hay dos aplicaciones de software de alto rendimiento: Aimsun Next, que es una plataforma de modelado totalmente integrada que simula patrones de tráfico futuros al representar las necesidades individuales y las opciones de transporte disponibles; Aimsun Live, que es una herramienta de soporte de decisiones utilizada para predecir los resultados del tráfico mediante la simulación de condiciones basadas en fuentes históricas y en tiempo real. Miles de profesionales de la movilidad en más de 80 países utilizan herramientas y servicios para modelar las redes de movilidad inteligente del mañana, hoy.

El software que vamos a utilizar en este proyecto es Aimsun next, el cual permite modelar redes de transporte pequeñas y grandes, desde una sola intersección a una región completa.

El software Next sirve para construir un gemelo digital de una ciudad o carretera, luego simular los viajes que la gente quiere hacer y combinarlos con las opciones de transporte disponibles, como taxis, autobuses, automóviles compartidos, bicicletas o incluso caminar.

En este caso solo se modelará una red de transporte correspondiente a un barrio de Valladolid con los datos proporcionados por el ayuntamiento a través de matrices de O/D, los cuales concuerdan con los viajes que la gente realiza dentro del barrio de la Rondilla. También los tipos de transporte que vamos a utilizar dentro de la simulación van a ser coches y autobuses. Ya que el tema que queremos abordar en este Trabajo Fin de Grado se basa en aumentar el uso del transporte público, en este caso autobuses, frente al vehículo privado. Gracias al modelado digital garantizamos una forma segura y rentable para tomar decisiones importantes sobre el futuro de nuestras ciudades y experimentar con diferentes diseños o planes de operaciones, además de ayudar a que los lugares sean más seguros, limpios y más habitables.[31]



4.4.1. Bases para la realización del estudio

Una vez localizada la zona de estudio del tráfico, hay que realizar el modelo lo más parecido a la realidad a través de un estudio minucioso de la zona, en este caso el barrio de la Rondilla.

Los datos recogidos por el Gabinete de Movilidad Urbana, Área de Seguridad y Vialidad del Ayuntamiento de Valladolid, nos van a proporcionar planos de la zona junto con datos de espiras, geométricos, semafóricos, de demanda de tráfico, entre otras muchas referencias. Todas estas características que determinan la red viaria, son de gran importancia para la representación del barrio y de sus futuras líneas de actuación.

comparando los datos reales, con los nuevos generados unido a la elección del modelo aportaremos conclusiones de gran exactitud para el estudio y análisis de la Rondilla.

4.4.2. Elección del tipo de modelo

El Programa Aimsun tiene tres tipos de modelado: Modelado microscópico, macroscópico y mesoscópico.

Nuestra simulación se ha realizado desde el punto de vista dinámico, observando las interacciones vehículo a vehículo, formación de colas, efectos de la semaforización y demás características de la red durante la simulación para poder identificar y resolver los problemas existentes. En base a estos niveles de detalle tanto del entorno de simulación como del modo de comportamiento de los vehículos, la simulación va a ser de tipo microscópica, ya que el tamaño de la red y los datos de los que disponemos nos lo permiten.

- La microsimulación tiene dos tipos de componentes:
 - Componentes dinámicos: Especifican las interacciones entre los distintos elementos.
 - Componentes estáticos: Especifican con exactitud el escenario que se quiere simular y a lo largo del tiempo permanecen inalterables.

- Las aplicaciones que tiene este tipo de simulación son variadas:
 - Diseño de las características de los carriles.
 - Restricciones en las vías a causa de incidentes u obras.
 - Especificación automática de velocidades.



- Diseño de intersecciones, semafóricas y no semafóricas.
- Creación de vías exclusivas para el transporte público y especificación de prioridades.

Estos elementos nos proporcionan información precisa sobre las variaciones de las condiciones de tráfico para si construir los resultados necesarios para nuestro estudio.

4.4.3. Verificación, calibración y validación

Para realizar una simulación hay una serie de pasos que hay que seguir. Verificar un modelo es comprobar que las entradas introducidas en el software concuerdan con el sistema que se quiere modelar; Calibrar es el proceso de ajustar todos los parámetros del modelo para obtener un resultado correcto, su calidad depende de los datos reales disponibles y validar es comparar los resultados de la simulación con los datos reales disponibles a la vez que evalúa la similitud de ambos escenarios.

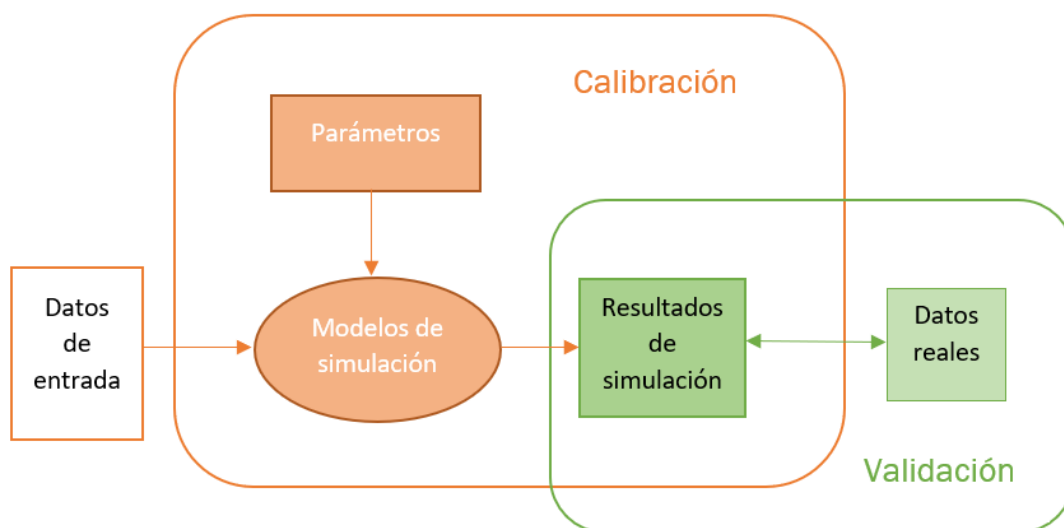


Figura 4.13: Esquema de verificación, calibración y validación. Fuente: Elaboración propia.

4.4.3.1. Verificación

En el proceso de verificación se revisa:

- Proceso de edición del modelo.
- Se examina que los datos de entrada corresponden a la realidad
- Se examina que la descripción del modelo corresponde a los objetivos de estudio.



Edición del modelo:

Se verifica que los diferentes elementos de entrada de la simulación están bien definidos:

- Secciones
- Tipos de vías
- Nodos
- Centroides
- Matrices O/D
- Prioridad en los nodos
- Plan de control semafórico

Comprobación de datos de entrada respecto a la red de tráfico real:

Los planos de la zona de estudio fueron importados en formato AutoCAD, entregados por el departamento de Movilidad Urbana de Valladolid.

Para determinar la demanda de tráfico se usaron todos los datos reales proporcionados por las espiras y se comparó con las matrices que teníamos de otros proyectos junto a los planes de aforos 'in situ' y encuestas Origen-Destino para minimizar el error. Ya que en los proyectos realizados anteriormente hay datos que no están actualizados y los aforos 'in situ' y encuestas Origen-Destino sirven para ver la situación actual y los movimientos de los vehículos de esas zonas.

Comprobación de que la descripción del modelo corresponde a los objetivos de Estudio:

En cuanto a la geometría de la red se utilizó los planos reales para dibujar la red sobre estos. Se tomó el área total de estudio, es decir, el Barrio de la Rondilla en toda su extensión.

Respecto a la demanda de tráfico se tomaron varias matrices O/D con cortos intervalos de tiempo (30 min) para describir el modelo correctamente.

4.4.3.2. Calibración

En el proceso de calibración se ajustan todos los parámetros referentes a los vehículos, globales de todo el modelo y locales en secciones, nodos etc.



Uno de los parámetros del modelo de simulación que podemos definir es la caracterización de los diferentes vehículos que circulan por la red viaria en función del tipo al que pertenecen. En este trabajo se tienen en cuenta dos tipos de vehículos: turismos y autobuses. Existe un cuadro de diálogo para cada tipo de vehículo, los cuales contienen las características que definen a cada tipo de vehículo. Mostrado en las siguientes figuras.

Nombre	Media	Desviación	Mínimo	Máximo	Unidades
Longitud	12	2	9	15	metros
Anchura	2.3	0.5	1.9	3	metros
Velocidad Máxima D...	90	10	80	120	km/h
Aceleración Máxima	1	0.3	0.8	1.8	m/s ²
Desaceleración Nor...	2	2	1.5	4.8	m/s ²
Desaceleración Máxi...	5	2	4.5	8	m/s ²
Aceptación de Veloc...	1	0.1	0.9	1.1	
Distancia Mínima en...	1.5	0.5	1	2.5	metros
Tiempo de Ceda el ...	50	20	30	80	Secs
Aceptación de Guiado	75	10	65	90	%
Factor de Sensibilidad	1	0	1	1	
Intervalo mínimo de...	0	0	0	0	Secs

Después de adelantamiento, porcentaje de permanencia en el Carril Rápido: % Vehículos equipados: %

Casos de adelantamiento por el carril lento: % Tolerancia de cruce: m/s²

Casos de Cambios de Carril Imprudentes: % PCUs:

Sensibilidad a Cambios de Carril Imprudentes: Capacidad Máxima: Factor multiplicativo de

Aceptar Cancelar

Figura 4.14: Características del bus. Fuente: Aimsun.

Nombre	Media	Desviación	Mínimo	Máximo	Unidades
Longitud	4	0.5	3.4	4.6	metros
Anchura	2	0	2	2	metros
Velocidad Máxima D...	110	10	80	150	km/h
Aceleración Máxima	3	0.2	2.6	3.4	m/s ²
Desaceleración Nor...	4	0.25	3.5	4.5	m/s ²
Desaceleración Máxi...	6	0.5	5	7	m/s ²
Aceptación de Veloc...	1.1	0.1	0.9	1.3	
Distancia Mínima en...	1	0.3	0.5	1.5	metros
Tiempo de Ceda el ...	10	2.5	5	15	Secs
Aceptación de Guiado	75	10	65	90	%
Factor de Sensibilidad	1	0	1	1	
Intervalo mínimo de...	0	0	0	0	Secs

Después de adelantamiento, porcentaje de permanencia en el Carril Rápido: % Vehículos equipados: %

Casos de adelantamiento por el carril lento: % Tolerancia de cruce: m/s²

Casos de Cambios de Carril Imprudentes: % PCUs:

Sensibilidad a Cambios de Carril Imprudentes: Capacidad Máxima: Factor multiplicativo de

Aceptar Cancelar

Figura 4.15: Características del coche. Fuente: Aimsun.



Los valores que se presentan en cada uno de los cuadros de diálogo son los valores que el programa Aimsun da por defecto, y son los parámetros que se usan en las simulaciones de este trabajo fin de grado. A continuación, se define el significado de los parámetros de los anteriores cuadros de diálogo:

- Longitud y anchura: representan las dimensiones de cada uno de los tipos de vehículos en metros.
- Velocidad Máxima Deseada: es la velocidad a la cual los conductores de los vehículos se sienten cómodos con la conducción. Como puede observarse en los cuadros, esta velocidad es mayor en los coches y menor en los autobuses.
- Aceleración Máxima: es el valor de aceleración que toman los vehículos desde que están parados hasta que alcanzan la velocidad máxima que les permite la vía. El valor que toma la aceleración máxima, al igual que el valor de la velocidad máxima deseada considerando las dimensiones y la masa de cada vehículo, es mayor la de los coches que la de los buses.
- Desaceleración Normal: es el valor de desaceleración velocidad a la cual los conductores de los vehículos se sienten cómodos. Nuevamente, el valor de las desaceleraciones es también mayor en los coches que en los autobuses.
- Desaceleración Máxima: es el valor máximo de desaceleración que pueden realizar los vehículos con las condiciones óptimas de frenos, neumáticos y pavimento.
- Aceptación de la Velocidad: es el parámetro que define en qué porcentaje el conductor del vehículo sobrepasará los límites de velocidad de la vía. Si el valor del parámetro es superior a 1, quiere decir que existe cierta probabilidad de que el vehículo vaya más rápido de lo que permiten los límites establecidos.
- Distancia Mínima entre Vehículos: es la distancia en metro entre dos vehículos, tomando como referencia el parachoques delantero de un vehículo y el parachoques trasero del otro vehículo.
- Tiempo de Ceda el Paso: representa el tiempo que debe pasar en una situación de ceda el paso siempre que las condiciones del tráfico no le permitan avanzar.
- Aceptación de Guiado: es la probabilidad de que un vehículo siga alguna recomendación como, por ejemplo, un mensaje mostrado en una señal.
- Factor de sensibilidad: el coche que va detrás debe apreciar la desaceleración del coche que va delante como la desaceleración de éste multiplicada por un factor de sensibilidad.
- % PCU (passenger car unit): Expresa la capacidad asignada a cada tipo de vehículo. Para coches es igual a 1.



Además de estos parámetros, el programa Aimsun puede asignar otras características de los vehículos, como la clase de vehículo (privado, público, de emergencias, etc.), la forma de visualización tanto en 2D como en 3D, el tipo de combustible que utiliza y su consumo además de la contaminación que genera cada vehículo.[32]

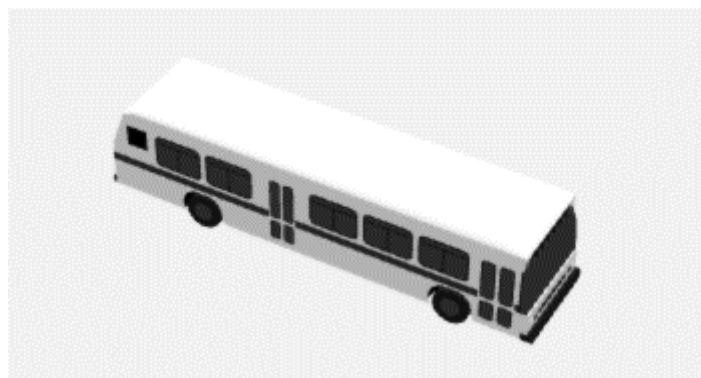


Figura 4.18: Autobús 3D. Fuente: Aimsun.



Figura 4.16: Autobús 2D. Fuente: Aimsun.



Figura 4.17: Coche 2D. Fuente: Aimsun.



Figura 4.19: Coche 3D. Fuente: Aimsun.



- Parámetros globales y locales:

Las variables de tráfico que se han analizado para estudiar el comportamiento de los vehículos en la vía se dividen en dos; globales, correspondientes a toda la vía y especificadas en el experimento, y locales, que corresponden a las diferentes secciones, nodos o intersecciones.

- Globales: densidad, flujo, longitud media de cola virtual, número de paradas, tiempos de viaje, demora y parada y velocidad.
- Locales: densidad, flujo, flujo/capacidad, longitud media de cola, número de paradas, tiempo de demora, tiempo de viaje por km y velocidad.

Se ha decidido definir ciertos parámetros tanto locales como globales, ya que la información que aportan retrata los objetivos principales del sistema de velocidad variable, con respecto a homogenizar los flujos en la vía para reducir la demora en el recorrido, el número de paradas para evitar la interrupción y reanudación del tráfico provocando un deterioramiento del motor y la longitud de cola, etc.

Algunos de los parámetros globales son: Calentamiento, Paso de simulación, Tiempo de reacción, Tiempo de reacción de parada, Tiempo de reacción para el primer vehículo en un semáforo, Llegadas de los vehículos a través de una distribución exponencial, Elección de ruta, tiempo de ciclo y número de intervalos, etc.

En cuanto a los parámetros locales se pueden definir: Límite de velocidad, Capacidad de la sección, Distancia zonas cambio de carril, Líneas de parada, Velocidad de giro, Porcentaje en rojo de los semáforos, etc.

4.4.3.3. Validación

La validación del modelo se realiza a través de una regresión lineal, ya que es una técnica estadística utilizada para estudiar la relación entre variables. En nuestro caso la utilizamos para determinar la validez de los nuevos datos simulados con la realidad.



Las dos variables estarán representadas por los valores (x, y) donde:

- x: variable independiente correspondiente a los datos reales de espiras.
- y: variable dependiente correspondiente a los datos recogidos en los detectores situados en el modelo.

La recta que se ajusta a la regresión lineal es:

$$y = a \cdot x + b$$

Ecuación 4.1: Regresión lineal

donde:

- El parámetro "b" es el valor que toma la variable dependiente "y", cuando la variable independiente "x" vale 0, y es el punto donde la recta corta al eje de ordenadas.
- El parámetro "a" determina la pendiente de la recta, es decir, su grado de inclinación.

Para mostrar la precisión de nuestra validación utilizamos el coeficiente de correlación lineal 'r'. Es una medida estadística que cuantifica la dependencia lineal entre las dos variables, su valor se encuentra entre -1 y +1. Al elevar al cuadrado dicho coeficiente, sus valores se encontrarán entre cero y uno [0, +1]. Cuanto más se aproxime al valor +1, la regresión lineal representada se ajustará mejor a los datos.

Nuestro modelo fue validado a través de datos de espiras. Diez de ellas se encuentran situadas entre la Avenida Palencia y Calle Rondilla de Santa Teresa y otras dos se localizan en la Calle Rábida, que une el Barrio de la Rondilla con el Barrio de la Victoria. Se pueden ver en la siguiente figura:

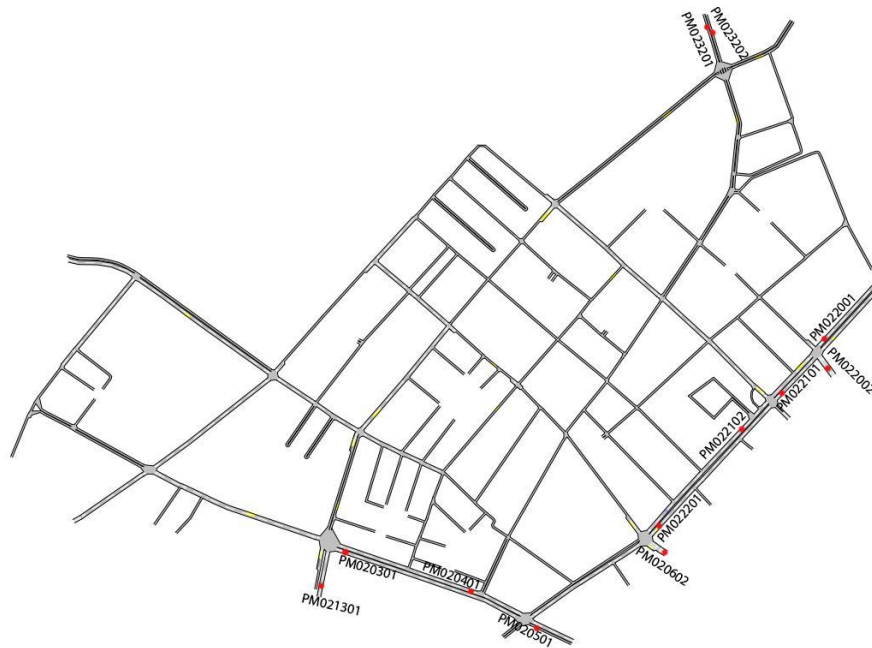


Figura 4.20: Posición de las espiras y detectores en el barrio La Rondilla. Fuente: Aimsun

Después se comparan los datos de aforo (n.º de vehículos) provenientes de los datos de espiras (dato real), con los datos procedentes de la simulación (dato simulado).

Para realizar esta comparación, se sitúan 12 detectores en la red en la misma posición a la de las espiras reales. La validación sólo se pudo conseguir en el modelo real porque es del único del que disponemos de los datos de espiras, mientras que en el resto de modelos no podemos obtener la validación ya que los datos que se obtienen son a partir de estimaciones y suposiciones.[33]

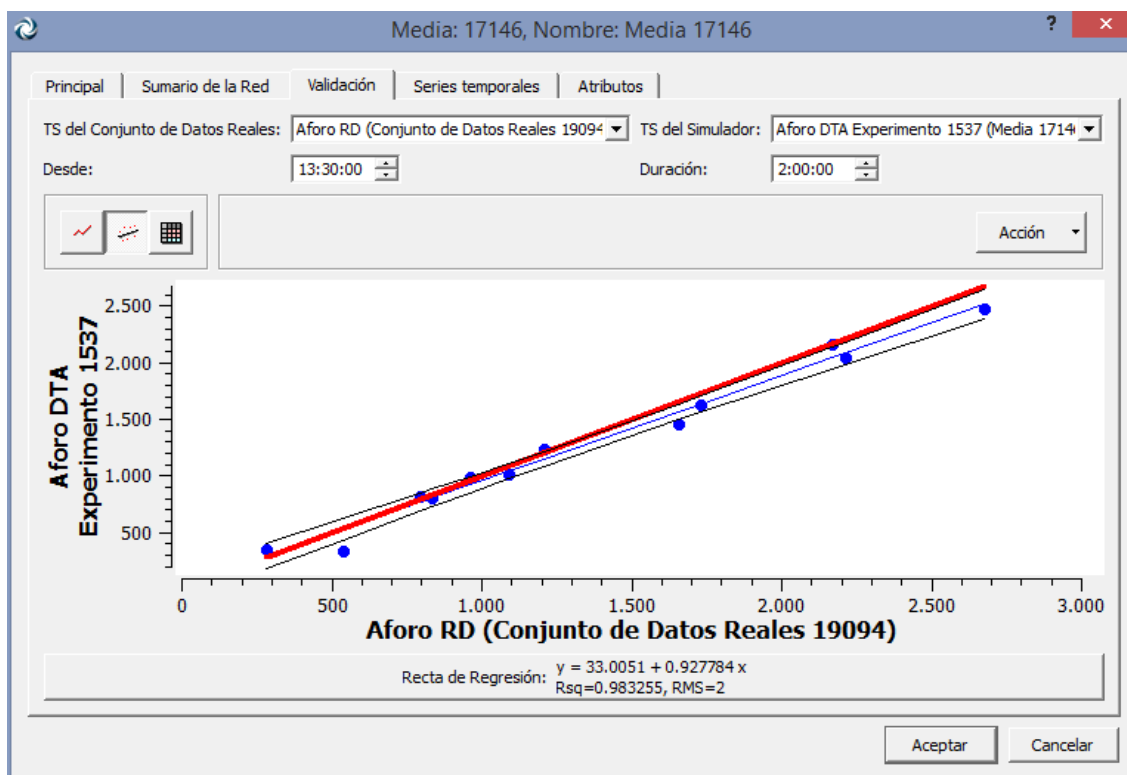


Figura 4.21: Regresión lineal de los datos reales frente a los simulados. Fuente: Aimsun.

Los puntos azules representan los datos reales y los puntos negros los simulados. El resultado de la validación es el siguiente:

Recta azul:

$$y=0,92778x+33,0051$$

El valor de R^2 es:

$$R^2= 0,983255$$

Se observa un valor de R^2 muy próximo a 1, Por lo que concluimos que los datos reales y simulados tiene muy pocas diferencias y se crean simulaciones muy parecidas a la realidad. Además, en ambos casos las rectas azules se acercan mucho a la recta $y = x$, por lo que podemos concluir que los datos reales y simulados concuerdan.

4.5. Plan de transporte público

Lo que se busca con este proyecto es dar algunas soluciones a los problemas de tráfico del barrio de La Rondilla, observando todas sus infraestructuras y elementos que interfieren en la circulación de los vehículos por sus calles.

Se tomará en consideración toda la red de transporte público del barrio de La Rondilla para que la simulación sea lo más cercana a la realidad, teniendo en



cuenta sus zonas de entrada y salida de autobuses urbanos, los puntos de confluencia vehicular, las paradas y demás factores que puedan afectar al tráfico.

Una red de transporte público puede contener tantas líneas como sea necesario. Cada línea de transporte público se compone de una ruta, un conjunto de paradas y un horario.

Una ruta de transporte público es una serie fija de secciones consecutivas a través de las cuales tendrá que pasar cada vehículo PT de la línea. Los vehículos se crean en la primera sección y se eliminan en la última.

El horario de salida de los vehículos de transporte público a lo largo de una ruta se rige por un horario. Esto especifica los horarios de salida, donde la frecuencia o el tipo de vehículo pueden variar durante el día. Después de que el vehículo PT ha partido a la hora de acuerdo con el horario, se detiene en las paradas definidas durante un período de tiempo predefinido.

Para la recreación de las paradas del barrio, nos basamos en los datos obtenidos por la página web de Auvasa, para que concuerde lo más parecido a la realidad. Estudiando las paradas que constituyen al barrio, recrearemos 6 líneas correspondientes a las líneas ordinarias sin contar con las líneas búho, matinales, a polígonos y del fútbol. Las cuales se corresponden con las líneas 1, 2, 17, 18, C1 y C2 de Auvasa. [34]

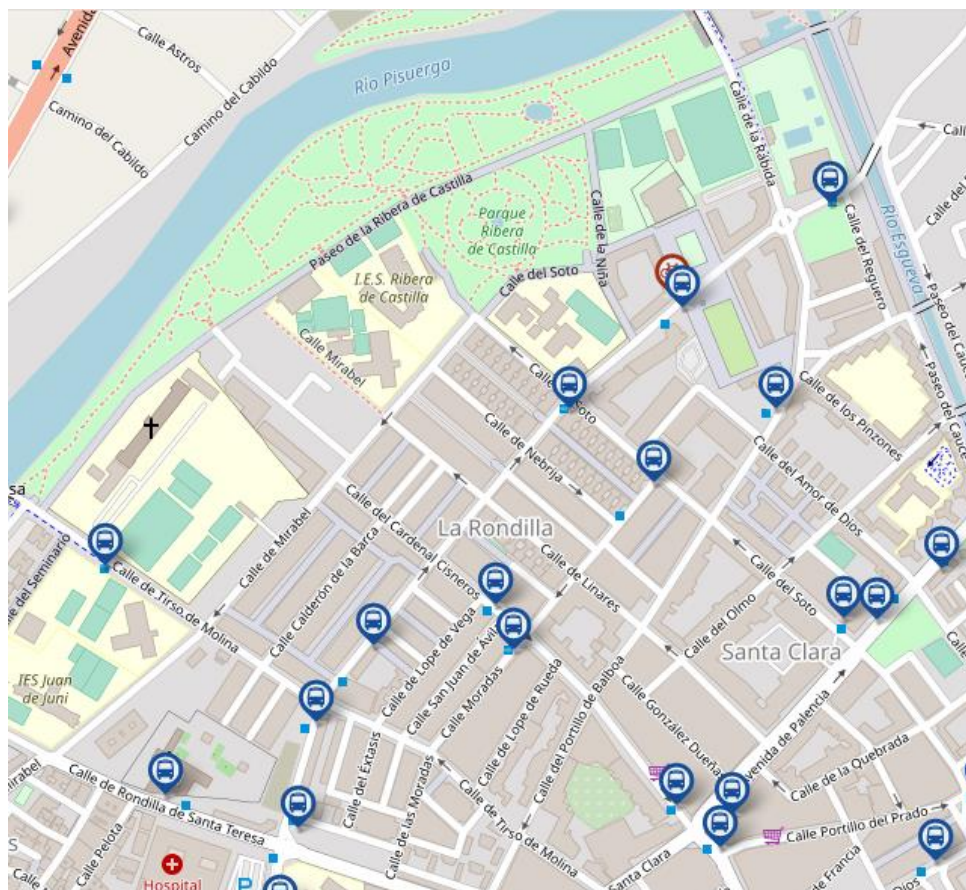


Figura 4.22: Mapa de paradas de autobús en el barrio de la Rondilla. Fuente: Auvasa.

Para incorporarlo al modelo, se crean las secciones y paradas por las que discurren las distintas líneas de transporte. Además de frecuencias y tiempos de parada.

Para empezar, se crean las paradas de autobús en puntos fijos a lo largo de la ruta para recoger y dejar pasajeros. Hay dos tipos de paradas:

- Normal (dentro de la calzada): Este tipo de parada de autobús se encuentra a lo largo de la vía. Los vehículos PT se detendrán en el carril de la calle, bloqueando así la circulación en esa vía, por lo que el resto de vehículos tendrán que pasarse a otro carril si necesitan superar al vehículo de PT o permanecer en la calzada hasta la reanudación de la circulación.

- Segregada (fuera de la calzada): Este tipo de parada de autobús tiene un carril corto dedicado al lateral de la carretera para que el autobús salga de la corriente de tráfico, lo que permite que el siguiente tráfico pase al autobús después de que se detenga. El vehículo PT se detendrá durante el tiempo de parada correspondiente y luego esperará a que salga una brecha adecuada en el tráfico de la bahía del autobús.



Las paradas elegidas en este trabajo serán de tipo normal que vistas en 3d y 2d presentan la siguiente forma:

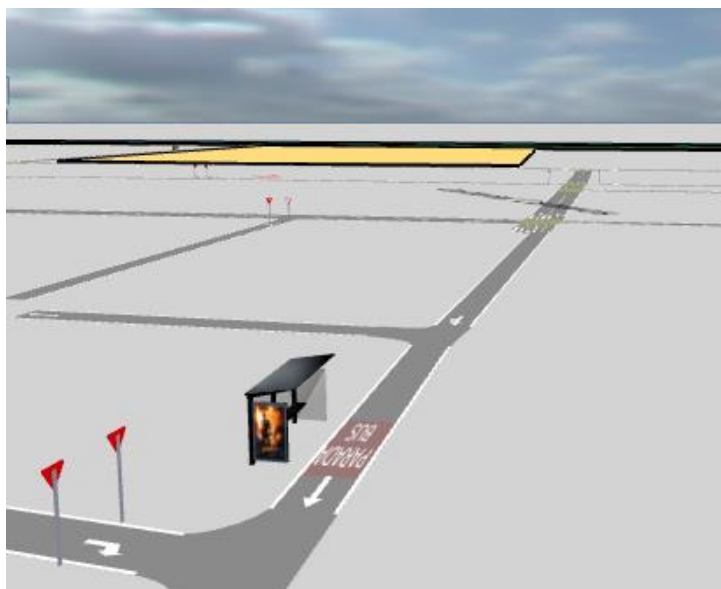


Figura 4.23: Parada normal vista 3d. Fuente: Aimsun.



Figura 4.24: Parada normal vista 2d. Fuente: Aimsun.

Aparte de poder elegir qué tipo de parada usar, También el editor de transporte público nos permite cambiar la longitud de la parada de bus, que tiene que ser igual o mayor a la longitud del propio vehículo, la distancia de visibilidad o el lado de la vía donde posicionar la parada.



En cuanto a las rutas para las Líneas de PT, si una sección tiene paradas de PT asociadas, entonces una de estas paradas por sección se puede asociar con la ruta. También se aceptan líneas PT sin paradas PT, y en ese caso, los vehículos PT no se detendrán durante su viaje, en la siguiente imagen se muestra un ejemplo asociado a la línea 1 (ida).

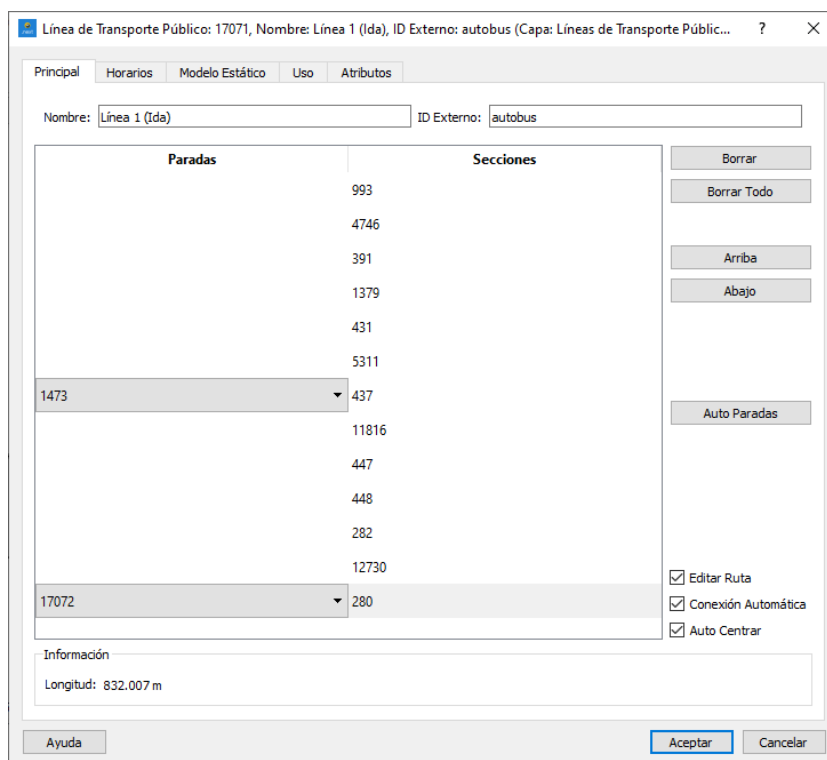


Figura 4.25: Ruta para la línea de transporte 1 (ida). Fuente: Aimsun.

Además, se deben definir otros parámetros temporales como la franja horaria en la que se describe el horario de salida del vehículo de transporte público y el tiempo que permanece el vehículo parado en cada parada asignada a la línea.

Cada horario tiene una hora inicial y una duración para definir el intervalo en que los vehículos de transporte público se generarán usando ese horario.

El horario de salidas se puede definir en términos de intervalos de salida, fijos o acumulativos. En nuestro caso elegimos los intervalos de salida, en la que los vehículos se generan periódicamente en intervalos regulares durante el intervalo de tiempo del segmento seleccionado, en este caso empezarán a generarse autobuses de las 8:00h hasta las 20:00h, analizando solo el intervalo de estudio de este proyecto comprendido entre las 13:00h y 15:30h. Este intervalo regular se define como la frecuencia de las salidas de vehículos en función del tiempo definido y la desviación estándar de ese valor. Si, por ejemplo, se ha definido un intervalo de tiempo de 10 minutos con una



desviación de 2 minutos, el tiempo de salida será a los 5 minutos (más / menos la desviación), a los 10 minutos (más / menos la desviación), a los 15 minutos, etc.

Para cada parada PT a lo largo de la ruta, se define el tiempo medio de parada, que es el tiempo en el que el autobús permanecerá detenido en la parada, en este caso 60 segundos y una desviación a dicho tiempo.

Tiempo Inicial	Duración	Tiempos de Salida
08:00:00	12:00:00	Intervalo (Puntual)

Parada	Media (s)	Desviación	Desplazamiento (s)
1473	60,0	20,0	0,0
17072	60,0	20,0	0,0

Figura 4.26: Horarios de líneas de transporte. Fuente: Aimsun.

Por último, se crea un plan de transporte público, como el de la figura 48, que agrupa todas las líneas de transporte público creadas.

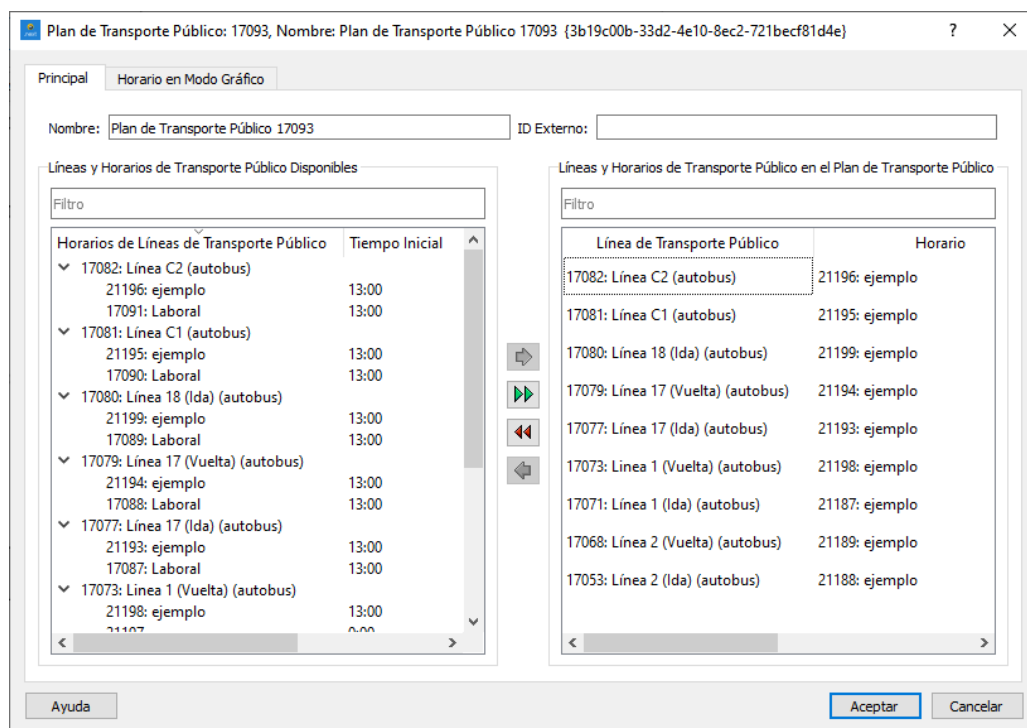


Figura 4.27: Plan de transporte público. Fuente: Aimsun.

Ya definidas las líneas de transporte público, paradas, frecuencia, tiempo que el vehículo recoge a los viajeros y plan de transporte. Finalmente se muestra en la siguiente figura las secciones de la vía por las que circula las diferentes líneas, las cuales se diferencian a través de una gama de colores que van del verde al rojo. Además, las paradas están representadas por círculos negros.



Figura 4.28: Líneas de transporte público de la simulación. Fuente: Aimsun.

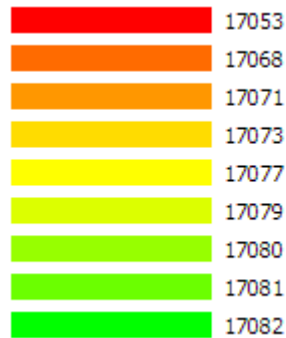


Figura 4.29: Leyenda de líneas de transporte público. Fuente: Aimsun.

Observando la Figura 50 podemos fijarnos que las paradas predispuestas sobre las secciones se encuentran en la misma posición que las propias puestas por la pagina de auvasa, figura 43. Aparte, podemos ver que además de la disposición de las paradas las líneas de transporte público transcurren por las mismas vías que las dispuestas en el barrio de la Rondilla. Por lo tanto los resultados que obtendremos serán próximos a la realidad pudiendo obtener una simulación óptima.[34]

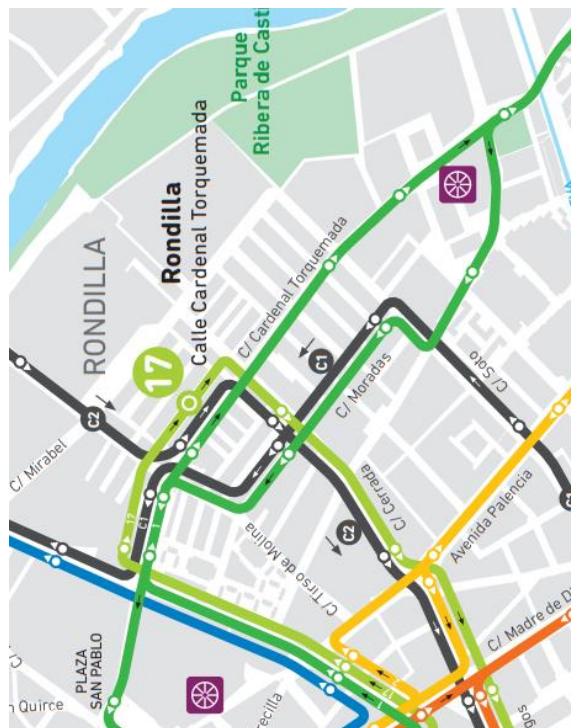


Figura 4.30: Líneas de transporte público del barrio de la Rondilla. Fuente: Auvasa.



4.6. Modelos medioambientales

Aimsun Next Microsimulación proporciona cuatro modelos ambientales, el modelo de consumo de combustible, el modelo de emisión de contaminación QUARTET, el modelo de emisión de contaminación de París et al y el modelo de emisión de Londres. Cada uno puede activarse o desactivarse usando el editor de escenarios.

4.6.1. Modelo de emisión de Londres (LEM)

Los simuladores microscópicos, mesoscópicos e híbridos de Aimsun incluyen el London Emission Model (LEM), que estima las emisiones de CO₂ y NO_x para un vehículo utilizando un modelo de emisiones calibrado y desarrollado en colaboración con Transport for London. La calibración se realizó en 2017 utilizando mediciones tomadas en Londres.

El LEM se desarrolló en respuesta a las observaciones de que los modelos de velocidad promedio tendían a predecir las emisiones a bajas velocidades y que la variabilidad en la actividad del vehículo significaba que las predicciones basadas en velocidades promedio de enlace en enlaces cortos o por períodos cortos de tiempo tenían una incertidumbre significativa. Los modelos de emisiones externas basados en trazas de vehículos individuales abordan estos problemas, pero requieren muchos datos y microsimulación. El enfoque adoptado por el modelo LEM es derivar las emisiones y el vehículo individual utilizando su velocidad promedio en un conjunto de micro viajes que forman todo su viaje. Un micro viaje se define como un segmento del viaje donde la velocidad aumenta de estacionaria a > 5 km / h y de regreso a estacionaria.

A continuación, el LEM utiliza una de las dos relaciones polinómicas, para ajustarse a un factor de emisión para CO₂ y NO_x.

$$y = a \cdot x^z + b ; x < 10 \text{ km/h}$$

Ecuación 4.2: Emisión de CO₂ y NO_x para velocidades menor a 10 km/h

$$y = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + x + c ; x \geq 10 \text{ km/h}$$

Ecuación 4.3: Emisión de CO₂ y NO_x para velocidades mayor a 10 km/h

donde y es la emisión (gramos / km) a , b , c , z son constantes derivadas y x es la velocidad promedio en el micro viaje. Las emisiones por micro viaje se calculan para simulaciones dinámicas micro, meso e híbridas.

4.6.2. Normativa europea sobre emisiones



La normativa europea sobre emisiones contaminantes es un conjunto de condiciones que regularizan los límites de emisiones de gases de combustión interna para los vehículos que quieran comercializarse en la Unión Europea. La legislación aplicable a estas categorías de vehículos fue originalmente introducida por la Directiva 88/77/CE, seguida por un gran número de modificaciones. En este año 2020, se hará vigente la nueva norma 6d.

La efectividad de la normativa EURO se determina controlando el funcionamiento del motor en un ciclo de ensayos normalizado. Si durante las pruebas los vehículos nuevos no cumplen los límites de contaminación, estos tienen prohibida su venta en la Unión Europea. Pero las normas nuevas no son aplicables a los vehículos que ya están en circulación.

También ante estas reglamentaciones hay que diferenciar entre vehículos ligeros y pesados, además de diferenciar entre combustibles de gasolina y diésel.

En concreto, las normas Euro se centran en 5 sustancias tóxicas para la salud de las personas provocadas por las emisiones de los vehículos, que son: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), hidrocarburos con óxidos de nitrógeno (HC + NO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), partículas sólidas o aerosoles (PM).[35]

Cabe destacar que a partir de EURO 6 la normativa pasará de venir descrita por Directivas a venir descrita por Reglamentos, los cuales no han de ser traspuestos al ámbito nacional, sino que serán de aplicación directa en cada estado miembro. Además, Las diferentes normativas son normalmente denominadas Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 y Euro 6 para vehículos ligeros. Las etapas correspondientes de las normas para vehículos pesados se caracterizan por números romanos en vez de números arábigos (Euro I, Euro II, etc.).[36]

Marco legal de las normas EURO:

- EURO 1: Directiva 93/59/CE
- EURO 2: Directiva 94/12/CEy Directiva 96/69/CE
- EURO 3: Directiva 98/69/CE
- EURO 4: Directiva 2002/80/CE
- EURO 5: Reglamento 715/2007/CE
- EURO 6: Reglamento 2017/1154



Turismos en g/km:

Tipo	Fecha	CO	THC	HC+NOx	NOx	PM
Diésel						
Euro 1	Julio de 1992	2.72 (3.16)	–	0.97 (1.13)	–	0.14 (0.18)
Euro 2, IDI	Enero de 1996	1.0	–	0.7	–	0.08
Euro 2, DI	Enero de 1996	1.0	–	0.9	–	0.10
Euro 3	Enero de 2000	0.64	–	0.56	0.50	0.05
Euro 4	Enero de 2005	0.50	–	0.30	0.25	0.025
Euro 5	Septiembre de 2009	0.50	–	0.23	0.18	0.005
Euro 6	Septiembre de 2014	0.50	–	0.17	0.08	0.005
Euro 6c	Septiembre de 2018	0.15	0.015	0.02	0.015	1*10 ¹¹
Euro 6d	Septiembre de 2020	¿?	¿?	¿?	¿?	¿?
Gasolina						
Euro 1	Julio de 1992	2.72 (3.16)	–	0.97 (1.13)	–	–
Euro 2	Enero de 1996	2.2	–	0.5	–	–
Euro 3	Enero de 2000	2.30	0.20	–	0.15	–
Euro 4	Enero de 2005	1.0	0.10	–	0.08	–
Euro 5	Septiembre de 2009	1.0	0.10	–	0.06	0.005b
Euro 6	Septiembre de 2014	1.0	0.10	0.160	0.06	0.005
Euro 6c	Septiembre de 2018	1.0	0.10	–	0.06	0.005
Euro 6d	Septiembre de 2020	¿?	¿?	–	¿?	¿?

Figura 4.31: Normativa Euro de turismos. Recuperado de: <https://www.autonocion.com/normativa-de-emisiones-euro6c/>.



Comerciales ligeros (≤ 1305 kg) en g/km:

Tipo	Fecha	CO	THC	HC+NOx	NOx	PM
Diésel						
Euro 1	Octubre de 1994	2.72	–	0.97	–	0.14
Euro 2, IDI	Enero de 1998	1.0	–	0.7	–	0.08
Euro 2, DI	Enero de 1998	1.0	–	0.9	–	0.10
Euro 3	Enero de 2000	0.64	–	0.56	0.50	0.05
Euro 4	Enero de 2005	0.50	–	0.30	0.25	0.025
Euro 5	Septiembre de 2010	0.50	–	0.23	0.18	0.005
Euro 6	Septiembre de 2015	0.50	–	0.17	0.08	0.005
Gasolina						
Euro 1	Octubre de 1994	2.72	–	0.97	–	–
Euro 2	Enero de 1998	2.2	–	0.5	–	–
Euro 3	Enero de 2000	2.30	0.20	–	0.15	–
Euro 4	Enero de 2005	1.0	0.10	–	0.08	–
Euro 5	Septiembre de 2010	1.0	0.075	–	0.06	0.005
Euro 6	Septiembre de 2015	1.0	0.075	–	0.06	0.005

Figura 4.32: Normativa Euro de comerciales ligeros (≤ 1305 kg). Recuperado de <https://www.autonocion.com/normativa-de-emisiones-euro6c/>

Comerciales ligeros (1305- 1760 kg) en g/km:

Tipo	Fecha	CO	THC	HC+NOx	NOx	PM
Diésel						
Euro 1	Octubre de 1994	5.17	–	1.4	–	0.19
Euro 2, IDI	Enero de 1998	1.25	–	1.0	–	0.12
Euro 2, DI	Enero de 1998	1.25	–	1.0	–	0.12
Euro 3	Enero de 2001	0.80	–	0.72	0.65	0.07
Euro 4	Enero de 2006	0.63	–	0.39	0.33	0.04
Euro 5	Septiembre de 2010	0.63	–	0.295	0.235	0.005
Euro 6	Septiembre de 2015	0.63	–	0.195	0.105	0.005
Gasolina						
Euro 1	Octubre de 1994	5.17	–	1.4	–	–
Euro 2	Enero de 1998	4.0	–	0.65	–	–
Euro 3	Enero de 2001	4,17	0.25	–	0.18	–
Euro 4	Enero de 2006	1.81	0.13	–	0.10	–
Euro 5	Septiembre de 2010	1.81	0.13	–	0.075	0.005
Euro 6	Septiembre de 2015	1.81	0.13	–	0.075	0.005

Figura 4.33: Normativa Euro para comerciales ligeros (1305 – 1760 kg). Recuperado de <https://www.autonocion.com/normativa-de-emisiones-euro6c/>



Comerciales ligeros (1760 – 3500 kg) en g/km:

Tipo	Fecha	CO	THC	HC+NOx	NOx	PM
Diésel						
Euro 1	Octubre de 1994	6.9	–	1.7	–	0.25
Euro 2, IDI	Enero de 1998	1.5	–	1.2	–	0.17
Euro 2, DI	Enero de 1998	1.5	–	1.6	–	0.20
Euro 3	Enero de 2001	0.95	–	0.86	0.78	0.10
Euro 4	Enero de 2006	0.95	–	0.46	0.39	0.06
Euro 5	Septiembre de 2010	0.74	–	0.3505	0.280	0.005
Euro 6	Septiembre de 2015	0.74	–	0.350	0.280	0.005
Gasolina						
Euro 1	Octubre de 1994	6.9	–	1.7	–	–
Euro 2	Enero de 1998	5.0	–	0.8	–	–
Euro 3	Enero de 2001	5.22	0.29	–	0.21	–
Euro 4	Enero de 2006	2.27	0.16	–	0.11	–
Euro 5	Septiembre de 2010	2.27	0.16	–	0.082	0.005
Euro 6	Septiembre de 2015	2.27	0.16	–	0.082	0.005

Figura 4.34: Normativa Euro de comerciales ligeros (1760 – 3500) kg. Recuperado de <https://www.autonocion.com/normativa-de-emisiones-euro6c/>

Vehículos pesados:

La normativa de emisiones de vehículos pesados de motor diésel se regula a través de un conjunto diferente de directivas que también son utilizadas para turismos y vehículos comerciales ligeros. Si bien los contaminantes evaluados son los mismos, los procedimientos de prueba que se utilizan son diferentes. la evaluación según los ciclos de prueba ECE R-49 (Euro I y II) y los ciclos ESC/ELR para Euro III, IV, V y VI.[37]



Ciclo de prueba de ESC y ELR:

Norma	Aprobación de tipo	CO	HC	NOx	PM	Humo
		g/k Whr	g/k Whr	g/k Whr	g/k Whr	m-1
Euro I	1 oct de 1993	4.5	1.1	8.0	0.612 ¹ /0.36 ²	-
Euro II	1 oct de 1996	4.0	1.1	7.0	0.15	-
Euro III	1 oct de 1999	2.1	0.66	5.0	0.10	0.8
	1 oct de 2000	2.1	0.66	5.0	0.10/0.13 ³	0.8
Euro IV	1 oct de 2005	1.5	0.46	3.5	0.02	0.5
Euro V	1 oct de 2008	1.5	0.46	2.0	0.02	0.5
Euro VI	1 ene de 2013	1.5	0.13	0.4	0.01	

Notas

1 - Para motores de 85kW

2 - Para motores de 85kW

3 - Para motores de cilindrada 0.75dm³ y régimen de potencia nominal 3000 min⁻¹ únicamente

Figura 4.35: Normativa Euro para vehículos pesados según los ciclos de prueba ESC Y ELR. Recuperado de <https://espanol.lubrizol.com/Lubricant-and-Fuel-Additives/Engine-Oil-Additives/ACEA/Reference-Material/Emissions-Standards>

Ciclo de prueba de ETC:

Norma	Aprobación de tipo	CO	NMHC	NOx	PM
Euro I	1 oct de 1993	-	-	-	-
Euro II	1 oct de 1996	-	-	-	-
Euro III	1 oct de 1999 ¹	3.0	0.40	2.0	0.02
	1 oct de 2000	5.45	0.78	5.0	0.16/0.21 ²
Euro IV	1 oct de 2005	4.0	0.55	3.5	0.03
Euro V	1 oct de 2008	4.0	0.55	2.0	0.03
Euro VI	1 ene de 2013	4.0	0.16	0.4	0.01

Notas

1 - Para vehículos ecológicos mejorados (EEV) solamente

2 - Para motores de cilindrada 0.75dm³ y régimen de potencia nominal 3000 min⁻¹ únicamente

Figura 4.36: Normativa Euro para vehículos pesados según el ciclo de prueba ETC. Recuperado de <https://espanol.lubrizol.com/Lubricant-and-Fuel-Additives/Engine-Oil-Additives/ACEA/Reference-Material/Emissions-Standards>

4.6.3. Composición de flota

En la pestaña composición de flota, se establecen los parámetros para el Modelo de emisiones de Londres (LEM). Esta pestaña se usa para definir las características de emisiones para cada tipo de vehículo, de acuerdo con las proporciones establecidas aquí. Esto analiza cómo se estiman las emisiones utilizando el Modelo de Emisión de Londres desarrollado por ITS Leeds en colaboración con Transport for London y Aimsun.



El menú desplegable Tipo de vehículo de emisión define la clase de vehículo en el modelo de emisiones. El menú desplegable contiene automóviles, taxis, vehículos grandes, vehículos pesados, autobuses de un piso, autobuses de dos pisos y autocares. Estos vehículos están asociados a valores calibrados a través de las mediciones realizadas por Modelo de emisiones de Londres.

La configuración de flota mixta para cada tipo de vehículo puede establecerse a partir de una opción predeterminada. El menú desplegable incluye la configuración predeterminada descrita por una ubicación y un año como, por ejemplo, Londres 2017 o Barcelona 2017. Si se selecciona la opción Configuración personalizada, esto le permite al analista editar los porcentajes para el Tipo de combustible y para el Estándar de emisiones euro. En nuestro caso escogeremos la opción de configuración personalizada.

Para los autobuses, utilizaremos los de solo un solo piso, al ser el prototipo de flota de autobuses de Valladolid. En cuanto al tipo de combustible, solo hay dos tipos para elegir en el programa Aimsun, que son: diésel y combustible azul. Por lo que tendremos que adaptar los tipos de combustibles a los dados, a pesar de que la flota de autobuses que compone Valladolid se divide en 88 autobuses accionados por GLP, 50 por Diesel y 12 Híbridos. Por tanto, los nuevos porcentajes que usaremos serán 12% de los vehículos destinados a combustible azul y 88% a diésel.[34]

En el caso de los coches, para saber el tipo de combustible que usan los vehículos españoles se basara en varias encuestas con datos recogidos por el observatorio Cetelem Motor 2019, dichas encuestas muestran que la mitad de los turismos utilizan diésel (50,7%), seguido de la gasolina (45,3%), híbridos (2,9%), GLP (0,7%) y eléctricos (0,4%). En este caso, el programa solo nos deja elegir entre 3 tipos de combustible: diésel, gasolina y azul. Por lo que tendremos que adaptar los porcentajes a esta limitación, como aproximación a la realidad se destinara un 51% a diésel, 46% a gasolina y 3% a combustible azul.[37]

Porcentajes de emisiones estándar

En la pestaña de porcentaje de emisiones estándar diferenciaremos según el tipo de vehículo que queremos analizar, en nuestra simulación solo queremos analizar autobuses y coches, por lo que solo obtendremos los porcentajes de las normativas EURO de estos vehículos.

En el caso de los autobuses calcularemos los porcentajes de las normativas Euro según la antigüedad de la flota de vehículos de Auvasa. Tras comparar los años de vigencias de las distintas normativas euro a la vez que la edad de los



autobuses, obtendremos los porcentajes de vehículos que se regularizan a través de cada norma, ya que se deberán rechazar la matriculación, venta y puesta en servicio de aquellos vehículos que no respeten los límites de emisión.



Figura 4.37: Autobuses según el año de matriculación. Recuperado de <https://www.valladolid.es/valladolid-client/cm/images?idMmedia=574135>

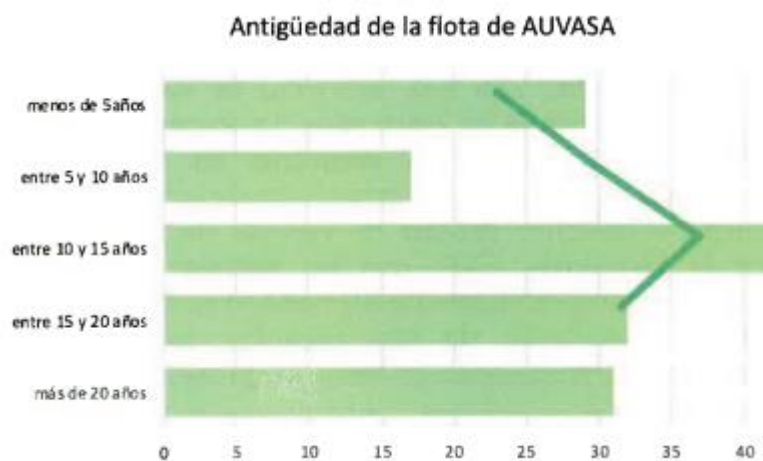


Figura 4.38: Antigüedad de la flota de AUVASA. Recuperado de <https://www.valladolid.es/valladolid-client/cm/images?idMmedia=574135>

Observando las gráficas vemos que la edad media de vehículos según año de matriculación es de 12,3 años. Además, hay que añadir la distribución no homogénea de los porcentajes de antigüedad de la flota, el 42%, tiene una antigüedad de 15 años aproximadamente.

A través de los distintos datos recopilados hemos hecho una tabla para la posterior realización de un gráfico circular con el resultado final.



antigüedad(años)	norma EURO	Nº de vehículos
≤5	6	29
≤10	6	17
≤15	5	41
≤20	4	32
>20	3	31
total		150

Tabla 4.3: Normativa Euro según la antigüedad de los vehículos. Fuente: Elaboración propia.

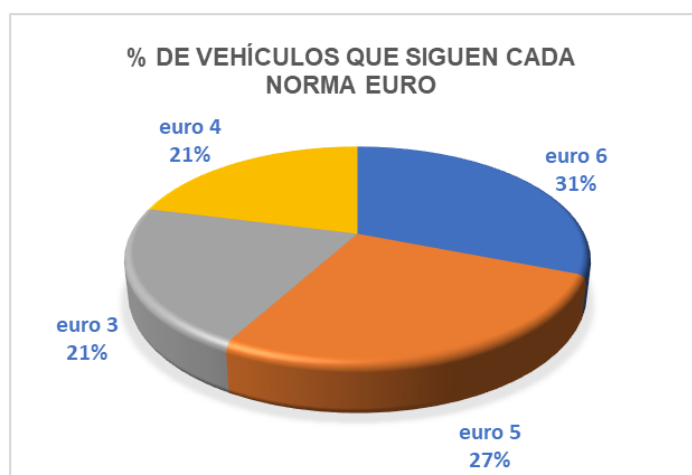


Figura 4.39: Porcentaje de vehículos que siguen cada norma Euro. Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar, que en la subpestaña de porcentajes de emisiones estándar de los autobuses la normativa euro V se diferencia entre dos tipos de tecnologías para la consecución de su cumplimiento, así que tras el resultado del porcentaje de autobuses que siguen dicha normativa, lo dividiremos en los dos tipos de sistemas, los cuales son:

- SCR (Selective catalíticas Reduction): Esta tecnología se basa en el catalizador SCR en la que se dan lugar una serie de reacciones. El líquido AdBlue se inyecta y, al reaccionar con los elementos del catalizador y las partículas de NOx, se produce una reducción del 90 % del NOx que llega al conducto de escape. Después de esta reacción, las únicas partículas que se emiten son de nitrógeno, agua y dióxido de carbono (N2, H2O y algo de CO2).[38]
- EGR (Exhaust Gas Recirculation): Esta tecnología se basa en que una porción de los gases de escape retorna a la admisión, reduciendo la temperatura de la combustión a partir de la eliminación de óxido de nitrógeno (NOx). Adicionalmente se precisa de un sistema de turbo



alimentación más complejo y un filtro de partículas en el sistema de escape.[39]

En el caso del coche, también calcularemos los porcentajes de emisión estándar según la antigüedad de los vehículos. Comparando los años de vigencias de las distintas normativas euro a la vez que la edad de los coches, así obtendremos los porcentajes de vehículos que se regularizan a través de cada norma, ya que se deberán rechazar la matriculación, venta y puesta en servicio de aquellos vehículos que no respeten los límites de emisión.

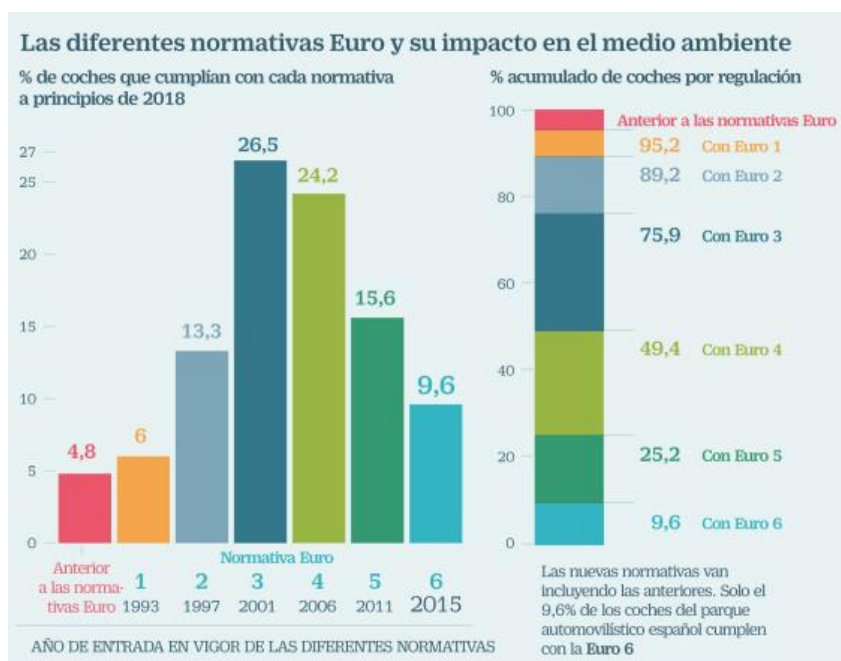


Figura 4.40: Las diferentes normativas Euro y su impacto. Recuperado de cincodias.elpais.com

Por último, gracias a todos los datos recopilados obtendremos los distintos valores necesarios para completar el tipo de combustible y los porcentajes de emisión estándar para cada tipo de vehículo de la pestaña composición de flota.



Tipo de Vehículo: 62, Nombre: {5fe05589-b78a-43fd-9bb5-44460d0373}

Principal Composición de Flota Modelos Dinámicos Modelo Microscópico Modelos Estáticos Atributos

Tipo de Vehículo para Emisiones
Tipo de Vehículo para Emisiones: Coche

Configuración
Configuración de la Flota Mixta: Custom Configuration Restablecer

Porcentajes de Tipo de Combustible

Tipo de Combustible	Porcentaje
Azul	3,00 %
Diésel	51,00 %
Gasolina	46,00 %
TOTAL	100

Porcentajes de Emisiones Estándar

Emisión Estándar	Porcentaje
Euro 0	4.8
Euro 1	6,00 %
Euro 2	13.3
Euro 3	26.5
Euro 4	24.2
Euro 5	15.6
Euro 6	4.8
Euro 6c	4.8
TOTAL	100

Ayuda Aceptar Cancelar

Figura 4.41: Composición de flota del coche. Fuente: Aimsun.

Tipo de Vehículo: 64, Nombre: {338a8e34-74e1-46d2-a145-66cb45949f98}

Principal Composición de Flota Modelos Dinámicos Modelo Microscópico Modelos Estáticos Atributos

Tipo de Vehículo para Emisiones
Tipo de Vehículo para Emisiones: Autobús de un Piso

Configuración
Configuración de la Flota Mixta: Custom Configuration Restablecer

Porcentajes de Tipo de Combustible

Tipo de Combustible	Porcentaje
Azul	12,00 %
Diésel	88,00 %
TOTAL	100

Porcentajes de Emisiones Estándar

Emisión Estándar	Porcentaje
Euro 0	0,00 %
Euro I	0,00 %
Euro II	0,00 %
Euro III	21,00 %
Euro IV	21,00 %
Euro V EGR	13,00 %
Euro V SCR	14,00 %
Euro VI	31,00 %
TOTAL	100

Ayuda Aceptar Cancelar

Figura 4.42: Composición de flota del autobús. Fuente: Aimsun.



4.6.4. Modelo de consumo de combustible

Los parámetros de consumo de combustible se pueden editar para cada tipo de vehículo en la pestaña Consumo de combustible.

El modelo de consumo de combustible supone que cada vehículo está al ralentí, o navegando a una velocidad constante, acelerando o desacelerando. Se determina el estado de cada vehículo, y el modelo después usa la fórmula apropiada para calcular el combustible consumido dependiendo del estado en que se encuentre.

Parámetros de entrada:

Para cada tipo de vehículo, los siguientes seis parámetros adicionales, que especifican las tasas de consumo de combustible del vehículo, deben especificarse en el editor:

- F_i : la tasa de consumo de combustible para vehículos en ralentí en ml / s.
- c_1 y c_2 : las dos constantes en la ecuación para la tasa de consumo de combustible para vehículos en aceleración, en ml / s.
- F_1 : la tasa de consumo de combustible, en litros por cada 100 km, para vehículos que viajan a una velocidad constante de 90 km / h.
- F_2 : la tasa de consumo de combustible, en litros por cada 100 km, para vehículos que viajan a una velocidad constante de 120 km / h.
- V_m : la velocidad a la que la tasa de consumo de combustible, en ml / s, es mínima para un vehículo que circula a velocidad constante.
- F_d : la tasa de consumo de combustible para vehículos de desaceleración en ml / s.

Para los coches, los siguientes valores para los parámetros de entrada anteriormente definidos son tomados de Ferrerira 1982 y el Departamento de Transporte del Reino Unido 1994.

La tasa de consumo de combustible para coches en ralentí en ml / s = 0.333, y en la ecuación para la tasa de consumo de combustible en aceleración: = 0.420, = 0.260. En desaceleración ml / s = 0.537. También hay que tomar en cuenta las características del vehículo que estamos evaluando, especificando las tasas de consumo de combustible para tres autos diferentes son:



Ford Fiesta: $F_1 = 4.7$ (l/100km at 90 km/h)
 $F_2 = 6.5$ (l/100km at 120 km/h)
 $V_m = 50$ km/h

Ford Escort: $F_1 = 5.4$ (l/100km at 90 km/h)
 $F_2 = 7.1$ (l/100km at 120 km/h)
 $V_m = 50$ km/h

Ferrari Testarossa $F_1 = 10.0$ (l/100km at 90 km/h)
 $F_2 = 11.4$ (l/100km at 120 km/h)
 $V_m = 70$ km/h

En nuestro experimento usaremos el modelo de coche Ford fiesta para los parámetros F_1 , F_2 y V_m , ya que es un modelo común de encontrarse en las vías urbanas.

Tipo de Vehículo: 62, Nombre: car {5fe05589-b78a-43fd-9bb5-44460d0d0373}

Principal Composición de Flota Modelos Dinámicos Modelo Microscópico Modelos Estáticos Atributos

Principal Articulados y Puertas Formas 2D Formas 3D Modelos Medioambientales

Tolerancia de cruce: 0,80 m/s²

Modelo de Consumo de Combustible Modelo de Emisión QUARTET Modelo de Emisiones Panis et al

Ratio de Consumo

F1 (Reposo): 0,333 ml/s C1 (Acelerando): 0,420 ml/s

F1 (a 90 km/h): 4,700 l/100 km C2 (Acelerando): 0,260 ml/s

F2 (a 120 km/h): 6,500 l/100 km Fd (Desacelerando): 0,537 ml/s

Velocidad de Consumo Mínimo

Vm: 50,000 km/h

Ayuda Aceptar Cancelar

Figura 4.43: Modelo de consumo de combustible del coche. Fuente: Aimsun.



Como se ha dicho anteriormente los parámetros del consumo de combustible se editan para cada tipo de vehículo, en nuestro caso cambiaremos las tasas de consumo de combustible tanto para el coche como para el autobús, al ser los dos tipos de vehículos que simulamos en nuestro modelo.

A continuación, se especifican los diferentes parámetros para los distintos tipos de vehículos:

Tipo de vehículo	Fi (ml/s)	C1 (ml/s)	C2 (ml/s)	F1 (l/100km)	F2 (l/100km)	Fd (ml/s)	Vm (km/h)
Ligeros	0,33	0,42	0,26	4,7	6,5	0,54	--
Autobuses/ autocares	3	1	0,5	14	18	3,5	50
Motos	0,15	0,21	0,13	3	5	0,26	70
Taxis	0,33	0,42	0,26	4	6	0,54	60
Pesados	3	1	0,5	10	12	3,5	60

Figura 4.44: Ratios de consumo de combustible para distintos vehículos; Fuente: González Lázaro, A. A. (2009). simulación ambiental del tráfico en las cercanías de la glorieta de las pirámides, Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/30042421.pdf>

Figura 4.45: Modelo de consumo de combustible del autobús. Fuente: Aimsun.

4.6.5. Modelo de emisión QUARTET

En la pestaña Modelo de emisión QUARTET, se establecen los parámetros del modelo de emisión de contaminación QUARTET. Esta utilidad está diseñada para elaborar un balance de la contaminación generada durante la simulación.



Cuando se crea un contaminante en un tipo de vehículo, se crea automáticamente para todos los demás tipos de vehículos. Del mismo modo, cuando se cambia el nombre de un contaminante, se elimina de un tipo de vehículo, ese cambio se aplica a todos los tipos de vehículos. Esto garantiza que cada tipo de vehículo siempre tenga la misma lista de contaminantes. Solo las tasas de emisión diferirán entre los diferentes tipos.

Para crear un nuevo contaminante, se ingresa el nombre y sus tres parámetros; IER significa Velocidad de emisión en ralentí, AER y DER son las tasas de emisión de aceleración y desaceleración, respectivamente.

Las velocidades de emisión se utilizan para vehículos que viajan a una velocidad constante. Si la velocidad no es constante, se utilizan IER, AER y DER. Si solo hay un par de velocidad-emisión para un contaminante, esa tasa de emisión se utilizará para todos los vehículos que viajan a cualquier velocidad constante. Si hay más de un par, las tasas de emisión para vehículos que viajan a una velocidad constante dependerán de los intervalos de velocidad definidos por los diferentes pares. Los intervalos de velocidad están dados por su límite superior. Por ejemplo, si las velocidades en la lista son 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 70, la tasa de emisión a velocidad constante tiene valores diferentes para las velocidades en los intervalos 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 y 60-70 km / h.

Se supone que los vehículos que viajan a velocidades superiores a 70 km / h tienen la misma tasa de emisión que aquellos que viajan a 70 km / h. Esta es una decisión del propio diseño experimental.

Además, la pendiente en las secciones donde viaja el vehículo también se puede considerar al recoger emisiones. Cuando no se han definido rangos de pendiente, las tasas de emisión serán las definidas en la tabla de tasas de crucero. Si se definen los rangos de pendiente, las tasas de emisión se multiplicarán por el factor definido en los rangos de pendiente. Tanto los intervalos de velocidad como los porcentajes de pendiente están dados por su límite inferior. Normalmente se considera que cuando la pendiente es 0%, las tasas de emisión serán las mismas que las tasas de crucero; cuando la pendiente asciende, el factor multiplicador será mayor que 1 y cuando la pendiente desciende, el factor multiplicador estará entre 0 y 1. Por ejemplo, las pendientes en la lista definen un impacto de 2,04 y 2,9 para pendientes de -1% a 0 % y no tiene impacto cuando la pendiente asciende de 0 a 1% y tiene un impacto de 0,85 cuando la pendiente asciende y es superior al 1%, todos estos impactos son para velocidades de vehículos superiores a 0 km / h y 60 km/h.



A pesar de considerar diferentes niveles de emisión dependiendo de la pendiente, en este modelo no va a influir, ya que la pendiente es nula en la zona urbana en la que realizaremos el estudio.

Parámetros de entrada:

La entrada requerida para el modelo de emisión de contaminación QUARTET es la siguiente:

- Para cada tipo de vehículo (es decir, automóviles, autobuses, camiones).
- Para cada contaminante modelado (es decir, CO, NO_x, HC).
 - Nombre del contaminante
 - Velocidad de emisión para acelerar vehículos en g / s (parámetro AER en el editor)
 - Velocidad de emisión para vehículos de desaceleración en g / s (parámetro DER en el editor)
 - Velocidad de emisión para vehículos en ralentí en g / s (parámetro IER en el editor)
 - Una tabla de consulta para vehículos que navegan a una velocidad constante que consta de un conjunto de pares (punto de ruptura de velocidad (km / h), tasa de emisión (g / s), para un máximo de 15 puntos de ruptura.
 - Una tabla de consulta para el impacto de la pendiente en la contaminación que consiste en un conjunto de triples (punto de ruptura de velocidad (km / h), % de pendiente, impacto). Dependiendo de la velocidad del vehículo y el porcentaje de pendiente, la contaminación se multiplicará por el impacto.

Los valores de emisión de los coches y los autobuses, tomados de QUARTET entregable en 1992, se resumen en los dos siguientes:

- tasas de emisión para coches:

Tasas de emisión para coches (g/s)	CO	NO _x	HC
Tasa de emisión en ralentí (g/s)	0.060	0.0008	0.0067
Tasa de emisión en aceleración (g/s)	0.377	0.0100	0.0200
Tasa de emisión en desaceleración (g/s)	0.072	0.0005	0.0067
Tasa de emisión de cruce (g/s)			



Tasas de emisión para coches (g/s)	CO	NOx	HC
10 km/h	0.060	0.0006	0.0063
20 km/h	0.091	0.0006	0.0078
30 km/h	0.130	0.0017	0.0083
40 km/h	0.129	0.0022	0.0128
50 km/h	0.090	0.0042	0.0097
60 km/h	0.110	0.0050	0.0117
70 km/h	0.177	0.0058	0.0136

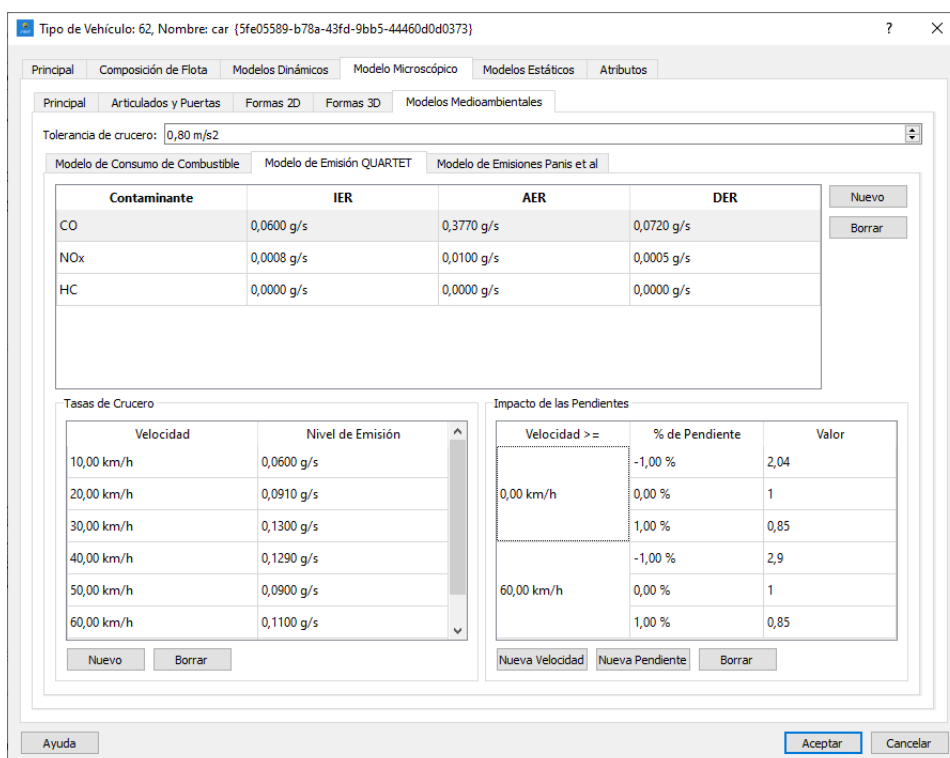


Figura 4.44: Modelo de emisión QUARTET para coches. Fuente: Aimsun.

- Tasa de emisión para autobuses:

Tasas de emisión para autobuses (g/s)	CO	NOx	HC
Tasa de emisión en ralentí (g/s)	0.050	0.0050	0.0383
Tasa de emisión en aceleración (g/s)	0.377	0.0100	0.0200
Tasa de emisión en desaceleración (g/s)	0.072	0.0005	0.0067
Tasa de emisión de cruceo (g/s)			
10 km/h	0.097	0.018	0.078
20 km/h	0.056	0.020	0.044
30 km/h	0.050	0.023	0.042
40 km/h	0.069	0.036	0.056



Tasas de emisión para autobuses (g/s)	CO	NOx	HC
50 km/h	0.056	0.067	0.078
60 km/h	0.042	0.083	0.067
70 km/h	0.000	0.133	0.067

Contaminante	IER	AER	DER
CO	0,0500 g/s	0,3770 g/s	0,0720 g/s
NOx	0,0050 g/s	0,0100 g/s	0,0005 g/s
HC	0,0383 g/s	0,0200 g/s	0,0067 g/s

Velocidad	Nivel de Emisión
10,00 km/h	0,0970 g/s
20,00 km/h	0,0560 g/s
30,00 km/h	0,0500 g/s
40,00 km/h	0,0690 g/s
50,00 km/h	0,0560 g/s
60,00 km/h	0,0420 g/s

Velocidad >=	% de Pendiente	Valor
0,00 km/h	-1,00 %	2,04
	0,00 %	1
60,00 km/h	1,00 %	0,85
	-1,00 %	2,9
60,00 km/h	0,00 %	1
	1,00 %	0,85

Figura 4.45: Modelo de emisión QUARTET para el autobús. Fuente: Aimsun.

4.6.6. Modelo de emisiones de Panis et al

Aimsun Next puede modelar las emisiones de contaminación instantánea causadas por la aceleración / desaceleración y la velocidad de todos los vehículos en la simulación basada en el documento de Luc Int Panis, Steven Broekx, Ronghui Lui: Modelado de la emisión instantánea del tráfico y la influencia de los límites de velocidad del tráfico. En cada paso de la simulación, mide las emisiones de cada contaminante utilizando la misma fórmula, pero considerando diferentes valores de factores según el tipo de vehículo, el tipo de combustible y las medidas de aceleración / desaceleración instantánea.



En particular, el modelo de emisión instantánea considera el dióxido de carbono (CO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los compuestos orgánicos volátiles (VOC) y la materia particulada (PM).

A través de la página Auvasa, se han recopilado ciertos datos que necesita el modelo Panis para calcular los valores de contaminación según el tipo de combustible. En nuestro caso la flota de vehículos que dispone Auvasa consta de 88 autobuses accionados por GLP, 50 por Diesel y 12 Híbridos. Teniendo en cuenta dichos valores y las posibilidades que nos ofrece el programa Aimsun, solo podemos tener en consideración los vehículos propulsados por Diesel.

Tipo de Combustible	Límite Inferior	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
Diesel	0	0.904	1.13	-0.0427	2.81	3.45	1.22

Figura 4.46: Modelo de emisiones Panis et al del autobús. Fuente: Aimsun.

También editaremos los distintos tipos de combustible para coches, para fijar dichos porcentajes utilizaremos los datos recogidos en el Observatorio Cetelem Motor 2019 basados en 2.000 encuestas. Dichos resultados muestran que la mitad son diésel (50,7%), seguido de la gasolina (45,3%), híbridos (2,9%), GLP (0,7%) y eléctrico (0,4%). Teniendo en cuenta los valores y las posibilidades del programa solo podemos tener en cuenta los vehículos de gasolina, diésel y GLP. A pesar de esto, la simulación no se distanciará mucho de la realidad ya que los porcentajes de los demás tipos de combustibles son muy bajos. Por lo tanto, los valores que vamos a utilizar son: un 3% de GLP, 51% de diésel y un 46% de gasolina.[40]

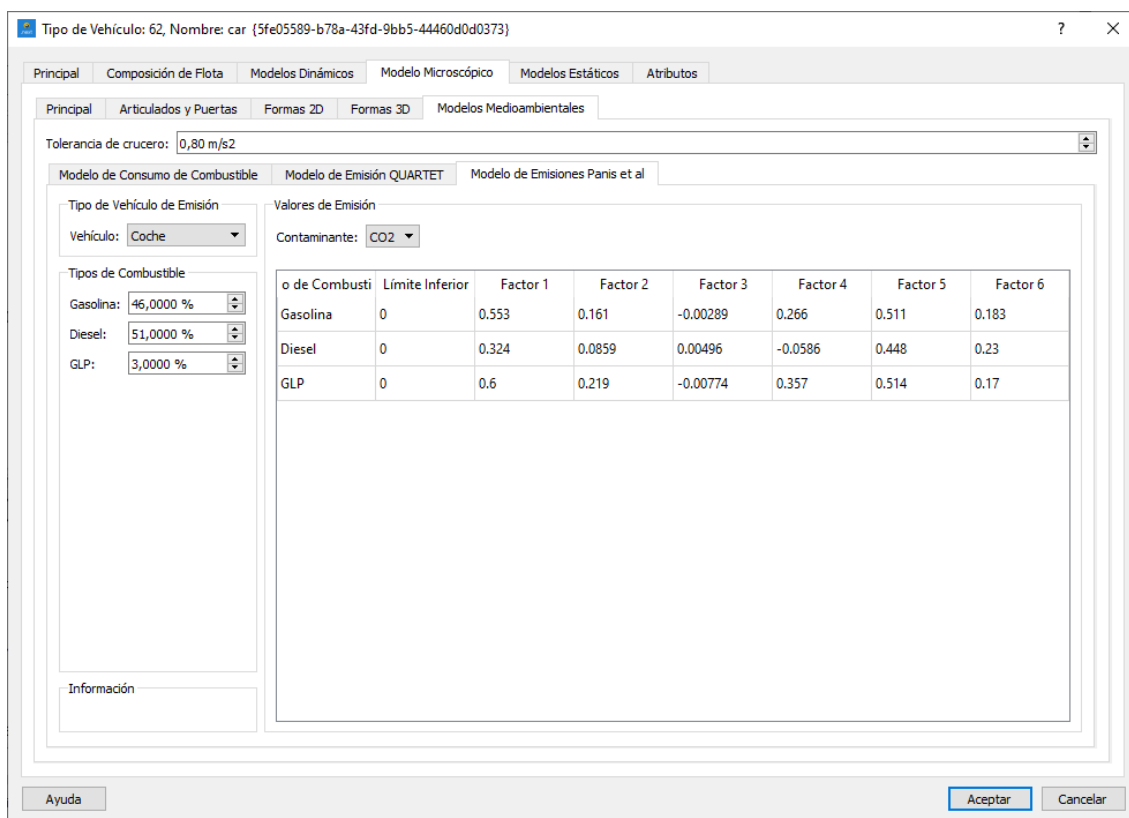


Figura 4.47: Modelo de Emisiones Panis et al del coche. Fuente: Aimsun.

4.7. Simulación de los modelos

Para ejecutar un modelo utilizando el simulador microscópico se debe definir previamente un escenario, en este caso dinámico, un experimento y dentro de él, varias replicaciones.

Las replicaciones se utilizan para simular el comportamiento del tráfico formando diferentes posibilidades de comportamiento del tráfico real, no solo de un periodo de tiempo de un día, sino de este mismo periodo de varios días. En una replicación (día) puede haber un atasco a una hora en una determinada vía y en otra no haberlo de igual manera que ocurre en el tráfico real. Una vez creadas las replicaciones se crea la media. La media calcula el valor medio de todas las características analizadas en el modelo. Por ello, todos los resultados que se obtienen de cualquier modelo se deben obtener de la media de las replicaciones y no de una de éstas.

En este proyecto, para el desarrollo de su estudio se han llevado a cabo 3 modelos, los cuales son:



- Modelo actual o modelo “0”: proporcionado por el Ayuntamiento de Valladolid, donde contamos con la red viaria del barrio junto con otros parámetros.
- Modelo 1: basado en el aumento de frecuencias horarias de los autobuses junto con la disminución del vehículo privado dentro de la zona urbana analizada.
- modelo 2: implementación del modelo 1 con carriles exclusivos para el transporte público.

En los siguientes puntos se analizarán las variables de cada uno de ellos. En el modelo inicial se explicará brevemente que representa cada variable, variables que saldrán de la misma manera en los demás modelos.

Todos los resultados mostrados en este apartado están referidos a estadísticas a nivel global o de toda la red.

A continuación, se muestran los siguientes tipos de resultados según el modelo:

4.7.1. Modelo inicial

El programa a través de estilos y modos nos permite visualizar el flujo medio de vehículos que hay en cada sección por medio de un código de colores verdes y rojos, dónde los tramos de mayor flujo aparecen en una gama de rojos y los de menor flujo aparecen en verde. En la siguiente figura se muestra el mapa de flujo de vehículos de la Rondilla en hora punta:



Figura 4.49: Leyenda del mapa de flujo. Fuente: Aimsun.



Figura 4.48: Mapa de flujo del modelo inicial. Fuente: Aimsun.

Como se observa en la figura 3.40 una de las calles con más flujo de vehículos es la Calle Rondilla de Santa Teresa ya que es una de las principales comunicaciones del barrio de la Rondilla con el centro de la ciudad, además también da acceso a la Avenida Salamanca que permite acceder a cualquier otro barrio y que se caracteriza por una gran afluencia. Además, en la Calle Rondilla de Santa Teresa se encuentra el Hospital Clínico Universitario por lo que suele haber vehículos en doble fila, dificultando el tráfico.

En el caso de la Avenida Palencia se observa que el carril en dirección al centro de la ciudad tendrá mayor flujo de vehículos que el carril en sentido contrario, pero no se superan los 1000 vehículos por hora.

A parte de poder ver estas variables de forma más visual a través de estilos, el programa también muestra los resultados de una microsimulación a través de series temporales, por medio de tablas y gráficas, como observamos en la siguiente figura.



- Flujo (veh/h):

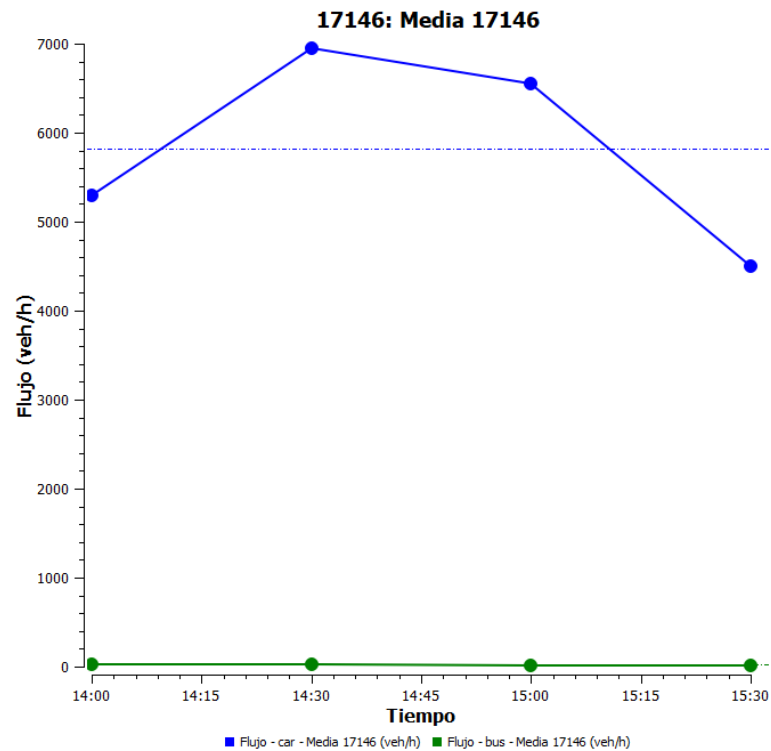


Figura 4.50: Flujo (veh/h). Fuente: Aimsun.

En esta gráfica (figura 4.50) están representados los coches y los autobuses que hay cada hora en las secciones del barrio. Como vemos, la cantidad de autobuses que frecuentan las vías es tan pequeño que en la escala que nos movemos parece casi nulo, cuando en verdad hay de media entre todo el intervalo de tiempo 18,20 autobuses. Otro factor que se aprecia es el pico de incremento de flujo de los coches, que se origina en la hora punta entre las 14:00 y las 14:30 aproximadamente y disminuyendo después de esta franja horaria, resultado que era de esperar con los datos aportados.



- Velocidad (km/h):

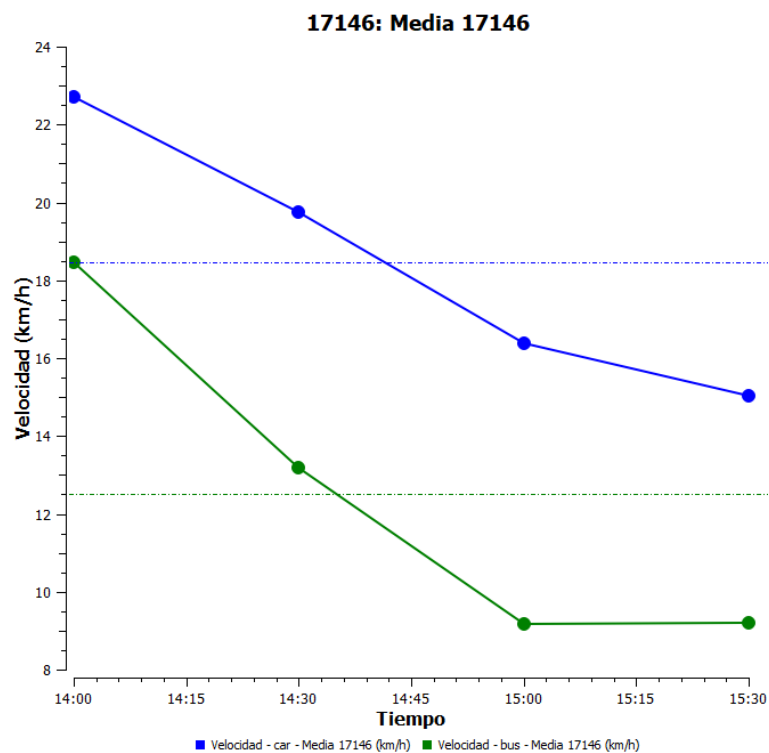


Figura 4.51: Velocidad (Km/h). Fuente: Aimsun.

La velocidad se expresa en km/h, parece destacable que la velocidad alcance el valor máximo de 23h km/h cuando las vías tienen una velocidad máxima 50 km/h. Esto es debido a que no sólo considera la velocidad cuando los vehículos están en movimiento, si no que contempla el tiempo de estacionamiento en los semáforos, retenciones y deceleración. También, comparando la velocidad de los coches con la de los autobuses, vemos que la de los autobuses es inferior debido a las dimensiones de este, que reducen su movimiento hasta cierto grado.



- Tiempo de viaje (seg/km):

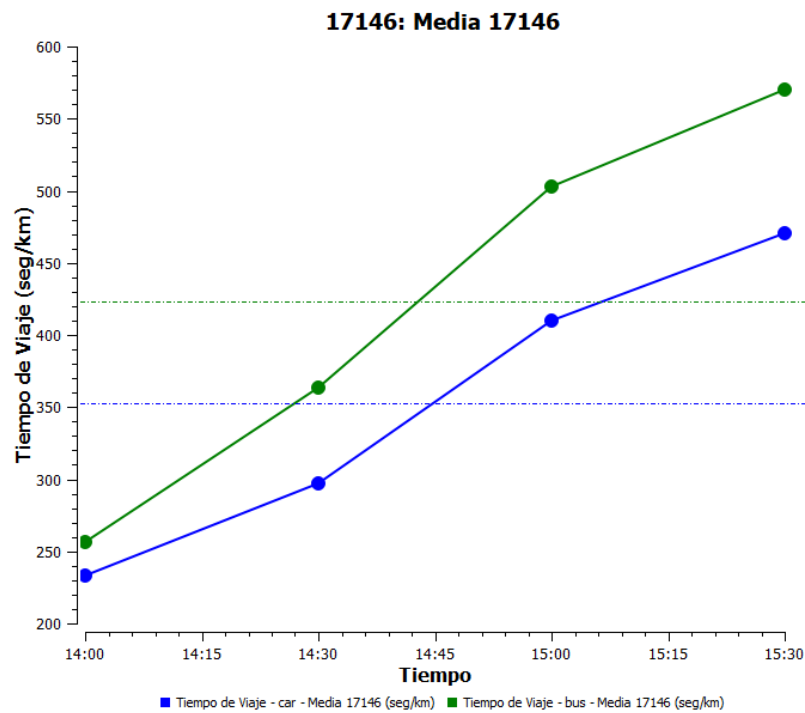


Figura 4.52: Tiempo de viaje (seg/km). Fuente: Aimsun.

El tiempo de viaje es el valor medio de los tiempos que tarda un vehículo en realizar su recorrido, expresado en s/km. Como vemos el autobús tiene mayor tiempo de viaje, dato razonable si nos fijamos en otras variables como la velocidad que tiene un valor más bajo que el del coche o si analizamos el número de paradas que también es mayor.



- Tiempo de parada (seg/km):

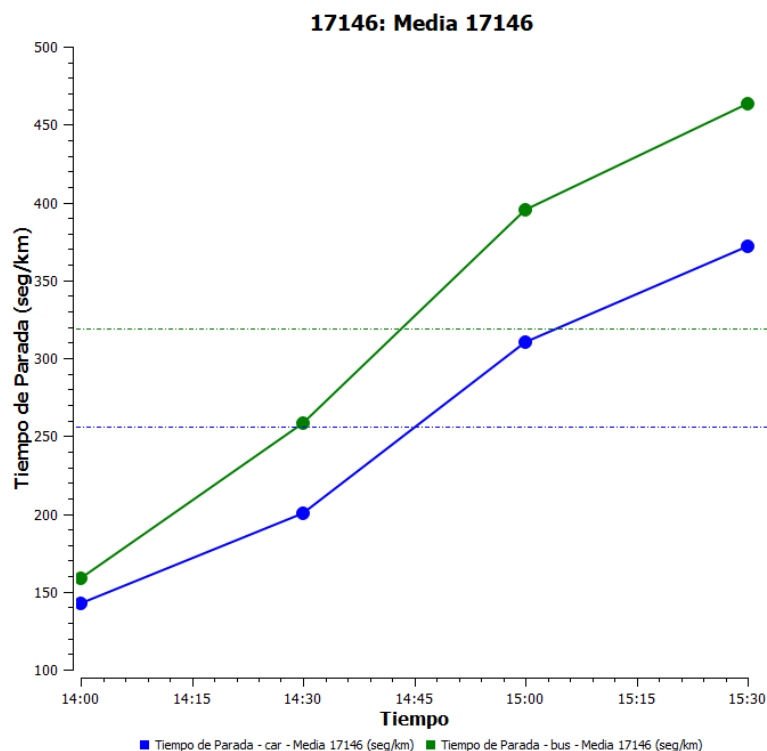


Figura 4.53: Tiempo de parada (seg/km). Fuente: Aimsun.

El tiempo de parada hace referencia al tiempo medio que permanecen los vehículos completamente parados dentro de la zona de estudio. Esto puede ser debido a semáforos, obstáculos en la vía o retenciones.

- Tiempo de demora (seg/km):

El tiempo de demora hace referencia al tiempo de retraso generado por la incapacidad de la vía, que respecto a una situación ideal la única restricción sería la velocidad de la vía.

La expresión que determina el tiempo de demora de un vehículo en realizar un trayecto se define como:

$$TD = TT - TFF$$

Ecuación 4.4: Tiempo de demora.

donde:

- TD = Tiempo de demora.



- TT (Travel Time) = Es el tiempo medio que tardan todos los vehículos en realizar el trayecto en condiciones normales.
- TFF (Free Flow Time) = Es el tiempo que tardaría el vehículo en realizar el trayecto teniendo como única restricción la velocidad de la vía.[41]

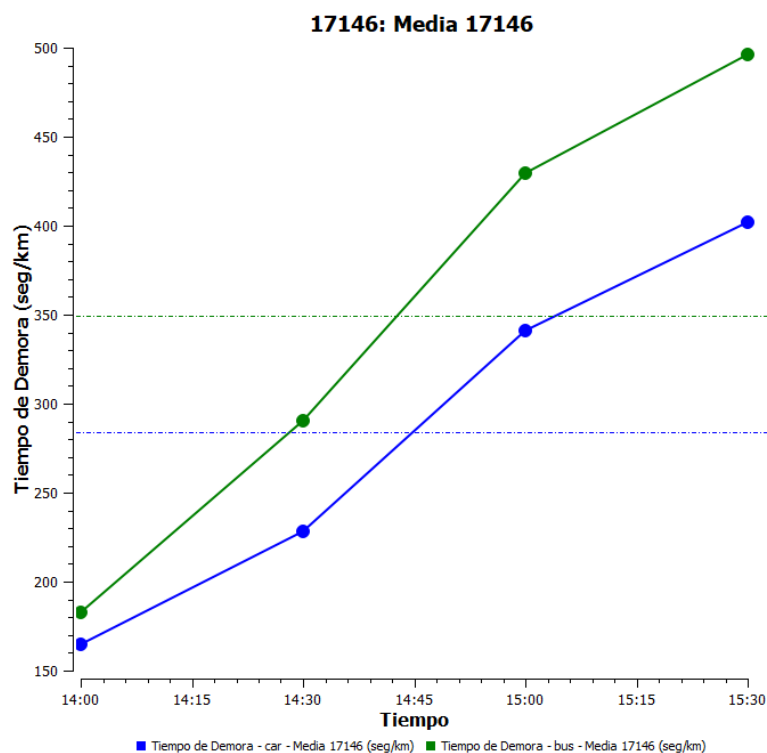


Figura 4.54: Tiempo de Demora (seg/km). Fuente: Aimsun.

A lo largo de todo el Intervalo vemos que el tiempo en el que están parados los vehículos es creciente, pero si nos fijamos con mayor detalle a partir de las 14:30 hasta las 15:00, franja horaria en la que hay mayor flujo de vehículos la pendiente es mucho mayor a la de los otros tramos.



- Cola media:

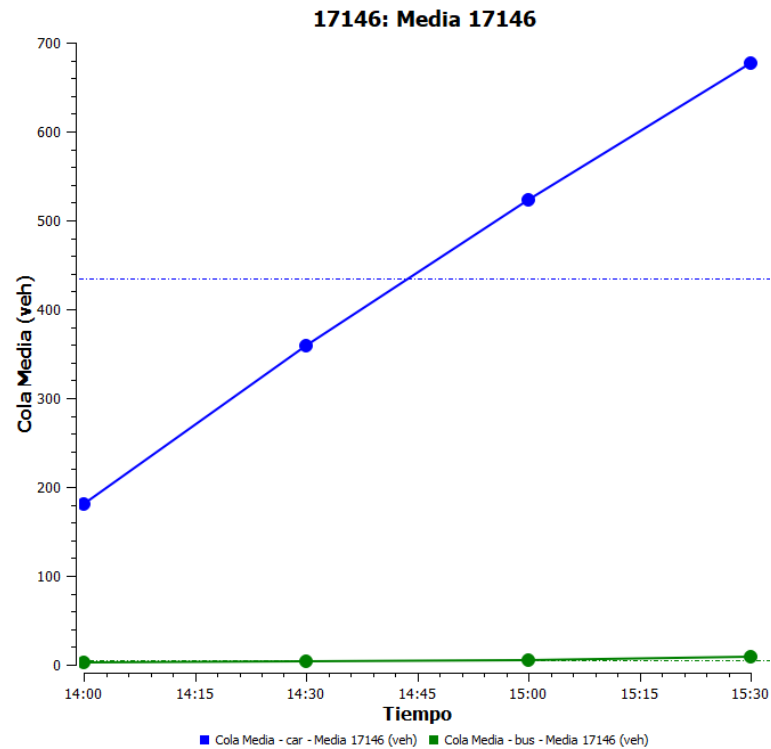


Figura 4.55: Cola media (veh). Fuente: Aimsun.

La cola media, es el número de vehículos que se encuentran parados debido a la congestión del tráfico. Como vemos, es un valor creciente ya que se encuentra dentro de la franja horaria con mayor circulación de vehículos.

Para visualizarlo mejor disponemos del mapa del barrio donde se representa a través de colores el número de vehículos que están esperando sobre la calzada para avanzar. El color rojo se caracteriza por tener el mayor número de vehículos parados y el verde con el menor valor, que comprende solo 1 vehículo. También el grosor de la sección indica el número de vehículos parados, cuanto mayor grosor presente la línea mayor será el valor.



Figura 4.56: Leyenda de la cola media de vehículos. Fuente: Aimsun.



Figura 4.57: Mapa de las colas medias del barrio de la Rondilla. Fuente: Aimsun.

Para resumir todos los parámetros globales representados con anterioridad en las gráficas y mapas, construiremos una tabla 4.4 en la que aparecen los valores medios obtenidos en Aimsun:

	coches	Autobuses
Cola media (veh)	474,65	5,35
Velocidad (km/h)	18,23	13,29
Tiempo de viaje (seg/km)	368,05	434,50
Tiempo de parada (seg/km)	271,16	329,65
Tiempo de demora (seg/km)	299,18	360,32
Flujo (veh/h)	5602,40	18,20

Tabla 4.4: Valores medios de los parámetros globales. Fuente: Elaboración propia

El incremento de la demanda de movilidad entre los ciudadanos y las líneas futuras en la evolución del número de vehículos y de desplazamientos han hecho que el sector del transporte se haya transformado en el principal consumidor de energía, y, por consiguiente, el emisor principal de contaminantes a la atmósfera.

En los núcleos urbanos, la principal causa emisora de contaminantes son los vehículos. Sobre todo, en las vías de comunicación con una intensidad de tráfico elevada tienen ligados elevados niveles de emisión. Las emisiones de los tubos de escape de los vehículos de motor generan más de una cuarta parte



de las emisiones de gases con efecto de invernadero y la mayor parte de la contaminación atmosférica urbana que afecta a la salud de las personas, principalmente de los bebés, de la gente mayor y de las personas con enfermedades respiratorias.

Además, no todos los vehículos generan los distintos tipos de contaminantes en la misma proporción, debido a que depende del tipo de motor que tengan y si consumen gasolina o diesel. Los vehículos de gasolina producen sobre todo monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y compuestos de plomo. Los vehículos que usan diesel producen partículas sólidas en forma de hollín que da lugar a los humos negros, hidrocarburos no quemados, óxidos de nitrógeno y anhídrido sulfuroso procedente del azufre contenido en el combustible.

Por tanto, el uso de los vehículos, si no se habla de vehículos eléctricos 100%, siempre genera contaminantes a la atmósfera, por lo que resulta crucial concienciar cada vez más insistentemente de la necesidad de reducir el número de vehículos y desplazamientos en este medio.

En las siguientes gráficas se van a realizar estudios para ver qué tipo de contaminante provocado por el tráfico rodado es más agresivo o emitido en mayor o menor cantidad a la atmósfera, además de observar su evolución dentro de una franja horaria, en este caso, la de hora punta, es decir, de 14:00 a 15:30 h.

La emisión y generación de ciertos contaminantes cada día están más controlados, por ello en el sector transporte se suman nuevas y más estrictas normas medioambientales y vehículos clasificados ya en función a etiquetas de catalogación medioambiental, como las de la DGT, abriendo un mayor abanico de alternativas en el mercado que, no solo permiten ya colaborar en mejorar la salud y la calidad del aire, sino incluso en obtener también beneficios fiscales, de uso y de circulación.[42]



- Óxido de nitrógeno según el modelo Panis et al (g):

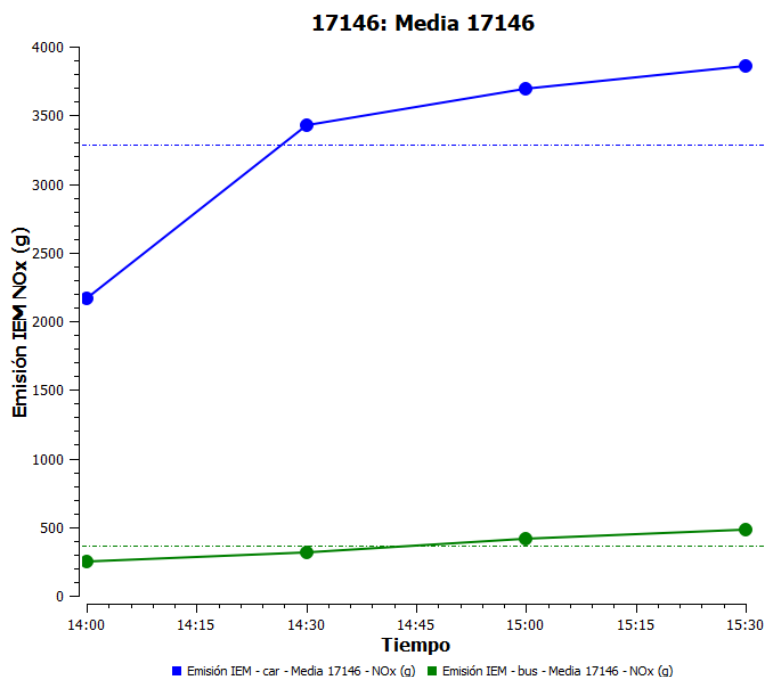


Figura 4.58: Emisión IEM NOx. Fuente: Aimsun.

El NOx, óxido de nitrógeno, es un gas que se produce en los vehículos durante las combustiones a muy alta temperatura en una atmósfera rica en oxígeno, como la de la tierra, y que, en el transporte, principalmente se genera en los motores diésel.

El NOx, por tanto, es un gas contaminante, que daña directamente a la calidad del aire además de afectar de forma negativa a la salud de todos los seres vivos. Aunque, hoy en día, a través de las nuevas tecnologías en limpieza de emisiones los vehículos diésel han conseguido disminuir de forma notoria su producción, a pesar de esto, sigue siendo dentro de los carburantes el que genera los valores más altos. En cambio, Los motores encendidos por chispa, como los de gasolina, emiten una cantidad muy reducida de NOx, por lo que los coches híbridos sin enchufe impulsados parcialmente por un motor eléctrico fomentan la reducción de este contaminante frente a otras tecnologías convencionales.

Como vemos en el gráfico (figura 4.58), se analiza la cantidad de óxidos de nitrógeno (NOx) emitidos a la atmosfera entre la franja horaria de las 14:00 hasta las 15:30, tanto para los coches como para los autobuses. Claramente la cantidad de óxidos de nitrógeno sera menor en el caso de los autobuses dado que le flujo de estos sobre la calzada es menor a la del vehiculo privado. Este contaminante esta en unidades de gramo y como observamos su emision a la



atmosfera es de forma creciente, es decir, este contaminante se acumula y no se dispersa a lo largo de todo el intervalo de tiempo.[43]

- Partículas en suspensión según el modelo Panis et al (g):

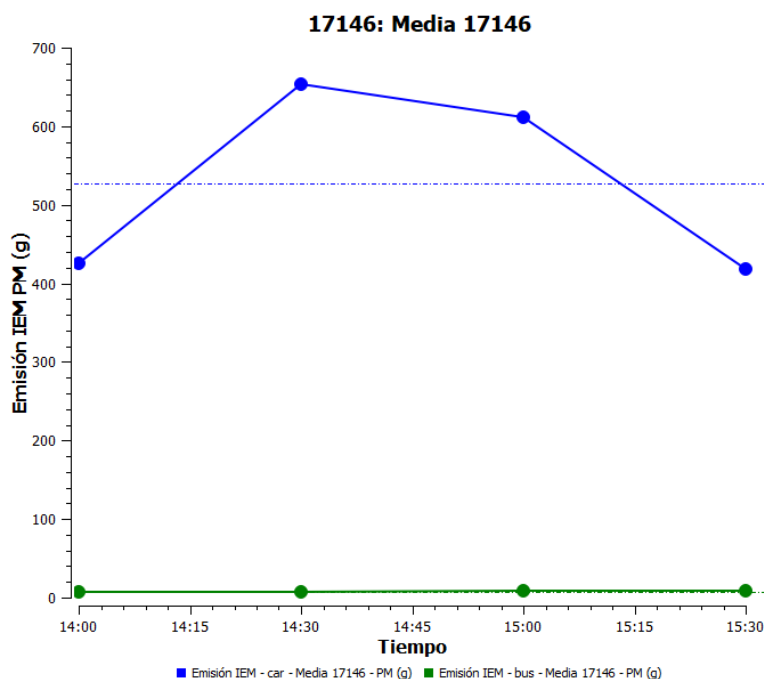


Figura 4.59: Emisión IEM PM. Fuente: Aimsun.

En este gráfico (figura 4.59) se representan las partículas en suspensión que generan los vehículos, la mayoría se produce por combustiones incompletas de los motores diésel, y otras producidas por la fricción generada en los frenos y los neumáticos por el contacto de las ruedas con el suelo, afectando en esta ocasión al aparato respiratorio y al sistema cardiovascular tanto las partículas finas como las gruesas. Estadísticamente la exposición a estas concentraciones se ha asociado a una disminución de unos meses en la media de esperanza de vida de la población.

Además, la preocupación por las partículas atmosféricas también se debe a la capacidad que tienen para afectar al balance de radiación terrestre. Los aerosoles atmosféricos contribuyen en la variación del clima de la tierra, cambiando la cantidad de entrada de radiación solar y la radiación de onda larga terrestre saliente retenido en el sistema de la tierra.

Para disminuir este impacto, muchos de los coches impulsados por carburantes podrían ser sustituidos por otro tipo de vehículos propulsados también de forma eléctrica, mejorando de esta forma la contaminación causada por este tipo de partículas sobre todo en las ciudades.



Analizando la gráfica (figura 4.59), el valor más alto de emisión de material particulado se da a las 14:30 h, a partir de esa hora decrecerá su producción, Esto puede deberse a que hay una mayor cantidad de coches, número de paradas y congestionamientos sobre la calzada, siguiendo fielmente las horas en las que ocurren estos parámetros debido al tamaño de las partículas. Ya que dependiendo de su tamaño se comportan de forma distinta en la atmosfera: las más pequeñas se pueden mantener suspendidas durante largos periodos y viajar cientos de kilómetros mientras que las partículas más grandes no se sostienen en el aire mucho tiempo y tienden a depositarse más cerca de su lugar de origen, sin llegar a acumularse en la atmosfera durante grandes intervalos de tiempo.

- Compuestos orgánicos volátiles según el modelo Panis et al (g):

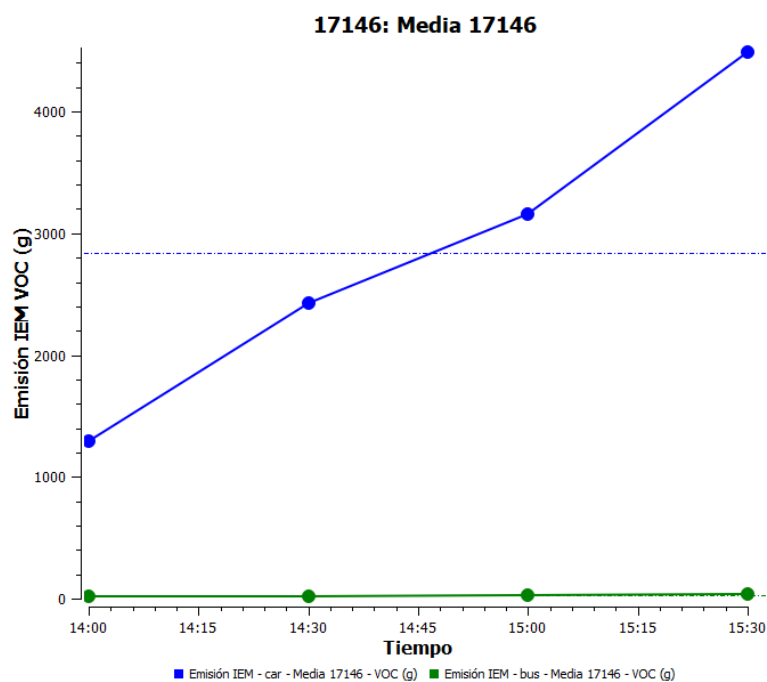


Figura 4.60: Emisión IEM VOC. Fuente: Aimsun.

Los COV, es decir, los compuestos orgánicos volátiles, se liberan durante la quema de combustibles en lo que respecta a nivel transporte, afectando de manera medioambiental como a la salud del ser humano.

En primer lugar, algunos COV son destructores del ozono, como el tetracloruro de carbono, por consiguiente, son compuestos que afectan al fenómeno de reducción de la capa de ozono.



Además, los COV junto con los óxidos de nitrógeno y la luz solar, son causantes del ozono a nivel de suelo (ozono troposférico), produciendo el llamado smog fotoquímico que es una niebla de color marrón-rojizo, perjudicial para la salud provocando daños respiratorios.

También, aparte de afectar a las vías respiratorias, pueden entrar a través de la piel y bioacumularse en las grasas de los organismos vivos.

Haciendo una recopilación de los efectos que pueden producir están: los problemas respiratorios, irritación de ojos y garganta, mareos, efectos psiquiátricos (irritabilidad, dificultad de concentración, etc.). Además, a largo plazo pueden causar daños renales, al hígado o al sistema nervioso central, incluso algunos COV tienen efecto cancerígeno como por ejemplo el benceno.

Observando la representación de los valores en la gráfica (figura 4.60), este tipo de contaminante se va acumulando en la atmosfera de forma progresiva, generando cada vez mayor cantidad de COV en el aire, caso que no ocurría en las partículas en suspensión u otro tipo de contaminante cuyo crecimiento se da, pero en menor medida, provocado posiblemente por la capacidad de dispersión que tiene cada tipo de contaminante dentro de la atmosfera.

Comparando los compuestos orgánicos volátiles con los demás contaminantes proporcionados por el modelo Panis et al, es uno de los que se genera en mayor cantidad, estando solo por encima el dióxido de carbono. Por lo tanto, su reducción en el sector automovilístico sería de gran importancia para la mejora del medioambiente y la salud de los seres vivos.[44]



- Dióxido de carbono según el modelo Panis et al (g):

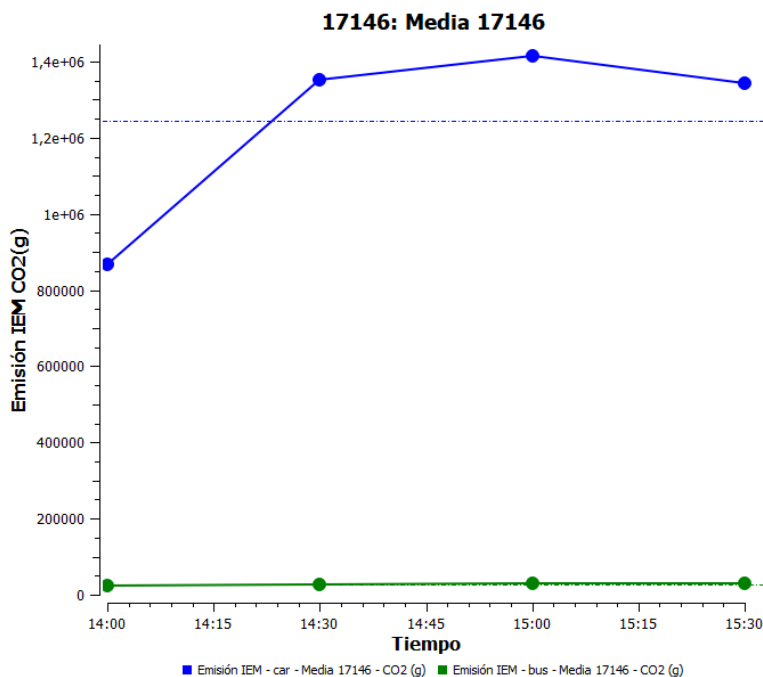


Figura 4.61: Emisión IEM CO2. Fuente: Aimsun.

El CO₂, dióxido de carbono, no es gas contaminante como tal, lo que ocurre es que al emitirse en grandes cantidades acaba siendo la causa principal del efecto invernadero, dando lugar al calentamiento climático. Es decir, mientras el NO_x daña directamente a la salud de las personas, el CO₂ perjudica al planeta, concretamente a la capa de ozono.

Los vehículos que más producen CO₂ son los impulsados por motores de gasolina, porque aparece proporcionalmente ligada al consumo de combustible. Aunque también este tipo de contaminante se ha conseguido reducir a través de las nuevas tecnologías, la clave sigue siendo el gasto de combustible por cada 100 kilómetros: por lo general, los coches con consumos más bajos, respetan más la calidad del aire.

Estudiando la gráfica (figura 4.61), el valor de emisión del CO₂ es creciente con una ligera disminución a partir de las 15:00, esto quiere decir que parte de este gas se dispersara o se producirá en menor cantidad a partir de esa hora.



- Monóxido de carbono según el modelo Quartet (g/s):

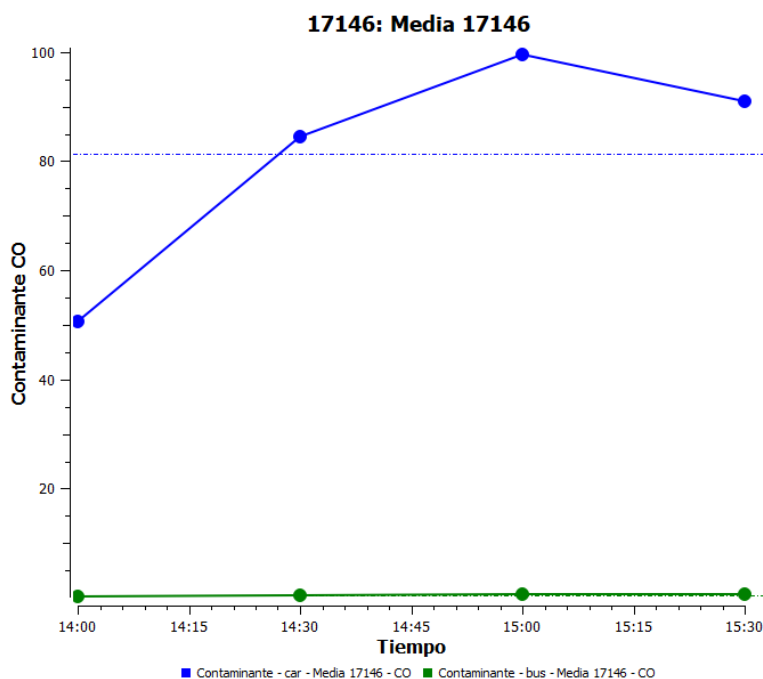


Figura 4.62: Contaminante CO (g/s). Fuente: Aimsun.

El monóxido de carbono (CO) es un gas sin color ni olor generado a causa de una combustión incompleta de carburantes fósiles y de biocombustibles.

El CO afecta a la salud de las personas a través de las vías respiratorias, provocando una disminución de la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre, con la consecuente pérdida de oxigenación de órganos y tejidos, así como problemas cardiacos, daños en el sistema nervioso, dolor de cabeza, mareos y fatiga.

También genera consecuencias sobre el clima, ya que contribuye a la producción de gases de efecto invernadero: su vida media en la atmósfera es de unos tres meses, lo que permite su lenta oxidación para generar CO₂, proceso durante el cual también se forma O₃.

En esta gráfica (figura 4.62) se analiza la cantidad de monóxido de carbono en gramos que se emite a la atmosfera. Como vemos a las 15:00 h su valor es el más alto para después disminuir hasta las 15:30 h.[45]



- Hidrocarburo según el modelo Quartet (g/s):

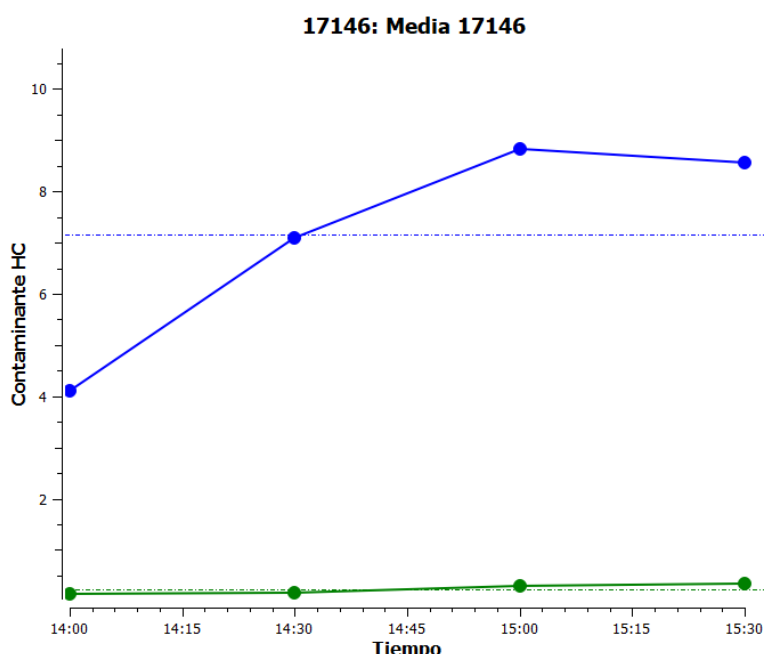


Figura 4.63: Contaminante HC (g/s). Fuente: Aimsun.

Los hidrocarburos (HC) se definen químicamente como compuestos de carbono e hidrógeno. Sin embargo, en los estudios a cerca de la calidad del aire, el compuesto suele abarcar una variedad de otros compuestos orgánicos volátiles, como los alcoholes y los aldehídos. La mayoría de los hidrocarburos no son directamente perjudiciales para la salud a las concentraciones en que se encuentran en el aire ambiente. Pero, a causa de las reacciones químicas que se producen en la tropósfera, desempeñan una importante función en la formación de NO₂ y ozono, que sí son dañinos para la salud y el medio ambiente.

Las emisiones de hidrocarburos procedentes de vehículos automotores se producen cuando la combustión es incompleta, en esta gráfica se representa la emisión de este contaminante a la atmosfera, en el que el punto mas alto se origina a las 15:00 h, esto se debe tanto a la evolucion de este compuesto en la atmosfera como a los diferentes parametros causantes de su generación en esa hora o en otras anteriores. [46]



- Óxido de nitrógeno según el modelo Quartet (g/s):

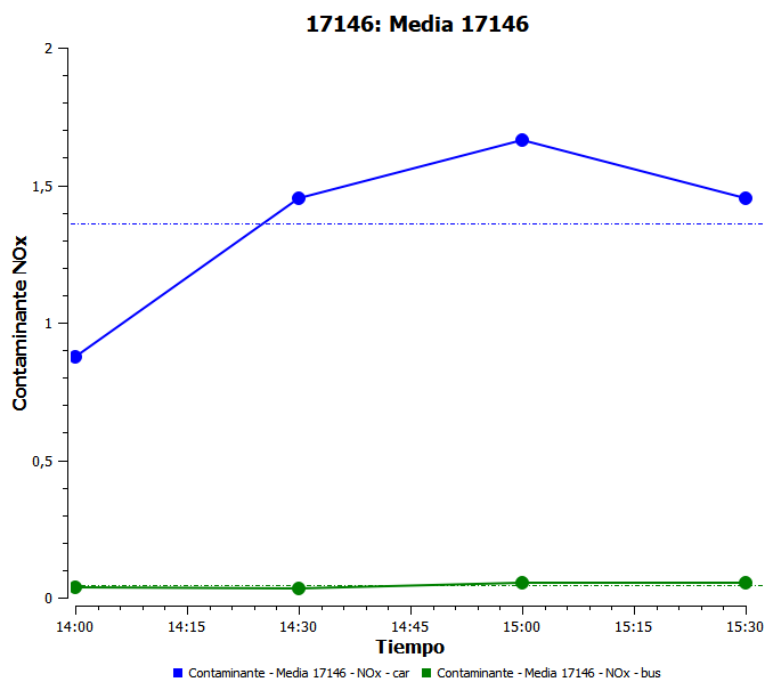


Figura 4.64: Contaminante NOx (g/s). Fuente: Aimsun.

Esta gráfica (figura 4.64) representa los valores de NOx proporcionados por el modelo Quartet en unidades de g/s. Tomando en cuenta las unidades de la velocidad de emisión en ralentí, aceleración y desaceleración, ya que presuponemos que al estar dentro del núcleo urbano Las velocidades no serán constantes por los sucesivas paradas y puestas en marcha de los vehículos ya sea por un accidente, congestionamiento, señales de tráfico o un semáforo. Donde su emisión máxima se encuentra a las 15:00 h.



- Consumo de combustible (l):

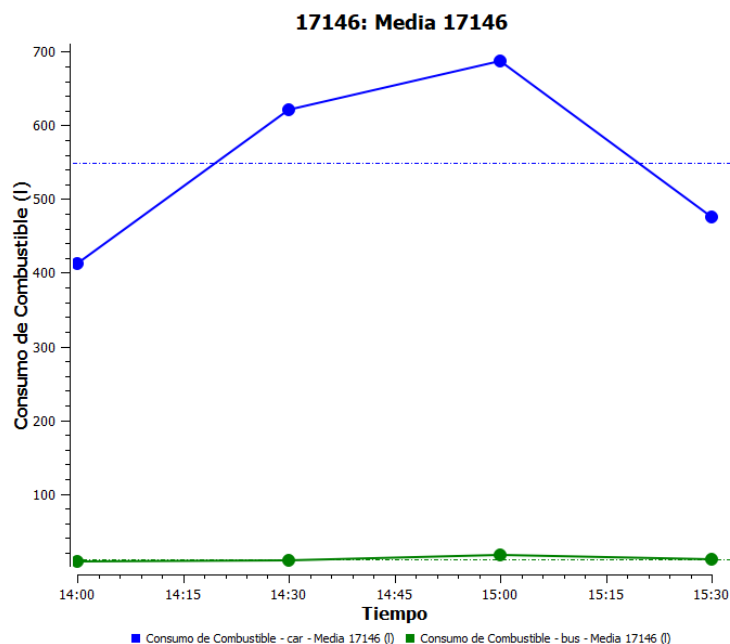


Figura 4.65: Consumo de combustible (l) Fuente: Aimsun.

En esta gráfica (figura 4.65) se representan los valores en litros del consumo de combustible de los autobuses y coche. Como se ve, la hora donde el consumo es mayor es a las 15:00, esto se debe a una conducción poco eficiente por parte del conductor, velocidad de circulación, paradas, etc.

	coches	autobuses
Consumo de combustible (l)	549,09	11,95
Emisión IEM CO ₂ (g)	1244497,01	27920,92
Emisión IEM NO _x (g)	3285,32	366,76
Emisión IEM PM (g)	526,83	7,94
Emisión IEM VOC (g)	2843,12	25,78
Contaminante CO (g/s)	81,39	0,47
Contaminante HC (g/s)	7,15	0,24
Contaminante NO _x (g/s)	1,36	0,04

Tabla 4.5:Valores medios medioambientales modelo inicial. Fuente: Elaboración propia.

4.7.2. Modelo con aumento de autobuses y disminución del número de coches

La movilidad tiene que tener como objetivos, conseguir una circulación fluida y no congestionada, impulsando para ello los transportes alternativos que



utilicen nuevas tecnologías, aquellos que en comparación con los vehículos privados suponen una menor agresión al entorno natural, una reducción de los conflictos sociales y una disminución en el consumo de recursos. Estos fines están más cerca de cumplirlos el transporte público y el colectivo, los cuales para alcanzar la mayor eficiencia deben utilizarse con un nivel suficiente de ocupación, junto con otros modos no motorizados como la bicicleta y la marcha a pie.

Según el IDAE (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía): el transporte público ocupa 50 veces menos espacio por viajero y emite un 70% menos de CO₂ que el transporte privado. Cuando no fuera posible su utilización, la siguiente elección sería utilizar automóviles con alta ocupación. No obstante, el actual índice de ocupación es de 1,3 pasajeros por vehículo; más del 75% de los viajes urbanos se realizan en automóviles privados con una sola persona; y en la ciudad, el 50% de los desplazamientos en coche son para distancias de menos de tres kilómetros y un 10% para recorridos de menos de 500 metros. Desde el IDAE concluyen que el privado, es el modo de transporte menos eficiente y más contaminante.

Resulta evidente que transportar la misma cantidad de personas con menos vehículos, implica limitar el número de éstos en movimiento y, como resultado, disminuir el gasto energético y la contaminación generada.

El fomento de la alta ocupación no es por tanto solamente una forma de paliar la congestión circulatoria. Es, al mismo tiempo, un medio para reducir los efectos dañinos del tráfico, la preservación de los recursos energéticos y del entorno medioambiental.

Así mismo, el espíritu de la nueva movilidad conlleva una mayor sensibilidad social y reclama no dejar atrás a aquellos colectivos de población de movilidad limitada, ya sean éstos debidos a la edad o algún tipo de discapacidad.

Este nuevo enfoque exige sentar las bases de una nueva conciencia sobre la movilidad, de forma que cualquier medida que tenga como objetivo reorientar la movilidad hacia un modelo más sostenible, pasa por desarrollar al mismo tiempo dos actuaciones básicas complementarias y de sentido contrario.

- La potenciación del uso de los transportes públicos y alternativos que permitan a las personas utilizar el transporte colectivo, ir en bicicleta o andar en condiciones óptimas de comodidad y seguridad.

- La reducción de la utilización del automóvil privado.



Por eso en este modelo se va a simular una crecida del uso del autobús por parte de las personas, frente al uso del vehículo privado que se verá reducido al usar el transporte público.

Para realizar este cambio, las franjas horarias de salida de los autobuses se producirán en intervalos de tiempo más pequeños, en este caso las salidas se producirán cada 10 minutos con una desviación de 2 minutos. En cambio, la matriz O/D del modelo original se va a dividir en un 30% y un 70% de su flujo inicial, este último porcentaje ira destinado al flujo de los vehículos privados, esta reducción se debe a que los coches tienen una capacidad de 5 personas mientras que la capacidad de los autobuses es mucho mayor, un total de 50 personas.

Por lo tanto, al dar unos intervalos de salida de autobuses más pequeños y un porcentaje del 70% a los coches para reducir el flujo de vehículos privados y aumentar el uso del transporte público hay que tomar en cuenta la diferencia de capacidades de los diferentes vehículos.

Una vez creadas las matrices O/D para coches por franjas horarias de media hora, e intervalos de salidas para los autobuses, en un periodo de tiempo entre las 13:30 y las 15:30, crearemos una demanda de tráfico donde colocaremos las nuevas matrices.

Una vez que se halla establecido la demanda de tráfico, dentro del escenario dinámico elegiremos dicha demanda creada con anterioridad para que así se simule el modelo correspondiente a los parámetros elegidos por nosotros y obtener de esta manera los resultados adecuados para su posterior análisis.



- Flujo:

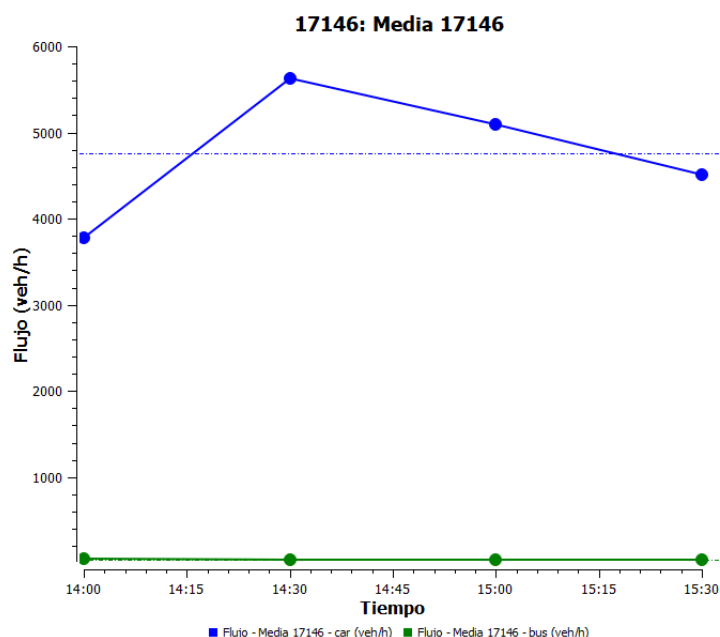


Figura 4.66: Flujo del modelo 1. Fuente: Aimsun.

Como podemos ver en la gráfica (figura 4.66), el flujo de vehículos privados a decremado un 30 % respecto del modelo original, a la vez que el flujo de autobuses ha aumentado. Sin embargo, los valores de los autobuses en esta gráfica son casi imperceptibles, por lo que en este caso nos fijaremos más en los datos numéricos para hacer la comparativa entre un modelo y otro de forma más precisa. Dichos valores se corresponden con un 46,5 respecto a un 19,5 de autobuses/h del modelo original.

También, al hacer la comparativa hay ciertos aspectos que se mantienen iguales, como la hora donde hay mayor flujo de vehículos/h, que sigue siendo las 14:30 en el caso de los coches. Mientras que el flujo de los autobuses sigue unos valores parecidos a lo largo de toda la simulación, esto es debido a la creación de intervalos de tiempo entre salidas que hace que se mantenga constante este valor con unas desviaciones muy pequeñas.

En la figura 4.67 se representa el número de vehículos parados sobre la calzada, a causa del congestionamiento del tráfico. Como podemos observar la cola de vehículos es menor que en el modelo original, figura 5.57. Esto se debe a la reducción de vehículos privados y aumento de autobuses, cuya ocupación sobre la calzada será menor al verse sustituidos varios vehículos por un autobús.



Figura 4.67: Mapa de las colas medias del barrio de La Rondilla modelo 1. Fuente: Aimsun

En las tablas 4.6 y 4.7 se muestran los valores de los demás parámetros, para poder hacer las comparaciones con los demás modelos.

	Coches	Autobuses
Cola media (veh)	172,95	4,97
Velocidad (km/h)	22,98	15,61
Tiempo de viaje (seg/km)	243,58	337,65
Tiempo de parada (seg/km)	152,93	167,4
Tiempo de demora (seg/km)	174,54	201,64
Flujo (veh/h)	4752,62	46,5

Tabla 4.6: Valores medios de los parámetros globales modelo 1. Fuente: Elaboración propia

	Coche	Autobuses
Consumo de combustible (l)	377,93	21,16
Emisión IEM CO ₂ (g)	798012,82	50491,75
Emisión IEM NO _x (g)	2018,78	507,86
Emisión IEM PM (g)	389	15,82
Emisión IEM VOC (g)	1231,93	35,88
Contaminante CO (g/s)	46,42	0,81
Contaminante HC (g/s)	3,79	0,3
Contaminante NO _x (g/s)	0,8	0,06

Tabla 4.7: Valores medios medioambientales modelo 1. Fuente: Elaboración propia



4.7.3. Modelo con carril bus

En este modelo se van a implantar en algunas secciones del barrio de La Rondilla carriles bus-vao-eco, para mejorar la movilidad y sostenibilidad del modelo original y el modelo 1, con la premisa de un aumento del transporte público y una reducción del vehículo privado.

4.7.3.1. Plataformas especiales, definición, rasgos y tipos.

Los carriles especiales, son bandas de la calzada implantadas en sitios propios, las cuales forman parte de la red viaria. Parte de las vías generales pueden reservarse para ser utilizadas por determinados modos de transporte, pero integrándose con el resto del sistema de transporte.

Se distinguen dos formas a la hora de unir este tipo de vías al conjunto de tráfico:

- Exclusivas: las que se encuentran aisladas por algún tipo de barrera de separación del resto de la calzada, son utilizadas únicamente por el o los modos de transporte al que estarán dedicadas.
- Unidas al resto del viario: utilizan una parte de la vía pública, sin que exista separación física del resto, por lo que pueden ser usadas por modos diferentes de transporte al que en principio están destinadas.

Por el sentido de circulación pueden diferenciarse varios tipos de plataformas, los más frecuentes en vías urbanas, son los que van en el mismo sentido de la circulación que los carriles contiguos. Pueden funcionar eficazmente con o sin barreras físicas de separación del resto de las franjas de circulación.[47]



Figura 4.68: Carril reservado con barrera física. Recuperado de:
https://cflvdg.avoz.es/sc/iaqh_dzN-kSbSCWeXAgFPkCkWjU=/x/2016/03/11/00121457693161691603872/Foto/H04N9109.jpg



Los distintos tipos de carriles reservados para su regulación son:

- Carril VAO (Vehículos de Alta Ocupación), destinados para la circulación de vehículos con un determinado número de ocupantes como mínimo.
- Carril-bus: destinado exclusivamente a la circulación de autobuses
- Carriles Bus/Taxi
- Carriles Bus/Vao: reservado a autobuses y Vehículos de alta ocupación.

Existen otras variantes de los anteriores, como, carriles/Bus/Vao/Taxi, carriles Bus/Vao/Eco, Carril Bus/bici. A todos ellos se pueden añadir vehículos para el servicio público (bomberos, ambulancias), etc.

4.7.3.2. Criterios de implantación, localización y señalización.

En principio Los carriles bus solo se implantaban en aquellas vías que padecían de frecuente congestión y notables retrasos en el manejo de las líneas de autobuses. No obstante, el devenir de una nueva conciencia sobre la movilidad entre los ciudadanos, justifica el establecimiento de un carril reservado para autobuses y otro tipo de vehículos, utilizándose como un instrumento para el fomento del transporte colectivo y sostenible.

Los carriles bus establecidos sobre vías de circulación requieren de su señalización y pueden provocar ciertas complicaciones, entre ellas: dificultar la circulación de los demás vehículos, singularmente los giros, impedir el estacionamiento y el acceso a los usos de sus márgenes a los vehículos particulares, comerciales, etc. Por ello, la elección de instaurar una plataforma especial para autobuses, debe ir acompañada de la búsqueda de soluciones, para paliar estos efectos negativos en la medida de lo posible.

Es recomendable localizar los carriles reservados en la parte derecha de la calzada. También es aconsejable que queden definidos mediante marcas sobre el pavimento con su oportuna señalización, en mejor medida que por medio de barreras físicas. Además de ser conveniente su anuncio mediante señales verticales.[48]



Figura 4.69: Señalización de las calzadas. Recuperado de: https://4.bp.blogspot.com/-iHT7wkVLuOM/XDA3JGNJf6I/AAAAAAAAABzc/XZyblDhP7Bc8uExAxNAzWxTjHD1_sDyVACLcBGAs/s1600/DvMnD4fX4AcQZeC.jpg

4.7.3.3. Implantación del carril bus-vao-eco

La idea que aquí se simula, es la del establecimiento de una plataforma reservada para “carriles bus-vao-eco” como instrumento de imposición del transporte público sostenible a su paso por el Barrio de La Rondilla.

Así mismo, teniendo como finalidad el uso de vehículos eléctricos o híbridos. Adoptando, por tanto, una discriminación positiva hacia los vehículos más respetuosos con el entorno natural y utilizando como herramienta eficiente el servicio de la gestión municipal, tanto de aquellas medidas restrictivas de tráfico, como de promoción de aquellos vehículos de 0 o bajas emisiones contaminantes, a través de beneficios fiscales, sin olvidarnos también de un aspecto más social.



Figura 4.70: Carril bus-vao-eco. Recuperado de: https://lh3.googleusercontent.com/proxy/_HTi9_eEEwAohbGvzuXIL1fdpevgNUgyRe7yjUXHISvMoVBaahFHIIWW3AtMK7cJigHEpFxiEhO3oAfd6vyjOwRmJUTO59cObOskuTCpltC1yz8cARQV9sPRwZV8VISVktIag3sYOa68hmQ55Ag



Los carriles bus/vao/eco son vías de circulación reservadas para autobuses y vehículos de alta ocupación (vao), que transitan con dos o más personas o tienen algún cometido social y con etiqueta cero emisiones o (eco) registrados como tales en la administración competente, en este caso la Dirección General de Tráfico (DGT), prestando especial atención a los vehículos 100% eléctricos.

4.7.3.4. Vehículos que pueden circular el Carril bus/vao/eco

La administración competente, para dictar normas que regulan el tipo de vehículos que puede circular por un carril bus-vao-eco, está en manos de los ayuntamientos, por lo cual estas normas acaban siendo muy dispares, de forma que cada ciudad aplica sus propios criterios.

Teniendo en cuenta los objetivos apuntados en el correspondiente epígrafe anterior, los vehículos que podrían hacer uso del carril serían:

- Tipo de vehículo: autobuses, autobuses con masa máxima autorizada superior a 3.500 kilogramos, autobuses articulados, Vehículos con 0 emisiones o ECO. Otro tipo de vehículos como, los turismos, los turismos con remolque, los ciclomotores, las bicicletas, o aquellos que tengan tracción animal estarían prohibidos en este tipo de vía.
- Número de ocupantes: se establece un mínimo de dos ocupantes en cada vehículo, incluido el conductor.
- Vehículos especiales que pueden usar el carril Bus pese a estar ocupados únicamente por el conductor, el motivo es la existencia de una serie de automóviles que tienen unas condiciones especiales:
 - Vehículos con distintivo ambiental “cero emisiones y ECO” registrados como tal en la DGT. Deberán llevar dicho distintivo de manera visible.
 - Vehículo con señal V-15 de velocidad reducida, son vehículos ocupados por un solo conductor, el citado indicativo anuncia que su conductor tiene alguna minusvalía que hace que su movilidad sea reducida.



Indica que el conductor del vehículo es una persona discapacitada con movilidad reducida

Figura 4.71: señal V-15. Recuperado de:
<http://autoescuelasjulio.com/wp-content/uploads/2017/05/se%C3%B1al-v15.png>



- Taxis y vehículos compartidos con etiqueta “cero emisiones y ECO” estos últimos vehículos, deberán llevar el distintivo que le identifica como coche compartido, pegado en el ángulo superior izquierdo del parabrisas.
- Vehículos destinados a los servicios públicos en servicios de urgencias, como policías, bomberos, ambulancias, protección civil, salvamento, y equipados para mantenimiento de las vías.
- cumplimiento de las normas generales de circulación:
 - Límite de velocidad el mismo que esté fijado en dicho tramo.
 - Mantener la distancia de seguridad y respetar las normas de preferencia de paso tanto en los accesos como salida de los mismos.

El carril reservado Bus/Vao/Eco, que aquí se propone, se integraría en la red viaria general. Pero discurriría por ésta convenientemente señalizada mediante marcas especiales, de forma que los conductores puedan identificarlas. Estas marcas se representarían mediante informaciones y símbolos escritos o dibujados en el pavimento o en carteles, en los que quedaría plasmado que tipo y el número de ocupantes exigido por vehículo.[49]

4.7.3.5. Beneficios de la implantación de un carril

La finalidad de la inserción de estos carriles en el entramado urbano tiene como metas:

- Facilitar la circulación de los autobuses.
- Utilizarse como método para dificultar el uso del coche, reduciendo el viario para el automóvil, a fin de conseguir un barrio más humanizado.
- Reducción de la congestión de las calles, aportando agilidad y fluidez al tráfico.
- Mejorar la accesibilidad de todas las personas, y especialmente aquellas con movilidad reducida en un barrio en el que el porcentaje de personas de la tercera edad es elevado.
- Dedicar menor tiempo a recorrer la distancia que separa a los vecinos, de los lugares donde acuden a cubrir sus necesidades o deseos.
- Aumento de las velocidades medias de circulación, con lo que se mejora notablemente los tiempos de viaje; acortándolos, al mismo tiempo que se garantiza la regularidad, haciendo del autobús un modo más competitivo.
- Incentivar que en los coches no viaje solamente una persona y de este modo reducir el número de automóviles en el interior del barrio.
- Reducción de la contaminación, Contribuyendo con ello a una movilidad sostenible y a la lucha contra el cambio climático.



La reserva de este espacio exclusivo para el tipo de vehículos descrito, tiene consecuencias positivas de diverso orden:

- Amplía la capacidad del viario al aumentarse los rendimientos en tiempo y frecuencia, dando al mismo tiempo una respuesta más versátil, a la demanda de los viajeros.
- Circulan en las horas punta con una mayor fluidez que los carriles normales, con lo que los utilizan llegan antes a su destino.
- Proyecta un efecto psicológico, sobre el usuario de los vehículos que están atascados en los carriles normales, que ven como por el carril-bus se circula sin problemas, experimentando un aumento de su predisposición a compartir su vehículo o pasarse al autobús.
- Tiene ventajas económicas al ahorrarse dinero sus usuarios.
- Al disminuir las emisiones contaminantes y el ruido, mejoran la calidad ambiental y con ello procuran mejores condiciones de vida para los ciudadanos en general.
- Sirven para fomentar el uso de vehículos de bajas emisiones.
- Se propician las relaciones sociales e intergeneracionales, al poder conocer gente nueva viajando en compañía.

4.7.3.6. Modelado de las vías urbanas

El establecimiento de un carril especial, requiere el rediseño de las vías existentes por donde circularan los vehículos autorizados, sin que por ello dejen de satisfacerse las funciones asociadas a cada tipo de vía, por donde se simula la intervención.

Parámetros de la sección transversal

Para alcanzar los objetivos pretendidos en este ejercicio de simulación, se requiere la modificación del modelado actual, de aquellas calles del itinerario afectado, donde se establezca la calzada especial bus/vao/eco.

Los elementos más comunes de la sección transversal que se pueden encontrar en el itinerario del autobús y que tendrían un nuevo diseño serían:

- Las bandas de circulación rodada.
- El carril especial.
- Las bandas de estacionamiento adosadas a la calzada.
- Las aceras.



- Las bandas de circulación rodada:

Todo el itinerario se remodelará para la implantación en la calzada de dos carriles, uno convencional para la circulación general y el otro adyacente situado en la parte derecha de la viario, para la circulación de vehículos bus/vao/eco.

- El carril Especial bus/vao/eco:

La plataforma especial ira unida al resto de las vías, sin que exista separación física del resto, pudiendo ser usada por diferentes medios de transporte al que en un principio está destinada.

Funcionará como un carril multiuso, actuando como carril bus/vao/eco en las horas punta de la mañana y tarde de forma exclusiva. Los días laborables y al resto de las franjas horarias del día, se la añadiría en las horas valle, como espacio para la carga y descarga y a partir de las horas en que no circule el autobús, como zona de aparcamiento libre por las noches.

El carril especial irá en el mismo sentido de la circulación que un carril contiguo, a lo largo de todo el trayecto.

La anchura del carril especial se ejecutaría en función de la recomendada para carriles sin separación física, que es de 4 metros en el caso que nos ocupa.

La zona de parada del autobús se localizaría sobre la misma vía de circulación, interrumpiendo por tanto la circulación en ese tramo, puesto que la banda de circulación reservada es prioritaria para el autobús, si coincidiese en el espacio y tiempo la parada del autobús y la circulación de otro tipo de vehículo autorizado para ello, al no existir separación física entre la calzada especial y la convencional, el vehículo retenido podría ocupar este último carril y continuar su marcha.

Se tomará como referencia para su implantación, un sistema informático probado en Castellón, en el que los autobuses van dotados de GPS, los carriles llevan unas marcas viarias intermitentes, que emplean un sistema de dirección óptica y que posibilita a los autobuses estacionar con una gran precisión, de forma que se pueden acercar tanto en las paradas a las aceras, que no es necesario desplegar rampas para las personas con movilidad reducida. También están dotados de mecanismos que les abren los semáforos en caso de aglomeración.

Las zonas de carga y descarga se habilitarían, mediante un área de detención de los vehículos en un área específica, fuera de la calzada de circulación.



Igualmente se procedería, con las áreas dedicadas a los contenedores de recogida de basuras y reciclado de diversos materiales y fluidos.

- Las bandas de estacionamiento adosadas a la calzada:

Para cumplir los objetivos que persigue este trabajo. Las bandas de estacionamiento laterales a las vías de circulación, por donde discurre el itinerario de los autobuses urbanos, serían suprimidas allí donde se necesitará una nueva remodelación del perfil transversal.

- Aceras:

En el modelado de las aceras, deberá atenderse:

- A las funciones concretas que cumple cada tramo del itinerario afectado.
- A la continuidad de los recorridos peatonales,
- A la diversidad de sus usuarios y a sus facultades y necesidades respectivas, especialmente a las personas mayores y personas con discapacidades motoras, niños, adultos, etc.

El acerado de las calles se ampliará, en la medida que el espacio liberado por la supresión de aparcamientos, en cada tramo lo permita, aumentando con ello, el espacio peatonalizado en todo el trayecto del viario, donde se establezca el carril especial. En ningún caso, la anchura de las aceras será inferior a la actual.[48]

4.7.3.7. Localización

La localización del carril bus/vao/eco se implantaría, en el itinerario que cubre la ruta del servicio de autobuses existente, a su paso por el barrio de La Rondilla, con sus respectivas paradas en ella establecidas.

- Línea C2: Parquesol - Villa de Prado - Girón - La Victoria - Rondilla - Pilarica - Pajarillos - Delicias - Parquesol.

- Calle Tirso de Molina frente Seminario
↓
- Calle Cardenal Torquemada esquina Tirso de Molina
↓ ● 1 ● 17
- Calle Cardenal Cisneros esquina San Juan de Ávila
↓ ● 17
- Calle Cerrada 1 esquina Santa Clara
↓ ● 17



- Parada Calle Tirso de molina frente al Seminario:

El Primer tramo de este itinerario donde se encuentra ubicada esta parada, tiene su inicio en el Puente de la Condesa Eyo Alfonso, discurre por la calle Tirso de Molina hasta la calle Mirabel. La calzada se encuentra dotada de tres carriles, dos de los cuales circulan en el mismo sentido, uno de éstos, el situado más a la derecha, se reconvertiría en carril especial.

A partir de la calle Maribel y en su entronque con la calle Torquemada, el perfil transversal de la vía, se encuentra conformado por dos bandas de circulación rodada juntas y en cada una de ellas, en sus respectivos lados adyacentes las bandas de aparcamiento en línea, a su vez con sus aceras respectivas adosadas en cada lado.

El diseño nuevo de este tramo consistiría en la eliminación de la banda de estacionamiento situada a la derecha en el sentido de la circulación, permaneciendo los dos carriles de circulación, pero reservándose uno de ellos como carril bus/vao/eco. Peatonalizándose el resto de las dimensiones del perfil transversal, mediante la ampliación de la anchura de las aceras a ambos lados de la calle.

- Parada Calle Cardenal Torquemada esquina Tirso de Molina:

El tramo donde se encuentra ubicada esta parada, discurre desde la intersección de la calle Tirso de Molina con la calle Cardenal Torquema, hasta el enlace de esta última con la calle Cardenal Cisneros. La calzada se encuentra dotada de dos carriles, uno de ellos, el situado a la derecha del sentido de la circulación, se reconvertiría en carril especial.

El perfil transversal de la calle Torquemada está conformado por dos carriles y en sus laterales adyacentes dos bandas de estacionamiento en línea respectivamente, con sus aceras respectivas adosadas en cada lado.

El nuevo modelado de este tramo consistiría en la eliminación de la banda de estacionamiento derecha, quedando los mismos dos carriles de circulación. Pero reservándose el situado a la derecha como plataforma especial. Peatonalizándose el resto de la dimensioe del perfil transversal, mediante la ampliación de la anchura de las aceras de ambos lados de la calle.

La ubicación de la parada de autobús, se mantendría en su estado actual caracterizada por encontrarse situada sobre la misma vía de circulación. Igualmente se respetaría en sus condiciones actuales la parada de taxis existente en esta calle.



- Parada Calle Cardenal Cisneros esquina Juan de Ávila:

El tramo donde se encuentra ubicada esta parada, discurre, desde el entronque de la calle Cardenal Torquemada con la calle Cardenal Cisneros, hasta la intersección que enlaza con la calle Cerrada.

El viario Urbano en este tramo está conformado por dos carriles, en el mismo sentido de la circulación que los otros tramos del itinerario y en sus laterales adyacentes dos bandas de estacionamiento en oblicuo, con sus aceras respectivas adosadas a cada lado.

El rediseño de este tramo consistiría en la eliminación de la banda de estacionamiento derecha, quedando los mismos dos carriles de circulación. Pero reservándose el situado a la derecha como carril especial. La banda de estacionamiento izquierda conservaría su disposición actual y se peatonalizaría el resto del perfil transversal, mediante la ampliación de la anchura de las aceras en ambos lados de la calle.

La ubicación de la parada de autobús, se mantendría en su estado actual, caracterizada por encontrarse situada sobre la misma vía de circulación.

- Parada Calle Cerrada 1 esquina Santa Clara:

El tramo donde se encuentra ubicada esta parada, discurre, desde el enlace de la calle Cardenal Cisneros, hasta la intersección que conforma con la Avenida de Palencia y la calle Santa Clara.

El viario Urbano aquí está formado por dos carriles con el mismo sentido de circulación y en sus laterales adyacentes dos bandas de estacionamiento, la situada a la derecha en el sentido de la circulación en oblicuo y la de la izquierda en línea, con sus aceras respectivas adosadas a ambos lados.

La remodelación de este tramo consistiría en la eliminación de la banda de estacionamiento derecha, permaneciendo dos carriles de circulación. Pero reservándose el situado a la derecha como plataforma especial. La banda de aparcamiento izquierda conservaría su disposición actual y se peatonalizaría el resto del perfil transversal, mediante la ampliación de la anchura de las aceras a ambos lados de la calle.

La ubicación de la parada de autobús, se mantendría en su estado actual, caracterizada por encontrarse situada sobre la misma vía de circulación.



- Línea 2: San Pedro Regalado - Plaza España - Estaciones – Covaresa.

● Avenida Palencia 41 Policía Municipal



● Calle Santa Clara 34 esquina Real de Burgos

Se ha escogido la remodelación de esta línea al observarse en los anteriores modelos de simulación que es una de las zonas con mayor flujo y donde se sufre un mayor congestionamiento, es decir, donde hay un mayor número de vehículos en cola.

Como medida a estos problemas y por tanto la consecución de una circulación más fluida se va a realizar en este tramo, la instauración de un carril especial, mejorando así los tiempos de viaje y paradas, demoras además de la reducción de colas y contaminación.

- Parada Avenida Palencia 41 Policía Municipal:

El tramo donde se encuentra ubicada esta parada se encuentra en la Avenida Palencia, concretamente en el recorrido que va desde la Avenida Santander hacia el centro de Valladolid.

La calzada está conformada por 4 carriles, dos en el mismo sentido y los otros dos en el sentido contrario. Pero los carriles que forman esta línea son los dos que van en el sentido con dirección al centro de la ciudad. Por lo que, el carril de la derecha se reservara como carril especial.

La ubicación de la parada de autobús, se mantendría en su estado actual, caracterizada por encontrarse situada sobre la misma vía de circulación.

- Parada Calle Santa Clara 34 esquina Real de Burgos:

El tramo donde se encuentra ubicada esta parada, es al principio de la Calle Real de Burgos, después de la intersección de la Avenida de Palencia con las calles Real de Burgos, Santa Clara y Cerrada.

La vía está formada por tres carriles en la misma dirección, reservándose el situado a la derecha como carril bus-vao-eco.

La ubicación de la parada de autobús, se mantendría en su estado actual, caracterizada por encontrarse situada sobre la misma vía de circulación.



- Línea 1: Covaresa - P Zorrilla - Fuente Dorada - Rondilla - Barrio España.

📍 Calle Gondomar 12 esquina Santa Clara



📍 Calle Cardenal Torquemada esquina Rondilla Santa Teresa



📍 Calle Cardenal Torquemada esquina Tirso de Molina



📍 Calle Cardenal Torquemada 50 esquina Soto



📍 Calle Cardenal Torquemada 54 Centro Salud Rondilla



📍 Calle Cardenal Torquemada frente Polideportivo Rondilla

- Parada calle Cardenal Torquemada 54 Centro Salud Rondilla:

Esta parada se encuentra dentro de la línea 1, ubicada en la calle Cardenal Torquemada.

El perfil transversal de la calzada se compone de dos vías cada una hacia un sentido, y dos aparcamientos en línea a ambos lados de las vías. Por lo tanto, para la transformación del perfil transversal eliminaremos los dos aparcamientos y crearemos un carril especial, aparte de ensanchar las aceras.

Con estas medidas se quiere facilitar la circulación de los autobuses en dicha zona, ya que en simulaciones anteriores se generaban embotellamientos creando colas de vehículos de grandes magnitudes, proyectando a la vez un efecto psicológico, sobre el usuario de los vehículos que están atascados en los carriles normales, que ven como por el carril- bus se circula sin problemas, experimentando un aumento de su predisposición a compartir su vehículo o pasarse al autobús, además la velocidad media del transporte público se verá aumentada en comparación con los demás vehículos. Al ensanchar las aceras también ayudara a la creación de un entorno más amigable para los viandantes.



En la siguiente imagen se representa en color rojo las secciones donde existe los carriles bus-vao-eco.

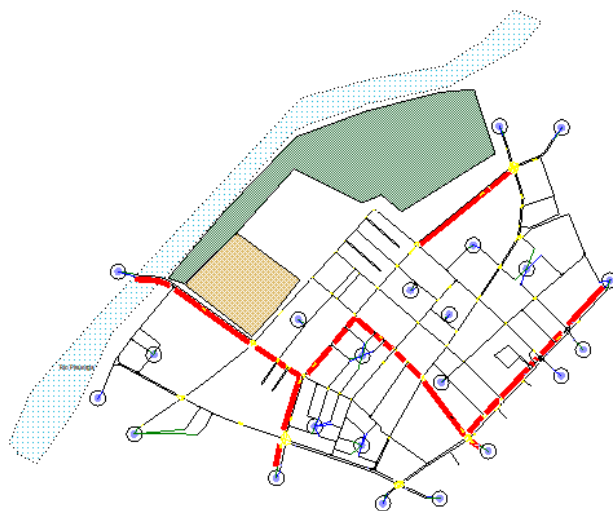


Figura 4.72: Representación de los carriles bus-vao-eco en la Rondilla. Fuente: Aimsun.

Otra imagen que representa uno de los grandes objetivos por el cual hemos implantado un carril especial es la consecución de tráfico fluido sin congestionamientos, es decir, sin colas. La figura 4.73 a través de varios colores simboliza donde hay mayor número de vehículos en espera. Como vemos, la mayor parte de las secciones están en verde, que quiere decir que no hay vehículos en la cola. Además, si lo comparamos con el modelo original, en la figura 4.57 y modelo 1 figura 4.67, podemos observar la gran mejora que supone la implantación de estos carriles.



Figura 4.73: Cola media (veh) en el modelo 2. Fuente: Aimsun.

En las siguientes tablas se muestran los valores medios obtenidos por medio del programa Aimsun.

	coche	autobús
velocidad (km/h)	23,71	17,52
Flujo (veh/h)	4519,4	38,7
Tiempo de viaje (seg/km)	207,74	236,12
Tiempo de parada (seg/km)	117,09	86,88
Tiempo de demora (seg/km)	138,65	121,07
Cola media (veh)	184,65	4,52

Tabla 4.8: Valores medios de parámetros globales del modelo 2. Fuente: Elaboración propia.

	coche	autobús
Consumo de combustible (l)	331,86	12,92
Emisión IEM CO ₂ (g)	766708,46	41150,96
Emisión IEM NO _x (g)	1967,39	437,02
Emisión IEM PM (g)	360,41	12,51
Emisión IEM VOC (g)	1276,93	30,9
Contaminante CO (g/s)	38,42	0,54
Contaminante HC (g/s)	3,02	0,17
Contaminante NO _x (g/s)	0,68	0,04

Tabla 4.9: Valores medios medioambientales modelo 2. Fuente: Elaboración propia.



CAPITULO 5: RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES





A partir de los diferentes modelos simulados se van a sacar una serie de conclusiones con los resultados obtenidos.

Las conclusiones, se van a recabar a través de los gráficos de los diferentes parámetros que se van a estudiar. Cada parámetro tendrá dos gráficos correspondientes al tipo de vehículo y cada uno de ellos estará formado por tres líneas correspondientes a cada modelo simulado. Así podremos analizar las diferencias de ejecutar un modelo u otro y ver los beneficios o desventajas de implantar unas medidas u otras.

- Flujo:

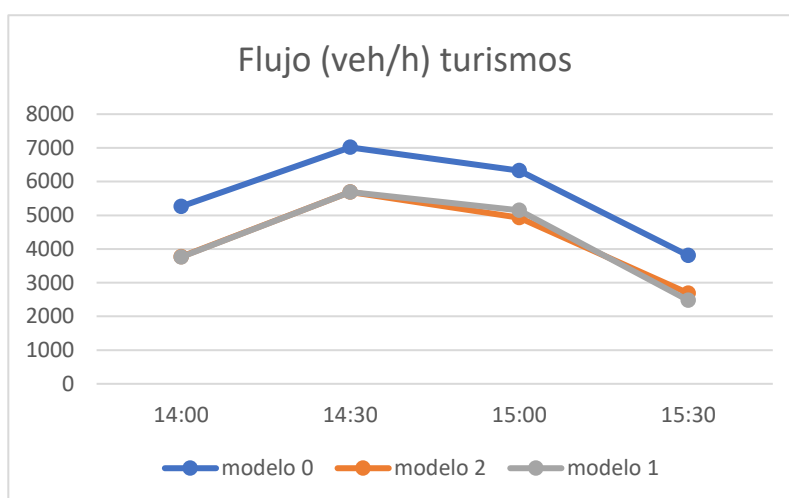


Figura 5.2: Flujo (veh/h) del turismo. Fuente: Elaboración propia.

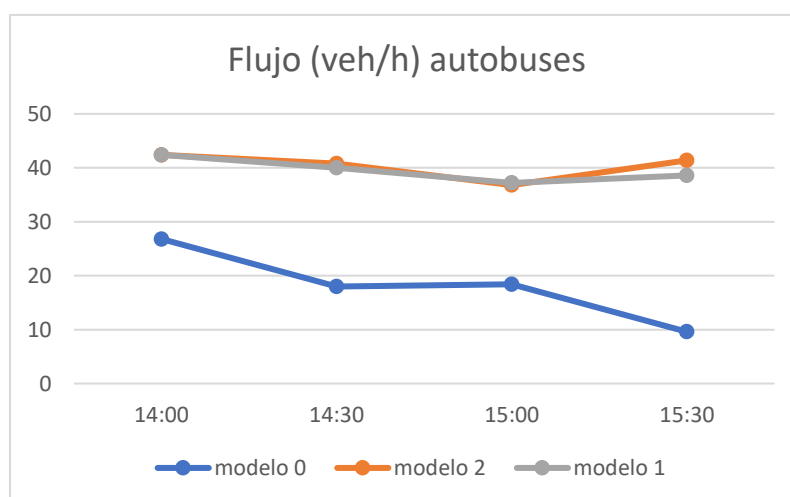


Figura 5.1: Flujo (veh/h) del autobús. Fuente: Elaboración propia.

Ante los valores representados en las gráficas (figura 5.1, figura 5.2) se observa que el flujo de coches se ha reducido un 30% del total en el modelo uno y dos. De forma paralela a dicha disminución se ha aumentado el número de autobuses disminuyendo los intervalos de salida a unos 10 minutos,



generando así un aumento del uso del transporte público que tendrá como consecuencia una disminución del vehículo privado.

Por otra parte, tanto en el modelo uno como en el modelo dos se observa que la variación del número de vehículos es casi nula, esto es debido a que en ambos modelos se ha mantenido el mismo flujo produciendo solo un cambio de este parámetro respecto del modelo original.

- Velocidad:

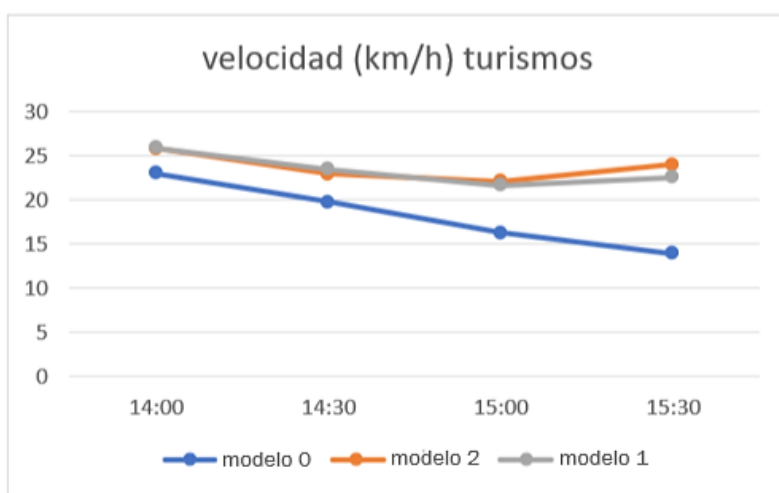


Figura 5.3: Velocidad (km/h) del turismo. Fuente: Elaboración propia.

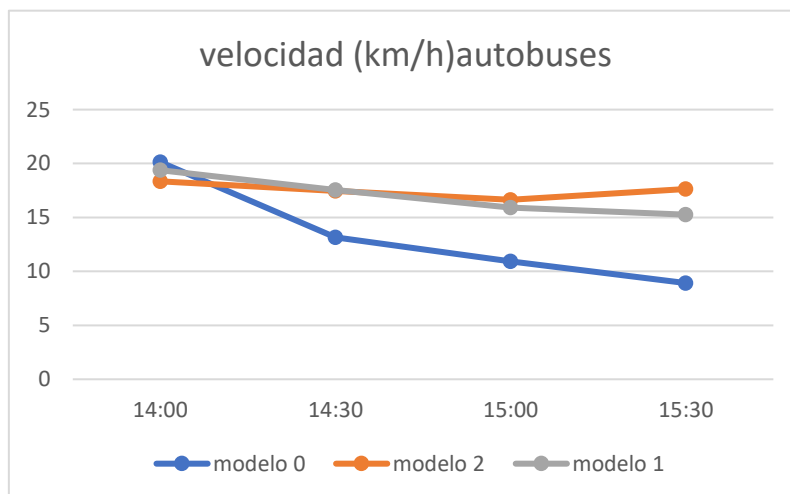


Figura 5.4: Velocidad (km/h) del autobús. Fuente: Elaboración propia.

La velocidad se expresa en km/h, parece destacable que la velocidad alcance el valor máximo de 23h km/h cuando las vías tienen una velocidad máxima 50 km/h. Esto es debido a que no sólo considera la velocidad cuando los vehículos están en movimiento, si no que contempla el tiempo de estacionamiento en los semáforos, retenciones y deceleración. También, comparando la velocidad de los coches con la de los autobuses, vemos que la de los autobuses es inferior



debido a las dimensiones de este, que reducen su movimiento hasta cierto grado.

Analizando la gráfica (figura 5.4) que representa a los coches, se observa que el modelo original siempre decrece a lo largo de toda la franja horaria mientras que el modelo uno y dos, tienen una pequeña subida a las 15:00. Esto se produce a causa de los demás parámetros que sufre la circulación, condicionando por tanto la velocidad.

Por ejemplo, en el modelo original vemos que tanto el tiempo de viaje, tiempo de parada, tiempo de demora como la cola media siguen creciendo a partir de las 15:00 a pesar de que el flujo horario se vea reducido en ese intervalo. En cambio, en los modelos dos y uno la velocidad aumenta ya que los demás parámetros disminuyen, caso que no ocurría con el anterior modelo.

Estos cambios que sufren los parámetros están condicionados por las medidas impuestas en las respectivas simulaciones, como la disminución del transporte privado y la creación de un carril especial en el que está limitado el tipo de vehículos que pueden circular sobre ella.

Además, si comparamos el modelo uno con el dos se puede ver la diferencia de disponer de un carril especial para el transporte público a no tener este recurso a parte de los que supondría ya eliminar parte del transporte privado.

- Tiempo de viaje:

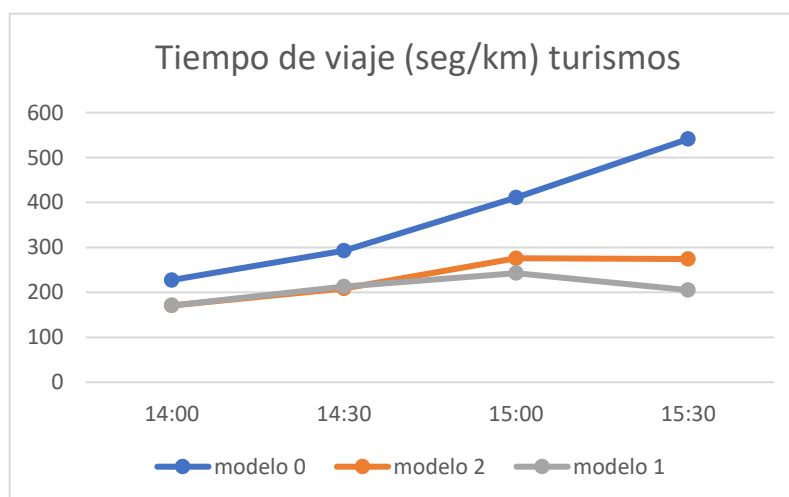


Figura 5.5: Tiempo de viaje (seg/km) del turismo. Fuente: Elaboración propia.

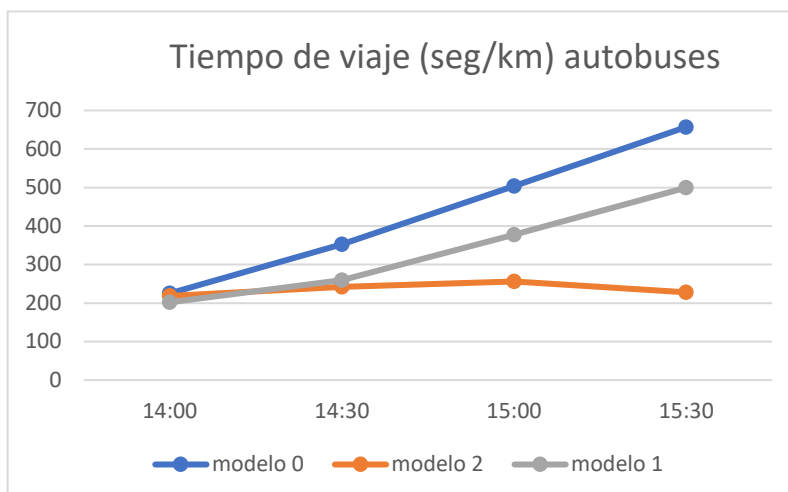


Figura 5.6: Tiempo de viaje (seg/km) del autobús. Fuente: Elaboración propia.

El tiempo de viaje es el valor medio de los tiempos que tarda un vehículo en realizar su recorrido, expresado en s/km. Tanto en los autobuses como en los coches se ve una gran diferencia entre los modelos.

La reducción del tiempo de viaje de los vehículos en el primer escenario se debe a la disminución del número de vehículos privados sobre la calzada, haciendo que la circulación sea más fluida. Si a esto le añadimos un carril especial por el que circulen los autobuses, la variable tiempo de viaje se verá reducida para los autobuses, al tener estos una vía especial por la que circular. En cambio, para los coches se verá aumentado el tiempo de viaje en el modelo 2 respecto al modelo 1, ya que algunas vías se sustituirán por carriles bus-vao-eco donde antes circulaban los vehículos de forma normal.

Si observamos las dos gráficas (figura 5.5 y 5.6), en cuanto al modelo dos apreciaremos que el tiempo de viaje para los coches y el transporte público es parecido. Esto provocara un cambio en la mentalidad de los usuarios más predominantes al uso del coche frente al transporte público causado por el tiempo que le llevaría escoger este tipo de vehículo. Si a esto le añadimos que en el núcleo urbano se tarda una gran cantidad de tiempo en buscar aparcamiento, muchos de los usuarios empezarían a escoger el transporte colectivo frente al privado al ver las ventajas y beneficios que conllevaría su uso además de saber que el tiempo de viaje no se vería afectado.



Motivo de no utilización del Transporte Público	Respuestas	
	Nº respuestas	%
No hay servicio de Transporte Público	22.483	11,4%
Muy alejado del origen y del destino	15.421	7,8%
No conozco el servicio	3.704	1,9%
Mal servicio	18.312	9,3%
Tardo más en Transporte Público	33.354	16,9%
Transporte Público caro	1.240	0,6%
Más cómodo el vehículo privado	31.499	16,0%
NS/NC	90.630	-

Tabla 5.1: Motivos de no utilización del Transporte Público en vez del transporte privado. Recuperado de : http://www.pimussva.es/wp-content/uploads/2016/05/PIMUSSVA_Analisis_de_la_Movilidad.pdf (pag.48)

Si observamos la tabla 5.1, analizamos que la mayor cantidad de repuestas dadas a la causa de la no utilización del transporte público frente al privado sería el tiempo de viaje. Por tanto, si este valor se viese reducido, llegando a alcanzar los mismos tiempos que los vehículos privados, como es el caso del modelo 2, mucha más gente haría uso de los autobuses, cambiando de esta forma la conducta de la población que vive dentro de las ciudades.

Motivo de no utilización del vehículo privado	Respuestas	
	Nº respuestas	%
No tengo coche, carnet	33.562	39,2%
No tengo coche disponible	8.299	9,7%
Problemas de aparcamiento	11.845	13,8%
Resulta caro el coche	5.511	6,4%
Congestión del tráfico	3.873	4,5%
Más rápido el Transporte Público	3.905	4,6%
Más cómodo el Transporte Público	30.397	35,5%
NS/NC	9.537	-

Tabla 5.2: Distribución de los motivos de no utilización del vehículo privado. Recuperado de: http://www.pimussva.es/wp-content/uploads/2016/05/PIMUSSVA_Analisis_de_la_Movilidad.pdf (pág.45)

En esta tabla 5.2, se hace referencia al problema de los aparcamientos. Siendo una de las causas por las que la población deja de usar el transporte privado haciendo uso de otros modos de transporte como el a pie, la bicicleta o los autobuses.



Por tanto, la posibilidad de recuperar el espacio ocupado por los coches se puede revertir gracias a la utilización de otros modos de transporte creando infraestructuras para mejorar su uso, que en ocasiones podría dificultar la utilización del coche, como puede ser la creación de carriles especiales para autobuses quitando de esta manera espacio para los coches, o la eliminación de aparcamientos, cuya consecuencia haría que la gente dejase de usar el vehículo privado en las ciudades, etc.

- Tiempo de parada:

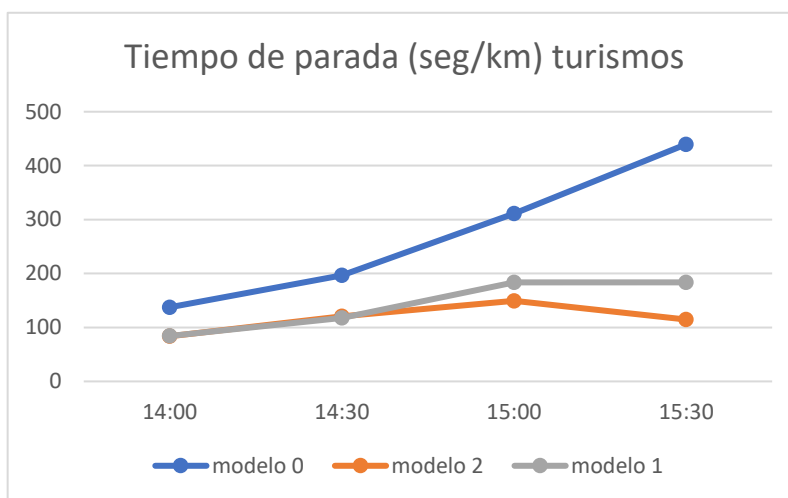


Figura 5.7: Tiempo de parada (seg/km) del turismo. Fuente: Elaboración propia.

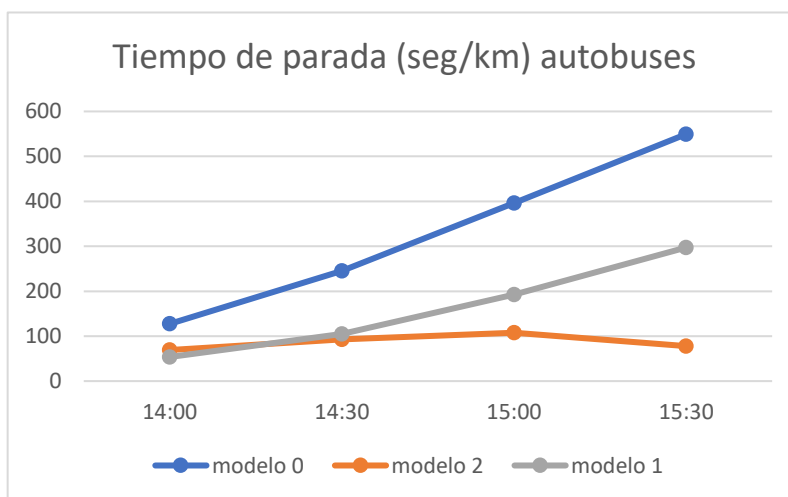


Figura 5.8: Tiempo de parada (seg/km) del autobús. Fuente: Elaboración propia.

El tiempo de parada hace referencia al tiempo medio que permanecen los vehículos completamente parados dentro de la zona de estudio. En el caso de los autobuses este tiempo es algo mayor a la de los coches debido a las



paradas que tienen que realizar para la subida y bajada de pasajeros a parte de los causados por semáforos, obstáculos o retenciones que tendría cualquier vehículo sobre la calzada.

Analizando los gráficos (figuras 5.7 y 5.8), este parámetro se verá disminuido al reducir la demanda de coches y en mayor medida en el uso de un carril especial. Llegando a tener en el modelo 2 unos valores más bajos en tiempos de paradas los autobuses, que los coches.

- Tiempo de demora:

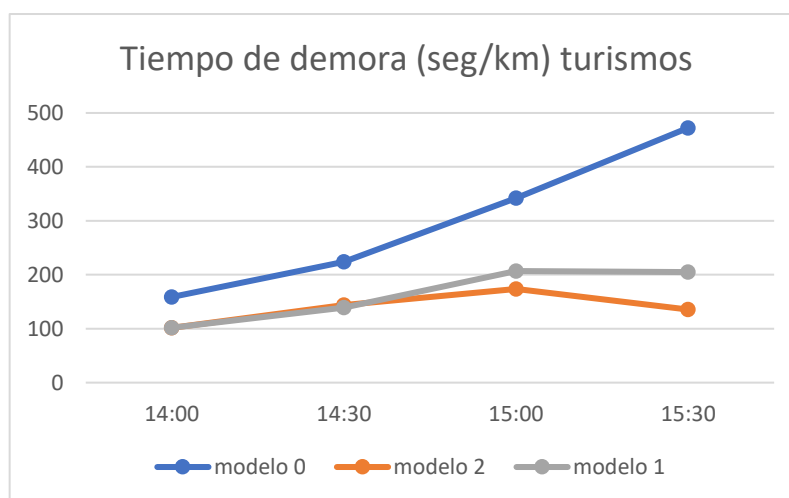


Figura 5.9: Tiempo de demora (seg/km) del turismo. Fuente: Elaboración propia.

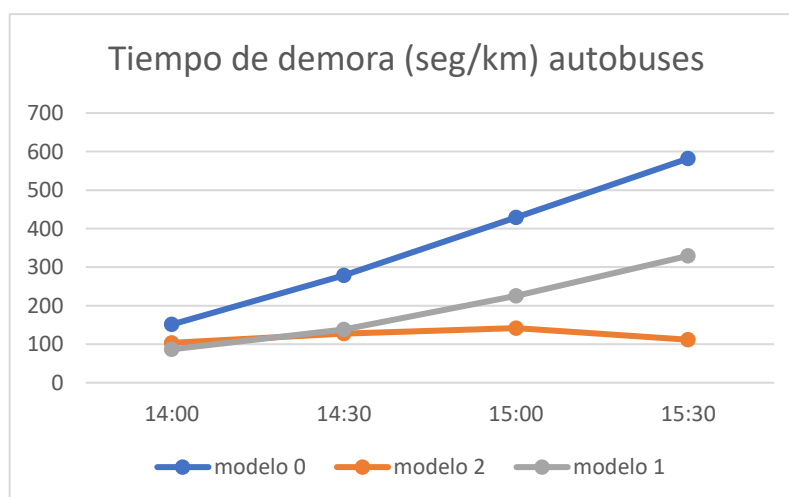


Figura 5.10: Tiempo de demora (seg/km) del autobús. Fuente: Elaboración propia.

El tiempo de demora hace referencia al tiempo de retraso generado por la incapacidad de la vía, que respecto a una situación ideal la única restricción sería la velocidad de la vía.



Como puede observarse, en un primer momento el tiempo de demora sería mayor en los autobuses que en los coches, cambiando estos valores en el modelo dos, con unos tiempos de demora parecidos. Esto se debe al uso carriles especiales en ciertos tramos mejorando de esta forma el flujo de los vehículos, sobre todo el de los autobuses, al tener un espacio específico para ellos sobre los que transcurre una menor cantidad de vehículos que en el de las vías convencionales.

- Cola media:

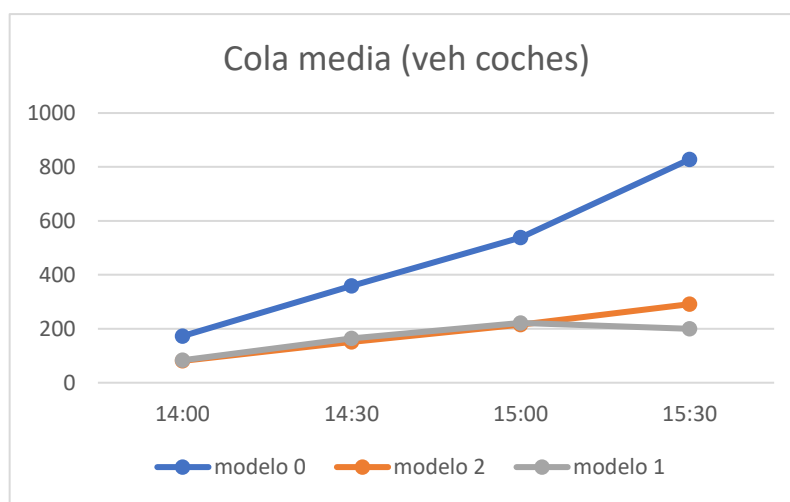


Figura 5.11: Cola media (veh coches). Fuente: Elaboración propia.

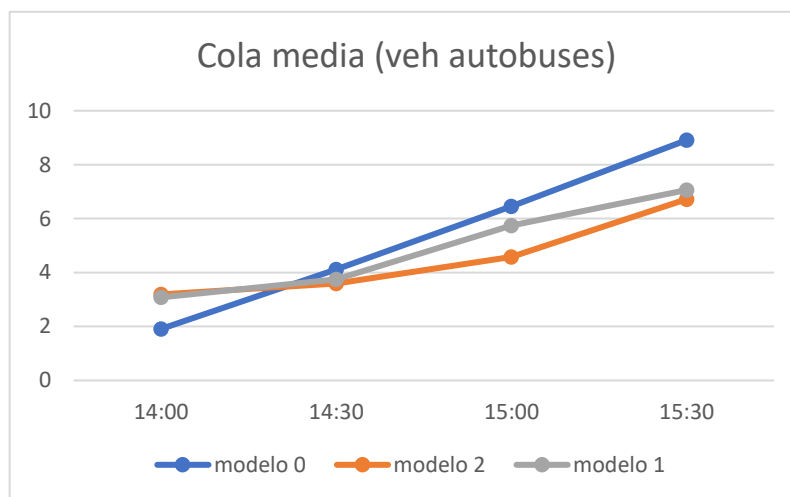


Figura 5.12: Cola media (veh autobús). Fuente: Elaboración propia.

La cola media, es el número de vehículos que se encuentran parados debido a la congestión del tráfico. Al disminuir la ocupación de las vías estos valores se verán disminuidos, aunque también podría ocurrir de forma contraria al haber eliminado un carril de coches por uno especial de bus-vao-eco, dificultado la circulación para los vehículos privado en condiciones normales. La mejora en



la cola media se debe a que en una de las zonas más conflictivas del barrio se ha construido un carril a mayores, en vez de quitar uno para los coches, consiguiendo con esto la descongestión en esa calzada. Además, en las zonas donde se ha sustituido uno de los carriles a bus-vao-eco es donde no había problemas anteriormente de congestión de tráfico. Consiguiendo, por tanto, la disminución de este parámetro.

- Emisión IEM CO2:

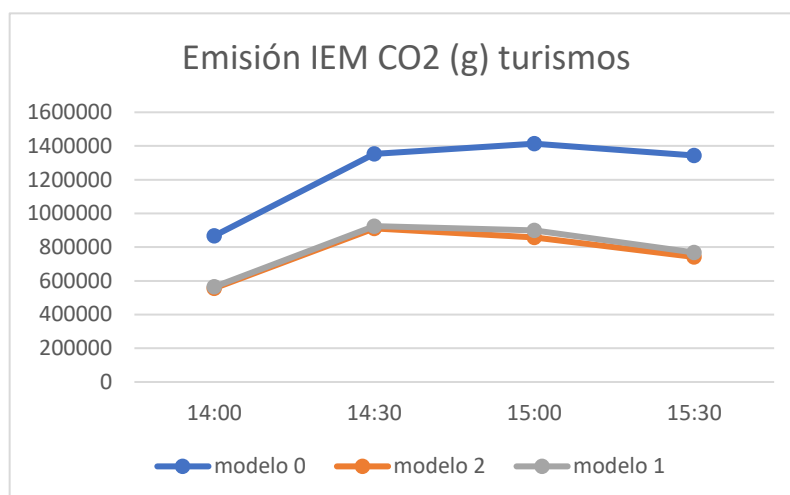


Figura 5.14: Emisión IEM CO2 (g) del coche. Fuente: Elaboración propia.

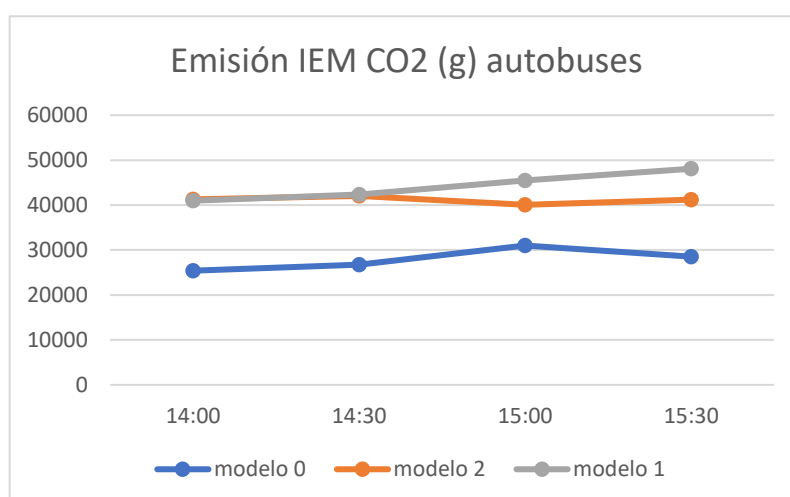


Figura 5.13: Emisión IEM CO2 (g) del autobús. Fuente: Elaboración propia

La emisión IEM CO2 se mide en gramos. Este contaminante junto con sus valores está determinado en función del modelo medioambiental Panis et al, que toma en cuenta el número de vehículos junto con el porcentaje de los distintos combustibles que se le da a cada tipo de vehículo.



Analizando las gráficas (figuras 5.13 y 5.14), uno de los valores que más nos puede sorprender es la emisión de CO₂ del modelo original de los autobuses, al estar por debajo de los modelos con medidas en los que las emisiones tendrían que ser menores, como ocurre en el caso de los coches. Esto se debe a que en el modelo original la generación de autobuses es menor, es decir, la cantidad de autobuses sobre la calzada es inferior a la de los demás modelos, como vemos en las gráficas de flujo. Al haber un menor número de autobuses estos generaran menor contaminación.

Pero si comparamos el modelo dos con el uno, los cuales tienen el mismo flujo de vehículos, vemos que la incorporación de un carril especial hará que las emisiones bajen al haber un tráfico más fluido durante el trayecto.

- Emisión IEM NO_x:

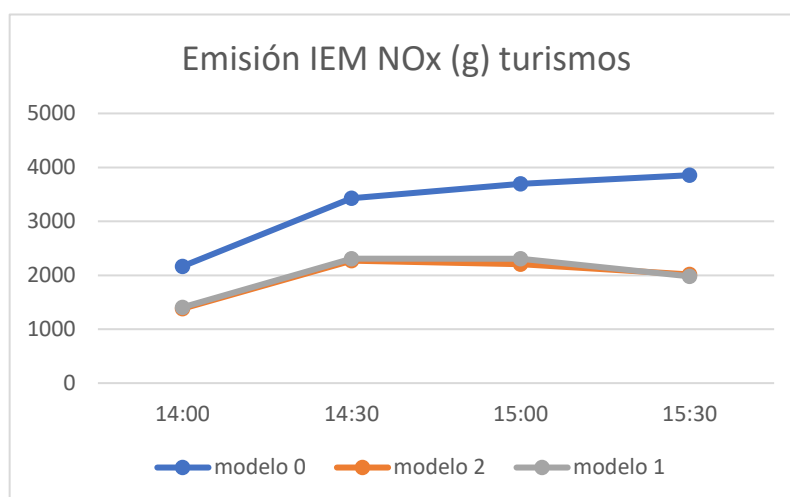


Figura 5.16: Emisión IEM NO_x (g) del turismo. Fuente: Elaboración propia.

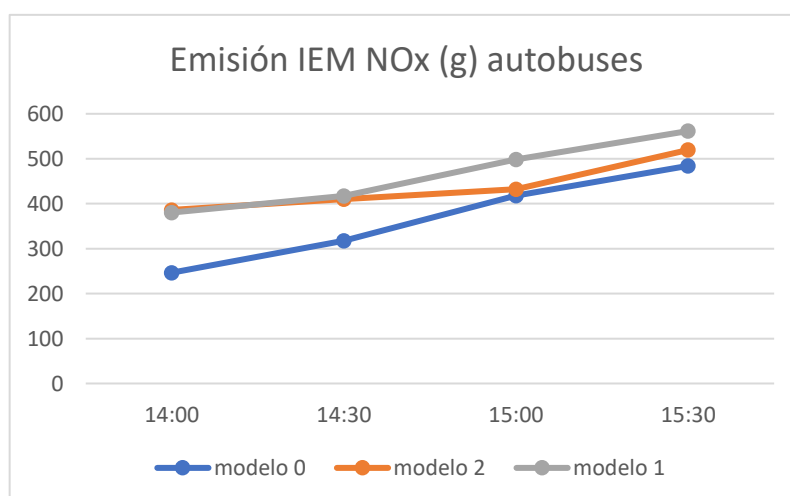


Figura 5.15: Emisión IEM NO_x (g) del autobús. Fuente: Elaboración propia.



La emisión IEM NO_x se mide en gramos. Este contaminante a la par que sus resultados están basados en el modelo medioambiental Panis et al, que obtiene los valores a partir del número de vehículos y el tipo de combustible a través del cual se propulsan.

Como ocurría en el caso del CO₂, en el gráfico de los autobuses (figura 5.16), el modelo original produce una menor cantidad de contaminante que los modelos para su disminución, como ya habíamos dicho anteriormente e, esto se debe a la cantidad de autobuses sobre la calzada.

En el caso de los coches (figura 5.15) casi no se aprecia la reducción al aplicar el modelo 1 con el 2, esto se debe a que el uso de un carril especial por la que circulan los autobuses no crea un gran cambio entre los vehículos que circulan por la calzada normal en lo que respecta a este tipo de contaminante.

- Emisión IEM PM:

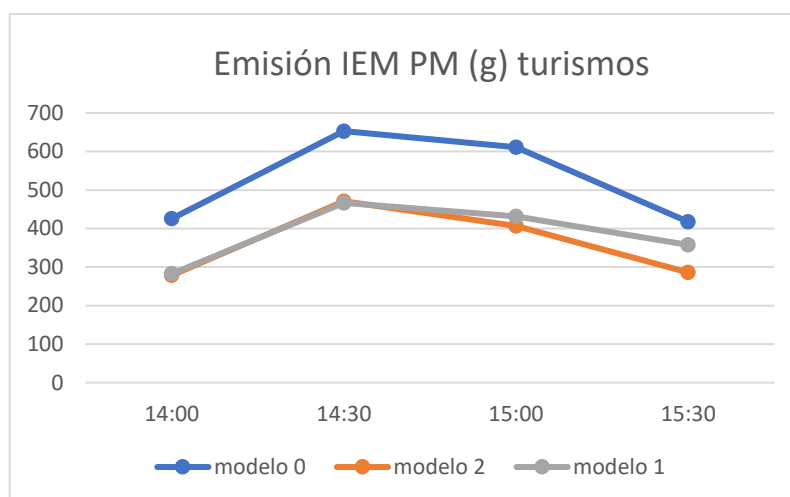


Figura 5.17: Emisión IEM PM (g) del turismo. Fuente: Elaboración propia.

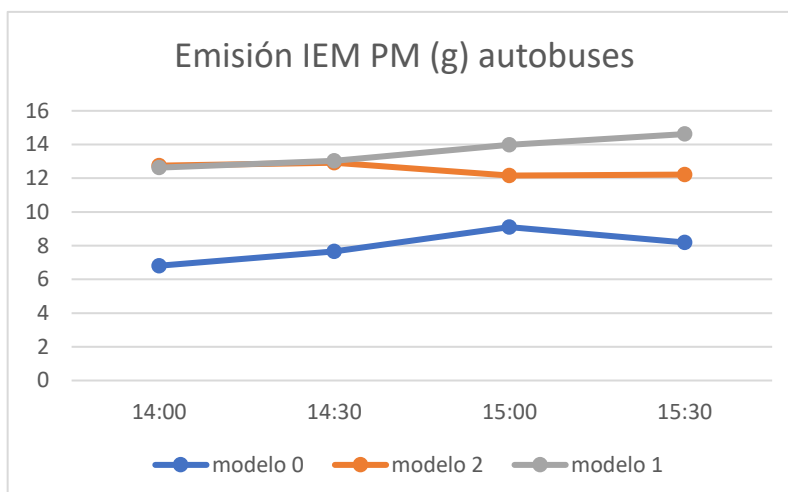


Figura 5.18: Emisión IEM PM (g) del autobús. Fuente: Elaboración propia.

La emisión IEM de material particulado se mide en gramos, estos resultados están basados en el modelo medioambiental Panis et al.

Tanto en la gráfica de los coches (figura 5.17) como en la de los autobuses (figura 5.18) se puede observar la reducción de la formación de este contaminante a través de los distintos modelos. Si nos fijamos, en el primer tramo de 14:00 h a 14:30 h los modelos 1 y 2 tienen los mismos valores, esto puede deberse a que, dentro del intervalo, no hay tantos impedimentos durante la conducción como sucesivas paradas, accidentes, etc. Por lo que el uso de otro carril no variaría en la fluidez del tráfico y por tanto en la emisión de los sucesivos contaminantes provocados por la conducción de los vehículos.

- Emisión IEM VOC:

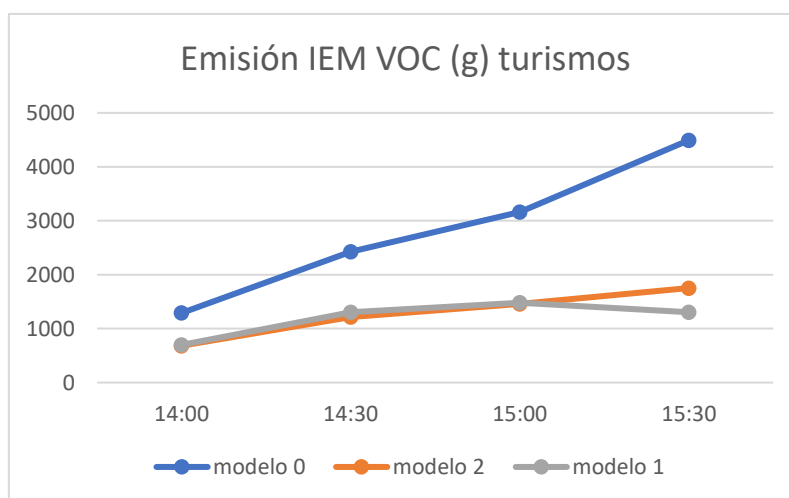


Figura 5.19: Emisión IEM VOC (g) turismos. Fuente: Elaboración propia.

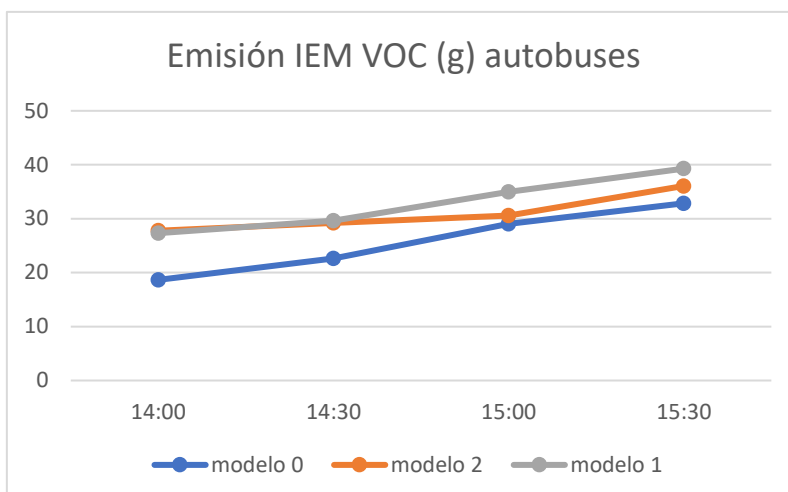


Figura 5.20: Emisión IEM VOC (g) autobuses. Fuente: Elaboración propia.

Los COV, es decir, los compuestos orgánicos volátiles, se liberan durante la quema de combustibles en lo que respecta a nivel transporte.

Como observamos en la gráfica autobuses (figura 5.20), los valores van disminuyendo gracias a la implantación del carril especial. En cambio, en la gráfica coches, sus valores permanecen parecidos, esto puede deberse a que en estas unidades de medidas como pasaba con los otros ejemplos con el mismo modelo medioambiental, no se aprecie la diferencia.

- Contaminante CO:

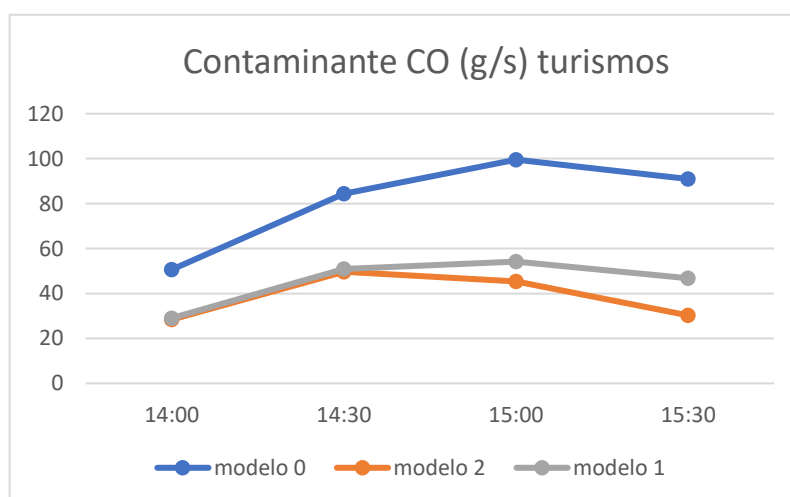


Figura 5.21: Contaminante CO (g/s) del turismo. Fuente: Elaboración propia.

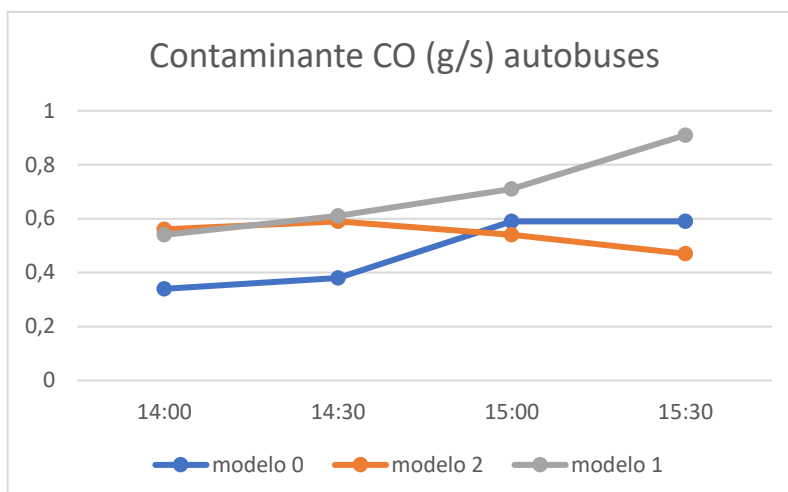


Figura 5.22:Contaminante CO (g/s) del autobús. Fuente: Elaboración propia.

El monóxido de carbono (CO) es un gas sin color ni olor generado a causa de una combustión incompleta de carburantes fósiles y de biocombustibles.

Estas gráficas (figura 5.22 y 5.23) están basadas en el modelo medioambiental Quartet, cuyos resultados se definen en función de la velocidad de emisión en ralentí, aceleración y desaceleración, ya que presuponemos que al estar dentro del núcleo urbano Las velocidades no serán constantes por los sucesivas paradas y puestas en marcha de los vehículos ya sea por un accidente, congestión, señales de tráfico o un semáforo.

Si las velocidades fueran constantes, como podría ser el caso de vías fuera del poblado como carreteras convencionales, autovías o autopistas, los valores elegidos serían diferentes dentro del mismo modelo.

Como se ve en ambas gráficas (figuras 5.23 y 5.22), la diferencia entre modelos justifica la imposición de un carril especial en las calzadas, al disminuir notablemente la emisión de este contaminante a la atmósfera.



- Contaminante HC:

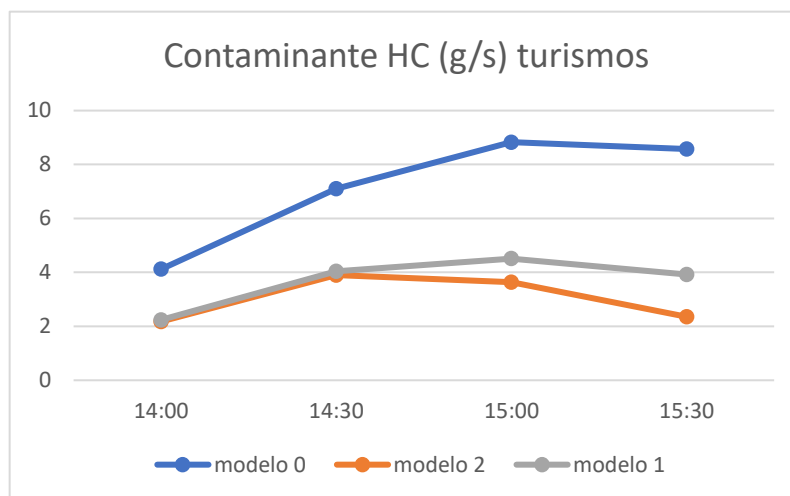


Figura 5.23: Contaminante HC (g/s) del turismo. Fuente: Elaboración propia.

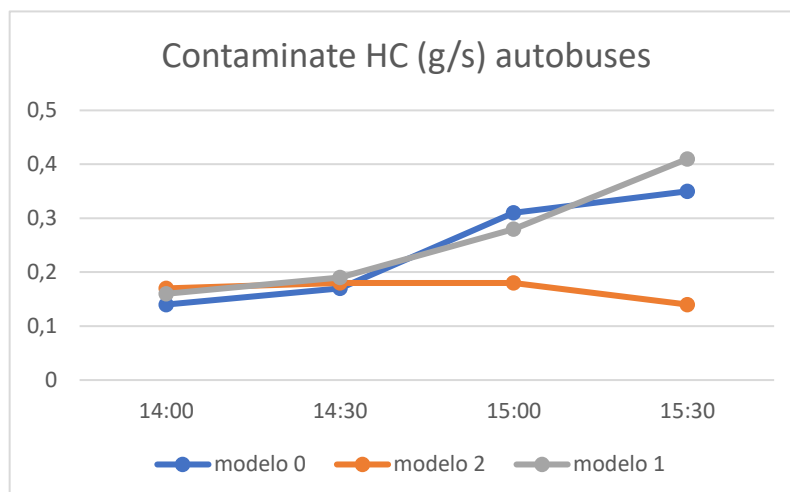


Figura 5.24: Contaminante HC (g/s) del autobús. Fuente: Elaboración propia.

Los hidrocarburos (HC) se definen químicamente como compuestos de carbono e hidrógeno. Sin embargo, en los estudios a cerca de la calidad del aire, el compuesto suele abarcar una variedad de otros compuestos orgánicos volátiles, como los alcoholes y los aldehídos.

Al igual que el contaminante CO, cuya unidad de medida son los g/s y cuyo modelo medioambiental es Quartet, los valores usados para realizar el análisis de este contaminante se basarán dependiendo de la zona donde se esté realizando la simulación, en este caso dentro de un núcleo urbano, en el barrio de La Rondilla.



A partir de estos valores, nos fijamos que los resultados obtenidos tienen un comportamiento parecido al del monóxido de carbono, viendo que la incorporación de un carril bus-vao-eco, mejorara la calidad del aire, suceso importante en las ciudades donde la cantidad del tráfico es mayor y más concentrada a la vez de coexistir en mayor medida con los habitantes siendo perjudicial para ellos.

- Contaminante NOx:

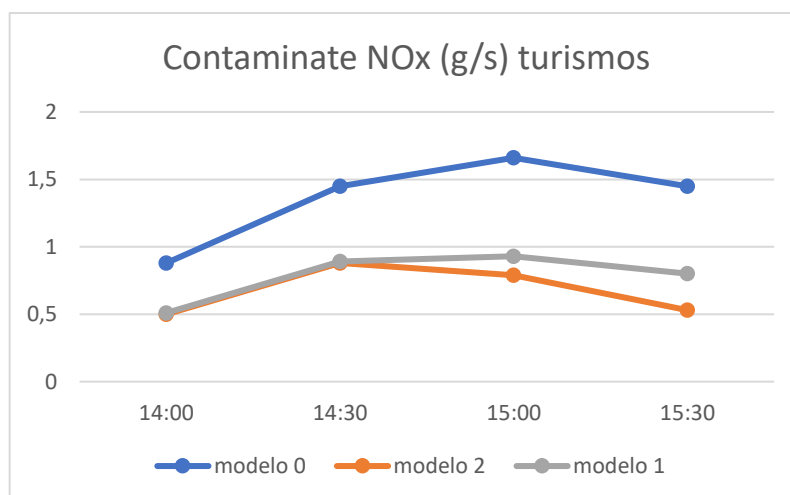


Figura 5.25: Contaminante NOx (g/s) del turismo. Fuente: Elaboración propia.

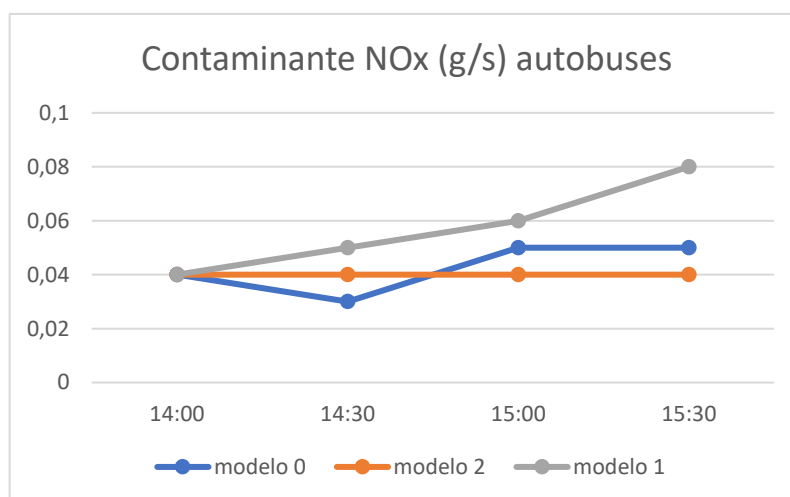


Figura 5.26: Contaminante NOx (g/s) del autobús. Fuente: Elaboración propia.

El NOx, los óxidos de nitrógeno, es un gas que se produce en los vehículos durante las combustiones a muy alta temperatura en una atmósfera rica en oxígeno, como la de la tierra.



Este contaminante, en gráficas anteriores (figuras 5.15 y 5.16) estaba expresado en otras unidades por el modelo medioambiental Panis et al. En cambio, en estas graficas esta expresado en g/s y en función del modelo medioambiental Quartet, consiguiendo ver con mayor claridad lo la diferencia que supondría el uso de un carril especial, al haber intervalos más pequeños sobre los que se mide la emisión de NOx.

- Consumo de combustible:

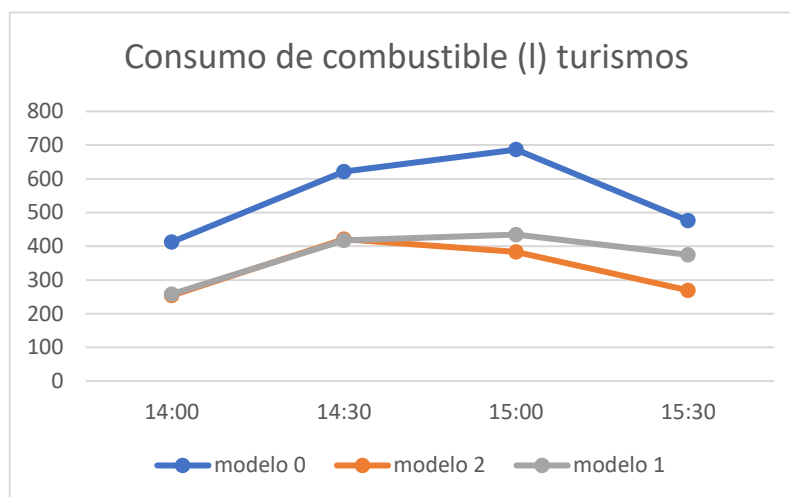


Figura 5.28: Consumo de combustible (l) del turismo. Fuente: Elaboración propia.

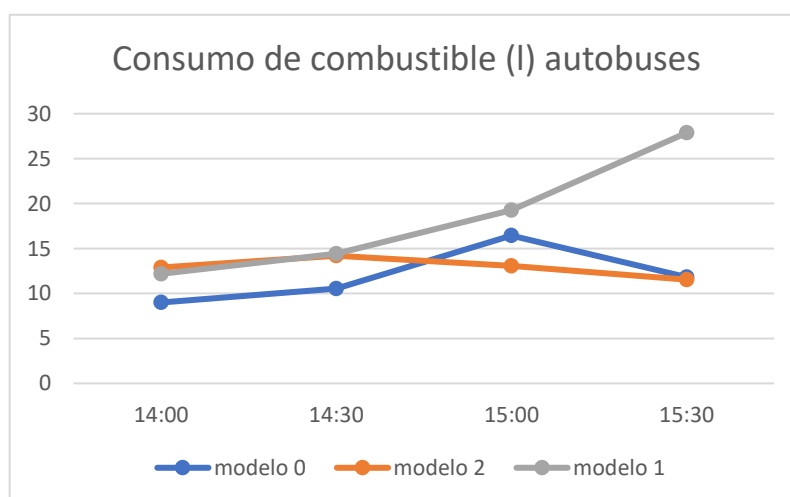


Figura 5.27: Consumo de combustible (l) del autobús. Fuente: Elaboración propia.

En el estudio del consumo de combustible se ve que al disponer de un carril especial desahoga el congestionamiento de los autobuses en mayor medida que la de los coches, los cuales conducirán por el carril normal excepto los que cumplan con la normativa adecuada para situarse dentro de los carriles bus-



vao-eco. Además, estos carriles se han predispuesto en las zonas del barrio donde no afecte de manera negativa al flujo de coches, por lo tanto, en ambas gráficas (figuras 5.28 y 5.29) el consumo de combustible se reducirá, consiguiendo una mayor disminución en el caso de los autobuses.

El consumo de combustible recorriendo el mismo trayecto puede variar, ya sea por las paradas provocadas por semáforos, congestionamientos, accidentes, u otro tipo de percances durante la conducción, es decir, el tiempo de viaje, el tiempo de demora, la velocidad y la cola media de vehículos, además de otros muchos más parámetros que caracterizan la circulación dentro de una zona, nos indica cuanto combustible se va a gastar durante el viaje. Esto se debe a que los parámetros descritos anteriormente guardan relación los unos con los otros.



CAPÍTULO 6: ESTUDIO ECONÓMICO





6.1. Introducción

Este apartado tiene como objetivo calcular los costes de la realización del TFG. En este caso el Análisis e implantación de carriles bus-vao-eco en La Rondilla, desde la fase de planeamiento hasta su finalización, siendo necesario el estudio la viabilidad económica del proyecto.

Este estudio es necesario para ver la viabilidad económica a través de todas las partidas de costes que han surgido durante todo el TFG.

Para la evaluación de los costes, estos se han dividido en dos grupos; directos e indirectos, y estos a su vez se han dividido en más conceptos. Después el cálculo total del proyecto se obtendrá de la suma de los dos costes indirectos y directos.

6.2. Costes directos

Los costes directos son aquellos que se imputan directamente a la elaboración del proyecto, es decir, este tipo de coste se reparte entre los distintos conceptos que lo forman, sabiendo en qué medida cada uno de ellos repercute en el coste del producto, los cuales se subdividen en; gastos salariales del personal, coste de materias primas y el coste de amortización de los equipos utilizados.

6.2.1. Costes de personal

Los costes de personal en este proyecto se basan en el tutor/director, que es la persona supervisora del desarrollo del trabajo desde su planteamiento hasta su finalización mediante reuniones periódicas con el Ingeniero de Organización Industrial, segunda persona participe, encargado de recopilar toda la información, y diseño del proyecto.

Este coste se calcula a través del salario de cada persona implicada en él. El sueldo se va a diferenciar según la condición del trabajador y el número de horas dedicadas por cada persona. También hay que tomar en cuenta que un 35% va destinado a la seguridad social.

Para empezar, vamos a contabilizar las horas empleadas en el proyecto de cada trabajador. Partiendo de los días que tiene el año, restando fines de semana, vacaciones, festivos y días de asuntos propios.[50]



CONCEPTO	DÍAS
Días del año empleados	365
Sábados y Domingos	104
Días festivos vacacionales	22
Días festivos reconocidos	14
Días perdidos por motivos personales	5
Total días efectivos	220
Horas diarias	8
Horas efectivas	1.760

Tabla 7.1: Costes de personal. Fuente: Elaboración propia

Con un total de 220 días laborables y una media de 8 horas por día, obtendremos 1760 horas efectivas al año.

Con las horas efectivas se calcula el coste horario de cada una de las personas implicadas en el proyecto, dato que usaremos para calcular el coste total de personal en base al número de horas destinadas en el proyecto de cada trabajador.

Comenzamos con el concepto sueldo anual, al cual sumamos el 35% correspondiente a la seguridad social pagada por la empresa, el resultado de todo ello lo dividimos entre el número de horas efectivas, para conseguir el coste horario de cada trabajador. Para facilitar el cálculo, hemos adaptado el 35% de la seguridad social sobre todo el salario, sin diferenciar entre pagas extras y pagas normales. En la siguiente tabla se visualiza el coste horario de cada trabajador.

- Tutor del proyecto

CONCEPTO	COSTE
Sueldo neto	34.000 €
Seguridad Social (35%)	11.900 €
Total	45.600 €
Coste horario	26 €

Tabla 7.2: Coste horario del tutor del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

- Ingeniero de Organización Industrial



CONCEPTO	COSTE
Sueldo neto	20.000 €
Seguridad Social (35%)	7.000 €
Total	27.000 €
Coste horario	15 €

Tabla 7.3: Coste horario del Ingeniero. Fuente: Elaboración propia.

Después de hallar el valor del coste horario de cada uno de los trabajadores, se estima cuántas horas a destinado cada uno al proyecto. En la siguiente tabla se ve la actividad junto con las horas empleadas para su realización.

	CONCEPTO	HORAS EMPLEADAS	HORAS TOTALES
INGENIERO	Estudio previo y documentación	60	465
	Recogida y análisis de datos (Horas de campo)	20	
	Aprendizaje del software	90	
	Desarrollo del modelo	65	
	Calibración, validación y simulación	150	
	Propuestas de mejora	60	
	Análisis de resultados y redacción de informes	80	
TUTOR DEL PROYECTO	Documentación	10	75
	Análisis de datos	30	
	Propuestas de mejora	25	
	Elaboración de la documentación	10	

Tabla 7.4: Horas totales que realiza cada trabajador. Fuente: Elaboración propia.

Por último, para saber la remuneración de cada trabajador, se multiplica las horas totales por el coste horario.

CONCEPTO	INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL	TUTOR DEL PROYECTO
Horas empleadas	465	75
Coste horario	15 €/hora	26 €/hora
Total	6.975 €	1.950 €
Total Coste de Personal	8.925 €	

Tabla 7.5: Coste de personal. Fuente: Elaboración propia.



6.2.2. Costes de amortización del material

EL coste de amortización del material utilizado en el proyecto se calcula en base al uso que se da a los equipos, puesto que no son consumibles, se les atribuye un periodo de amortización, y el coste se calcula en base a esta amortización. También hay que tomar en cuenta si es exclusivamente su uso para la realización de este proyecto o se utiliza para otros.

Para el desarrollo del TFG, se ha contado con el ordenador personal del Ingeniero de Organización, que se utiliza exclusivamente para la búsqueda de información, análisis de datos, y redacción de la memoria.

También se ha contado con software, el programa Aimsun, de simulación, este coste no es imputable al 100% a nuestro proyecto, ya que se utiliza para el desarrollo de otros TFGs, y el Office (Word y Excel), instalado en el ordenador personal, e imputable al 100% al proyecto.

Con el dato del tiempo que ha llevado desarrollar el proyecto, un total de 6 meses y los siguientes datos de amortizaciones, se puede obtener el coste de amortización imputable a cada equipo.

		PRECIO TOTAL	VIDA ÚTIL (años)	% UTILIZACIÓN	TIEMPO DE USO (años)	COSTE AMORTIZACIÓN IMPUTABLE
Software	Aimsun	3.000 €	3	25%	0,5	125 €
	Office	270 €	2	100%	0,5	67,50 €
Equipos informáticos	ASUS ZenBook 14 UM431DA-AM022	680 €	5	100%	0,5	68 €
Total amortización imputable						260,50 €

Tabla 7.6: Amortización de los equipos. Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de la amortización imputable, atribuimos un precio a cada equipo y lo dividimos entre la vida útil, a la vez que lo multiplicamos por el tiempo de uso y el porcentaje de utilización, ya que no todos los equipos pierden valor a causa de su utilización en nuestro proyecto, sino que también han sido o serán utilizados en otros trabajos.



6.2.3. Costes de material

Los costes de los materiales que se han utilizado en la realización del TFG también hay que tenerlos en cuenta como costes directos. En la siguiente tabla aparecen los materiales consumibles junto con su coste.

MATERIAL CONSUMIBLE	COSTE
CD	12 €
Material oficina	60 €
Otros	20 €
TOTAL	92 €

Tabla 7.7: Costes de material. Fuente: Elaboración propia.

6.2.4. Costes totales directos

Una vez especificado la fuente de cada división de los costes directos, en coste de personal, coste de amortización de los equipos y coste de material, sumándolos todos juntos obtendremos el coste directo total. Especificado en la tabla adjunta:

COSTES DIRECTOS	COSTE
Material consumible	92 €
Amortización imputable a equipos	260,50 €
Coste personal	8.925 €
TOTAL	9.277,50 €

Tabla 7.8: Costes totales directos. Fuente: Elaboración propia.

6.3. Costes indirectos

Los costes indirectos no pueden medirse y asignarse directamente a una actividad o a un equipo del proyecto, es decir, no son directamente imputables al desarrollo del proyecto, como el consumo de electricidad, coste de teléfono, costes administrativos y financieros, etc.



CONCEPTO	COSTE
Consumo eléctrico	90 €
Teléfono, internet	80 €
Coste administrativo/financiero	65 €
TOTAL	235 €

Tabla 7.9: Costes indirectos. Fuente: Elaboración propia.

6.4. Coste total del proyecto

El coste total del proyecto se calcula con la suma de los costes directos e indirectos, hallados en los anteriores puntos. En la siguiente tabla se representan estos valores y como resultado el coste total del proyecto.

	COSTE
Coste directo	9.277,50
Coste indirecto	235 €
Coste total	9.512,50 €

Tabla 7.10: Coste total del proyecto. Fuente: Elaboración propia.



CAPÍTULO 7: CONCLUSIÓN Y LÍNEAS FUTURAS





7.1. Conclusión final

En el Análisis y elaboración de este trabajo fin de grado se ha planificado y modelado el entramado viario del barrio de La Rondilla con el fin de mejorar la movilidad y sostenibilidad del tráfico, por medio del software Aimsun y otros planes de estudio.

A través de este programa se han desarrollado 3 modelos para evaluar los distintos cambios efectuados en la circulación al integrar un carril bus-vao-eco en la calzada, dentro de las normas del Plan General de Urbanismo de la ciudad de Valladolid.

Haciendo alusión a los modelos creados a través del programa Aimsun, se ha podido estudiar con mayor precisión lo que implicaría la implantación de carriles especiales dentro de la red viaria del barrio, propuesta desarrollada en este proyecto.

Se ha observado que respecto a la situación actual del tráfico, representada por el modelo 0, comparándola con el modelo 1 (escenario basado en la sustitución del vehículo privado por el colectivo); el tiempo de parada, tiempo de demora, tiempo de viaje y cola media de los vehículos se veían reducidos y la velocidad aumentada, pero que añadiendo a este modelo la implantación de carriles bus-vao-eco (modelo 2) estos valores se veían mejorados, generando así una conducción más fluida y casi sin congestionamientos.

Además, gracias a la mejora de estos parámetros y a la reducción del uso del vehículo privado por un transporte más sostenible, las emisiones producidas también se veían disminuidas.

Otros planes de estudio realizados en este proyecto, son:

- La creación de nuevos aparcamientos de residentes con el fin de paliar el déficit de éstos dentro del barrio, además de sustituir el número de plazas eliminadas por la creación de nuevos carriles bus-vao-eco.
- Incentivar que en los coches no viaje solamente una persona y de este modo reducir el número de automóviles en el interior del barrio, a la vez de que sean menos contaminantes al dar ciertos beneficios a los vehículos con la etiqueta eco o de emisión cero, al crear carriles bus-vao-eco.



- Creación de nuevos espacios para los viandantes, al aumentar la anchura de las aceras, con el propósito de crear un entorno más amable para la vida de las personas en lugares donde desarrollan su día a día.

Todo ello con el fin de crear un barrio más sostenible, libre de humos y ruido, con un mayor número de prestaciones, haciéndolo más atractivo para las personas.

Por tanto, las actuaciones seguidas en este trabajo conseguirán que el barrio de la Rondilla se alinee con el desarrollo sostenible y de movilidad, que ha puesto en marcha la Unión Europea, acelerando su transición hacia una sociedad y entorno descarbonizado, haciendo del autobús un modo más competitivo.

También puede servir de modelo para proyectos a gran escala en el que haya que planificar el tráfico en otras ciudades u otros barrios, además de seguir utilizándolo en posteriores trabajos al desarrollar al alumno en el uso de nuevos programas relacionados con la simulación, que hoy en día es imprescindible a la hora de querer desarrollar proyectos a escala real con un alto grado de precisión. Además, su uso puede ser complementario con la asignatura de transporte, haciéndola más dinámica.

7.2. Líneas futuras de trabajo

El Ayuntamiento de Valladolid, sigue en continuo estudio y realizando propuestas de proyectos sobre la Ingeniería del Transporte para la consecución de una mejora de la ciudad. Entre las posibles líneas futuras de investigación se señalan:

- Creación de espacios intermodales, para la optimización de la movilidad general en el barrio y extrapolarlo a toda la ciudad.
- Seguir con la línea actual de trabajo de establecer carriles bus-vao-eco a otros barrios de Valladolid a través de la misma metodología, y así poder hacer que la ciudad tenga más zonas con reducción de emisiones contaminantes.
- Estudio de la movilidad peatonal en la Rondilla para establecerlo sobre este modelo y observar los resultados tomando en cuenta el tráfico externo a los vehículos.



- Análisis de la colocación de diferentes puntos de recarga para autobuses eléctricos, aumentando su uso en La Rondilla y en toda la ciudad.
- Realizar un estudio sobre el comportamiento de la circulación en caso de incidente sobre la vía.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) y Ayuntamiento de Valladolid, «Plan Integral de Movilidad Urbana Ciudad de Valladolid (PIMUSSVA). Análisis de Movilidad», pp. 2-11, 2015, [En línea]. Disponible en: <https://www.valladolid.es/es/ayuntamiento/normativa/plan-integral-movilidad-urbana-ciudad-valladolid-pimuva.ficheros/3243-PlanIntegralMovilidadUrbanaCiudadValladolid.pdf>.
- [2] Ayuntamiento de Valladolid, «PIMUSSVA | Plan Integral de Movilidad Urbana, Sostenible y Segura de la Ciudad de Valladolid», 2015. <http://www.pimussva.es/> (accedido feb. 27, 2020).
- [3] Agencia de Innovación y Desarrollo Económico del Ayuntamiento de Valladolid, «Innolid 2020 | Valladolid Adelante», oct. 14, 2016. <http://www.valladolidadelante.es/node/5149> (accedido feb. 27, 2020).
- [4] Agencia de Innovación y Desarrollo Económico del Ayuntamiento de Valladolid, «PE4Trans (Public Engagement for Sustainable Public Transport) | Valladolid Adelante», oct. 16, 2018. <http://www.valladolidadelante.es/node/13074> (accedido feb. 27, 2020).
- [5] Ayuntamiento de Valladolid, «Agenda Local 21 Valladolid IV Plan de Acción 2012-2015», 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.valladolid.es/es/ciudad/movilidad-transporte/utilidad/servicios/planificacion-desarrollo-sostenible-local-al21.ficheros/92574-IV Plan de Acción 2012-2015.pdf>.
- [6] Agencia de Innovación y Desarrollo Económico del Ayuntamiento de Valladolid, «Valladolid ciudad “faro” en el proyecto Remourban», 2015. <http://es.remourban.eu/> (accedido feb. 27, 2020).
- [7] Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana, «Agenda Urbana Española», feb. 22, 2019. <https://www.aue.gob.es/> (accedido feb. 20, 2020).
- [8] Secretaría de estado de infraestructuras y planificación, Secretaria general de infraestructuras, y Dirección general de carreteras, «Planificacion y colocacion de estaciones de aforo en todas las nuevas carreteras.», 2007. [En línea]. Disponible en: https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/0410401.pdf.
- [9] Moreno borja, «Planificación del tráfico y su influencia en las ciudades», oct. 10, 2016. <https://www.eadic.com/planificacion-del-trafico-y-su-influencia-en-las-ciudades/> (accedido mar. 04, 2020).
- [10] D. Fernández de Gatta Sánchez, «Real Decreto Legislativo 6/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial [BOE n.º 261,



- 31-X-2015]», *Ars Iuris Salmant. (AIS) Rev. Eur. e Iberoam. Pensam. y análisis derecho, Cienc. política y Criminol.*, vol. 4, n.º 1, pp. 232-233, 2016, [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2015/BOE-A-2015-11722-consolidado.pdf>.
- [11] Dómine Rueda Carlos, «Simulación de tráfico en circuitos urbanos para analizar el efecto de diferentes estilos de conducción», Madrid, sep. 2015.
- [12] P. Tomas Martinez, «Parámetros fundamentales del tráfico I DGT.», 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.dgt.es/Galerias/la-dgt/empleo-publico/oposiciones/doc/2014/TEMA-3.5.pdf>.
- [13] C. Kraemer, J. M. Pardillo, S. Rocci, M. G. Romana, V. Sánchez Blanco, y M. Á. del Val, *Ingeniería de carreteras*, 1.ª ed. Madrid: McGraw-Hill, 2003.
- [14] J. Mozo Sánchez, «Teoría de flujo vehicular», Universidad nacional Autónoma de México, 2012.
- [15] R. Cal, M. Reyes Spíndola, y J. Cárdenas G., *Ingeniería del tránsito: fundamentos y aplicaciones*, 8.ª ed. México D.F., 2007.
- [16] M. Romana, M. Nuñez, J. M. Martínez, y R. Díez de Arizaleta, *Manual de capacidad de carreteras HCM 2010*, 1.ª ed. 2017.
- [17] A. Valdes, *Ingeniería de tráfico*, 3.ª ed. Madrid, 1988.
- [18] T. R. Board, *Manual de capacidad de carreteras*. Madrid: Asociación técnica de carreteras, 1994.
- [19] Observatorio Nacional de Seguridad Vial, Ministerio de Interior, y Dirección general de Tráfico, «Estrategias de seguridad vial y movilidad del próximo decenio», 2019. [En línea]. Disponible en: <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/consejo-superior-de-seguridad-vial/pleno/sesiones/Estrategias-de-seguridad-vial-y-movilidad.pdf>.
- [20] H. Campo, «Dictamen del Comité Europeo de las Regiones – La respuesta de la UE al reto demográfico», *D. Of. la Unión Eur.*, n.º 2011, p. 8, 2017, [En línea]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52017IR0018&from=PT>.
- [21] E. Higuera, «El Reto De La Ciudad Sostenible», 2008. [En línea]. Disponible en: http://www.coag.es/websantiago/pdf/ester_higuera.pdf.
- [22] Portal Web del Ayuntamiento de Valladolid, «Segunda jornada de Óscar Puente en la COP25», dic. 12, 2019. <https://www.valladolid.es/es/ciudad/movilidad-transporte/utilidad/noticias/segunda-jornada-oscar-puente-cop25> (accedido may 13, 2020).
- [23] Agencia Europea de Medio Ambiente, «Contaminación atmosférica», oct.



- 09, 2017. <https://www.eea.europa.eu/es/themes/air/intro> (accedido may 13, 2020).
- [24] J. Merchán, Rubio, «Impactos ambientales del transporte. Consumo de energía y emisión de contaminantes a la atmósfera», p. 27, 2014, [En línea]. Disponible en: <http://observatoriotransporte.fomento.es/NR/rdonlyres/054891FC-4EF9-47D4-B68A-29168FEE4E96/123446/140213JornadaOTLESostenibilidad.pdf>.
- [25] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, «Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural». <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/DGCEA.aspx> (accedido may 14, 2020).
- [26] Castrillo María, «ARI Rondilla:Asociación Vecinal Rondilla, Valladolid», 2004. <https://rondilla.org/post/ari-rondilla-ponencia-de-maria-castrillo/> (accedido may 14, 2020).
- [27] Á. Bayón, R. Cascajo, Á. Ceballos, y R. Matilla, «Plan general de ordenación urbana 2017», pp. 1-40, 2017.
- [28] S. de la Rica Castedo, «Madrid : presente y futuro, aparcamientos para residentes», vol. 6.
- [29] Junta de Andalucía, «Guía para la implantación de aparcamientos disuasorios en Andalucía», n.º <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/35279/TFG-I-1079.pdf?sequence=1https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/35279/TFG-I-1079.pdf?sequence=1>, p. 92, 2010, [En línea]. Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/medio_ambiente_urbano/medio_ambiente_urbano_nuevo/movilidad/Guia_aparcamientos_disuasorios.pdf.
- [30] Ministerio de Hacienda, Secretaría de Estado de Hacienda, y Dirección General del Catastro, «Sede Electrónica del Catastro». <https://www.sedecatastro.gob.es/> (accedido abr. 26, 2020).
- [31] «Aimsun». <https://www.aimsun.com/> (accedido abr. 23, 2020).
- [32] J. Deyà, «Análisis de los sistemas de velocidad variable», 2012. [En línea]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/15303/PFC_Joan_Deyà_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [33] J. Fernández Miguel, «Análisis y simulación del tráfico rodado del barrio de La Rondilla», Valladolid, 2015.
- [34] «Auvasa». <http://www.auvasa.es/> (accedido may 20, 2020).
- [35] M. Soria, «Evolución de la reglamentación europea sobre emisiones y homologación de los vehículos Índice», pp. 1-26, 2017, [En línea]. Disponible en:



- https://www.motorpoint.com/adjuntos/7946/02_evolucion_reglamentacion_europea_emisiones_homologacion_de__vehiculos.pdf.
- [36] «Euro 6d y Euro VI d: otra vuelta de tuerca al control de emisiones», mar. 03, 2020. <https://blog.total.es/euro-6d-vid-2/#more-1830> (accedido may 21, 2020).
- [37] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, «Transporte - Vehículos pesados». https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/act-emis/transportes_pesados.aspx (accedido may 21, 2020).
- [38] GreenChem, «¿Qué es el sistema SCR?», feb. 21, 2017. <https://es.greenchem-adblue.com/greenchem-has-a-new-product-8/> (accedido may 21, 2020).
- [39] Planeta Camión, «Todo lo que debe saber sobre euro 5». <http://www.planetacamion.com.ar/todo-lo-que-debe-saber-sobre-euro-5/> (accedido may 21, 2020).
- [40] «Tendencias de consumo en el mercado del motor», abr. 04, 2019. <https://elobservatoriocetlem.es/estudio-de-mercado-del-motor> (accedido may 21, 2020).
- [41] L. Isla Lorenzo, «Modelo de integración de los vehículos de movilidad personal (VMP) en un área residencial urbana», Valladolid, 2019.
- [42] Generalitat de Catalunya, «Movilidad y emisiones». http://mobilitat.gencat.cat/es/detalls/Article/mobilitat_emissions (accedido may 22, 2020).
- [43] Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, «Óxidos de Nitrógeno». <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/oxidos-nitrogeno.aspx> (accedido may 22, 2020).
- [44] Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, «De compuestos orgánicos volátiles». https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/act-emis/compuestos_organicos_volatiles.aspx (accedido may 22, 2020).
- [45] Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, «Monóxido de carbono». <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/monoxido-carbono.aspx> (accedido may 23, 2020).
- [46] B. Onursal y S. P. Gautam, «Contaminantes del aire y sus efectos», *Banco Mund.*, n.º x, p. 43, 1997, [En línea]. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/001083/Course2/Lecturas/Vehiculos/chapter2.pdf>.
- [47] CEA y BCNecología, «Plan de movilidad sostenible y espacio público de



Vitoria-Gasteiz. Documento de avance, septiembre 2019», 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.vitoria-gasteiz.org/http/wb021/contenidosEstaticos/especial/cea/20190917/Avance_PMSEP_2020_2030.pdf.

- [48] Ayuntamiento de Madrid, «Instrucción para el Diseño de la Vía Pública», dic. 2000. <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Vivienda-urbanismo-y-obras/Publicaciones/Instruccion-para-el-Disenio-de-la-Via-Publica/?vgnextfmt=default&vgnextoid=ebbdac0c317cf110VgnVCM200000c205a0aRCRD&vgnnextchannel=cf6031d3b28fe410VgnVCM100000b205a0aRCRD> (accedido may 14, 2020).
- [49] Ministerio de Fomento., transporte y vivienda. Secretaria de Estado de infraestructuras, y Dirección General de transporte terrestre., «El transporte urbano y metropolitano en España», 2019. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [50] M. del C. dgt. es/Galerias/la-dgt/empleo-publico/oposiciones/doc/2014/TEM.-3. 5. pdf. Araujo Valle, «Estudio del efecto de los ciclocarriles en la interacción entre flujos de movilidad en un área urbana», Valladolid, 2019.



ANEXOS

- **Datos obtenidos por el Ayuntamiento de Valladolid.**
 - Mapa del barrio de la Rondilla con la situación de las espiras.
 - Datos de IMD anual de las espiras del mapa anterior.
 - Mapa con las señales semafóricas del barrio de la Rondilla.
 - Diagramas de fase, localización y giros de cada cruce semafórico.

- **Datos de espiras.**

El Ayuntamiento de Valladolid habilita un elevado número de espiras fijas situadas a lo largo de toda la ciudad que posibilita conocer el número de vehículos que atraviesan cada una.

En la figura A.1. se representa el mapa de la ubicación de las espiras en el barrio de la Rondilla, lugar de estudio del proyecto. Su código y ubicación de numeración y los datos de IMD de los últimos años aparece en la tabla A.1.

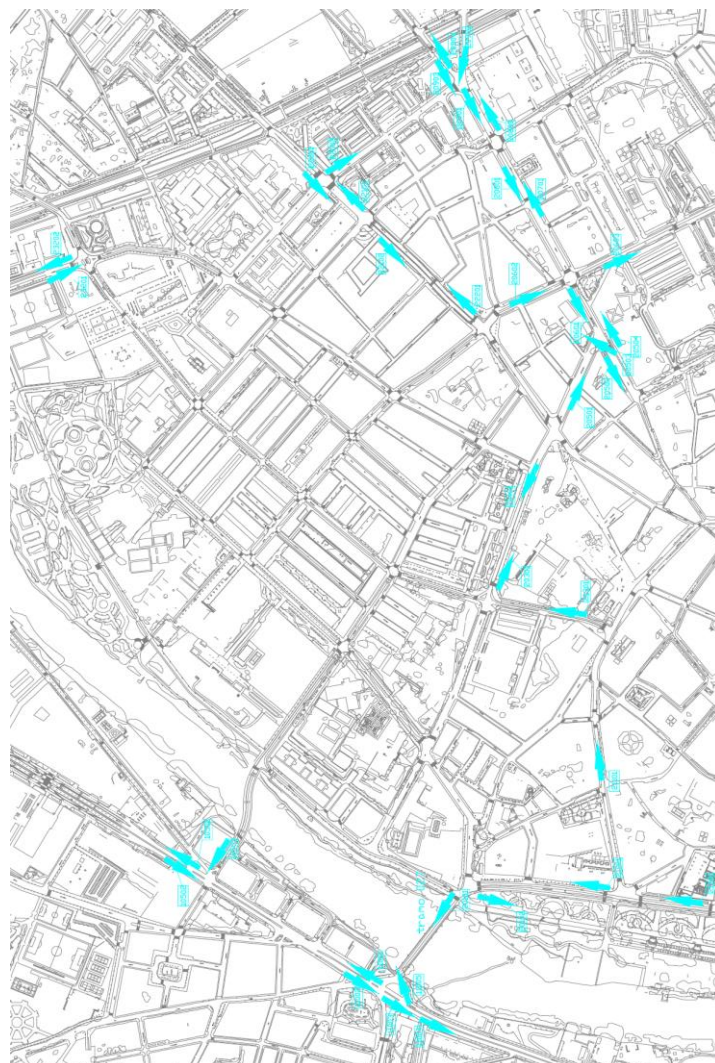


Figura A.1: Mapa de la disposición de las espiras fijas. Fuente: Ayuntamiento de Valladolid.



UBICACIÓN	P.M.	2015	
		Laboral	Festivo
RONDILLA SANTA TERESA -> GONDOMAR (CARDENAL TORQUEMADA)	PM020301	5.184	3.180
RONDILLA SANTA TERESA -> PASEO RENACIMIENTO (SANTA CLARA)	PM020401	11.291	7.405
REAL DE BURGOS -> HUELGAS (CHANCILLERIA-ENTRADA)	PM020602	9.241	6.387
CARDENAL TORQUEMADA -> RONDILLA SANTA TERESA (SAN PABLO)	PM021301	9.393	6.166
AVDA. PALENCIA -> SANTA CLARA (AMOR DE DIOS)	PM022001	7.020	4.925
AMOR DE DIOS -> MADRE DE DIOS (AVDA. PALENCIA)	PM022002	3.347	2.160
AVDA. PALENCIA -> AVDA. SANTANDER (PENITENCIA)	PM022101	4.680	3.074
AVDA. PALENCIA -> SANTA CLARA (PENITENCIA)	PM022102	7.412	5.193
AVDA. PALENCIA -> AVDA. SANTANDER (REAL DE BURGOS)	PM022201	4.123	2.845
RÁBIDA -> PORTILLO DE BALBOA (CARDENAL TORQUEMADA)	PM023201	3.043	2.038
RÁBIDA -> EURO (CARDENAL TORQUEMADA)	PM023202	1.972	1.317

INTERPRETACIÓN: RÁBIDA -> EURO (CARDENAL TORQUEMADA) indica que el Punto de Medida cuenta los vehículos que van **desde** la calle La Rábida **hacia(->)** la Avenida del Euro y está **ubicado(-)** en Cardenal Torquemada

Figura A.2: Datos de espiras según la intensidad media diaria. Fuente: Ayuntamiento de Valladolid.



- **Intersecciones semafóricas.**

En el barrio de La Rondilla hay 13 intersecciones, reguladas por semáforos que disponen de la siguiente codificación utilizada por el gabinete de movilidad del Ayuntamiento de Valladolid, las cuales son:

- *Cruce 202* - C/Rondilla de Santa Teresa- C/Mirabel.
- *Cruce 203* - C/Rondilla de Santa Teresa- C/Cardenal Torquemada.
- *Cruce 204* - C/Gondomar- C/Santa Clara.
- *Cruce 220* - Avda. de Palencia - C/Amor de Dios.
- *Cruce 221* - Avda. de Palencia - C/Penitencia.
- *Cruce 222* - Avda. de Palencia - C/Real de Burgos.
- *Cruce 226* - C/Cardenal Torquemada – C/Tirso de Molina.
- *Cruce 227* - C/Cardenal Torquemada – C/Cardenal Cisneros.
- *Cruce 228* - C/Cardenal Cisneros – C/Las Moradas.
- *Cruce 229* - C/Cardenal Cisneros – C/Portillo de Balboa.
- *Cruce 230* - C/Soto - C/Cardenal Torquemada.
- *Cruce 231* - C/Soto - C/Portillo de Balboa.
- *Cruce 232* - C/Cardenal Torquemada – C/Portillo de Balboa.

En el siguiente mapa aparece la ubicación de las intersecciones semafóricas y el diagrama de fase de cada uno. En la figura 132 se ven marcadas con verde las intersecciones pertenecientes al barrio de La Rondilla.



Figura A.3: Mapa de intersecciones semafóricas. Fuente: Ayuntamiento de Valladolid.



• Intersecciones detalladas:

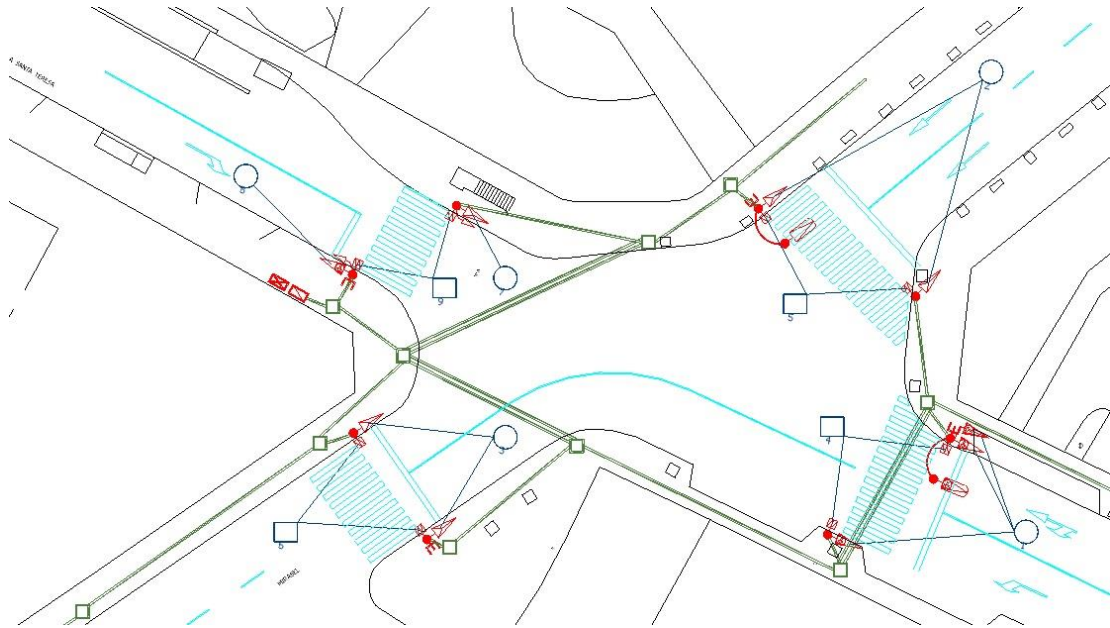


Figura A.4: Cruce 202- C/Rondilla de Santa Teresa- C/Mirabel.Fuente: Aimsun.

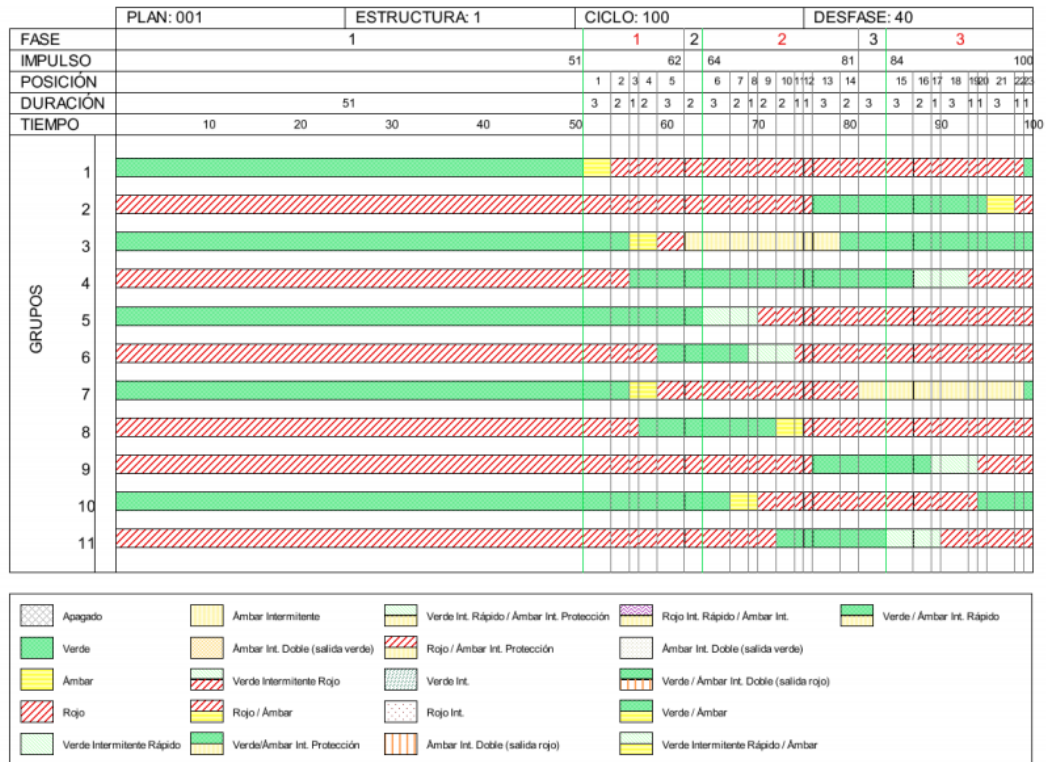


Figura A.5: Diagrama de fase del cruce 202- C/Rondilla de Santa Teresa- C/Mirabel. Fuente: Aimsun.

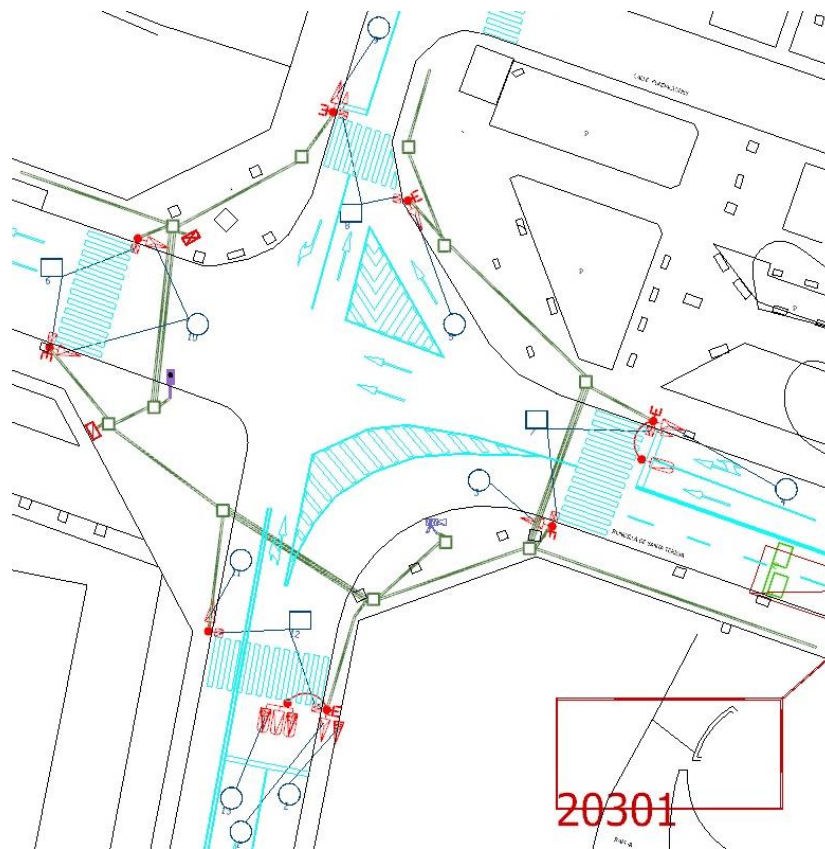


Figura A.7: Cruce 203- C/Rondilla de Santa Teresa- C/Cardenal Torquemada. Fuente: Aimsun.

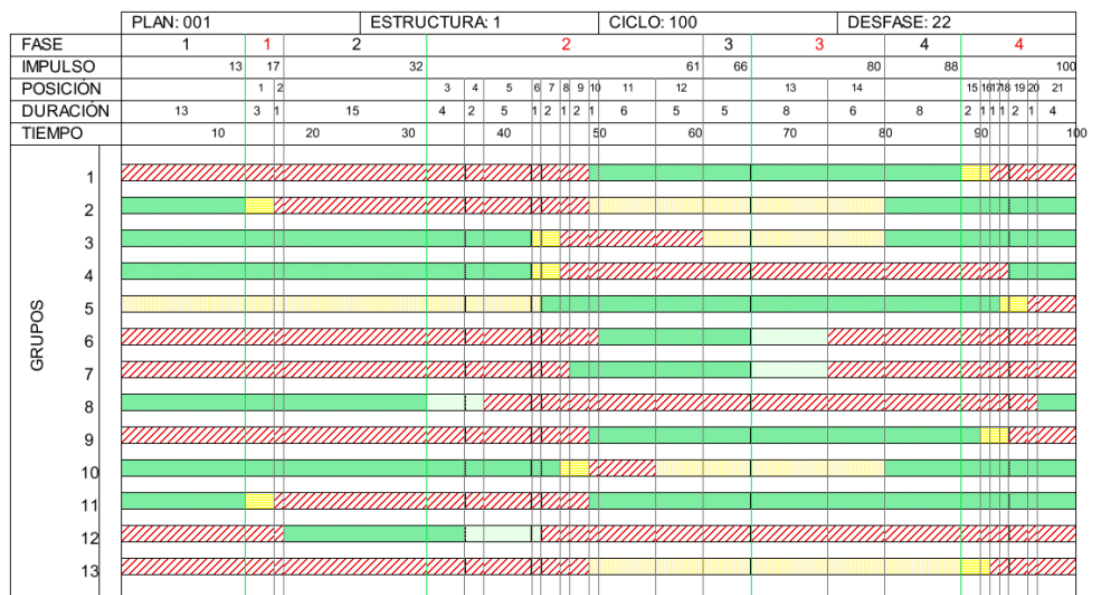


Figura A.6: Diagrama de fases del cruce 203- C/Rondilla de Santa Teresa- C/Cardenal Torquemada. Fuente: Aimsun.

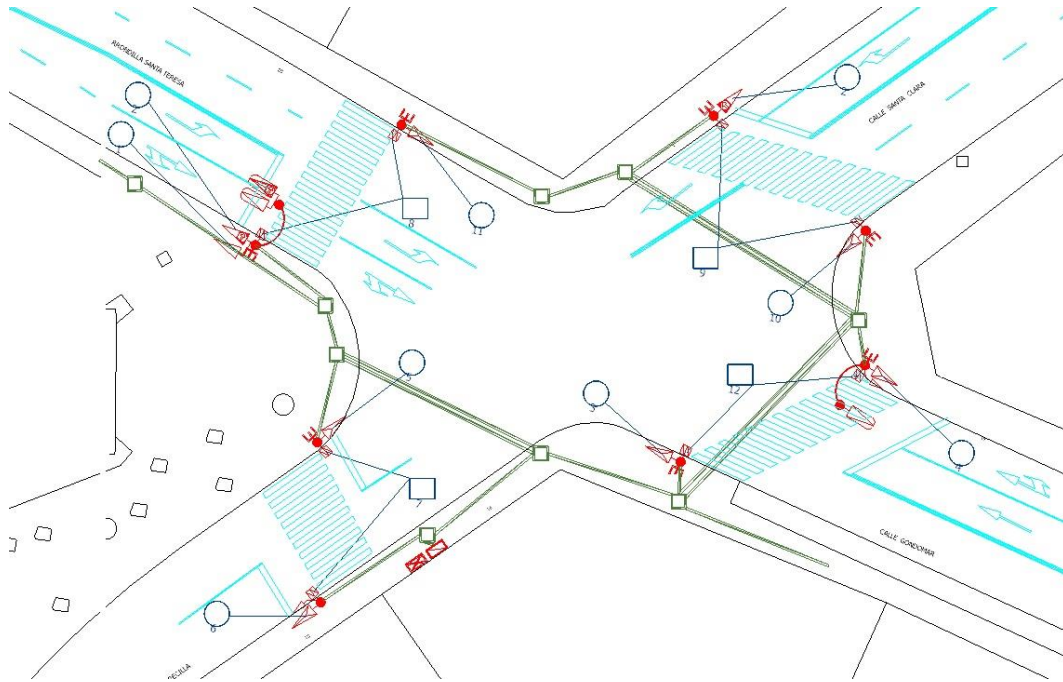


Figura A.8: Cruce 204- C/Gondomar- C/Santa Clara. Fuente: Aimsun.

		PLAN: 001		ESTRUCTURA: 1						CICLO: 100				DESFASE: 8										
		1		1						2		2		3		3								
FASE																								
IMPULSO		30		47						64		75		84		100								
POSICIÓN				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
DURACIÓN		30		4	5	11	3	1	2	17		3	2	1	1	4	9	8	2	1	1	2	1	1
TIEMPO		10	20	30		40						50		60		70		80		90		100		
GRUPOS	1	Green		Green						Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		
	2	Red		Red						Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		
	3	Green		Green						Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		
	4	Red		Red						Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		
	5	Green		Green						Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		
	6	Red		Red						Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		
	7	Green		Green						Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		
	8	Red		Red						Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		
	9	Green		Green						Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		
	10	Red		Red						Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		
	11	Green		Green						Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		
	12	Red		Red						Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		

Figura A.9: Diagrama de fases del cruce 204- C/Gondomar- C/Santa Clara. Fuente: Aimsun.

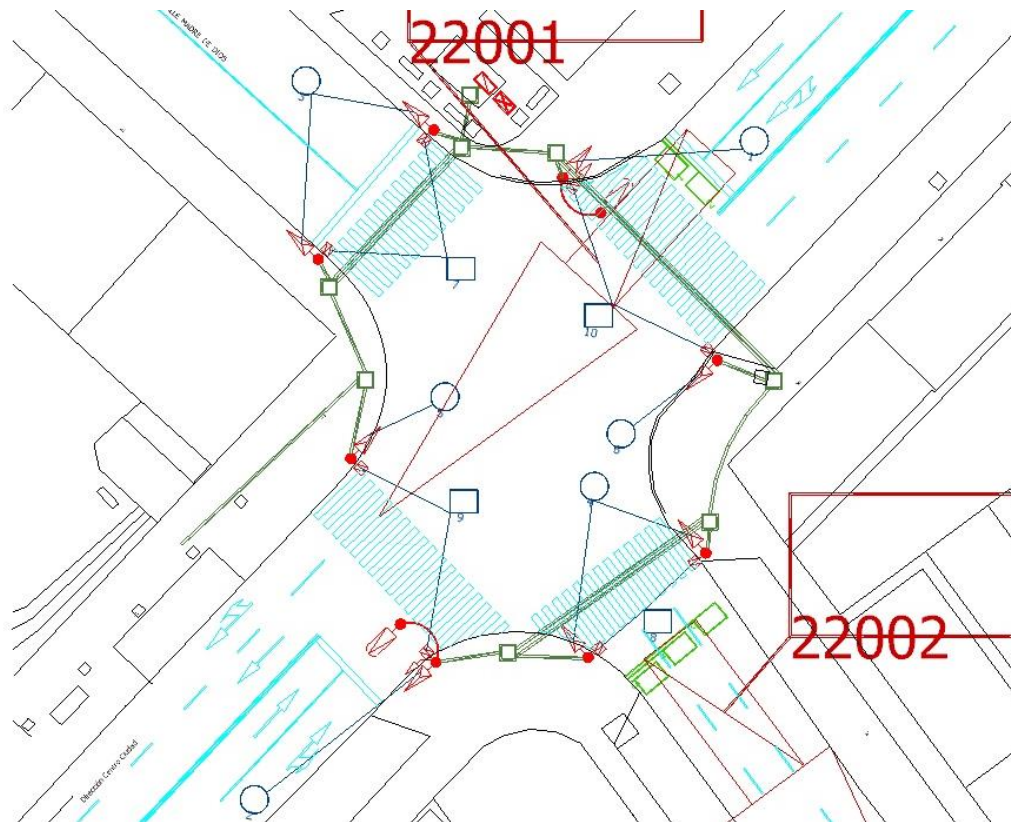


Figura A.8: Cruce 220- Avda. de Palencia - C/Amor de Dios. Fuente: Aimsun.

	PLAN: 001	ESTRUCTURA: 1					CICLO: 100					DESFASE: 69									
FASE	1	1					2	2					3	3							
IMPULSO		30					41	58					78	87					100		
POSICIÓN		1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
DURACIÓN	30	3	2	1	1	4	17	5	5	3	1	1	1	1	3	9	6	1	3	2	1
TIEMPO	10	20	30			40	50	60	70					80	90					100	
GRUPOS	1	[Timeline bar with green, yellow, and red hatched segments]																			
	2	[Timeline bar with red hatched, green, and yellow segments]																			
	3	[Timeline bar with red hatched, green, and yellow segments]																			
	4	[Timeline bar with green, yellow, and red hatched segments]																			
	5	[Timeline bar with green, yellow, and red hatched segments]																			
	6	[Timeline bar with green, yellow, and red hatched segments]																			
	7	[Timeline bar with green, yellow, and red hatched segments]																			
	8	[Timeline bar with red hatched, green, and yellow segments]																			
	9	[Timeline bar with red hatched, green, and yellow segments]																			
	10	[Timeline bar with red hatched, green, and yellow segments]																			

Figura A.9: Diagrama de fases del cruce 220- Avda. de Palencia - C/Amor de Dios. Fuente: Aimsun.

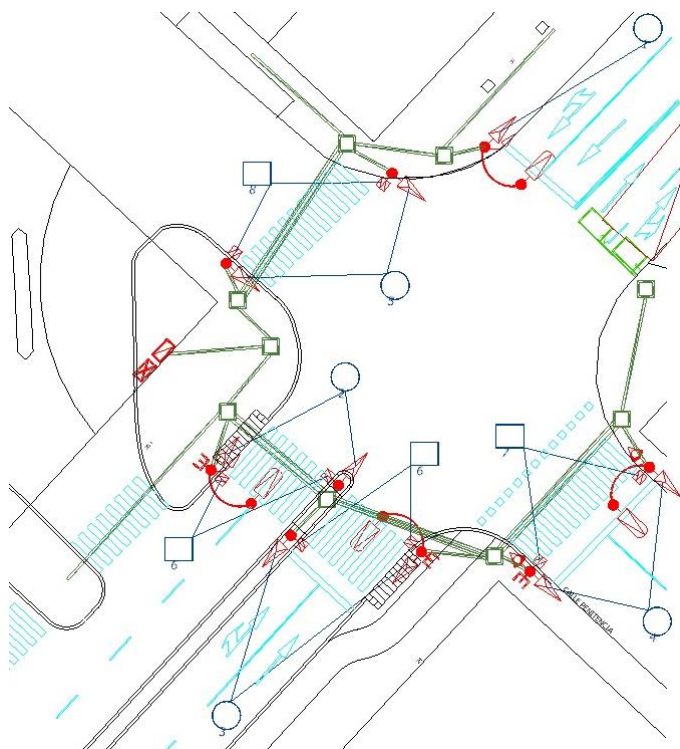


Figura A.12: Cruce 221- Avda. de Palencia - C/Penitencia. Fuente: Aimsun.

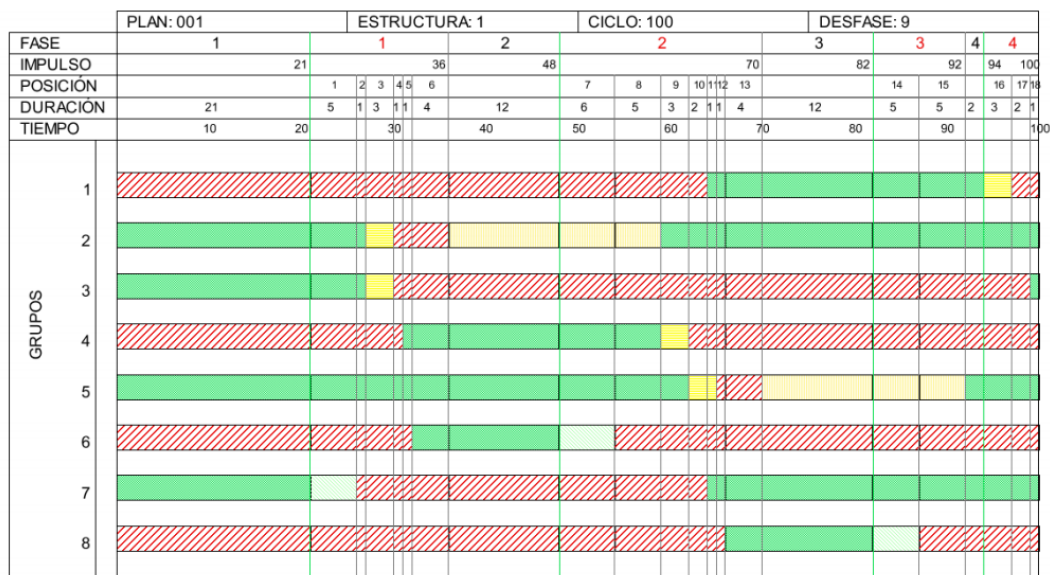


Figura A.13: Diagrama de fases del cruce 221- Avda. de Palencia - C/Penitencia. Fuente: Aimsun.

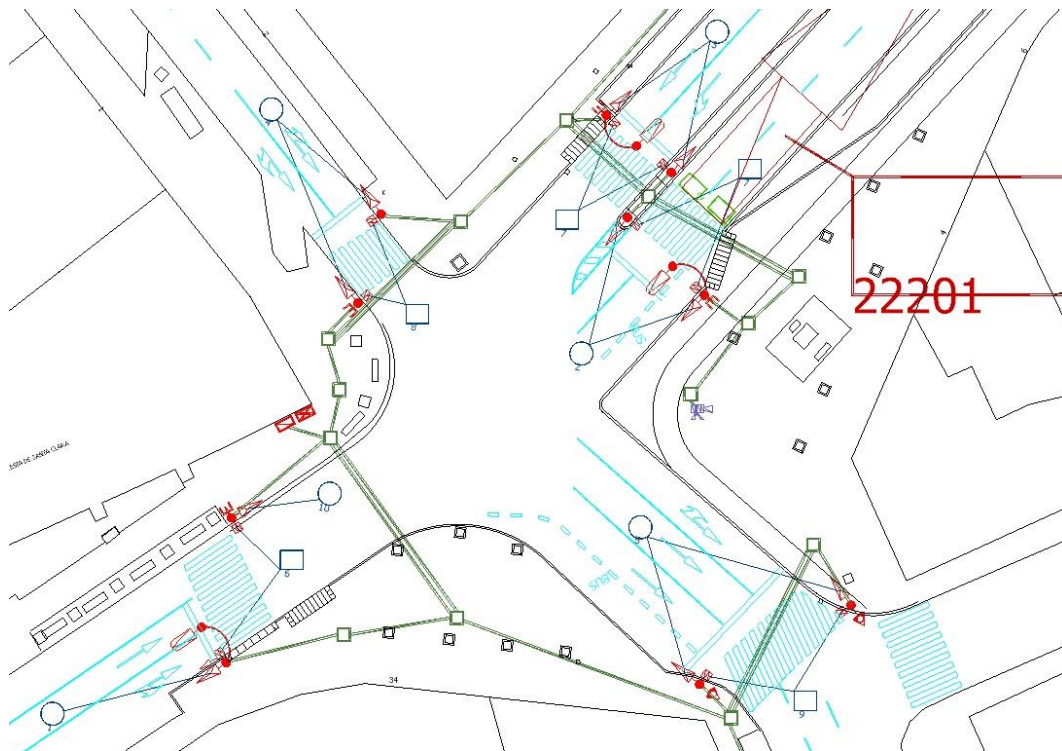


Figura A.10: Cruce 222- Avda. de Palencia - C/Real de Burgos. Fuente: Aimsun.

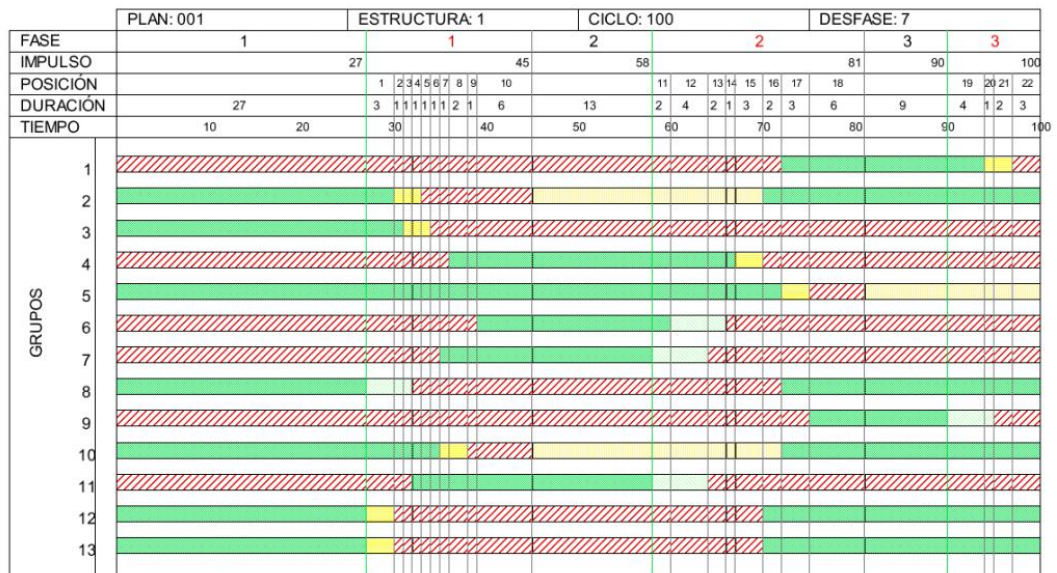


Figura A.11: Diagrama de fases del cruce 222- Avda. de Palencia - C/Real de Burgos. Fuente: Aimsun.

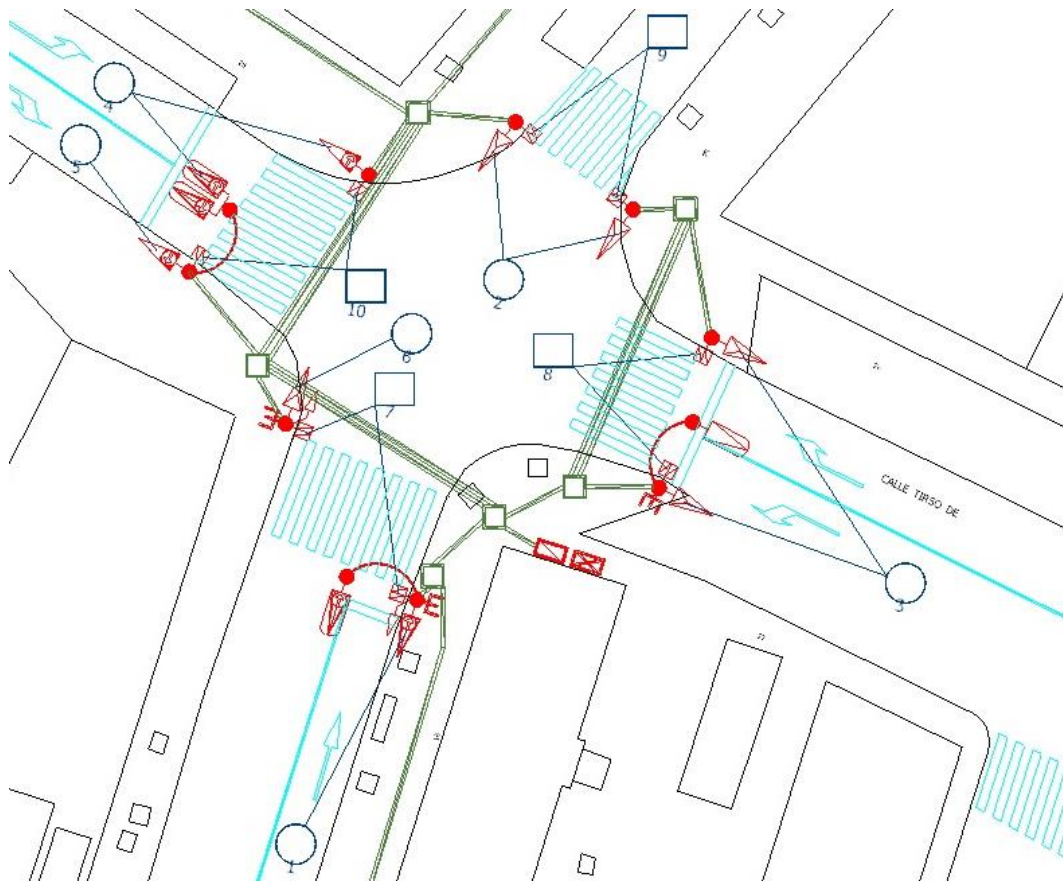


Figura A.13 : Cruce 226- C/Cardenal Torquemada – C/Tirso de Molina. Fuente: Aimsun.

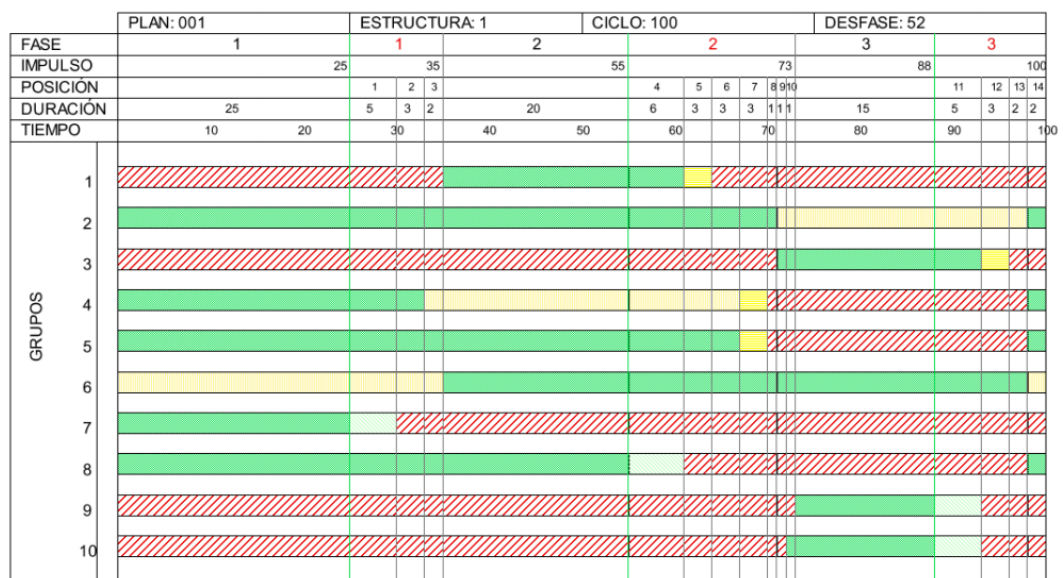


Figura A.12: Diagrama de fases del cruce 226- C/Cardenal Torquemada – C/Tirso de Molina. Fuente: Aimsun.

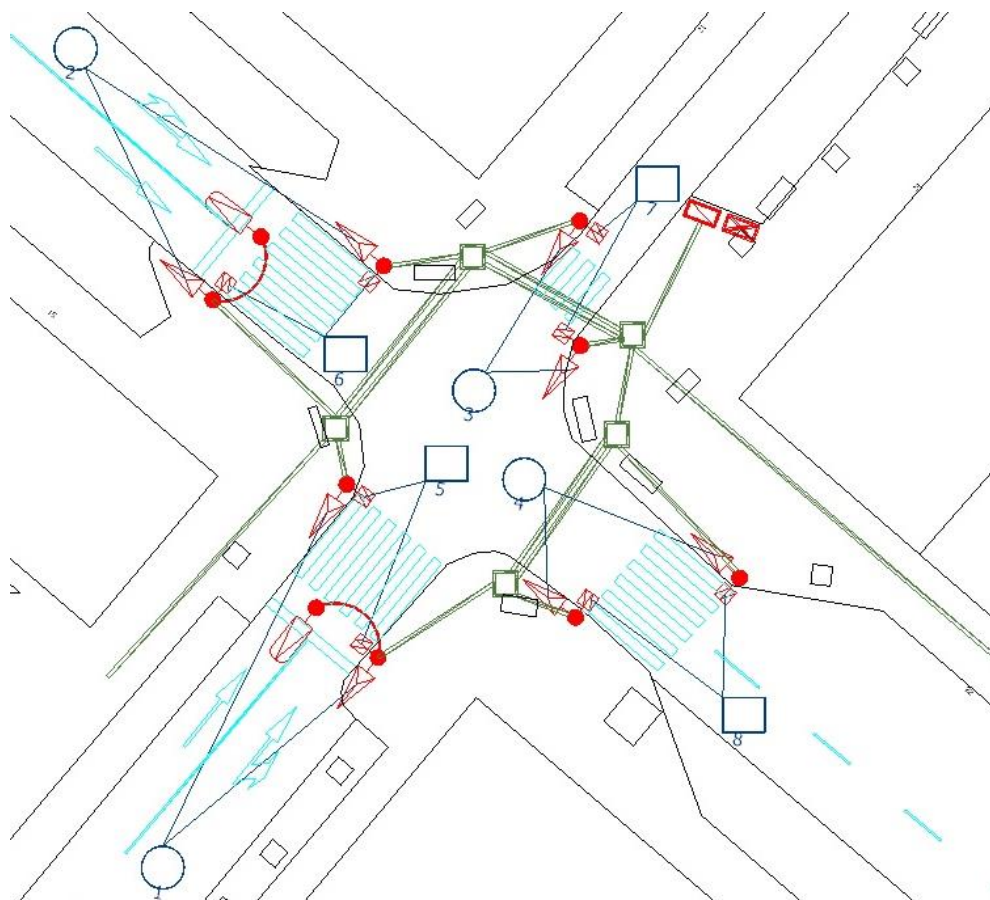


Figura A.18: Cruce 227- C/Cardenal Torquemada – C/Cardenal Cisneros. Fuente: Aimsun.

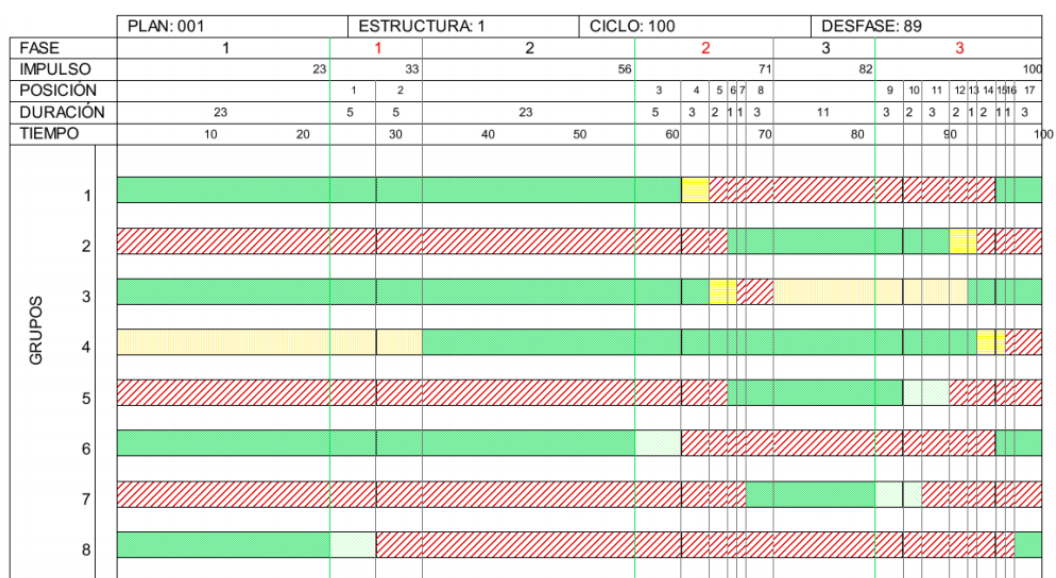


Figura A.19: Diagrama de fases del cruce 227- C/Cardenal Torquemada – C/Cardenal Cisneros. Fuente: Aimsun.

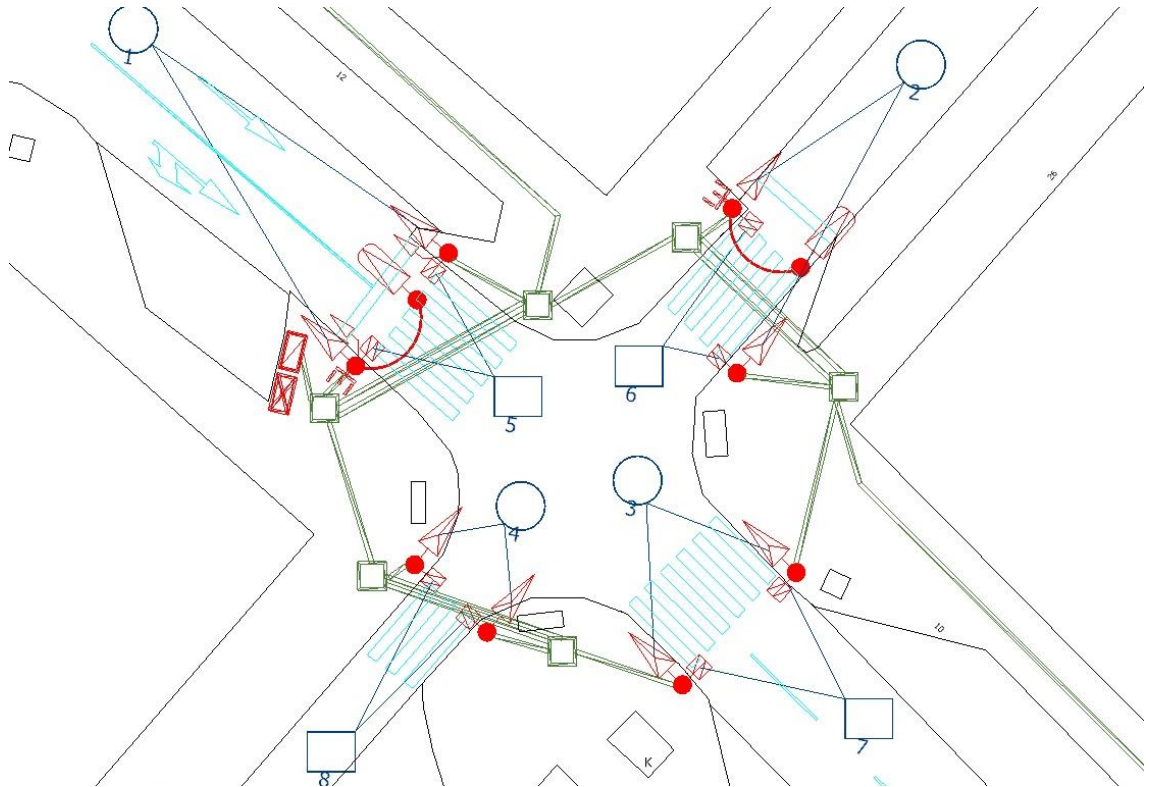


Figura A.14: Cruce 228- C/Cardenal Cisneros – C/Las Moradas. Fuente: Aimsun.

	PLAN: 001		ESTRUCTURA: 1		CICLO: 100							DESFASE: 5													
FASE	1		1	2	2							3	3												
IMPULSO	22		32		50							68		78					100						
POSICIÓN			1	2								3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
DURACIÓN	22		6	4	18							6	3	3	2	4	10	6	6	1	2	1	2	2	2
TIEMPO	10		20		30		40		50		60			70		80		90			100				
GRUPOS	1	Green		Green		Green							Yellow	Red		Red					Green				
	2	Red		Red		Red							Green	Green		Green					Yellow				
	3	Green		Green		Green							Yellow	Red		Yellow					Green				
	4	Yellow		Green		Green							Green		Green					Yellow					
	5	Red		Red		Red							Green		Green					Red					
	6	Green		Green		Green							Red		Red					Green					
	7	Red		Red		Red							Green		Green					Red					
	8	Green		Red		Red							Red		Red					Green					

Figura A.15: Diagrama de fases del cruce 228- C/Cardenal Cisneros – C/Las Moradas. Fuente: Aimsun.

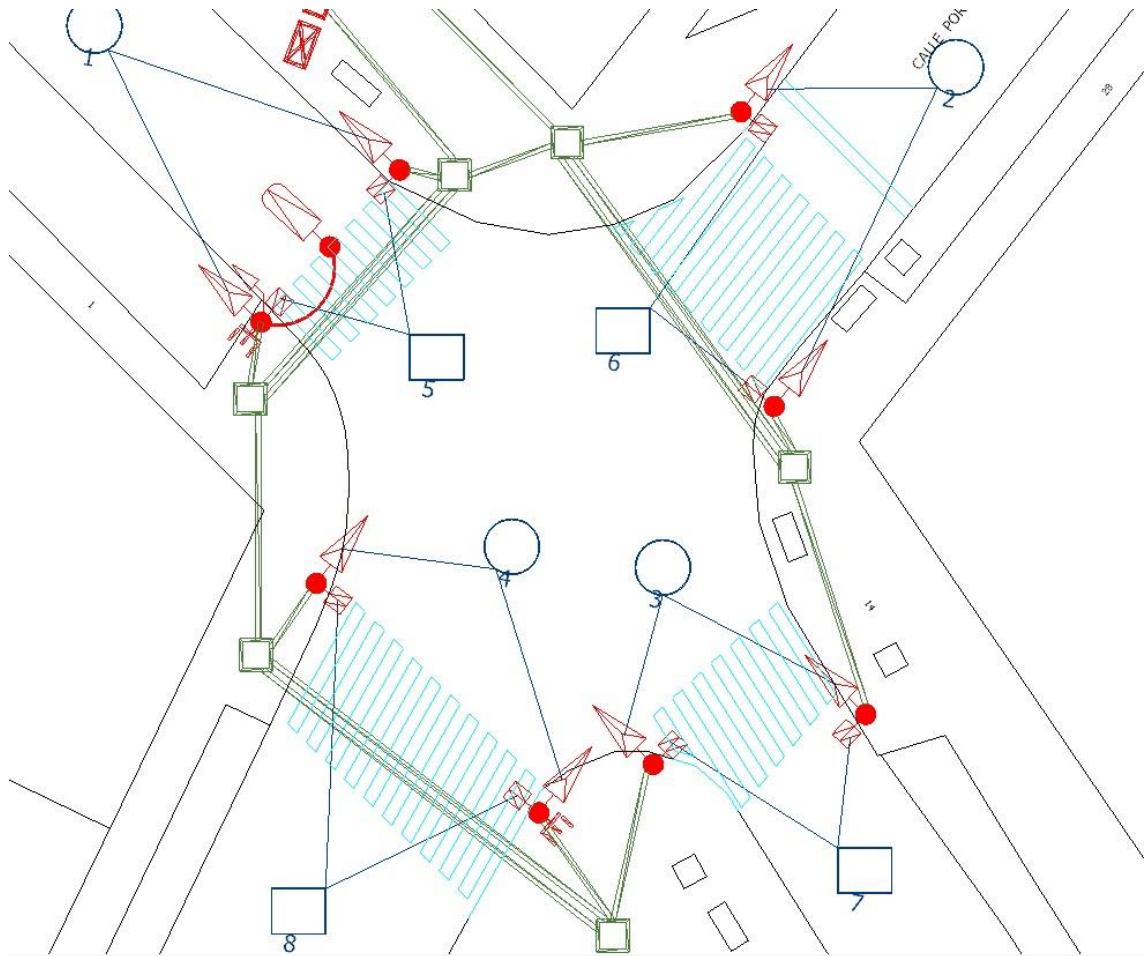


Figura A.16: Cruce 229- C/Cardenal Cisneros – C/Portillo de Balboa. Fuente: Aimsun.



Figura A.17: Diagrama de fases del cruce 229- C/Cardenal Cisneros – C/Portillo de Balboa. Fuente: Aimsun

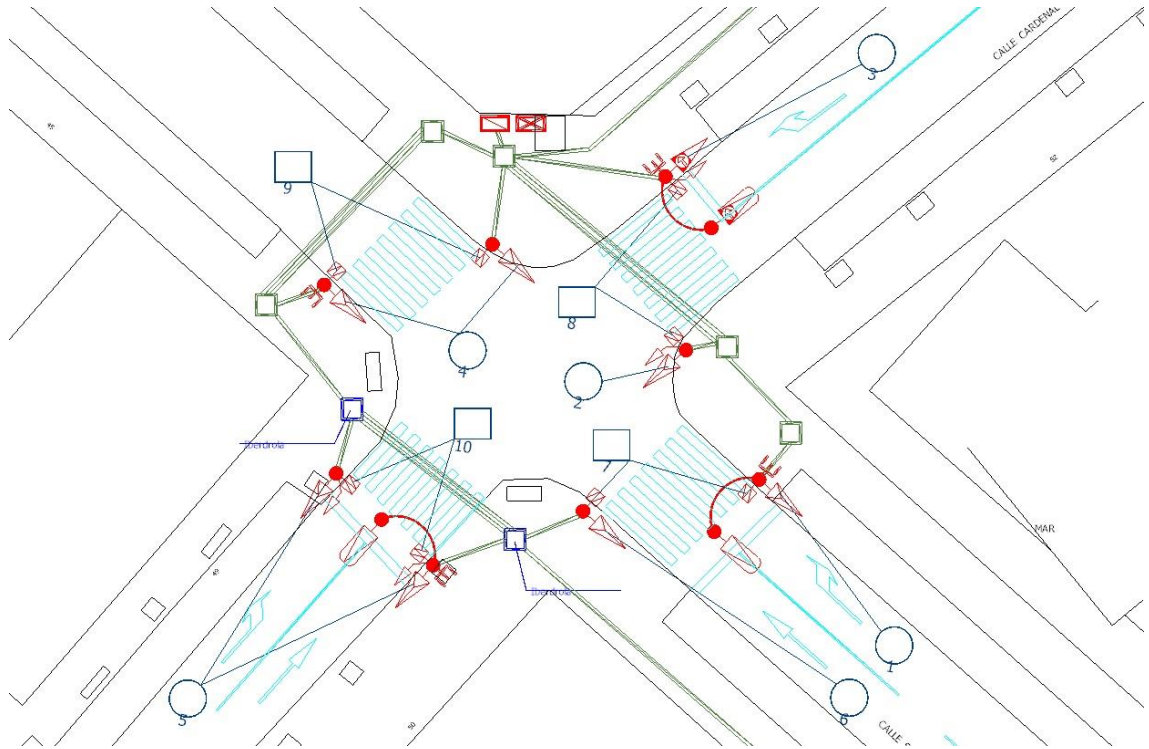


Figura A.18: Cruce 230- C/Soto - C/Cardenal Torquemada. Fuente: Aimsun.

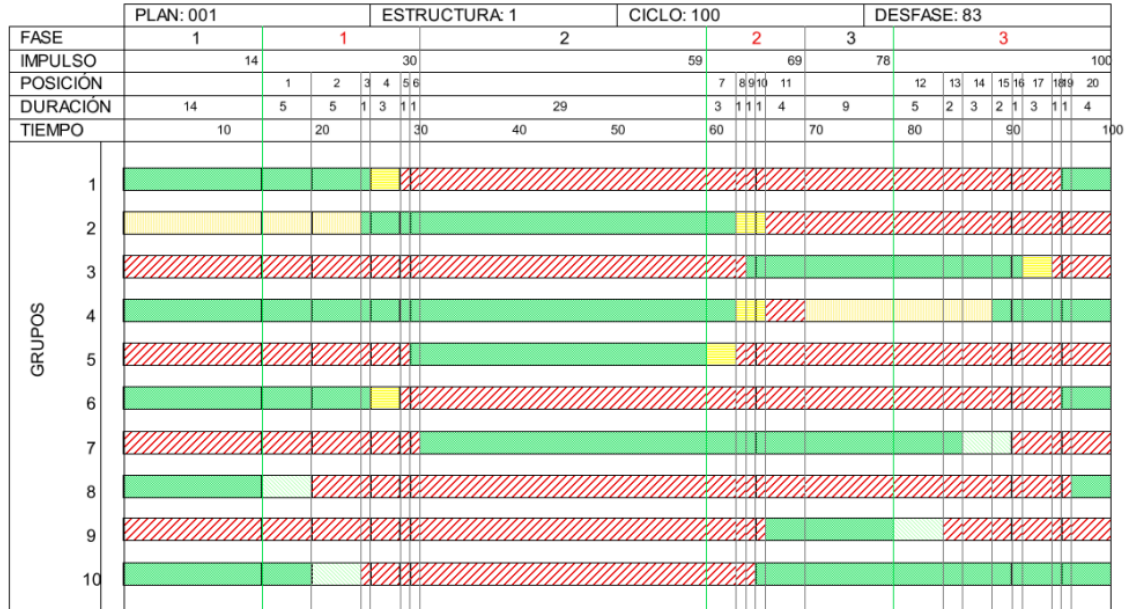


Figura A.19: Diagrama de fases del cruce 230- C/Soto - C/Cardenal Torquemada. Fuente: Aimsun.

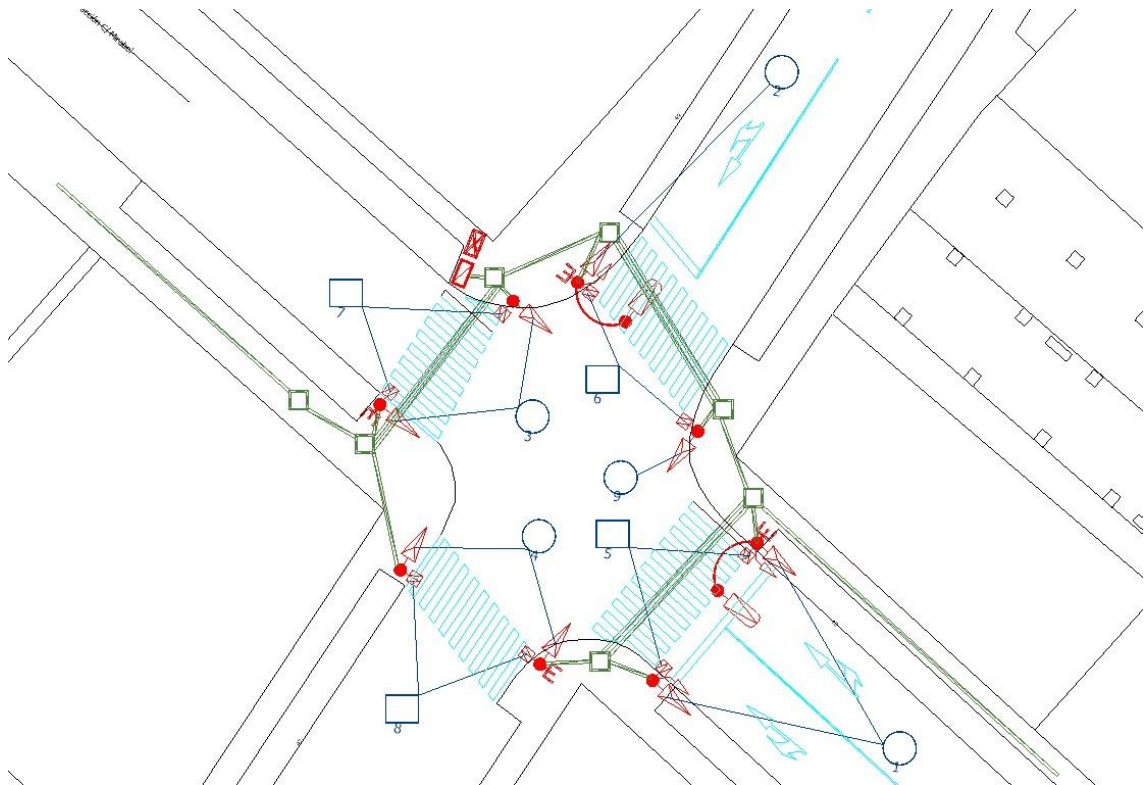


Figura A.20: Cruce 231- C/Soto - C/Portillo de Balboa. Fuente: Aimsun.

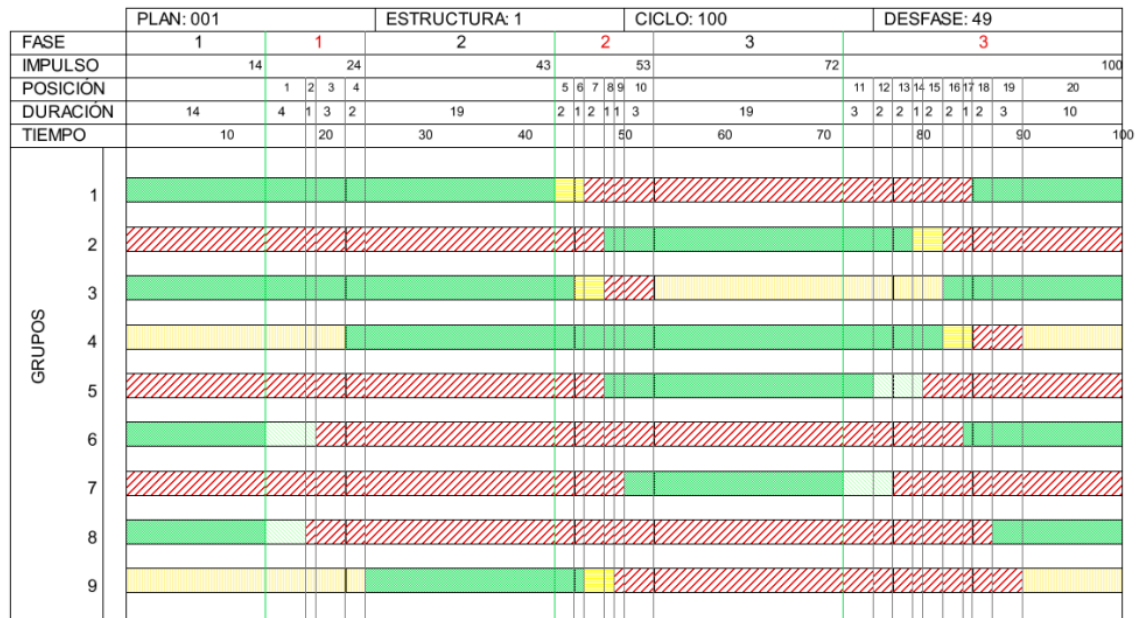


Figura A.21: Diagrama de fases del cruce 231- C/Soto - C/Portillo de Balboa. Fuente: Aimsun.

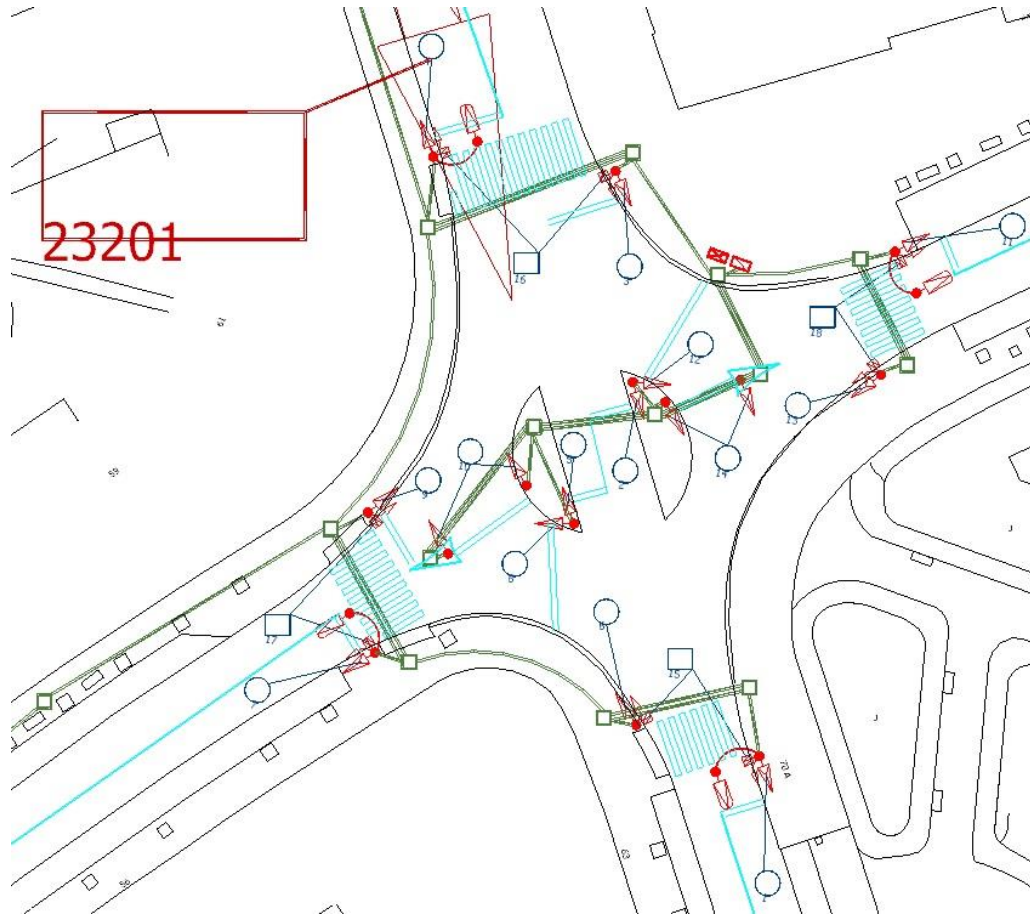


Figura A.22: Cruce 232- C/Cardenal Torquemada - C/Portillo de Balboa. Fuente: Aimsun.

FASE	PLAN: 001													ESTRUCTURA: 1												CICLO: 100						DEFASE: 84				
	1											1		2		2		3				3														
IMPULSO	11													41		50		54		69				100												
POSICIÓN	1													2		3		4		5				6												
DURACIÓN	11													5		5		2		5				1												
TIEMPO	10													20		30		40		50				70												
GRUPOS	1	/													/		/		/				/													
	2	/													/		/		/				/													
	3	/													/		/		/				/													
	4	/													/		/		/				/													
	5	/													/		/		/				/													
	6	/													/		/		/				/													
	7	/													/		/		/				/													
	8	/													/		/		/				/													
	9	/													/		/		/				/													
	10	/													/		/		/				/													
	11	/													/		/		/				/													
	12	/													/		/		/				/													
	13	/													/		/		/				/													
	14	/													/		/		/				/													
	15	/													/		/		/				/													
	16	/													/		/		/				/													
	17	/													/		/		/				/													
	18	/													/		/		/				/													
	19	/													/		/		/				/													
	20	/													/		/		/				/													
	21	/													/		/		/				/													
	22	/													/		/		/				/													
	23	/													/		/		/				/													
	24	/													/		/		/				/													

Figura A.23: Diagrama de fases del cruce 232- C/Cardenal Torquemada - C/Portillo de Balboa. Fuente: Aimsun.