



UNIVERSIDAD de VALLADOLID



ESCUELA de INGENIERÍAS INDUSTRIALES

GRADO EN INGENIERÍA EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

TRABAJO DE FIN DE GRADO

ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL TRÁFICO RODADO DEL BARRIO DE LA RONDILLA

Autor:

Fernández Miguel, Juan

Tutores:

Pérez Blanco, Esteban

Pérez Rueda, María Ángeles

**Departamento Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica,
Expresión Gráfica en la Ingeniería, Ingeniería Cartográfica, Geodesia y
Fotogrametría, Ingeniería Mecánica e Ingeniería de los Procesos de
Fabricación**

Diciembre – 2015



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Organización Industrial

**ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL TRÁFICO
RODADO DEL BARRIO DE LA RONDILLA**

Autor:

Fernández Miguel, Juan

Tutores:

Pérez Blanco, Esteban

Pérez Rueda, María Ángeles

**Departamento Ciencia de los Materiales e
Ingeniería Metalúrgica, Expresión Gráfica en la
Ingeniería, Ingeniería Cartográfica, Geodesia y
Fotogrametría, Ingeniería Mecánica e Ingeniería
de los Procesos de Fabricación**

Valladolid, Diciembre 2015.

Antes de comenzar, quisiera expresar mi agradecimiento a mis padres, hermano y demás familia, que me han aguantado y apoyado en los buenos y malos momentos, me han animado y han estado ahí cuando lo he necesitado.

A mis compañeros, en especial a César, Daniel, Miguel Ángel, Paulo y Ramón, con los que he compartido muchas horas de trabajo y muy buenos momentos que seguro se repetirán.

A mis amigos, que me han comprendido y apoyado, dándome ánimos cuando me han visto agobiado.

A todo el personal de la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid, por ayudar a formarme como Ingeniero de Organización Industrial.

Y por último, a mi tutor, D. Esteban Pérez Blanco por la oportunidad de realizar este trabajo de fin de grado y por su dedicación y esfuerzo, que me ha ayudado y guiado en su elaboración.

A todos, muchas gracias.

RESUMEN

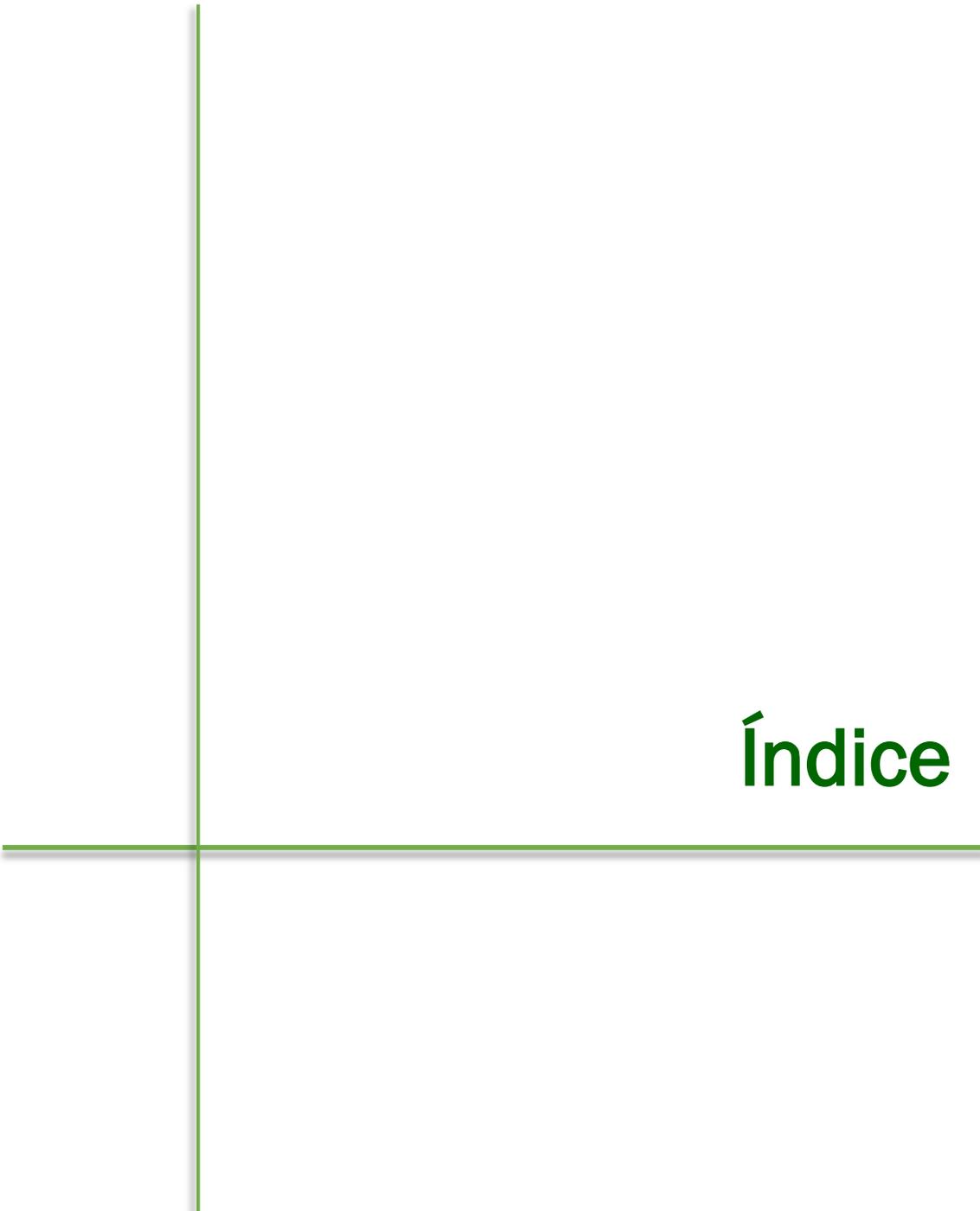
El continuo crecimiento del número de vehículos que circulan por las calles de las ciudades hace que muchas zonas se vean saturadas a determinadas horas del día. En el caso de la ciudad de Valladolid, el barrio de la Rondilla es una de esas zonas que se ven afectados por el continuo transitar de vehículos.

En este Trabajo Fin de Grado (TFG), nos serviremos del software de simulación de tráfico AIMSUN para crear un modelo del barrio y poder realizar simulaciones que nos ayuden a analizar el movimiento vehicular en su interior. De igual modo, se realizarán distintas propuestas de tráfico y se analizarán los resultados mediante una comparación con la situación actual

Este trabajo servirá como base a futuros análisis de redes de tráfico mucho más amplias mediante simulación con el software AIMSUN.

PALABRAS CLAVE

Ingeniería del Transporte, Tráfico, Rondilla, Análisis y Simulación, AIMSUN.



Índice

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1 - INTRODUCCIÓN.....	3
1.2 - JUSTIFICACIÓN DEL TFG	4
1.3 - OBJETIVOS DEL TFG.....	5
1.4 - ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA.....	5
Capítulo 2: Ingeniería del Tráfico.....	7
2.1 - CONCEPTOS GENERALES DE TRÁFICO	9
2.1.1 - PLANIFICACIÓN VIAL	10
2.1.2 - ORGANIZACIÓN DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO	12
2.1.3 - CONCLUSIONES	13
2.2 - CARACTERÍSTICAS BÁSICAS.....	14
2.2.1 - COMPOSICIÓN.....	15
2.2.2 - INTENSIDAD	15
2.2.3 - VELOCIDAD	17
2.2.4 - DENSIDAD	17
2.2.5 - RELACIÓN ENTRE INTENSIDAD Y VELOCIDAD	18
2.3 - CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO	20
2.3.1 - CAPACIDAD	20
2.3.2 - NIVELES DE SERVICIO.....	22
2.3.3 - CAPACIDAD EN INTERSECCIONES CON SEMÁFOROS	24
2.3.4 - CALIDAD DE SERVICIO	26
2.4 - CONTROL DEL TRÁFICO RODADO	26
2.4.1 - CANALIZACIÓN	28
2.4.2 - COMUNICACIONES.....	28
2.4.3 - LÍMITES DE VELOCIDAD.....	28
2.5 - ESTUDIO Y PLANIFICACIÓN DEL TRÁFICO RODADO.....	29
2.5.1 - ESTUDIO DEL TRANSPORTE: AFOROS	29
2.5.1.1 - OBJETIVOS DE LOS AFOROS.....	29
2.5.1.2 - TÉCNICAS DE AFORO	30
2.5.1.3 - AFOROS EN ZONAS URBANAS.....	31
2.5.2 - PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE	33
2.5.2.1 - ETAPAS DE LA PLANIFICACIÓN	34
2.5.2.2 - CONCEPTO DE COSTE.....	35
2.5.2.3 - PLANIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIARIA.....	37
2.5.2.4 - LA FUNCIÓN DE DEMANDA.....	44
2.5.2.5 - MODELOS DE DEMANDA	47
2.5.2.6 - OFERTA Y EQUILIBRIO DEL MERCADO DE TRANSPORTE	54
2.5.2.7 - ENCUESTAS PARA EL ESTUDIO DE LA DEMANDA.	58
Capítulo 3: Software AIMSUN.....	63
3.1 - INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE AIMSUN.....	65

3.2 - DESARROLLO DE UN MODELO AIMSUN	66
3.2.1 - EDICION DE UN MODELO AIMSUN.....	67
3.2.1.1 - ZONA E INTERVALO DE TIEMPO DE ESTUDIO.....	67
3.2.1.2 - BASE CARTOGRÁFICA	68
3.2.1.3 - MODELADO DE LA GEOMETRÍA.....	68
3.2.1.4 - MODELADO DE LA DEMANDA DE TRÁFICO	70
3.2.1.5 - PLAN DE CONTROL SEMAFÓRICO	72
3.2.1.6 - PLAN DE TRANSPORTE PÚBLICO.....	74
3.2.2 - TIPOS DE MODELADO	76
3.2.2.1 - MODELADO MICROSCOPICO O ASIGNACIÓN DINÁMICA DE TRÁFICO.....	79
3.2.2.2 - MODELADO MACROSCÓPICO O ASIGNACIÓN ESTÁTICA DE TRÁFICO.....	86
3.2.3 - VERIFICACIÓN, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN	91
Capítulo 4: Estudio y análisis del barrio de la Rondilla.....	95
4.1 - INTRODUCCIÓN.....	97
4.2 - MODELO: DEFINICIÓN Y CONSTRUCCIÓN.....	98
4.2.1 - DATOS DE PARTIDA.....	98
4.2.2 - ELECCION DEL TIPO DE MODELADO	101
4.2.3 - REALIZACION DEL MODELO.....	102
4.2.3.1 - DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	102
4.2.3.2 - INTERVALO DE TIEMPO A ESTUDIAR	105
4.2.3.3 - IMPORTACION DE BASE CARTOGRÁFICA.....	106
4.2.3.4 - MODELADO DE LA GEOMETRIA.....	106
4.2.3.5 - MODELADO DE LA DEMANDA DE TRÁFICO	109
4.2.3.6 - PLAN DE CONTROL SEMAFÓRICO Y TRANSPORTE PÚBLICO	114
4.2.3.7 - PARAMETROS DE EJECUCIÓN DE LA SIMULACIONES	115
4.3 - VERIFICACION, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN	116
4.3.1 - VERIFICACIÓN DEL MODELO	116
4.3.2 - CALIBRACIÓN DEL MODELO	118
4.3.2.1 - PARAMETROS DE LOS VEHICULOS.....	119
4.3.2.2 - PARAMETROS GLOBALES.....	121
4.3.2.3 - PARAMETROS LOCALES	126
4.3.3 - VALIDACIÓN DEL MODELO.....	130
4.3.3.1 - MÉTODO DE VALIDACIÓN	130
4.3.3.2 - VALIDACIÓN DEL MODELO	132
4.4 - ANÁLISIS DEL MODELO DE SIMULACIÓN	135
4.4.1 - MAPAS DE FLUJO Y DENSIDAD DE TRÁFICO	135
4.4.2 - ANÁLISIS DE PARÁMETROS GLOBALES.....	137
4.4.3 - OTRAS CARACTERISTICAS DE LA RED	143
Capítulo 5: Análisis de propuestas de tráfico	147
5.1 - INTRODUCCIÓN.....	149
5.2 - ANÁLISIS DE LOS PROBLEMAS.....	150
5.3 - PROPUESTAS DE TRÁFICO	151
5.3.1 - SITUACIÓN IDEAL	152

5.3.1.1 - ANÁLISIS DE PARÁMETROS GLOBALES.....	153
5.3.1.2 - OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LA RED	160
5.3.1.3 - CONCLUSIONES DEL MODELO	163
5.3.2 - SITUACIÓN ZONA 30 REAL.....	163
5.3.2.1 - ANÁLISIS DE PARÁMETROS GLOBALES.....	164
5.3.2.2 - OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LA RED	170
5.3.2.3 - CONCLUSIONES DEL MODELO	173
5.3.3 - SITUACIÓN ZONA 30 IDEAL.....	173
5.3.3.1 - ANÁLISIS DE PARÁMETROS GLOBALES.....	174
5.3.3.2 - OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LA RED	180
5.3.3.3 - CONCLUSIONES DEL MODELO	183
5.3.4 - SITUACIÓN ZONA 10 CON VIALES.....	183
5.3.4.1 - ANÁLISIS DE PARÁMETROS GLOBALES.....	185
5.3.4.2 - OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LA RED	191
5.3.4.3 - CONCLUSIONES DEL MODELO	193
5.3.5 - SITUACIÓN ROTONDAS	194
5.3.5.1 - ANÁLISIS DE PARÁMETROS GLOBALES.....	195
5.3.5.2 - OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LA RED	201
5.3.5.3 - CONCLUSIONES DEL MODELO	203
5.4 - RESULTADOS Y CONCLUSIONES	204
Capítulo 6: Estudio Económico.....	207
6.1 - INTRODUCCIÓN.....	209
6.1.1 - COSTES DIRECTOS Y COSTES INDIRECTOS.....	209
6.1.2 - COSTES FIJOS Y COSTES VARIABLES	210
6.1.3 - CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DE LOS COSTES DE ESTE PROYECTO	210
6.2 - COSTES DIRECTOS.....	211
6.2.1 - COSTE DE PERSONAL	211
6.2.2 - COSTES DE LOS EQUIPOS.....	214
6.2.3 - COSTES DE MATERIALES CONSUMIBLES.....	216
6.3 - COSTES INDIRECTOS	216
6.4 - COSTES TOTALES DEL PROYECTO	217
Capítulo 7: Conclusiones.....	219
7.1 - CONCLUSIONES	221
7.2 - LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.....	223
Bibliografía	225
Anexo.....	229
DATOS DE ESPIRAS.....	231
INTERSECCIONES SEMAFÓRICAS.....	234

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2: Ingeniería del Tráfico	7
Figura 2.1: Relación Intensidad-Velocidad.	19
Figura 2.2: Capacidad máxima de un carril.	22
Figura 2.3: Niveles de servicio.	24
Figura 2.4: Función de demanda.	44
Figura 2.5: Curvas de relaciones de reparto modal.	51
Figura 2.6: Curva de costes y oferta a largo plazo.	54
Figura 2.7: Curva de oferta del transporte.	55
Figura 2.8: Equilibrio Oferta-Demanda.	56
Figura 2.9: Situaciones de equilibrio en una carretera simple.	57
Figura 2.10: Situación de equilibrio en dos carreteras que conectan dos puntos.	57
Figura 2.11: Situación de equilibrio en rutas alternativas entre dos zonas.	57
Capítulo 3: Software AIMSUN	63
Figura 3.1: Secciones.	69
Figura 3.2: Intersección.	69
Figura 3.4: Red definida mediante estados de tráfico.	71
Figura 3.5: Grupos semafóricos.	73
Figura 3.6: Ciclos semafóricos.	73
Figura 3.7: Tiempos de ámbar.	74
Figura 3.8: Secciones de la línea de transporte público.	75
Figura 3.9: Características de la línea.	75
Figura 3.10: Plan de transporte público.	76
Figura 3.11: Función de demora.	78
Figura 3.12: Atributos estáticos de un vehículo.	82
Figura 3.13: Atributos dinámicos de un vehículo.	83
Figura 3.14: Distancia recorrida y velocidad media.	83
Figura 3.15: Visualización del camino de un vehículo.	84
Figura 3.16: Modo de vista. Vehículos representados por colores según su velocidad.	85
Figura 3.17: Editor que muestra la densidad y velocidad de una sección.	86
Figura 3.18: Volumen y relación volumen/capacidad por sección.	87
Figura 3.19: Volumen y tiempo de viaje por sección y tipo de vehículo.	88
Figura 3.20: Porcentaje y volumen de giro sección a sección.	88
Figura 3.21: Asignación de caminos.	89
Figura 3.22: Localización óptima de detectores.	90

Figura 3.23: Esquema de verificación, calibración y validación.	91
Figura 3.23: Esquema de verificación, calibración y validación.	91
Figura 3.24: Verificación, calibración, validación.	92
Figura 3.25: Resultados de validación.	93
Capítulo 4: Estudio y análisis del barrio de la Rondilla	95
Figura 4.1: Mapa zona de estudio.	98
Figura 4.2: Situación de semáforos en una intersección.	99
Figura 4.3: Ciclos semafóricos.....	100
Tabla 4.1: Datos de espiras expresadas en IMD, vehículos/día.	101
Figura 4.4: Mapa de situación de Valladolid.....	103
Figura 4.5: Vista aérea del Barrio de La Rondilla.	103
Figura 4.6: Delimitación de la zona de estudio.	105
Figura 4.7: Viajes por horas de transporte público y privado.	106
Figura 4.8: Modelado de la geometría.....	107
Figura 4.9: Ejemplo de tipo de vía.	108
Figura 4.10: Ejemplo de modelado de intersecciones.	109
Figura 4.11: Situación de centroides.....	110
Figura 4.12: Situación de espiras.	111
Figura 4.13: Modelo de red de proyectos anteriores.....	112
Figura 4.14: Aforo “in situ”.	114
Figura 4.15: Parámetros del escenario dinámico. Demanda de tráfico, plan de transporte público y plan de control semafórico.	115
Figura 4.16: Parámetros escenario dinámico. Intervalo de tiempo entre mediciones... ..	116
Figura 4.17: Gráfico hora punta.....	118
Figura 4.18: Ejemplos de definición de parámetros de los vehículos.	119
Figura 4.19: Parámetros de los vehículos. Coche.	120
Figura 4.20: Parámetros de los vehículos. Autobús.	121
Figura 4.21: Parámetros globales. Calentamiento.	122
Figura 4.22: Paso de simulación, tiempo de reacción, tiempo de reacción en parada y tiempo de reacción para el primer vehículo en un semáforo.	123
Figura 4.23: Formas de introducir vehículos en la red.	124
Figura 4.24: Capacidad y coste definido por el usuario en secciones.	125
Figura 4.25: Peso de la atraktividad y coste definido por el usuario.....	126
Figura 4.26: Velocidad y capacidad de las vías.....	127
Figura 4.27: Distancia a las zonas de cambio de carril en secciones.....	127
Figura 4.28: Definición de zonas de cambio de carril en secciones.	128
Figura 4.29: Líneas de parada.....	129

Figura 4.30: Representación geométrica de las secciones.....	130
Figura 4.31: Representación de valores (x, y).	131
Figura 4.32: Numeración de detectores.....	133
Figura 4.33: Comparación de aforo (nº de vehículos) de datos reales (espiras) con simulado (detectores).	133
Figura 4.34: Resultado de la validación mediante datos de espiras.	134
Figura 4.35: Mapa de flujo de vehículos (veh/h).....	135
Figura 4.36: Mapa de densidad de tráfico.	136
Figura 4.37: Mapa de flujo de vehículos (veh/h).....	138
Figura 4.38: Flujo de vehículos (veh/h).	139
Figura 4.39: Densidad de tráfico (veh/km).	139
Figura 4.40: Longitud media de cola (veh).	140
Figura 4.41: Velocidad (km/h).	140
Figura 4.42: Tiempo de demora (s/km).....	141
Figura 4.43: Tiempo de viaje (s/km).....	142
Figura 4.44: Tiempo de parada (s/km) y número de paradas.....	144
Figura 4.45: Distancia total viajada (km).....	144
Figura 4.46: Tiempo total de viaje (s).	145
Capítulo 5: Análisis de propuestas de tráfico	147
Figura 5.1: Diferencias en el modelo ideal y real de C/Cardenal Cisneros - C/Cerrada.	152
Figura 5.2: Diferencias entre modelos de la C/Soto-C/Mirabel.	153
Figura 5.3: Mapa de flujo de vehículos en la situación ideal.....	154
Figura 5.4: Comparativa de flujos de vehículos (veh/h). Situación Ideal.	155
Figura 5.5: Comparativas de densidad de tráfico (veh/km).Situación Ideal.	156
Figura 5.6: Comparativa de longitudes medias de cola (veh). Situación Ideal.....	157
Figura 5.7: Comparativa de velocidades (km/h). Situación Ideal.....	158
Figura 5.8: Comparativas de tiempos de demora (s/km). Situación Ideal.	159
Figura 5.9: Comparación entre el tiempo de parada y el número de paradas. Situación Ideal.	160
Figura 5.10: Comparación de los tiempos totales de viajes (s). Situación Ideal.	161
Figura 5.11: Comparativa de las distancias recorridas (km). Situación Ideal.	162
Figura 5.12: Definición de las calles de zona 30.....	163
Figura 5.13: Límites de la Zona 30.....	164
Figura 5.14: Mapa de flujo de vehículos del modelo Zona 30 Real.	165
Figura 5.15: Comparativa de flujos de vehículos (veh/h). Situación Zona 30 Real.	165
Figura 5.16: Comparativas de densidad de tráfico (veh/km). Situación Zona 30 Real.	166

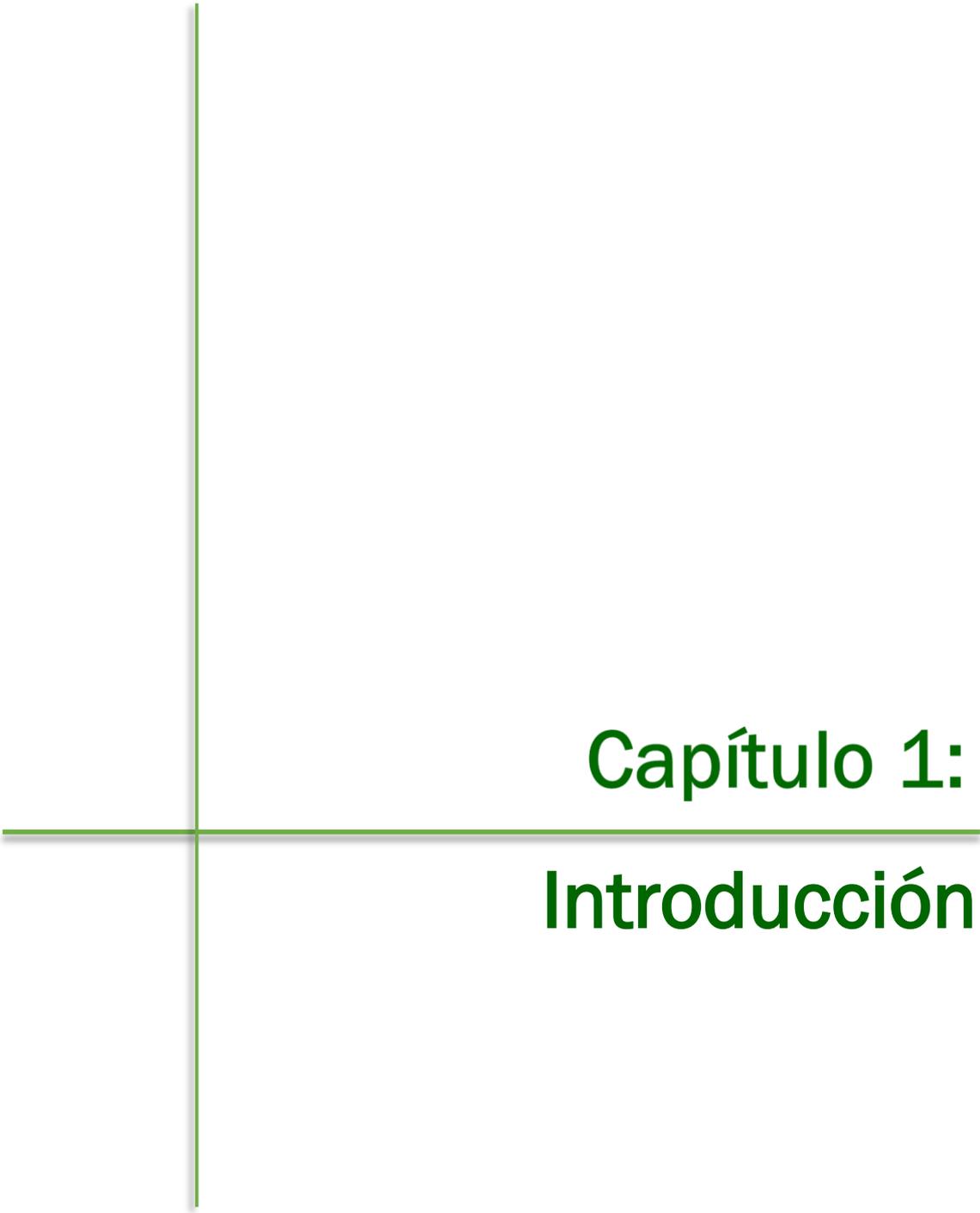
Figura 5.17: Comparativa de longitudes medias de cola (veh). Situación Zona 30 Real.	167
Figura 5.18: Comparativa de velocidades (km/h). Situación Zona 30 Real.....	168
Figura 5.19: Comparativas de tiempos de demora (s/km). Situación Zona 30 Real.	169
Figura 5.20: Comparación entre el tiempo de parada y el número de paradas. Situación Zona 30 Real.....	170
Figura 5.21: Comparación de los tiempos totales de viajes (s). Situación Zona 30 Real.	171
Figura 5.21: Comparativa de las distancias recorridas (km). Situación Zona 30 Real.	172
Figura 5.23: Definición de las calles de zona 30 con mayor capacidad.	173
Figura 5.24: Mapa del modelo Zona 30 Ideal.	174
Figura 5.25: Mapa de flujo de vehículos para la zona 30 ideal.....	175
Figura 5.26: Comparativa de flujos de vehículos (veh/h). Situación Zona 30 Ideal.....	175
Figura 5.27: Comparativas de densidad de tráfico (veh/km). Situación Zona 30 Ideal.	176
Figura 5.28: Comparativa de longitudes medias de cola (veh). Situación Zona 30 Ideal.	177
Figura 5.29: Comparativa de velocidades (km/h). Situación Zona 30 Ideal.....	178
Figura 5.30: Comparativas de tiempos de demora (s/km). Situación Zona 30 Ideal.	179
Figura 5.31: Comparación entre el tiempo de parada y el número de paradas. Situación Zona 30 Ideal.....	180
Figura 5.32: Comparación de los tiempos totales de viajes (s). Situación Zona 30 Ideal.	181
Figura 5.34: Mapa del modelo de zonas 10.....	184
Figura 5.35: Definición de las zonas 10.	184
Figura 5.36: Mapa de flujo de vehículos para la zona 10 con viales.	185
Figura 5.37: Comparativa de flujos de vehículos (veh/h). Situación Zonas 10 Viales. ...	186
Figura 5.38: Comparativas de densidad de tráfico (veh/km). Situación Zonas 10 Viales.	187
Figura 5.40: Comparativa de velocidades (km/h). Situación Zonas 10 Viales.	189
Figura 5.41: Comparativas de tiempos de demora (s/km). Situación Zonas 10 Viales.	190
Figura 5.42: Comparación entre el tiempo de parada y el número de paradas. Situación Zonas 10 Viales.	191
Figura 5.43: Comparación de los tiempos totales de viajes (s). Situación Zonas 10 Viales.	192
Figura 5.44: Comparativa de las distancias recorridas (km). Situación Zonas 10 Viales.	193
Figura 5.45: Mapa del modelo de rotondas.	194
Figura 5.46: Detalle de las rotondas de la Av. Palencia.	195
Figura 5.47: Mapa de flujo de vehículos para la situación con rotondas.....	195
Figura 5.48: Comparativa de flujos de vehículos (veh/h). Situación Rotondas.	196

Figura 5.49: Comparativas de densidad de tráfico (veh/km). Situación Rotondas.	197
Figura 5.50: Comparativa de longitudes medias de cola (veh). Situación Rotondas.	198
Figura 5.51: Comparación de velocidades (km/h). Situación Rotondas.	199
Figura 5.52: Comparativas de tiempos de demora (s/km). Situación Rotondas.	200
Figura 5.53: Comparación entre el tiempo de parada y el número de paradas. Situación Rotondas.	201
Figura 5.54: Comparación de los tiempos totales de viajes (s). Situación Rotondas. ...	202
Figura 5.55: Comparativa de las distancias recorridas (km). Situación Rotondas.	203
Capítulo 6: Estudio Económico	207
Figura 6.1: Organización personal implicado.	212
Anexo	229
Figura A.1: Mapa con ubicación de espiras permanentes.	232
Figura A.2: Mapa de semáforos del barrio de la Rondilla.	235
Figura A.3: Cruce 0202- C/Rondilla de Santa Teresa- C/Mirabel.	236
Figura A.4: Cruce 0203- C/Rondilla de Santa Teresa- C/Cardenal Torquemada.	237
Figura A.5: Cruce 0204- C/Gondomar- C/Santa Clara.	238
Figura A.6: Cruce 0220- Avda. de Palencia - C/Amor de Dios.	239
Figura A.7: Cruce 0221- Avda. de Palencia - C/Penitencia.	240
Figura A.8: Cruce 0222- Avda. de Palencia - C/Real de Burgos.	241
Figura A.9: Cruce 0226- C/Cardenal Torquemada – C/Tirso de Molina.	242
Figura A.10: Cruce 0227- C/Cardenal Torquemada – C/Cardenal Cisneros.	243
Figura A.11: Cruce 0228- C/Cardenal Cisneros – C/Las Moradas.	244
Figura A.12: Cruce 0229- C/Cardenal Cisneros – C/Portillo de Balboa.	245
Figura A.13: Cruce 0230- C/Soto - C/Cardenal Torquemada.	246
Figura A.14: Cruce 0231- C/Soto - C/Portillo de Balboa.	247
Figura A.15: Cruce 0232- C/Cardenal Torquemada – C/Portillo de Balboa.	248

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 4: Estudio y análisis del barrio de la Rondilla	95
Tabla 4.2: Matriz Origen-Destino proyectos anteriores.	113
Tabla 4.3: Análisis de parámetros globales. Valores medios.	142
Tabla 4.4: Análisis de otras características. Valores.	145
Capítulo 5: Análisis de propuestas de tráfico	147
Tabla 5.1: Valores medios de flujos de vehículos. Situación Ideal	155
Tabla 5.2: Valores medios de densidad de tráfico. Situación Ideal.	156
Tabla 5.3: Valores medios de longitud media de cola. Situación Ideal.	157
Tabla 5.4: Valores medios de velocidad. Situación Ideal.	158
Tabla 5.5: Valores medios de tiempo de demora. Situación Ideal.	159
Tabla 5.6: Valores de tiempos y números de paradas. Situación Ideal.	160
Tabla 5.7: Valores de tiempos totales de viaje (h.) Situación Ideal.	161
Tabla 5.8: Valores de distancias totales recorridas (km). Situación Ideal.	162
Tabla 5.9: Valores medios de flujos de vehículos. Situación Zona 30 Real.	166
Tabla 5.10: Valores medios de densidad de tráfico. Situación Zona 30 Real.	167
Tabla 5.11: Valores medios de longitud media de cola. Situación Zona 30 Real.	168
Tabla 5.12: Valores medios de velocidad. Situación Zona 30 Real.	169
Tabla 5.13: Valores medios de tiempo de demora. Situación Zona 30 Real.	170
Tabla 5.14: Valores de tiempos y números de paradas. Situación Zona 30 Real.	171
Tabla 5.15: Valores de tiempos totales de viaje (h). Situación Zona 30 Real.	172
Tabla 5.16: Valores de tiempos totales de viaje (h). Situación Zona 30 Real.	173
Tabla 5.17: Valores medios de flujos de vehículos. Situación Zona 30 Ideal.	176
Tabla 5.18: Valores medios de densidad de tráfico. Situación Zona 30 Ideal.	177
Tabla 5.19: Valores medios de longitud media de cola. Situación Zona 30 Ideal.	178
Tabla 5.20: Valores medios de velocidad. Situación Zona 30 Ideal.	179
Tabla 5.21: Valores medios de tiempo de demora. Situación Zona 30 Ideal.	180
Tabla 5.22: Valores de tiempos y números de paradas. Situación Zona 30 Ideal.	181
Tabla 5.23: Valores de tiempos totales de viaje (h). Situación Zona 30 Ideal.	182
Tabla 5.24: Valores de tiempos totales de viaje (h). Situación Zona 30 Ideal.	182
Tabla 5.25: Valores medios de flujos de vehículos. Situación Zonas 10 Viales.	186
Tabla 5.26: Valores medios de densidad de tráfico. Situación Zonas 10 Viales.	187
Tabla 5.27: Valores medios de longitud media de cola. Situación Zonas 10 Viales.	188
Tabla 5.28: Valores medios de velocidad. Situación Zonas 10 Viales.	189
Tabla 5.29: Valores medios de tiempo de demora. Situación Zonas 10 Viales.	190

Tabla 5.30: Valores de tiempos y números de paradas. Situación Zonas 10 Viales.	191
Tabla 5.31: Valores de tiempos totales de viaje (h). Situación Zonas 10 Viales.....	192
Tabla 5.32: Valores de tiempos totales de viaje (h). Situación Zonas 10 Viales.....	193
Tabla 5.33: Valores medios de flujos de vehículos. Situación Rotondas.	196
Tabla 5.34: Valores medios de densidad de tráfico. Situación Rotondas.	197
Tabla 5.35: Valores medios de longitud media de cola. Situación Rotondas.	198
Tabla 5.36: Valores medios de velocidad. Situación Rotondas.....	199
Tabla 5.37: Valores medios de tiempo de demora. Situación Rotondas.	200
Tabla 5.38: Valores de tiempos y números de paradas. Situación Rotondas.....	201
Tabla 5.39: Valores de tiempos totales de viaje (h). Situación Rotondas.	202
Tabla 5.40: Valores de tiempos totales de viaje (h). Situación Rotondas.	203
Tabla 5.41: Resultados de los modelos.....	204
Capítulo 6: Estudio Económico	207
Tabla 6.1: Horas efectivas de trabajo.....	212
Tabla 6.2: Sueldo de los integrantes del proyecto.....	213
Tabla 6.3: Distribución de horas en las diferentes etapas.	213
Tabla 6.4: Dedicación de cada integrante del proyecto.	214
Tabla 6.5: Coste total de personal.....	214
Tabla 6.6: Coste de los equipos.....	215
Tabla 6.7: Coste de materiales.	216
Tabla 6.8: Costes directos.	216
Tabla 6.9: Costes indirectos.	217
Tabla 6.10: Costes totales.	217
Anexo	229
Tala A.1: Datos de espiras en IMD anual.....	233



Capítulo 1: Introducción

1.1 -INTRODUCCIÓN

Con el paso de los años, las ciudades han ido evolucionando a medida que las necesidades y exigencias de la sociedad cambiaban. Áreas urbanas que se crearon hace años en zonas separadas del núcleo urbano han pasado a ser parte central de la ciudad, con todo lo que ello conlleva.

Muchas de estas áreas fueron creadas con unas características concretas, buscando unas comodidades y necesidades adecuadas a la época. El problema ha surgido con el paso del tiempo, cuando estas zonas han sido integradas dentro del conjunto urbano, aumentando la complejidad de toda la estructura de la ciudad.

Este crecimiento urbanístico ha conllevado un aumento del flujo de movimientos urbanos, tanto rodado como peatonal, para poder satisfacer las necesidades personales y del desarrollo de las actividades laborales. Muchas áreas pasan de ser áreas de destino a áreas de paso sin que, en su concepción, estuviesen pensadas para ello. De este modo, las infraestructuras en un principio suficientes se ven desbordadas ante el aumento del movimiento que tienen que acoger en la actualidad.

A la vez que se daba este desarrollo en las ciudades, el parque automovilístico sufría un aumento en su cantidad haciendo que la convivencia entre peatones, vehículos privados, transporte público y bicicletas en las ciudades sea cada vez más compleja al querer todos ellos tener un espacio correspondiente adecuado a sus necesidades. Para salvar estas diferencias, la administración es la encargada de regular y distribuir el espacio con el fin de conseguir una movilidad más adecuada.

Esta tarea de regulación se complica cuando se trata de zonas antiguas donde no hay mucho espacio y éste está acotado por elementos arquitectónicos. Ante estos inconvenientes, la manera de aliviar el tráfico sólo es posible mediante la regulación de los elementos existentes: semáforos y control de vías.

Por tanto, la mejora de la movilidad depende de un acuerdo social que apueste por la sostenibilidad, la seguridad y accesibilidad para conseguir así una optimización de la movilidad desde un punto de vista general.

1.2 -JUSTIFICACIÓN DEL TFG

En la antigüedad, el crecimiento de la ciudad de Valladolid estuvo limitado por los dos ríos que la bordean, Pisuerga y Esgueva. Con el paso de los años esos límites se han visto superados con el avance de las infraestructuras como ha ocurrido en el Barrio de la Rondilla. Este barrio se construyó como una zona de viviendas, bordeada por ambos ríos, para acoger a los nuevos trabajadores de la industria que nacía en la ciudad.

Con la expansión de la ciudad, este barrio pasó de ser una zona externa a formar parte del núcleo urbano, con todos los beneficios y problemas que ello conlleva. Uno de esos problemas hace referencia al movimiento de vehículos por su interior.

La Rondilla es en la actualidad una zona de paso del centro de la ciudad a las rondas exteriores, una zona de acogida a los vecinos que habitan allí y una zona de parada para poder acceder a los pequeños comercios que existen entre sus calles. Esto hace que en ciertas horas del día, se encuentren en sus calles problemas graves de movilidad por la cantidad de vehículos que pasan por ellas y el poco espacio de aparcamiento disponible, haciendo que la doble fila sea una constante en el barrio.

En este contexto, este Trabajo de Fin de Grado, gracias a la colaboración de el Excmo. Ayuntamiento de Valladolid, analizará la situación actual del barrio de la Rondilla e intentará buscar alguna solución viable a los problemas de movilidad diarios que existen en dicho barrio. Estas soluciones buscarán aliviar el tráfico mediante medidas sensibles hacía el medio ambiente con motivo de reducir la contaminación de la ciudad.

Este estudio sería realizado con el apoyo del software de simulación AIMSUN, versión 6.1 Advanced, que nos permitirá crear y desarrollar un modelo de simulación que muestre todas las características del tráfico de la zona. A partir de este modelo se crearán otros nuevos que representen las posibles soluciones de los problemas de movilidad que se hayan encontrado.

Se analizará y valorará las posibles soluciones comparando las variables que definen el comportamiento del tráfico, tales como flujo de vehículos, densidad de tráfico, tiempo de demora, tiempos de viaje, velocidad de vehículos, distancias viajadas, número y tiempo de parada, longitud de colas, etc.

1.3 -OBJETIVOS DEL TFG

Los objetivos principales de este trabajo son:

- Creación, calibración y validación de modelos de tráfico rodado para el barrio de la Rondilla mediante el software AIMSUN que permitan simular diferentes posibilidades para:
 - Analizar el tráfico de la zona de estudio y valorar los problemas que se encuentren en la hora punta.
 - Proponer alternativas al movimiento del tráfico modificando la normativa y configuración de la red para reducir los problemas y optimizar la circulación de los vehículos.
 - Estudiar las propuestas y valorar su viabilidad, comparando los diferentes parámetros de tráfico rodado.

Como objetivos secundarios podemos destacar:

- Valorar las posibilidades del software AIMSUN para su futura aplicación como herramienta de trabajo en simulación y análisis del tráfico.
- Integrar el modelo generado en futuros proyectos como son: Análisis de la movilidad peatonal, posibilidades de creación de nuevas zonas de aparcamiento, optimización del plan de control semafórico, etc.

1.4 -ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA

Esta memoria trata de recopilar los resultados obtenidos tras la realización del Trabajo de Fin de Grado. Está estructurado en siete capítulos y un apéndice siguiendo un orden lógico:

- Capítulo 1: la introducción, donde se presenta el tema, se justifica el trabajo y se plantean los objetivos.
- Capítulo 2: es una introducción a la Ingeniería de tráfico en la que se definen los conceptos fundamentales.
- Capítulo 3: descripción del software AIMSUN utilizado, donde se enumeran los tipos de modelado aplicables y sus características.
- Capítulo 4: estudio y evaluación de la zona se explica la construcción, calibración y validación del modelo de tráfico, se ejecuta la primera simulación y se analizan los resultados.

- Capítulo 5: presentación de las soluciones propuestas y valoración de los cambios realizados comparándolo con la configuración inicial.
- Capítulo 6: estudio económico del trabajo de fin de grado donde se muestran los diferentes costes
- Capítulo 7: presenta las conclusiones que se obtienen de este trabajo y se aportan nuevas líneas de trabajo y mejora.
- Apéndice que contiene todos los datos facilitados por el Gabinete de Movilidad del Ayuntamiento de Valladolid.

Por último, mencionar que este TFG concluye con la bibliografía, donde se encuentran tanto los libros como las páginas web consultadas.

Capítulo 2:

Ingeniería del Tráfico

2.1 -CONCEPTOS GENERALES DE TRÁFICO

La Ingeniería de Tráfico surge en el momento en el que los problemas de concentración de vehículos superaron las medidas dictadas por una práctica elemental y aplicadas por la Policía, se orientó en un principio hacia el campo de la ordenación de la circulación y de la seguridad vial, en el sentido de buscar unos principios técnicos que permitiesen obtener un mayor rendimiento de las calles existentes.

En un principio la regulación del Tráfico fue en los Estados Unidos una disciplina intermedia entre la Ingeniería y la Policía. A medida que los problemas de tráfico se fueron tratando con unos criterios ingenieriles, se ha ido enriqueciendo esta técnica, que puede ya abordar los problemas de ordenación de forma cualitativa, y se ha encaminado hacia el campo de la planificación, desarrollo y regulación del transporte.

La ingeniería de Tráfico es, por tanto, una técnica nueva que se inicia en el segundo tercio del siglo XX, de forma análoga a como se desarrollaron otros aspectos de la Ingeniería Civil, tales como la Mecánica del Suelo o la Electrónica y al igual que aquéllas surgió como consecuencia de nuevas necesidades para el bienestar del hombre y para hacer posible distintas formas de convivencia.

El Instituto de Ingenieros de Tráfico de los Estados Unidos ha definido la Ingeniería de Tráfico como «la rama de la Ingeniería que trata de la planificación, trazado y funcionamiento de las calles y carreteras, así como de los aparcamientos, terrenos colindantes y zonas de influencia y de su relación con otros medios de transporte. Su objetivo es que el movimiento de personas y mercancías se realice de la forma más segura, eficaz y cómoda».

Esta definición expone a las claras los campos que competen a la Ingeniería de Tráfico, desde la solución de pequeños problemas locales, hasta la elaboración de complejos planes de transportes, y que ha sido aceptada universalmente.

Las actividades de la Ingeniería de Tráfico pueden dividirse en dos grandes grupos, que están bien diferenciados, aunque tengan muchos aspectos comunes:

El primer grupo corresponde a lo que puede llamarse Planificación de tráfico, muy relacionado con otras técnicas: Estadística, Matemáticas, Urbanismo, y otras ramas de la Ingeniería, Sociología, Economía, y generalmente trata de problemas a largo plazo o al menos no de acción inmediata.

El segundo grupo, que ha sido el primitivo origen de esta rama de la Ingeniería, comprende la Ordenación de la circulación y generalmente se dedica al estudio de actuaciones inmediatas. El objetivo fundamental de este aspecto de la Ingeniería de Tráfico es lograr el máximo rendimiento de las redes viarias existentes, sin modificar físicamente su estructura o al menos con modificaciones muy pequeñas.

En la actualidad se tiende a contemplar el campo más amplio del transporte en todas sus formas, ya que, en las zonas urbanas, no pueden aceptarse soluciones parciales que sólo se refieren al problema de la circulación de los vehículos.

Por ejemplo, en Inglaterra se creó en 1964, dentro del Instituto Británico de Ingenieros Civiles, el grupo de Ingeniería del Transporte, para la que se adoptó la definición siguiente: «es la rama de la Ingeniería que trata de la Planificación y Gestión de la infraestructura de los transportes de todo tipo, para que el movimiento de personas y mercancías se produzca de la forma más segura, cómoda y económica».

2.1.1 - PLANIFICACIÓN VIAL

El tráfico es un factor básico en la planificación de las carreteras y calles, puesto que en definitiva uno de los objetos esenciales de éstas es servir lo más eficazmente posible a la circulación.

Por ello, en todos los trabajos de planificación de infraestructura, la Ingeniería de Tráfico ha de tener una participación importante, en colaboración con otras técnicas. Se examinan a continuación los diversos aspectos de la actuación de la Ingeniería de Tráfico en relación con la planificación.

Recogida y análisis de datos

La primera condición para abordar técnicamente un problema es su conocimiento objetivo. No es posible actuar solamente sobre hipótesis, aunque parezcan evidentes, puesto que los datos objetivos son la base de todo trabajo científico o ingenieril, aunque no puedan utilizarse sin ponderación.

Los datos pueden ser recogidos por cualquiera, pero precisamente uno de los éxitos de la Ingeniería de Tráfico ha sido la puesta a punto de procedimientos muy bien calibrados para que con un coste mínimo sea posible obtener precisamente aquellos datos básicos que permiten tomar las medidas adecuadas.

Hasta tal punto se ha desarrollado la técnica de la recogida de datos, que muchas veces se confunde la misión del ingeniero con la simple realización de unos aforos, o con la preparación de una encuesta, olvidando que dentro de sus funciones esto sólo representa un primer paso para conseguir los objetivos esenciales, que son el análisis crítico de las situaciones existentes y la aplicación de los resultados de los estudios a soluciones concretas de los problemas de planificación u ordenación que se hayan planteado.

Una excesiva acumulación de datos representa un coste inútil y puede desviar la actuación de los ingenieros de sus objetivos más importantes.

- **Planificación vial y de transportes**

La planificación de las estructuras viarias y de los sistemas de transportes en general -urbanos o interurbanos- y el estudio y comprobación de su comportamiento futuro es una de las tareas esenciales de la Ingeniería de Tráfico.

En este campo se impone la cooperación con otras técnicas, fundamentalmente Economía y Urbanismo y en muchos casos los sistemas de transporte, que no siempre son factores decisivos, pero sí condicionantes esenciales, pueden imponer la solución, aunque no sea la más conveniente desde otros puntos de vista.

En las zonas urbanas especialmente, el transporte, complicado extraordinariamente desde la aparición del vehículo privado, ha hecho evolucionar muchos conceptos esenciales de la estructura de la ciudad. El problema existe tanto en las nuevas zonas urbanas como en las ciudades ya construidas, siendo todavía más grave en este último caso, en que las estructuras urbanas han sido concebidas antes de que existiesen los automóviles.

- **Trazado**

En el trazado de las calles y carreteras, especialmente en lo que se refiere a sus intersecciones y enlaces, la Ingeniería de Tráfico tiene un papel esencial.

Aunque muchos de los detalles de la técnica del trazado no son específicos de esta rama de la Ingeniería es preciso que los ingenieros que realizan los proyectos de trazado tengan una formación suficiente en tráfico y, en todo caso, es muy

conveniente que algún ingeniero especialista en tráfico intervenga en la revisión de los planos finales.

Puede pues, considerarse como muy conveniente que los ingenieros de tráfico tengan, de forma más o menos directa, alguna intervención en las etapas finales del proyecto, al que deben aportar su visión de la explotación de la obra, completando su intervención en la planificación funcional.

2.1.2 - ORGANIZACIÓN DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO

La Ingeniería de Tráfico puede prestar servicios a organismos de varios tipos:

a) Administraciones de carreteras, a escala nacional o provincial, en las que su campo de actuación está en relación con la planificación y ordenación del tráfico fuera de las zonas urbanas.

b) Municipios con problemas fundamentales de ordenación de tráfico y de planificación urbana.

c) Administraciones que controlan el urbanismo a escala nacional, regional, provincial y local, en las que los especialistas de tráfico están integrados en los equipos politécnicos que redactan o controlan los planes.

d) Laboratorios y Centros de Investigación que no están al servicio directo de los organismos responsables de la administración y gestión del tráfico.

e) Determinados organismos privados, como las organizaciones del tipo del Automóvil Club, empresas de transportes o distribuidoras de carburantes y también empresas de ingenieros consultores, que trabajan para alguno de los Organismos antes mencionados.

Si hablamos de la organización a escala municipal, hay que hacer notar que en casi todas las ciudades de más de 100.000 habitantes, e incluso en algunas de menor importancia existen serios problemas de circulación y estacionamiento. Estos problemas se agravan continuamente, porque los parques de vehículos crecen rápidamente y las condiciones físicas de las ciudades mejoran muy poco a poco y a veces, son prácticamente invariables.

Los primeros problemas de ordenación de tráfico suelen encomendarse a la policía con muy poca intervención de los ingenieros, pero en todos los países se observa la tendencia de que, al aumentar las dificultades, se acude a la Ingeniería de Tráfico, aunque ésta no puede resolver muchos de los problemas cuyo origen está en la planificación de la propia ciudad.

Si se consolida la tendencia que ahora se inicia de tener en cuenta el tráfico en la planificación urbana, será fácil que en las futuras zonas urbanas sea posible ordenar la circulación más eficazmente. Aunque en ciudades importantes, incluso con una planificación bien establecida, no puede evitarse que en un cierto futuro hayan de imponerse determinadas limitaciones al uso de los vehículos privados.

Las primeras actividades de la Ingeniería de Tráfico, estuvieron dedicadas a resolver los problemas de ordenación y aun actualmente, éstos ocupan la atención preferente de la mayor parte de los ingenieros.

Son funciones típicas de esta actividad, el estudio de medidas tales como, la señalización de las calles, el establecimiento de sentidos únicos, el control del estacionamiento y la prohibición de giros, todas ellas encaminadas a obtener un mayor rendimiento de las vías existentes. El arma fundamental de que disponen los ingenieros de tráfico para ordenar la circulación es la señalización -semáforos, señales, y marcas viales- mediante la cual se orienta y obliga a los conductores a cumplir las normas previamente estudiadas.

La correcta ordenación del tráfico es siempre necesaria para hacer posible una circulación segura. Pero a medida que se saturan las carreteras y las calles, aparece una segunda razón que justifica extremar el cuidado de la ordenación: hacer posible una circulación fluida. Esta segunda razón exige medidas más afinadas y ha contribuido decisivamente al considerable desarrollo de la Ingeniería de Tráfico en todo el mundo, siendo su actuación imprescindible, especialmente para la ordenación de las zonas urbanas.

Una tercera razón aconseja acentuar el cuidado en la ordenación del tráfico: mejorar la integración de la vía en su entorno y reducir su impacto negativo en los que menos se benefician directamente de su uso, una veces los peatones y otras las personas que viven o trabajan en sus inmediaciones.

Por último, en la revisión y puesta a punto de las normas generales que regulan la circulación, tiene también un papel esencial la Ingeniería de Tráfico. A medida que surgen problemas nuevos, es preciso modificar las normas que hayan de aplicarse, generalmente en el sentido de imponer mayores restricciones a determinados usuarios para conseguir un beneficio general.

2.1.3 - CONCLUSIONES

Como todas las técnicas, la Ingeniería de Tráfico está sometida a una intensa evolución. Esta evolución se presenta fundamentalmente orientada hacia una mayor

amplitud de su campo de acción y a una mayor tendencia al establecimiento de leyes más o menos elaboradas.

Cuando llegó a Europa desde Estados Unidos, la Ingeniería de Tráfico era casi exclusivamente empírica, basada generalmente en una enorme masa de datos y observando a posteriori cómo se cumplen unas determinadas leyes empíricas, que constituyen luego la base de la nueva técnica, sin tratar de justificar teóricamente las leyes que resultan. Los ingenieros europeos generalmente con mayor preparación teórica y matemática, pero con menos medios para reunir y analizar datos, tratan de llegar a leyes análogas basándose en razonamientos teóricos, matemáticamente justificados y así cada día la Ingeniería de Tráfico se enriquece con teorías más razonadas.

La tendencia a ampliar el campo de acción de la Ingeniería de Tráfico parece también una aportación europea. En efecto, la Ingeniería de Tráfico surgió en América como una consecuencia más de la expansión del automóvil privado, en unos momentos en que aparentemente éste se iba a convertir en el único medio de transporte.

Sin embargo en las ciudades europeas y también en algunas americanas, se observó que el automóvil creaba problemas insolubles, resultando evidente la necesidad de estudiar conjuntamente la solución del transporte privado y del colectivo. Existe ya una tendencia clara a extender el campo de la Ingeniería de Tráfico al más amplio de los transportes.

Pero todavía se complican más las técnicas, y también se ha comprobado que no es posible aislar el problema del transporte de otros aspectos del urbanismo. Ello hace que la ingeniería de Tráfico se vaya implicando más con el urbanismo, hasta el punto que 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.

2.2 -CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

En el complejo fenómeno del tráfico destacan tres características, no independientes, que lo definen técnicamente:

- *Intensidad de tráfico* o número de vehículos que pasan por una determinada sección de la vía o calle en una unidad de tiempo.
- *Composición* o clase de vehículos que forman la corriente de tráfico.

- *Velocidad*, bien sea del conjunto de la corriente de tráfico o bien de los vehículos aislados.

Otras características, también interesantes para definir el tráfico son la *separación* entre vehículos, medido en unidades de longitud, el *intervalo*, en unidades de tiempo y la *densidad*, en vehículos por unidad de longitud.

2.2.1 - COMPOSICIÓN

La corriente de tráfico está compuesta por vehículos de tipos muy distintos, que difieren entre sí en cuanto a peso, dimensiones y velocidad.

En la mayor parte de los estudios de tráfico que se realizan en España se distinguen 7 clases de vehículos motorizados (motos, coches, camionetas, tractores agrícolas, camiones sin remolque, camiones con remolque, autocares). Los carros y bicicletas se consideran sólo en casos especiales.

Puesto que cada tipo de vehículo recorre anualmente como media un número distinto de kilómetros y utiliza con diferente frecuencia cada una de las vías, la composición del tráfico no coincide con la composición del parque de vehículos, sino que depende de las características y función de la carretera o calle que se considere, y también varía con el tiempo.

2.2.2 - INTENSIDAD

Desde el punto de vista de la Ingeniería de Tráfico interesan dos estados de esta variable función del tiempo:

- La intensidad media diaria anual (IMD): número de vehículos que pasan por una sección determinada de la vía durante un año, dividido por 365. Puede considerarse como la intensidad de tráfico que corresponde al día medio del año.
- Intensidad horaria punta: número de vehículos que pasan por una sección durante la hora que se considera representativa de las condiciones de mayor circulación.

La IMD importa fundamentalmente desde el punto de vista de planificación: clasificación de las vías, programas de mejora, cálculo de índices de accidentes, determinación de tendencias en el uso de las vías, proyectos de señalización e iluminación, estudios económicos y determinación de características geométricas de carácter general.

La intensidad horaria es más interesante desde el punto de vista del proyecto y de la ordenación: capacidad de la vía, características de las intersecciones y enlaces, control de tráfico, coordinación de semáforos y ordenación de la circulación.

El correcto funcionamiento de una calle o vía no se juzga por su capacidad para intensidades medias, sino para *intensidades en hora punta*. La primera decisión que ha de tomarse es si aceptar como tráfico horario de proyecto el de la hora de más tráfico del año o el de la hora que, en rango de mayor a menor intensidad, ocupa el lugar 10, 30, 50 o 100.

Puesto que la demanda de tráfico varía de forma continua y en cambio la capacidad de la infraestructura en general lo hace escalonadamente, no es posible elegir normas rígidas para establecer la intensidad horaria del proyecto.

Es éste un problema económico que puede estudiarse en cada caso, considerando los beneficios y costes que se derivan de la existencia de ciertas congestiones durante unas horas al año.

Observando la distribución del tráfico a lo largo de las 8.760 horas que tiene un año, se comprueba que, en carreteras no muy saturadas, la forma de la curva es muy similar para más de las 8.000 horas de menos tráfico, en que la intensidad horaria representa de 0 a 8 por 100 de la IMD y durante las cuales suele pasar más del 70% del tráfico total.

Puesto que lo normal es que no se conozca la distribución horaria en todos los puntos y en cambio sea fácil estimar la IMD, es del mayor interés establecer qué porcentaje de la IMD equivale al tráfico de la hora del proyecto.

En España, excepto en vías turísticas o de recreo, la intensidad de la hora 30 está comprendida entre el 8 y el 15% de la IMD, cifras inferiores a las americanas.

En las curvas españolas de distribución horaria, el codo, definido como aquél punto de la curva a cuya izquierda ésta sube rápidamente mientras que la derecha tiende a ser horizontal, corresponde generalmente a una hora algo más baja de la 30, lo que parece coincidente con que el porcentaje de la IMD que corresponde a la intensidad en aquella hora sea relativamente bajo. En vías urbanas, el tráfico en la hora 30 representa del 8 al 10% de la IMD.

2.2.3 - VELOCIDAD

La velocidad es, entre las características esenciales del tráfico, una de las de definición más compleja. Al hablar de velocidad, es posible referirse a la de un vehículo determinado, la de un grupo de vehículos o a una magnitud que tiene simultáneamente en cuenta las circunstancias ambientales y de la vía.

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

- “*Velocidad local*”, es decir la velocidad de un vehículo al atravesar una determinada sección de una vía.
- “*Velocidad de circulación*” (V_c), que es igual a la distancia recorrida en un tramo determinado dividida por el tiempo en que el vehículo está en movimiento.
- “*Velocidad de recorrido*” (V_r), o velocidad momentánea (V_m), que es el cociente entre la distancia total recorrida en un tramo determinado y el tiempo que transcurre desde el instante en que el vehículo inicia el viaje hasta que llega a su destino, incluyendo las posibles detenciones y retrasos debidos al tráfico.

Otros conceptos de velocidades tienen también en cuenta las circunstancias de la vía:

- “*Velocidad de proyecto*” o aquella que se toma como base para definir los elementos geométricos de la vía: radios de curvas, horizontales y verticales, distancias de visibilidad y peraltes.
- “*Velocidad de servicio*”, que es aquella a que se puede circular por una determinada vía en situaciones atmosféricas favorables, en las condiciones de circulación existentes en cada momento y dentro de unos márgenes razonables de seguridad. Este concepto de velocidad tiene gran interés en la definición de la capacidad y de los niveles de servicio de los distintos tipos de calles y carreteras.

2.2.4 - DENSIDAD

El concepto de densidad en la ingeniería de transporte hace referencia al número medio de vehículos por unidad de longitud en la vía en un momento dado, definiéndose como:

$$d = \frac{n}{L}$$

donde:

- d = la densidad de vehículos en un instante de tiempo.
- n = el número de vehículos en la carretera.
- L = la longitud de la carretera.

2.2.5 - RELACIÓN ENTRE INTENSIDAD Y VELOCIDAD

A un aumento de la densidad corresponde una reducción de la velocidad media, hasta llegar a un punto de densidad crítica que corresponde a la máxima intensidad. A partir de este punto decrecen ambas: velocidad e intensidad. Este comportamiento se observa en tramos completos mejor que en secciones aisladas y cuanto más largos sean los tramos, los resultados son de mayor consistencia.

La velocidad media se deduce del conjunto de las velocidades de cada vehículo que son menos dispersas a medida que la densidad es más alta.

La velocidad depende también de otros factores, independientes de la intensidad, y que son función, unas veces de la vía, características geométricas y control de sus accesos y otras de agentes externos, como las condiciones atmosféricas.

La relación intensidad-velocidad media en condiciones de circulación continua o ininterrumpida puede representarse por una curva del tipo de las que se recogen en la figura 2.1.

En condiciones de circulación interrumpida o discontinua -que son normales por ejemplo en vías urbanas con semáforos- es difícil establecer la relación intensidad-velocidad.

La velocidad está condicionada por factores muy distintos: límites de velocidad, progresión de los semáforos o capacidad de intersecciones próximas. Los resultados obtenidos son poco consistentes.

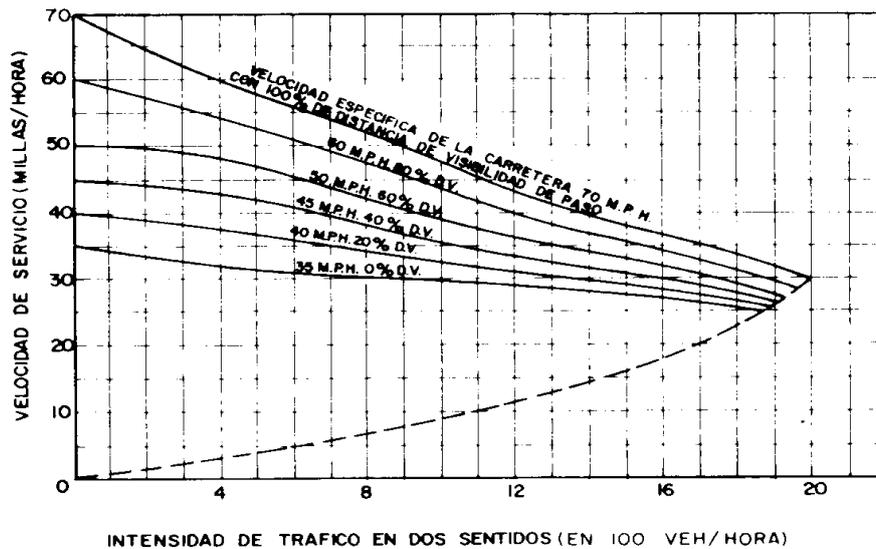


Figura 2.1: Relación Intensidad-Velocidad.

- Ecuación fundamental de flujo

Existe una ecuación que relaciona las tres variables fundamentales de flujo definidas anteriormente. Aunque ha sido muy usada en tráfico de autopistas, es igualmente válida en otras vías.

Así, cuando se proyecta una nueva carretera o se estudia el acondicionamiento de una existente, en la que se ha determinado la intensidad de tráfico que circulará por ella, se podrá estimar la velocidad de los vehículos correspondiente a esta intensidad a partir de la relación velocidad, intensidad, determinada en una carretera de características análogas.

Mediante una serie de procesos matemáticos se obtiene la relación fundamental:

$$i = d \times \bar{V}_m$$

donde:

- i : intensidad.
- d : densidad.
- \bar{V}_m : velocidad.

Esta relación liga las tres magnitudes fundamentales y permite calcular una de ellas, generalmente la densidad, en función de las otras dos.

Una carretera tiene una capacidad determinada. Dicha capacidad se alcanza con unas condiciones determinadas. Fuera de estas condiciones, la carretera permite un tráfico menor que su capacidad.

Si la densidad es baja y la velocidad \bar{V}_m alta $\Rightarrow d \times \bar{V}_m$ puede ser pequeño, lo que implica que la intensidad será baja, estamos en capacidad infrautilizada pero esto no es problema. El problema es que la densidad sea alta y la velocidad sea baja o incluso pueda llegar a valer cero, con lo que la intensidad también será nula. Aquí es donde reside el problema. Se verá que la velocidad constante es la que permite un mejor uso de la carretera.

2.3 -CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO

La capacidad de una infraestructura de transporte refleja su facultad para acomodar un flujo de vehículos o personas. Es una medida de la oferta de transporte. Así, al interactuar la oferta con la demanda se tendrán unas condiciones que definen la calidad del flujo, esto es, el nivel de servicio.

Las evaluaciones de la capacidad y el nivel de servicio (NS) son necesarios para la toma de decisiones y acciones en la ingeniería de tránsito y planteamiento de transporte.

2.3.1 - CAPACIDAD

Se define como capacidad teórica de una vía, el número de vehículos que pueden estar o atravesar la vía en un determinado momento.

Basándose en el empleo de curvas de distribución de probabilidad, se han desarrollado mecanismos para determinar la capacidad real de una vía en relación con el concepto de capacidad teórica.

Dada la capacidad teórica de una vía existen diversos factores que limitan el tiempo que emplean los vehículos en recorrer el trayecto, como son: clima, tonelaje, potencia, paradas y habilidad del operario del vehículo, limitaciones que determinan la existencia de un tiempo mínimo para recorrer la ruta.

Establecida la capacidad teórica de la vía en vehículos-hora podemos obtener un número teórico máximo de vehículos que pueden circular. Este valor no es adaptable al estudio real debido a que el tiempo de interferencia promedia para un conjunto de condiciones es proporcional al número de vehículos que operan en un tiempo dado.

La General Electric Company desarrolló los diagramas de avance horario que permiten obtener el número de vehículos máximo reales capaces de circular de modo que no se rebase la capacidad teórica de la vía. Es decir que la capacidad real utilizada sea menor que la capacidad teórica calculada. Dicha capacidad se obtiene de integrar la función de probabilidad de los diagramas de avance horario.

El empleo de estas curvas de probabilidad demuestra que a medida que nos acercamos a la capacidad máxima de una vía, la interferencia entre los vehículos crea demoras y hace aumentar los tiempos mínimos y promedios del viaje.

El tiempo de interferencia promedio para un cierto conjunto de condiciones es proporcional al número de vehículos que operan en un tiempo dado, siguiendo la expresión:

$$T_{av} = T_0 + K \times N$$

La capacidad de las carreteras se puede expresar mediante diferentes fórmulas matemáticas, estas expresiones matemáticas se encuentran restringidas por la “*distancia segura*” que el conductor adopta en su conducción, a su vez la capacidad de una carretera varía con la velocidad y la separación, el conductor tiende a aumentar la separación con la velocidad, aparecen pues los conceptos de **separación** y **velocidad óptima** que permita que un número máximo de vehículos pase por un punto en una hora.

Los estudios realizados estipulan que dicha capacidad teórica máxima se encuentra para un flujo de 2000 veh/h a 50 km/h, por otro lado la máxima densidad se produce cuando hay tantos vehículos que el movimiento cesa por completo. Cuando la densidad aumenta de modo que no es posible rebasar, el tráfico se mueve aproximadamente a la misma velocidad y la relativa entre vehículos se hace cero, este momento es la densidad crítica u óptima y cualquier aumento da lugar a una reducción en la velocidad y volumen del tráfico.

Las condiciones ideales para el flujo máximo no interrumpido son carriles de 3.66 m, 1.83 m de ancho libre entre acotaciones laterales, nada de vehículos comerciales, y visibilidad ilimitada.

Las interferencias pueden ser: de cruce marginal, intermedio, dirección contraria de un vehículo, etc. A continuación podemos ver una gráfica que representa la capacidad máxima de un carril en diferentes situaciones.

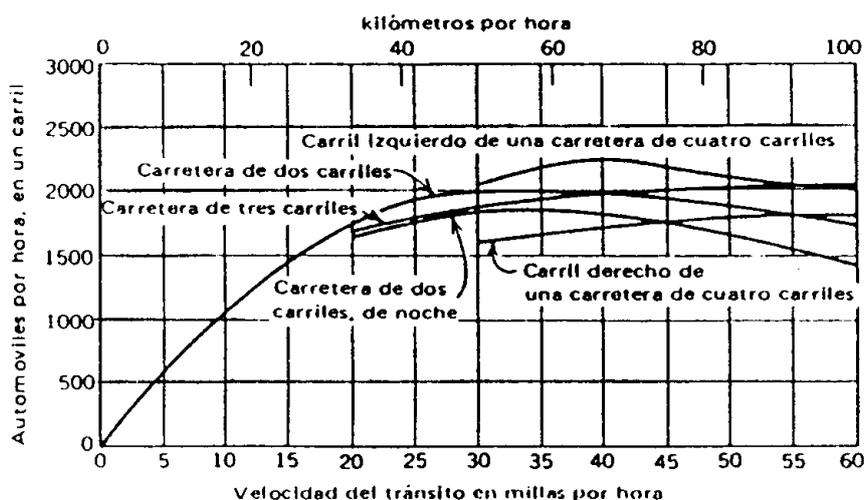


Figura 2.2: Capacidad máxima de un carril.

2.3.2 - NIVELES DE SERVICIO

El nivel de servicio, en Ingeniería de Tráfico, es una medida cualitativa del funcionamiento de una vía cuando soporta una determinada intensidad de tráfico (demanda). Indica la cantidad de transporte necesaria para satisfacer la demanda.

El nivel de servicio, en principio, tendría que tener en cuenta un conjunto de factores que concurren en una vía cuando soporta una determinada intensidad de tráfico:

- *Velocidad y tiempo de recorrido*: tanto instantánea como para recorrer un tramo.
- *Interrupciones*: número de paradas por kilómetro y su duración, así como la magnitud y frecuencia de los bruscos cambios de velocidad necesarios para mantenerse en la corriente de tráfico.
- *Libertad de maniobra* para mantener la velocidad deseada.
- *Comodidad* en la conducción.
- *Economía*: coste económico directo de recorrer un tramo.
- *Accesibilidad*: facilidad para acceder a una determinada ruta.
- *Frecuencia del servicio*: importante en el transporte comercial de pasajeros.

Pero como es muy difícil valorar todos estos factores tan heterogéneos, el Manual de Capacidad de Carreteras (1995) recomienda identificar el nivel de servicio en función de la velocidad o tiempo empleado en recorrer un tramo, y añadir un segundo índice: la relación entre la intensidad de servicio o la intensidad de tráfico prevista y la capacidad, (índice de servicio o relación i/c). En la práctica el conjunto de estos dos índices permite identificar el nivel de servicio de cada tramo.

Para obtener estos índices es conveniente seguir los siguientes criterios:

1. La intensidad y la capacidad se miden en vehículos por hora para cada uno de los sub-tramos en los que es convenientes dividir el tramo.
2. Los niveles de servicio deben establecerse para tramos de cierta longitud aunque varíe en ellos la capacidad por cambios físicos de la vía o el tráfico, por entradas y salidas. La clasificación del nivel de servicio del tramo debe tener en cuenta las diversas circunstancias de cada sub-tramo.
3. Conviene analizar la velocidad o el tiempo de recorrido y la intensidad en sub-tramos relativamente uniformes. La media ponderada de todos ellos define el nivel de servicio del tramo total.
4. Para definir los niveles de servicio se establecen separadamente valores de la velocidad y de los índices i/c para los siguientes tipos de vías:
 - Autopistas y autovías.
 - Carreteras de cuatro o más carriles.
 - Carreteras de dos o tres carriles.
 - Grandes arterias urbanas.
 - Calles céntricas.

Se establecen seis **niveles de servicio** que comprenden todas las situaciones de tráfico que se pueden producir:

Los niveles de A a D se definen en función de unos límites determinados para la velocidad de servicio y de los índices de servicio i/c . El nivel E corresponde a situaciones próximas a la saturación y el F cuando se rebasa la capacidad de la vía, las condiciones son inestables y la velocidad e intensidad pueden variar considerablemente.

Veamos a continuación la figura 2.3 con la relación entre los diferentes niveles de servicio y otras variables.

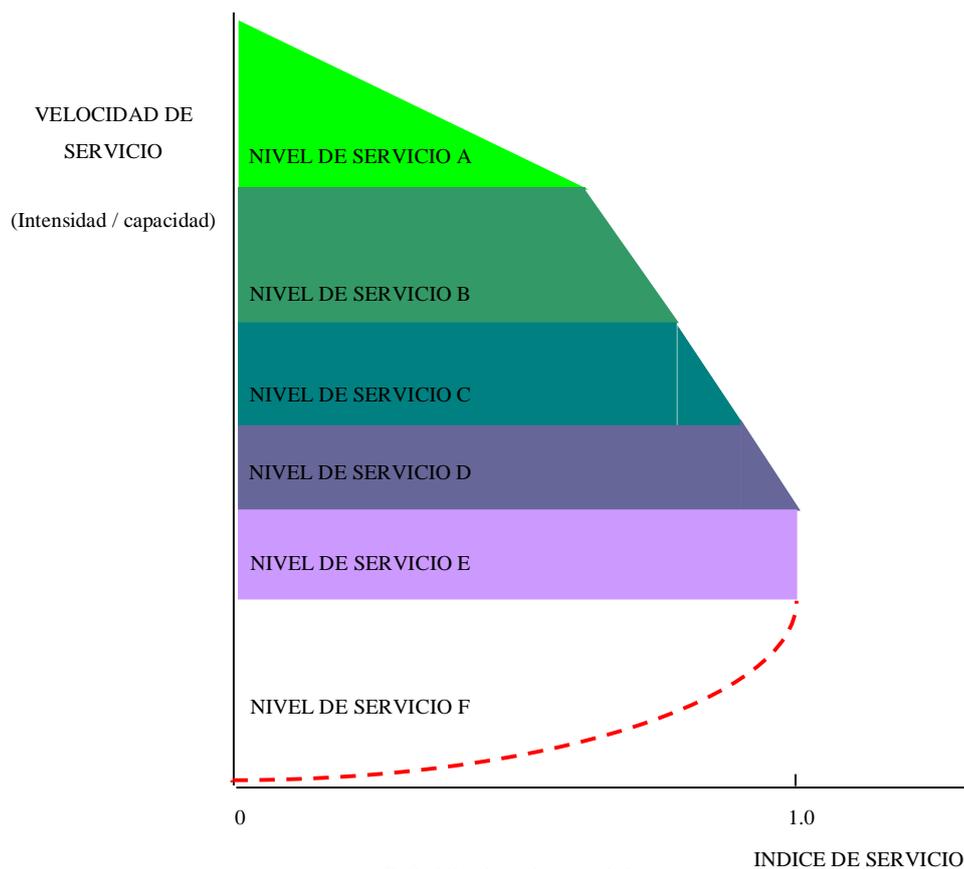


Figura 2.3: Niveles de servicio.

2.3.3 - CAPACIDAD EN INTERSECCIONES CON SEMÁFOROS

Una de las razones fundamentales de interrupción del flujo de tráfico son las intersecciones, principalmente si están reguladas por semáforos. Las intersecciones que no están reguladas por semáforos mantienen un flujo sin interrumpir en la vía principal por medio de señales de stop en la vía secundaria.

Se establecen seis niveles de servicio en las intersecciones reguladas por semáforo, identificados por las letras A, B, C, D, E y F.

A: representa flujo libre, con un factor de carga de 0,0 (sin demoras).

B: representa flujo estable, con factor de carga de 0,1.

C: representa flujo estable, factor de carga de 0,3.

D: se acerca al flujo estable, con un factor de carga de 0,7 (algunas esperas y demoras).

E: representa flujo inestable, con factor de carga entre 0,85-1,0 (colas, esperas y demoras).

F: representa estado de congestión total.

Existen unos **factores** que influyen en el **nivel de servicio y la capacidad de las intersecciones** reguladas por semáforos:

a) Condiciones físicas y de operación: anchura del acceso, distancia de bordillo a bordillo y anchura de los carriles, si la operación es de uno o dos sentidos y si se permite el estacionamiento en las proximidades de la intersección.

b) Condiciones ambientales: *factor de carga y factor de hora de máxima demanda*. El **factor de carga** representa el grado en que la luz verde se utiliza mientras dura, es la relación entre el número de fases verdes que están totalmente utilizadas y el número de fases verdes que hay en ese mismo periodo. Varía de 0,0 (siempre que hay luz verde da tiempo a que salgan todos los vehículos que esperaban antes de volverse a cerrar el semáforo) y 1,0 (nunca da tiempo a que salgan todos los vehículos y siempre hay alguno que tiene que esperar más de un ciclo de semáforo). El **factor de hora de máxima demanda** mide la consistencia de la demanda, se define como la relación entre el número de vehículos contados durante la hora de máxima demanda y cuatro veces los contados durante los quince minutos consecutivos de mayor intensidad. Para intersecciones con cargas muy elevadas durante casi una hora se utilizan factores de 0,85 y para intersecciones con flujos elevados durante períodos cortos se suelen usar factores de 0,6-0,7.

c) Características del tránsito: porcentaje de vehículos que realizan giros (sobre todo a la izquierda), porcentaje de camiones y autobuses (aceleran más despacio que los turismos), autobuses urbanos con paradas en alguno de los accesos a la intersección (las paradas en el acceso de salida entorpecen menos que en el de entrada siempre que no haya muchos giros a la derecha).

d) Medidas de control: señales de tráfico, dónde están colocadas (su visibilidad), duración del ciclo de semáforo y relación entre el tiempo de luz verde y el del resto del ciclo, las marcas en el carril de acceso (que determinan su anchura), pasos de peatones, etc.

2.3.4 - CALIDAD DE SERVICIO

Como ya hemos dicho, nivel de servicio indica la cantidad de transporte necesaria para satisfacer la demanda. La **calidad de servicio** refleja la manera en que ese servicio se encuentra disponible atendiendo a aspectos tales como:

- Seguridad y confiabilidad.
- Flexibilidad (volumen, mercancía y ruta).
- Rapidez.
- Tiempo de viaje puerta a puerta.
- Economía de energía.
- Efectos en la comunidad y medio ambiente.

2.4 -CONTROL DEL TRÁFICO RODADO

La función de control persigue 3 objetivos principales:

- Lograr la máxima seguridad.
- Usar de forma eficiente la red.
- Confiabilidad del movimiento.

El control puede ser algo sencillo o sumamente complejo. Más que un vehículo sea operativo en el sistema de transporte, es necesario asegurar que la colisión no ocurra, o al menos que la probabilidad sea baja, sin embargo se presenta la necesidad de mover los vehículos tan rápidamente como sea posible con las demoras mínimas. En definitiva, se trata de conseguir una intensidad de circulación máxima, pero esta intensidad es función de la velocidad, como viene reflejado en la ecuación fundamental, por tanto la solución de nuestro problema será obtener la velocidad óptima de circulación.

Estos objetivos a veces entran en conflicto. Por ejemplo, los vehículos no pueden circular a gran velocidad y con seguridad si se encuentran demasiado próximos. Además de la seguridad, confiabilidad, y rapidez está el objetivo de aprovechar al máximo la capacidad de tránsito. Para ello tendremos en cuenta la velocidad máxima permitida y el horario.

Aunque los medios específicos para efectuar el control de vehículos varían considerablemente entre las tecnologías de transporte, el proceso básico lo podemos resumir en cuatro etapas:

- 1.-Situación que requiera cambio en el movimiento del vehículo.
- 2.-Detección de esa condición.
- 3.-Variación de las fuerzas sobre el vehículo.
- 4.-Cambio de la velocidad, dirección,... del vehículo.

El control incluye llevar registros del movimiento de todos los vehículos, también implica proporcionar información para fines operacionales.

Uno de los problemas principales consiste en determinar que parte del control debe ser automático y que parte se debe dejar al operador. En algunos sistemas el operador puede desempeñar únicamente funciones de vigilancia, combinadas a veces con la posibilidad de anular los controles automáticos en caso de emergencia o cambio de planes.

Los problemas relativos se derivan de la creciente complejidad de los aparatos de control, las velocidades sónicas y supersónicas de algunos transportes y las cada vez mayores densidades de tránsito en medios de densidad limitada, frente al tiempo de reacción y la capacidad de la mente y el cuerpo humano para comprender y tomar decisiones.

La meta es habilitar la detección de cualquier condición que pueda requerir un cambio ya sea en el movimiento, en la velocidad, dirección, altitud, etc., en un tiempo y distancia suficiente para evitar el peligro. Esto supone los cuatro pasos mostrados en el proceso anterior.

Hay muchos tipos diferentes de situaciones que pueden requerir un cambio en el movimiento del vehículo -uno por supuesto es un cambio en la dirección de la vía tal como una curva- que se puedan negociar con seguridad sólo a velocidades reducidas.

Este tipo de situación es fácilmente controlable porque la presencia del peligro potencial es conocida de antemano y se pueden anunciar señales de advertencia apropiadas al conductor.

Las situaciones temporales son más difíciles de tratar, por ejemplo, personas cruzando una calle, otros vehículos en la carretera, cruce de vehículos. Aunque diferentes tecnologías de transporte y asignación de rutas diferentes son sometidas a diferentes variaciones para estas situaciones imprevistas, todos los movimientos de los vehículos deben ser controlados de manera que tengan en cuenta la posibilidad de imprevistos.

2.4.1 - CANALIZACIÓN

Es probablemente la forma más común de control del movimiento de vehículos. La idea básica es la de segregar el movimiento de vehículos en categorías, tal que el movimiento de todos estos vehículos en una categoría sea lo más homogénea posible. Se ha observado que la mediana en las autopistas ha reducido probablemente los accidentes de tráfico más que ninguna otra invención de control de tráfico. La canalización es usada en todas las tecnologías de transporte.

2.4.2 - COMUNICACIONES

Los primitivos sistemas de operación se apoyan en el hábito, las reglas, las señales, los banderines. El control de operaciones moderno no puede existir sin un sistema de comunicaciones adecuado. El telégrafo y más tarde el teléfono, eran suficientes para el transporte de otros tiempos; pero las operaciones actuales requieren extensos sistemas de telefonía, radio, teletipo,... que aumentan su efectividad.

Hoy en día, en el transporte por carretera, los estudios van encaminados a sistemas que proporcionan una información detallada al usuario para proporcionar una mayor fluidez y aprovechamiento de las vías. Se trata de sistemas expertos que analizan el flujo de tráfico en tiempo real con lo que el conductor dispone de una información actualizada del estado de la vía. Ejemplo de esto, es el aumento en la utilización de dispositivos de GPS en los vehículos.

Las comunicaciones se emplean principalmente para despachar, es decir, para dirigir y seguir el rastro de los movimientos de los vehículos; ejemplo de ello son los taxis, los vehículos de servicio, las flotillas industriales y los vehículos de carga motorizadas.

De esta forma se mantiene el contacto por radio con cada vehículo, anotando los movimientos en un registro y dirigiéndolos hacia tareas sucesivas, consiguiendo así una efectividad mucho mayor.

2.4.3 - LÍMITES DE VELOCIDAD

A menudo hay necesidad de limitar la velocidad de los vehículos en lugares específicos.

Para los sistemas de ferrocarril y carretera, esta limitación la mayoría de las veces se debe a la presencia de curvas o pendientes en la ruta, cercanías de muelles

y áreas recreativas, las cuales podrían ser inseguras a elevadas velocidades. Tales restricciones de velocidad están indicadas por señales a lo largo de la ruta, con una antelación suficiente, para advertir la restricción y que el vehículo tenga tiempo de disminuir su velocidad. Igualmente signos de precaución indican la probabilidad mayor de encontrarnos con condiciones de peligro.

El control del movimiento de vehículos y el control de la velocidad son aplicados para asegurar que un vehículo no colisione con otro viajado en la misma vía. En cruces esto es un problema importante de seguridad. El segundo vehículo debe mantener una distancia de seguridad y una velocidad tal, que pueda parar, o desviarse en el tiempo necesario para evitar al primero. Así el término **control de seguimiento** es aplicado para cubrir esta situación.

Y utilizamos el término **seguimiento de comportamiento** en caso donde la conducta humana es un elemento para el control del vehículo y proceso de decisión. Aquí el conductor de cada vehículo es responsable de que su vehículo no colisione con otros objetos y por lo tanto él debe tener en cuenta la posición y velocidad del vehículo que le precede. Por supuesto hay reglas de tráfico pero que no siempre son obedecidas.

2.5 -ESTUDIO Y PLANIFICACIÓN DEL TRÁFICO RODADO

2.5.1 - ESTUDIO DEL TRANSPORTE: AFOROS

Está claro que a la hora de realizar cualquier estudio de tráfico uno de los primeros pasos es la evaluación de los movimientos que se originan, para ello hay que medir el número de vehículos que pasan por un determinado carril en un intervalo de tiempo.

Por lo tanto todos los aforos van encaminados a conocer aspectos importantes de la demanda de tráfico, como por ejemplo la intensidad, la composición, la densidad, etc.

2.5.1.1 -OBJETIVOS DE LOS AFOROS

- 1) Comparación, sobre bases objetivas, entre unas vías y otras, a los efectos de cualquier programa de actuación.
- 2) Justificación de las inversiones en las que el tráfico es una variable.
- 3) Determinación de las características físicas de las vías, especialmente en los cruces, de acuerdo con las necesidades del tráfico.
- 4) Establecimiento de señalización fija o automática.
- 5) Asignación de tráfico a nuevas vías.

6) Elemento de investigación.

De los datos de aforos en una vía ya sea calle o carretera, se pueden obtener muchas de las variables relacionadas con el tráfico que se han comentado y explicado anteriormente como son: IMD (intensidad media diaria anual), las intensidades horarias, la composición del tráfico, la distribución por sentidos, los movimientos de giro y la intensidad de tráfico de peatones.

2.5.1.2 - TÉCNICAS DE AFORO

Los aforos pueden realizarse tanto manualmente como automáticamente. La utilización de un método u otro viene condicionada por dos aspectos fundamentales como son los medios disponibles y los resultados que se pretenden obtener.

Los aforos automáticos no son útiles en ciertas situaciones:

- Para estudiar los movimientos de giro.
- Para estudiar la composición del tráfico.
- Si las condiciones físicas de la vía impiden la instalación de contadores automáticos.

Los aforos manuales se realizan con dificultad si:

- Las intensidades horarias son muy elevadas.
- Se requiere un conocimiento continuo de la intensidad.

Aforos manuales

Este tipo de aforos consisten en que un observador anota el paso de cada vehículo rellenando un impreso especial o sobre unos contadores manuales montados sobre bandejas especiales, cada vez que un vehículo realiza el movimiento elemental que se está aforando o estudiando.

Las características principales de estos aforos son que suministran una información más completa durante periodos cortos de tiempo, requieren de un elevado personal adecuadamente preparado y si se pretende mantener la información permanentemente, son costosos y difíciles de llevar a cabo.

Cuando la intensidad horaria es elevada, o bien si se requiere información simultánea de muchos movimientos o de muchos tipos de vehículos, son necesarios varios observadores.

Es aconsejable no pasar de los 800 vehículos/hora por observador si es preciso clasificar los vehículos. A veces se realizan en periodos muy cortos -inferiores a 15 minutos- de este modo un mismo observador puede en una hora recoger datos de varios movimientos diferentes.

Aforos automáticos

Como mencionamos con anterioridad, estos aforos automáticos no son útiles para estudiar movimientos de giro o la composición del tráfico, pero son muy útiles cuando la intensidad horaria del tráfico es muy elevada.

Los equipos empleados para realizar estos aforos son:

a) Contadores automáticos: utilizados hasta hace pocos años y que consistían en que el vehículo al pisar un tubo de goma extendido sobre la calzada transmitían un impulso que cerraba un circuito eléctrico (neumáticos).

b) Totalizadores: con sistema análogo al anterior, solo que van acumulando todos los impulsos que reciben.

c) Registadores: también funcionan con un sistema similar solo que sobre una cinta se imprime el número de vehículos que pasan en un cierto tiempo, para ello va provisto de un sistema de relojería. Son los más utilizados pero también son los más caros. Algunos registran gráficamente el paso de vehículos.

d) Otros sensores más complejos que se han extendido últimamente son los de presión, electromagnéticos, electrónicos o los fotoeléctricos.

Cuyo objetivo fundamental es contar el número de vehículos que pasa por la calzada, pero son utilizados cuando el objetivo no es sólo el aforo sino también para el control electrónico de un cruce, semáforo,...

2.5.1.3 AFOROS EN ZONAS URBANAS

Como es razonable pensar, el tráfico presenta unas características muy distintas en las vías urbanas y suburbanas que en las carreteras situadas en pleno campo. Los ciclos anual y diario son más uniformes, la saturación es más frecuente, las intersecciones están más próximas y la distribución por sentidos es casi siempre más equilibrada.

Además los objetivos de los aforos son distintos. En las ciudades interesa más la intensidad en la hora punta que la IMD, y son más frecuentes los aforos encaminados al estudio de una solución determinada.

La uniformidad característica de los ciclos de tráfico urbano permiten simplificar los planes de aforos pudiéndose reducir a estaciones de cobertura aforados durante 24 ó 48 horas y a muy pocas estaciones de control o permanentes, e incluso se puede prescindir de los sábados, domingos y festivos, pues en estos días la intensidad es normalmente inferior.

El Plan de Aforos en una zona urbana consta de las siguientes etapas:

1ª.- Definición del sistema viario que constituye la red a aforar. En años sucesivos se completa el plan inicial.

2ª.- Establecimiento de al menos una estación permanente para definir las variaciones del tráfico, y en ciudades importantes, al menos cuatro estaciones permanentes o de control para definir los ciclos en: centro de ciudad, vías de penetración al centro, vías tangenciales al centro y zonas periféricas.

3ª.- Realización de programas de aforos de cobertura, con una duración de 24 ó 48 horas, que cubra el conjunto de la red a estudiar. Es suficiente con la ubicación de este tipo de estaciones en los tramos de la calle comprendidos entre intersecciones de importancia; aun así es necesaria una estación de aforo cada 2 a 4 km de calles.

En ocasiones debido a la dificultad que representa seguir el movimiento de cada vehículo, complejidad de movimientos y elevadas intensidades de tráfico, no es fácil conseguir la información, aunque se disponga de los medios, aparatos y operarios necesarios.

Hay movimientos que son prácticamente imposibles de medir mediante la utilización de aforos simples, es preciso obtenerlos a través de otros aforos. En casos muy complicados pueden emplearse procedimientos más complejos como son las encuestas. Uno de estos procedimientos consiste en la toma de matrícula de los vehículos que entran y salen de la intersección.

Hasta 500 vehículos/hora pueden ser registrados por dos operarios, si hay de 500 a 1.000 se utilizan cintas magnetofónicas y si supera los 1.000 veh/hora la toma de datos es prácticamente imposible. El proceso de toma de datos resulta complicado y se estima que son necesarias dos personas día por cada 1.000 vehículos. Si se realiza con ordenador se resuelve con un programa sencillo.

En intersecciones complicadas pero sin gran intensidad de tráfico, se pueden realizar encuestas parando a los conductores en alguno de los accesos y realizando aforos en todos ellos. Está claro que este método no es válido para zonas céntricas con gran intensidad, por su difícil aplicación.

Las principales variables que intervienen a la hora de aforar una intersección son:

- Intensidad del tráfico.
- Composición.
- Número y disposición de los ramales.
- Espacio disponible y condiciones de observación para hacer los aforos.
- Distancia recorrida por los vehículos dentro de la intersección.

2.5.2 - PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE

La planificación del transporte tiene diferentes problemas y contiene diversos procedimientos que deberán variar con el nivel en que se lleve a cabo y el tipo de necesidad que se desea satisfacer. La planificación la efectúan diversos organismos a muchos niveles.

El objetivo principal es dar un servicio de transporte seguro, conveniente, rápido, y de puerta a puerta, en todo clima, y confiable desde el punto de vista del volumen y tipo de mercancías especificados, y todo ello a un coste razonable.

- Metas generales: satisfacer la necesidad reconocida. Determinar un nivel de servicio para satisfacer la demanda estimada.
- Metas inherentes: capacidad adecuada, rapidez, frecuencia de servicio y accesibilidad. Elegir una calidad de servicio apropiada.
- Meta adicional: asegurarse de que todos los usos propuestos del suelo y los núcleos humanos tengan accesibilidad humana.

Problemas que se presentan: definir las características de la demanda, selección de la modalidad, efectos en los valores, y medio ambiente.

Para la definición de la demanda, hay que determinar las fuentes generadoras de tráfico y cuantificar su potencial suministro de viajeros y carga; es preciso determinar la distribución del tráfico, las toneladas de carga, el número de viajeros y vehículos que se llevarán al punto de destino y las modalidades y rutas que se van a emplear para ese fin.

Para la selección de la modalidad, intervienen factores tecnológicos y de coste. La modalidad que se elige deberá ser la que ofrezca el grado máximo de utilidad, es decir, la que más convenga a la tarea que se trate; la que sea capaz de proporcionar un servicio del nivel y calidad requeridos a un coste económico-social y ambiental aceptable. La demanda se relaciona con la calidad de servicio.

El grado de utilidad mide las posibilidades de una modalidad para dar servicio de acuerdo con los objetivos de la planificación. Es función de las características técnico-económicas de la modalidad.

Utilidad frente a tecnología, observar, relacionando con el coste, las siguientes características: resistencia a la propulsión, relación entre carga útil y peso muerto, fuerza de propulsión, eficiencia térmica, respuesta a pendientes, flexibilidad, seguridad, rapidez, capacidad, efectos en el medio ambiente, contaminación, confiabilidad, necesidades de energía...

Economía de combustible: el coste del combustible; es una de las partidas principales en los gastos de operación de los medios de transporte. La economía impone la necesidad de obtener el mayor número posible de kilómetros o millas por tonelada o galón de combustible.

Costes de construcción: el coste inicial de construcción, o sea, de capital, con frecuencia tiene importancia fundamental en la elección de la modalidad. Los costes pueden ser excesivamente altos para algunas modalidades.

2.5.2.1 -ETAPAS DE LA PLANIFICACIÓN

La planificación y ejecución de los planes sigue por lo general un patrón de acuerdo con las siguientes etapas. Estas etapas son flexibles en relación con el proyecto concreto.

1.-Reconocimiento de la necesidad: La necesidad puede ser actual y grave o puede no ser evidente. Basta estudiar las necesidades presentes y futuras.

2.-Metas de la planificación: La planificación ha de tener una dirección y un propósito específicos; esto es, establecer objetivos que representen los valores comunales, así como los medios necesarios para lograr estos objetivos.

3.-Objetivos de la planificación: Representan la dirección en que una sociedad, (empresarial, urbana, regional o nacional), desea moverse. Los *objetivos* sirven para lograr las metas, los *criterios* se aplican para cuantificar los objetivos.

4.-Análisis de demanda: Los estudios de demanda son el fondo de información a partir del cual se puede proceder a la planificación. Las cargas de tránsito que ha de soportar el sistema son, en buena medida, función del uso del suelo y de la población.

5.-Proyecciones: Establecida la demanda, el tráfico se distribuye entre rutas y modalidades de transporte existentes. Se compara la capacidad actual con la

demanda actual y se observa el exceso o falta de capacidad. Se efectúa ahora la elección de modalidades. La demanda del tránsito se proyecta al futuro; se asignan las rutas y se anotan nuevamente los excesos o las deficiencias de capacidad.

6.-Diseño de soluciones: Considerar todas las soluciones posibles y desarrollar con más detalle las dos o tres que resulten más prometedoras. Selección de modalidad, diseño y ubicación de la red. Nivel de servicio que se espera dar y el coste económico de cada alternativa. Se toma nota de las consecuencias sociales y medioambientales.

7.-Evaluación de alternativas: Se evalúan aquellas seleccionadas para su análisis detallado. Hay que considerar en la evaluación: utilidad o efectividad de las soluciones alternativas, calcular el coste económico de cada una, así como los costes sociales y ambientales y consecuencias significativas de cada solución alternativa. La aceptabilidad por parte del público es un criterio muy importante.

8.-Presentación: Los planes que se recomiendan y las alternativas viables se presentan al correspondiente Consejo de Planificación. El cuerpo de planificación rara vez toma las decisiones. Conviene incluir los métodos de financiación que se sugieren.

9.-Ejecución del plan: Una vez aprobado y autorizado el plan, establecer métodos de financiación que permitan preparar los planos y diseños finales, adquisición del terreno, presentación de presupuestos y la construcción, seguidos de la etapa final: la operación.

Existe interrelación entre todas las etapas y una coordinación muy estrecha. La planificación inicial puede indicar que el proyecto no se justifica o es impracticable, evitando en este caso un gasto innecesario de recursos y esfuerzos.

2.5.2.2 **CONCEPTO DE COSTE**

Por lo general el coste de proporcionar u obtener servicios de transporte determina la elección definitiva del tipo de transporte, salvo cuando prevalecen condiciones tecnológicas restrictivas.

El ingeniero de Organización se enfrenta constantemente al problema de elegir prácticas tecnológicas que den como resultado un coste mínimo.

El concepto de coste es muy amplio y abarca numerosos sectores que van a influir en la elección de la alternativa a seguir. A continuación se tratarán distintos tipos de coste y su importancia en la planificación del transporte.

Costes de capital y costes de operación

Costes de capital: lo que cuesta obtener la planta y el equipo iniciales, las ampliaciones y mejoras a esas instalaciones. Desglosamos estos costes en inversiones en ruta y estructura e inversiones en equipo.

Los costes de capital incluyen los intereses que se pagan por capital invertido.

Costes de operación: los de manejo del negocio de transporte. Dividimos los costes de operación en:

- Mantenimiento de la ruta: conservar carreteras, vías férreas, pavimentos, capas de apoyo, tuberías, puertos...
- Mantenimiento del equipo: conservación del equipo motriz y rodante.
- Costes de transporte: aquellos en los que se incurre al llevar a cabo el transporte; es decir, combustible y energía, sueldos de las tripulaciones, costes de terminal y sueldos de quienes dirigen el movimiento de vehículos. Costes de control de tránsito.
- Costes de tráfico: son los de solicitud de carga, publicidad, publicación de tarifas y administración.
- Costes generales y diversos: gastos de oficina, de asesoría legal y contabilidad, sueldos de los funcionarios generales y su personal.

Costes fijos y variables

Todos los costes se pueden expresar de una de estas dos formas:

Costes fijos: son aquellos que tienen poca o ninguna relación con el volumen de tráfico e incluso se puede incurrir en ellos cuando no se mueve tráfico alguno. A los costes fijos se les llama también costes indirectos.

Coste variable: son aquellos que fluctúan con las variaciones del tránsito. A los costes variables también se les llama costes directos.

Los costes fijos y variables se relacionan con el tiempo.

- Corto plazo: período suficientemente corto, como para que la capacidad permanezca fija.
- Largo plazo: período suficientemente largo para que se produzcan cambios en la capacidad.

Si estamos a corto plazo, un aumento del volumen de negocio da lugar al aumento de los costes variables o directos, mientras que a largo plazo un aumento

del volumen de negocio puede dar lugar a un aumento de los costes de capital fijos y variables. Es decir, los costes fijos aumentan con los costes de capital y mantenimiento de las nuevas instalaciones, y los costes directos totales pueden aumentar también.

Costes directos e indirectos

Costes directos: provienen de y son atribuibles a una operación individual. Son los llamados costes en efectivo.

Costes indirectos: son aquellos en que se incurre debido a la operación de la modalidad de transporte. Solo son asignables a una operación individual, mediante un método de distribución contable más o menos arbitrario.

2.5.2.3 PLANIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIARIA

Una gran parte de la inversión pública total está dedicada a la planificación de la infraestructura de los sistemas viarios, tanto para mejorar y conservar este patrimonio, como para crear nuevas vías. Existen una serie de etapas de la planificación:

Estado inicial: Es necesario conocer cuál es la situación inicial existente y realizar un inventario de la infraestructura y conocimiento del tráfico actual, tanto de sus características técnicas más comunes (intensidad, velocidad...), como de otras más cualitativas (parque de vehículos, tipos de viajes...).

Estimación de la demanda futura: Lo que se ha llamado pronóstico de tráfico y que se verá posteriormente.

Determinación de objetivos: El principal objetivo es conseguir en cada momento una adecuación entre el estado de la infraestructura y las exigencias del tráfico con un nivel de servicio determinado.

Diferentes actuaciones de un plan viario: Una vez fijados los objetivos y estudiada la situación inicial debemos determinar los tipos de actuaciones en cada uno de los tramos de la vía. Inicialmente debemos optimizar el estado inicial mejorando y conservando. Si esto no fuera posible o la conservación no es suficiente, entonces se establece un programa de construcción, que está estructurado en otros cuatro programas:

- Plan de terminación de la red.
- Plan de mejoras de la red.
- Plan de redes arteriales.

- Plan del sistema nacional de autopistas.

Planificación a largo plazo en zonas urbanas

Integración en la planificación de una ciudad: El transporte no debe decidir por sí solo como debe ser una ciudad, sino supeditarse a ella. Pero la ciudad ha de planearse para facilitar y solventar los problemas de transporte. En esta integración, la coordinación es esencial a 2 niveles: entre todos los medios de transporte, entre el transporte y la planificación urbana. Esta coordinación no es fácil y la responsabilidad total no se ha de concentrar en un único organismo; existirá una subdivisión de la gestión entre diferentes departamentos.

Para una mayor fluidez, actualmente se han elaborado equipos politécnicos y organismos de coordinación, con una mayor responsabilidad y capacidad de decisión,

Forma y dimensiones de la red viaria: No existe un modelo de planificación de una ciudad ideal. Cada una tiene sus circunstancias y requerimientos específicos. Algunos estudios, sin embargo, destacan ciertos parámetros a tener en cuenta:

- Espacio necesario por persona y kilómetro en la ciudad.

$$A = (1000 \cdot a)/(n \cdot c \cdot T) \text{ m}^2$$

siendo:

- a: ancho de calzada.
 - c: capacidad en vehículos/hora.
 - T: período de observación.
 - n: personas/vehículo.
- Efecto de la forma de la red viaria en los recorridos: Influye en la forma de acceder a las diferentes zonas.
 - Superficie viaria necesaria en un centro urbano para el transporte de personas: Suponemos una zona urbana de forma circular, radio (r), de (n) habitantes, coeficiente función del itinerario (k), superficie (A). Entonces la superficie total necesaria para el transporte de 1 persona será:

$$(A \times k \times r)/1000 \text{ m}^2$$

- Radio óptimo para un anillo de circunvalación y utilidad del mismo.

Dos elementos son condicionantes: el coste de ejecución y el tiempo que hace ahorrar a los vehículos. El coste de ejecución depende de la longitud del anillo y del coste de vía por unidad de longitud. El tiempo se ha calculado para un caso teórico donde la red viaria urbana es radial y para 3 tipos de viaje: interiores ($r_{op} = 0.67r$); interiores próximos a la periferia ($0,82 r$); viajes que cruzan zona urbana (borde de la ciudad).

Clasificación funcional de las vías urbanas:

- *La función de la red viaria.* La red viaria debe constar fundamentalmente de: red viaria principal, red específica para transportes colectivos e instalaciones terminales.

Si se planifica de modo que no existe límite del uso del coche privado, éste rebasará la capacidad de la vía destinada a este uso. Tampoco el transporte de la ciudad puede resolverse en gran parte por medios colectivos: es necesario llegar a un compromiso entre ambos.

Para ello se deben limitar los resultados que puedan alcanzarse -siempre por debajo de la posible demanda del coche privado- y debe haber un compromiso entre el servicio al viajero y al residente, en zonas contiguas a las vías. También es necesario considerar el valor del suelo.

- *Justificación de la especialización de las vías urbanas.* Cuando las condiciones de circulación se complican las vías se van saturando de peatones y vehículos, y no existe una clara definición de la función de la vía, dichas condiciones se degradan cada vez más, y su solución no siempre puede ser aumentar la superficie ocupada por la red viaria, sino una especialización de las vías; por ello la justificación se basa en 3 criterios: capacidad, nivel de servicio, seguridad y funcionalidad.

- *El concepto del control o limitación de los accesos.* La diferencia entre una vía con accesos limitados y otra sin ellos está en el distinto grado de interferencia entre los vehículos entre sí, y entre vehículos y peatones. En las vías con accesos limitados, la capacidad por unidad de anchura es mucho mayor y el índice de accidentes más reducido.

Tipos de vías de la red arterial de una área urbana: Básicamente, hay 2 categorías de redes viarias: red arterial o primaria (vías destinadas fundamentalmente a la circulación) y las que sirven a las propiedades circundantes. Dentro de la red primaria existen varios tipos de vías:

- *Autopistas urbanas:* A corto o a largo plazo las vías fundamentales de la red principal deben tener carácter de autopista. Presenta diversas ventajas:
 - Su capacidad por unidad de superficie es superior a la de cualquier otro tipo de vía.
 - mayor seguridad.
 - se descongestionan las calles locales, debido a que se circula a alta velocidad y los conductores tienen preferencia por ello.

Desventajas: mayor coste y dificultades técnicas y urbanísticas de su inclusión en la ciudad.

- *Autovías:* Su definición es ambigua y confusa con respecto a la de autopista. Su existencia se debe a la dificultad de establecer una autopista en zona urbana. Los mayores problemas surgen en las intersecciones, y por ello han de estar bien señalizadas y disponer de carriles especiales para los giros.

- *Arterias principales:* Están destinadas a viajes de menor recorrido, al encontrarse normalmente en zonas edificadas, las dificultades de ampliación suelen ser insuperables. Características que tienen: no existe limitación en los accesos; se tolera -a veces- el estacionamiento y la detención; puede o no existir mediana, y los transportes públicos utilizan con preferencia este tipo de vías.

En cuanto a la **red secundaria**, su objetivo es servir a edificios colindantes, y llevar el tráfico desde los edificios a la red principal por el trayecto más corto posible. Aquí el tráfico ha de ser reducido y no deben servir para viajes de largo recorrido ni para unir sectores de una ciudad. Existen 2 tipos de vías:

- *Calles colectoras:* recogen el tráfico de la red local y lo lleva a la principal. Sus dimensiones son más reducidas que las arterias principales, pero pueden tener un tráfico intenso de corto recorrido. Es una circulación dificultosa en general.

- *Calles locales:* sirven directamente a las propiedades colindantes. Es una circulación lenta y poco intensa (local). Las intersecciones, por seguridad y para evitar el tráfico de largo recorrido, son en forma de T. Representan un importante porcentaje de la longitud total de la red viaria de una ciudad y su tipología es muy variada: calles residenciales, comerciales, centro de negocios.

Posibilidades de actuación en situaciones existentes: El principio de especialización de las vías es inherente a la construcción de las mismas y aunque una ciudad no se haya desarrollado de acuerdo a ningún plan de transporte, las vías se diferencian en trazado y dimensiones. A veces es necesario tomar medidas para concretar más la función de la vía:

- En vías de la red principal se prohíbe el estacionamiento, señalización con semáforos en los cruces, acondicionamiento de intersecciones, desniveles en enlaces.
- En calles locales es deseable evitar el paso de una parte del tráfico, mediante dificultades a su continuidad, como aumentar la capacidad de aparcamiento. El problema está en que pocas vías tienen un carácter local residencial puro.
- En vías de tipo suburbano, control sobre los accesos y mejora progresiva de sus características.

Planificación: Cada ciudad tiene sus peculiaridades y características y por ello lo más adecuado es realizar un examen de los planes vigentes en una serie de ciudades de distintas características. Pero podemos definir algunos principios generales que pueden dar una visión global:

- *Red viaria principal:* destinada a los mayores desplazamientos dentro de la zona urbana. Debe establecer una limitación de los accesos total o parcial. Ha de servir a la mayor parte de los recorridos de la ciudad (60-80% del total veh/km) y así poder descargar todo lo posible la red secundaria.

- *Redes secundarias:* completa los espacios urbanos definidos por las vías principales. Suele estar establecida sin ningún criterio específico y es necesario una ordenación de la misma para diferenciar su función.

- *Transportes colectivos:* su planificación es función del número de habitantes de la ciudad. En grandes ciudades (2.000.000 habitantes) el metro y el transporte suburbano está justificado como elemento de transporte que absorbe una buena parte del tráfico de superficie. En pequeñas poblaciones es más rentable el transporte de superficie e invertir más en mejora y construcción de autopistas.

Generación, atracción y distribución del tráfico

Es muy importante en el proceso de planificación de un área, la estimación del número de viajes-personas o vehículos, que han de producirse en un cierto futuro y de su distribución. Vamos a estudiar cómo se generan, qué puntos son atrayentes y cómo se distribuye el tráfico. Para ello necesitamos definir una serie de conceptos que usaremos:

- Viaje generado por un domicilio: es el que tiene uno de sus extremos -origen o destino- en el domicilio.
- Viaje atraído: viaje generado en un domicilio contemplado desde el otro extremo.

- Viaje no basado en el domicilio: ninguno de sus extremos coincide con el domicilio.
- Origen del viaje: lugar donde se inicia.
- Destino: punto donde se acaba (la generación de un viaje puede coincidir con el origen o con el destino).
- Viaje simple: aquél en que no se cambia de vehículo.
- Viaje básico: se realiza entre 2 puntos determinados aunque sea preciso cambiar de vehículo.

Generación de los viajes: Partimos del conocimiento de la situación existente y de prever cuáles serán las condiciones futuras de la ordenación urbanística de la ciudad. Se deben establecer también una serie de variables importantes: nivel de motorización, de renta, composición de la familia, nivel profesional, distancia al centro, densidad de población, población activa, disponibilidad de medios de transporte; éstas variables nos ayudan a comprender por qué se producen los viajes y cómo. Hemos de seleccionar qué variables son más identificativas.

El primer dato a contemplar es el número de viajes que se generan de modo global por vivienda o por habitante y su clasificación por medios de transporte y objeto del viaje. Estos datos generales dan una idea del orden de magnitud en el que nos vamos a mover.

Atracción de los viajes: En la generación se determina el número total de desplazamientos y uno de sus extremos. Ahora vamos a determinar el extremo desconocido del viaje. El factor principal que determina la atracción, es el uso del suelo en el destino: un intenso uso del suelo determina un gran efecto de atracción (centros de las ciudades). La variable que mejor refleja el poder de atracción de una zona es el número de puestos de trabajo existentes y sirve de indicador.

- *Viajes del domicilio al trabajo:* cada puesto de trabajo atrae 2 viajes diarios - en principio- (uno de ida y otro de vuelta). En la práctica atrae 1,5 viajes, pues hemos de considerar los desplazamientos a pie, faltas al trabajo, etc.

- *Viajes con objeto distinto al del trabajo:* pueden considerarse un gran número de variables como el número de habitantes, puestos de trabajo, viviendas, superficie edificada para oficinas y comercios, hoteles. También es conveniente diferenciar en zonas dentro del ámbito de estudio.

Distribución de viajes: Conocido el número total de viajes, los que se generan y atraen en cada zona, ahora falta estudiar cómo se distribuyen estos viajes entre los pares de zonas (como una matriz de doble entrada donde los elementos son el número de viajes entre dichas zonas). El estudio se puede realizar desde dos puntos de vista diferentes:

- *Analógico*: por extrapolación de una situación inicial estudiada y realizar un estudio comparado con la distribución actual de los viajes.
- *Sintético*: se basa en el análisis de los hábitos existentes en cuanto a la forma en que se producen los desplazamientos, y definir modelos matemáticos análogos a los de la generación

Los analógicos son de más fácil aplicación que los sintéticos, pero no son aplicables al caso de considerables cambios o nueva planificación de vías: son aceptables a corto plazo, mientras los sintéticos tienen su mejor aplicación a largo plazo.

Asignación de tráfico

Una asignación trata de valorar las intensidades de tráfico de una o varias vías en función de sus características físicas y funcionales y del tráfico potencial que puede utilizarlas. Consta de 2 etapas:

- Determinación del posible tráfico capaz de utilizar la red.
- Asignación de ese tráfico potencial a cada uno de los tramos de una determinada red vial.

Los factores que determinan la elección de un itinerario son:

- *Longitud de cada tramo.*
- *Calidad de la vía en cuanto al trazado, firme y condiciones de seguridad.*
- *Grado de congestión en cada momento.*

Métodos de asignación: Siempre tienen en cuenta los tiempos empleados por uno u otro camino. En algunos métodos, todos estos factores se reducen a costes. Son:

- Método del menor coste.
- Curva de la AASHO.
- Método de California.
- Métodos que consideran diferencias absolutas y relativas.
- Método de Abraham.
- Métodos que tienen en cuenta la saturación de las vías.
- Métodos para comparar 3 itinerarios.

Formas de realizar una asignación de tráfico: Conviene seguir el orden siguiente:

a) *División en zonas*; deben establecerse de forma que la comunicación entre ellas se pueda expresar de forma clara a través de la red viaria existente y de la nueva.

b) *Tabla de origen y destino*; conviene distinguir entre el tráfico pesado y coches, ya que las condiciones de asignación son distintas.

c) *Definición de las redes viarias que unen los centros de zonas*; cada zona con su centro se unirá con los demás mediante el sistema viario existente (Red 1) y el nuevo sistema que se trata de estudiar (Red 2).

d) *Cálculo de los costes o de los tiempos de recorrido*; para cada tramo de las redes 1 y 2 debe determinarse el coste que supone recorrerlo, en unas condiciones de circulación dadas. Es conveniente calcularlos para varios niveles de tráfico.

e) *Asignación propiamente dicha*; prescindiendo del nuevo sistema viario, es conveniente calcular las intensidades de tráfico y comparar los resultados con los ya obtenidos. Después se procede a asignar a las redes 1 y 2 cada uno de los movimientos de la tabla de origen y destino. Una vez realizada la asignación por los métodos antes señalados, para la totalidad de movimientos, se debe comprobar las intensidades de tráfico en cada tramo.

Para realizar todas estas operaciones matemáticas es necesario el uso del ordenador. Mediante su utilización es posible resolver modelos más complejos, por ejemplo donde una de las variables tenga en cuenta la existencia simultánea de múltiples itinerarios alternativos.

Distribución de desplazamientos por medios de transporte: Según los factores que intervienen se escogen unos medios de transporte u otros.

2.5.2.4 -LA FUNCIÓN DE DEMANDA

La función de demanda relaciona la cantidad de mercancía demandada por los usuarios en función del precio. La forma típica de una función de demanda es la representada en la figura que se muestra a continuación:

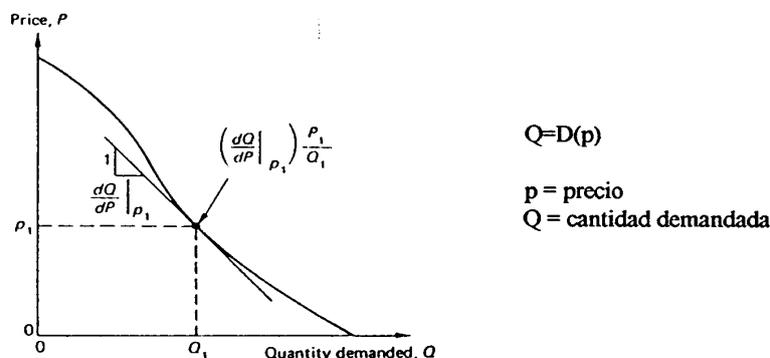


Figura 2.4: Función de demanda.

Al hablar de demanda, es necesario introducir el concepto de elasticidad. La **elasticidad** de la demanda, por tanto, es una medida de la variación de la cantidad demandada relativa a la variación en el precio. También puede definirse como el producto de la pendiente de la función de demanda para un precio determinado y la relación entre ese precio y la cantidad demandada para el mismo.

Basándose en esto, la elasticidad se calcula de la manera siguiente:

$$\varepsilon = \frac{dQ/Q}{dp/p} = \frac{dQ}{dp} \times \frac{p}{Q}$$

Aunque, en general, la elasticidad es variable, se ha comprobado que, en el caso del transporte público urbano, ésta es constante permitiéndonos estimar cómo varía la cantidad de pasajeros en función del precio. Veamos la demostración.

La cantidad demandada en un medio de transporte urbano puede representarse mediante $Q = \alpha \cdot p^\beta$ donde α y β son constantes (conclusión a la que se ha llegado experimentalmente). Si calculamos la elasticidad obtendremos lo siguiente:

$$\varepsilon = \frac{dQ/Q}{dp/p} = \frac{dQ}{dp} \times \frac{p}{Q} = \alpha \cdot \beta \cdot p^{\beta-1} \times \frac{p}{\alpha \cdot p^\beta} = \beta$$

De modo que si β es constante entonces la elasticidad (ε) es constante.

Por tanto, para el transporte urbano, la cantidad demandada se calcula mediante $Q = \alpha \cdot p^\varepsilon$ siendo ε la constante del modelo y la elasticidad.

En general, las funciones de demanda del transporte son complicadas debido a que el transporte no es un fin en sí mismo, de modo que, es una demanda indirecta que depende de factores como el propósito del viaje (trabajo, turismo...) y el medio utilizado para el mismo.

La demanda podría ser por ejemplo inelástica, varía de un rango donde los usuarios son insensibles al precio hasta un precio que ya no están dispuestos a pagar. La demanda completamente inelástica se da típicamente cuando el propósito del viaje es por trabajo, el viajero está obligado a realizarlo independientemente de su coste, mientras que si este propósito es por turismo, la demanda es elástica (depende del precio, la comodidad...).

El uso del suelo como factor para determinar la función de demanda

El estudio del uso del suelo sirve para ver los diferentes centros de actividad. Igualmente sirve para ver el tránsito generado entre distintas zonas. Por ejemplo, las áreas residenciales pueden generar hasta el 50% del total de viajes. Las áreas asociadas con cada uso del suelo se deben identificar en cuanto a ubicación, extensión e intensidad de uso. Esta última se puede relacionar con el número de personas por kilómetro cuadrado, con el número de empresas que funcionan o con la cantidad de producción por unidad de suelo.

La demanda futura se tiene que determinar a la luz del desarrollo y los futuros usos del suelo. Esto requiere, ya sea, suposiciones simplificadoras (procedimiento empírico y carente de precisión) o modelos de uso del suelo que indiquen los usos futuros y el impacto del transporte en esos usos (procedimiento complicado y costoso).

La demanda del transporte colectivo en la ciudad

En la ciudad hay tres formas esenciales de transporte: a pie, en vehículo privado y en medio colectivo. El medio de transporte principal determina, en cierto modo, las dimensiones del área urbana, habiéndose encontrado que el diámetro de una ciudad evoluciona a través del tiempo de manera aproximadamente proporcional a la velocidad del medio de transporte más representativo. Generalmente, el radio medio, corresponde a la distancia que se puede recorrer en un tiempo de 30 a 45 minutos.

Así, en una ciudad basada en el transporte a pie tendría un radio máximo de unos 2 km, en una red de transporte público, el radio sería de unos 8 km y si es en coche privado, se pueden rebasar los 25 km de radio.

Cuanto más densa y compacta sea la ciudad, mayor es el porcentaje de viajes a pie, los cuales por su naturaleza se limitan a distancias cortas. En unos estudios realizados, se llegó a la conclusión de que normalmente se valora el tiempo de la marcha a pie en 1.7 veces el transcurrido durante el transporte en un vehículo colectivo. En las ciudades pequeñas, sobre todo si su trama urbana es antigua, el porcentaje de viajes a pie es muy alto.

En la distribución de viajes entre vehículos colectivos y privados, influyen una serie de variables, en general no independientes. Entre ellas, se consideran muy importantes las cuatro siguientes:

Tamaño y densidad de la ciudad: En general, el uso de los coches privados decrece a medida que aumenta la importancia y densidad de la ciudad.

En las grandes ciudades, el transporte no puede basarse exclusivamente en los vehículos privados, señalando 250.000 habitantes como orden de magnitud del límite de una ciudad a partir del cual resulta siempre imprescindible alguna forma de transporte colectivo.

Los transpores públicos necesitan que las áreas que sirven tengan una cierta densidad mínima para que se puedan explotar razonablemente. Una comisión de expertos señala las cifras siguientes:

- Nuevas zonas residenciales a gran distancia de un núcleo urbano: se requieren de 6.000 a 8.000 habitantes para un servicio de autobuses y de 20.000 a 25.000 para un servicio de transporte público.
- Nuevas zonas residenciales próximas a un núcleo urbano: se requiere una densidad mínima de 120 a 150 habitantes por hectárea de superficie bruta para un servicio de transporte público.

Horario y destino de los viajes dentro de la ciudad: El centro de una ciudad juega un papel importante como determinante de ciertas características del transporte urbano. En todas las ciudades el transporte público se utiliza proporcionalmente más en los viajes orientados hacia el centro que en otros viajes dentro del área urbana.

Debido especialmente a las dificultades de aparcamiento, en la hora punta, es menor el porcentaje de viajes en coche privado. Como consecuencia de algunos estudios, las puntas horarias relativas son más altas en los viajes en transporte colectivo que en privado.

Objeto de los viajes dentro de la ciudad: Los transportes colectivos son mucho más adecuados para los desplazamientos periódicos de domicilio a trabajo que para otros viajes urbanos, con distintos objetos (recreo, compras) y que en general, tienen un carácter más ocasional. Los motivos que favorecen el uso del coche privado suelen ser el recreo, los negocios, y los viajes de carácter social.

Nivel económico y de motorización: El nivel económico y de motorización es considerado como uno de los elementos que definen la demanda del transporte. Al aumentar el nivel económico se tiende a realizar un mayor número de viajes por persona y día, pero naturalmente la mayor motorización hace que una parte importante de los desplazamientos se traslade del medio colectivo al coche privado.

2.5.2.5 -MODELOS DE DEMANDA

La mayor parte de los modelos de demanda, son más complejos que una simple ecuación. Las razones de su complejidad son las derivadas de la naturaleza

propia de la demanda del transporte y de las características del transporte que son normalmente ofrecidas a los viajeros potenciales.

El problema ya no se limita a un estudio de P-Q, sino a una *demanda cualitativa*. Un modelo de demanda de transporte típico es el siguiente (en general nos vamos a centrar en el transporte de viajeros urbano o interurbano):

La demanda se puede expresar en función de una serie de variables influyentes:

$$d_{ij}^{pm} = D_{ij}^{pm}(S_i, S_j, C_{ij}^m, C_{ij}^n, \dots, S_k, C_{ik}^m, C_{ik}^n)$$

siendo:

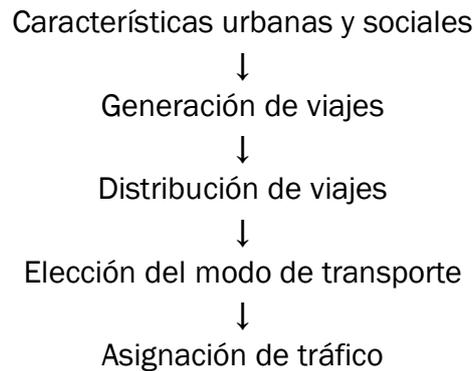
- d_{ij}^{pm} = cantidad demandada de viajes desde el origen i al destino j . Depende de dos factores importantes:
 - p = propósito del viaje.
 - m = modo del viaje.
- D_{ij}^{pm} = función para estimar la demanda.
- S_i/S_j = características socioeconómicas de la ciudad i (origen) / j (destino).
- n : alternativa al modo m .
- k : punto alternativo donde el propósito del viaje puede ser satisfecho.
- C_{ij}^m / C_{ij}^n = coste del viaje y nivel de servicio de i a j , utilizando el modo m/n .
- S_k = características socioeconómicas del lugar alternativo k .
- C_{ik}^m / C_{ik}^n = coste del viaje y nivel de servicio de ir de i a k , por el modo m/n .

Los valores estimados de las elasticidades de la demanda se obtienen a través de la de las encuestas y se encuentran tabulados.

Modelos de previsión del transporte urbano

Cada tipo de transporte tiene su demanda correspondiente. Nosotros nos vamos a centrar en el transporte de viajeros urbano. Vamos a ver qué número de desplazamientos se van a dar en una zona determinada entre el centro y sus satélites y como organizar estos viajes entre los diferentes medios de transporte disponibles.

Consiste en modelos separados utilizados secuencialmente, *modelos de demanda secuencial*. Hay que seguir una serie de pasos:



a) **Características urbanas y sociales:** son necesarias estimaciones de las tendencias humanas en el futuro en cierto terreno. Hay que hacer un estudio de la zona. Se define *Zona urbana* como núcleo central o ciudad, en el que las poblaciones tienen contacto directo con el centro urbano. Se distinguen entre: zona residencial, industrial, comercial, recreativa, administrativa, mixta.

Las características socioeconómicas de la zona, también van a influir. Por ejemplo, si es zona residencial de alto poder adquisitivo, el precio del viaje no es factor determinante, si por el contrario es bajo, el transporte público debe ser capaz de proporcionar servicios. El estudio o la predicción del uso del suelo van a condicionar la generación de viajes.

- Zona residencial → origina viajes.
- Zona comercial o industrial → recibe viajes.

b) **Generación de viajes:** el modelo de generación es utilizado para estimar el número de viajes que aparecen en cada zona y el número de viajes que terminan en cada zona, debido a un propósito concreto.

El estudio se basa en características socioeconómicas, una serie de factores importantes son: *nivel de renta, de motorización, composición de la familia, nivel profesional, distancia al centro, densidad de población, población activa, disponibilidad de medios de transporte*, que ayudan a comprender mejor los viajes.

Si se trata de una **zona residencial**, lo primero que hay que tener en cuenta es el número de viviendas, el número de habitantes por vivienda, y el número de vehículos propios para cada una de ellas. Toda esta información sirve para estimar los viajes generados. Uno de los métodos que se utiliza para el estudio de la generación de viajes es la *regresión*.

Consiste en suponer que una variable Y, objeto del estudio y que se denomina variable independiente, responde a los cambios de otras variables X, llamadas

dependientes. En estudios de generación, muchas veces se considera que la regresión entre la variable dependiente y las independientes es lineal, estableciendo modelos cuyo ajuste puede realizarse mediante la aplicación de las técnicas de regresión lineal múltiple. Los modelos de este tipo son de la forma:

$$Y = K_0 + K_1 \cdot X_1 + K_2 \cdot X_2 + \dots + K_n \cdot X_n + U$$

Siendo K_0, K_1, \dots, K_n , los parámetros que deben determinarse por procedimientos estadísticos, y X_1, X_2, \dots, X_n las variables independientes. El término U representa la discrepancia del modelo con la realidad.

En **zonas no residenciales**, las expresiones se complican al ser zonas mixtas. Habrá que ver que variables son más influyentes.

c) Distribución de viajes: el siguiente problema a resolver, es ver, de todos los viajes generados en una zona O_i , cuántos irán a cada una de las otras, es decir, cómo se distribuyen. Para ello se utilizan los *modelos de gravedad* (similar a esta ley):

$$d_{ij}^p = \delta \times \frac{O_i^p \cdot a_j^p}{(C_{ij})^b}$$

Donde:

- d_{ij}^p = número de viajes de i a j con el propósito p . d_{ij}^p es directamente proporcional al producto de masas de las zonas origen y destino e inversamente proporcional a la distancia que los separa.
- δ = constante de proporcionalidad del modelo.
- C_{ij} = distancia entre i y j .
- b = exponente de las distancias.
- $O_i^p = \sum_{j=1}^n d_{ij}^p$ = número total de viajes originados en la zona i con propósito p .
- $a_j^p = \sum_{i=1}^n d_{ij}^p$ = número de viajes que llegan a j procedentes de otro lugar con un propósito determinado.

Operando se llega:

$$d_{ij}^p = O_i^p \frac{a_j^p / (C_{ij})^b}{\sum_{k=1}^n a_k^p / (C_{ik})^b}$$

- El O_i^p lo obtenemos del modelo anterior (modelo de regresión).
- El a_j^p lo vamos a sustituir por la *atracción que ejerce la zona*. Esta sustitución se hace multiplicando esa atracción por un factor de proporcionalidad.
- La distancia se podrá definir en tiempo o en espacio.

d) Elección del modo de transporte: como el modelo que estamos usando es para viajes urbanos, habrá dos modos de viaje. Se va a elegir entre transporte privado o público. Para la elección utilizamos la relación entre 5 variables:

- TTR = tiempo total de viaje en medio público/tiempo total de viaje en automóvil propio (los tiempos son de puerta a puerta).
- CR = coste de viaje en medio público/coste de viaje en automóvil propio.
- EC = renta personal, varía de EC1 (más bajas) → EC5 (más altas).
- L = tiempo muerto en transporte público/tiempo muerto en automóvil propio.

Con estas variables se representan una serie de curvas (Papacostas, 1993) y entrando en ellas (ver figura 2.6), se obtiene el porcentaje de viajes de transporte público, dependiendo del propósito del viaje.

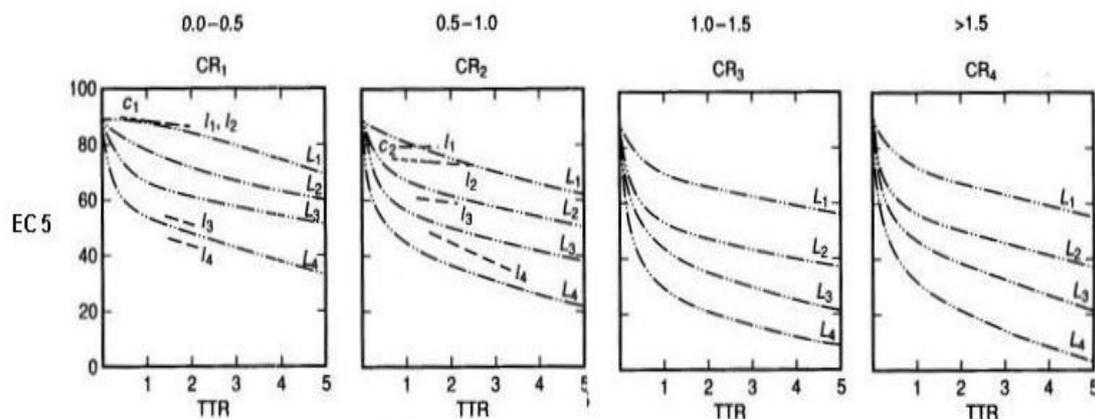


Figura 2.5: Curvas de relaciones de reparto modal.

e) Asignación del tráfico: la asignación del camino se hará probando las diferentes rutas. Se llegará al equilibrio cuando se tarde lo mismo por las diferentes trayectorias. Existen diferentes métodos para la asignación del trayecto, se explican más adelante en la oferta del transporte.

Proyección del tráfico futuro

La planificación de un sistema de transportes se realiza de cara al futuro, y ha de tener como base, determinadas previsiones cuantitativas sobre la demanda de tráfico y sus características. La proyección de tráfico permite conocer con

anticipación, conforme a ciertas hipótesis, la magnitud de la demanda durante un periodo determinado. Este amplio cometido tiene dos aspectos distintos:

- *Técnico*: determinación de las necesidades de infraestructura o servicios en el tiempo y en el espacio, consecuencia de la demanda futura.
- *Económico*: estudio de costes y beneficios, que son la base financiera de cualquier planificación.

Los factores que condicionan la evolución del tráfico son los mismos que condicionan la generación y atracción de los viajes:

- *Oferta disponible de transporte*: una red amplia y cómoda fomenta el crecimiento del tráfico, mientras que una red congestionada lo coarta. La existencia de distintos medios de transporte competitivo condiciona la evolución del tráfico de cada uno de ellos.
- *Factores socioeconómicos*: tales como el nivel de motorización, población en cuanto a su valor absoluto, distribución y densidad, nivel de renta y uso del suelo.

Los estudios completos de proyección del tráfico han de basarse en la previsión de los factores que la condicionan. El establecimiento de correlaciones entre la generación y atracción de viajes, y parámetros característicos de estos factores, permite conocer la situación futura de aquellos a partir de la previsión de éstos.

Previsión en la evolución del parque de vehículos

La renta por habitante es el concepto más general utilizado como elemento indicador del nivel de desarrollo alcanzado por una nación, y uno de los parámetros que mejor refleja su situación económica es el de coches, ya que presupone un importante nivel medio de vida.

Un fenómeno importante que debe tenerse en cuenta en las previsiones a largo plazo del parque de coches, es el de su *saturación*. Una vez alcanzado este límite, el volumen absoluto del parque aumentará únicamente en la medida que aumente la población o se modifique su estructura. Según la amplitud de la zona a la que se ha de referir la previsión, se distingue:

- **Proyección nacional**: en la que se tiene en cuenta todo el territorio nacional.
- **Proyección regional**: en una red con interconexiones viarias en distintas direcciones.
- **Estudio de un corredor**: franja definida por una dirección predominante del tráfico.

- **Proyección de una zona urbana:** suele ser compleja y exige una subdivisión muy detallada en zonas de distintas características socioeconómicas.
- **Estudios a nivel local:** para ajustarse a las características de cada caso (puentes, túneles...).

La proyección de tráfico en una nueva vía es la composición de los siguientes tipos de tráfico que se estima utilizarán el futuro sistema vial.

- **Tráfico atraído:** es el componente principal y es el que irá por la nueva vía pero sin que los usuarios hayan cambiado el origen o destino.
- **Tráfico inducido:** antes de la construcción de la nueva vía no existía, y es el resultado directo de la mejora de la vía (fórmula de la gravedad).
- **Tráfico generado:** es el resultante del desarrollo en el uso del suelo, debido a la infraestructura de transporte que la nueva vía ha creado.
- **Tráfico convertido:** viajes que antes se desarrollaban por otro medio.

Métodos generales para la proyección de tráfico

De acuerdo con Valdés (1988), y según los objetivos de la proyección, existen distintos métodos para su realización:

Métodos elementales o simplificados: basados en la fijación de uno o varios factores de crecimiento y en las consideraciones analíticas del fenómeno. El método general se formula de la siguiente manera:

$$(IMD)_n = A \times T \times L \times I$$

donde:

- $(IMD)_n$ = intensidad media diaria de tráfico en el año n .
- A = tráfico existente en el tramo de estudio.
- T = factor de aumento del parque de vehículos.
- L = factor para referir las condiciones locales.
- I = factor de inducción del tráfico.

El conocimiento del origen y destino del tráfico, sirve de base para realizar previsiones de tráfico mediante el método del factor de crecimiento, siendo posible además añadir por analogía el tráfico inducido y generado.

Métodos analíticos: en los que se tiene en cuenta una gran parte de los factores que influyen en la evolución y que requiere las tres fases siguientes:

1. Pronóstico de la generación y atracción de viajes.
2. Distribución de estos viajes.
3. Asignación de la solución planificada.

Este proceso se usa en zonas urbanas donde se necesita alcanzar un detalle suficiente y la evolución permanente nos conduce a situaciones sensiblemente diferentes a las de partida. Estos métodos se complementan con técnicas de regresión y series temporales.

2.5.2.6 -OFERTA Y EQUILIBRIO DEL MERCADO DE TRANSPORTE

La curva de oferta del transporte

La curva de oferta específica la relación entre el precio de mercado de un bien y la cantidad de este bien que los empresarios están dispuestos a producir y vender.

- Curva de oferta a corto y largo plazo: partimos de una situación de equilibrio (Q_1, P_1). Si se produce un incremento repentino del tráfico hasta Q_2 , el empresario solo puede responder vendiendo a P_2 .
 - Solución a corto plazo: alquilar camiones, personal temporal, manteniendo la flota a un nivel excesivo con lo cual el nuevo precio sería P_3 . La empresa se mueve a lo largo de la curva de oferta a corto plazo.
 - Solución a largo plazo: ampliar el tamaño de planta para poder responder eficientemente a un cambio en la producción. El nuevo precio sería ahora P_4 . Nos movemos a lo largo de la curva de la oferta a largo plazo.

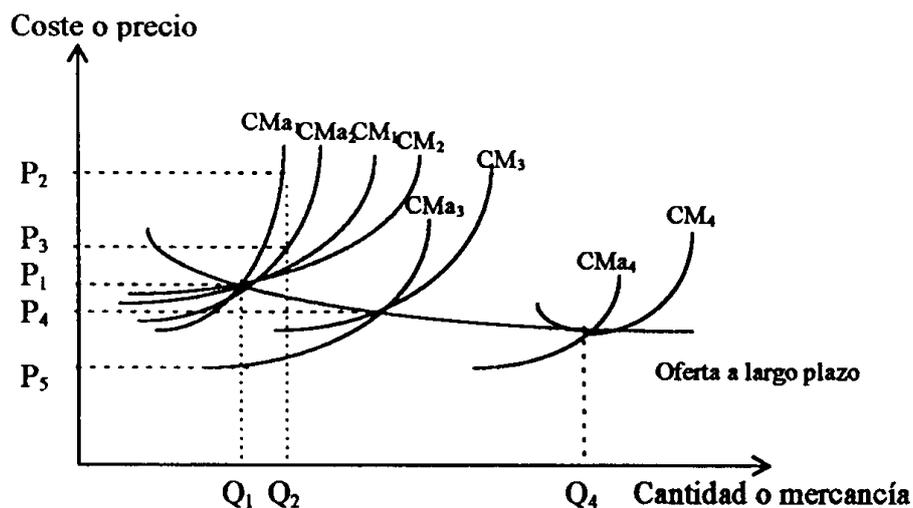


Figura 2.6: Curva de costes y oferta a largo plazo.

- Particularización a la oferta del transporte: para describir la oferta del transporte, es necesario tener en cuenta además del precio, **el nivel de servicio**: tiempo de viaje, fiabilidad, comodidad, probabilidad de accidente, probabilidad de daños en la carga, etc. Normalmente el nivel de servicio es un factor más importante que el precio, y por tanto en la oferta del transporte se relaciona el nivel de servicio, o coste del usuario con la cantidad. El **tiempo** también es un factor muy influyente: una mayor frecuencia de servicio de los viajes hará que aumente el volumen de tráfico.

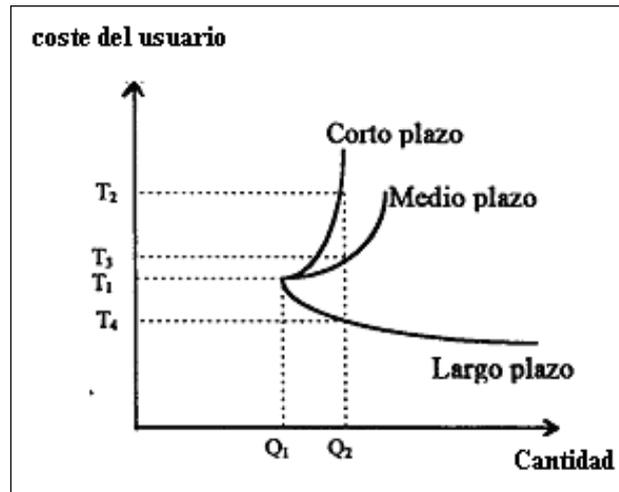


Figura 2.7: Curva de oferta del transporte.

Equilibrio económico en el mercado de redes de transporte

Para estimar la magnitud del tráfico que realmente va a existir, predecir los precios y estimar el coste del usuario, tendremos que representar conjuntamente la curva de Demanda y Oferta.

El estudio del equilibrio del transporte es análogo al del mercado económico, con la diferencia de que debemos valorar además del precio, todos los demás costes percibidos por el usuario; la calidad del servicio se debe incluir porque la cantidad de tráfico en un servicio de transporte o en una empresa transportista afecta a la calidad de servicio más que al precio.

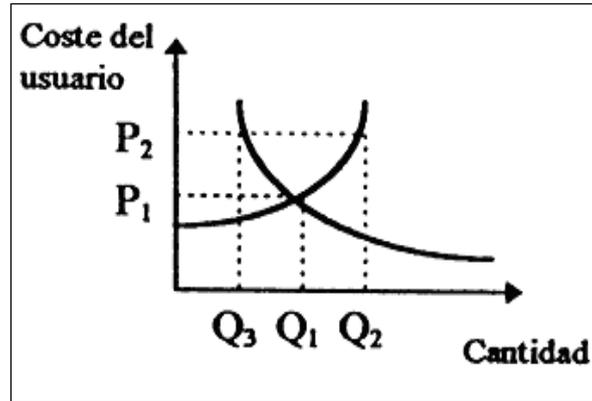


Figura 2.8: Equilibrio Oferta-Demanda.

Se puede relacionar la cantidad de transporte demandada con una medida del coste total del usuario, que incluirá el precio pagado por el servicio y los niveles de servicio que varíen con la cantidad de transporte: coste del combustible, depreciación, tiempo empleado, comodidad de conducción, etc. Haciendo el equivalente monetario de los factores que lo requieran.

Consideremos ahora una red en la que el tráfico circula entre muchos puntos diferentes.

a) Carretera simple: La situación más simple, es una carretera que conecta dos zonas, donde el tráfico comienza y termina. El punto de equilibrio será donde se crucen las curvas de oferta y demanda (situación i de la figura 2.10).

Un cambio en el servicio de carreteras, hace que el equilibrio se traslade a otro punto, correspondiente a la intersección de la demanda con la función de oferta correspondiente a la nueva carretera (situación ii, figura 2.10).

Un cambio en la demanda, hace que la curva se traslade hacia un nuevo equilibrio (situación iii de la figura 2.10).

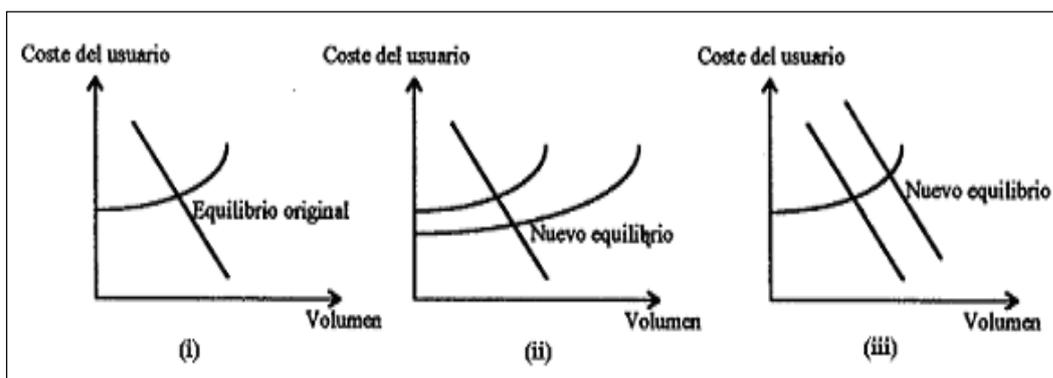


Figura 2.9: Situaciones de equilibrio en una carretera simple.

b) **Dos carreteras que conectan dos puntos:** El tráfico en cualquier dirección, en un punto, es igual al tráfico en cualquier otro punto, moviéndose en la misma dirección, puesto que no hay posibilidad de que el tráfico entre o salga del sistema en los niveles intermedios. El **coste total** del usuario es la **suma vertical** de los **costes individuales** de cada carretera.

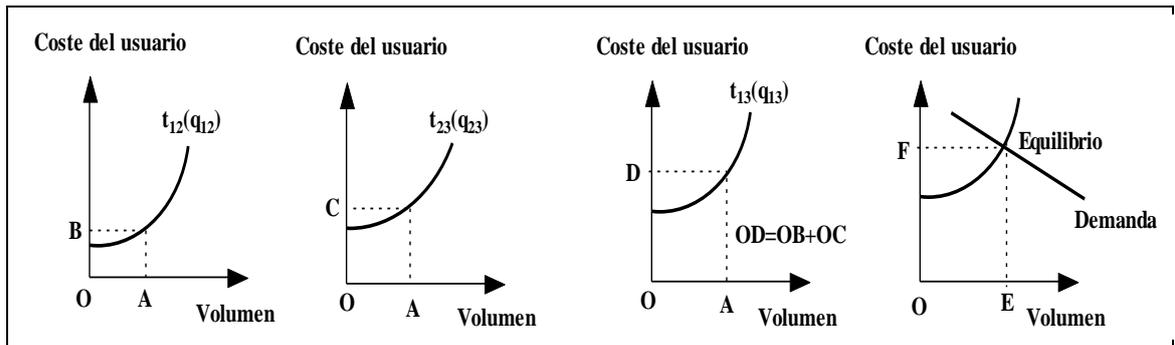


Figura 2.10: Situación de equilibrio en dos carreteras que conectan dos puntos.

c) **Dos rutas alternativas entre dos zonas:** El consumidor normalmente elige viajar por aquella carretera en que el tiempo empleado sea menor. La única situación estable se produce cuando el volumen total de tráfico se divide entre las dos carreteras de tal forma que el tiempo en cada una de ellas es igual. La **curva de oferta** se halla **sumando horizontalmente** las **curvas individuales**.

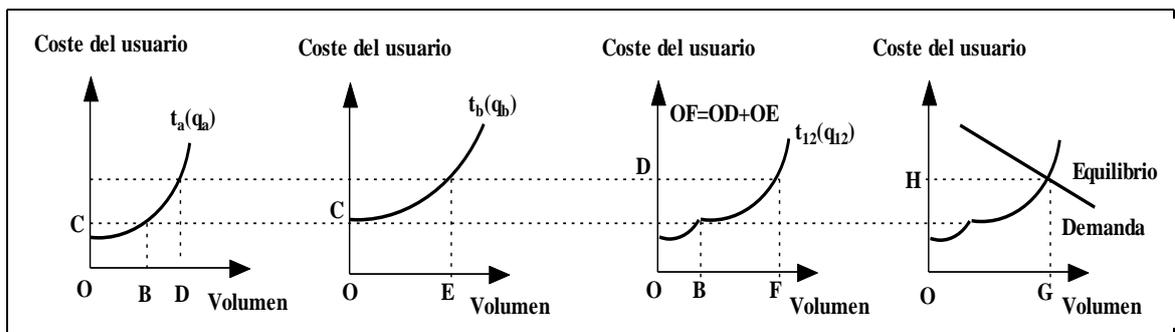


Figura 2.11: Situación de equilibrio en rutas alternativas entre dos zonas.

d) **Demandas múltiples y caminos compartidos:** Es la situación más general para problemas de redes. Este modelo se aplica para cada enlace de carreteras. Con la información obtenida, se puede estimar el total del tráfico en cada enlace y con la curva de oferta se puede estimar el nivel de servicio del usuario para ese volumen de tráfico. El valor del volumen así obtenido, se puede comparar con el flujo estimado. Si están bien ajustados, se ha encontrado el equilibrio, si no se deben

hacer ajustes en los valores del nivel de servicio y se repite el proceso hasta que coincidan los valores.

Asignación del tráfico

Es parte del proceso de predicción del equilibrio de flujo de redes urbanas. Sigue a la distribución y elección del tipo de transporte, conocidos los posibles orígenes y destinos de los viajes para cada medio de transporte. Sin embargo, la demanda no está fijada porque los conductores aún pueden elegir la ruta dentro de la red de carreteras.

Asignación de todo o nada: Se buscan los caminos mínimos dentro de una red suponiendo que todos los caminos tienen o todo el tráfico, o nada. Se suponen conocidos todos los tiempos de viaje de cada ruta y que no cambian con variaciones de volumen. Se siguen las siguientes etapas:

1. Encontrar las diferentes rutas mínimas para cada par origen-destino.
2. Asignar el flujo desde cada origen a cada destino a partir de la tabla de viajes.
3. Sumar el volumen de cada arco para obtener el total del volumen en cada arco.

El problema de este modelo es que ignora el efecto del volumen de tráfico en el coste del usuario. El sistema y la demanda de tráfico pueden ser muy diferentes de las condiciones presentes en un momento dado.

Asignación óptima de usuario y sistema: Normalmente el conductor elige la ruta minimizando su tiempo de viaje individual, ignorando el tiempo que su presencia provoca en los demás conductores. Para ello, se basa en la igualdad de los costes medios. En este método se asegura el menor tiempo total del sistema, es decir, el total experimentado por todos los usuarios. Para encontrar la ruta más eficiente se basa en los costes marginales.

2.5.2.7 -ENCUESTAS PARA EL ESTUDIO DE LA DEMANDA.

Utilizamos las encuestas para profundizar en el conocimiento real de la demanda del transporte, analizando sus características y objetivos, así como su relación con otros factores socioeconómicos.

El fundamento de las encuestas de transporte estriba en el hecho comprobado de que los viajes realizados por un determinado grupo de personas -en cuanto a su forma física y objetivos- se repiten con gran similitud día a día. Las encuestas tratan de identificar la forma en que durante un día típico, una muestra representativa de cierto grupo de personas realiza sus viajes cotidianos.

No se trata de conocer opiniones ni de realizar preguntas hipotéticas, sino de recoger, clasificar y analizar convenientemente hechos comprobados de cuya consideración objetiva se deducen los resultados de la encuesta.

Tipos de encuestas

Se diferencian según la forma de realizar la encuesta, tenemos:

- Encuestas que se realizan en la vía pública, deteniendo a todos o a una parte de los vehículos que utilizan una calle o carretera determinada. Generalmente están orientadas a obtener información de viajes de vehículos.
- Encuestas a domicilio, mediante entrevistas con una o varias personas que residen en una misma vivienda. Orientadas a obtener información de viajes de personas, cualquiera que sea el medio de transporte utilizado.
- Encuestas bajo formularios, por tarjetas o impresos entregadas directamente o por correspondencia, orientadas según en qué casos a viajes de vehículos o personas.
- Encuestas por entrevista con fines específicos, como son las realizadas para estudios de estacionamiento o para determinar índices de atracción de viajes hacia determinados centros de actividades.

Otra clasificación sería:

- Internas: estudian el tráfico dentro de los límites de un área urbana.
- Externas: estudian la conexión de un núcleo con el entorno exterior, en general analizando el tráfico que cruza el anillo que lo rodea.

Factores importantes en el desarrollo de una encuesta

a) Determinación del tamaño de muestra: El tamaño de la muestra depende fundamentalmente de cómo se vayan a elaborar los datos y del proceso que se va a seguir para su estudio. Por otro lado en el dimensionamiento de la muestra no solo interesa el número de encuestas, sino el modo en la que se realizan, de forma que se aproxime lo más posible al fenómeno a estudiar.

Si se trata de determinar el tamaño de una muestra a partir de la cual se quiere conocer con una cierta precisión cuál es un determinado movimiento, la fórmula siguiente permite conocer los intervalos que definen la precisión de los resultados:

$$I_{p_1} = \frac{N_1}{N} \pm M \sqrt{\frac{P_1 \cdot P_2}{N} \cdot \left(1 - \frac{N}{S}\right)} \text{ con } P_1 = \frac{N_1}{N} \text{ y } P_2 = \frac{N - N_1}{N}$$

donde:

- Ip_1 = intervalo de confianza con que puede determinar un movimiento.
- N = número de viajes en la muestra.
- N_1 = número de viajes que realizan el movimiento en cuestión.
- S = número total de viajes.
- M = factor correspondiente a un cierto coeficiente de confianza en una distribución normal, expresado en unidades de desviación típica. Existe una tabla para conocer el factor.

Otra forma de determinar el tamaño de la muestra es mediante la experiencia.

b) División en zonas del área de estudio: Las zonas las podemos clasificar en función del área en estudio:

- Zonas internas: básicas para analizar los movimientos que se producen dentro del área.
- Zonas externas: sirven para situar uno de los extremos de los viajes que salen al exterior.

c) Codificación y tratamiento por ordenador: Hay que codificar de forma rigurosa y teniendo en cuenta el objetivo y el objeto de estudio.

Encuestas origen-destino en la vía pública

El objeto fundamental es conocer el origen y destino de los viajes de los vehículos y algunas características de sus desplazamientos, tales como objetos, longitudes de los viajes y ocupación de los vehículos. Existen diferentes tipos:

Para estudiar el tráfico entre la ciudad y el exterior, así como el recorrido interno que hacen los viajes con un extremo fuera de la ciudad. Las estaciones de control se sitúan alrededor de la ciudad o área urbana.

Para conocer las características de los viajes que la cruzan, en muchas ocasiones como comprobación de los resultados obtenidos en una encuesta a domicilio. Se realiza estableciendo una pantalla a través de la zona en estudio.

Para estudiar los desplazamientos de vehículos que efectúan recorridos largos. Con estaciones de control que cubran extensas superficies.

Las encuestas pueden servir para estudiar puntos concretos, o cruces difíciles que no pueden abordarse con simples aforos, por efectuarse dentro de ellas movimientos complicados, difíciles de observar a simple vista.

Encuestas origen-destino a domicilio

La entrevista debe recoger toda la información correspondiente a los viajes realizados por cada miembro de la familia o residente en la vivienda mayor de 5 años de edad, en un día determinado, cualquiera que sea el medio de transporte utilizado.

Presentan las siguientes características:

- Es un sistema de información relativamente costoso, pero proporciona datos muy completos y fiables.
- La información es completa en cuanto a los viajes generados, es decir, aquellos en que uno de sus extremos coincide con el domicilio.
- También se puede tener información de los viajes no generados, pero necesito información complementaria: encuestas de aparcamiento, de pantalla o de grandes centros de atracción de viajes.
- Los viajes no generados en los domicilios tienen una importancia pequeña en el conjunto del área urbana -información generalmente cerca del 20%-. Aunque en las zonas céntricas puedan representar un porcentaje considerable de los desplazamientos totales.
- Es fundamental obtener de la encuesta datos que permitan relacionar la demanda del transporte con los factores socioeconómicos y de localización correspondientes al área urbana que se estudia.

Se trata en estas encuestas, de obtener correlaciones entre demanda de transporte y factores socioeconómicos en especial datos referentes al uso del suelo.

Otros tipos de encuestas

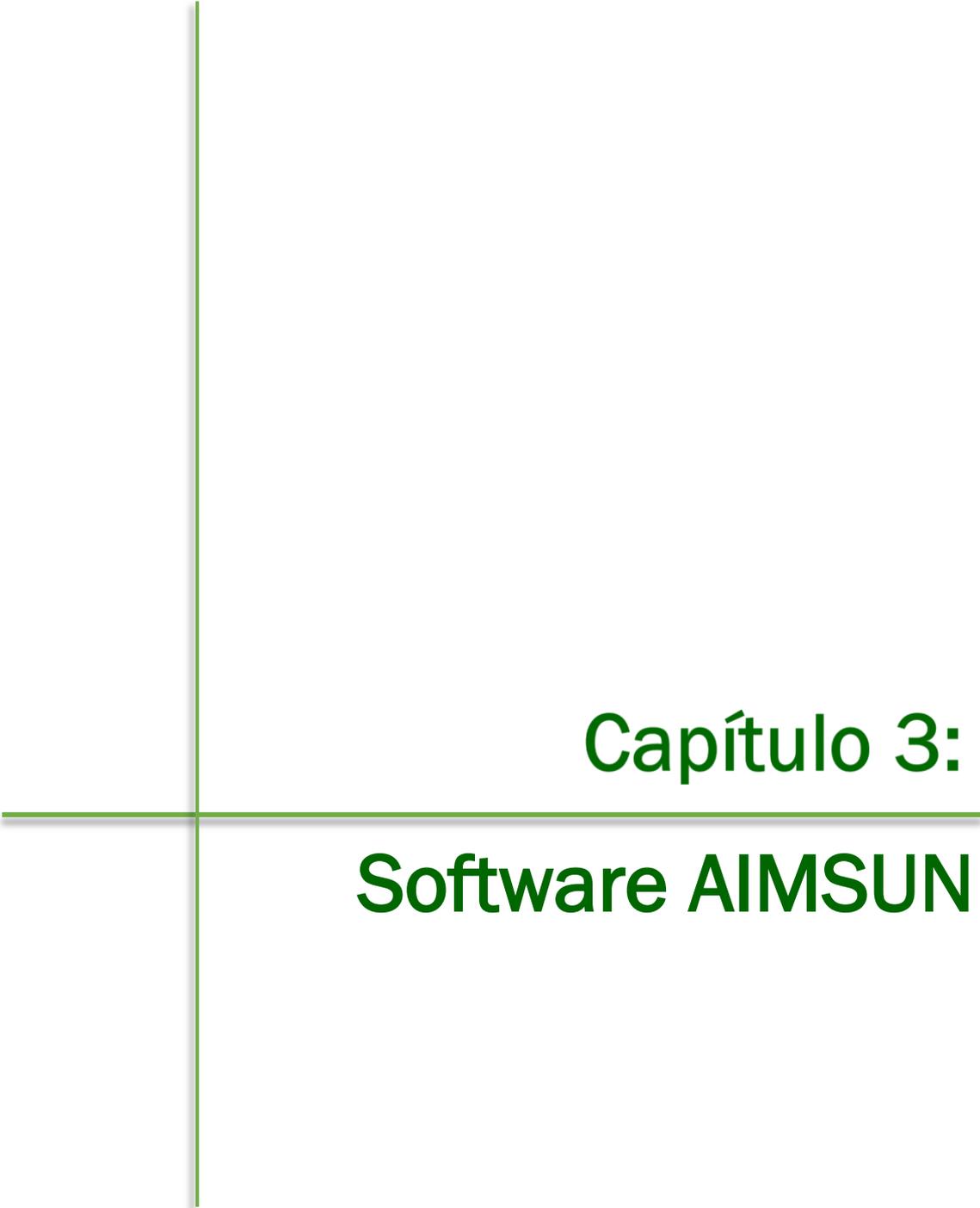
Encuestas por tarjetas o correspondencia: Consiste en entregar directamente o enviar por correo unos cuestionarios referentes a las materias que interesa conocer, y que en general se refieren a los desplazamientos realizados durante un día.

Encuestas a determinados tipos de vehículos

- *Vehículos comerciales:* los resultados más interesantes de estos estudios suelen ser los que relacionan los viajes con el uso del suelo en el destino, que permiten caracterizar los factores de atracción.
- *Taxis:* los resultados son interesantes por la gran presencia de estos vehículos en el centro de las grandes ciudades.

Encuestas de estacionamiento: Presentan las siguientes características:

- Pretenden conocer la situación que existe en un cierto momento y en una determinada zona en cuanto al estacionamiento.
- Pueden estar orientadas:
 - o A encontrar una solución a un problema concreto en una zona; se utilizarán estudios de inventario y estudios que determinan el uso del estacionamiento.
 - o A obtener una información de base, para aplicarla a otro problema, actual o futuro, que tiene cierta analogía con el estacionamiento; se utilizarán muestreos, siendo más importante recoger aquellos datos que relacionan la demanda de estacionamiento con el uso del suelo, con el objeto de los viajes realizados por los vehículos estacionados y con la duración del propio estacionamiento.



Capítulo 3:

Software AIMSUN

3.1 -INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE AIMSUN

El programa con el que se ha llevado a cabo la realización de este TFG es AIMSUN. 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.

Su desarrollo se ha basado en años de investigación, decenas de publicaciones científicas y los comentarios de los usuarios derivados de la realización de cientos de proyectos desde su creación hasta la fecha. Usuarios dedicados a la administración, consultoría y universidad de más de cuarenta países utilizan AIMSUN para mejorar la infraestructura de carreteras del mundo.

Es la única herramienta en el mercado que integra tres tipos de modelado de transporte. Modelado macroscópico o asignación estática de tráfico, modelado microscópico o asignación dinámica y un nuevo simulador mesoscópico. Incluye interfaces con SCATS, UTOPIA, VS-PLUS, TRANSYT o SYNCHRO.

Permite modelar una red de transporte a nivel microscópico, simulando vehículo a vehículo, interacciones reales como adelantamientos, bloqueos de cruces, giros conflictivos, formación de colas y demás problemas que surgen en las vías. También permite definir el razonamiento del conductor para la selección de rutas antes y durante el viaje mediante diferentes algoritmos de selección basados en costes y probabilidades.

Con este software también es posible definir el transporte público mediante sus principales características: líneas, horarios, rutas, diferentes tipos de vehículos para cada servicio de transporte y tiempos de parada en las paradas.

También permite gestionar y controlar el tráfico ofreciendo la posibilidad de evaluar y mejorar cualquier combinación de estrategias. Permite simular eventos imprevisibles como accidentes, eventos planeados como trabajos en la calzada o

modelar operaciones mediante las cuales modifica el comportamiento de los vehículos mejorando el flujo de tráfico. También permite modelar diferentes tipos de planes de control semafórico (fijo o dinámico).

A nivel macroscópico es posible localizar detectores de manera óptima cubriendo toda la demanda de tráfico, ajustar matrices origen-destino obsoletas o tratar determinadas zonas de la red de manera independiente.

Este software de simulación se utiliza para la realización de estudios de movilidad y planificación de transporte. Es una herramienta para el diseño, reforma y mejora de la infraestructura vial, reducción de la congestión de tráfico, realización del diseño de entornos urbanos y no urbanos para vehículos y peatones y también en la reducción de emisiones contaminantes. Entre sus principales aplicaciones destacan:

- Análisis y evaluación de redes viales: ampliación de carriles, cambios de geometrías, cruces a desnivel, etc.
- Análisis del impacto de cambios en la calzada: implantación de carril bici, cambio en el sentido de las calles, aumento de carriles, desvíos, etc.
- Análisis de políticas de control: programación de semáforos fija o dinámica, desfase entre semáforos, etc.
- Modelado de transporte público: rutas, horarios, carriles reservados para transporte público, tiempos de parada, etc.
- Modelado y evaluación de sistemas ITS (Sistemas de Transporte Inteligentes): control dinámico de semáforos, señalización variable en las calles (VMS), vehículos guiados, etc.
- Modelado de incidentes viales como accidentes, trabajos en la calzada, etc.

3.2 -DESARROLLO DE UN MODELO AIMSUN

Los pasos a seguir en el desarrollo de un modelo son:

- Edición del modelo.
- Elección del simulador y determinación de parámetros.
- Verificación, calibración y validación del modelo.
- Toma y análisis de resultados.

3.2.1 - EDICION DE UN MODELO AIMSUN

Lo primero que se debe hacer es determinar la zona de estudio y crear una red viaria a partir de planos o imágenes. Sobre éstos se representan secciones (segmentos de carretera), intersecciones (cruces y rotondas), pasos de peatones, señales viarias y todos los elementos geométricos de que conste la red.

Una vez definida la geometría se determina la demanda de tráfico, el plan de control semafórico y el plan de transporte público. Por último se pueden representar peatones.

Por lo tanto, los pasos fundamentales en la edición de un modelo son:

- Determinación de la zona de estudio e intervalo de tiempo a estudiar.
- Importación de base cartográfica.
- Modelado de la geometría. Secciones, cruces, rotondas y demás elementos geométricos.
- Modelado de demanda de tráfico, plan de control semafórico y plan de transporte público.

3.2.1.1 *ZONA E INTERVALO DE TIEMPO DE ESTUDIO*

La zona de estudio se determina en función de los objetivos del proyecto por lo que éstos deben estar bien identificados previamente. Si se pretende estudiar un problema de aglomeración de vehículos en una determinada intersección no se puede estudiar la intersección problemática y trasladar el problema a la intersección siguiente de la red, se debe coger una zona de estudio más amplia que englobe las dos intersecciones.

Por otra parte se han de tener en cuenta las colas virtuales o colas de vehículos que se salen de la zona modelada.

En cuanto al intervalo de tiempo a estudiar también se han de tener en cuenta los objetivos del estudio; interesará hacer un estudio de 24 horas si el objetivo es determinar la resistencia de un puente o determinadas horas si el estudio es sobre aglomeraciones de vehículos (horas punta).

3.2.1.2 **BASE CARTOGRÁFICA**

Lo más usual es trabajar con plano AutoCAD o imágenes .jpg. EL software permite importar este tipo de archivos y otros ficheros como imágenes 3D STUDIO, archivo de dibujo DGN, archivo de mapa NAVTEQ o archivo de sistemas de información geográfica (GIS).

Se trabaja con un sistema de capas cuyo objetivo es organizar de manera sencilla todos los elementos de que conste el proyecto. El plano o imagen importado se sitúa en una capa, la red dibujada por el usuario se sitúa en otra (esta capa siempre existe y su nombre es '**red**' por defecto) y si se importan imágenes de detalle se sitúan en otras capas.

A su vez dentro de cada capa se pueden crear subcapas. El estilo de éstas se puede modificar de forma independiente (cambios de color, grosor de línea u otras acciones). Si se trabaja con un plano AutoCAD el sistema de capas del archivo original es respetado.

Dentro de la capa 'red' se crean subcapas para distinguir tramos de vías con diferentes alturas. Para ello se ha de modificar el parámetro 'nivel' dentro del dialogo de cada subcapa. También se pueden crear subcapas por otras razones, por ejemplo para mantener una zona de la red visible o invisible según convenga, o en una ciudad grande tener cada barrio representado en una capa por razones de organización, etc. Si no se crean subcapas todo los elementos estarán situados en la capa 'red'.

3.2.1.3 **MODELADO DE LA GEOMETRÍA**

La geometría de la red se representa mediante:

- Secciones (segmentos de carretera).
- Intersecciones (cruces y rotondas).
- Señales de tráfico (ceda el paso y stop) y pasos de peatones.

Secciones:

Las secciones son segmentos de carretera mediante las cuales se modeliza toda la red viaria. Estas secciones incluyen vértices rectos o curvos modificables. También podemos incluir carriles adicionales o líneas continuas, o modificar el número de carriles y el ancho de estos. Sobre estas secciones se representan los pasos de peatones.

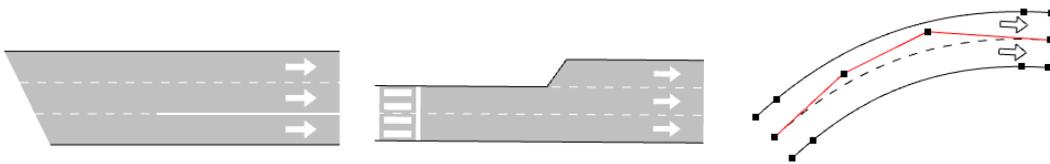


Figura 3.1: Secciones.

Intersecciones:

Las secciones representadas se unen mediante intersecciones (cruces o rotondas). Los cruces son denominados ‘nodos’ y las rotondas simplemente son una sucesión de secciones unidas entre ellas y a las secciones de entrada o salida de la rotonda mediante nodos.

Dentro de cada nodo se indican las posibilidades de giro de los carriles de las secciones de entrada con los carriles de las secciones de salida. Se pueden modificar o curvar estos giros en base a la situación real.

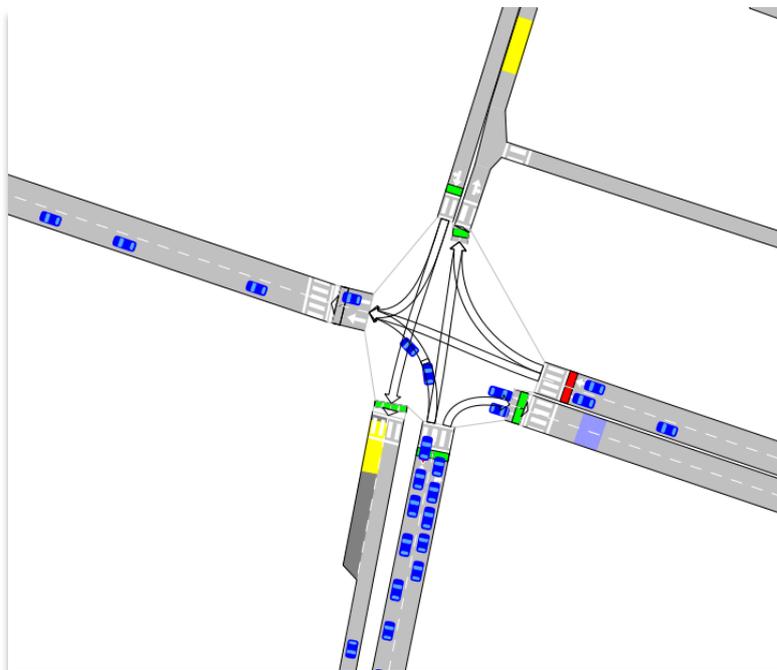


Figura 3.2: Intersección.

Por último se incluyen señales de ceda el paso y stop en el cuadro de diálogo de cada nodo, así como los grupos semafóricos necesarios para crear el plan de control semafórico.

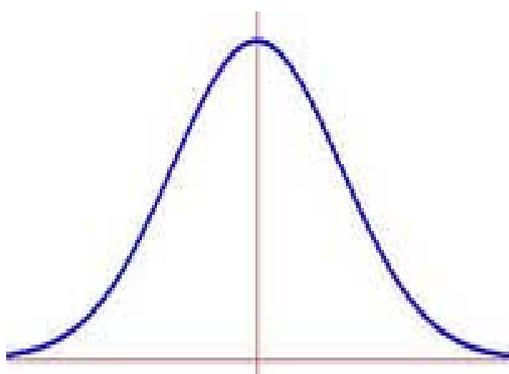
Tipos de vía:

Una vez representada la geometría de la red se asigna un tipo de vía a las diferentes secciones. Los tipos de vía se diferencian en base a dos parámetros fundamentales:

- La velocidad de la sección: Indica la velocidad a la que circularán los vehículos siempre y cuando las circunstancias del tráfico se lo permitan. Se debe definir la velocidad real de los vehículos, no la que marca la ley dado que se pretende representar la realidad.
- La capacidad de la vía: Se define como el máximo volumen de vehículos por hora que pueden circular de forma razonable por ésta teniendo en cuenta las condiciones externas. Se cuantifica en **PCU's/h (passenger car unit)**. Esta unidad toma valor de 1 para coches, taxis o vehículos similares, de 0,2 a 0,5 para bicicletas, de 2 a 3 para furgonetas y de 3 a 5 para camiones y tráileres.

3.2.1.4 MODELADO DE LA DEMANDA DE TRÁFICO**Modelado de vehículos**

Existen por defecto una serie de vehículos (coche, camión, etc.) cuyos parámetros están determinados en base a una distribución normal de forma que cada vehículo que se representa se diferencia del resto. Cada parámetro viene definido por una media, valores máximo y mínimo y desviación. Se pueden tomar estos vehículos predeterminados, modificar sus parámetros o crear otros nuevos.



- Longitud
- Anchura
- Velocidad máxima deseada
- Aceleración máxima
- Desaceleración máxima
- Aceptación de velocidad
- Distancia mínima entre vehículos
- Tiempo de ceda el paso

Figura 3.3: Distribución normal.

La determinación de estos parámetros es fundamental en el proceso de calibración del modelo.

Modelado de la demanda de tráfico

Obtener datos de demanda de tráfico con exactitud es prácticamente imposible por lo que se debe aproximar. La calidad de esta aproximación dependerá de los datos de partida y el proceso de cálculo utilizado.

En nuestro modelo la demanda de tráfico se ha obtenido combinando datos de espiras proporcionados por el Ayuntamiento de Valladolid con planes de aforos in-situ. Existen otros sistemas como planes de encuestas telefónicas para redes grandes o sistemas avanzados que utilizan cámaras instaladas dentro de la ciudad detectando las matrículas de los vehículos obteniendo el camino que realizan.

La demanda de tráfico se representa mediante estados de tráfico o matrices origen-destino (matrices O/D):

- **Estados de tráfico:** Un estado de tráfico viene definido para cada intervalo de tiempo y tipo de vehículo por el flujo de vehículos (vehículos/hora) entrante a la red y el porcentaje de vehículos que se desvían en cada cruce. Por ejemplo:

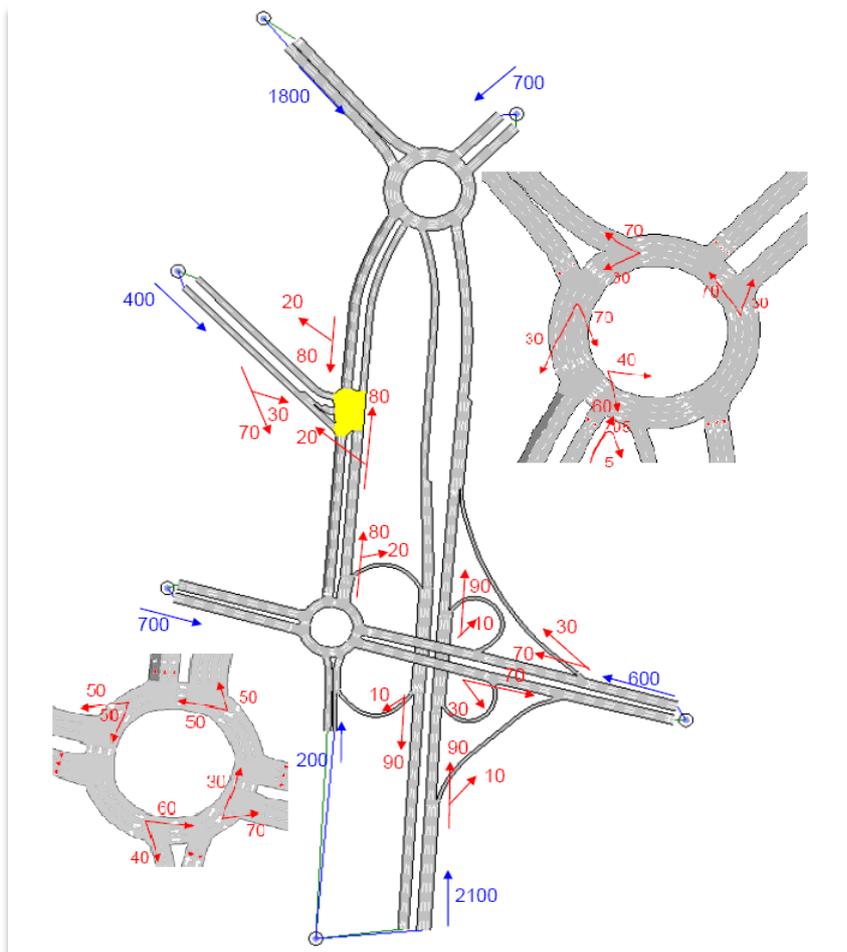


Figura 3.4: Red definida mediante estados de tráfico.

- **Matrices O/D:** Dada una serie de puntos origen y destino de la red, una matriz origen-destino es una matriz que relaciona el número de vehículos que parten desde cada origen a cada destino. Estos puntos origen y destino se denominan 'centroides'.

Se deben definir matrices O/D por tipo de vehículo e intervalo de tiempo hasta cubrir toda la demanda de tráfico del estudio. Cuanto más pequeños sean estos intervalos de tiempo se alcanzará mayor precisión ya que la demanda de tráfico es un parámetro dinámico.

El software permite importar y exportar matrices desde Excel u otras bases de datos. También realizar operaciones con matrices como sumas, restas, multiplicaciones por un número, dividir en porcentajes, etc.

Diferencia entre estados de tráfico y matrices O/D:

Utilizando estados de tráfico los vehículos eligen su camino respetando los porcentajes definidos en cada nodo aleatoriamente. Es decir, un vehículo determinado en una rotonda puede tomar siempre la opción de seguir por la rotonda sin tomar ninguna salida si aleatoriamente coincide así y dar varias vueltas o quedar atrapado en la red.

En cambio con las matrices O/D cada vehículo va del origen destino variando la ruta de manera que el camino elegido sea el de menor coste en segundos.

Modelando mediante matrices O/D los vehículos se comportan de una forma similar a como ocurre en la realidad, cosa que no ocurre con los estados de tráfico por lo que éstos solo deben ser utilizados en redes muy pequeñas donde la demanda de tráfico sea muy conocida.

3.2.1.5 -PLAN DE CONTROL SEMAFÓRICO

Para crear un plan de control semafórico en primer lugar se crean grupos semafóricos editando los nodos correspondientes de la intersección donde se quiere crear el plan.

Un grupo semafórico es un conjunto de giros que se ponen al mismo tiempo en rojo, ámbar y verde. Cada señal representa un semáforo aunque puede ser utilizado para dos o más semáforos iguales de secciones distintas. Se aprecia en la figura 3.5:

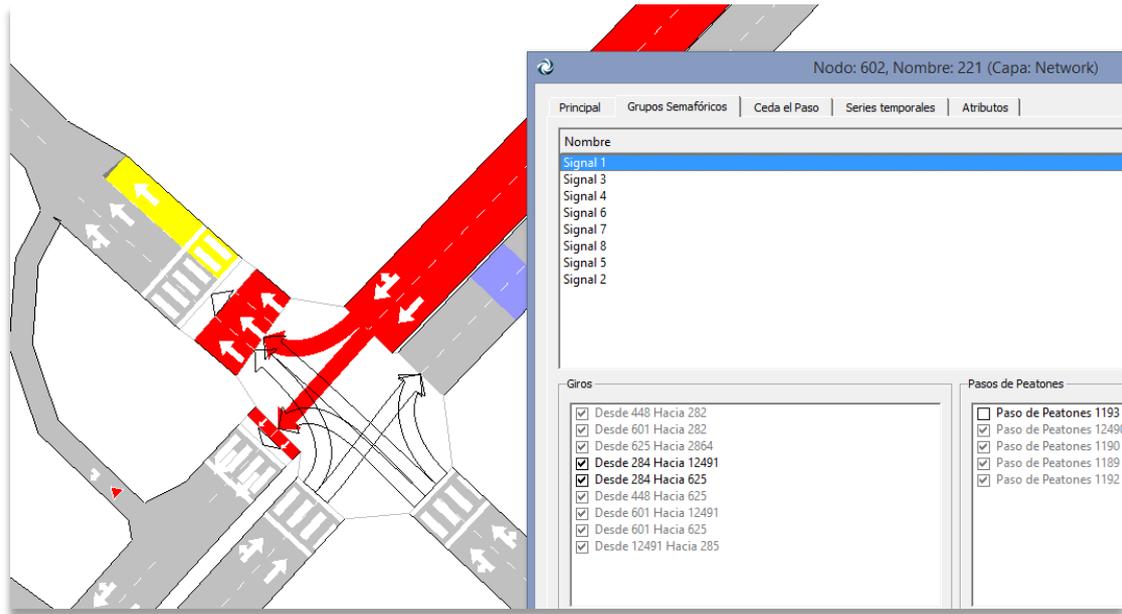


Figura 3.5: Grupos semafóricos.

Después se crea el plan de control semafórico donde se asigna a cada grupo su tiempo de verde, ámbar y rojo utilizando el modo grupo, como se ve en la siguiente figura:

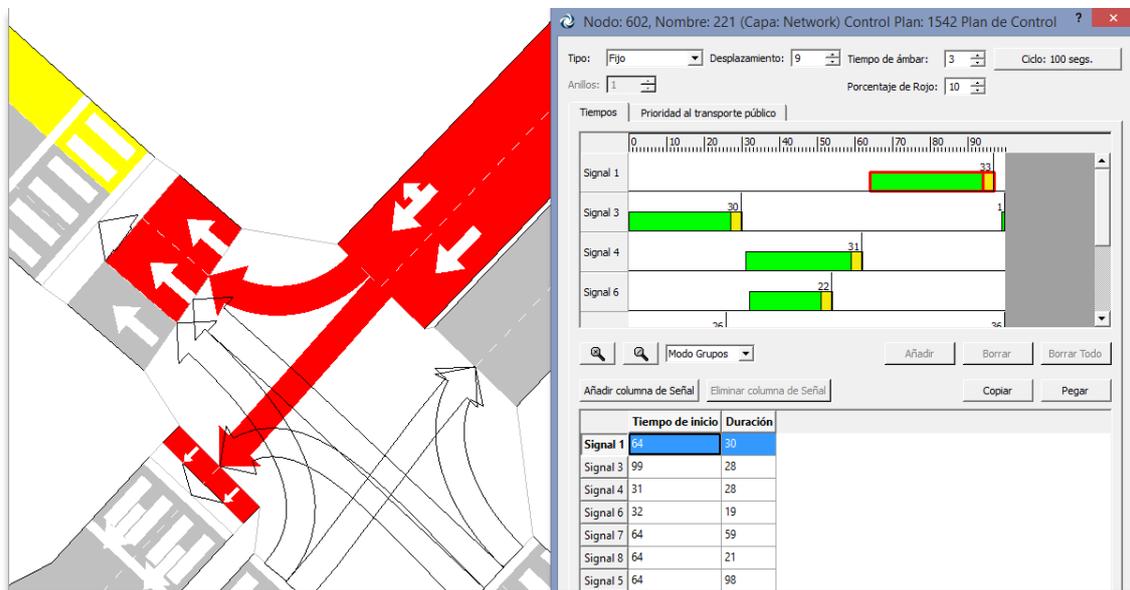


Figura 3.6: Ciclos semafóricos.

Por último se asignan los tiempos de ámbar, denominado por AIMSUN como 'destello en verde', utilizando el modo fase. Con este modo también podemos observar que semáforos están abiertos en cada fase del plan de control creado.

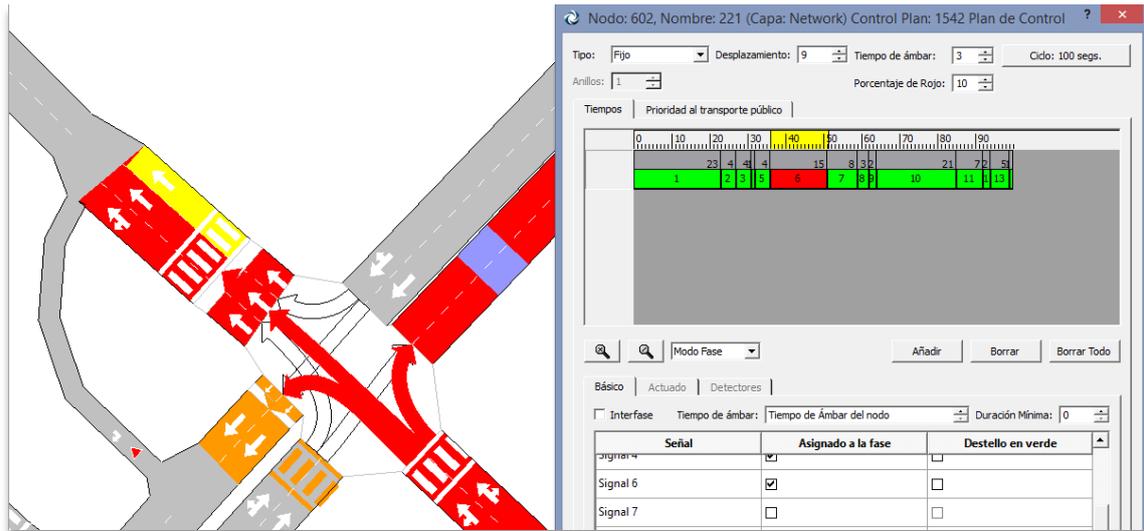


Figura 3.7: Tiempos de ámbar.

3.2.1.6 PLAN DE TRANSPORTE PÚBLICO

En primer lugar se crean las paradas de autobús editando su longitud. Existen dos tipos:

- Normal (dentro de la calzada)
- Segregada (fuera de la calzada)

Después se definen las líneas de transporte público incluyendo en cada una de ellas las secciones que la conforman, paradas que corresponden, frecuencia y tiempo que el vehículo recoge a los viajeros. También se pueden reservar carriles de uso exclusivo para transporte público.

En la figura 3.8 se observa las secciones de la vía por las que circulará la línea y sus paradas:

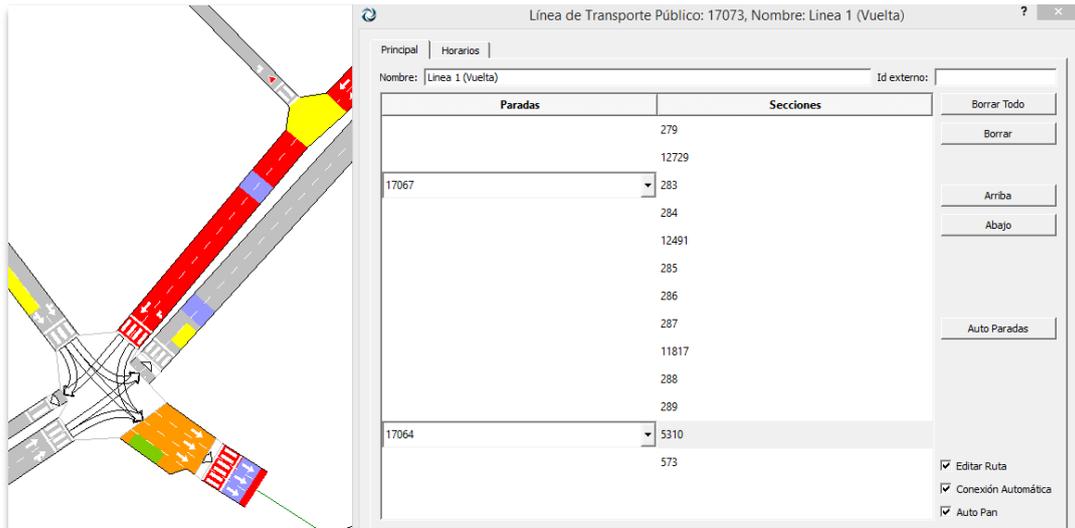


Figura 3.8: Secciones de la línea de transporte público.

Además, se deben definir otros parámetros temporales como la franja horaria en la que actúa, los intervalos de salida y los tiempos de parada como se muestra a continuación:

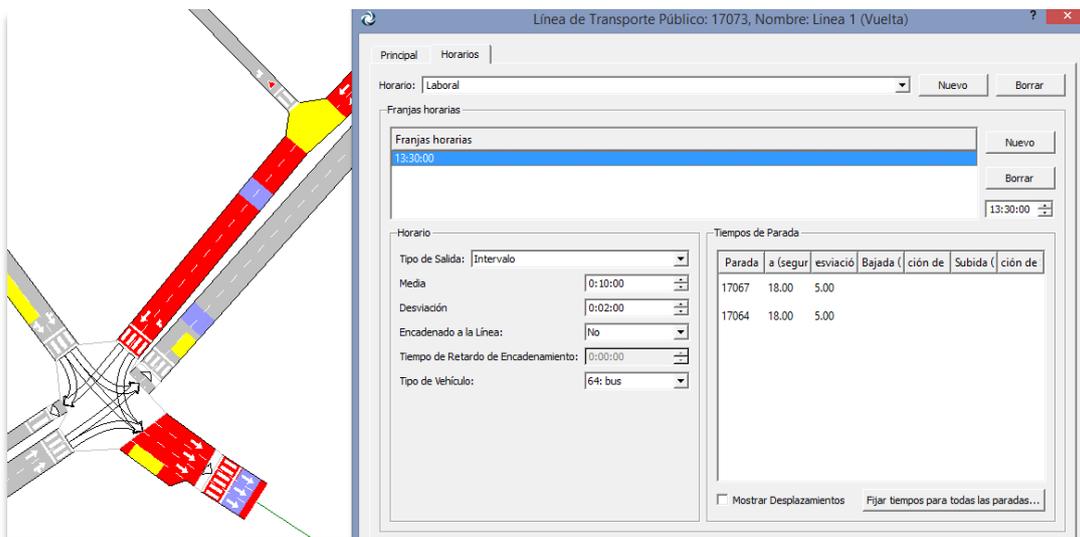


Figura 3.9: Características de la línea.

Por último se crea un plan de transporte público, como el de la figura 3.10, que agrupa todas la líneas de transporte público creadas.

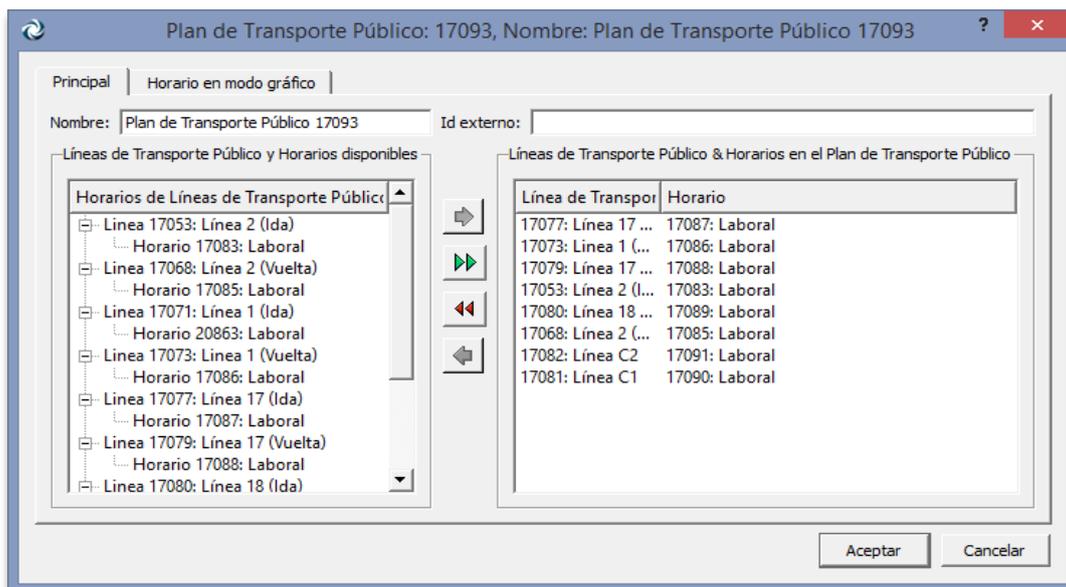


Figura 3.10: Plan de transporte público.

3.2.2 - TIPOS DE MODELADO

Simular significa diseñar y desarrollar un modelo computerizado de un sistema con el propósito de entender el comportamiento del sistema del mundo real y evaluar varias estrategias con las cuales pueda operar el sistema.

Las funciones principales de un modelo de simulación son:

- Descubrir el comportamiento de un sistema.
- Predecir el comportamiento futuro del sistema, es decir evaluar los efectos que se producirían en el sistema mediante los cambios introducidos en él.

En nuestro caso el sistema es el tráfico de vehículos en la zona de estudio. Mediante la edición y desarrollo del modelo evaluaremos el comportamiento de los vehículos analizando los problemas existentes, con el objetivo de aportar soluciones mediante la introducción de cambios y predecir cómo se comportaría el sistema con estos cambios.

Existen tres tipos de modelado:

- Microscópico
- Macroscópico
- Mesoscópico

En este estudio se exponen las características, parámetros y herramientas fundamentales de los dos primeros debido a que el tercero (mesoscópico) está aún en vías de desarrollo.

Modelado microscópico o asignación dinámica de tráfico:

El modelado microscópico trabaja de forma dinámica. Está basado en el movimiento individual de los vehículos y el movimiento de éstos depende de su comportamiento y del de los vehículos con los que se relaciona.

Una vez asignado el centroide origen y destino a cada vehículo mediante la matriz O/D, éstos parten de su origen y siguen el camino que más le conviene hasta alcanzar su destino según las condiciones de tráfico. Varían su ruta si encuentran una mejor, es decir, una de menor coste de manera análoga a como ocurre en la realidad. El coste por sección (en segundos) se determina de la siguiente manera:

$$Coste = T_v + T_v Y(1 - A_j/A_{max}) + K C_u$$

Esta ecuación consta de tres términos:

Tiempo de viaje: T_v (segundos)

Atractividad: $T_v Y(1 - A_j/A_{max})$

- T_v = Tiempo de viaje
- Y = Peso de atractividad (constante)
- A_j = Capacidad de la sección a medir (pcu/h)
- A_{max} = Capacidad máxima (pcu/h)

Coste de usuario: $K C_u$

- K = Peso del coste definido por el usuario (constante)
- C_u = Coste definido por el usuario (constante)

Por lo tanto el coste de cada sección depende del tiempo de viaje, de la capacidad (o atractividad) de la vía y de un coste de usuario que se utiliza en caso de que el usuario decida penalizar unas vías respecto a otras.

Este tipo de modelado es el más común debido a que por su dinamismo representa mejor la realidad.

Modelado macroscópico o asignación estática de tráfico

Este tipo de modelado trabaja de forma estática. Según la matriz O/D asignada, calcula el coste de una serie de rutas de los vehículos en flujo libre, después itera internamente y vuelve a calcular el coste con unas rutas diferentes hasta conseguir las rutas en equilibrio o las que tienen como resultado el menor coste total de toda la red.

El coste de los caminos es el tiempo que cada vehículo tarda desde que sale de su origen hasta que alcanza su destino. Para calcular este coste utiliza VDF (función de coste de la vía o función de demora) en cada sección y giro del modelo:

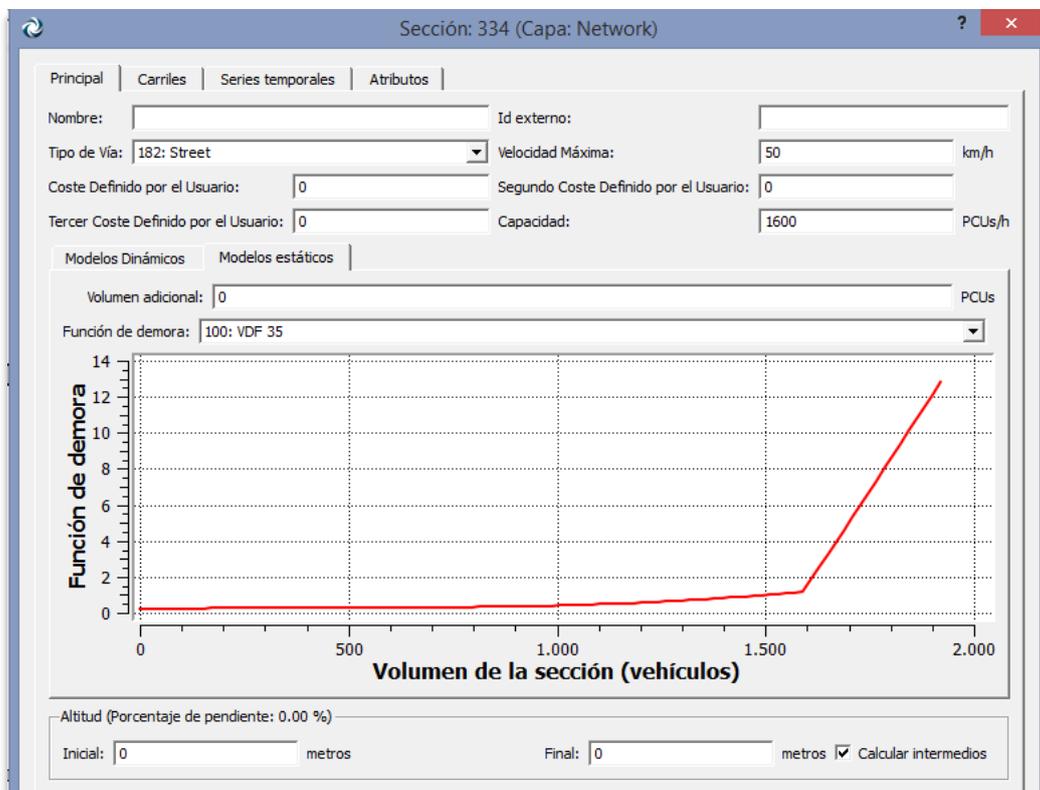


Figura 3.11: Función de demora.

En la figura anterior se observa que hasta que el volumen de vehículos alcanza la capacidad máxima de la vía el valor de la función de demora es bajo, es decir, interpreta que los vehículos que circulan por esa sección lo hacen bastante rápido hasta llegar a la capacidad máxima. Cuando se alcanza ésta, el valor de la función de demora crece exponencialmente.

Para cada sección se pueden elegir diferentes tipos de VDFs en función del tipo de vía aunque todas tendrán la forma de la figura anterior con pequeñas variaciones.

Diferencias entre modelado microscópico y macroscópico

- Dinamismo: El enfoque más dinámico del modelado microscópico es la diferencia fundamental de los dos tipos de modelado. La precisión en la representación de características de tráfico real es mayor gracias a este dinamismo.
- Vehículos: A diferencia del modelado macroscópico mediante un modelado microscópico se ven los vehículos durante la simulación. Debido a ello se pueden analizar las características de la red de forma mucho más exhaustiva obteniendo mayor cantidad y calidad de resultados. Además a simple vista se pueden observar las incidencias que se producen en la red.
- Plan de control semafórico: A diferencia del modelado microscópico en un modelado macroscópico los semáforos no se tienen en cuenta, no existen. Una forma de simular su efecto es penalizar con la capacidad las secciones donde estarían situados. De esta forma cuando se calcule internamente el coste de las rutas que incluyan secciones donde se situaría un semáforo tendrán un coste mayor. Este dato exacto de capacidad se debe aproximar dado que calcularlo exacto es prácticamente imposible.
- Tamaño de la red: Utilizando un modelado microscópico se pueden simular redes casi de cualquier tamaño. Hoy en día se llegan a simular ciudades enteras. Con un modelado macroscópico se podrían analizar redes de mayor tamaño como provincias enteras en adelante. Para este tipo de redes grandes es conveniente utilizar un modelado macroscópico para la red general y analizar las sub-áreas de mayor interés mediante modelado microscópico.
- Calibración: La calibración de un modelo microscópico es más sencilla ya que se ven los vehículos y el funcionamiento de la red durante la simulación.

Debido a todos los aspectos mencionados anteriormente podemos concluir que mediante un modelado microscópico se representan con más precisión todas las características de tráfico real. El modelado macroscópico tiene otras utilidades que explicaremos más adelante.

3.2.2.1 -MODELADO MICROSCOPICO O ASIGNACIÓN DINÁMICA DE TRÁFICO

Para ejecutar un modelo utilizando el simulador microscópico se deben definir previamente un escenario, un experimento y varias replicaciones.

- **Escenario:** Dentro del escenario se deben incluir los tres elementos fundamentales definidos en la edición del modelo: la demanda de tráfico, el plan de control semafórico y el plan de transporte público.

Se pueden crear más de un escenario. Es útil para analizar el comportamiento de la misma red variando los ciclos semafóricos, cambiando la demanda de tráfico o el plan de transporte público.

En el escenario también se pueden incluir conjuntos de datos reales útiles para validar la red, se indican que datos de salida se requieren y la frecuencia de detección para obtener resultados.

- **Experimento:** Dentro del escenario se crean uno o varios experimentos. El experimento contiene multitud de parámetros a calibrar que determinan en gran medida el comportamiento de los vehículos.

- **Replicaciones y media:** Dentro del experimento se crean las replicaciones desde las cuales se ejecuta la simulación del modelo. Se deben crear varias replicaciones o repeticiones dado que éstas representan diferentes posibilidades de comportamiento del tráfico real.

Las replicaciones simulan el comportamiento del tráfico de forma diferente para que nuestro modelo represente la realidad 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.

Resultados del simulador microscópico

Se pueden extraer dos tipos de resultados:

- Estadísticas locales. Estadísticas referentes a los vehículos, secciones, giros, centroides, pares O/D, caminos, etc.
- Estadísticas a nivel global o de toda la red.

Se pueden analizar distintas variables en función del elemento considerado, entre las que destacan:

- Flujo, velocidad, densidad del tráfico.
- Tiempos de viaje y tiempos de demora.
- Longitud de colas.
- Tiempo y número de paradas.
- Consumo de combustible.
- Distancia total viajada y tiempo de viaje.

También existe la posibilidad de introducir **detectores** en la red. Estos detectores son capaces de distinguir entre diferentes tipos de vehículos y proporcionan los siguientes resultados:

- Contajes: número de vehículos que pasan por el detector.
- Velocidad: media de la velocidad de los vehículos que pasan por el detector.
- Densidad (veh/km): calculada usando la medida de contajes y velocidad.
- Progreso: intervalo de tiempo entre vehículos consecutivos.
- Presencia: vacío u ocupado.
- Ocupación: porcentaje de tiempo en el que el detector detecta presencia.

Algunas de estas funciones son realizadas por **espiras** en vías reales. Estas espiras son elementos metálicos colocados bajo el propio firme de la vía que emplean los fenómenos físicos del electromagnetismo para detectar el paso de los vehículos. Cuando un vehículo pasa por encima del sistema, se genera una variación en el campo magnético causada por la masa metálica del vehículo.

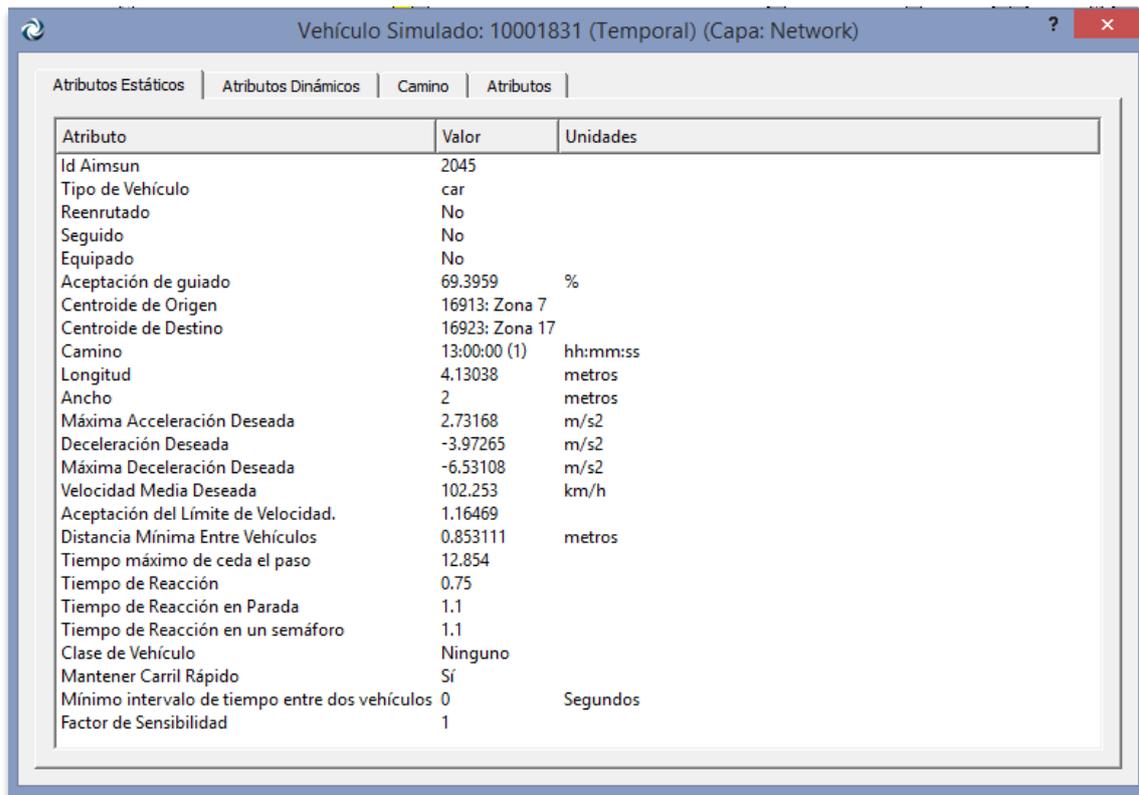
Su principal ventaja frente a otros sistemas es su instalación subterránea bajo el firme que pasa desapercibida para los usuarios, lo que las hace ideales para estaciones permanentes de aforo, aunque es un elemento invasivo que requiere de una obra de instalación.

Visualización de resultados:

Los resultados de la simulación pueden ser visualizados de forma dinámica durante la simulación o una vez acabada ésta mediante tablas y gráficas.

- ***Datos de vehículos:***

Atributos estáticos: Durante la simulación se pueden visualizar atributos estáticos de un vehículo en concreto:



Atributo	Valor	Unidades
Id Aimsun	2045	
Tipo de Vehículo	car	
Reenrutado	No	
Seguido	No	
Equipado	No	
Aceptación de guiado	69.3959	%
Centroide de Origen	16913: Zona 7	
Centroide de Destino	16923: Zona 17	
Camino	13:00:00 (1)	hh:mm:ss
Longitud	4.13038	metros
Ancho	2	metros
Máxima Aceleración Deseada	2.73168	m/s ²
Deceleración Deseada	-3.97265	m/s ²
Máxima Deceleración Deseada	-6.53108	m/s ²
Velocidad Media Deseada	102.253	km/h
Aceptación del Límite de Velocidad.	1.16469	
Distancia Mínima Entre Vehículos	0.853111	metros
Tiempo máximo de ceda el paso	12.854	
Tiempo de Reacción	0.75	
Tiempo de Reacción en Parada	1.1	
Tiempo de Reacción en un semáforo	1.1	
Clase de Vehículo	Ninguno	
Mantener Carril Rápido	Si	
Mínimo intervalo de tiempo entre dos vehículos	0	Segundos
Factor de Sensibilidad	1	

Figura 3.12: Atributos estáticos de un vehículo.

Los valores de estos atributos están limitados por los valores dados en la propia definición del vehículo y lógicamente coinciden con los definidos en el experimento en cuanto a tiempos de reacción.

Atributos dinámicos: Esta herramienta especifica la velocidad del vehículo, posición, giros perdidos o giros que el vehículo debería haber tomado en su trayecto pero que debido a las condiciones del tráfico o a la mala representación de la geometría no tomó. Si este valor es distinto de 0 el vehículo estará perdido e intentará llegar por otro camino a su centroide destino.

También registra otros datos como la distancia viajada, velocidad media, número de paradas y tiempo de parada.

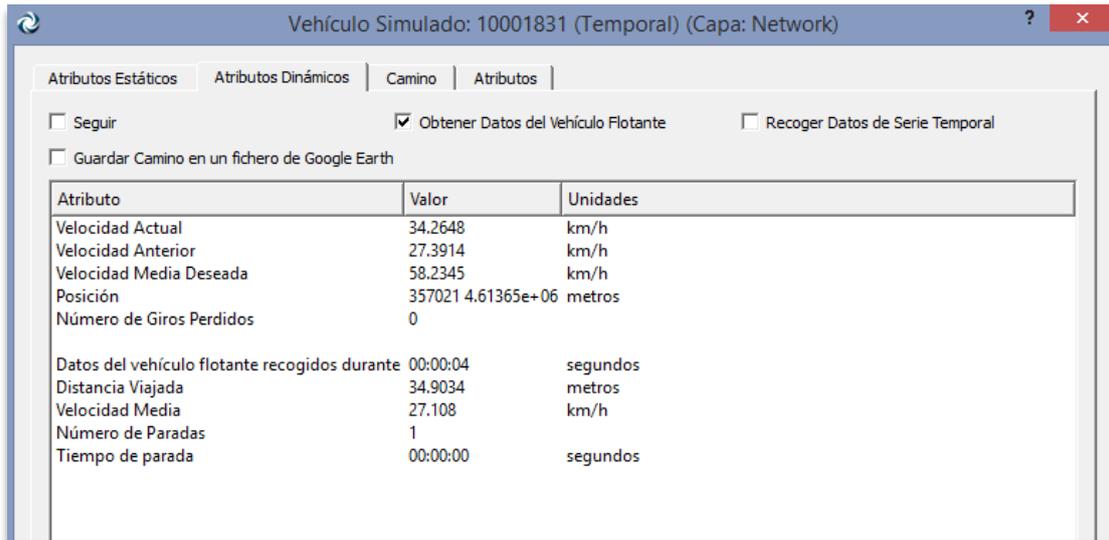


Figura 3.13: Atributos dinámicos de un vehículo.

Los valores de estas variables dinámicas corresponden al instante en que realizamos la toma de datos del vehículo.

Serie temporal: Se pueden visualizar datos de distancia recorrida, velocidad y aceleración del vehículo durante la simulación.

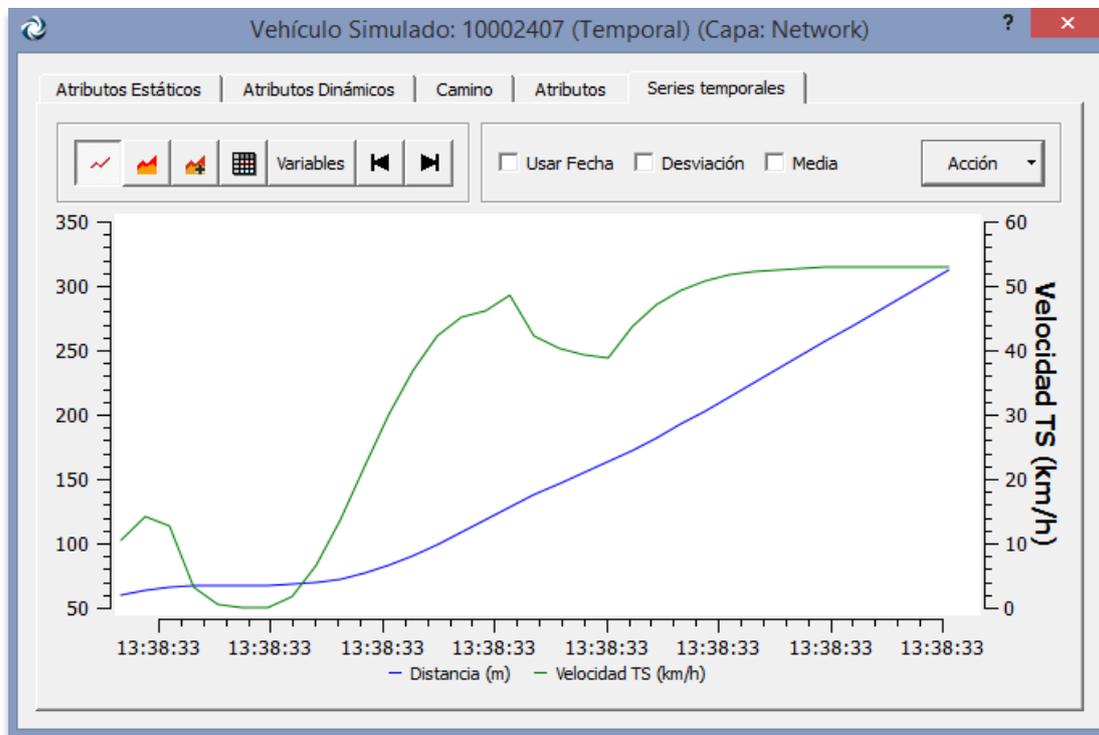


Figura 3.14: Distancia recorrida y velocidad media.

Los valores de esta gráfica se van actualizando conforme avanza la simulación. En la variable tiempo existe un defecto del software ya que no se actualiza como se puede apreciar en la figura anterior.

Camino: Por último se puede visualizar el camino que sigue el vehículo. Puede ser el camino actual (siguientes secciones que tomará) o el camino inicial (todo el camino seguido por el vehículo desde su centroide origen hasta su destino).

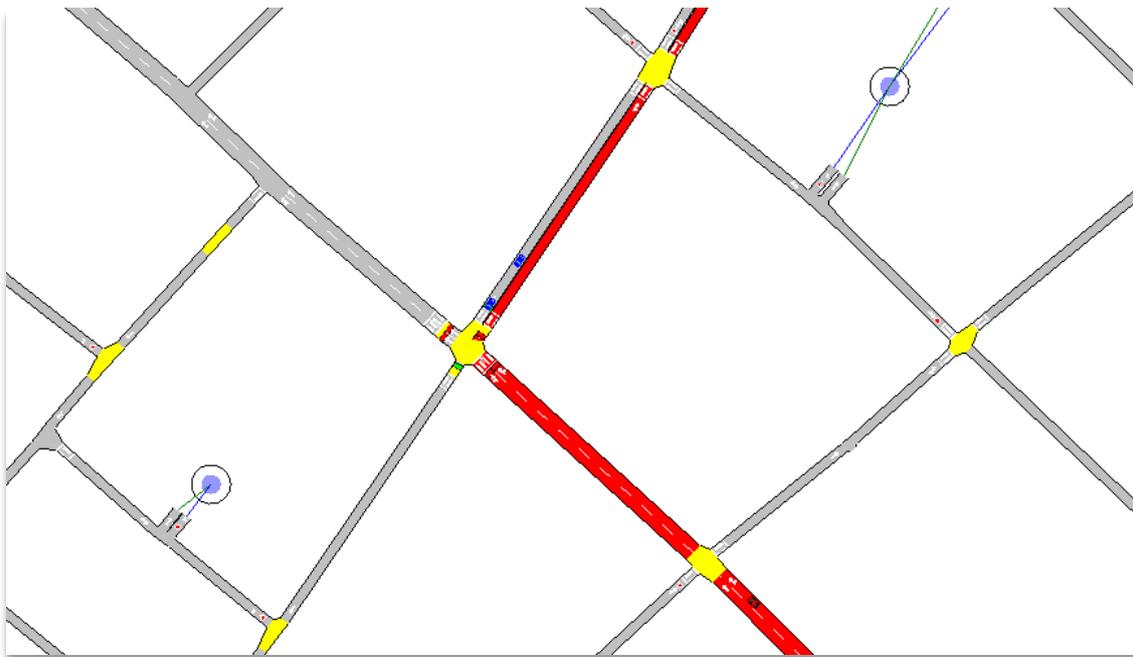


Figura 3.15: Visualización del camino de un vehículo.

Estilos y modos:

Mediante estilos se indica que elemento y de qué manera se quiere visualizar (normalmente utilizando colores). Un modo es un conjunto de estilos aplicados al mismo tiempo para crear un mapa temático dinámico.

De esta forma los modos permiten visualizar la simulación analizando la variable o variables que se deseen de un elemento en concreto o a nivel global. A simple vista se obtiene una idea general de los resultados que se pueden obtener. Además son muy útiles en la etapa de calibración del modelo.

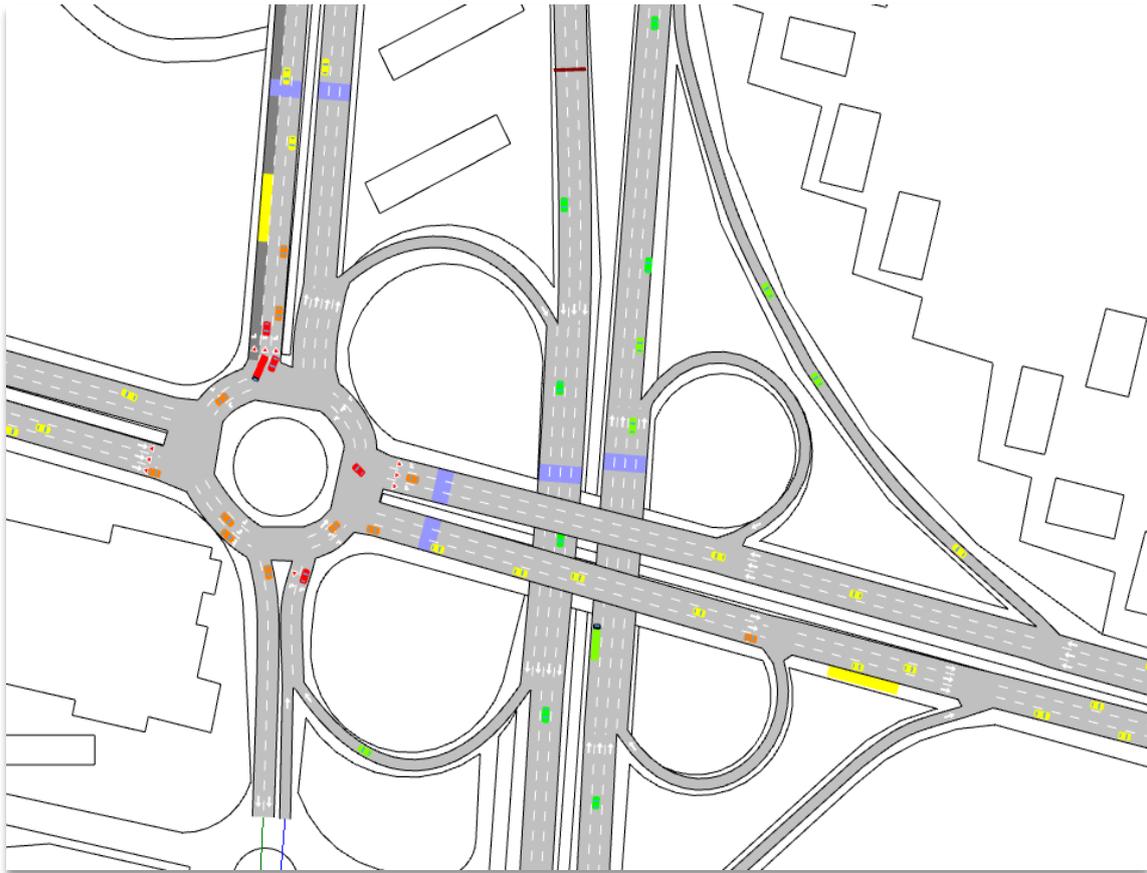


Figura 3.16: Modo de vista. Vehículos representados por colores según su velocidad.

Se pueden crear multitud de modos de visualización. Modos de visualización relacionados con datos estáticos (por ejemplo secciones de varios colores según la capacidad de éstas u ocultar centroides); con resultados que obtendremos del modelo (por ejemplo secciones de varios colores según la velocidad media de los vehículos que circulan por ellas y de más o menos grosor según el flujo de vehículos); con los propios vehículos según sus características (por ejemplo vehículos de diferentes colores según la velocidad de éstos como en la figura 3.16); incluso modos de visualización relacionados con la calibración y otros.

Editores:

En general los resultados de una microsimulación se obtienen a través de series temporales. Muestran resultados de los elementos especificados o de la red en general mediante tablas y gráficas. Son fácilmente exportables a Excel u otros programas similares.

Se pueden obtener series temporales de cualquier variable en cualquier elemento de la red; por ejemplo aforo de detectores, densidad de vehículos en las

secciones, etc. También resultados asociados a la red global como datos de densidad de vehículos, tiempos de demora o tiempos de viaje.

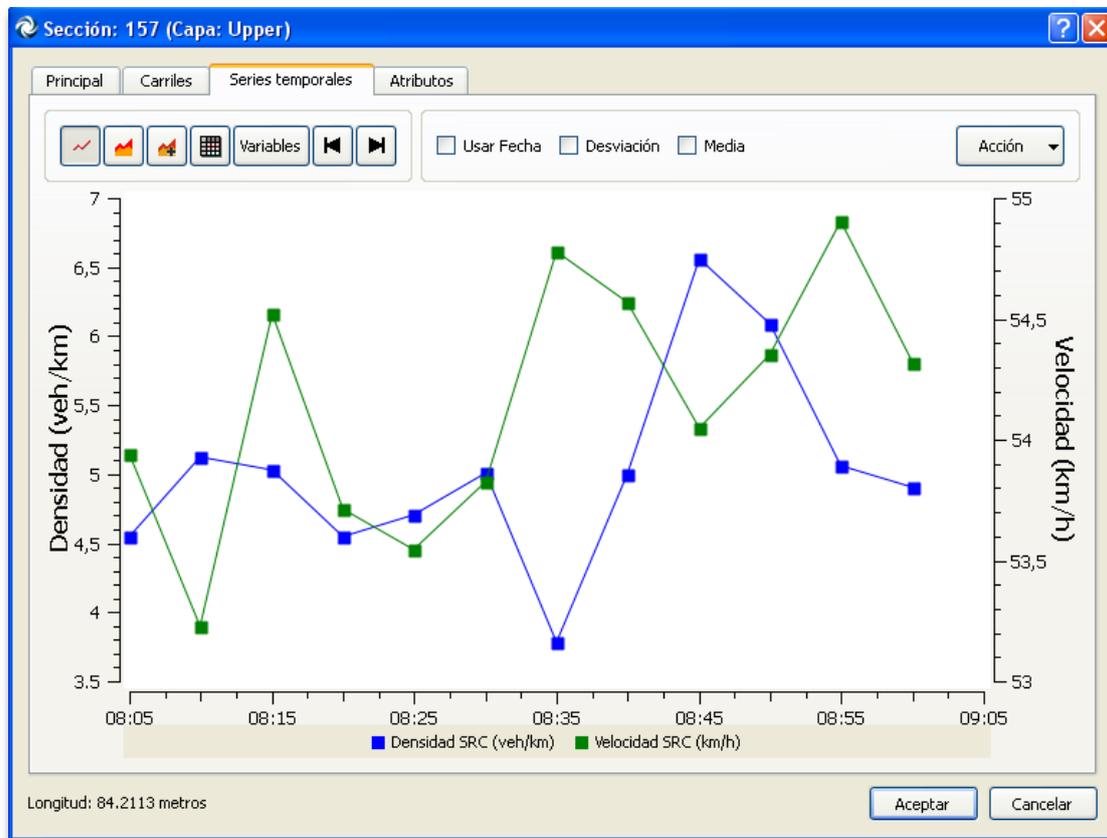


Figura 3.17: Editor que muestra la densidad y velocidad de una sección.

En la figura anterior se muestran un ejemplo de posibles salidas de datos. En este caso se compara la velocidad y densidad de una sección. Se observa que a medida que la densidad es mayor, la velocidad de los vehículos disminuye y viceversa.

Videos

Se pueden grabar videos durante la simulación mediante cámaras instaladas por defecto o mediante la instalación de otras. Además se pueden crear marcas de posición a través de las cuales se pueden grabar distintos motivos dentro de la misma simulación.

3.2.2.2 - MODELADO MACROSCÓPICO O ASIGNACIÓN ESTÁTICA DE TRÁFICO

En primer lugar se crea un escenario macroscópico donde se incluye la demanda de tráfico y el plan de transporte público. A continuación se crea un experimento macro donde se determinan multitud de parámetros a calibrar entre los

que destaca el número máximo de iteraciones internas que se requieren hasta llegar a la asignación estática en equilibrio (asignación de menor coste total). Por último se ejecuta el modelo y el software devuelve los siguientes resultados:

Mapa temático:

Los valores muestran el volumen para cada sección, para todos los tipos de vehículos en PCU's (*passenger car unit*). El grosor de las secciones indica la asignación del volumen en la sección y el color la relación volumen/capacidad por sección. Las secciones más congestionadas son mostradas en colores más oscuros.



Figura 3.18: Volumen y relación volumen/capacidad por sección.

Tablas de datos:

- **Secciones:** Se muestra el volumen y el tiempo de viaje para cada sección y tipo de vehículo.

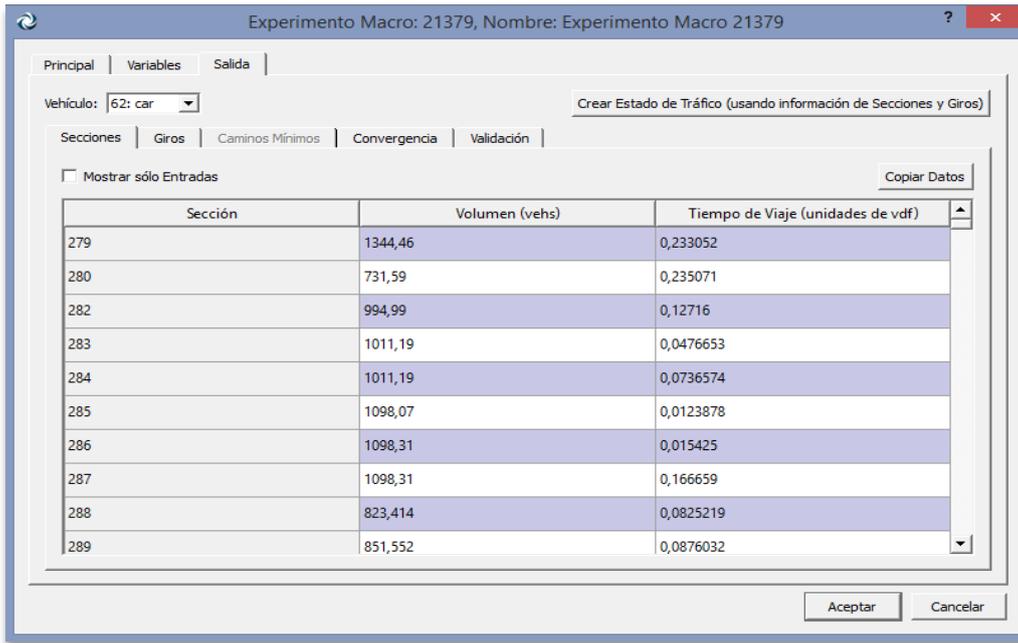


Figura 3.19: Volumen y tiempo de viaje por sección y tipo de vehículo.

- **Giros:** Se muestra los porcentajes y volúmenes de giro sección a sección

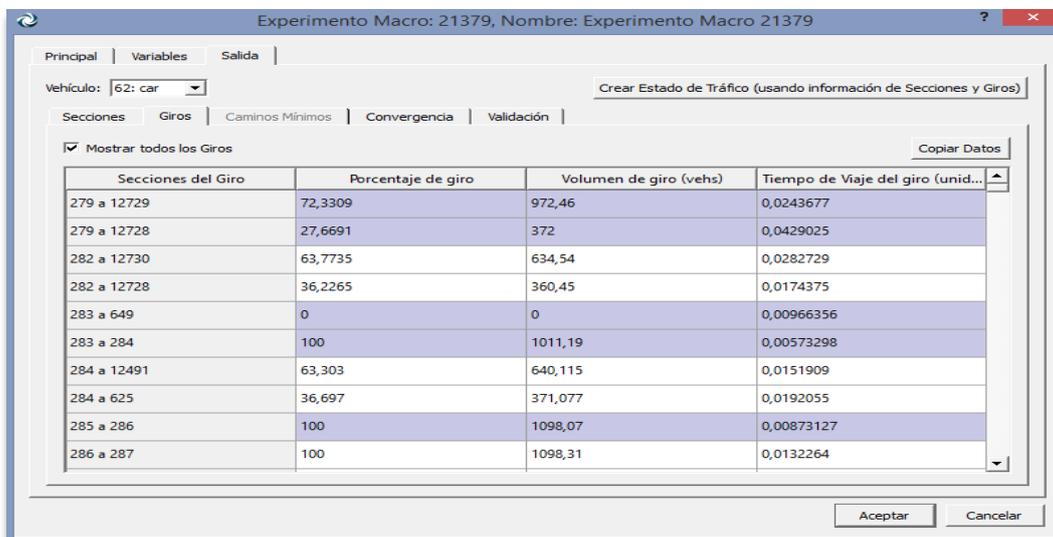


Figura 3.20: Porcentaje y volumen de giro sección a sección.

- **Caminos:** Se muestra la asignación de caminos en equilibrio (la asignación de menor coste total) realizada mediante iteraciones. Se observa que el volumen y porcentaje de vehículos de las diferentes rutas con el mismo origen y destino, el tiempo de viaje y la distancia viajada.

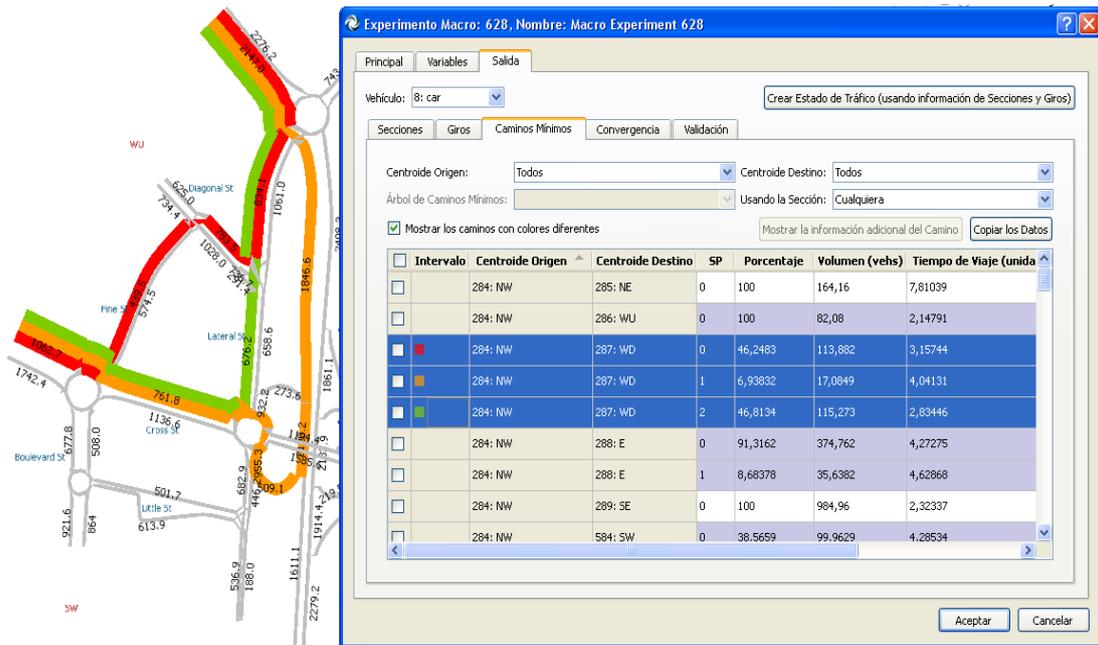


Figura 3.21: Asignación de caminos.

Herramientas del modelado macroscópico:

- Localización óptima de detectores:

Esta herramienta se utiliza para informar de las posiciones óptimas de instalación de detectores en la red de manera que cubran toda la demanda de tráfico.

Por un lado determina qué porcentaje está cubierto con los detectores existentes, es decir, el % de demanda que pasa por alguno de los detectores instalados en la red. Y por otro especifica las posiciones óptimas de colocación de nuevos detectores y en cuanto aumenta la cobertura de la demanda hasta llegar al 100%.

<input type="checkbox"/>		Sección Candidata	Porcentaje Captado
<input type="checkbox"/>	4	537	94,5479
<input type="checkbox"/>	5	302	95,7895
<input type="checkbox"/>	6	770	96,9141
<input type="checkbox"/>	7	492	97,6575
<input type="checkbox"/>	8	295	98,2509
<input type="checkbox"/>	9	384	98,7014
<input type="checkbox"/>	10	359	99,0921
<input type="checkbox"/>	11	518	99,3885

Figura 3.22: Localización óptima de detectores.

- **Ajuste de matrices:**

Esta herramienta se utiliza para para:

- Refinar una matriz obsoleta. Parte de una matriz O/D antigua que ajusta con datos de nuevas espiras.
- Ajustar la duración de una matriz a los datos reales. Partiendo de una matriz O/D de una hora de duración (por ejemplo) y datos reales en intervalos de 15 minutos (por ejemplo) crea a partir de la matriz inicial 4 matrices más realistas ajustadas a los datos reales.

- **Matriz transversal:**

Esta herramienta se utiliza para cortar una o varias sub-áreas de la red tratando éstas como redes independientes de la original para su análisis estático o dinámico posterior.

Delimitando mediante un polígono una sub-área de la red, se crea una matriz denominada transversal a partir de la matriz original para esta sub-área. También se crea automáticamente una nueva configuración de centroides. Además se puede modificar esta matriz transversal incluso ocultar el resto de la red.

3.2.3 - VERIFICACIÓN, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN

La **verificación** del modelo es la comprobación de que las entradas introducidas corresponden al sistema que se quiere modelar. Este proceso se debe tener en cuenta previamente a la calibración y validación del modelo.

La **calibración** del modelo es el proceso de ajustar todos los parámetros del modelo para obtener una validación correcta. Depende del software y su calidad del usuario, mientras que la validación es independiente del software, interesa sobre todo al cliente del proyecto y su calidad depende de los datos reales disponibles.

La **validación** del modelo es la comparación de los resultados de la simulación con los datos reales disponibles, es decir, evaluar en qué medida los resultados de la simulación corresponden a la realidad de acuerdo a unos límites de error fijados.

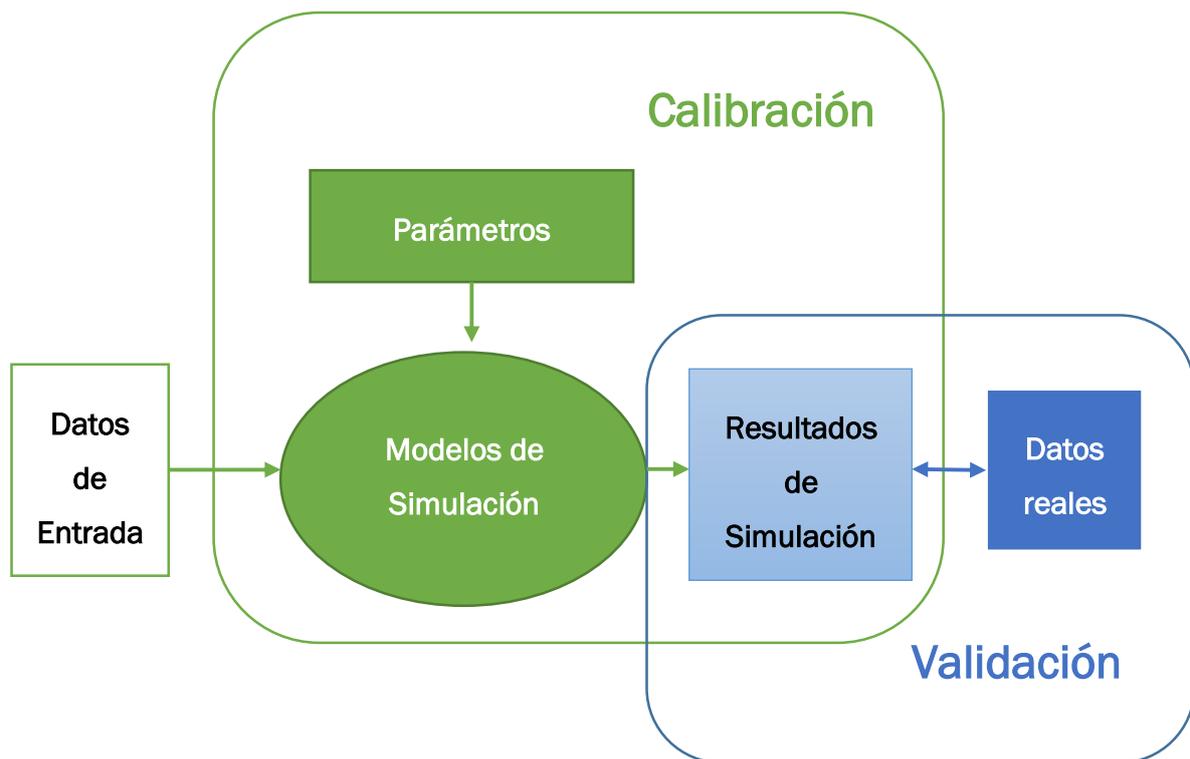


Figura 3.23: Esquema de verificación, calibración y validación.

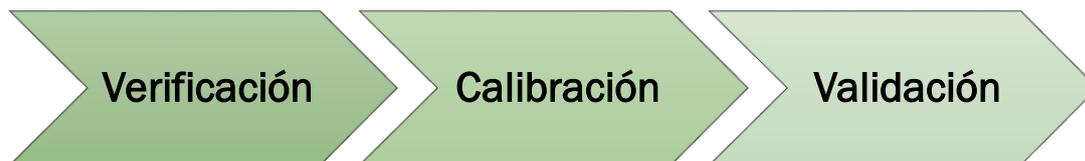


Figura 3.24: Verificación, calibración, validación.

En el proceso de verificación se revisa todo el proceso de edición del modelo, se comprueba que los datos de entrada corresponden a la realidad y que la descripción del modelo corresponde a los objetivos de estudio.

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.

En cuanto al proceso de validación en primer lugar se debe determinar qué datos se van a comparar. Dependerá:

- Del tipo de análisis (micro o macroscópico) debido a que como ya hemos señalado anteriormente obtendremos diferentes tipos de resultados
- De los objetivos del estudio. Si se está resolviendo un problema de aglomeraciones será interesante la longitud de colas y si el objetivo de estudio es evaluar el transporte público de una zona de la ciudad interesará el tiempo de viaje en los trayectos.
- Del tipo de red. En un área urbana a reestructurar será interesante la longitud de colas o el tiempo de parada y en el estudio de una ciudad entera interesará analizar el flujo de tráfico.

En definitiva hemos de conseguir que nuestra red represente de manera precisa el comportamiento del tráfico real, reflejando claramente las características de la red que más se adecuen al estudio.

En la práctica este proceso de validación está muy limitado por la disponibilidad de datos reales y la capacidad de conseguir otros nuevos. En nuestro caso estos datos son datos de espiras y resultados de un plan de aforo realizado 'in situ'.

Para realizar el proceso de validación se pueden introducir datos reales dentro del modelo en varios tipos de formatos, y realizar el proceso dentro del propio del modelo mediante regresión lineal. El propio programa te devuelve una regresión lineal que indica la diferencia entre los datos obtenidos en la simulación y los datos reales introducidos por el usuario. La figura 3.25 es una muestra de cómo el programa realiza la simulación.

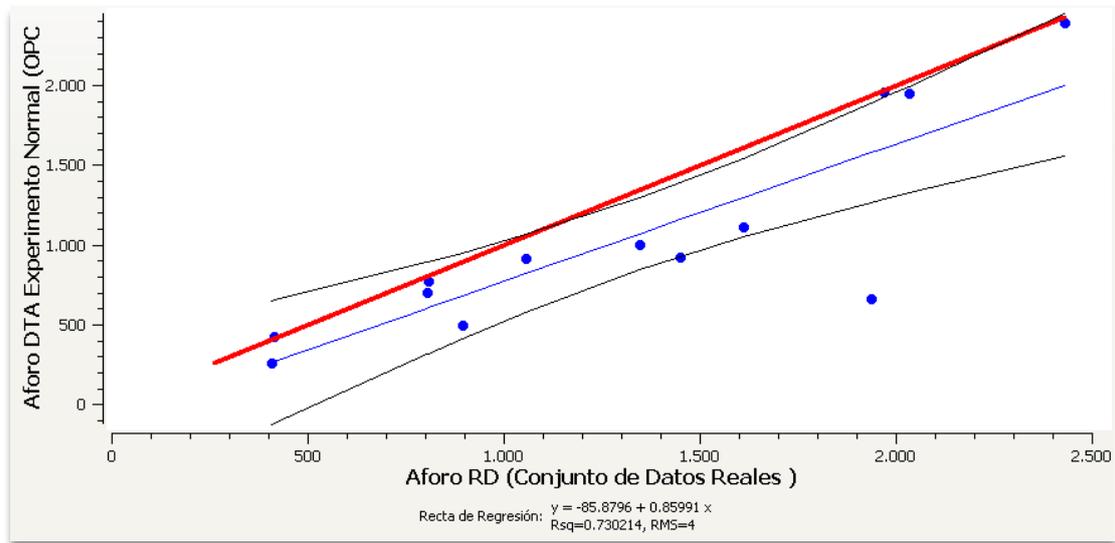


Figura 3.25: Resultados de validación.

Capítulo 4:

Estudio y análisis del barrio de la Rondilla

4.1 -INTRODUCCIÓN

El primer paso para poder analizar y simular el tráfico del barrio de La Rondilla es realizar un modelo de la zona lo más real posible. Para ello, se ha estudiado dicho barrio con detalle.

Es importante conocer y tener en cuenta todos los aspectos de la red viaria, no solo los datos geométricos, semafóricos y de demanda de tráfico, sino también aquellos aspectos más secundarios pero no de menos importancia como podrían ser: el comportamiento del vehículo, la reacción de los conductores ante diversas situaciones, las posibles incidencias del tráfico... Todas estas características determinan el comportamiento complejo de la red y, por tanto, son de vital importancia su toma en cuenta en la representación.

Muchos de los datos usados en la modelización del barrio de La Rondilla fueron aportados por el Gabinete de Movilidad Urbana, Área de Seguridad y Vialidad del Ayuntamiento de Valladolid. Los planos de la zona de estudio, datos de espiras y los planes de control semafóricos nos proporcionan datos reales que hacen que nuestra simulación sea fiable y cercana a la realidad.

El análisis de los datos unido a la elección del modelo que mejor se adapte a las características del tráfico, son dos de los factores que condicionarán la exactitud de las conclusiones del estudio.

4.2 -MODELO: DEFINICIÓN Y CONSTRUCCIÓN

4.2.1 - DATOS DE PARTIDA

Base cartográfica:

Partimos de un plano de la ciudad de Valladolid en toda su extensión en formato CAD. Delimitamos el plano a la zona de estudio para trabajar de forma más cómoda y sencilla.

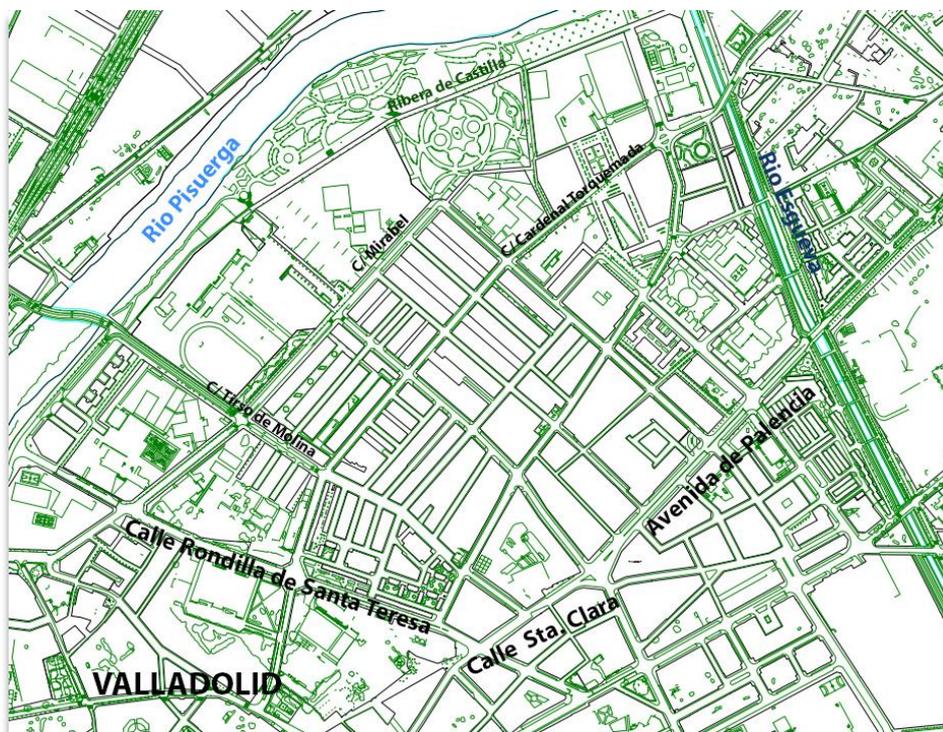


Figura 4.1: Mapa zona de estudio.

Inventario de la zona de estudio:

Para modelar la geometría de la red viaria es necesario realizar un inventario de todos los elementos que la componen. Este inventario se realizó teniendo en cuenta:

- Vías, número de carriles, tipo de vía, estimación de capacidad de vías y velocidad de vehículos.
- Cruces e intersecciones, situación de éstas y posibles movimientos de los vehículos.
- Señales de tráfico y situación de éstas.

- Existencia de líneas de autobús, paradas, etc.
- Situación de semáforos.
- Pasos de peatones y su situación. Existencia o no de tráfico peatonal.
- Situación de colegio, gasolinera y polígonos industriales próximos.

Plan de control semafórico:

Ante la dificultad de la toma exacta de los datos correspondiente al tiempo semafórico de las intersecciones, se pidió dichos datos al Ayto. de Valladolid que nos los cedió sin problemas. Esta información se especifica en el Apéndice I.

Para cada intersección se muestra un plano con la situación de los semáforos y los tiempos de verde, ámbar y rojo de cada uno de ellos como se muestra a continuación en la figura 4.2:

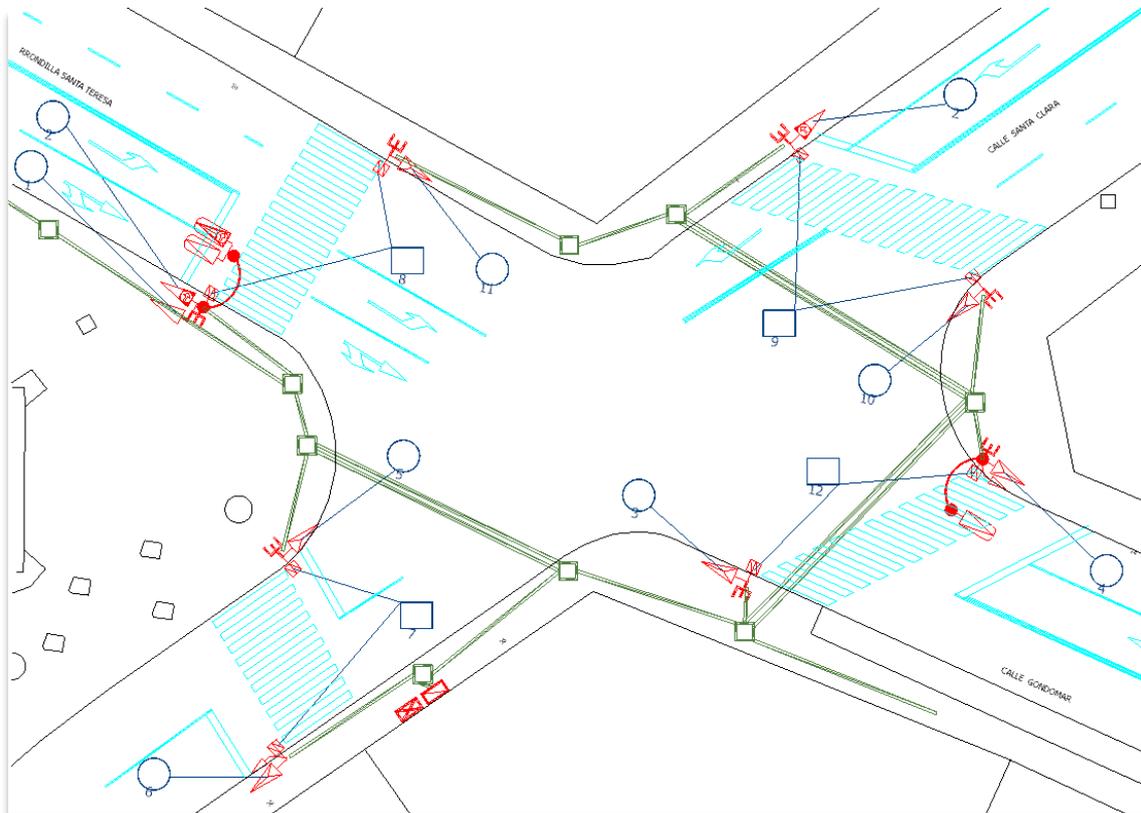


Figura 4.2: Situación de semáforos en una intersección.

También se muestran los tiempos de verde, ámbar y rojo de cada grupo semafórico, como podemos ver en la figura 4.3, donde para cada número definido en el plano anterior, se corresponde un determinado tiempo:

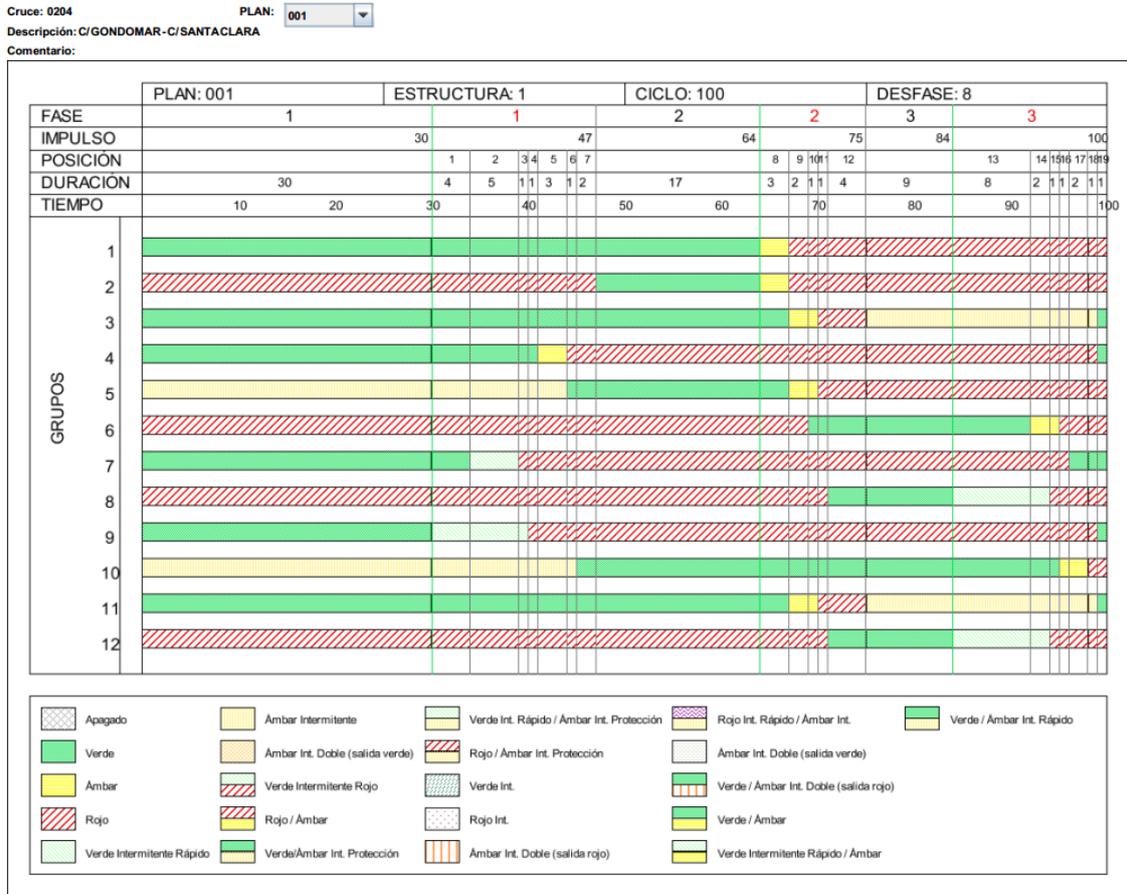


Figura 4.3: Ciclos semafóricos.

Datos de espiras:

La demanda de tráfico es el aspecto más complicado de definir. Por ello la cantidad y precisión de los datos disponibles y su análisis es el factor más determinante de la exactitud con la que se calcula.

El Ayuntamiento de Valladolid, nos proporcionó información sobre espiras que afectan a la zona de estudio. De todas las que nos cedió, se seleccionaron doce espiras ya que eran las que tenían una incidencia directa sobre el tráfico de la zona a estudiar.

Estas espiras nos muestran el valor de Intensidad Media Diaria (IMD), es decir, el número de coches que pasan por esos puntos de medida al día de media a lo largo del año. Los datos se ven en la tabla 4.1:

UBICACIÓN	P.M.	2013		2014	
		Laboral	Festivo	Laboral	Festivo
RONDILLA SANTA TERESA -> GONDOMAR (CARDENAL TORQUEMADA)	PM020301	5.628	3.536	5.184	3.180
RONDILLA SANTA TERESA -> PASEO RENACIMIENTO (SANTA CLARA)	PM020401	12.740	8.426	11.291	7.405
GONDOMAR -> CHANCILLERÍA (CHANCILLERÍA)	PM020501	3.439	2.057	3.473	2.052
REAL DE BURGOS -> HUELGAS (CHANCILLERÍA-ENTRADA)	PM020602	9.145	6.266	9.241	6.387
CARDENAL TORQUEMADA -> RONDILLA SANTA TERESA (SAN PABLO)	PM021301	9.428	6.268	9.393	6.166
AVDA. PALENCIA -> SANTA CLARA (AMOR DE DIOS)	PM022001	6.815	4.811	7.020	4.925
AMOR DE DIOS -> MADRE DE DIOS (AVDA. PALENCIA)	PM022002	3.369	2.156	3.347	2.160
AVDA. PALENCIA -> AVDA. SANTANDER (PENITENCIA)	PM022101	4.567	2.982	4.680	3.074
AVDA. PALENCIA -> SANTA CLARA (PENITENCIA)	PM022102	7.267	5.133	7.412	5.193
AVDA. PALENCIA -> AVDA. SANTANDER (REAL DE BURGOS)	PM022201	4.085	2.809	4.123	2.845
RÁBIDA -> PORTILLO DE BALBOA (CARDENAL TORQUEMADA)	PM023201	2.815	1.895	3.043	2.038
RÁBIDA -> EURO (CARDENAL TORQUEMADA)	PM023202	1.806	1.216	1.972	1.317

Tabla 4.1: Datos de espiras expresadas en IMD, vehículos/día.

Plan de aforos 'in situ'

Se realizó un plan de aforos 'in situ' con el objetivo de conocer el movimiento de los vehículos en las diferentes intersecciones y así completar los datos para definir la demanda de tráfico.

4.2.2 - ELECCION DEL TIPO DE MODELADO

Como se ha comentado en el capítulo anterior existen tres tipos de modelado: Modelado microscópico, macroscópico y mesoscópico.

En nuestro caso, debemos analizar la red desde un punto de vista dinámico, observando las interacciones vehículo a vehículo, formación de colas, efecto de la semaforización y demás características de la red durante la simulación para poder identificar y resolver los problemas existentes. Por estas razones y en base a lo expuesto en el apartado 3.2.2. acerca de los tipos de modelado, se utilizó **modelado microscópico**.

No existe ningún inconveniente que nos permita utilizar este tipo de modelado como podría ser el tamaño de la red, no disponer de datos acerca de la

semaforización, etc. En cuanto a la posibilidad de analizar la red desde un punto de vista macroscópico, no existe motivo para hacerlo debido a que las herramientas que utiliza este tipo de modelado no nos sirven de nada a la hora de alcanzar los objetivos de nuestro estudio.

4.2.3 - REALIZACION DEL MODELO

Los pasos fundamentales para la construcción del modelo fueron:

- Determinar la zona de estudio
- Determina el intervalo de tiempo a estudiar.
- Importación de la base cartográfica.
- Modelar la geometría de la zona a estudiar.
- Modelar la demanda de tráfico y plan de control semafórico.

4.2.3.1 -DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona que se va a estudiar es el barrio de La Rondilla perteneciente a la ciudad de Valladolid. Cuenta con una superficie de 82 hectáreas (supone el 2,5% del suelo urbano de la ciudad) en la que viven más de 28000 habitantes, alrededor del 9% de la población total.

Situación de la zona de estudio:

Valladolid está ubicado en la Zona Central de España y pertenece a la comunidad autónoma de Castilla y León, limita al norte con las provincias de León y Palencia, al este con las de Burgos y Segovia, al sur con las de Segovia, Ávila y Salamanca, y al oeste con Zamora.

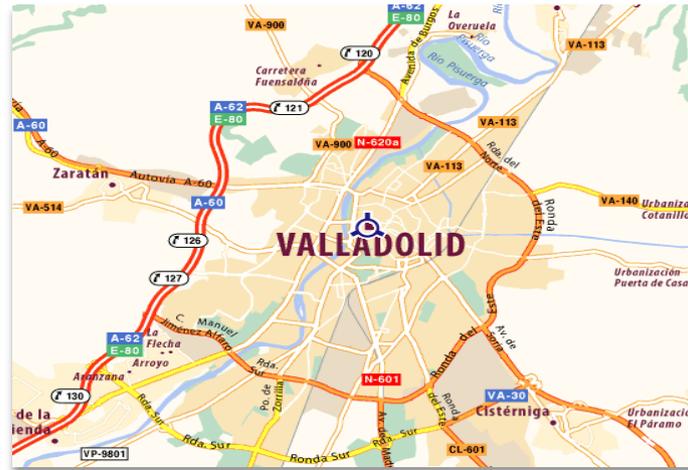


Figura 4.4: Mapa de situación de Valladolid.

La ciudad de Valladolid está asentada a orillas de los ríos Pisuegra y Esgueva en un valle bordeado de cerros y páramos. Es el centro geométrico de la región castellano leonesa, de la cual es capital administrativa.

En concreto, el barrio de La Rondilla se encuentra en la zona norte de la ciudad de Valladolid, limitado por los dos ríos que atraviesan la ciudad, el Río Esgueva al Norte y el Río Pisuegra por el Oeste, por la Avenida de Palencia al Este y por la Calle Rondilla de Santa Teresa al Sur. Estos límites hacen que el barrio tenga una forma cuadrangular.



Figura 4.5: Vista aérea del Barrio de La Rondilla.

Este espacio de la ciudad nació con la finalidad de dar cabida a los inmigrantes que llegaron a la ciudad a consecuencia del salto industrial y demográfico que tuvo lugar en la década de los 60's. El objetivo con su construcción era edificar el mayor número de viviendas al mínimo costo para maximizar el beneficio. Esto dio lugar a un barrio fundamentalmente de viviendas con unas infraestructuras ínfimas, lo que unido a las carencias culturales de los primeros habitantes, le confería el estatus de ser un barrio pobre.

Con el paso de los años y gracias a la Asociación de Vecinos, el barrio ha sufrido cambios que han hecho que se corrigieran las carencias iniciales de su construcción.

Uno de los principales problemas del barrio es el tráfico que lo atraviesa y las congestiones que produce en su interior. Es un tema de difícil solución al tener una gran limitación por la situación de los edificios de vivienda, que impiden que las infraestructuras puedan aumentar su tamaño para albergar más capacidad vehicular. Además, el barrio cuenta con la presencia de gran número de pequeños comercios que, al recibir clientes o proveedores, provoca una necesidad de aparcamientos con los que el barrio no cuenta lo que produce un exceso de estacionamiento en doble fila, limitando más aun el paso de los vehículos por el interior.

Se procederá a realizar un estudio del tráfico que circula por el barrio para ver qué alternativas y situaciones se podrían dar para mejorar el paso de los vehículos por dicha zona.

Modelado de la zona de estudio:

Lo que buscamos con este trabajo es dar posibles soluciones a los problemas de tráfico del barrio de La Rondilla, estudiando todas sus infraestructuras y elementos que afectan al movimiento de los vehículos por sus calles.

Se tomara todo el 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 vehículos, los puntos de confluencia vehicular, las paradas de autobuses urbanos y demás factores que puedan afectar al tráfico. Al delimitar la zona se tomó un área suficientemente amplia de manera que reflejara bien los problemas de tráfico a estudiar y dar soluciones. Por otro lado se tuvo en cuenta el efecto que nuestras modificaciones podían tener en las posteriores y anteriores intersecciones.

Por tanto, el área de estudio resultará lo suficientemente amplia para poder realizar un análisis cercano a lo que nos encontramos diariamente en el barrio.

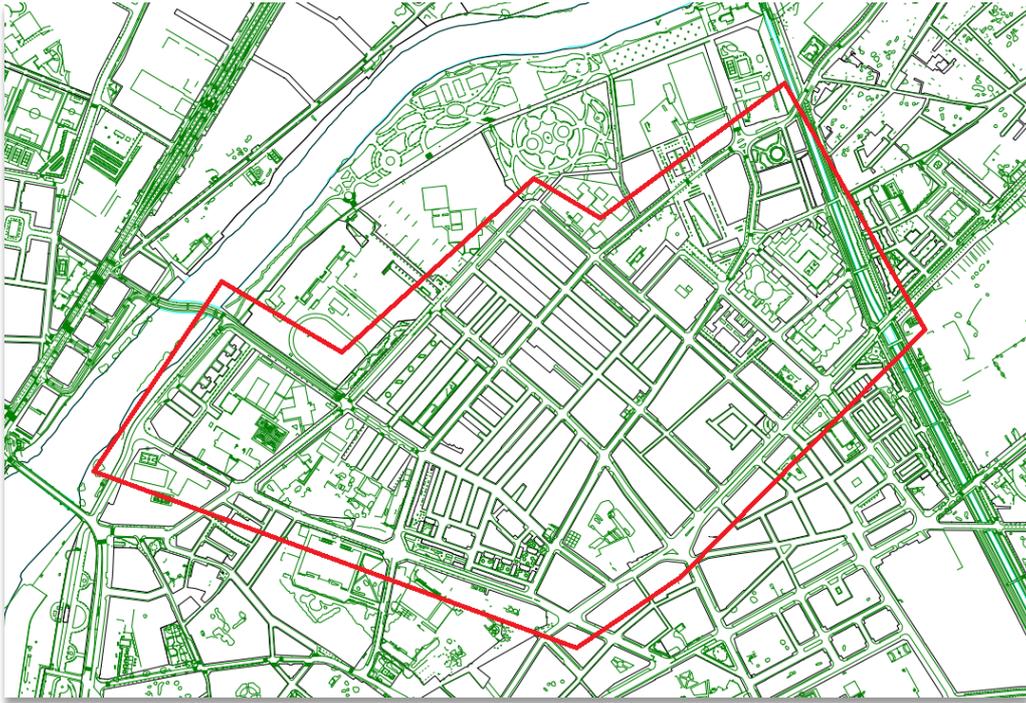


Figura 4.6: Delimitación de la zona de estudio.

4.2.3.2 INTERVALO DE TIEMPO A ESTUDIAR

En este trabajo se plantea dar soluciones a los problemas de aglomeración de vehículos y otras incidencias del barrio, por lo cual nos centraremos en el intervalo de 'hora punta', aquel donde la circulación de vehículos sea la mayor en el transcurso del día.

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 de Valladolid (PIMUVA). En él se puede ver que el tramo del día en el que mayor movimiento de vehículos tiene lugar es el tramo que transcurre entre las 13:00 hasta las 16:00, produciéndose casi un 30% del total de los movimientos diarios en la ciudad.

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 influencia (14:00 a 15:00) y la subida y bajada de tráfico anterior y posterior a esa hora punta.

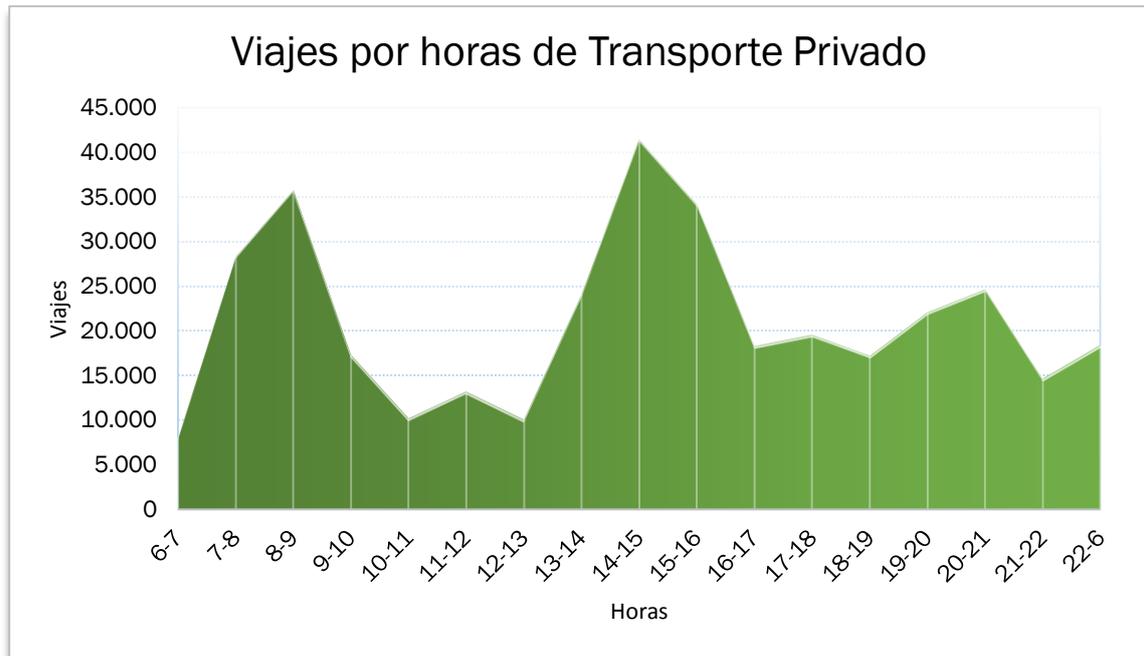


Figura 4.7: Viajes por horas de transporte público y privado.

4.2.3.3 **IMPORTACION DE BASE CARTOGRÁFICA**

Los planos de la zona de estudio fueron importados directamente en formato AutoCAD, cedidos por el departamento de Movilidad Urbana de Valladolid. De esta forma se respeta el sistema de capas, útil durante el proceso de modelado de la geometría de la red.

4.2.3.4 **MODELADO DE LA GEOMETRIA**

Sirviéndonos de la base cartográfica expuesta en el punto anterior y con el inventario de la zona de estudio realizado y detallado en el apartado 4.2.1 se modeló la red de la siguiente manera:



Figura 4.8: Modelado de la geometría.

Sobre el mismo plano, se representan los tramos de vías mediante secciones. Cada vía tiene asignadas unas características determinadas como se muestra en la siguiente figura. Estas características definen el comportamiento de la red y son importantes durante el proceso de calibración del modelo. Destacan la velocidad máxima de vehículos y capacidad de la vía.

Principal

Nombre: Street Id externo: Clase Funcional: 4

Parámetros por defecto

Velocidad Máxima: 50 km/h Capacidad (por carril): 800 PCUs

Ancho de carril: 3 metros Interna (en un Nodo)

Coste Definido por el Usuario: 0 Segundo Coste Definido por el Usuario: 0

Tercer Coste Definido por el Usuario: 0 Modo de dibujado: Como vía

Modelo Microscópico

Distancia de Zona 1: 20 seg. Distancia de Zona 2: 3 seg.

Distancia en rampa de acceso: 5 seg. Velocidad en el 'Yellow Box': 10 km/h

Distancia de Visibilidad: 25 metros Variación máxima del Tiempo de Ceda el Paso: 0 seg.

Velocidad Inherente: 0 km/h Variación del Tiempo de Reacción: 0

Modelo Mesoscópico

Densidad de Congestión: 200 veh/km Factor del Tiempo de Reacción: 1

Distancia de Look Ahead: 50 metros

Modelo Macroscópico

Función de demora: 100: VDF 35 Volumen adicional: 0 PCUs

Arcén

Derecho: Ninguno Anchura:

Izquierdo: Ninguno Anchura:

Información

247 secciones usan este tipo de carretera

Actualizar Secciones Aceptar Cancelar

Figura 4.9: Ejemplo de tipo de vía.

Una vez definidas las características de cada vía, se modelan y definen los cruces e intersecciones teniendo en cuenta las diferentes posibilidades de movimiento de los vehículos en cada una de ellas, como se puede ver en la siguiente figura. La definición de las intersecciones y giros es uno de los condicionantes de la simulación.

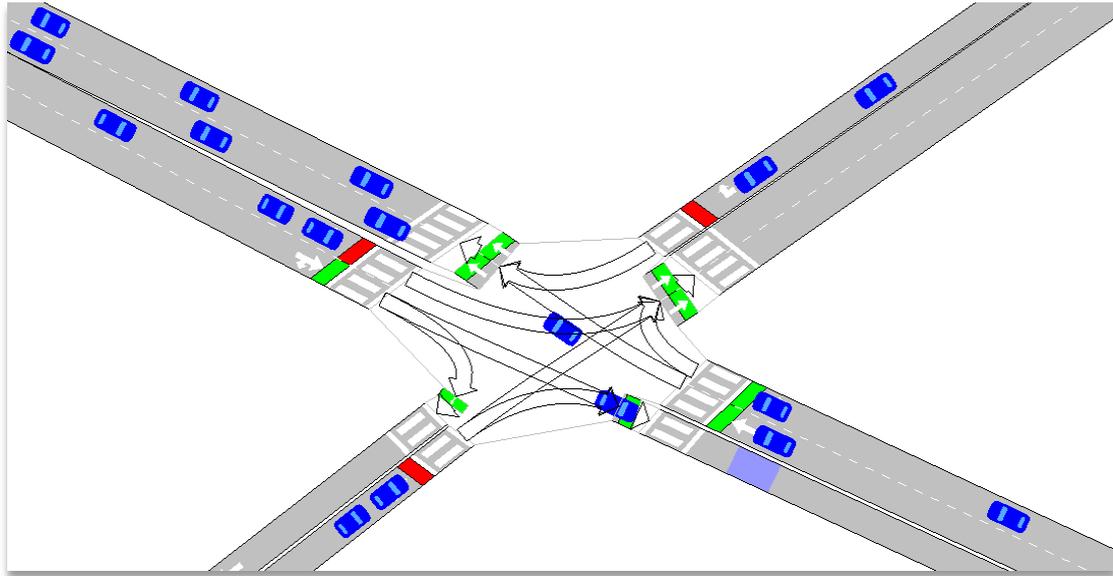


Figura 4.10: Ejemplo de modelado de intersecciones.

Por último, en cada nodo, en cada intersección se añadieron las señales de tráfico que las afectan en la realidad, así como el plan de control semafórico y los pasos de peatones.

4.2.3.5 MODELADO DE LA DEMANDA DE TRÁFICO

La demanda de tráfico se puede modelar mediante estados de tráfico o matrices origen-destino (matrices O/D). Las características y diferencias entre ambos tipos de modelado se explicaron en el apartado 3.2.1.4. En nuestro caso utilizamos **matrices O/D** ya que este tipo de modelado se adapta mejor a las características de nuestra red y nos acerca a una idea más real de lo que ocurre en la zona de estudio.

Definiendo una serie de puntos en nuestro modelo, una matriz origen-destino es una matriz que relaciona el número de vehículos que parten desde cada origen a cada destino. Estos puntos se denominan centroides. Nuestro modelo consta de 22 centroides situados de la siguiente manera:



Figura 4.11: Situación de centroides.

Para calcular las distintas matrices O/D se utilizaron los datos de espiras disponibles y los resultados de planes de aforo procedentes de otros proyectos llevados a cabo por la Universidad de Valladolid:

Datos de espiras:

En total nos fueron proporcionados datos de doce espiras, diez de los cuales se encuentran situados en los tramos que pasan por la Avenida de Palencia, Santa Clara y la calle Rondilla de Santa Teresa. Las dos espiras restantes, se encuentran situadas en la zona norte de la rondilla, en la calle Rábida, punto de entrada al barrio desde el otro lado del río Pisuerga. Se pueden ver en la siguiente figura:

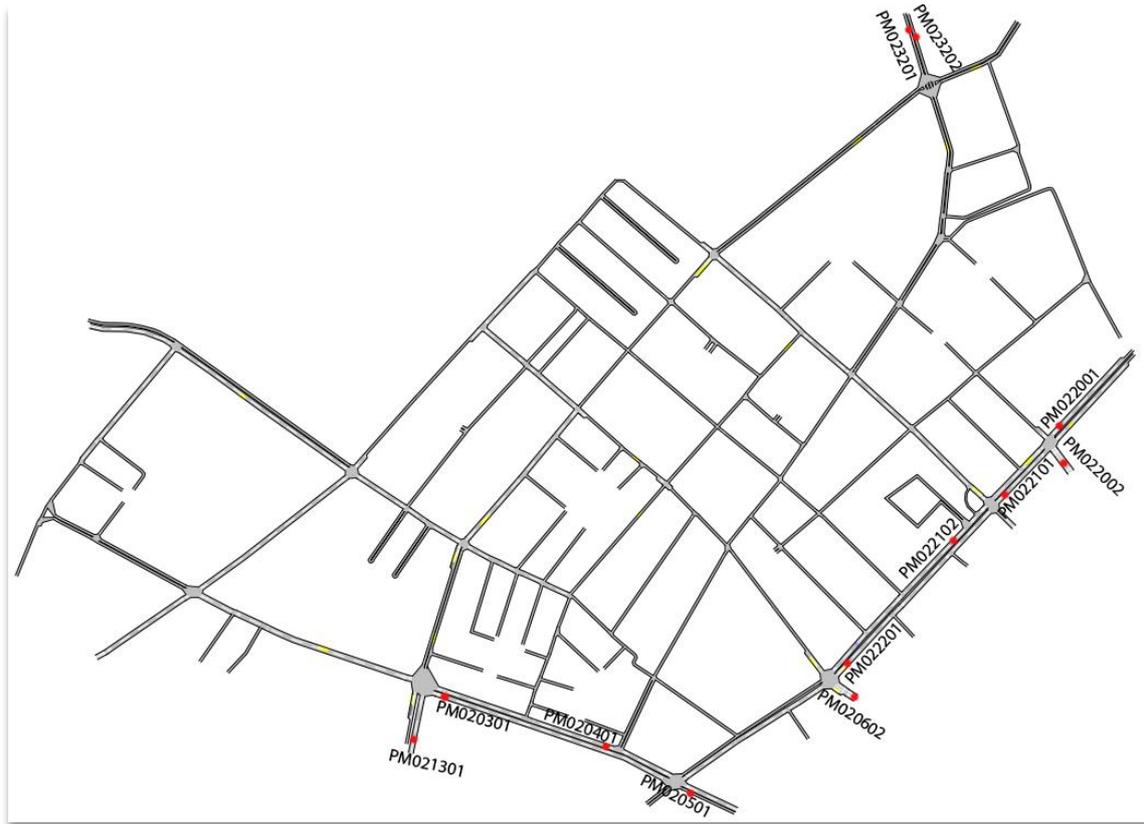


Figura 4.12: Situación de espiras.

Plan de aforos:

Debido a la complejidad en el proceso de la toma de datos, se partirá de datos procedentes de otros proyectos realizados por la Universidad de Valladolid en relación al tráfico del barrio de la Rondilla. En ellos se realizaron aforos “in situ” y encuestas Origen-Destino que ayudaron a definir un modelo adecuado para definir la red en toda su extensión (figura 4.13).

Al enfrentarnos a esta red ya definida, nos encontramos con zonas que no se corresponden a lo que habíamos modelado y que difieren con la red que habíamos creado.

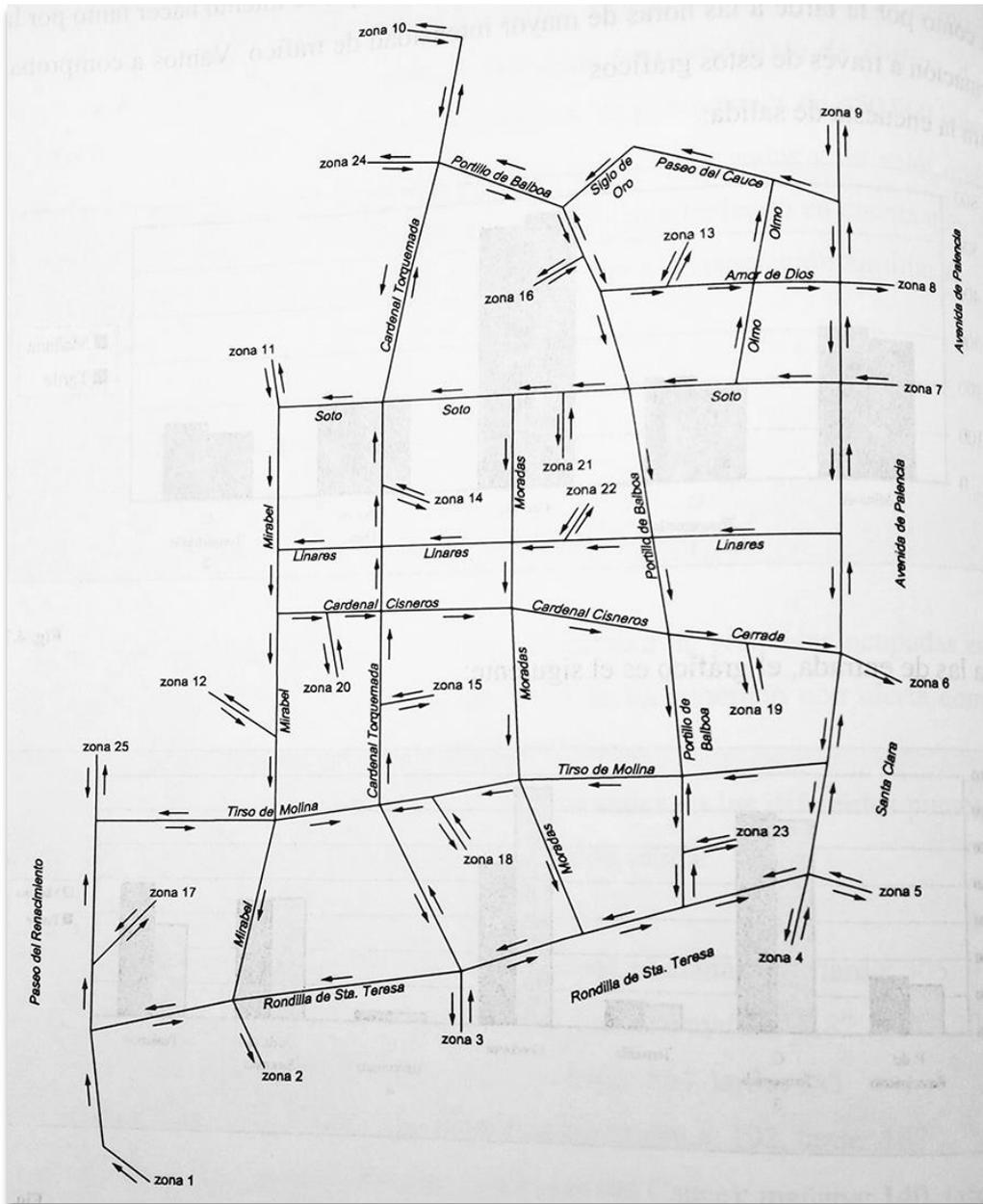


Figura 4.13: Modelo de red de proyectos anteriores.

En esos mismos proyectos se trabaja con una matriz de Origen-Destino acorde al modelo definido. Se puede ver en la tabla 4.2:

Zonas	Z-2	Z-3	Z-5	Z-6	Z-8	Z-9	Z-10	Z-11	Z-12	Z-13	Z-14	Z-15	Z-16	Z-17	Z-18	Z-19	Z-20	Z-21	Z-22	Z-23	Z-25	Total
Zona 1	26	12	0	31	15	25	15	5	15	14	5	14	11	14	12	5	9	6	15	3	4	258
Zona 3	215	0	497	16	42	47	5	21	11	9	10	15	10	5	10	42	10	10	35	1	0	1077
Zona 4	26	0	63	3	3	20	2	0	0	0	0	3	0	0	3	6	3	3	6	3	12	157
Zona 5	510	29	0	131	21	92	6	23	16	32	11	16	16	27	61	48	11	15	43	34	60	1205
Zona 7	93	0	0	59	19	107	10	36	15	18	43	11	15	11	15	62	8	75	66	8	23	704
Zona 9	3	4	0	200	77	0	16	25	3	4	17	13	40	20	27	42	26	5	45	5	12	586
Zona 10	6	3	0	10	1	0	0	4	0	2	1	1	0	0	1	0	2	1	1	3	12	48
Zona 11	12	2	0	24	8	12	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8	80
Zona 12	40	0	0	19	5	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	87
Zona 13	50	9	0	16	5	7	4	0	0	0	0	0	0	2	0	3	0	0	0	0	12	109
Zona 14	27	3	0	8	6	13	4	4	0	0	0	3	0	0	0	3	0	2	0	6	0	79
Zona 15	25	0	0	15	10	9	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	75
Zona 16	18	0	0	15	5	6	10	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	3	0	0	12	75
Zona 17	16	0	0	29	0	5	7	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	65
Zona 18	30	0	0	25	7	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	16	84
Zona 19	32	0	0	48	2	21	9	3	0	0	3	0	0	3	0	5	0	2	0	3	0	132
Zona 20	8	0	0	37	9	13	3	0	0	0	5	0	0	0	0	8	0	0	5	3	4	95
Zona 21	46	0	0	9	13	5	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	103
Zona 22	24	0	0	34	10	15	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	12	120
Zona 23	11	0	0	0	0	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19
Zona 24	2	1	0	0	0	1	3	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	11
Zona 25	18	10	0	108	18	54	18	36	0	0	36	0	18	18	18	18	36	0	18	18	0	442
Total	1238	73	560	837	276	465	187	158	60	79	134	77	110	105	147	242	107	122	237	96	211	5611

Tabla 4.2: Matriz Origen-Destino proyectos anteriores.

Tras realizar un estudio del modelo y de la matriz O/D de los proyectos realizados anteriormente, se concluye que hay datos que no están actualizados, que no se corresponden al movimiento de vehículos que existe hoy en día. Por ejemplo, en la Zona 24 correspondiente a la C/ Rábida no se tiene en cuenta la conexión que une esa calle con el barrio de la Victoria al haber sido inaugurado el puente que los comunica en el año 2011.

Para la comprobación de aquellos datos en los que se tenían dudas sobre su veracidad, se realizaron aforos “in situ” para ver la situación actual y los movimientos de los vehículos en esas zonas.

Proceso de cálculo de las matrices origen-destino:

Partiendo de los datos de las espiras cedidos por el ayuntamiento, de las matrices definidas en otros proyectos y de los planes de aforo “in situ” que se hicieron para comprobar y actualizar los datos, la demanda de tráfico del barrio se obtuvo confrontando esos datos para poder introducirlos en nuestro modelo de simulación.

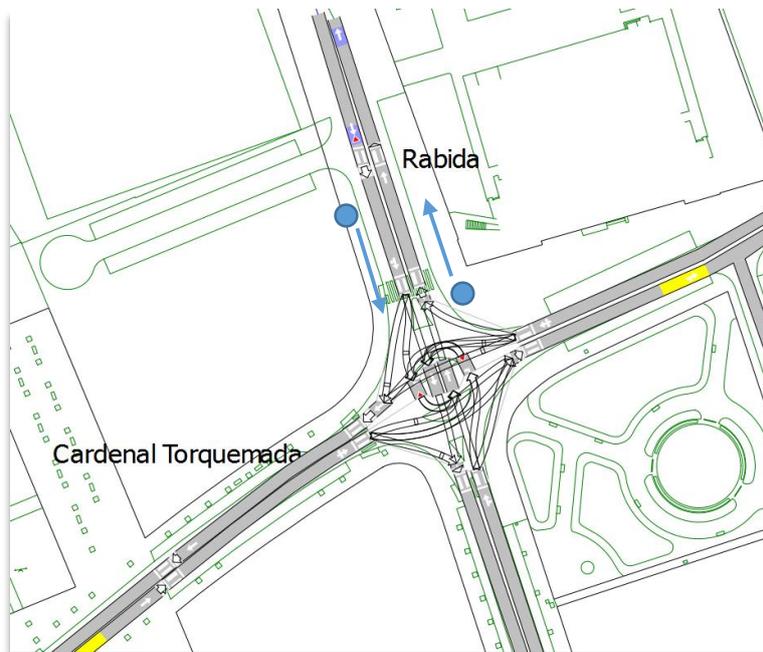


Figura 4.14: Aforo “in situ”.

4.2.3.6 PLAN DE CONTROL SEMAFÓRICO Y TRANSPORTE PÚBLICO

En este caso existen catorce intersecciones semaforizadas codificadas siguiendo el procedimiento expuesto en el apartado 3.2.1.5.

Para su incorporación al modelo fue necesario crear los distintos grupos semafóricos en las intersecciones en las cuales existen semáforos y posteriormente asignarles sus respectivos ciclos semafóricos en el plan de control semafórico. Esta información se dispone en el Apéndice I, donde se recogen los datos de cruces semafóricos cedidos por el Gabinete de movilidad Urbana, Área de Seguridad y Vialidad del Ayuntamiento de Valladolid.

Respecto al plan de transporte público, se modelaron 6 líneas, las cuales se corresponden con las líneas 1, 2, 17, 18, C1 y C2 de AUVASA. Para incorporarlo al modelo, se ha seguido lo expuesto apartado 3.2.1.6, creando las secciones y paradas por las que discurren las distintas líneas de transporte. Además de

frecuencias y tiempos de parada. Estos datos fueron obtenidos de la página web de las empresas encargadas de las líneas anteriormente citadas.

4.2.3.7 -PARAMETROS DE EJECUCIÓN DE LA SIMULACIONES

Para poder ejecutar la simulación de cualquier modelo microscópico se debe incluir un escenario, experimento, replicaciones y media.

En nuestro modelo se define el escenario de la siguiente manera:

Figura 4.15: Parámetros del escenario dinámico. Demanda de tráfico, plan de transporte público y plan de control semafórico.

En la figura anterior se muestra como se incluye la demanda de tráfico, plan de transporte público y plan de control semafórico, que el programa denomina como plan de control maestro.

También se determina, como se observa en la siguiente figura, el intervalo de tiempo entre mediciones tanto de detectores como del resto de estadísticas. El programa devuelve como salida un archivo Access en el que recoge toda la información del modelo simulado.

Por último, fue definido un experimento y un total de 5 replicaciones y media.

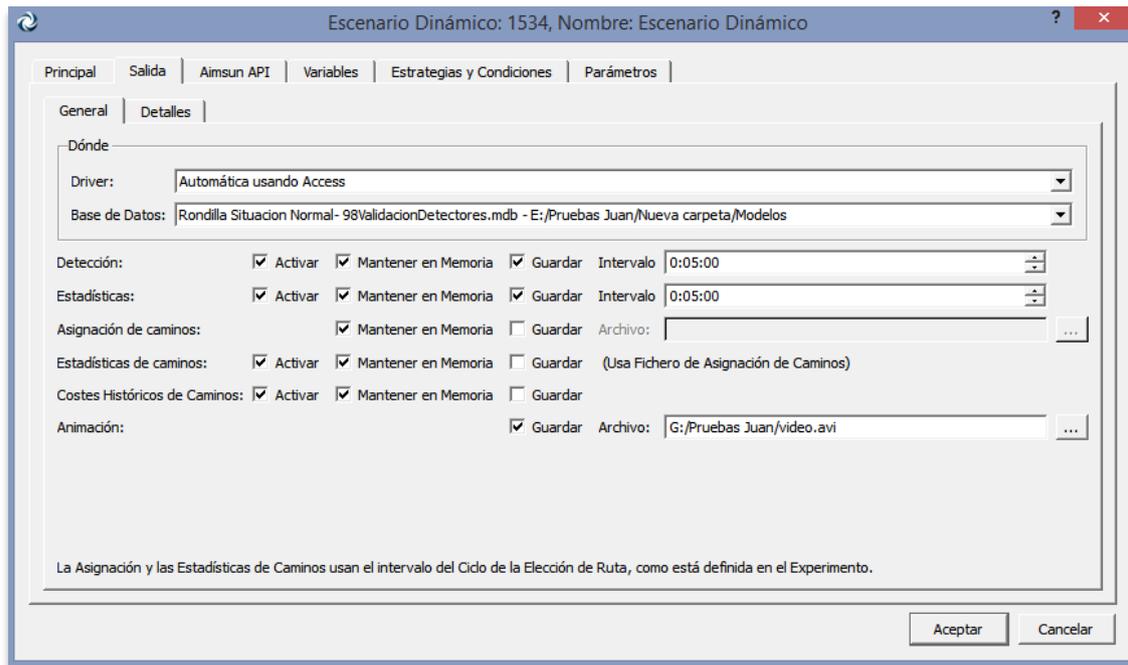


Figura 4.16: Parámetros escenario dinámico. Intervalo de tiempo entre mediciones.

4.3 -VERIFICACION, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN

De acuerdo a la definición dada anteriormente, **verificar** un modelo es comprobar que las entradas introducidas en el software corresponden al sistema que se quiere modelar; **Calibrar** significa ajustar todos los parámetros del modelo para obtener una validación correcta y validar es comparar los resultados de la simulación con los datos reales disponibles determinando la calidad del modelo.

4.3.1 - VERIFICACIÓN DEL MODELO

El proceso de verificación se realizó revisando los siguientes aspectos:

- Edición del modelo.
- Comprobación de que los datos de entrada corresponden a la realidad.
- Comprobación de que la descripción del modelo corresponde a los objetivos de estudio.

En cada punto de los anteriores se consideró:

- Geometría de la red
- Demanda de tráfico
- Planes de control semafórico

Edición del modelo:

Se comprobó que los siguientes elementos estaban 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

En cuanto a la geometría de la red se minimizó el trabajo manual, utilizando importación de planos reales dibujando la red sobre éstos.

Y en cuanto a la demanda de tráfico se utilizaron todos los datos reales posibles de espiras y se comparó con las matrices que teníamos de otros proyectos junto a los planes de aforos 'in situ' para minimizar el error.

Comprobación de que la descripción del modelo corresponde a los objetivos de estudio

En cuanto a la geometría de la red 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.

Por último se comenzó y finalizó la simulación fuera de hora punta.

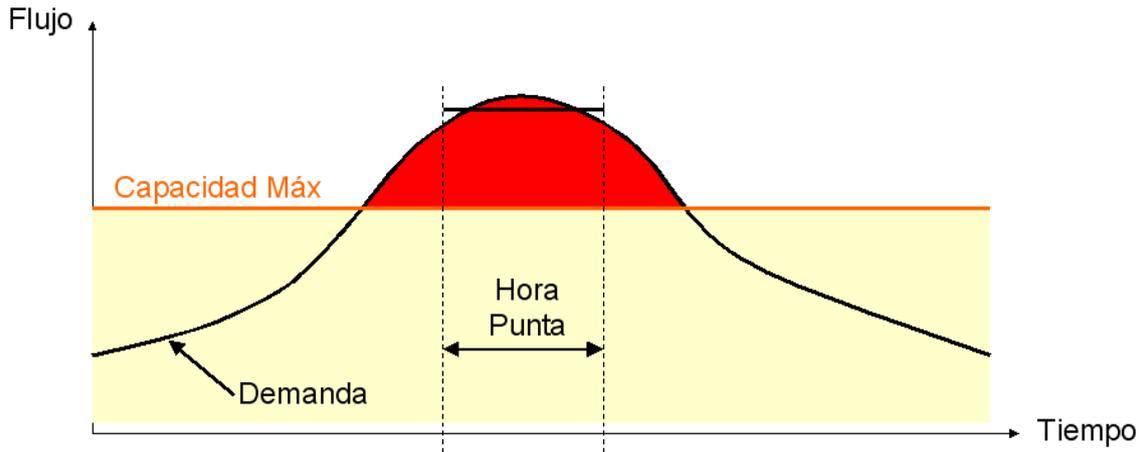


Figura 4.17: Gráfico hora punta.

4.3.2 - CALIBRACIÓN DEL MODELO

El proceso de calibración del modelo se llevó a cabo ajustando todos los parámetros de tráfico mediante ensayos a prueba y error.

Los **objetivos** de este proceso fueron:

- Representar las características de la red observadas 'in situ' durante varios días:
- **Problemas de tráfico.** Reflejar los problemas de tráfico, incidencias en la red y su origen.
- **Colas.** Representar aglomeraciones observadas con exactitud y periodo de tiempo en que se producen.
- **Descarga** de vehículos en cada tiempo de verde en semáforos.
- **Comportamiento de vehículos.** Reflejar el comportamiento en cuanto a velocidad, aceleración, comportamiento en las diversas intersecciones, cambios de carril, etc...
- **Reacciones de los conductores.** Comportamiento de los conductores ante un semáforo, velocidad de reacción en la toma de decisiones durante la conducción, etc...
- Obtener una validación correcta.

El software cuenta con multitud de parámetros de calibración. A continuación se exponen los de mayor relevancia, agrupados en:

- Parámetros de los vehículos
- Parámetros globales de todo el modelo
- Parámetros locales en secciones, nodos, etc.

4.3.2.1 PARAMETROS DE LOS VEHICULOS

- **Longitud y anchura:** Parámetros geométricos expresados en metros.
- **Velocidad máxima deseada:** Es a la velocidad que circularían los vehículos sino fuese por la restricción de velocidad de la vía
- **Aceptación de velocidad:** Se refiere al % de velocidad que se puede superar respecto a la velocidad de la vía. Un valor de 1,1 indica que el vehículo circulara con una velocidad un 10% superior a la velocidad de la vía siempre y cuando su velocidad deseada sea superior a este valor y las condiciones del tráfico lo permitan. Ejemplo en la figura 4.18:



Figura 4.18: Ejemplos de definición de parámetros de los vehículos.

Ejemplo 1: velocidad de la vía = 90 km/h
 Velocidad deseada = 115 km/h
 Aceptación de velocidad = 1,1
 Velocidad del vehículo = $90 \times 1,1 = 99$ km/h ($99 < 115$)

Ejemplo 2: velocidad de la vía = 120 km/h
 Velocidad deseada = 115 km/h
 Aceptación de velocidad = 1,1
 Velocidad del vehículo = $120 \times 1,1 = 132$ km/h ($132 > 115$), circulará a 115 km/h

- **Distancia mínima entre vehículos:** Distancia entre el parachoques delantero de un vehículo y el parachoques trasero del vehículo posterior, en metros.
- **Tiempo de ceda el paso:** Es el tiempo durante el cual el vehículo permanece parado en una situación de ceda el paso siempre que las condiciones del tráfico no le permitan avanzar. Una vez transcurrido este tiempo, el vehículo

comienza a ser más agresivo para continuar su camino, y siempre y cuando las condiciones del tráfico no sean muy desfavorables avanzará.

- **% PCU (passenger car unit):** Expresa la capacidad asignada por tipo de vehículo. Para coches es igual a 1.
- **Forma de visualización** tanto en 2D como 3D.

Estos parámetros son muy importantes debido a que determinan el comportamiento de los vehículos. Influyen en la velocidad de los vehículos, tiempo de viajes, colas, cambios de carril y capacidad de la vía. En nuestro caso han sido asignados los siguientes valores:

- Para coches y furgonetas:

Tipo de Vehículo: 62, Nombre: Coche

Principal | Clases | Articulado | Formas 2D | Formas 3D | Parámetros por defecto del Experimento | Combustible | Polucionantes

Nombre: Coche Id externo:

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: 65 % Vehículos equipados: 0 %

Casos de adelantamiento por el carril lento: 10 % Tolerancia de cruce: 0.8 m/s²

Casos de Cambios de Carril Imprudentes: 15 % PCUs: 1

Sensibilidad a Cambios de Carril Imprudentes: 1 Capacidad Máxima: 1,00 Factor multiplicativo de

Aceptar Cancelar

Figura 4.19: Parámetros de los vehículos. Coche.

- Para autobuses:

Tipo de Vehículo: 64, Nombre: Bus

Principal | Clases | Articulado | Formas 2D | Formas 3D | Parámetros por defecto del Experimento | Combustible | Polucionantes

Nombre: Bus Id externo:

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 4.20: Parámetros de los vehículos. Autobús.

4.3.2.2 -PARAMETROS GLOBALES

Estos parámetros se definen en el experimento y son:

Calentamiento:

Es el tiempo ficticio anterior al inicio del periodo de simulación durante el cual han estado circulando vehículos virtualmente. Es decir, la simulación no comienza con una red vacía sino que se calcula el tráfico de la red en el momento de iniciar nuestra simulación teniendo en cuenta este periodo anterior. Se asignó una duración de **30 minutos** como se muestra en la siguiente figura:

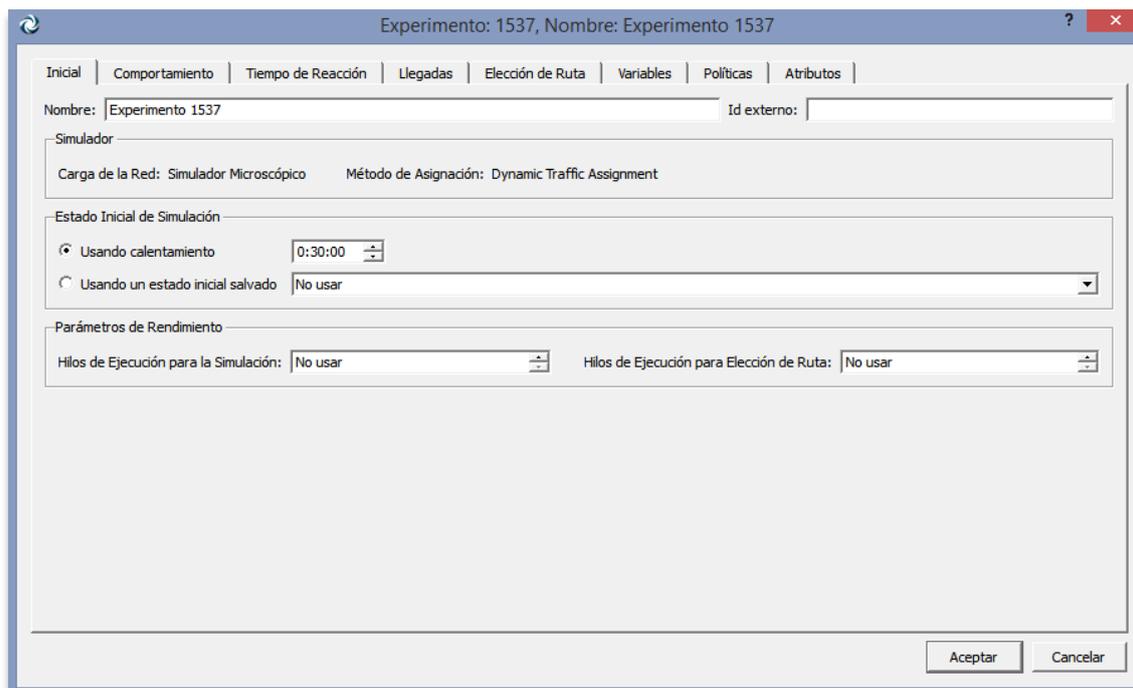


Figura 4.21: Parámetros globales. Calentamiento.

Paso de simulación

Es el intervalo de tiempo (en segundos) durante el cual no se representan vehículos. Por ejemplo, con un valor de 0,4, cada 0,4 segundos se representa el tráfico aunque en la simulación se observa de manera continua. En nuestro caso se ha asignado un valor de **0,75 segundos**.

Tiempo de reacción

Es el tiempo que transcurre sin que los vehículos tomen decisiones en cuanto a su ruta, cambio de carril, etc... Puede ser el mismo que el paso de simulación o un múltiplo de éste y se puede distinguir por tipo de vehículo. Incluso dentro del mismo tipo de vehículo distinguir varios tiempos de reacción. Este parámetro influye en la capacidad de la sección. Se asignó un valor de **0,75 segundos** para todo tipo de vehículos

Tiempo de reacción en parada

Es el tiempo que un vehículo tarda en reanudar la marcha desde que el vehículo de delante lo hace. Es determinante en la medida de colas. Se asignó un valor de **1,1 segundos** para todo tipo de vehículos.

Tiempo de reacción para el primer vehículo en un semáforo

Es el tiempo que un vehículo tarda en reanudar la marcha desde que el semáforo está en verde. Se asignó un valor de **1,1 segundos** para todo tipo de vehículos.

En la siguiente figura se muestran los valores de estos parámetros.

Experimento: 1537, Nombre: Experimento 1537

Inicial | Comportamiento | **Tiempo de Reacción** | Llegadas | Elección de Ruta | Variables | Políticas | Atributos

Paso de Simulación (en segundos)
Paso de Simulación: 0.75

Tiempo de Reacción (relacionado con el paso de simulación)
 Fijo (el mismo que el Paso de Simulación)
 Variable (un múltiplo del Paso de Simulación)

Valores (en segundos)
Tipo de Vehículo: 62: Coche

Tiempo de Reacción	Tiempo de Reacción en parada	acción para el primer vehículo en	Probabilidad (0,1]	Añadir
0.75	1.1	1.1	1	Eliminar

Aceptar Cancelar

Figura 4.22: Paso de simulación, tiempo de reacción, tiempo de reacción en parada y tiempo de reacción para el primer vehículo en un semáforo.

Llegadas de los vehículos:

Es la manera de introducir vehículos en la simulación. Según la red a estudiar se elegirá una de las siguientes opciones:

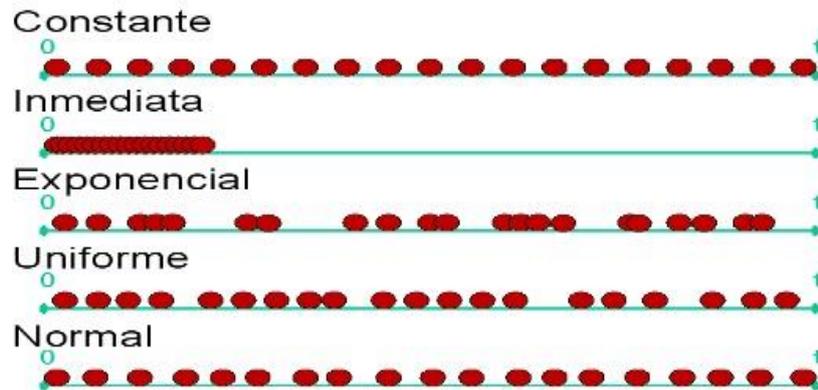


Figura 4.23: Formas de introducir vehículos en la red.

- Constante: Por ejemplo en salidas de vehículos de un parking o peajes de autopistas...
- Inmediata: Por ejemplo en salidas de eventos deportivos o de otra naturaleza en el cual salen todos los vehículos a la vez
- Exponencial: Es la más utilizada en una situación normal. Introduce vehículos de forma aleatoria.
- Uniforme y normal: Son similares a la exponencial pero menos fieles a la realidad.

Se tomó distribución **exponencial** debido a que se ajusta perfectamente a nuestro caso.

Elección de ruta, tiempo de ciclo y número de intervalos:

Mediante un modelado microscópico se consigue una red dinámica ya que los vehículos van tomando las rutas más convenientes o de menor coste.

Pues bien, el **tiempo de ciclo** es el tiempo que el simulador toma para enrutar los vehículos posteriores hacia estas rutas de menor coste y el **número intervalos** es el número de periodos de duración del tiempo de ciclo que toma para calcular costes. Se tomó un tiempo de ciclo de **15 minutos** y un número de intervalos igual a **1**.

Peso de la atractividad y peso del coste definido por el usuario:

En un modelado microscópico las rutas se asignan de forma dinámica, en función del coste de éstas, calculado de la siguiente manera (ver apartado 3.2.2.):

$$\text{Coste} = T_v + T_v Y (1 - A_j / A_{max}) + K C_u$$

De la expresión anterior podemos determinar la capacidad de las vías y el coste definido por el usuario (C_u), en nuestro caso igual a cero. Estos dos parámetros se definen en el cuadro de diálogo de cada sección como se muestra a continuación:

Figura 4.24: Capacidad y coste definido por el usuario en secciones.

También definimos el peso de la atractividad (Y) y el peso del coste definido por el usuario (K), 1 y 0 en nuestro caso respectivamente. Estos parámetros se definen en el experimento como se muestra en la siguiente figura:

Experimento: 1537, Nombre: Experimento 1537

Inicial | Comportamiento | Tiempo de Reacción | Llegadas | Elección de Ruta | Variables | Políticas | Atributos

Ciclo: 0:15:00 Número de intervalos: 1

Peso de la Atractividad: 0 Peso del Coste Definido por el Usuario: 0 Proporcionar tiempo de viaje

Uso de Rutas O/D y de Resultados de una Asignación de Caminos

Tipo de Vehículo	Siguiendo Rutas O/D	Siguiendo los Resultados de una Asignación de Caminos
62: Coche	100 %	100 %

Modelo de Elección de Ruta

Tipo: Fijo usando los tiempos de viaje en condiciones de flujo libre Dinámico

Básico | Parámetros | Porcentaje en ruta

Árbol de Caminos Mínimos

K-Caminos Mínimos Iniciales: 1 Número Máximo de Rutas a guardar: 10

Número Máximo de Rutas: 3

Costes Históricos del Arco

Usar Costes Históricos de los Arcos des la Replicación: No usar

Aceptar Cancelar

Figura 4.25: Peso de la atractividad y coste definido por el usuario.

4.3.2.3 PARAMETROS LOCALES

Los parámetros locales hacen referencia a parámetros de cada una de las partes que integran el modelo como son las secciones, los nodos o las intersecciones:

Secciones

Límite de velocidad: Determina la velocidad de los vehículos y como consecuencia el tiempo de viaje. Se debe especificar la velocidad a la que circulan los vehículos por la vía de manera real. No tiene que ser el que marque la ley de circulación ya que muchas veces, los conductores no la aplican en sus trayectos.

Capacidad de la sección: La capacidad de una sección se define como el máximo volumen de vehículos por hora que pueden circular de forma razonable por ésta, teniendo en cuenta las condiciones del tráfico, características geométricas y condiciones climáticas. Este parámetro influye en el tiempo de viaje, longitud de colas y velocidad de los vehículos.

En el siguiente mapa se muestra con colores la velocidad de las vías (valores entre 0 y 60 km/h), el grosor de línea refleja la capacidad en pcu/h (valores entre 0 y 2700 pcu/h). Colores más verdes y líneas más gruesas representan mayores valores.



Figura 4.26: Velocidad y capacidad de las vías.

Distancia zonas cambio de carril: El proceso de decisión de cambio de carril se modela usando tres zonas definidas en función de la distancia (en segundos) al próximo giro. Las diferentes zonas corresponden a un tipo de motivación diferente con respecto al cambio de carril:

- Zona 1: Las decisiones son debidas a las condiciones de tráfico: velocidad deseada, vehículos que preceden, etc.
- Zona 2: La proximidad a un giro incrementa las ganas de cambiar de carril de un vehículo si tiene espacio suficiente.
- Zona 3: Debe girar obligatoriamente, fuerza un hueco si es necesario.

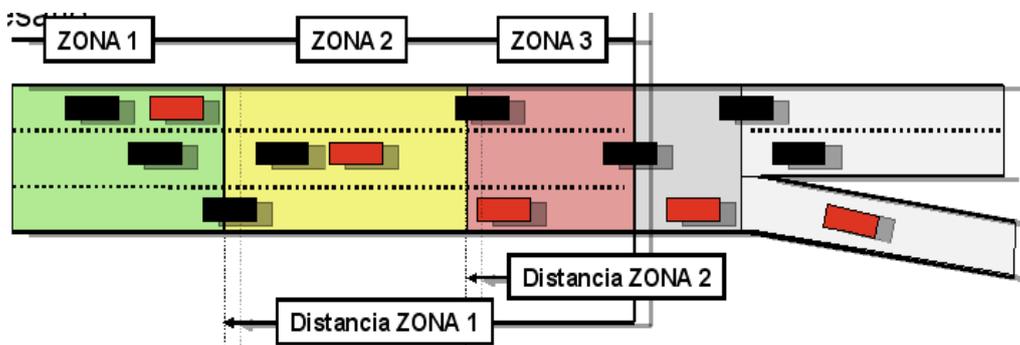


Figura 4.27: Distancia a las zonas de cambio de carril en secciones.

Estos parámetros se definen para cada sección de la siguiente manera:

Figura 4.28: Definición de zonas de cambio de carril en secciones.

Nodos o intersecciones:

Yellow box: Si se señala un nodo como yellow box no se permite la parada de vehículos dentro de éste, de esta forma se previene que los vehículos bloqueen la intersección.

Líneas de parada: Son líneas que se colocan en el giro de un determinado carril o carriles y controlan que cuando el semáforo que regula este giro esté en ámbar los vehículos paren en este punto antes de atravesar la intersección. De esta forma logramos que avancen hasta ese punto y no hasta el vehículo siguiente pudiendo bloquear la intersección. En la siguiente figura se observa como los vehículos se detienen en la línea de parada, cediendo el paso a otros que vengan con prioridad de paso.

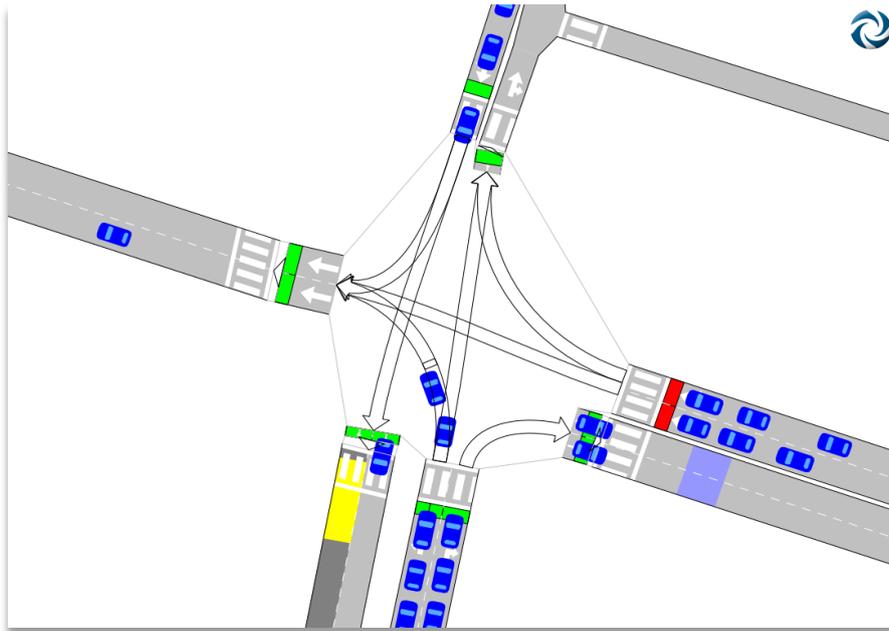


Figura 4.29: Líneas de parada.

Velocidad de giro: Es la velocidad de los vehículos dentro del nodo. Determinan la capacidad de giro, tiempo de viaje y velocidad media

Porcentaje en rojo: El porcentaje en rojo determina la agresividad de los conductores en el semáforo. Como ejemplo un tiempo de ámbar de 3 segundos y un porcentaje en rojo del 20% quiere decir que durante el 20% del tiempo de ámbar (0,6 segundos), los vehículos interpretan que el semáforo está en rojo, y el resto del tiempo (2,4 segundos), interpretan semáforo en verde. Es importante conocer bien la zona de estudio para determinar este parámetro

En nuestro modelo se dio un valor de **0 segundos** a este parámetro, es decir, se interpretó que todo el tiempo de ámbar era verde para los conductores.

Desplazamiento: El desplazamiento determina el inicio del ciclo semafórico definido en una intersección con respecto a las intersecciones anteriores y posteriores. En nuestro caso este dato viene definido por el Ayuntamiento de Valladolid y se incluyen en los planes de control semafóricos que nos fueron proporcionados.

Representación geométrica

Se debe modelar la geometría de la red de forma simple. Es decir, las secciones se deben representar con el menor número de vértices posible y los cruces de forma sencilla. Por ejemplo:

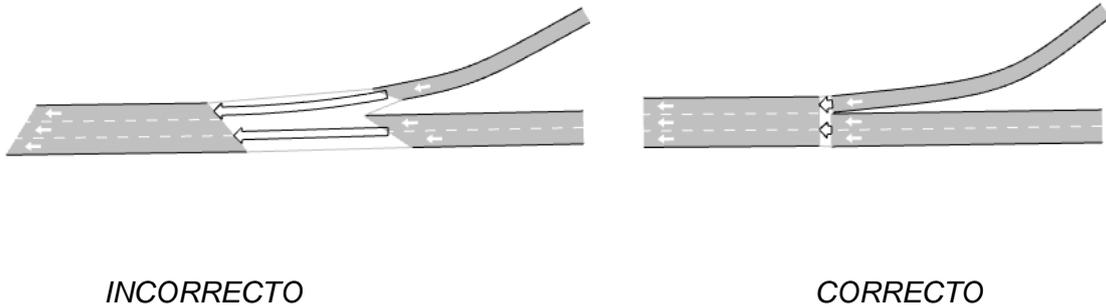


Figura 4.30: Representación geométrica de las secciones.

De esta forma se consigue que los vehículos no hagan movimientos extraños y no se queden atrapados en ningún punto de la red pudiendo crear colapsos.

4.3.3 - VALIDACIÓN DEL MODELO

4.3.3.1 -MÉTODO DE VALIDACIÓN

El proceso de validación de nuestro modelo se llevó a cabo mediante regresión lineal. Esta técnica estadística permite modelar e investigar la relación entre dos o más variables. En nuestro caso la utilizamos para identificar la validez de nuestros datos respecto a la realidad.

Representamos con puntos pares de valores (x, y) donde:

- **x:** variable dependiente correspondiente a los datos reales de espiras.
- **y:** variable independientemente correspondiente a los datos recogidos en los detectores situados en el modelo, de forma análoga a las espiras en la realidad.

Tenemos una nube de puntos de la siguiente manera:

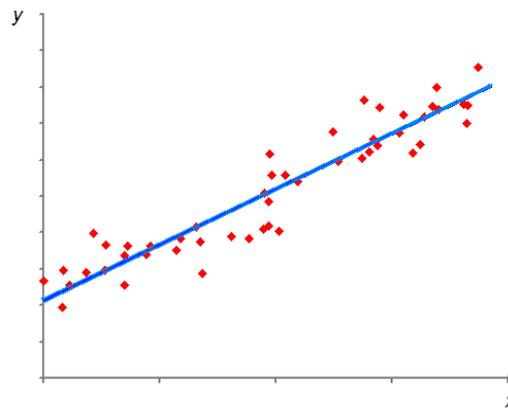


Figura 4.31: Representación de valores (x, y) .

Esta nube de puntos es ajustada a una recta:

$$y = ax + b$$

donde:

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

Se calcula mediante regresión lineal el valor de este par de datos definiendo la recta que mejor se ajusta a esta nube de puntos:

El **parámetro "b"** se calcula:

$$b = \frac{1/n * \sum (x_i - x_m) * (y_i - y_m)}{1/n * \sum (x_i - x_m)^2}$$

- donde:
 - n=número de pares de valores considerados.
 - X_i = valor de la variable x
 - X_m = media de todos los valores de la variable x
 - y_i = valor de la variable y
 - y_m = media de todos los valores de la variable y

El **parámetro "a"** se calcula:

$$a = y_m - (b * x_m)$$

Para mostrar la calidad de nuestra validación utilizamos el **coeficiente de correlación lineal 'r'**. Es una medida numérica sobre la relación 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 cercano se encuentre dicho coeficiente a +1, la regresión lineal realizada se ajusta mejor a los datos.

4.3.3.2 -VALIDACIÓN DEL MODELO

Nuestro modelo fue validado mediante datos de espiras. Diez de ellas se encuentran situadas en el conjunto de Avenida Palencia y Calle Rondilla de Santa Teresa y otras dos situadas en la Calle Rábida, que une el Barrio de la Rondilla con el Barrio de la Victoria.

Por otra parte se tuvo en cuenta la **formación de colas, descargas, problemas de tráfico de la red y origen de éstos, comportamiento de vehículos y reacciones de los conductores, etc.** Es decir, nos percatamos de que el modelo representara todas las características que determinan el comportamiento de la red real y hasta entonces no finalizó el proceso de calibración.

Validación mediante datos de espiras

Se comparan los datos de aforo (nº de vehículos) procedentes de los datos de espiras (dato real), con los datos medios procedentes de la simulación (dato simulado).

Se colocaron 12 detectores en la red de manera análoga a las espiras reales numerados de esta forma, tal y como son numerados por el Gabinete de Movilidad Urbana:

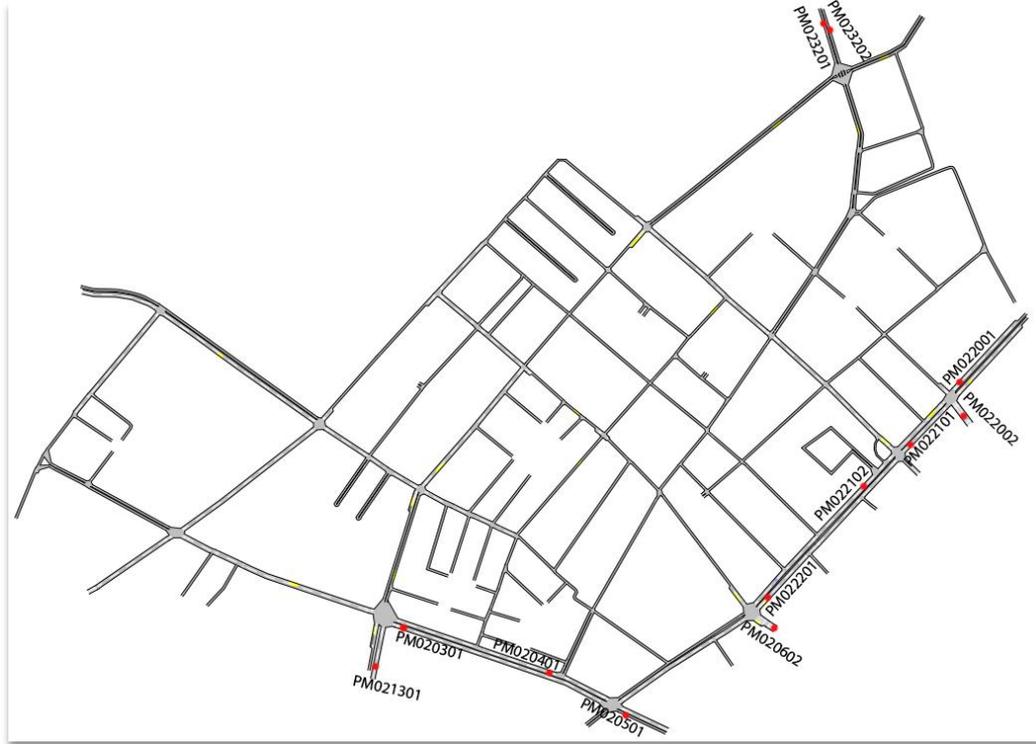


Figura 4.32: Numeración de detectores.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

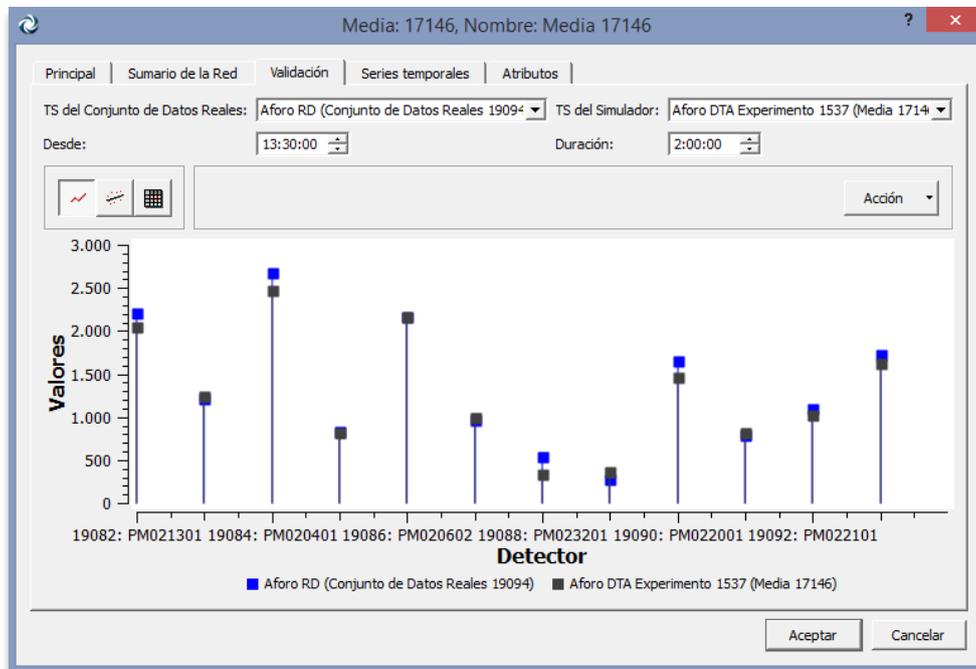


Figura 4.33: Comparación de aforo (nº de vehículos) de datos reales (espiras) con simulado (detectores).

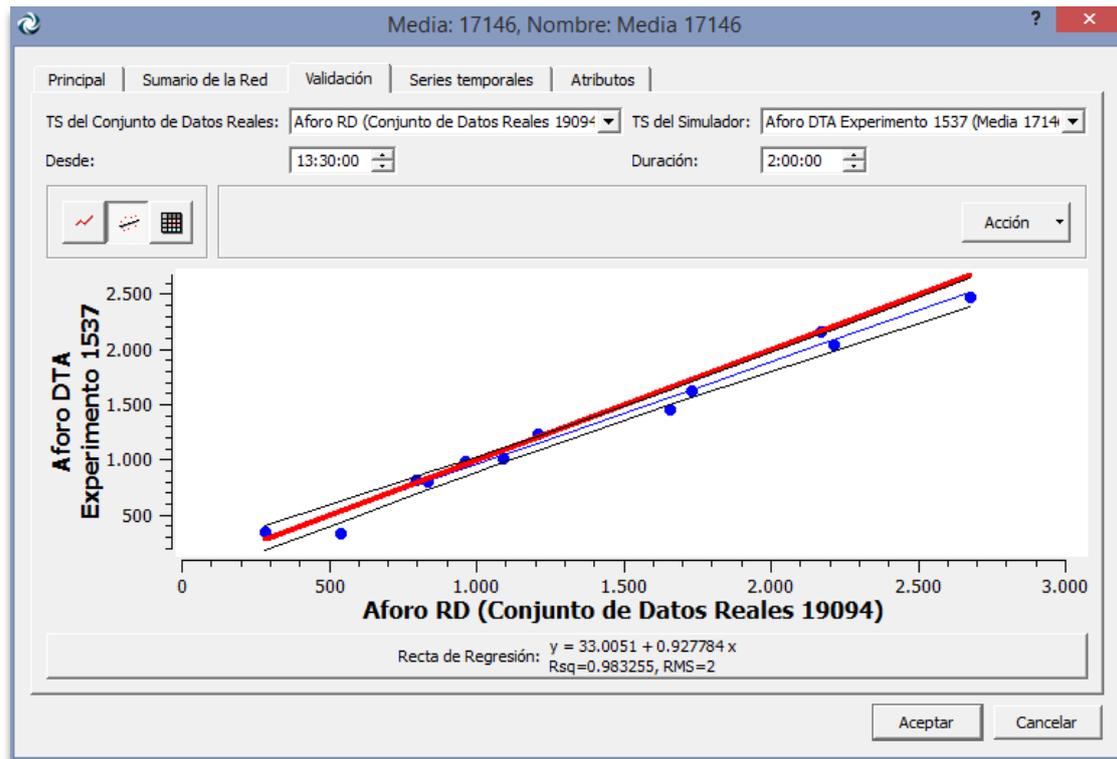


Figura 4.34: Resultado de la validación mediante datos de espiras.

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 vuelve a ser practicamente 1:

$$r^2=0,983255$$

Existen puntos alejados de la recta ya que al simular el modelo con los datos reales se saturaba la circulación produciéndose paradas de circulación quedando los vehículos atascados. Se ha conseguido ajustar lo máximo posible evitando esas saturaciones en la vía. El punto más crítico hace referencia a la entrada al barrio desde la C/Rábida por el puente de Sta. Teresa. Aun así, se observa un valor de r^2 muy próximos a 1 lo cual quiere decir que las diferencias entre los valores reales y simulados no son muy reseñables. Por otra parte 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.

4.4 -ANÁLISIS DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Todos los resultados mostrados en este apartado están referidos a la media de replicaciones dado que los resultados de una replicación concreta no son representativos.

A continuación se muestran los siguientes tipos de resultados:

- Mapas de flujo de vehículos y densidad de tráfico
- Análisis de parámetros globales
- Otras características de la red

4.4.1 - MAPAS DE FLUJO Y DENSIDAD DE TRÁFICO

Flujo de vehículos (veh/h):



Figura 4.35: Mapa de flujo de vehículos (veh/h).

- Grosor de línea: Flujo medio de vehículos por sección. Valores entre 0-1800 veh/h.
- Color: Flujo de vehículos vs capacidad de la vía por sección. Valores entre 0-115 %.

Este mapa nos da idea de las vías con mayor flujo medio de vehículos. También nos muestra mediante colores el flujo de vehículos respecto a la capacidad de la vía. Las vías representadas en colores más oscuros indican que están más cerca de la saturación.

Pese a que la C/ Rondilla de Santa Teresa tenga un flujo mucho mayor de vehículos que las demás calles del barrio, no representa un problema para la circulación al ser un vial que lo rodea teniendo una circulación fluida y de una velocidad adecuada a la vía. El problema aparece en calles interiores donde la presencia de vehículos en doble fila limita el espacio para la circulación, como es el caso de las calles Cardenal Cisneros y Cerrada. También surgen limitaciones en la entrada a la Avenida de Palencia al no estar controlado el tráfico que surge desde el Barrio Belén.

Densidad de tráfico (veh/km):



Figura 4.36: Mapa de densidad de tráfico.

- Color y grosor de línea: densidad media de vehículos por sección Valores entre 0-90 veh/km

Mediante este mapa de densidad de tráfico volvemos a observar que la Avenida de Palencia es el tramo más largo donde hay problemas. También se aprecian en la entrada desde la calle Gondomar y en la salida desde la C/ Cardenal Torquemada.

Ambos mapas están contruidos con valores medios. Para cada momento de la simulación existe un mapa diferente.

4.4.2 - ANÁLISIS DE PARÁMETROS GLOBALES

Se analizaron de manera global los siguientes parámetros:

- Flujo de vehículos (veh/h)
- Densidad de tráfico (veh/km)
- Longitud media de cola (veh)
- Velocidad (km/h)
- Tiempo de demora (s/km)

Obteniendo los siguientes resultados:

Flujo de vehículos (veh/h):

Gráficamente, el programa nos muestra el flujo de vehículos que pasan por las diferentes calles mediante un código de colores, de verde a rojo, siendo los tramos de menos flujo pintados en verde y los de mayor flujo en gamas de rojo. La siguiente figura muestra el mapa de la Rondilla según su flujo de vehículos en la hora punta:



Figura 4.37: Mapa de flujo de vehículos (veh/h).

Se puede apreciar en el mapa como la parte exterior, Avenida de Palencia y C/ Rondilla de Santa Teresa son las calles con más flujo de vehículos. Destacan también la calle Tirso de Molina, con un alto flujo para la capacidad de su vía, y la calle Cardenal Cisneros, ambas de un único carril por donde circulan los vehículos.

En la figura 4.38 se muestra el número de vehículos por hora que se encuentran en la red a lo largo de dos horas de simulación.

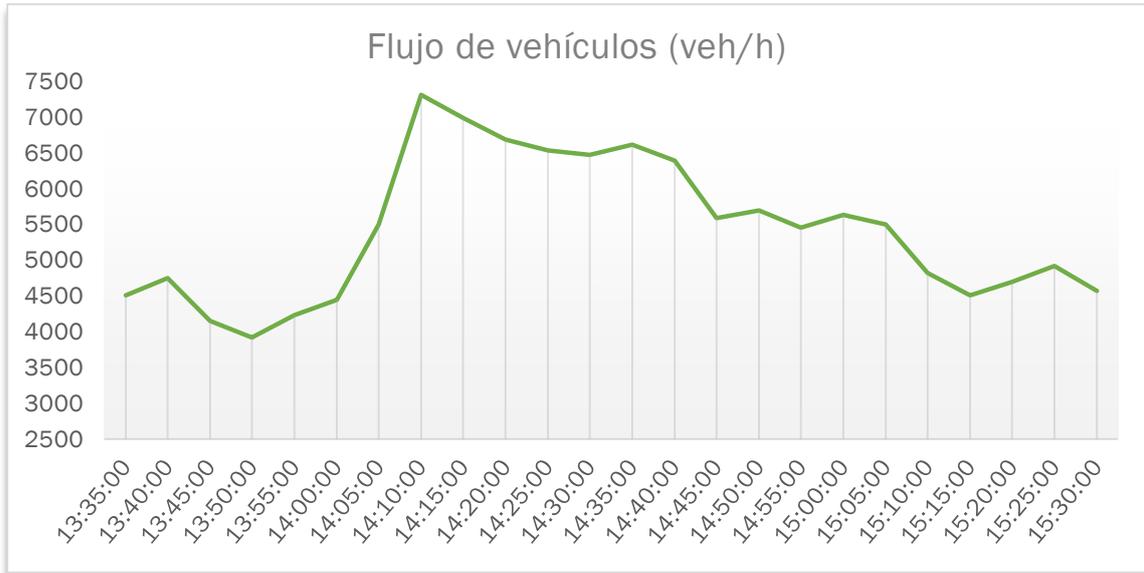


Figura 4.38: Flujo de vehículos (veh/h).

Se aprecia como existe un incremento de flujo en la hora punta, en el intervalo de tiempo entre las 14:00 y las 14:40 disminuyendo el rango de los valores para tiempos fuera de esa franja horaria.

Densidad de tráfico (veh/km):

La siguiente figura hace referencia a la densidad de vehículos en la zona de estudio, el número de vehículos en el espacio existente.



Figura 4.39: Densidad de tráfico (veh/km).

Si nos fijamos en esta figura, vemos que es acorde a la anterior que hacía referencia al flujo: a mayor flujo de vehículos se aprecia una mayor densidad. Este aumento también tiene lugar en el tramo de hora punta.

Longitud media de cola (veh):

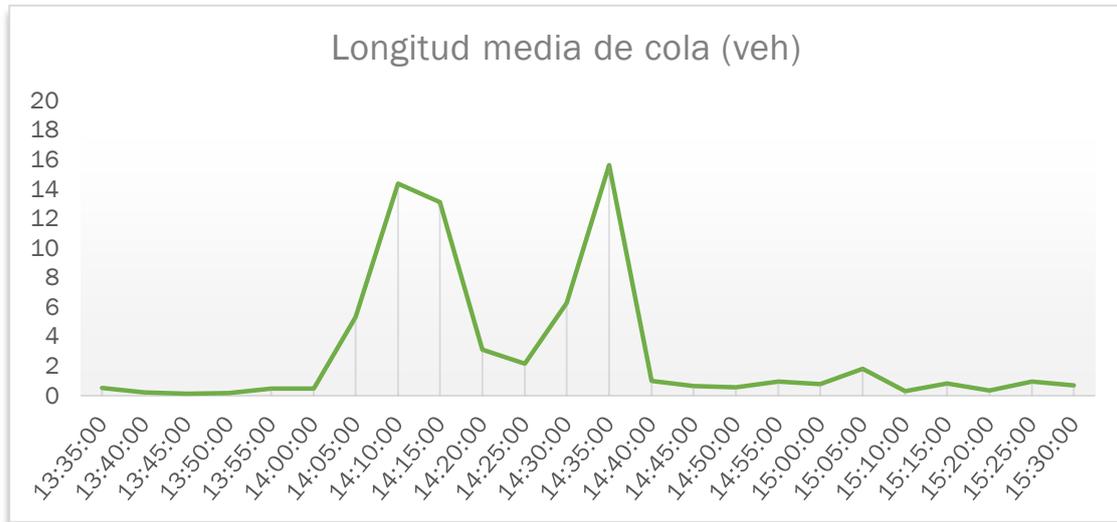


Figura 4.40: Longitud media de cola (veh).

A medida que va aumentando la densidad, el número de coches esperando también se ve incrementado. En el intervalo de hora punta, más coches quieren entrar en el barrio, por lo que la cola de entrada aumenta.

Velocidad



Figura 4.41: Velocidad (km/h).

Un mayor número de vehículos en la red hace que el movimiento que existe en su interior se vea ralentizado. En nuestro caso, este descenso se empieza apreciar a partir de las 14:00 y llega a su valor mínimo a las 14:35. Se aprecia que en los momentos donde existen picos de flujo y densidad, la velocidad es menor.

Tiempo de demora:

El tiempo de demora de un vehículo en realizar un trayecto determinado viene dado por la expresión:

$$TD=TT-TFF$$

- 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.

El tiempo de demora se puede interpretar como el tiempo de 'retraso' de un vehículo motivado por el resto de vehículos, capacidad de la vía, etc. respecto a la situación ideal en la que solo existiría la restricción impuesta por la velocidad de la vía.



Figura 4.42: Tiempo de demora (s/km).

Tiempo de viaje:**Figura 4.43:** Tiempo de viaje (s/km).

El tiempo de viaje expresado en s/km es el valor medio de los tiempos que tarda un vehículo en realizar su recorrido.

Los valores medios de estos parámetros son:

Flujo de vehículos	5418 veh/h
Densidad de tráfico	11,695 veh/km
Longitud media de cola	2,96 veh
Velocidad	23,732 km/h
Tiempo de demora	115,161 s/km
Tiempo de viaje	184,86 s/km

Tabla 4.3: Análisis de parámetros globales. Valores medios.

Conclusiones

Como se dijo anteriormente en este capítulo, el estudio del tráfico del barrio se ha realizado sobre el intervalo de hora punta, que definimos de 14:00 a 15:00. Se han tomado intervalos de tiempo anteriores y posteriores para apreciar aún mejor la diferencia existente entre los tramos que no se denominan hora punta.

En todos los parámetros estudiados se aprecia que este intervalo de tiempo destaca sobre la media. El flujo de vehículos incrementado en la hora punta arrastra consigo a los valores de densidad y tiempos, haciendo que cuando aumenta el flujo, los otros aumenten también en distinta proporción. En el caso de la velocidad, ocurre lo contrario. Al existir un mayor flujo y densidad, los vehículos encuentran más dificultad para moverse a la velocidad deseada, sufriendo un descenso que se ve acentuado en la hora punta.

Al ejecutar la simulación del modelo, se observa que la red sufre una saturación de vehículos en zonas concretas, apareciendo atascos puntuales. Esto se puede observar, como se ha comentado con anterioridad, en la confluencia de la calle Cardenal Cisneros con la calle Cerrada, en la entrada al barrio desde la Avenida Santander, y en la entrada y salida desde la calle Rábida y el puente de Santa Teresa. Estas retenciones de tráfico se aprecian en la gráfica de longitud de cola, donde toma máximos valores en el periodo conflictivo.

Los valores que hacen referencia a los tiempos no nos ayudan a sacar conclusiones debido a que fluctúan dentro de unos parámetros razonables. Pero se observa que en la hora punta, los tiempos se ven incrementados.

4.4.3 - OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LA RED

Tiempo de parada y número de paradas:

Tiempo de parada: Es el valor medio, expresado en s/km, de los tiempos que cada vehículo de los que componen la demanda de tráfico se mantiene parado durante el recorrido de su camino.

Número de paradas: Es el valor medio de los números de paradas que cada vehículo de los que compone la demanda de tráfico para durante el recorrido de su trayecto.

Se obtuvieron los siguientes valores de estos parámetros:

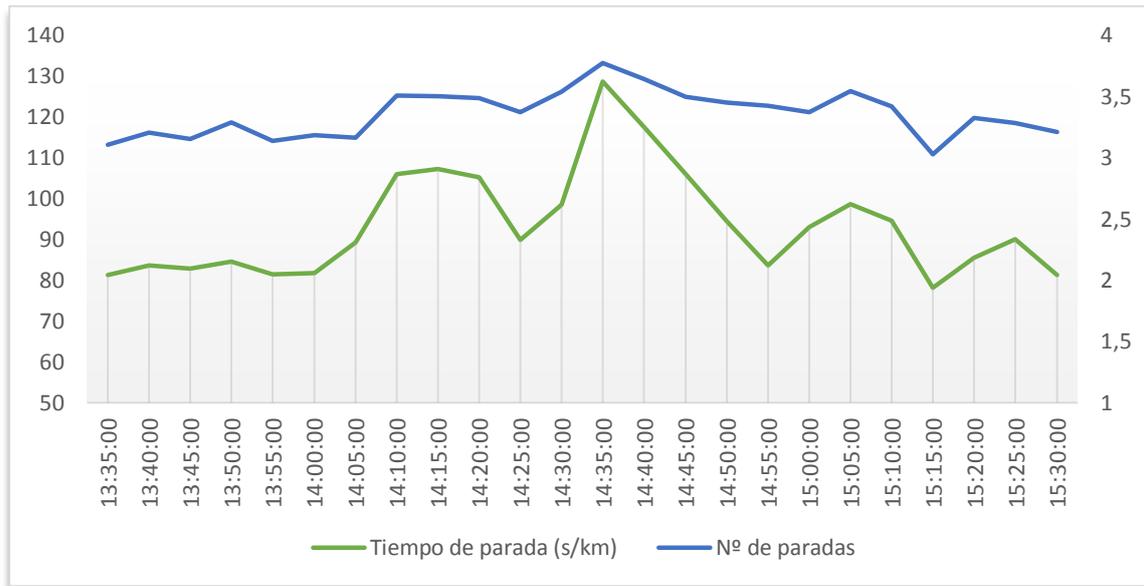


Figura 4.44: Tiempo de parada (s/km) y número de paradas.

A simple vista se observa como el mayor tiempo de parada coincide en con el mayor número de paradas de los vehículos durante el recorrido por el modelo.

Distancia total viajada

Distancia total viajada: Es la suma, expresada en km, de las distancias recorridas por cada vehículo de los que componen la demanda de tráfico desde su origen a su destino.



Figura 4.45: Distancia total viajada (km).

Esta figura muestra como se ha incrementado la distancia que recorren los vehículos que circulan por la red en el momento que circulan por ella el mayor número de ellos. A mayor cantidad de vehículos, la suma de distancia viajada será mayor.

Tiempo total de viaje

Es la suma, expresada en segundos, de los tiempos que tarda cada vehículo que compone la demanda de tráfico en recorrer su trayecto.



Figura 4.46: Tiempo total de viaje (s).

Cómo ocurre en todas las gráficas anteriores, el pico aparece en el periodo de hora punta, cuando el número de vehículos en la red es mayor.

Los valores medios de los parámetros anteriores son:

Tiempo de parada	95,249 s/km
Número de paradas	3,39
Distancia total viajada	9383,34 km
Tiempo total de viaje	441,06 h

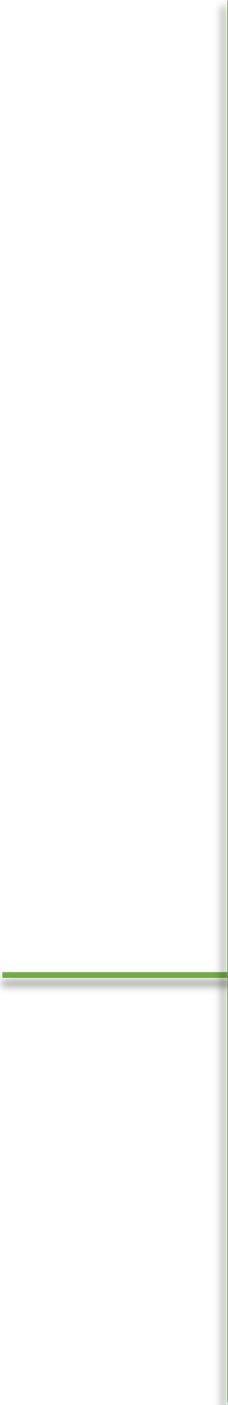
Tabla 4.4: Análisis de otras características. Valores.

Conclusiones

Al igual que ocurría con los parámetros principales de la red, en el intervalo de hora punta se aprecia un aumento de todos los valores estudiados.

Cuanto más vehículos se encuentren en la red mayor serán los valores que se obtienen de tiempo de parada y número de paradas. Ocurre lo mismo con los valores totales de distancia y tiempo, que muestran su pico cuando existe un mayor número de vehículos en el interior de la zona de estudio.

Sólo cabe reflejar que los resultados expuestos están referidos a la media de repeticiones, ya que pueden existir diferentes situaciones según la replicación. Es decir, los resultados expuestos son una media de situaciones ocurridas en varios días, no que todos los días ocurra lo expuesto. A ello se le ha unido las características del tráfico y comportamiento de la red observado en los aforos realizados “in situ” aplicados en el modelo mediante la calibración del mismo.



Capítulo 5:

**Análisis de
propuestas de tráfico**

5.1 -INTRODUCCIÓN

En el capítulo anterior se ha definido y modelado el barrio de la Rondilla y para poder realizar una simulación y estudio del tráfico rodado que circula por esa zona de la ciudad de Valladolid. Ese modelo ha sido definido de acuerdo a las condiciones de tráfico que se observan a lo largo de toda su superficie en un día normal.

Como ya se ha dicho con anterioridad, el barrio de la Rondilla nació para dar satisfacción a la necesidad de viviendas de aquellas personas que llegaron a la ciudad en busca de trabajo procedente del entorno rural. Con el crecimiento que ha sufrido Valladolid, esta zona, que se encontraba en las afueras de la ciudad, ha pasado a formar parte del centro urbano, siendo en la actualidad una zona por la que pasa una gran cantidad de vehículos a lo largo del día.

Al ser una zona fundamentalmente de viviendas y de pequeños comercios, la necesidad de aparcamiento hace que predomine en muchas de sus calles el aparcamiento en doble fila, inhabilitando alguno de los carriles de las vías y disminuyendo el espacio para la circulación, produciéndose atascos o limitaciones de movimiento a determinadas horas del día.

Uno de los grandes inconvenientes al que nos enfrentamos para poder realizar propuestas de tráfico es la falta de espacio en la superficie y la imposibilidad de modificar las infraestructuras al estar limitado por la presencia de edificios.

Por tanto, las propuestas que se harán en este capítulo estarán referidas a cambios en la ordenación del tráfico, en los límites de velocidad de las calles que forman el barrio. Estas modificaciones en la velocidad de las vías son propuestas que pueden realizarse en un futuro cercano ya que, en la actualidad, se está limitando la velocidad de circulación en las grandes ciudades en busca de una disminución de emisiones contaminantes a la atmósfera.

5.2 -ANÁLISIS DE LOS PROBLEMAS

Cómo se ha comentado en la introducción, la Rondilla es una zona de acogida de vehículos y una zona de paso del tráfico desde la ronda exterior al centro de la ciudad. Esto da lugar a dos problemas fundamentales a la hora de enfrentarnos al tráfico:

Retenciones en las entradas: El número de coches que quieren entrar al barrio por las calles Gondomar, Rábida y por la Avenida Santander es superior a la capacidad de las vías de entrada, provocando colas de vehículos apareciendo sus valores máximos en el tramo central de la hora punta.

Limitación de movimiento en el interior del barrio: Esto es consecuencia de la necesidad de albergar aparcamiento que tienen los vehículos que acceden a esta zona ya sea para ir a su vivienda o a los negocios que existen en el barrio. Esta demanda de aparcamiento hace que calles diseñadas para dos carriles vean disminuidas su número de vías a raíz de la existencia de vehículos estacionados en doble fila. De esta forma, la capacidad de esas calles sea mucho menor que en el origen de su creación.

Ambos problemas son de difícil solución porque nos encontramos en una zona céntrica de la ciudad donde el espacio está muy limitado por todas las infraestructuras y viviendas. Las calles internas del barrio cuentan con una distancia entre edificios de unos diez-veinte metros en las que, si se quiere albergar zonas de peatones, de vehículos y aparcamientos, el espacio dedicado a cada una de ellas debe ser el mínimo posible con las condiciones adecuadas de comodidad.

Una de las posibles soluciones sería la creación de aparcamientos que aliviase la congestión de las calles y facilitase el aparcamiento a vecinos y comerciantes, pero nos encontramos con la misma limitación: poco espacio disponible para creación de nuevos espacios. Otra posible solución sería limitar el aparcamiento en doble fila mediante control de tráfico mediante sanciones, pero esto sería una medida impopular al no dar como alternativa una zona de aparcamiento disponible.

Al ser soluciones externas al control de tráfico, se crearán modelos con propuestas de velocidades zonales diferentes sobre los que se harán simulaciones y se compararán con el modelo real que se ha analizado en el capítulo 4.

5.3 -PROPUESTAS DE TRÁFICO

En este apartado se definirán las propuestas de tráfico que se han aplicado en el barrio de la Rondilla para ver si es posible mejorar la situación actual. Se han realizado cinco modelos diferentes que se compararán con el modelo de la situación real que hemos definido en el capítulo anterior, para ver las posibles mejoras. Las propuestas analizadas son las siguientes:

- **Situación ideal:** Modelo eliminando las limitaciones existentes por los estacionamientos en doble fila, definiendo las vías tal como estaban en su diseño inicial.
- **Zonas 30 sobre el modelo real:** Se define la zona interna del barrio como zona limitada a 30 km/h dejando únicamente a la Avenida de Palencia y a la Calle Rondilla de Santa Teresa como vías de 50 km/h.
- **Zonas 30 sobre el modelo ideal:** La zona interior será limitada a 30 km/h pero con la capacidad ideal y vías sin estacionamientos en doble fila.
- **Zonas 10 con viales de acogida:** Se definen zonas residenciales limitadas a 10km/h con viales de acogida limitados a 50 km/h.
- **Creación de Rotondas en puntos de entrada:** Se crean tres rotondas en las zonas que existe espacio disponible para facilitar la descongestión en algunos puntos del barrio.

A continuación se describirán cada uno de los modelos y los cambios que se han realizado en él sobre la simulación de la situación real. Se compararan los resultados obtenidos atendiendo a los siguientes parámetros:

- Análisis de parámetros globales.
- Otras características de la red.

5.3.1 - SITUACIÓN IDEAL

En esta primera propuesta se pretende comprobar cómo sería el movimiento de los vehículos si las restricciones en las vías causadas por la doble fila no existiesen.

Para saber que calles son las que se enfrentan a este problema nos basamos tanto en el diseño en plano como en la situación que nos encontramos “in situ” al realizar el estudio en persona por el barrio.

Una vez estudiado la zona, se comprueba que hay dos zonas en las que la movilidad vehicular no es todo lo cómoda que debería debido a estos aparcamientos incorrectos. Los dos tramos que se ven afectados son:

- **C/Cardenal Cisneros - C/Cerrada:** Este tramo está ocupado normalmente por coches situados en doble fila de aparcamientos limitando la capacidad de la vía. Esta parte del barrio es la columna vertebral del mismo, que lo atraviesa y descarga su tráfico a la Avenida Palencia. La presencia de pequeños comercios hace que comerciantes y compradores usen la doble fila por comodidad y rapidez. En la siguiente figura veremos el cambio realizado del modelo ideal al modelo real:

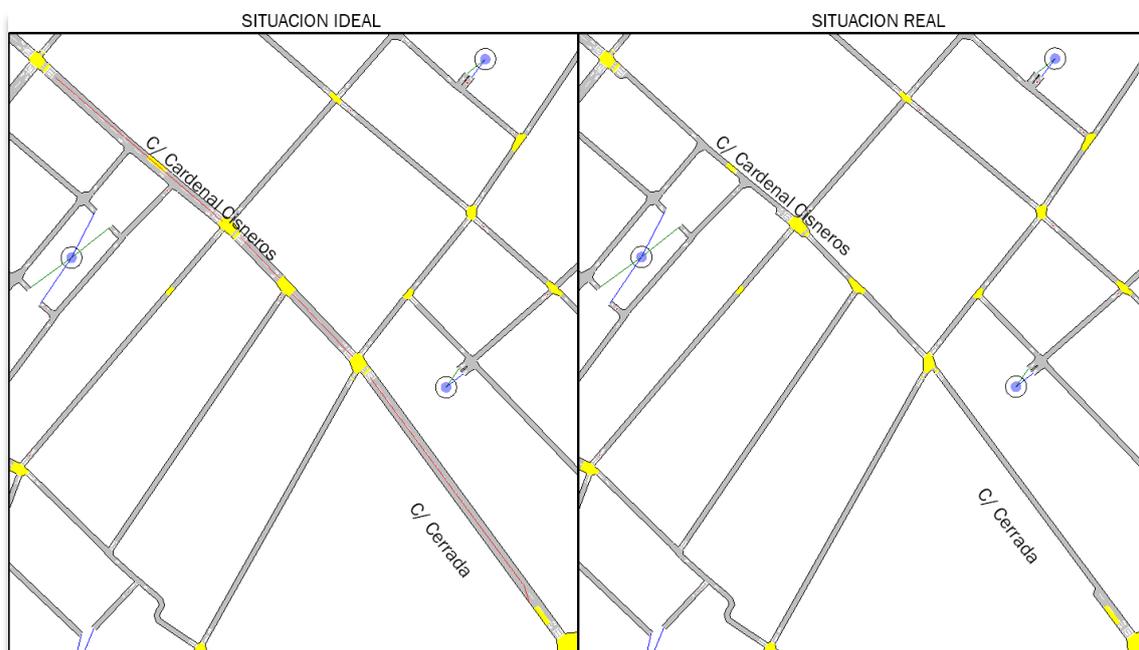


Figura 5.1: Diferencias en el modelo ideal y real de C/Cardenal Cisneros - C/Cerrada.

- **C/Soto – C/Mirabel:** Estas dos calles cuentan con zona de aparcamiento, pero en vez de situar los coches en línea, lo hacen en batería, invadiendo parte del

vehículo la vía y limitando el espacio. Se muestra en la siguiente figura los tramos de las calles afectados por estas circunstancias:

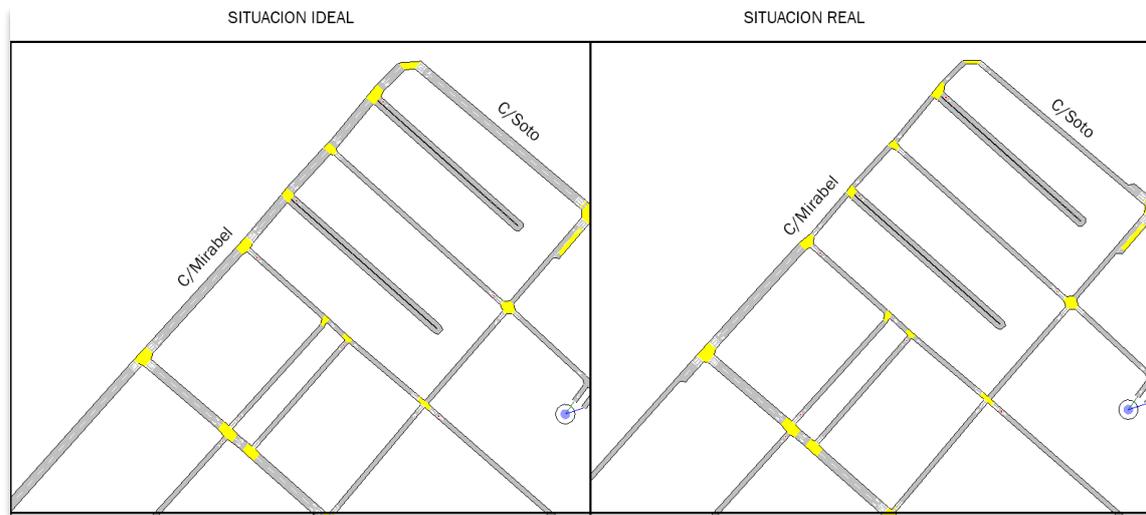


Figura 5.2: Diferencias entre modelos de la C/Soto-C/Mirabel.

Una vez definidas las calles que se ven afectadas por el cambio respecto al modelo analizado en el capítulo anterior, se lanza la simulación para ver las diferencias en los diferentes parámetros que afectan a la circulación de vehículos.

5.3.1.1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS GLOBALES

Se obtuvieron los siguientes valores de flujo de vehículos, densidad de tráfico y tiempo de demora para la situación ideal:

Flujo de vehículos (veh/h):

Cuando se realiza la simulación, lo primero que se obtiene es un sumario de la red donde se muestra un mapa de la zona estudiada con el flujo de vehículos que han pasado por sus calles. La figura 5.3 muestra dicho mapa:



Figura 5.3: Mapa de flujo de vehículos en la situación ideal.

Comparándolo con el mapa que se obtuvo en la situación real, se aprecia como en la zona central del barrio, C/ Cardenal Cisneros, el flujo de vehículos ha disminuido al haber aumentado la capacidad de la vía con la inserción de un nuevo carril. Lo mismo ocurre en la unión de la C/ Soto y la C/ Mirabel, la otra zona que se ha visto modificada respecto al modelo inicial.

En la siguiente figura se hace una comparativa gráfica de los resultados obtenidos en la simulación de este modelo y el real:

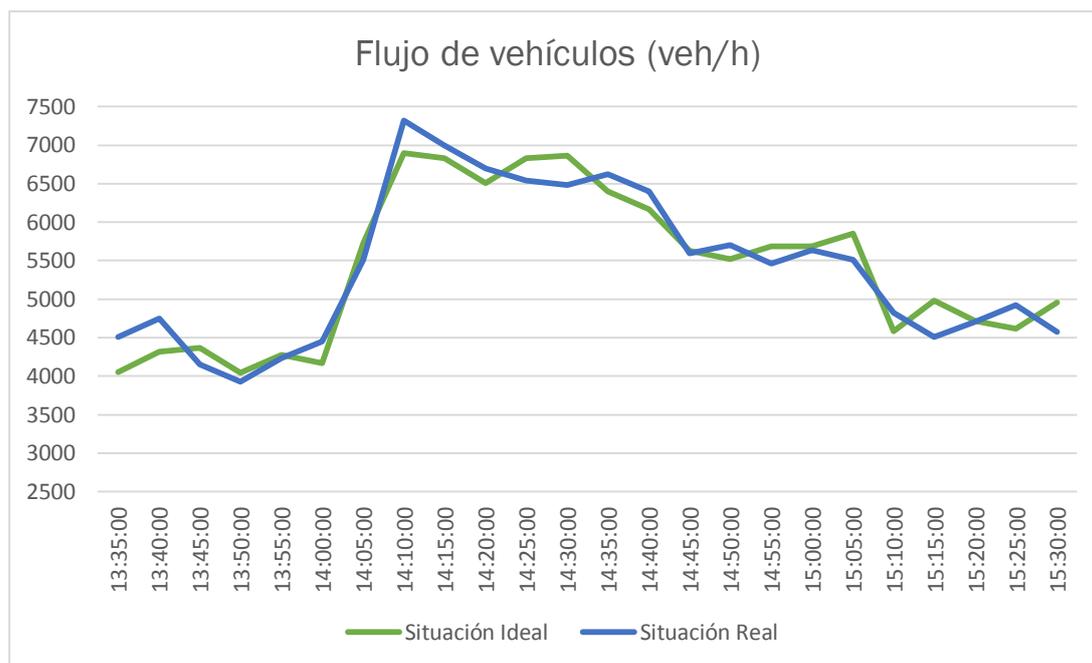


Figura 5.4: Comparativa de flujos de vehículos (veh/h). Situación Ideal.

Se observa en la figura 5.4 que el flujo de vehículos apenas tiene variaciones significativas, únicamente al final de la hora punta (14:45 a 15:00), cuando la cantidad de vehículos es mayor en la situación ideal al existir más capacidad por el aumento del número de carriles. Esta similitud en los valores de flujo es lógica al mantener la misma demanda de tráfico en ambas situaciones.

Los valores medios de estos parámetros se muestran en la siguiente tabla:

Flujo de vehículos	Veh/h
Situación Real	5418 veh/h
Situación Ideal	5403 veh/h

Tabla 5.1: Valores medios de flujos de vehículos. Situación Ideal

Esta tabla muestra una pequeña diferencia a favor de la situación propuesta gracias a, como se ha dicho antes, el aumento de la capacidad de las vías que facilita el paso de vehículos por sus calles.

Densidad de tráfico (veh/km):

En cuanto a las densidades de tráfico en las dos situaciones obtenemos la siguiente gráfica:

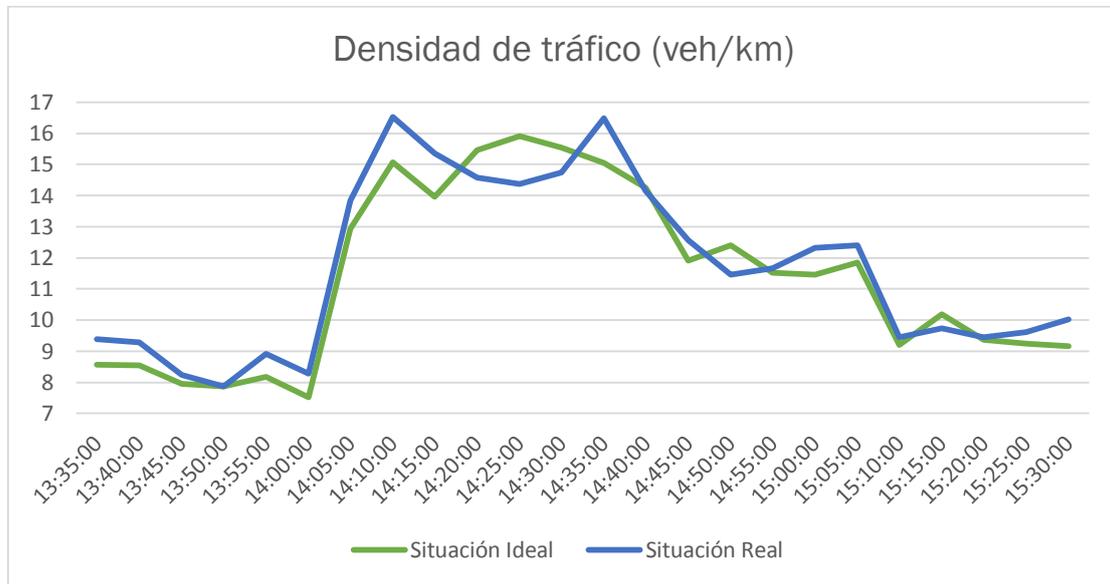


Figura 5.5: Comparativas de densidad de tráfico (veh/km). Situación Ideal.

Se puede ver en la figura anterior cómo la densidad en este modelo no tiene picos tan acusados. El máximo de densidad se da en el tramo central de la hora punta, siendo este valor menor que en el modelo real. Como ocurría con la situación real, a medida que el flujo va disminuyendo, la densidad va actuando de la misma forma, decreciendo a medida que pasa el tiempo de estudio.

Los valores medios de densidad son:

Densidad	Veh/km
Situación Real	11,695 veh/km
Situación Ideal	11,379veh/km

Tabla 5.2: Valores medios de densidad de tráfico. Situación Ideal.

La densidad en la nueva propuesta es menor pese a tener un flujo mayor. Esto se debe al aumento de metros de vías añadidos en este modelo.

Longitud media de cola (veh):

Las diferencias entre los vehículos que se encuentran fuera de la red esperando a entrar en ella se muestran en la siguiente figura:

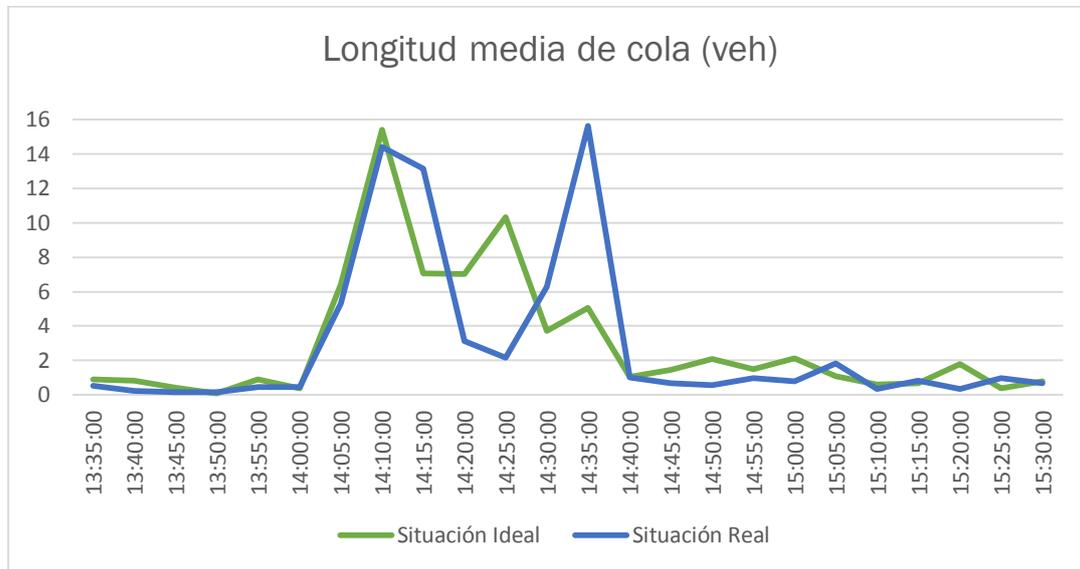


Figura 5.6: Comparativa de longitudes medias de cola (veh). Situación Ideal.

Se aprecia como la máxima longitud de cola, en esta nueva situación, tiene lugar al inicio de la hora punta para luego ir disminuyendo su valor con apariciones de picos locales. Se consigue eliminar el segundo pico que aparecía en la situación real, pero en cambio, las longitudes de cola en este nuevo modelo tienen valores más altos en más tramos del tiempo de estudio.

Los valores medios que obtenemos son:

<i>Longitud media de cola</i>	<i>Veh</i>
<i>Situación Real</i>	2,963 veh
<i>Situación Ideal</i>	3,004 veh

Tabla 5.3: Valores medios de longitud media de cola. Situación Ideal.

En este caso, pese a desaparecer el segundo pico, los demás valores, más altos en esta situación, hacen que la media sea mayor.

Velocidad (km/h):

Para las velocidades medias de circulación por la zona de estudio obtenemos la figura 5.7:

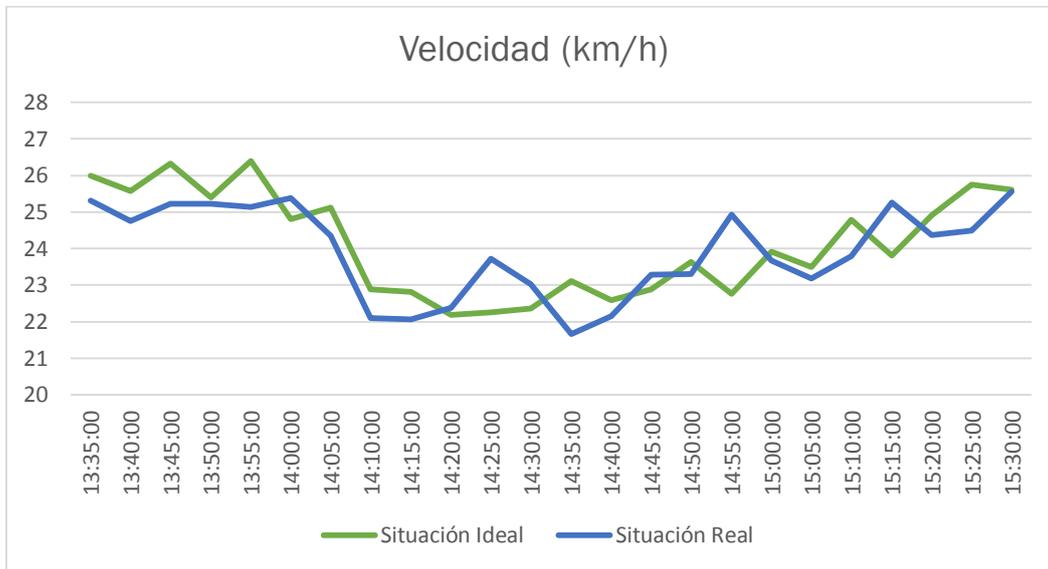


Figura 5.7: Comparativa de velocidades (km/h). Situación Ideal.

Esta gráfica sigue la misma tónica que las anteriores, valores más favorables fuera de la hora punta para la situación ideal e intercambio de resultados para el tramo de mayor flujo en ambas situaciones. Se ve como la velocidad actúa contraria a la densidad: cuando existe más densidad, menor es la velocidad de movimiento vehicular al existir menos espacio de circulación.

La tabla para los valores medio de velocidad es la siguiente:

Velocidad	km/h
Situación Real	23,732 km/h
Situación Ideal	23,92 km/h

Tabla 5.4: Valores medios de velocidad. Situación Ideal.

Apenas existen diferencias entre los dos modelos estudiados, muy poco favorable a la situación ideal.

Tiempo de demora (s/km):

En cuanto al tiempo de demora de los medios de transporte en ambos modelos se tiene esta gráfica:



Figura 5.8: Comparativas de tiempos de demora (s/km). Situación Ideal.

Acorde a las longitudes medias de cola, cuanto más valor tenemos de vehículos esperando, mayor es el tiempo de demora en la situación correspondiente.

El tiempo de demora medio para cada situación es:

Tiempo de demora	s/km
Situación Real	115,161 s/km
Situación Ideal	118,474 s/km

Tabla 5.5: Valores medios de tiempo de demora. Situación Ideal.

Como ocurría con la longitud media de cola, el valor real es menor que el ideal, con una diferencia de tres segundos por kilómetros a favor de la real.

5.3.1.2 OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LA RED

En este apartado se hará referencia al tiempo de parada, al número de paradas, a la distancia total recorrida y al tiempo total de viaje.

Tiempo de parada (s/km) y número de paradas:

Indica el tiempo que están parados los vehículos por kilómetro y el número de paradas que hacen. Gráficamente se ve en la figura 5.9:

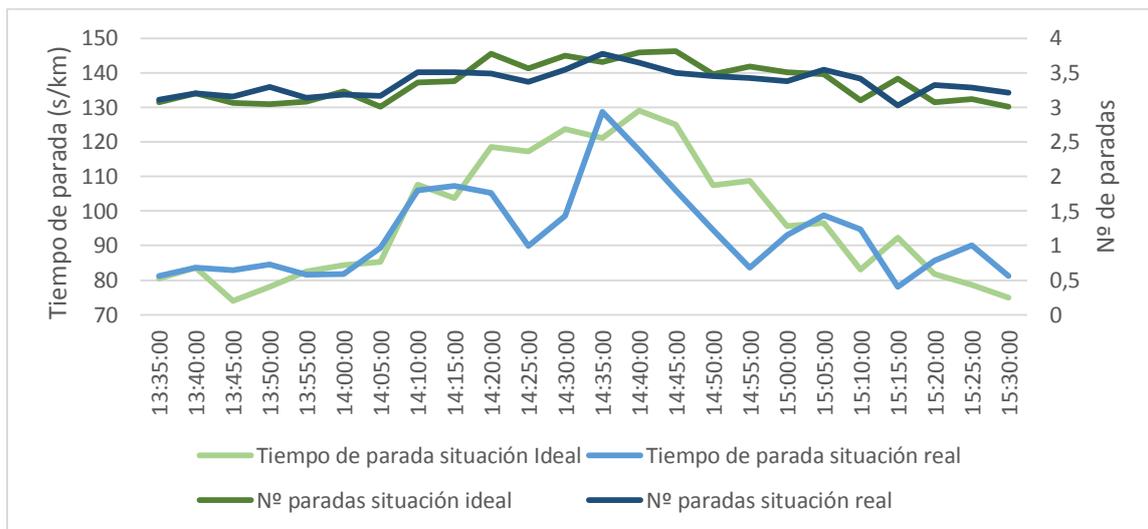


Figura 5.9: Comparación entre el tiempo de parada y el número de paradas. Situación Ideal.

Como se ha visto en anteriores gráficas, el pico del tiempo de parada en el modelo ideal ocurre en el segundo tramo de la hora punta, que coincide a su vez con el máximo número de paradas. Esto concuerda porque los vehículos estarán más tiempo detenidos mientras hagan más paradas en su trayectoria.

Los valores medios para estos parámetros:

Tiempo de parada	s/km	Nº de paradas
Situación Real	95,249 s/km	3,386
Situación Ideal	99,837 s/km	3,393

Tabla 5.6: Valores de tiempos y números de paradas. Situación Ideal.

Se observan valores más altos para la situación real debido a los valores máximos mayores.

Tiempos totales de viajes (s):

El tiempo total que están todos los vehículos dentro de la red correspondiente a cada cinco minutos se ve en la siguiente gráfica:

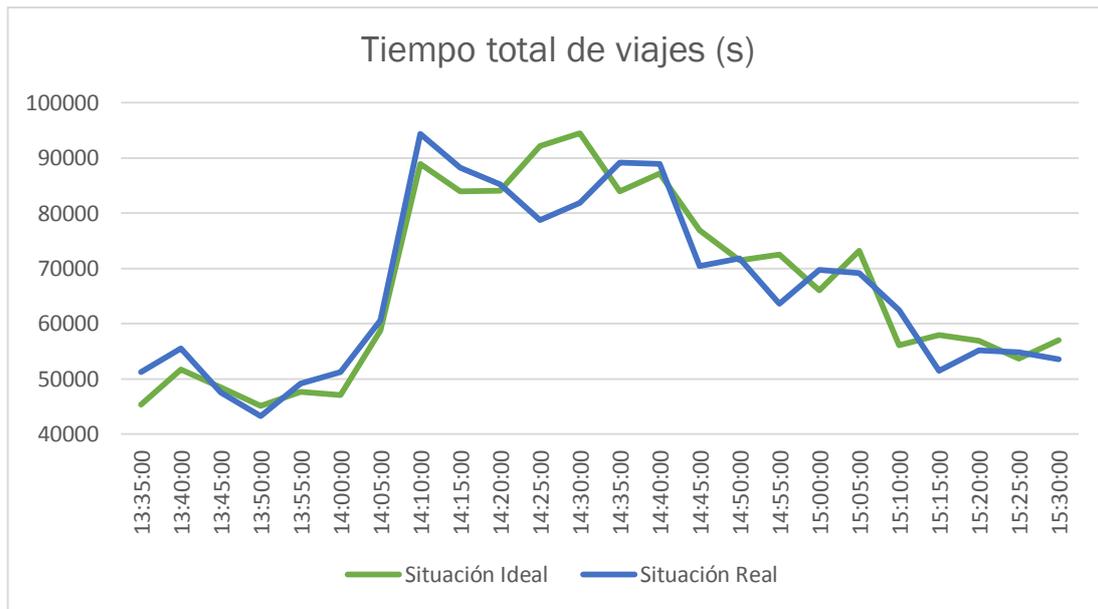


Figura 5.10: Comparación de los tiempos totales de viajes (s). Situación Ideal.

Sigue la misma forma que las gráficas comentadas anteriormente: Pico mayor referente a la situación real en la primera parte de la hora punta y máximo de la situación ideal en el segundo tramo de hora punta.

Los valores medios de esta característica:

<i>Tiempos totales de viaje</i>	horas
<i>Situación Real</i>	441,06 h
<i>Situación Ideal</i>	444,66 h

Tabla 5.7: Valores de tiempos totales de viaje (h.) Situación Ideal.

Los vehículos del modelo ideal se encuentran tres horas más en la red.

Distancia total recorrida (km):

La distancia que recorren los coches en la red aparece en la figura 5.11:

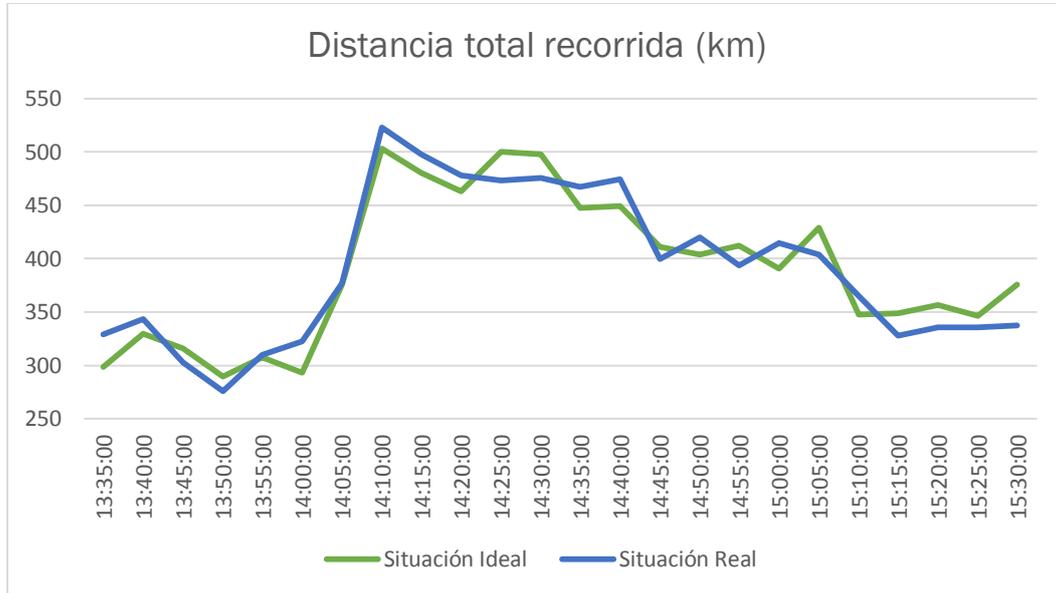


Figura 5.11: Comparativa de las distancias recorridas (km). Situación Ideal.

Se ve como fluctúan los valores de la gráfica para cada uno de los modelos, pero se puede decir que recorren en términos totales una distancia similar en las dos situaciones.

Los valores totales son:

<i>Distancia total recorrida</i>	km
<i>Situación Real</i>	9383,34 km
<i>Situación Ideal</i>	9418,69 km

Tabla 5.8: Valores de distancias totales recorridas (km). Situación Ideal.

En la situación ideal se recorren más kilómetros debido al mayor flujo de vehículos por su red.

5.3.1.3 - CONCLUSIONES DEL MODELO

Apenas existen diferencias significativas entre la situación real que existe día a día con el modelo ideal sin estacionamientos en dobles filas y con más capacidad. Restringir el aparcamiento en doble fila aliviaría el tráfico muy poco y puede que, en algunos momentos, se vea incrementado por la búsqueda de aparcamiento de los coches que circulen por la red. Además esa prohibición severa conllevaría sanciones económicas que crearían malestar entre los habitantes del barrio.

Por tanto, pese a las mejoras del modelo ideal, estas no son lo bastante significativas para que sea aconsejable su aplicación.

5.3.2 - SITUACIÓN ZONA 30 REAL

En esta segunda propuesta se pretende simular una situación futurible bastante probable. En la actualidad, las ciudades buscan el cuidado del medio ambiente mediante medidas que lo favorezcan. En el caso del tráfico rodado, una de las opciones es la limitación de la velocidad en determinadas zonas de la ciudad para que la contaminación atmosférica no alcance valores excesivamente altos y estos provoquen problemas en la población.

En nuestro caso se limitara la circulación en el interior del barrio a una velocidad de 30 km/h. Se definirá esta velocidad en el diseño de las calles como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 5.12: Definición de las calles de zona 30.

La zona definida a 30 corresponde a todo el barrio, excepto los viales exteriores: Avenida Palencia y C/ Rondilla de Santa Teresa. La figura 5.13 lo muestra:

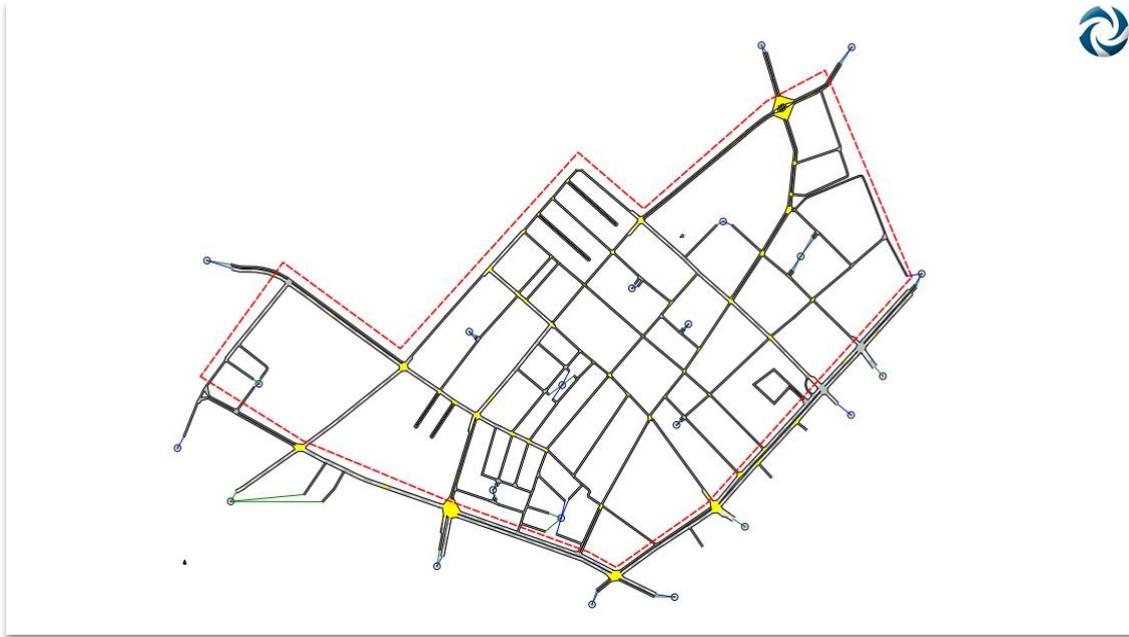


Figura 5.13: Límites de la Zona 30.

Procederemos ahora a analizar los diferentes parámetros.

5.3.2.1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS GLOBALES

Los valores de flujo de vehículos, densidad de tráfico y tiempo de demora que se obtuvieron, son los siguientes:

Flujo de vehículos (veh/h):

El mapa de flujo que se obtuvo en hora punta se mostró de la siguiente manera:



Figura 5.14: Mapa de flujo de vehículos del modelo Zona 30 Real.

Al simular el modelo, se aprecia como los vehículos tienden a ocupar los viales exteriores de mayor velocidad, buscando rutas que les hagan ir por esas vías. De ese modo, el flujo que recorre esos viales no limitados a 30 km/h es mayor que en el modelo real. Comparando gráficamente los valores de flujo, obtenemos la siguiente figura:

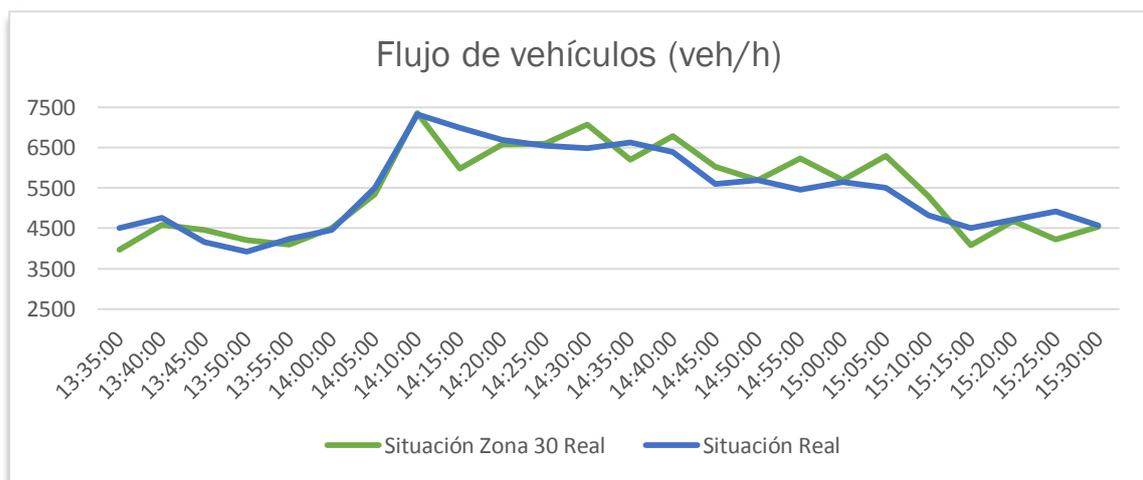


Figura 5.15: Comparativa de flujos de vehículos (veh/h). Situación Zona 30 Real.

Ocurre como en el modelo anterior: al ser la misma demanda de tráfico en ambos casos, el flujo es similar pero alternando los máximos locales por intervalos.

Los valores medios de flujo se muestran en la siguiente tabla:

<i>Flujo de vehículos</i>	<i>Veh/h</i>
<i>Situación Real</i>	5418 veh/h
<i>Situación Zona 30 Real</i>	5436 veh/h

Tabla 5.9: Valores medios de flujos de vehículos. Situación Zona 30 Real.

Vemos como el flujo de vehículos es mayor en el caso de la zona 30.

Densidad de tráfico (veh/km):

Para la densidad de tráfico, los datos nos proporcionan el siguiente gráfico:

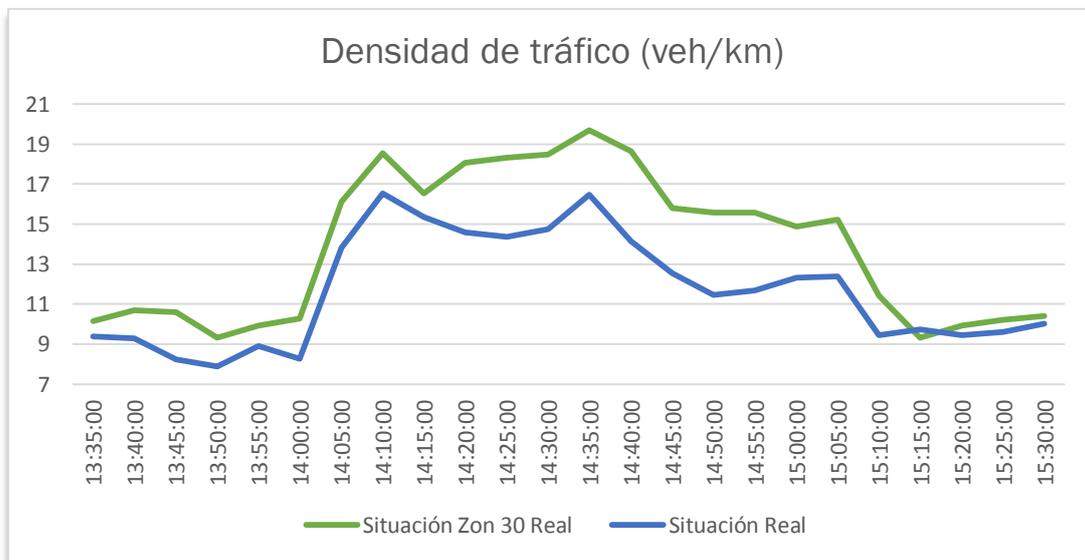


Figura 5.16: Comparativas de densidad de tráfico (veh/km). Situación Zona 30 Real.

Se observa ahora una diferencia sustancial entre ambos modelos: a lo largo de la hora punta, en la situación de zona 30 se ve que la densidad de vehículos aumenta respecto a la situación real alcanzando un máximo alrededor de 20 veh/km (14:40). Los valores para la nueva propuesta son mucho mayores que para la situación real.

La densidad tiene unos valores medios de:

Densidad	Veh/km
Situación Real	11,695 veh/km
Situación Zona 30 Real	13,743 veh/km

Tabla 5.10: Valores medios de densidad de tráfico. Situación Zona 30 Real.

Densidad mucho mayor en este nuevo modelo, como se veía en la gráfica, con una media de más de dos vehículos por kilómetro respecto a lo real.

Longitud media de cola (veh):

Los vehículos que esperan fuera de la red en este nuevo modelo vienen definidos en esta siguiente figura:

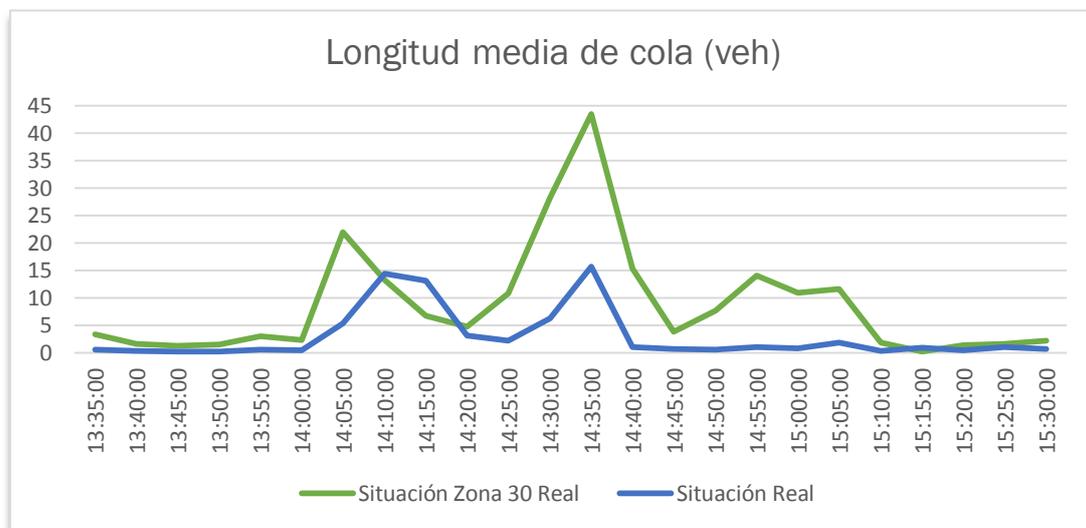


Figura 5.17: Comparativa de longitudes medias de cola (veh). Situación Zona 30 Real.

A medida que avanza la hora punta, la longitud de vehículos esperando aumenta acorde a como lo hacía la densidad, alcanzando sus valores máximos en el mismo periodo. Una mayor densidad hace que los medios de transporte tengan menos espacio para moverse por la red, provocando colas en las zonas de entrada al barrio.

Los valores medios que obtenemos son:

<i>Longitud media de cola</i>	Veh
<i>Situación Real</i>	2,963 veh
<i>Situación Zona 30 Real</i>	8,845 veh

Tabla 5.11: Valores medios de longitud media de cola. Situación Zona 30 Real.

Muchos más vehículos de media haciendo cola para entrar al barrio.

Velocidad (km/h):

Las velocidades medias de circulación por la zona de estudio las vemos en la figura 5.18:

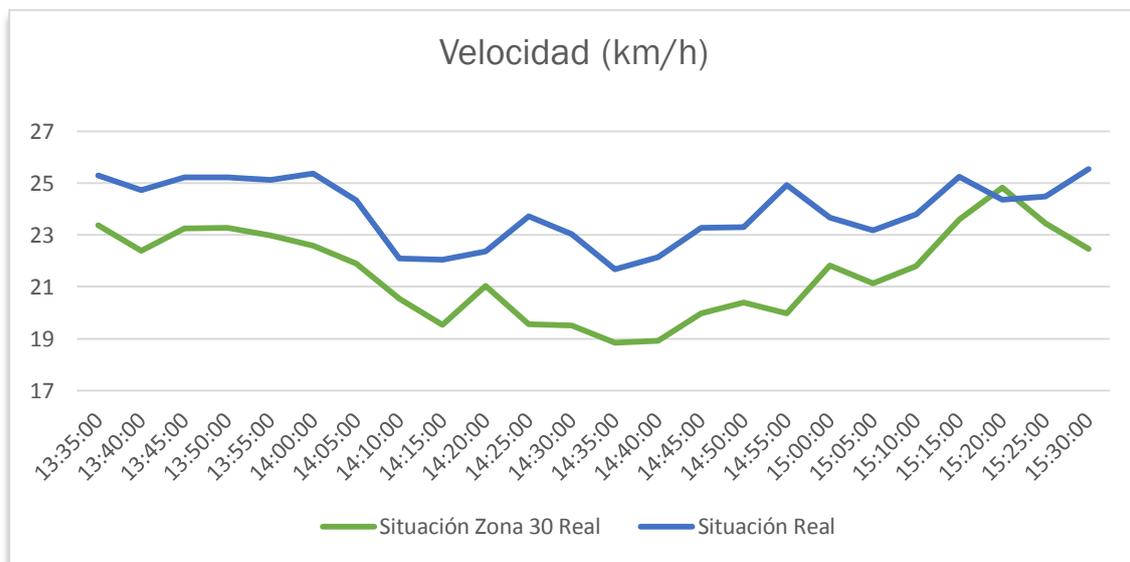


Figura 5.18: Comparativa de velocidades (km/h). Situación Zona 30 Real.

Cómo era de esperar, al limitar la velocidad del barrio a 30 km/h, la velocidad media decrece a lo largo de todo el periodo de estudio.

Los valores medios de velocidad son los siguientes:

Velocidad	km/h
<i>Situación Real</i>	23,732 km/h
<i>Situación Zona 30 Real</i>	21,271 km/h

Tabla 5.12: Valores medios de velocidad. Situación Zona 30 Real.

Dos kilómetros por hora más lento de media es lo que resulta de aplicar la limitación.

Tiempo de demora (s/km):

Los tiempos de demora de los vehículos en la red se muestran en la siguiente gráfica:



Figura 5.19: Comparativas de tiempos de demora (s/km). Situación Zona 30 Real.

Estos tiempos van la par de la densidad y la longitud media de cola, cuando estos alcanzan su punto máximo el tiempo de demora del modelo también toma el mayor valor.

El tiempo de demora medio para cada situación es:

Tiempo de demora	s/km
Situación Real	115,161 s/km
Situación Zona 30 Real	126,224 s/km

Tabla 5.13: Valores medios de tiempo de demora. Situación Zona 30 Real.

La velocidad, la densidad y la longitud media de cola hace que el valor medio del tiempo de demora sea mayor en este modelo que en la situación que nos encontramos en la realidad.

5.3.2.2 -OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LA RED

Para el tiempo de parada, el número de paradas, el tiempo total de viaje y las distancias totales recorridas tenemos los siguientes resultados.

Tiempo de parada (s/km) y número de paradas:

Ambos datos se observan en la siguiente figura:

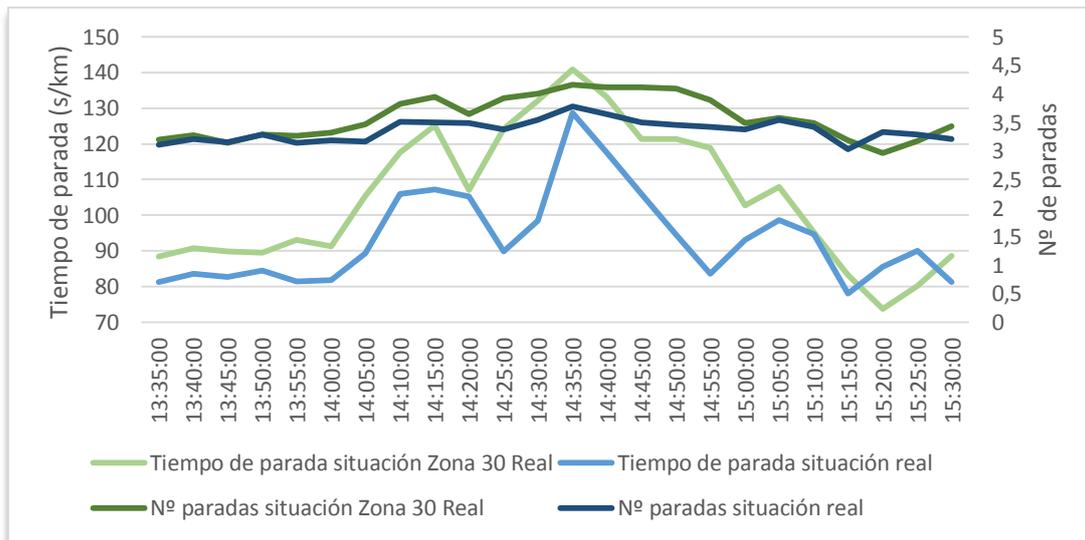


Figura 5.20: Comparación entre el tiempo de parada y el número de paradas. Situación Zona 30 Real.

Se ve como en el caso de la situación estudiada con este modelo obtenemos valores más altos que en el caso real, debido principalmente a los parámetros ya comentados.

Los valores medios para estos parámetros:

<i>Tiempo de parada</i>	s/km	Nº de paradas
<i>Situación Real</i>	95,249 s/km	3,386
<i>Situación Zona 30 Real</i>	108,103 s/km	3,641

Tabla 5.14: Valores de tiempos y números de paradas. Situación Zona 30 Real

Los vehículos, en la nueva propuesta, permanecen cerca de trece segundos más parados por kilómetro, y realizan más paradas en su recorrido.

Tiempos totales de viajes (s):

El tiempo total de los vehículos en la red se ve en la gráfica siguiente:

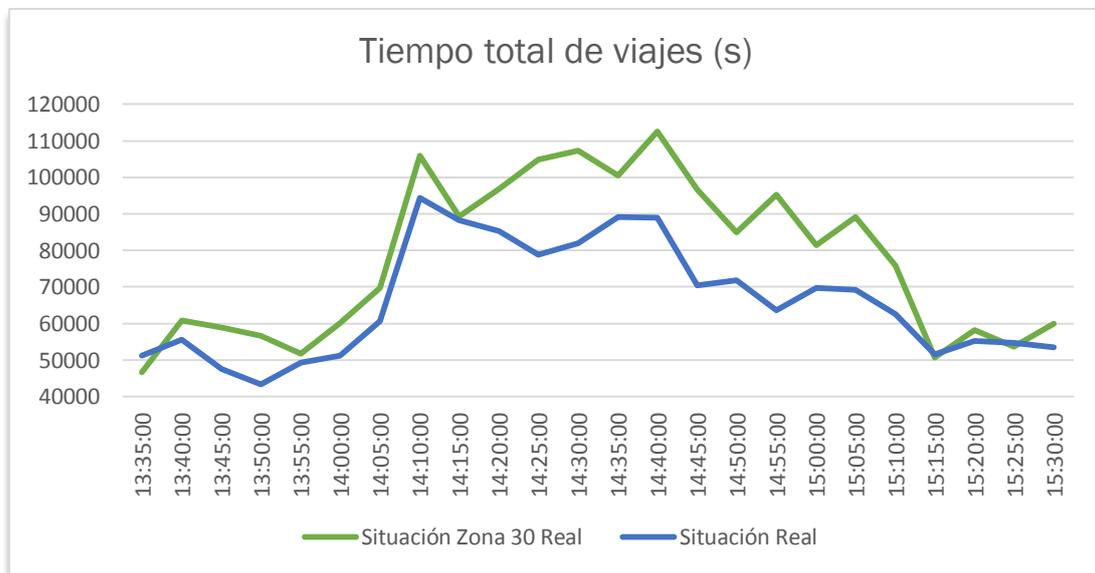


Figura 5.21: Comparación de los tiempos totales de viajes (s). Situación Zona 30 Real.

Como ocurre en los demás parámetros de este modelo, a medida que avanza la hora punta, los valores se ven incrementados al aumentar la densidad de la red y tener los coches una velocidad limitada.

Los valores medios de este parámetro se ven en la tabla 5.15:

<i>Tiempos totales de viaje</i>	horas
<i>Situación Real</i>	441,06 h
<i>Situación Zona 30 Real</i>	518,89h

Tabla 5.15: Valores de tiempos totales de viaje (h). Situación Zona 30 Real.

El tiempo que están los vehículos en este nuevo modelo es mucho mayor debido a los motivos antes expuestos.

Distancia total recorrida (km):

La distancia total viajada por los coches en la red aparece en la figura 5.22:

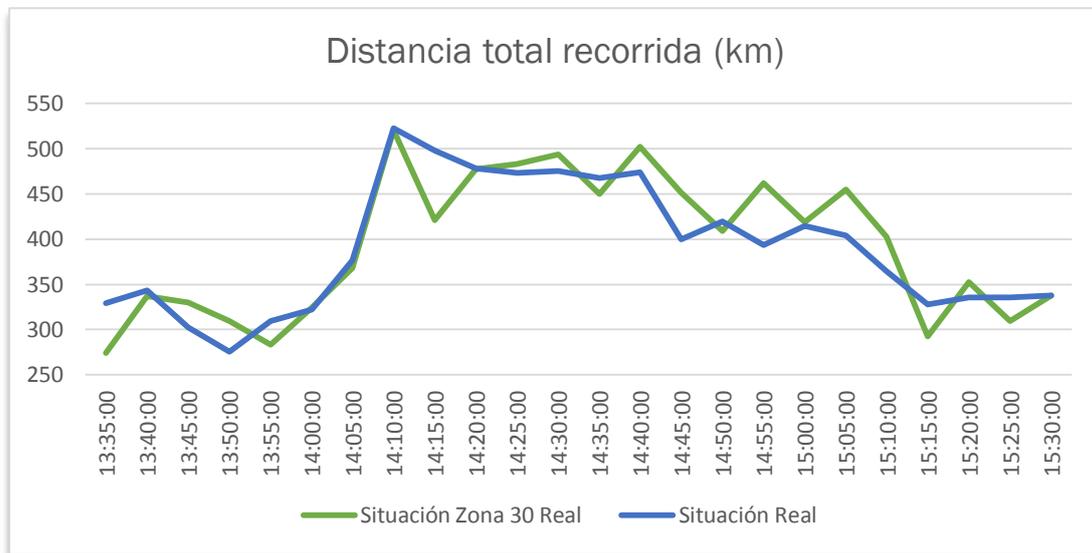


Figura 5.21: Comparativa de las distancias recorridas (km). Situación Zona 30 Real.

Al igual que pasaba en el caso anterior, los valores van cambiando en cada intervalo de estudio.

Los valores totales son:

Distancia total recorrida	km
Situación Real	9383,34 km
Situación Zona 30 Real	9467,63 km

Tabla 5.16: Valores de tiempos totales de viaje (h). Situación Zona 30 Real.

Al intentar ir los vehículos por la zona de mayor velocidad permitida, recorren más distancia que en el caso real. Los coches buscan una velocidad mayor para recorrer el trayecto en un menor tiempo.

5.3.2.3 CONCLUSIONES DEL MODELO

En este caso aparecen diferencias grandes en cuanto a densidad, longitudes de cola y velocidad. A lo largo de la hora punta, el número de vehículos que se encuentran en la red aumenta, produciendo retenciones temporales que impiden la entrada de vehículos a la zona de estudio. El hecho de que la velocidad límite sea menor implica un aumento de los tiempos del modelo.

Este modelo no mejoraría el tráfico actual, de hecho crearía más retenciones en su interior y en las entradas a la red.

5.3.3 - SITUACIÓN ZONA 30 IDEAL

En este modelo se juntarán las dos situaciones estudiadas anteriormente: se aplicarán restricciones de velocidad y se eliminarán los aparcamientos que invadan las vías, aumentando así la capacidad de las calles problemáticas. En la figura 5.23 se ven los cambios en el diseño de las calles y en la 5.24 el mapa de la zona:

Figura 5.23: Definición de las calles de zona 30 con mayor capacidad.

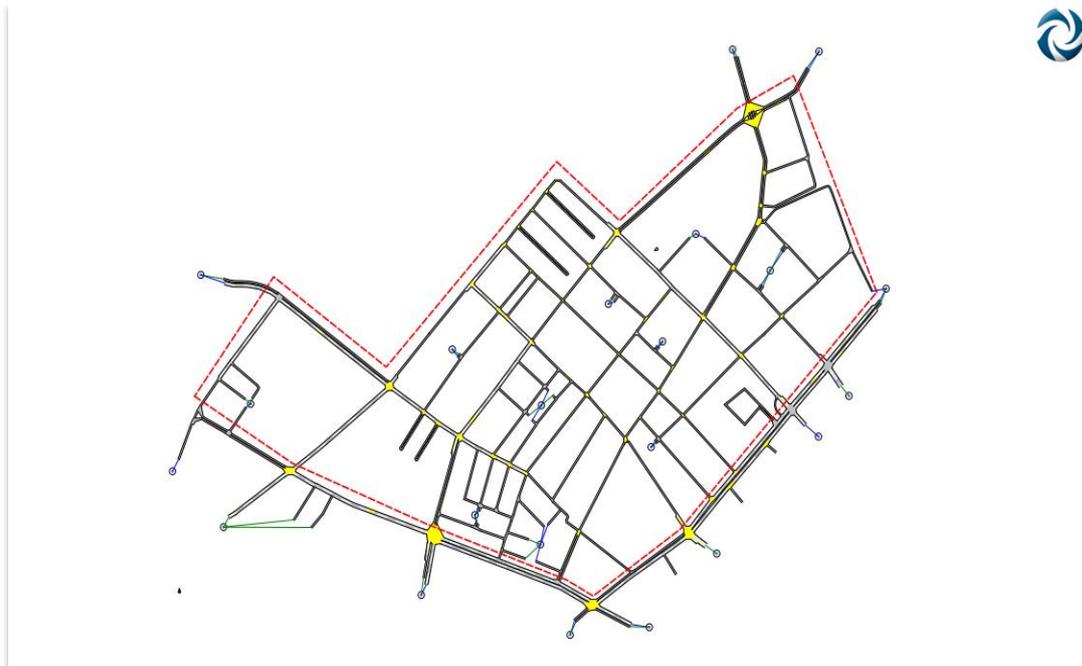


Figura 5.24: Mapa del modelo Zona 30 Ideal.

Analizaremos ahora sus parámetros en relación al modelo real.

5.3.3.1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS GLOBALES

Flujo de vehículos (veh/h):

El mapa de flujo que se obtuvo en hora punta se mostró de la siguiente manera:



Figura 5.25: Mapa de flujo de vehículos para la zona 30 ideal.

Se aprecia una menor congestión de tráfico en las zonas donde se ha liberado el carril ocupado respecto al modelo anterior. Era de esperar al haber aumentado la capacidad de la red. Aun así, los vehículos siguen tendiendo a realizar trayectos por las zonas de velocidad más alta. Los valores de flujo que hemos obtenido son los siguientes:

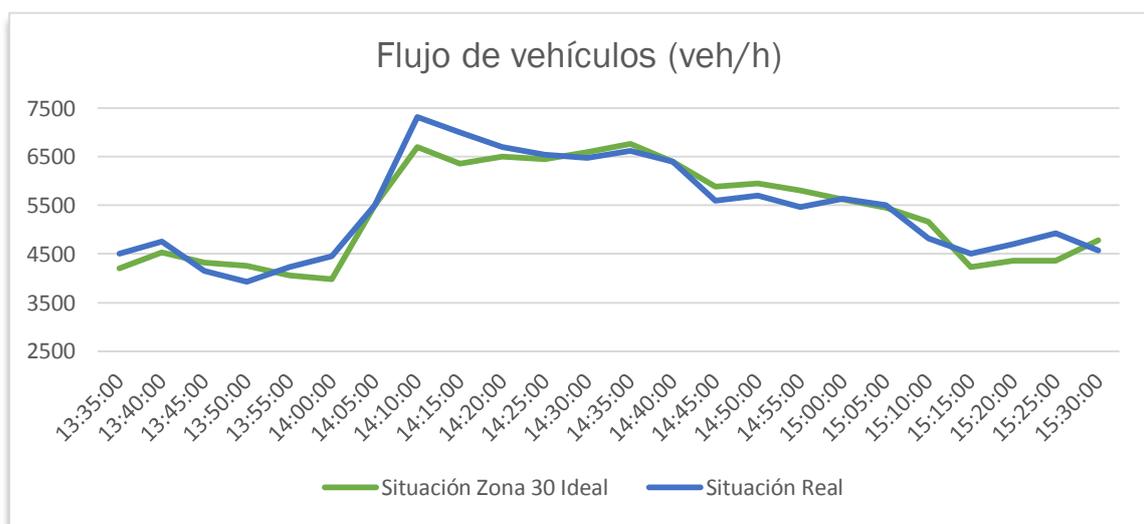


Figura 5.26: Comparativa de flujos de vehículos (veh/h). Situación Zona 30 Ideal.

Tener la misma demanda que en los casos anteriores hace que el flujo de vehículos sea similar en todos estos primeros casos estudiados.

Los valores medios de flujo para este modelo se ven en la siguiente tabla:

<i>Flujo de vehículos</i>	Veh/h
<i>Situación Real</i>	5418 veh/h
<i>Situación Zona 30 Ideal</i>	5343 veh/h

Tabla 5.17: Valores medios de flujos de vehículos. Situación Zona 30 Ideal.

En este caso, el valor medio de flujo es menor que el caso real. Circulan menos coches por hora en este nuevo modelo.

Densidad de tráfico (veh/km):

Para la densidad de tráfico, los datos nos proporcionan el siguiente gráfico:

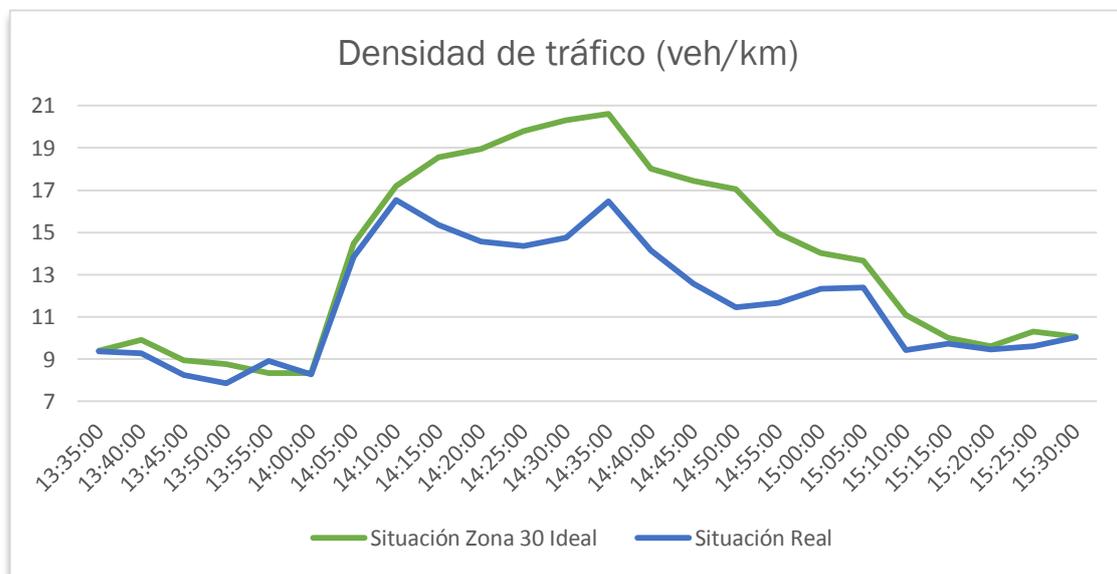


Figura 5.27: Comparativas de densidad de tráfico (veh/km). Situación Zona 30 Ideal.

Al igual que en el modelo de zona 30 real, la densidad en hora punta, aumenta de forma constante hasta alcanzar un máximo alrededor de 20 veh/km (14:40), diferenciándose así del modelo real. Al igual que en el modelo anterior, los valores son mayores que en el caso real.

Obtenemos unos valores medios de densidad de:

Densidad	Veh/km
Situación Real	11,695 veh/km
Situación Zona 30 Ideal	13,572 veh/km

Tabla 5.18: Valores medios de densidad de tráfico. Situación Zona 30 Ideal.

La densidad de este modelo es también superior al real, pero algo menor que el caso anterior.

Longitud media de cola (veh):

En cuanto a los vehículos que esperan fuera se tiene la siguiente figura:

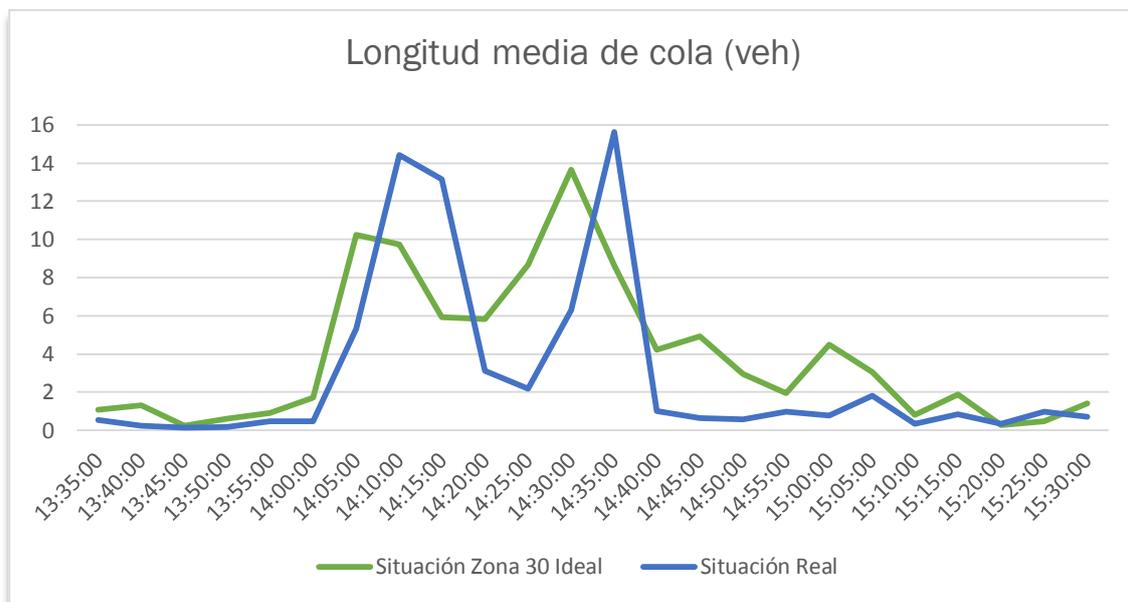


Figura 5.28: Comparativa de longitudes medias de cola (veh). Situación Zona 30 Ideal.

Vemos que las longitudes de cola son menores al existir una capacidad mayor en la red. Los valores máximos de este parámetro son menores que en el caso real. Esto puede hacer que este modelo sea una posible propuesta a tener en cuenta.

Los valores medios que obtenemos son:

<i>Longitud media de cola</i>	Veh
<i>Situación Real</i>	2,963 veh
<i>Situación Zona 30 Ideal</i>	3,957 veh

Tabla 5.19: Valores medios de longitud media de cola. Situación Zona 30 Ideal.

Pese a tener valores máximos más pequeños que el modelo real, la presencia de vehículos esperando a entrar durante más intervalos hace que la media de esta propuesta sea mayor.

Velocidad (km/h):

La diferencia gráfica de velocidad se aprecia en la siguiente gráfica:

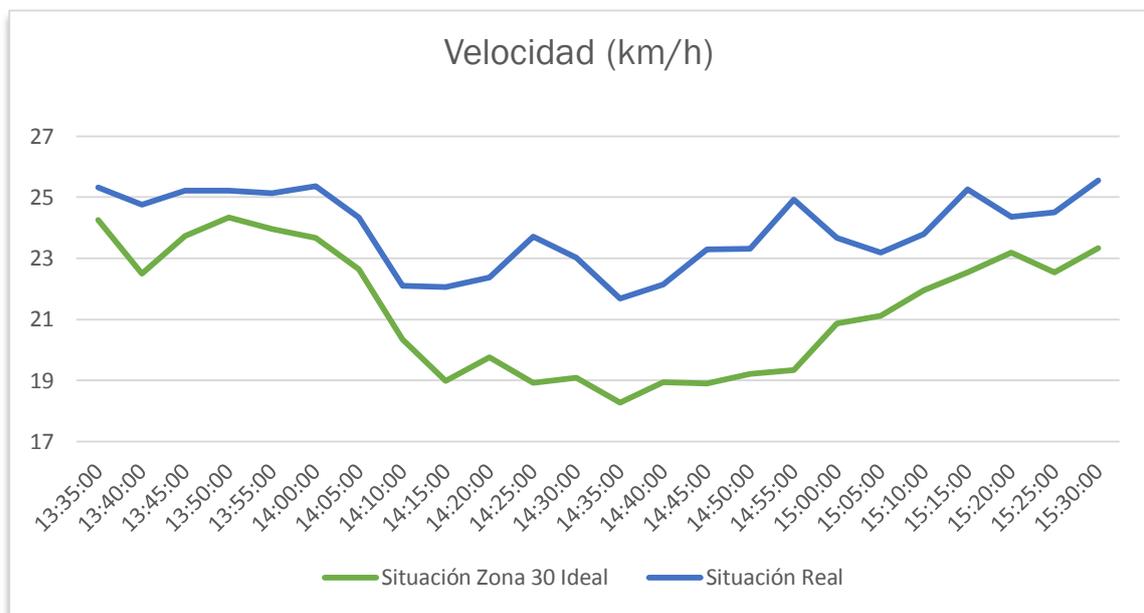


Figura 5.29: Comparativa de velocidades (km/h). Situación Zona 30 Ideal.

Ocurre como en la situación de la zona 30 real: el nuevo límite de velocidad hace que la velocidad se vea reducida alrededor de tres kilómetros por hora respecto a la velocidad que se obtenía en el situación real.

Los valores medios de velocidad son los siguientes:

Velocidad	km/h
<i>Situación Real</i>	23,732 km/h
<i>Situación Zona 30 Ideal</i>	21,008 km/h

Tabla 5.20: Valores medios de velocidad. Situación Zona 30 Ideal.

Dos kilómetros por hora más lento de media es lo que resulta de aplicar la limitación.

Tiempo de demora (s/km):

Para los tiempos de demora tenemos:



Figura 5.30: Comparativas de tiempos de demora (s/km). Situación Zona 30 Ideal.

También aquí se ve como los tiempos de demora siguen una estructura similar a la densidad del tráfico, siendo constante su crecimiento en el inicio de la hora punta hasta llegar al máximo y luego descender paulatinamente hasta mantenerse en un valor constante.

El valor del tiempo de demora medio para cada situación es:

Tiempo de demora	s/km
Situación Real	115,161 s/km
Situación Zona 30 Ideal	138,115 s/km

Tabla 5.21: Valores medios de tiempo de demora. Situación Zona 30 Ideal.

Todos los parámetros analizados, hacen que este tiempo vaya aumentando a lo largo del periodo de hora punta, alcanzando una media de más de veinte segundos por kilómetro superior al modelo real.

5.3.3.2 -OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LA RED

Tiempo de parada (s/km) y número de paradas:

Mostramos los datos obtenidos en la siguiente figura:

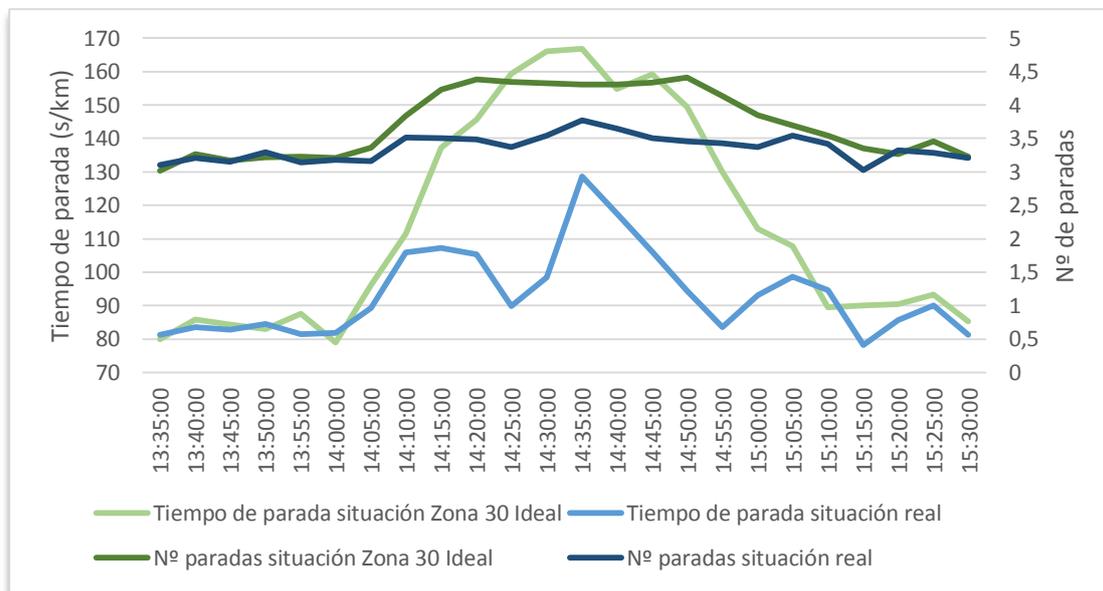


Figura 5.31: Comparación entre el tiempo de parada y el número de paradas. Situación Zona 30 Ideal.

La situación que hemos estudiado en este apartado muestra valores altos para los dos parámetros mostrados en la imagen. Una mayor densidad de vehículos

en la red hace que el movimiento sea más lento y se den más paradas que en situaciones normales.

Los valores medios para estos parámetros:

Tiempo de parada	s/km	Nº de paradas
Situación Real	95,249 s/km	3,386
Situación Zona 30 Ideal	119,343 s/km	3,808

Tabla 5.22: Valores de tiempos y números de paradas. Situación Zona 30 Ideal.

Más de veinte segundos por kilómetros nos da la media del tiempo de parada para este modelo estudiado.

Tiempos totales de viajes (s):

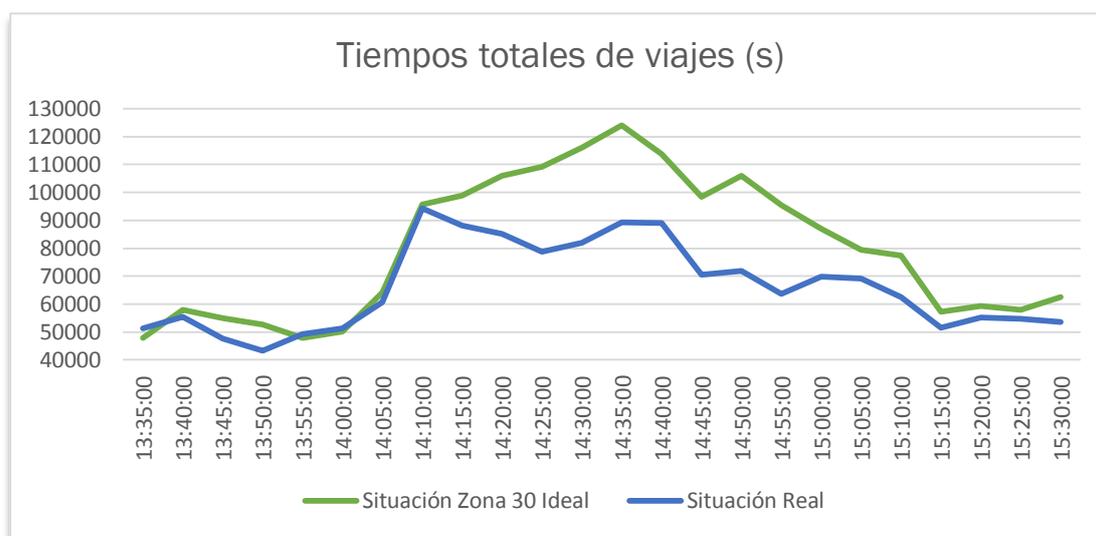


Figura 5.32: Comparación de los tiempos totales de viajes (s). Situación Zona 30 Ideal.

A mayor densidad de coches en la red, mayor impedimento para el movimiento lo que hace que los viajes duren más.

Los valores totales de tiempo viajado se ven en la tabla 5.23:

<i>Tiempos totales de viaje</i>	horas
<i>Situación Real</i>	441,06 h
<i>Situación Zona 30 Ideal</i>	533,46 h

Tabla 5.23: Valores de tiempos totales de viaje (h). Situación Zona 30 Ideal.

Lo mencionado en la gráfica se ve en el total de horas del modelo.

Distancia total recorrida (km):

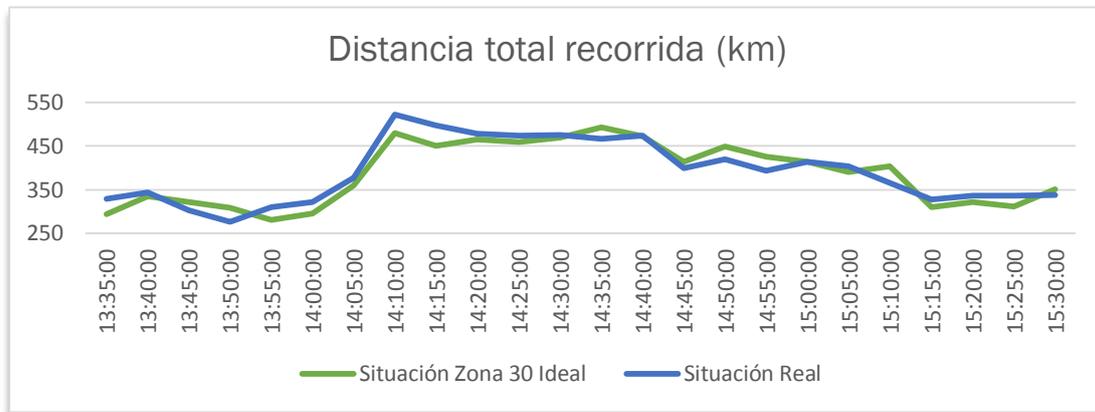


Figura 5.33: Comparativa de las distancias recorridas (km). Situación Zona 30 Ideal.

Pocas diferencias de distancias totales gráficamente al ser muy similares los valores de flujo de vehículos en ambos casos:

Los valores totales de distancia recorrida son:

<i>Distancia total recorrida</i>	km
<i>Situación Real</i>	9383,34 km
<i>Situación Zona 30 Real</i>	9274,93 km

Tabla 5.24: Valores de tiempos totales de viaje (h). Situación Zona 30 Ideal.

En este caso, los coches recorren más de cien kilómetros menos respecto al modelo real. Esto se debe al menor flujo de coches en la red.

5.3.3.3 **CONCLUSIONES DEL MODELO**

Al igual que ocurría antes, en el intervalo de hora punta, se acentúan las diferencias entre los modelos comparados. En este caso, la longitud media de cola es mucho menor que en el caso anterior, lo que indica que existen menos retenciones durante el transcurso de la simulación. Esto nos puede dar la idea de que si queremos implementar la zona 30 en el barrio de la Rondilla, convendría poner limitaciones al aparcamiento en doble fila. El incremento de los valores en los parámetros referentes al tiempo son asumibles y entendibles por la limitación que pone este modelo a la velocidad de los vehículos.

Se podría decir que este modelo es más adecuado que el modelo de zona 30 y menor capacidad estudiado antes: elimina las congestiones de entrada a la red que aparecían en el anterior.

5.3.4 - **SITUACIÓN ZONA 10 CON VIALES**

En esta propuesta se ha establecido la Rondilla como una zona residencial donde la limitación de velocidad en el interior de sus calles está establecida en 10 km/h. Para que el espacio limitado no sea tan extenso y disminuya en exceso la velocidad del barrio se mantienen las calles Rondilla de Santa Teresa y Avenida de Palencia como zonas 50 y se establece un vial que divida el barrio en 2 zonas. Este vial lo forman las calles Soto y Mirabel. En la siguiente figura se ve la división del barrio:

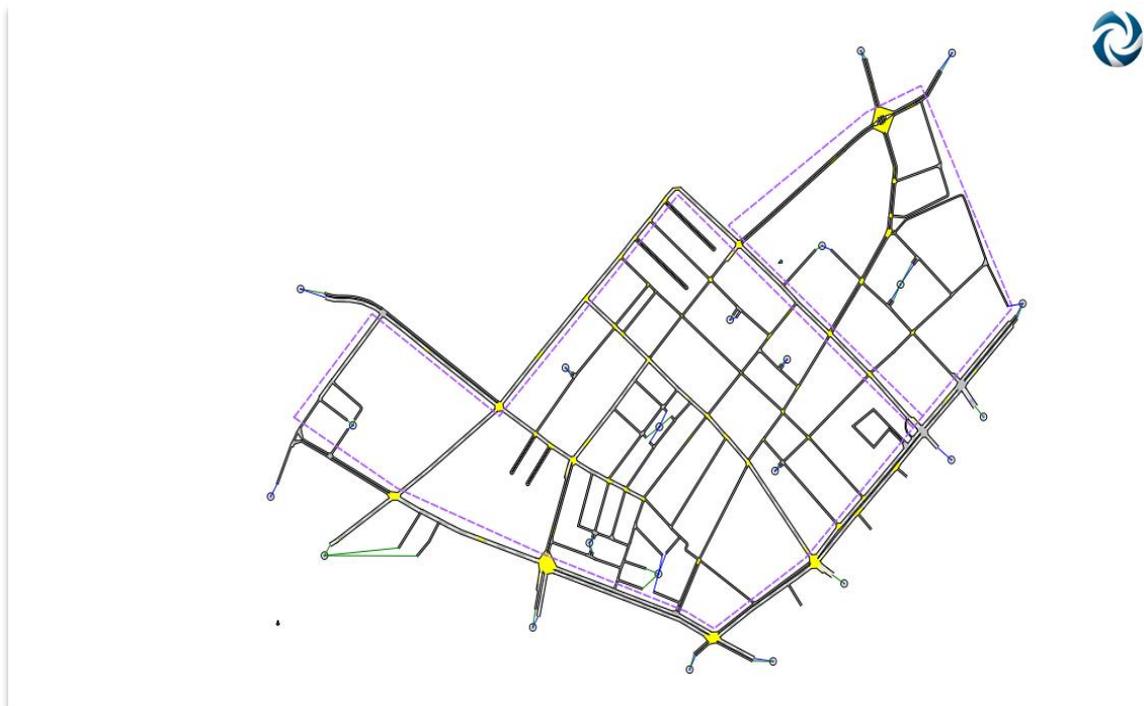


Figura 5.34: Mapa del modelo de zonas 10.

La limitación de zonas 10 se establece en cada calle de la siguiente manera:

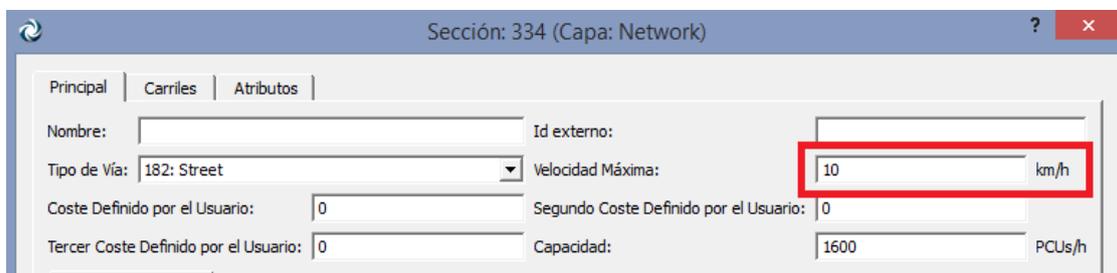


Figura 5.35: Definición de las zonas 10.

Al realizar las simulaciones con este modelo se observan problemas en la red ya que los vehículos colapsan los viales para realizar sus recorridos. Se facilitan rutas de origen y destino para que el tráfico que circula por los viales se vea aliviado. Aun así los problemas persisten por lo que se decide disminuir la demanda de la zona un 25%. Este cambio en la demanda puede ser aceptado porque al limitar una zona tan grande de la ciudad a 10 km/h, los vehículos que normalmente pasan por el barrio buscan rutas alternativas por zonas exteriores y más veloces que la nueva normativa en el barrio. Se analizan a continuación los parámetros de este modelo.

5.3.4.1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS GLOBALES

Flujo de vehículos (veh/h):

Para esta nueva demanda, se aprecia el aumento de flujo en los viales que rodean a las zonas residenciales, siendo las calles internas del barrio menos concurridas que con los modelos anteriores. En el siguiente mapa de flujo de la hora punta se puede ver:



Figura 5.36: Mapa de flujo de vehículos para la zona 10 con viales.

La diferencia en los datos obtenidos se observa en la figura 5.37:

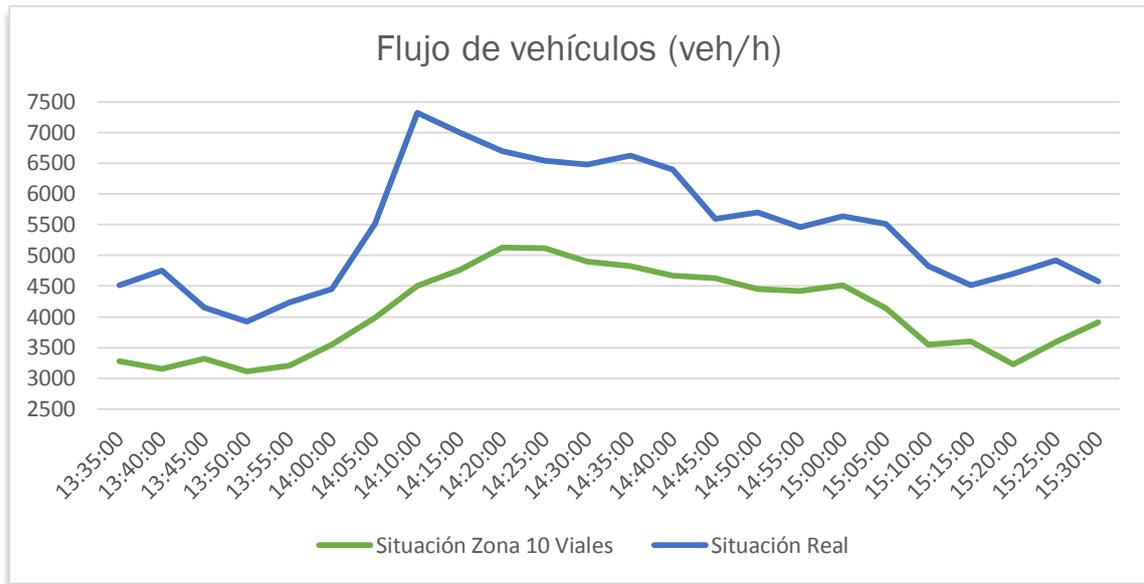


Figura 5.37: Comparativa de flujos de vehículos (veh/h). Situación Zonas 10 Viales.

Ahora se aprecia el cambio que hemos hecho en la demanda del nuevo modelo. Se ha reducido el flujo de vehículos por la red al cambiar la demanda de la misma. Aun así, se observa el crecimiento de flujo durante la hora punta, siendo mucho menor el pico alcanzado que en el caso real

En la siguiente tabla se ven los cambios en los valores medios:

Flujo de vehículos	Veh/h
Situación Real	5418 veh/h
Situación Zona 10 Viales	4064 veh/h

Tabla 5.25: Valores medios de flujos de vehículos. Situación Zonas 10 Viales.

La disminución de la demanda conlleva un flujo de vehículos medio de más de 1000 coches por hora.

Densidad de tráfico (veh/km):

En cuanto a la densidad tenemos el siguiente gráfico:

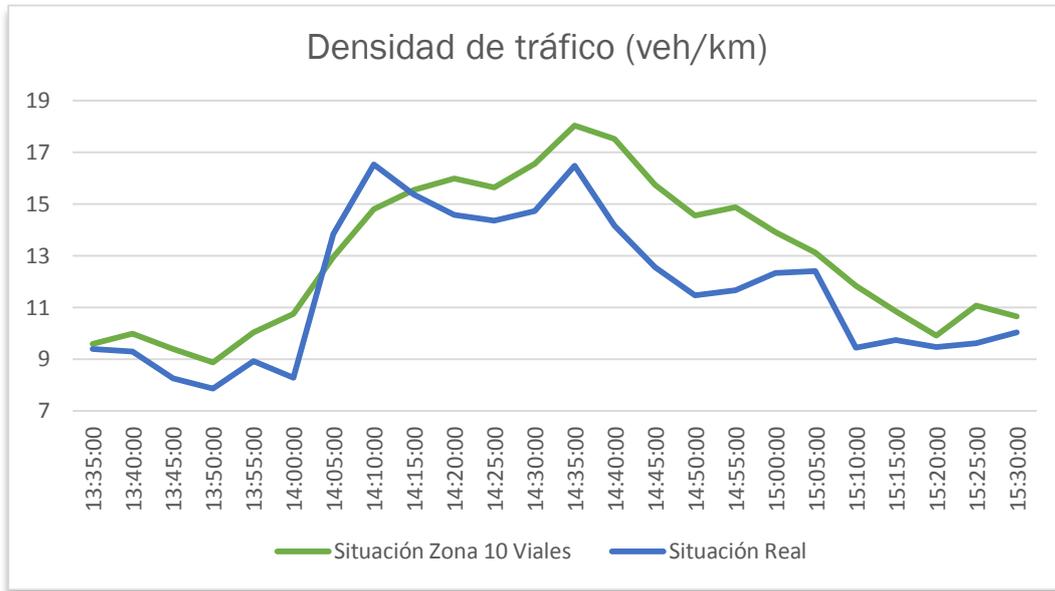


Figura 5.38: Comparativas de densidad de tráfico (veh/km). Situación Zonas 10 Viales.

Pese a disminuir el flujo, la densidad de coches no se ve disminuida del mismo modo, sino que se aprecia un incremento de la cantidad de vehículos por kilómetro dentro de la red.

Los valores medios de densidad de este modelo son:

Densidad	Veh/km
Situación Real	11,695 veh/km
Situación Zona 10 Viales	13,009 veh/km

Tabla 5.26: Valores medios de densidad de tráfico. Situación Zonas 10 Viales.

La situación real sigue teniendo valores más favorables que esta nueva propuesta.

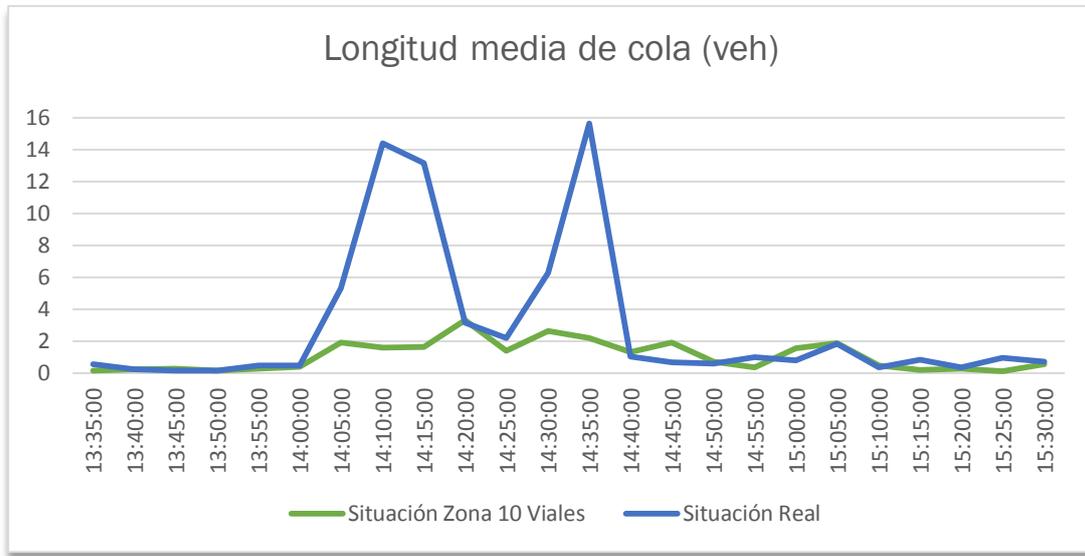
Longitud media de cola (veh):

Figura 5.39: **Comparativa de longitudes medias de cola (veh). Situación Zonas 10 Viales.**

Al existir menos demanda en la red, menos coches quieren entrar en ella lo que favorece valores mucho menores de longitud de cola y más constantes.

Los valores medios obtenidos son:

<i>Longitud media de cola</i>	Veh
<i>Situación Real</i>	2,963 veh
<i>Situación Zona 10 Viales</i>	1,056 veh

Tabla 5.27: *Valores medios de longitud media de cola. Situación Zonas 10 Viales.*

Lo mostrado en la gráfica se corresponde en los valores medios: menos demanda hace que la espera para entrar en la red sea menor.

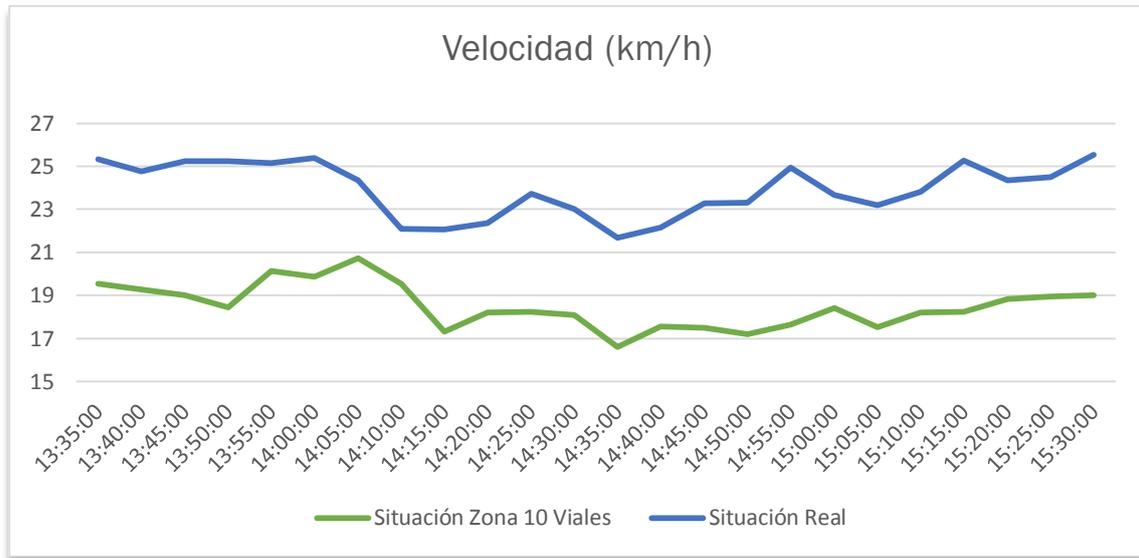
Velocidad (km/h):

Figura 5.40: Comparativa de velocidades (km/h). Situación Zonas 10 Viales.

En cuanto a la velocidad, vemos que la diferencia se ve muy aumentada. Los 10km/h de límite influyen mucho en la velocidad medida a cada intervalo.

Los valores medios de velocidad son los siguientes:

Velocidad	km/h
Situación Real	23,732 km/h
Situación Zona 10 Viales	19,854 km/h

Tabla 5.28: Valores medios de velocidad. Situación Zonas 10 Viales.

Casi cuatro kilómetros por hora de media menos que en la situación real.

Tiempo de demora (s/km):

La gráfica de los tiempos de demora se muestra de esta forma:



Figura 5.41: Comparativas de tiempos de demora (s/km). Situación Zonas 10 Viales.

Esta gráfica difiere de las anteriores siendo el tiempo de demora menor. Se aprecia cómo se va incrementando a medida que pasa la hora punta pero apenas supera al tiempo que se establece en la situación real.

Los valores medio son:

Tiempo de demora	s/km
Situación Real	115,161 s/km
Situación Zona 10 Viales	109,833 s/km

Tabla 5.29: Valores medios de tiempo de demora. Situación Zonas 10 Viales.

Menor que en la situación real, pero aun así cercanos en valor pese a haber reducido un 25 % la demanda de la red en este modelo.

5.3.4.2 -OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LA RED

Tiempo de parada (s/km) y número de paradas:

Ambas características se muestran en la siguiente figura:

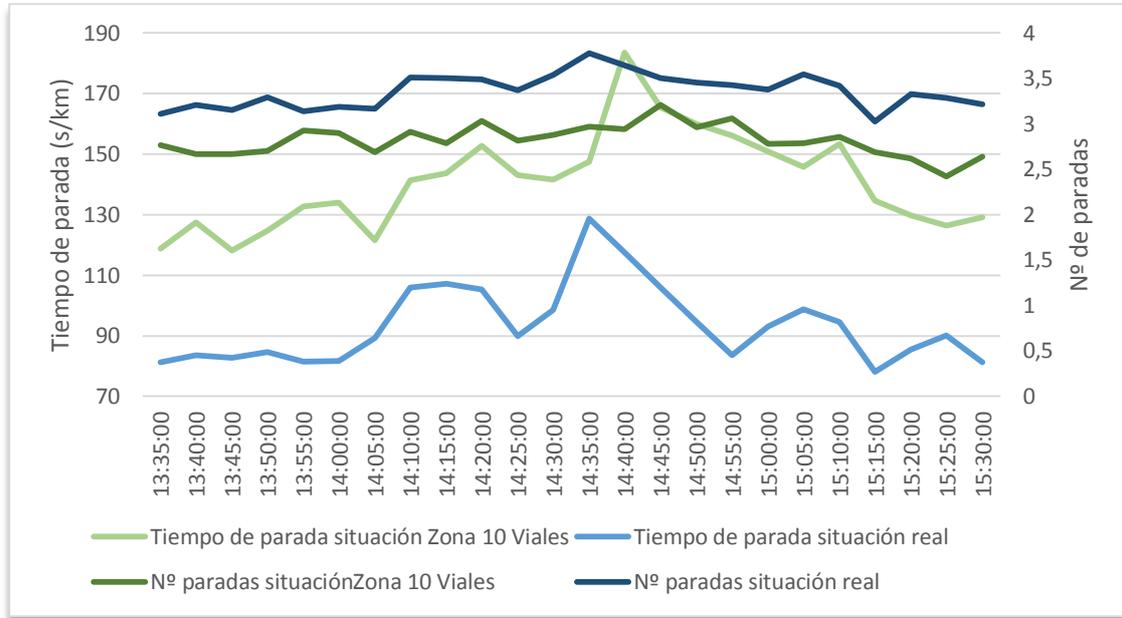


Figura 5.42: Comparación entre el tiempo de parada y el número de paradas. Situación Zonas 10 Viales.

Se aprecian menos paradas en este modelo, pero el tiempo de esas paradas mucho mayor que en la situación real

Los valores medios para estos parámetros:

Tiempo de parada	s/km	Nº de paradas
Situación Real	95,249 s/km	3,386
Situación Zona 10 Viales	142,656 s/km	2,834

Tabla 5.30: Valores de tiempos y números de paradas. Situación Zonas 10 Viales.

Pese a tener menor número de paradas, este dato no se refleja en el tiempo que se está parado ya que se observa una media de casi un minuto más por kilómetro.

Tiempos totales de viajes (s):

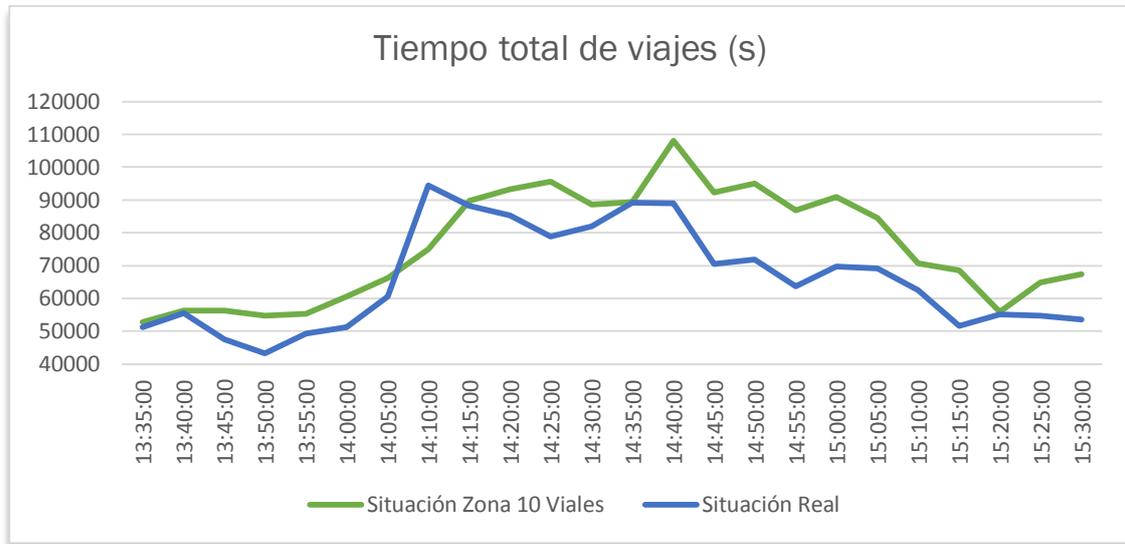


Figura 5.43: Comparación de los tiempos totales de viajes (s). Situación Zonas 10 Viales.

Pese a haber menos flujo de coches, en este modelo se está más tiempo en la red realizando los diferentes trayectos.

Los valores totales de este parámetro se ven en la siguiente tabla:

Tiempos totales de viaje	horas
Situación Real	441,06 h
Situación Zona 10 Viales	505,26 h

Tabla 5.31: Valores de tiempos totales de viaje (h). Situación Zonas 10 Viales.

El total de horas es mayor que en el caso real, aun con menor demanda.

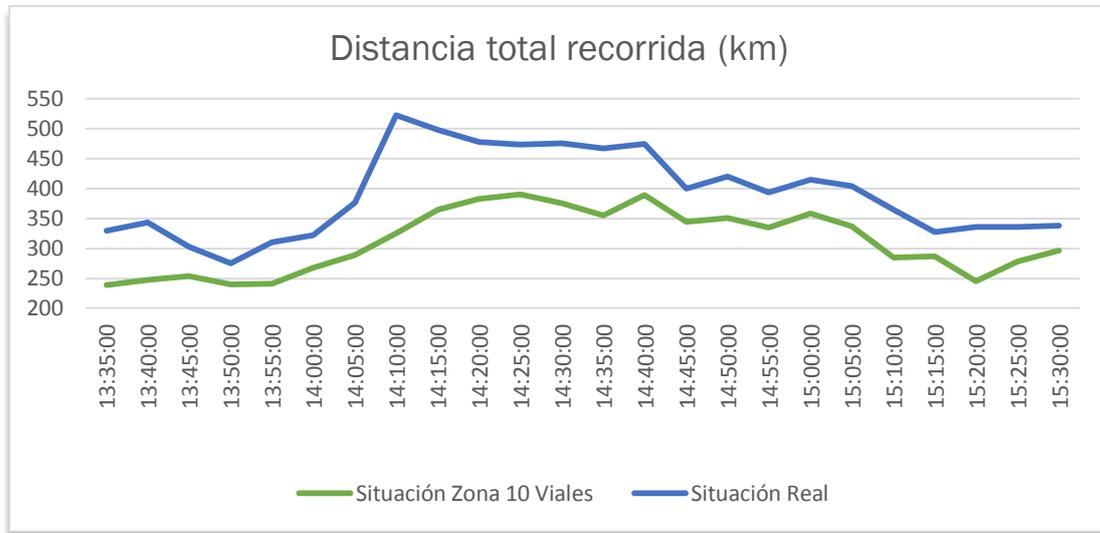
Distancia total recorrida (km):

Figura 5.44: Comparativa de las distancias recorridas (km). Situación Zonas 10 Viales.

Menos vehículos que entran en la red hacen que la distancia total que recorren sea menor.

Los valores totales de distancia recorrida son:

Distancia total recorrida	km
Situación Real	9383,34 km
Situación Zona 10 Viales	7476,25 km

Tabla 5.32: Valores de tiempos totales de viaje (h). Situación Zonas 10 Viales.

Lo normal al haber menos coches por la red es que la distancia que se recorra sea menor. Llama la atención, que pese a recorrer casi dos mil kilómetros menos, se tarde sesenta horas más en hacerlos. Esto es debido a la baja velocidad impuesta.

5.3.4.3 CONCLUSIONES DEL MODELO

Este modelo es de difícil implantación porque, pese a ser el barrio de la Rondilla una zona fundamentalmente de viviendas, acarrea demasiado tráfico para que se limite la velocidad a 10 km/h. La permanencia de los viales no alivia lo suficiente el tráfico, más al contrario, creando retenciones severas en sus calles lo

que hace que la demanda haya tenido que verse reducida y desplazada por otras zonas de la ciudad con velocidad más alta.

Dicha propuesta tampoco se ve lo suficientemente factible para llevarse a cabo.

5.3.5 - SITUACIÓN ROTONDAS

Como última propuesta se ha dejado la limitación de velocidad en los valores reales de 50 km/h pero se han creado rotondas en sustitución de cruces allí donde el espacio era suficiente y teníamos problemas de acceso al barrio. En algunas simulaciones se observaban retenciones a la entrada al barrio desde las zonas externas a causa de los semáforos en las intersecciones más próximas. Por ello se deciden sustituir esos cruces regulados semafóricamente por rotondas.

Los lugares donde se colocan son donde más espacio disponible hay sin tener que suponer la eliminación de edificios contiguos. Como se ve en la siguiente figura, se colocan en las entradas al barrio, en la intersección de la calle Rábida con la calle Cardenal Torquemada y en la Avenida Palencia, liberando así el tráfico entrante.



Figura 5.45: Mapa del modelo de rotondas.

En detalle, las rotondas de la Avenida Palencia:

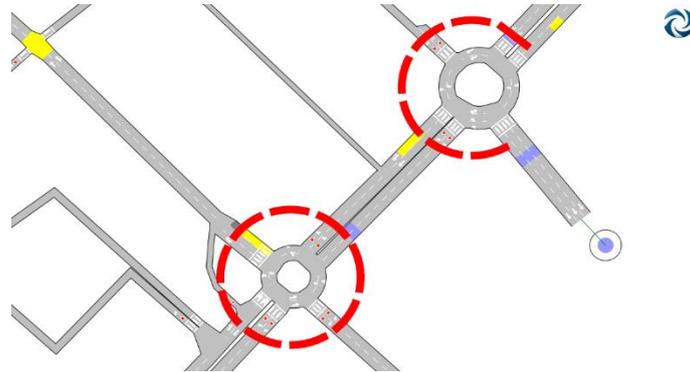


Figura 5.46: Detalle de las rotondas de la Av. Palencia.

La primera impresión al lanzar la simulación es que la velocidad de circulación de los coches es mayor al no tener que parar en dos semáforos consecutivos, disminuyendo así los tiempos de viaje. También se consigue lo que se buscaba al aliviarse las zonas de entrada. Los datos que hemos obtenido se muestran a continuación.

5.3.5.1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS GLOBALES

Flujo de vehículos (veh/h):



Figura 5.47: Mapa de flujo de vehículos para la situación con rotondas.

En el mapa, se puede apreciar un aumento de flujo de vehículos al inicio de la Av. Palencia debido al no haber retenciones y existir una continua circulación de coches. Los datos que obtenemos graficados se muestran a continuación:

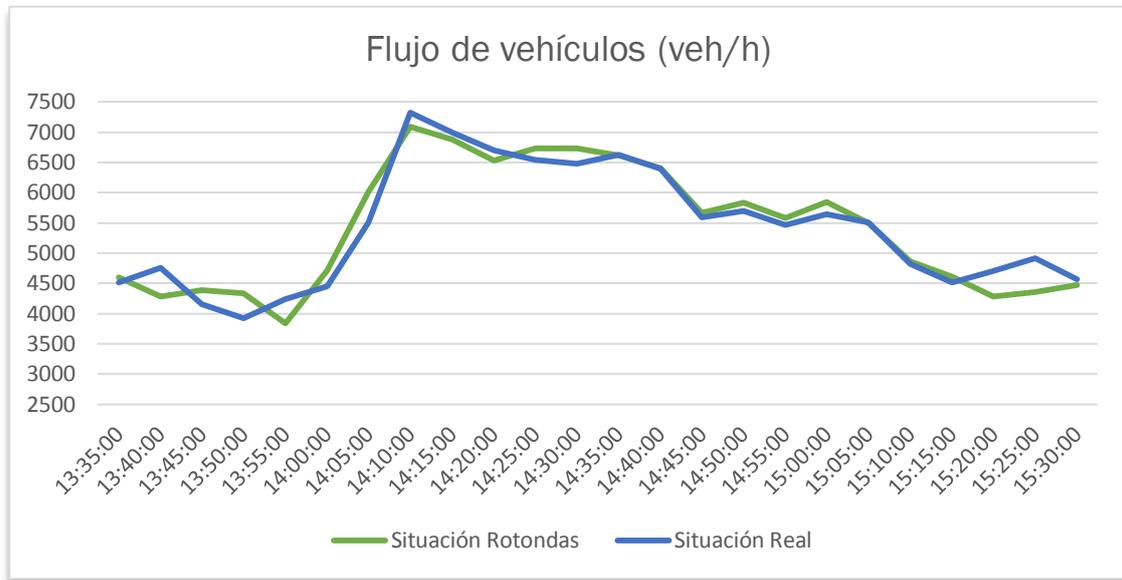


Figura 5.48: Comparativa de flujos de vehículos (veh/h). Situación Rotondas.

Volvemos a la demanda inicial, por lo que el flujo es muy similar en ambas propuestas. Los valores medios que se han obtenido son:

Flujo de vehículos	Veh/h
Situación Real	5418 veh/h
Situación Rotondas	5423 veh/h

Tabla 5.33: Valores medios de flujos de vehículos. Situación Rotondas.

El valor medio ha aumentado en este modelo pero una cantidad mínima.

Densidad de tráfico (veh/km):

En cuanto a la densidad tenemos el siguiente gráfico:

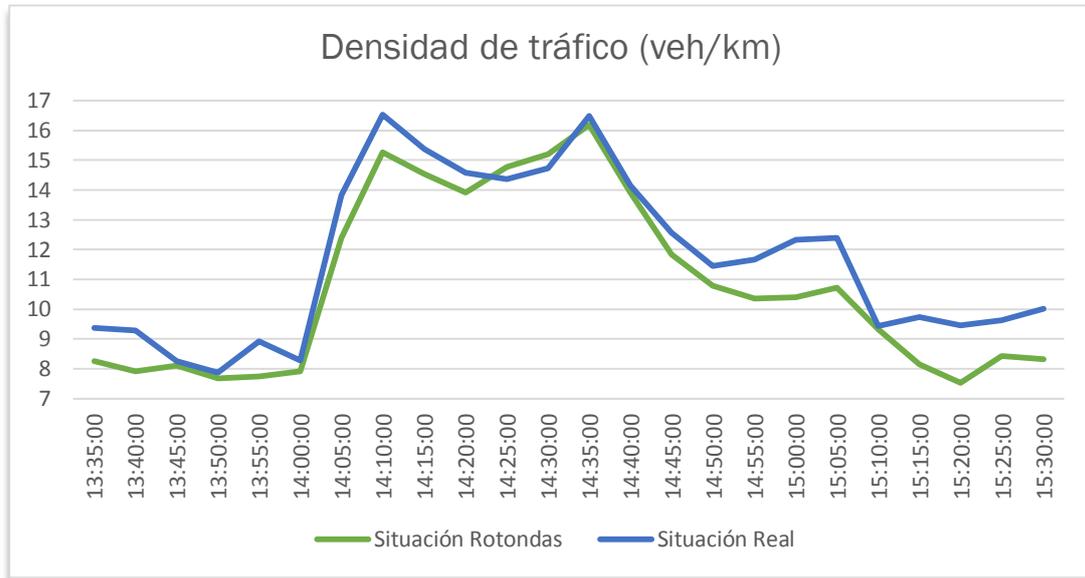


Figura 5.49: Comparativas de densidad de tráfico (veh/km). Situación Rotondas.

Se aprecia una menor densidad de tráfico con este nuevo modelo tanto al inicio como al final de la hora punta. Si nos fijamos en los valores medios:

Densidad	Veh/km
Situación Real	11,695 veh/km
Situación Rotondas	10,818 veh/km

Tabla 5.34: Valores medios de densidad de tráfico. Situación Rotondas.

Casi un coche menos por kilómetro con esta alternativa.

Longitud media de cola (veh):

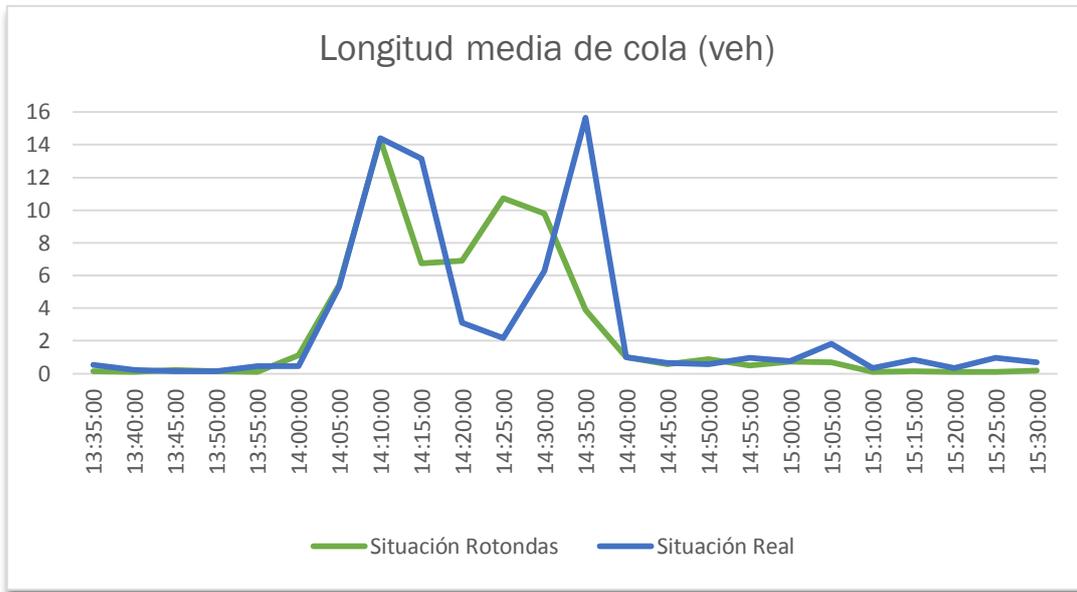


Figura 5.50: Comparativa de longitudes medias de cola (veh). Situación Rotondas.

Con este modelo se consigue minimizar el máximo en el segundo tramo de hora punta disminuyendo su valor. La media de todos los intervalos medidos es:

<i>Longitud media de cola</i>	Veh
<i>Situación Real</i>	2,963 veh
<i>Situación Rotondas</i>	2,696 veh

Tabla 5.35: Valores medios de longitud media de cola. Situación Rotondas.

Disminuye la media de vehículos en espera con este nuevo modelo.

Velocidad (km/h):

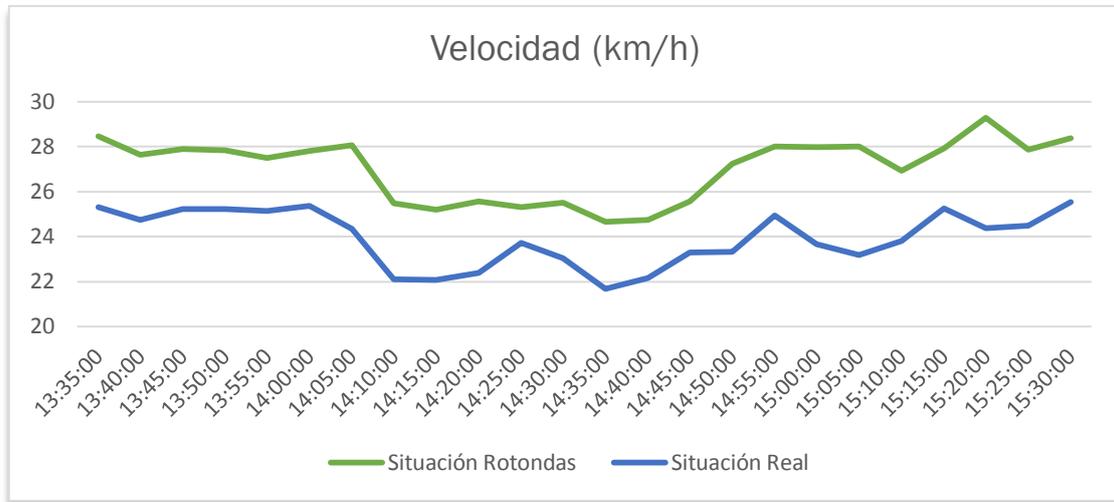


Figura 5.51: Comparación de velocidades (km/h). Situación Rotondas.

Como se esperaba, la eliminación de semáforos hace que la velocidad media en la red aumente. La velocidad media total en el intervalo medido es:

Velocidad	km/h
Situación Real	23,732 km/h
Situación Rotondas	26,837 km/h

Tabla 5.36: Valores medios de velocidad. Situación Rotondas.

Más de tres kilómetros por hora más de velocidad con esta propuesta. Supone una subida considerable de velocidad, un valor más alto de lo que se reduciría si introdujéramos una limitación a 30 km/h.

Tiempo de demora (s/km):

Figura 5.52: Comparativas de tiempos de demora (s/km). Situación Rotondas.

Una mayor velocidad de recorrido y menor longitud de cola ayuda a que el tiempo de demora también sea menor. Los valores medios medidos son:

Tiempo de demora	s/km
Situación Real	115,161 s/km
Situación Rotondas	93,459 s/km

Tabla 5.37: Valores medios de tiempo de demora. Situación Rotondas.

Más de veinte segundos menos de demora en la realización de su trayecto por cada kilómetro.

5.3.5.2 -OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LA RED

Tiempo de parada (s/km) y número de paradas:

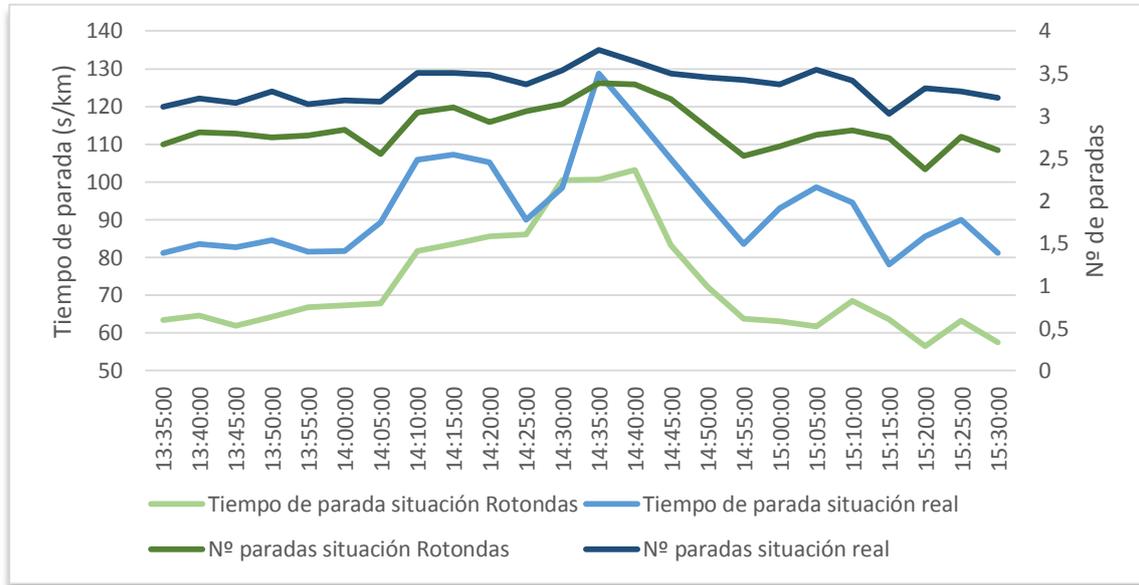


Figura 5.53: Comparación entre el tiempo de parada y el número de paradas. Situación Rotondas.

El modelo con rotondas también sufre una mejora en cuanto al tiempo de parada y el número de las mismas. Para estos parámetros, las medias son:

Tiempo de parada	s/km	Nº de paradas
Situación Real	95,249 s/km	3,386
Situación Rotondas	74,951 s/km	2,884

Tabla 5.38: Valores de tiempos y números de paradas. Situación Rotondas.

Igual tónica que con anteriores parámetros, mucho mejor para el modelo nuevo implementado.

Tiempos totales de viajes (s):

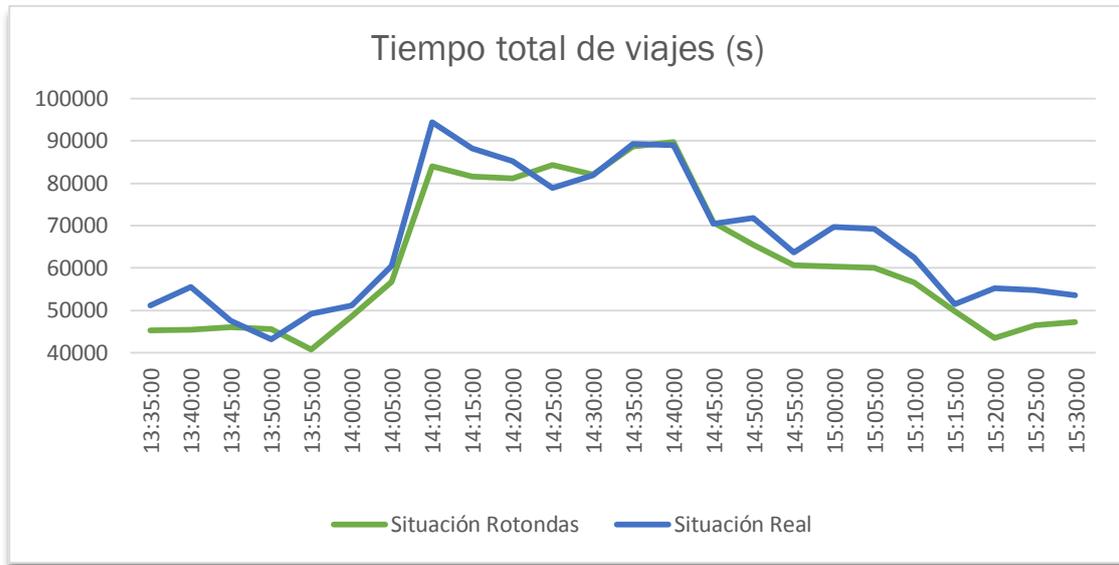


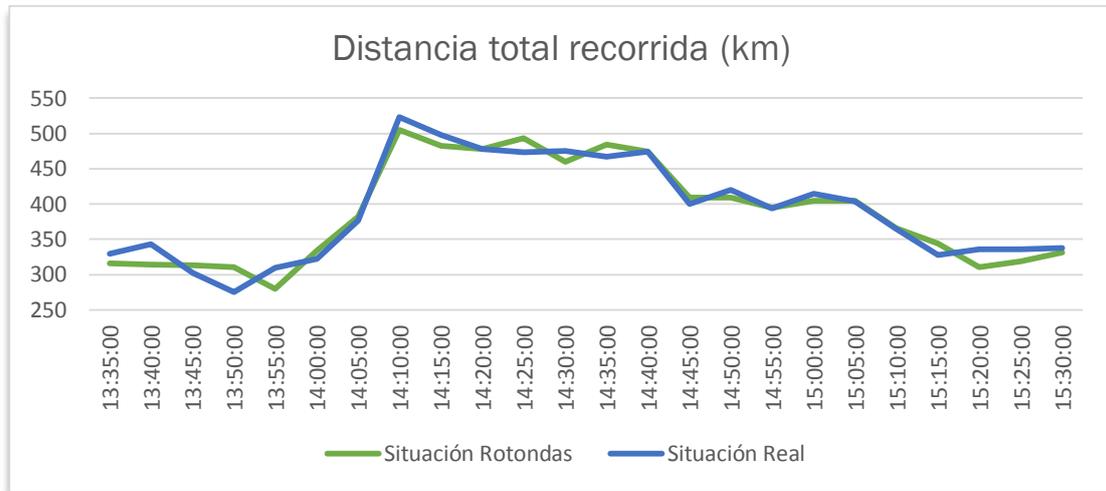
Figura 5.54: Comparación de los tiempos totales de viajes (s). Situación Rotondas.

Se aprecia un menor valor de tiempo en todo el intervalo medido, debido a la mayor velocidad en la red. El tiempo total en horas de viaje son:

Tiempos totales de viaje	horas
Situación Real	441,06 h
Situación Rotondas	411,54 h

Tabla 5.39: Valores de tiempos totales de viaje (h). Situación Rotondas.

Cuarenta horas menos de viaje para prácticamente el mismo flujo.

Distancia total recorrida (km):**Figura 5.55:** Comparativa de las distancias recorridas (km). Situación Rotondas.

Similar gráfica en ambos modelos. Los valores totales son:

Distancia total recorrida	km
Situación Real	9383,34 km
Situación Rotondas	9317,98 km

Tabla 5.40: Valores de tiempos totales de viaje (h). Situación Rotondas.

Se recorre menos distancia en este modelo al estar más aliviado y ser más veloz el tráfico en los trayectos más cortos.

5.3.5.3 -CONCLUSIONES DEL MODELO

Introducir rotondas para aliviar la congestión de entrada al tráfico parece una buena solución para mejorar parte de los problemas. Estas rotondas hacen más fluida la circulación por las zonas de entrada y limita las retenciones que se producían en esos puntos de entrada.

Cómo simulación, la solución es factible y positiva, pero es posible que al implementarlo en la realidad no se vean estos datos reflejados. Las rotondas pueden ser un punto de conflicto y de peligro en zonas de tráfico denso por el impulso de los conductores a adelantar en horas punta. Los datos obtenidos son positivos, pero

puede que ocurran accidentes en esas rotondas por imprudencias de los conductores que ocasionen retenciones mucho más largas que las evitadas.

5.4 -RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos tras realizar las simulaciones de cada modelo se muestran en la tabla de a continuación:

	<i>Real</i>	<i>Ideal</i>	<i>30 Real</i>	<i>30 Ideal</i>	<i>10 Viales</i>	<i>Rotondas</i>
Flujo	5418 veh/h	5403 veh/h	5436 veh/h	5343 veh/h	4064 veh/h	5423 veh/h
Densidad	11,69 veh/km	11,38 veh/km	13,74 veh/km	13,57 veh/km	13,01 veh/km	10,81 veh/km
Velocidad	23,73 km/h	23,92 km/h	21,27 km/h	21,01 km/h	19,85 km/h	26,84 km/h
Longitud media cola	2,96 veh	3,01 veh	8,85 veh	3,96 veh	1,06 veh	2,69 veh
T. Demora	115,16 s	118,48 s	126,22 s	138,11 s	109,83 s	93,46 s
T. Parada	95,25 s	99,83 s	108,01 s	119,34 s	142,65 s	74,95 s
Nº paradas	3,39	3,39	3,64	3,8	2,83	2,68

Tabla 5.41: Resultados de los modelos.

A tenor de los resultados la mejor situación, con una demanda similar, se obtiene creando rotondas en las zonas de entrada. Mejoran todos los resultados, pero puede que esto no se aprecie cuando se aplique a la realidad. Las rotondas en las ciudades son un punto de conflicto, y cuanto más tráfico acojan más problemas acarrearán. Esto no se ve en el programa al ser una conducción ideal.

Por otro lado, la situación de zonas 10 también mejora los resultados, pero hay que tener en cuenta, que la demanda se ha tenido que disminuir un 25% porque la red se saturaba en los viales.

Llama la atención cómo, tanto en las situaciones sin límites de velocidad como en las zonas 30, algunos resultados son peores cuando las capacidades son máximas. Lo lógico sería que al eliminar la doble fila y aumentando la capacidad, los resultados mejoraran, sobre todos los tiempos, que deberían de disminuir, pero en cambio, aumentan. Al ver la simulación, se aprecia que los vehículos tienden a elegir caminos donde la capacidad sea mayor, lo que a la larga hace que estas vías con más capacidad se vean más saturadas y hagan su tráfico interno más lento.

Capítulo 6:

Estudio económico

6.1 -INTRODUCCIÓN

Este capítulo tiene como objetivo calcular los costes de la realización del TFG. Esto es siempre necesario para poder estudiar la viabilidad económica de un proyecto. En el presupuesto que se va a elaborar se detallará el cómputo global de todas las partidas de los costes que ha implicado el desarrollo de este proyecto.

Los costes totales de la realización de un proyecto de este tipo se pueden clasificar de diversas formas, como por ejemplo:

6.1.1 - COSTES DIRECTOS Y COSTES INDIRECTOS

- Costes directos: Son aquellos que se reparten entre los distintos productos, sabiendo en qué medida cada uno de ellos repercute en el coste del producto.
- Costes indirectos: Son costes que, siendo necesario tenerlos en cuenta para calcular el presupuesto, no se pueden repartir objetivamente entre los distintos productos, ya que no se conoce en qué medida exacta influye cada uno de ellos. Para poder distribuirlos habrá que establecer previamente algún criterio de reparto, más o menos lógico.

Los costes serán directos o indirectos dependiendo del tipo de compañía, de la actividad que realice, de cómo esté organizada. Puede ocurrir que un coste sea directo para una empresa e indirecto para otra, y viceversa. También, el que un coste sea directo o indirecto puede depender de los sistemas de mediación y control que tenga la empresa.

6.1.2 - COSTES FIJOS Y COSTES VARIABLES

- Costes fijos: Son aquellos que no varían con el nivel de actividad de la empresa. Permanecen constantes aunque suba o baje la producción de dicha empresa.
- Costes variables: Son los costes que sí varían con el nivel de actividad de la empresa.

También se pueden considerar costes que tienen una naturaleza mixta, que llamamos semifijos y semivARIABLES.

- Coste semifijo: Es el coste que evoluciona de forma escalonada. En principio se comporta como un coste fijo, hasta que la actividad alcanza un determinado nivel, momento en el que se produce un incremento brusco del mismo. A partir de ahí se vuelve a comportar como un coste fijo hasta que la actividad alcanza otro nivel determinado, donde el coste volvería a subir y así sucesivamente.
- Coste semivariable: Es el coste que tiene una parte fija y otra variable.

6.1.3 - CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DE LOS COSTES DE ESTE PROYECTO

Para llevar a cabo nuestro TFG nos vamos a servir de un análisis de costes directos e indirectos, que explicamos ahora con más detalle:

Costes directos: dentro de estos costes consideraríamos los siguientes:

- Costes de personal: Son los costes que hay que afrontar dependiendo del número de trabajadores que tengamos en la empresa, de su nivel, de las horas laborales de cada uno de ellos, etc.
- Costes de los equipos: Son los costes que tendrán en función del número de ordenadores que tengamos, así como de impresoras, programas utilizados para la realización del proyecto, etc.
- Coste de material: Son los que se afrontarán en función de los elementos utilizados en su realización. Se calcula sumando los costes de todo el material utilizado para el proyecto.

Costes indirectos: dentro de este apartado incluiremos todos aquellos que no influyen directamente sobre el producto, pero que si van a tenerse en cuenta en el

presupuesto, ya que son costes que van a existir en mayor o menor medida; entre ellos podríamos incluir la electricidad, el teléfono, etc.

A continuación vamos a realizar el estudio económico del TFG utilizando este criterio.

6.2 -COSTES DIRECTOS

En estos costes se contabilizan los costes de personal junto con los de materiales y maquinaria, utilizados de forma directa, amortizables o no, debido a que el conjunto de los equipos y programas no se utilizan en exclusividad para el desarrollo de este proyecto, por lo que es necesario repartir esta inversión entre los diferentes trabajos realizados. A continuación se describirá con detalle el coste de los recursos imprescindibles para la realización del presente proyecto.

6.2.1 - COSTE DE PERSONAL

En este apartado, tendremos en cuenta los actores que participan en la realización de este TFG. En el caso de este trabajo aparecen dos personas involucradas.

En primer lugar, se encuentra el Director del proyecto que es el encargado de presentar el proyecto al ingeniero, asesorar y supervisar el trabajo durante el transcurso del mismo y dar el visto bueno final.

En segundo lugar, se tiene al Ingeniero de Organización Industrial, que se encargará de la recopilación de información, del diseño y de la elaboración del proyecto en todas sus etapas. Se tendrá en cuenta el periodo de tiempo en que se inicia el proyecto (Mayo 2015) hasta su finalización (Noviembre 2015). El flujo de trabajo entre director e ingeniero puede apreciarse en la siguiente figura:

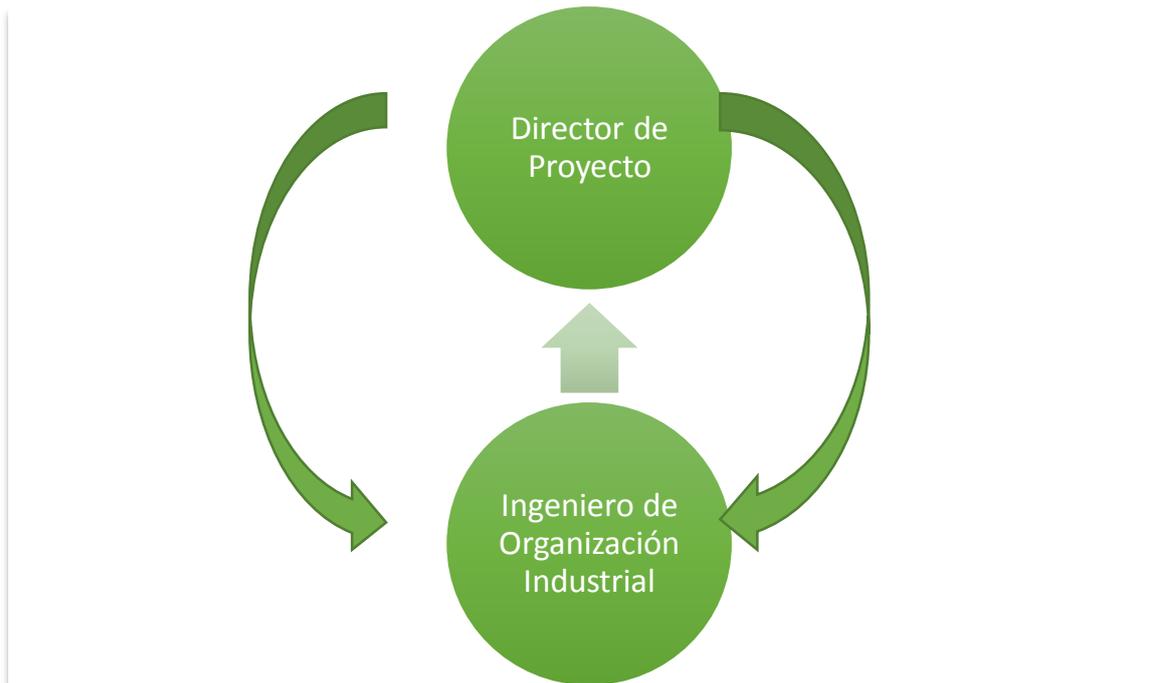


Figura 6.1: Organización personal implicado.

Para calcular los costes de personal, antes de todo, se debe tener en cuenta el número de horas efectivas que va a tener este TFG. Se contabilizaran los meses en los que se ha realizado el trabajo: Mayo, Junio, Julio, Septiembre, Octubre y Noviembre.

Concepto	Días/ Horas
Tiempo (6 meses)	180
Sábados y domingos	48
Días festivos vacaciones	22
Días festivos reconocidos	6
Días perdidos	8
Total días estimados	96
Total horas efectivas (8 horas/día)	768

Tabla 6.1: Horas efectivas de trabajo.

Se considerará al ingeniero que ha realizado el TFG y al director del proyecto para calcular los costes de personal. El sueldo será calculado para los 6 meses de trabajo con un porcentaje del 35% que se imputara a la seguridad social. En la tabla 6.2 se ven estos gastos:

Concepto	Director	Ingeniero
Sueldo (6 meses)	25.843 €	11.569 €
Seguridad Social (35%)	9.045 €	4.049 €
Total	34.888 €	15.618 €
Coste horario	45 €	20 €

Tabla 6.2: Sueldo de los integrantes del proyecto.

Para poder computar el gasto del personal referente al ingeniero en el proyecto, se hace una estimación de las horas invertidas en cada una de las etapas en las que se divide la realización del TFG. El trabajo, como se mencionó antes, se ha realizado durante 6 meses que llevado a días útiles hace un total de 96 días. Durante ese periodo, la media de horas dedicadas fueron 5 horas al día, dando como resultado un total de 480 horas de dedicación de todo el TFG. Así podremos determinar la dedicación horaria de cada uno de los integrantes. En la siguiente tabla (tabla 6.3) se ven las distintas etapas y las horas correspondientes.

Etapas	Horas
Documentación	60
Aprendizaje software	85
Recogida de datos	25
Desarrollo del modelo	75
Análisis y calibración del modelo	100
Propuestas de mejora	75
Elaboración documentación	60
Total horas invertidas	480

Tabla 6.3: Distribución de horas en las diferentes etapas.

El Director también dedica una serie de horas a cada una de las etapas del proyecto para apoyar y ayudar al ingeniero ante los problemas que aparecen. La tabla 6.4 muestra la dedicación de cada integrante del TFG en su realización. Dentro de las horas dedicadas a la recogida de datos, se tienen en cuenta las que ha llevado conocer el barrio “in situ” para ver los problemas existentes en el tráfico.

Etapas	Director	Ingeniero
Documentación	2	60
Aprendizaje software	0	85
Recogida de datos	1	25
Desarrollo del modelo	3	75
Análisis y calibración del modelo	10	100
Propuestas de mejora	10	75
Elaboración documentación	10	60
Horas invertidas	36	480

Tabla 6.4: Dedicación de cada integrante del proyecto.

Una vez definidas las horas invertidas en el desarrollo del TFG, se puede calcular el coste total del personal, puesto que se conocen el número de horas que ha empleado el ingeniero y el Director del proyecto, así como el coste horario de los mismos. Lo mostramos en la siguiente tabla (tabla 6.5):

Concepto	Ing. Organización Industrial	Director Proyecto
Horas empleadas (horas)	480	36
Coste horario (€/hora)	20 €	45 €
Total (€)	9.761 €	1.635 €
Total Coste Personal (€)	11.397 €	

Tabla 6.5: Coste total de personal.

6.2.2 - COSTES DE LOS EQUIPOS

En estos costes se incluyen las amortizaciones de los equipos utilizados para llevar a cabo el proyecto. Se tendrá en cuenta tanto el hardware como el software utilizado:

Hardware:

- Ordenador ASUS MV-50C.
- Impresora multifunción Brother DCP-J315W.

Software:

- Sistema operativo Windows 8.1.
- Software AIMSUN 6.1 Advanced.
- Paquete Office Profesional 2013.

Para calcular los costes de todos estos elementos informáticos que se utilizan en la realización del TFG, se considera el coste real de cada uno de ellos asignado al periodo de tiempo de realización del mismo. Para ello se debe considerar sus correspondientes amortizaciones. Estas se consideraran lineales a 3 años, basándose en el tiempo medio de duración de los elementos informáticos.

Para la amortización, supondremos años de 300 días útiles y 8 horas de trabajo diarias. Con esto, calcularemos el índice de amortización de cada uno de los elementos que indica el coste por hora para amortizarlo en los 3 años definidos anteriormente. Teniendo en cuenta la duración de nuestro TFG y ese índice de amortización, se calcula la amortización de cada uno de los componentes. Por tanto, el gasto total debido al equipo informático se muestra en la siguiente tabla:

Concepto	Coste (€)	Índice de amortización (€/horas)	Duración del proyecto (horas)	Amortización efectiva (€)
Ordenador ASUS MV-50c	899,95 €	0,125	480	60,00 €
Impresora Brother DCP-J315W	63,95 €	0,01	480	4,80 €
S.O. Windows 8.1.	250,00 €	0,03	480	14,40 €
Software Aimsun 6.1. Advanced	3.000,00 €	0,42	480	201,60 €
Paquete Microsoft Office Profesional 2013	269,00 €	0,04	480	19,20 €
Total Coste (€)	4.482,90 €	0,625	480	300,00 €

Tabla 6.6: Coste de los equipos.

6.2.3 - COSTES DE MATERIALES CONSUMIBLES

En los costes directos, también se ha de tener en cuenta los costes de aquellos materiales que se han utilizado para la realización del TFG. Se ha realizado una tabla (tabla 6.7) para indicar la cuantía de este tipo de gastos:

Concepto	Cuantía (€)
Papel de impresora	20,00 €
Suministros de impresora	60,00 €
CD's	12,00 €
Otros	120,00 €
Total Coste Material	212,00 €

Tabla 6.7: Coste de materiales.

Una vez calculado los tres tipos de costes directos que hacen referencia al personal, a los equipos y al material, ya se pueden sumar para comprobar cuál es el total de los costes directos imputables al proyecto. Se muestra en la siguiente tabla:

Concepto	Cuantía (€)
Total Coste Personal (€)	11.396,72 €
Total Coste Equipos (€)	300,00 €
Total Coste Material	212,00 €
Total Coste Material	11.908,72 €

Tabla 6.8: Costes directos.

6.3 -COSTES INDIRECTOS

En este punto se contabilizan los gastos referentes a consumos externos a la realización del TFG como son el consumo eléctrico, el gasto telefónico, los gastos administrativos, etc. Esta suma de dinero no afecta directamente al proyecto pero hay que tenerlo en cuenta ya que se ha consumido durante el transcurso del mismo. El resultado de los costes indirectos se muestra en la siguiente tabla:

Concepto	Cuantía (€)
Teléfono e Internet	120,00 €
Consumo eléctrico y calefacción	150,00 €
Consumo de agua	50,00 €
Gastos Administrativos	75,00 €
Transporte	170,00 €
Total Coste Indirecto (€)	565,00 €

Tabla 6.9: Costes indirectos.

6.4 -COSTES TOTALES DEL PROYECTO

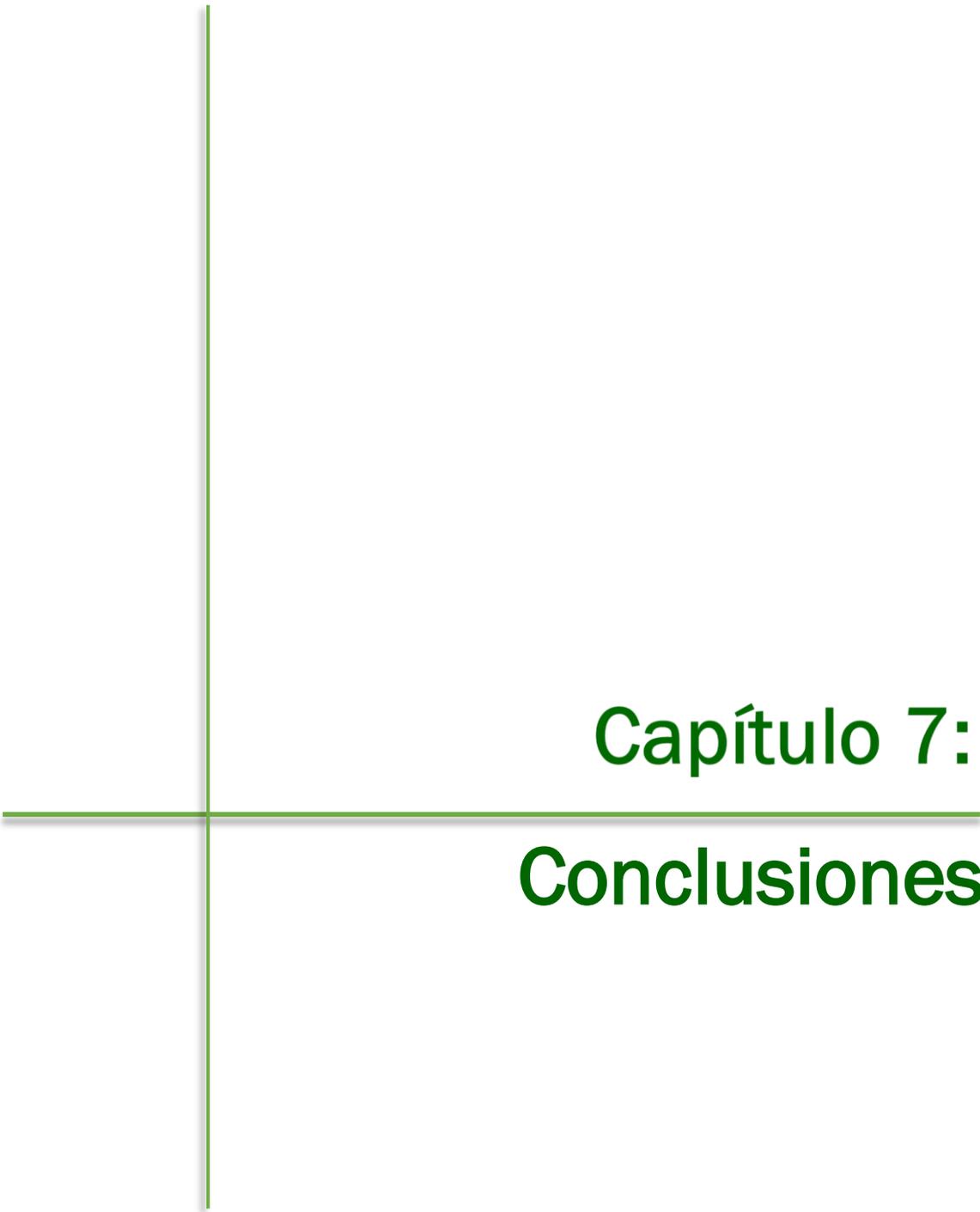
Una vez calculados los costes directos e indirectos del proyecto, sólo falta sumarlos para calcular el coste total del proyecto. En la siguiente tabla se muestra el resumen de cada coste y el coste total del proyecto:

Concepto	Cuantía (€)
Total Costes Directos (€)	11.908,72 €
Total Costes Indirectos (€)	565,00 €
Total Coste Directo (€)	12.473,72 €

Tabla 6.10: Costes totales.

Por tanto, el coste total del proyecto asciende a doce mil cuatrocientos setenta y tres euros con setenta y dos céntimos.

12.473,72 €



Capítulo 7: Conclusiones

7.1 -CONCLUSIONES

Con la realización de este trabajo de fin de grado se ha podido estudiar y analizar el tráfico de una zona céntrica de la ciudad de Valladolid, como es el barrio de la Rondilla, valorando los problemas de tráfico existentes en la hora punta. También se han simulado diferentes modelos con distintas propuestas de tráfico para analizar los resultados obtenidos y compararlos con la situación actual.

Mediante el software AIMSUN se ha podido realizar dichos modelos, lo que nos ha permitido:

- Desarrollar y construir una red similar al barrio de la Rondilla que nos ha servido como objeto de estudio, con sus vías, intersecciones, señales, demandas de tráfico y plan de control semafórico.
- Calibrar el modelo para poder representar las características tal y como se muestran en la realidad, ajustando las limitaciones de velocidad, capacidades de las vías, velocidades de los vehículos, tiempos de reacción, tiempos semafóricos...
- Obtener una validación correcta de la red creada comparando, mediante una regresión lineal, los datos obtenidos tras la simulación con los datos reales de espiras.
- Analizar y comparar resultados de características de la circulación como son: flujo de vehículos, densidad de tráfico, velocidad media, longitudes de cola, tiempo de demora, tiempo de viaje, tiempo total de viaje, tiempo de parada, número de paradas y distancia total recorrida.
- Señalar los problemas de circulación de la red.
- Analizar las diferentes propuestas comparando los datos obtenidos con los resultados del modelo inicial.

Por tanto, conseguimos alcanzar los objetivos que nos habíamos marcado al inicio de la realización de éste TFG.

Los resultados obtenidos tras la simulación del modelo real y su comparación con los resultados en los diferentes de los modelos nos ayudan a sacar las siguientes conclusiones:

- Los valores máximos de flujo de vehículos en la red tienen lugar entre las 14:00 y las 14:45 dando lugar a valores altos de densidad y generando colas de vehículos que esperan a entrar en la red. El tiempo medio de viaje que tardan los vehículos en realizar su recorrido se sitúa en 184,8 s/km, haciéndolo a una velocidad de 23,7 km/h. En la simulación los mayores problemas de congestión tiene lugar en la entrada al barrio por la Avenida de Palencia generando colas de 25-30 vehículos. También se aprecian problemas en la calle Cerrada por la poca capacidad disponible en la vía.
- Al limitar el aparcamiento en doble fila, aumentando la capacidad de las vías, la densidad de tráfico ve mejorado su valor así como la velocidad media de circulación pero, por otro lado, tanto la longitud media de vehículos en cola como el tiempo de demora empeoran su dato. Esto se debe a que más vehículos eligen estas calles con nueva capacidad, generando más tráfico por el interior.
- Mediante la limitación a 30 km/h la velocidad de circulación, se observa un flujo mayor de vehículos por las calles externas que mantienen su limitación en 50 km/h. La densidad de tráfico aumenta en 2 veh/km su valor tanto si se limita el aparcamiento en doble fila como si no. La velocidad media, como era de esperar, reduce su valor en 2 km/h en ambas situaciones. Los tiempos también se ven afectados en gran medida aumentando sus valores con respecto a la situación real. Comparando la situación en que la capacidad se viera limitada por la doble fila con la ideal de capacidad máxima, se observan unos tiempos mayores para la propuesta con mayor capacidad. Esto se debe a que se genera más tráfico en las calles con más capacidad creando más retenciones puntuales.
- Para la propuesta de limitación de 10 km/h con creación de viales de 50 km/h, pese a la disminución de flujo de vehículos por sus calles, se ve un aumento de la densidad de los vehículos causado por el creciente número de vehículos que intentan atravesar el barrio ocupando los viales de mayor velocidad. Las longitudes de cola ven disminuido el valor por la menor demanda, así como los tiempos de demora al haber menos coches por la red.
- Si se crean rotondas en las zonas de acceso al barrio, se apreciaría una mejora en la densidad de la red pasando de 11,7 veh/km a 10,8 veh/km. De igual modo, la velocidad media aumenta su valor en 3 km/h, lo que conlleva una mejoría en los tiempos de demora, de parada y de viaje. Estos tiempos sufren un descenso en su valor de alrededor de 20 s/km.

Por tanto, con los resultados analizados se ve que los problemas se reducen con la creación de rotondas en las entradas al barrio. Esto es lo que nos dicen los datos de la simulación, pero con este modelo se deberían tener más puntos en cuenta. La construcción de esas rotondas llevaría su tiempo y generaría problemas graves de acceso al barrio durante su implantación. Por otro lado, la gran cantidad de vehículos girando por las rotondas supondrían un peligro de accidente constante que, en caso de ocurrir, paralizaría el tráfico del barrio.

Con estos resultados y valoraciones, los responsables de su implantación deben valorar los aspectos positivos y negativos de cada modelo para concluir cuál de todos sería más aconsejable para su implantación.

Por otro lado, se ha demostrado la validez del software AIMSUN para su aplicación como herramienta de trabajo y la capacidad del método para la valoración del comportamiento del tráfico en la zona estudiada.

7.2 -LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Como posibles continuaciones de este Trabajo de Fin de Grado y analizando las posibilidades y adecuación del software AIMSUN, proponemos como futuras líneas de investigación:

- Analizar el movimiento peatonal del barrio para implementarlo sobre este modelo y ver los resultados teniendo en cuenta ese tráfico externo a los vehículos.
- Implantar carriles bicis en el viario urbano y analizar las consecuencias que tendría en la movilidad.
- Estudiar la posibilidad de creación de zonas de aparcamientos para aliviar la congestión de la red por la doble fila.
- Optimizar el plan de control semafórico de Valladolid con la búsqueda de las ondas verdes en las avenidas principales.
- Modelización del centro de la ciudad para la implantación de zonas peatonales.
- Estudiar la creación de carriles de uso exclusivo para transporte público y mejorar el plan de transporte público de la ciudad.
- Estudiar y analizar la posibilidad de implantación de zonas 30 en busca de una mejora en los valores de contaminación.
- Estudiar la creación de “supermanzanas” en la zona centro para aliviar el tráfico existente.
- Analizar la nueva movilidad urbana si se limitara el uso del transporte privado en el interior de la ciudad.



Bibliografía

LIBROS

- Asociación Técnica de Carreteras. (1995). *Manual de capacidad de carreteras*. Madrid. Asociación Técnica de Carreteras.
- Ayuntamiento de Valladolid (2003). *Plan Integral de Movilidad Urbana ciudad de Valladolid. Informe sobre movilidad*. Valladolid.
- Hay, W. W: (1983). *Ingeniería de transporte*. [s.l]: Editorial Limusa.
- Khisty, C. J. (1998). *Transportation engineering: an introduction*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Morlok, E.K. (1978). *Introduction to transportation engineering and planning*. New York: MacGraw-Hill.
- Papacostas, C.S. & Prevedouros, P. D. (1993). *Transportation engineering and planning*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Pérez, E. (2014). *Ingeniería de Transporte*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Valdés, A. (1988). *Ingeniería del Tráfico*. Madrid: Bellisco.
- Wright, P. H. (1989). *Transportation engineering: planning and design*. New York: John Wiley & Sons.

PROYECTOS

- Burgos, C. (2000). *Análisis y desarrollo de un plan de estacionamiento en la rondilla. Modelos de interacción con el tráfico rodado*. Valladolid: Proyecto Fin de Carrera.
- Corral, C. M. (2004). *Análisis de la aplicación al tráfico rodado de las propuestas básicas de actuación del plan de movilidad urbana de Valladolid*. Valladolid: Proyecto Fin de Carrera.
- Cristóbal, J. (2012). *Análisis, valoración y gestión de tráfico de la glorieta Avenida Zamora - Avenida Madrid en la provincia de Valladolid. Propuestas de mejora*. Valladolid: Proyecto Fin de Carrera.

González, J. (2000). *Modelos de integración para el desarrollo sostenido de la movilidad en zona urbana*. Valladolid: Proyecto Fin de Carrera.

Pardo, D. (2013). *Evaluación de alternativas de movilidad a la supresión del viaducto Arco de Ladrillo-García Morato con motivo del soterramiento del Ferrocarril*. Valladolid: Proyecto Fin de Carrera.

Sánchez, R. (1999). *Modelización y simulación de las características del tráfico en la Rondilla*. Valladolid. Proyecto Fin de Carrera.

DIRECCIONES DE INTERNET

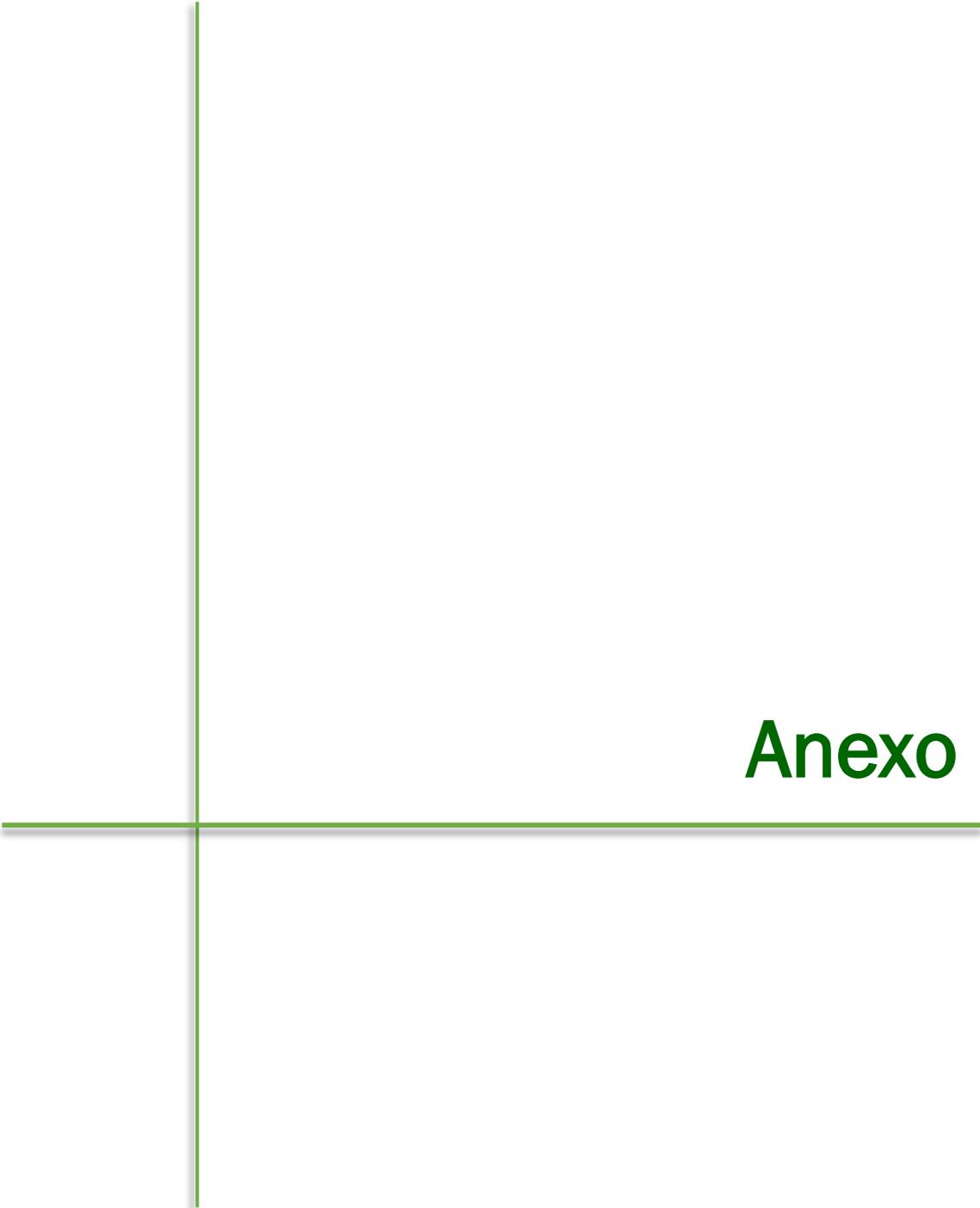
Asociación Vecinal Rondilla. (2015). <http://www.rondilla.org/>. (Último acceso noviembre 2015).

Auvasa. (2015): <http://www.auvasa.es/> (Último acceso noviembre 2015).

Ayuntamiento de Valladolid, Movilidad y transporte. (2015); <http://www.valladolid.es/es/ciudad/movilidad-transporte>. (Último acceso noviembre 2015).

Dirección General de Tráfico. (2015). <http://www.dgt.es/es/>. (Último acceso noviembre 2015).

TSS. Transport Simulation System. (2015). <http://www.aimsun.com/wp/>. (Último acceso noviembre 2015).



Anexo

DATOS CEDIDOS POR EL AYTO. DE VALLADOLID

En este anexo se muestran los datos aportados por el Excmo. Ayuntamiento de Valladolid para la realización del proyecto.

Estos son:

- Mapa de situación de las espiras en el barrio de la Rondilla.
- Datos de esas espiras en IMD anual.
- Mapa de semáforos el barrio de la Rondilla.
- Ubicación y tiempos de cada cruce semafórico.

DATOS DE ESPIRAS

Para conocer el número de coches que atraviesan una zona determinada de la ciudad, el Ayuntamiento de Valladolid cuenta con un alto número de espiras permanentes a lo largo de toda la ciudad que le permite conocer el número de vehículos que la atraviesan.

En el barrio de la Rondilla, nuestra zona de estudio, se localizan 12 de estas espiras, 10 de ellas en el conjunto de calles Avenida de Palencia –Rondilla de Santa Teresa y las 2 restantes en la calle Rábida.

A continuación se muestran el mapa de su ubicación y el código de numeración (figura A.1) y los datos de IMD de los últimos años. (Tabla A.1)

Mapa de espiras

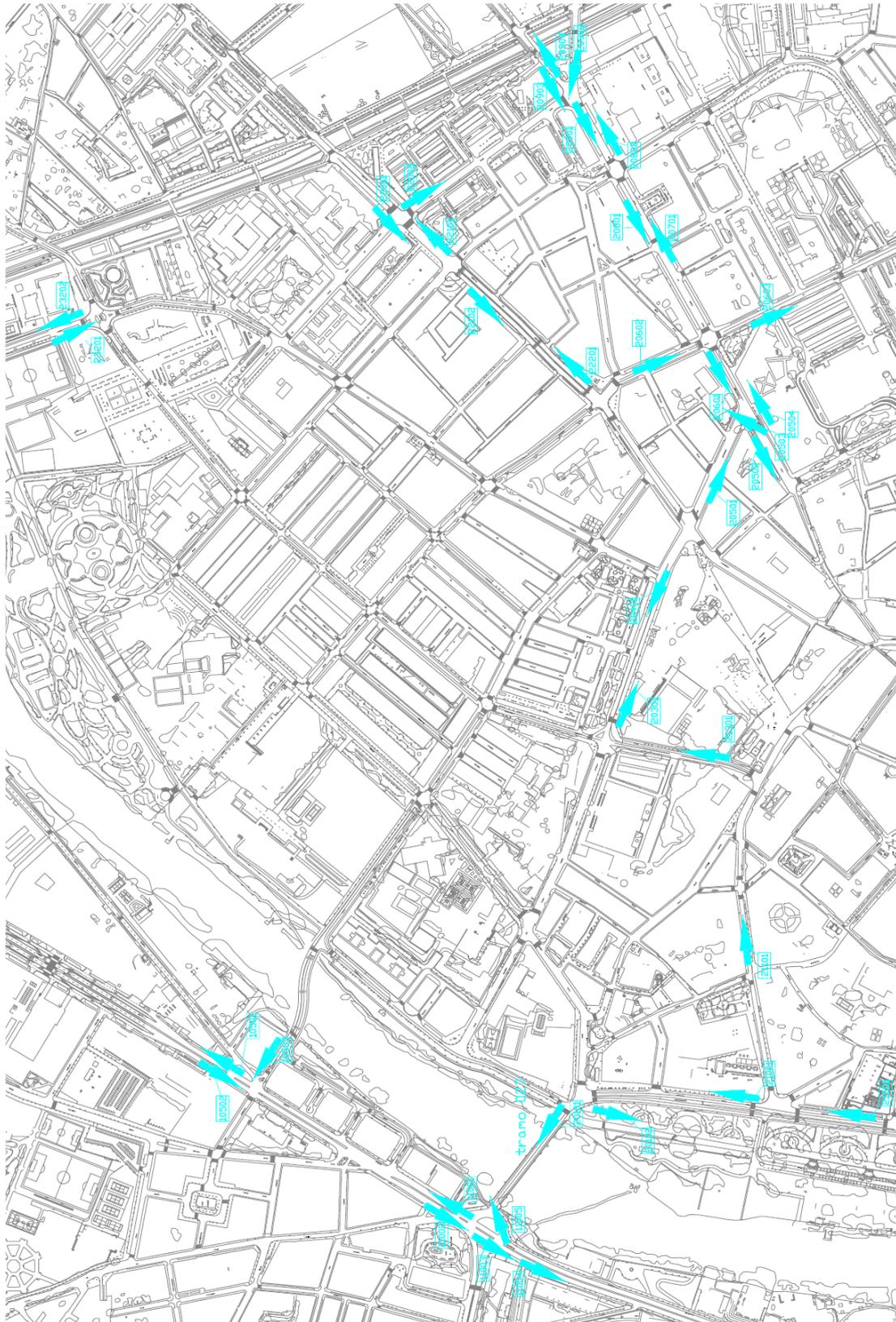


Figura A.1: Mapa con ubicación de espiras permanentes.

Datos de espiras

UBICACIÓN	P.M.	2011		2012		2013		2014	
		Laboral	Festivo	Laboral	Festivo	Laboral	Festivo	Laboral	Festivo
RONDILLA SANTA TERESA -> GONDOMAR (CARDENAL TORQUEMADA)	PM020301	5.700	3.549	5.676	3.586	5.628	3.536	5.184	3.180
RONDILLA SANTA TERESA -> PASEO RENACIMIENTO (SANTA CLARA)	PM020401	13.542	8.859	13.391	8.897	12.740	8.426	11.291	7.405
GONDOMAR -> CHANCILLERÍA (CHANCILLERÍA)	PM020501	3.482	2.008	3.352	2.026	3.439	2.057	3.473	2.052
REAL DE BURGOS -> HUELGAS (CHANCILLERÍA-ENTRADA)	PM020602	12.036	8.386	8.777	5.959	9.145	6.266	9.241	6.387
CARDENAL TORQUEMADA -> RONDILLA SANTA TERESA (SAN PABLO)	PM021301	10.146	6.746	9.603	6.402	9.428	6.268	9.393	6.166
AVDA. PALENCIA -> SANTA CLARA (AMOR DE DIOS)	PM022001	3.740	2.637	6.978	4.937	6.815	4.811	7.020	4.925
AMOR DE DIOS -> MADRE DE DIOS (AVDA. PALENCIA)	PM022002	3.857	2.634	3.031	1.980	3.369	2.156	3.347	2.160
AVDA. PALENCIA -> AVDA. SANTANDER (PENITENCIA)	PM022101	5.214	3.360	4.841	3.185	4.567	2.982	4.680	3.074
AVDA. PALENCIA -> SANTA CLARA (PENITENCIA)	PM022102	7.842	5.429	7.341	5.285	7.267	5.133	7.412	5.193
AVDA. PALENCIA -> AVDA. SANTANDER (REAL DE BURGOS)	PM022201	4.416	2.964	4.330	2.974	4.085	2.809	4.123	2.845
RÁBIDA -> PORTILLO DE BALBOA (CARDENAL TORQUEMADA)	PM023201	2.387	1.749	2.645	1.778	2.815	1.895	3.043	2.038
RÁBIDA -> EURO (CARDENAL TORQUEMADA)	PM023202	1.551	1.162	1.694	1.126	1.806	1.216	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

Tala A.1: Datos de espiras en IMD anual.

INTERSECCIONES SEMAFÓRICAS

El barrio de la Rondilla cuenta con 13 intersecciones reguladas por semáforos distribuidas a lo largo de todo su espacio.

Estas intersecciones, manteniendo la codificación usada por el gabinete de movilidad del Ayuntamiento de Valladolid, son:

- Cruce 0202- C/Rondilla de Santa Teresa- C/Mirabel.
- Cruce 0203- C/Rondilla de Santa Teresa- C/Cardenal Torquemada.
- Cruce 0204- C/Gondomar- C/Santa Clara.
- Cruce 0220- Avda. de Palencia - C/Amor de Dios.
- Cruce 0221- Avda. de Palencia - C/Penitencia.
- Cruce 0222- Avda. de Palencia - C/Real de Burgos.
- Cruce 0226- C/Cardenal Torquemada – C/Tirso de Molina.
- Cruce 0227- C/Cardenal Torquemada – C/Cardenal Cisneros.
- Cruce 0228- C/Cardenal Cisneros – C/Las Moradas.
- Cruce 0229- C/Cardenal Cisneros – C/Portillo de Balboa.
- Cruce 0230- C/Soto - C/Cardenal Torquemada.
- Cruce 0231- C/Soto - C/Portillo de Balboa.
- Cruce 0232- C/Cardenal Torquemada – C/Portillo de Balboa.

A continuación se mostrará un mapa de la ubicación de las intersecciones semafóricas, siendo las marcadas en verde las pertenecientes a la Rondilla, y después, cada intersección en detalle.

Mapa de intersecciones semafóricas

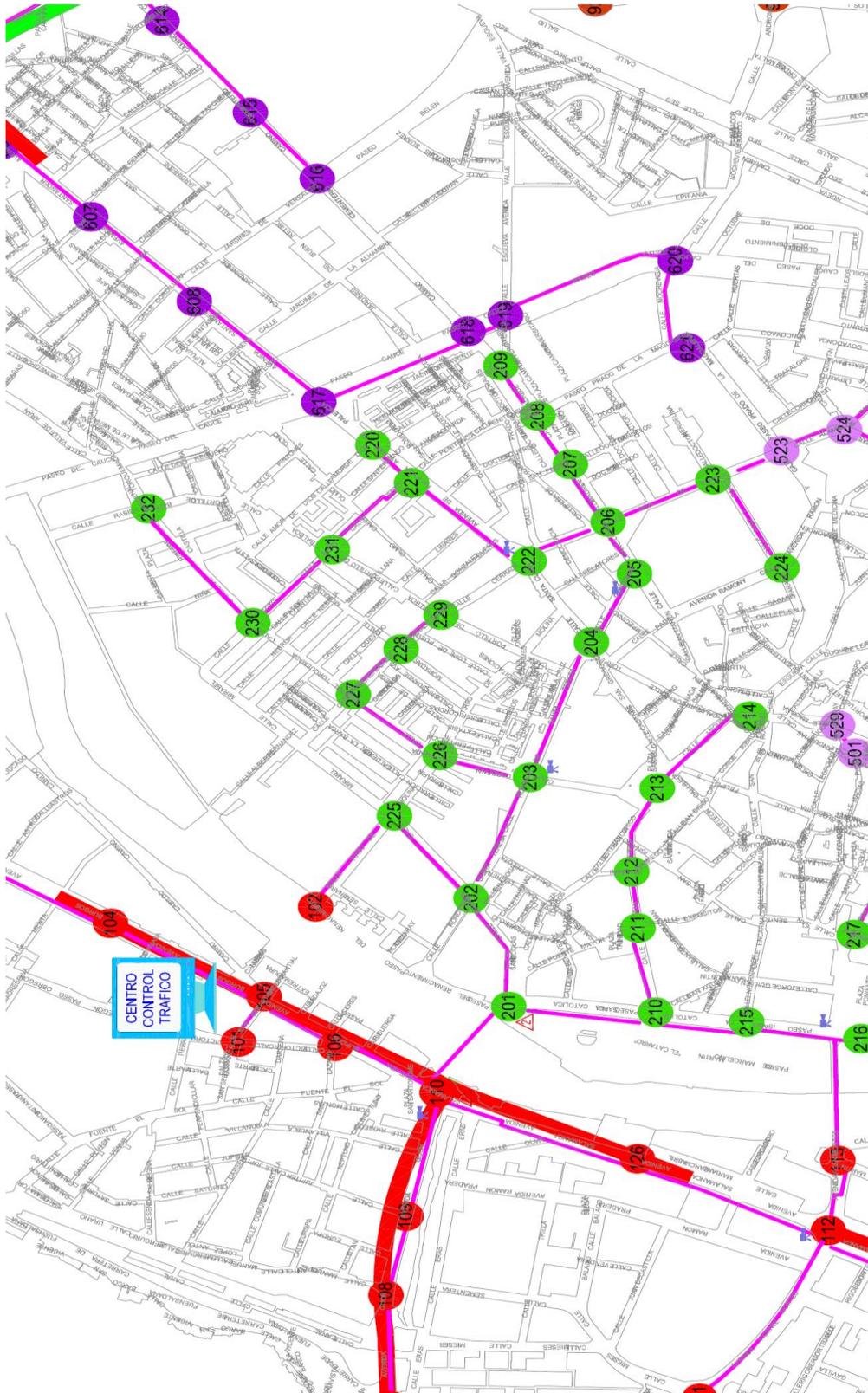


Figura A.2: Mapa de semáforos del barrio de la Rondilla.

Intersecciones detalladas

- Cruce 0202- C/Rondilla de Santa Teresa- C/Mirabel.

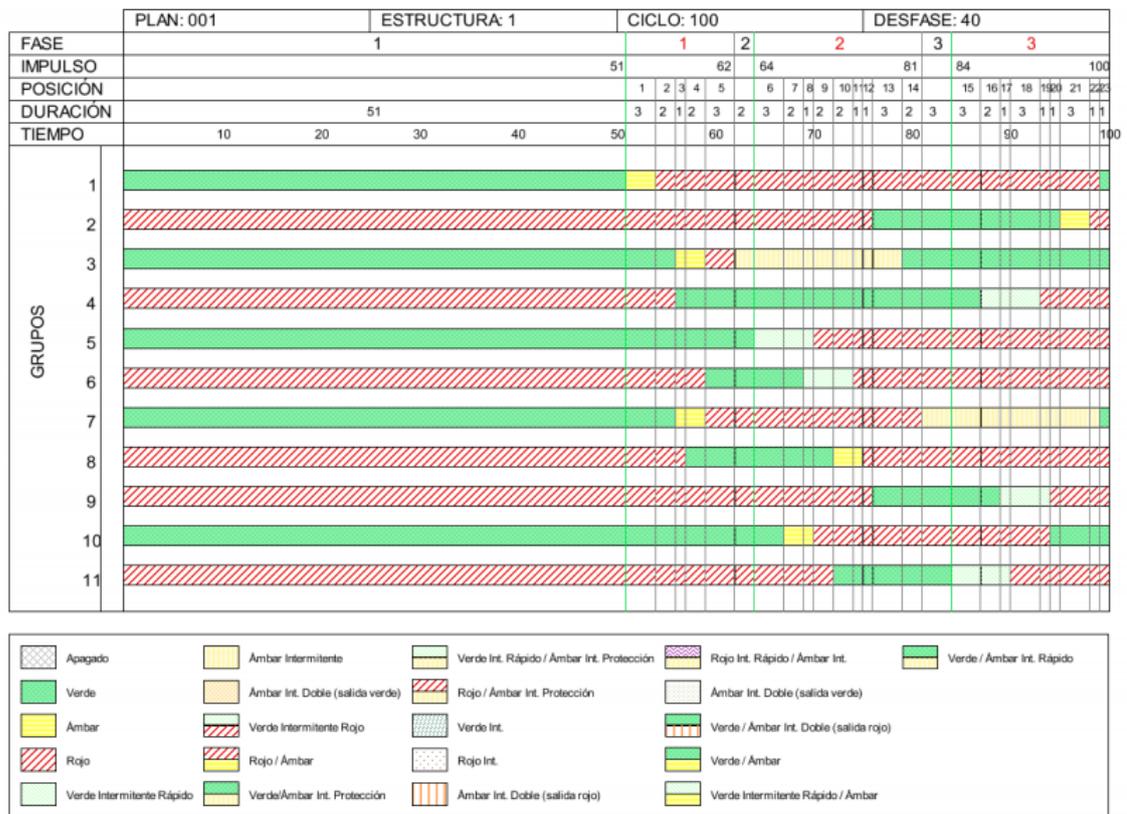
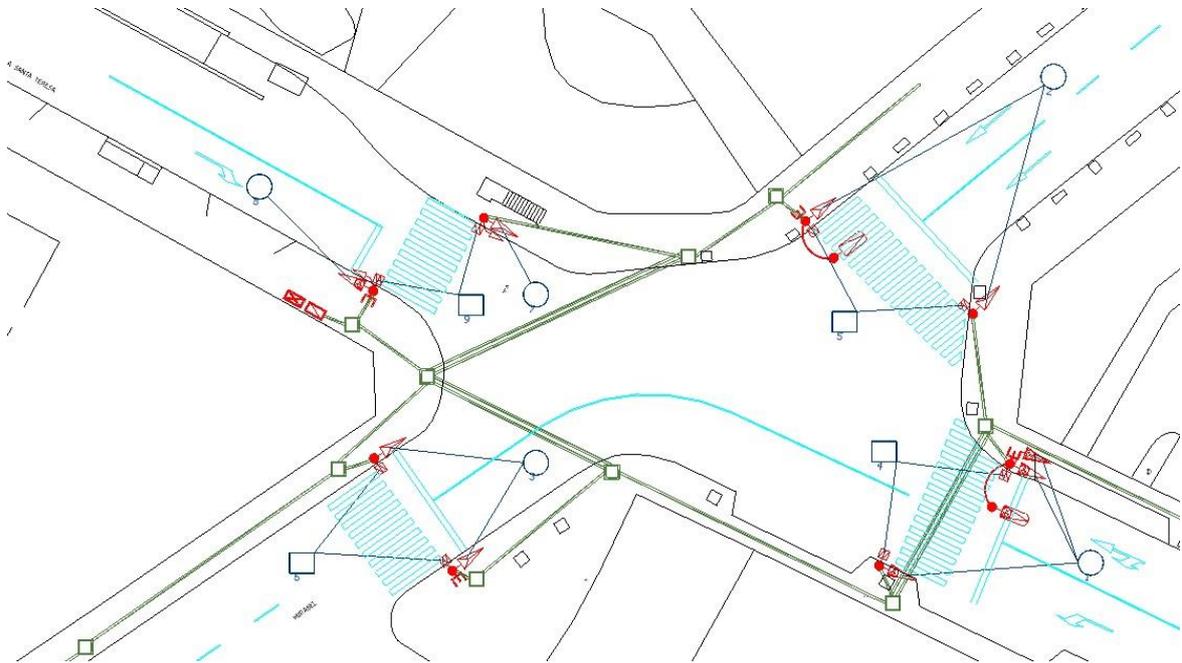
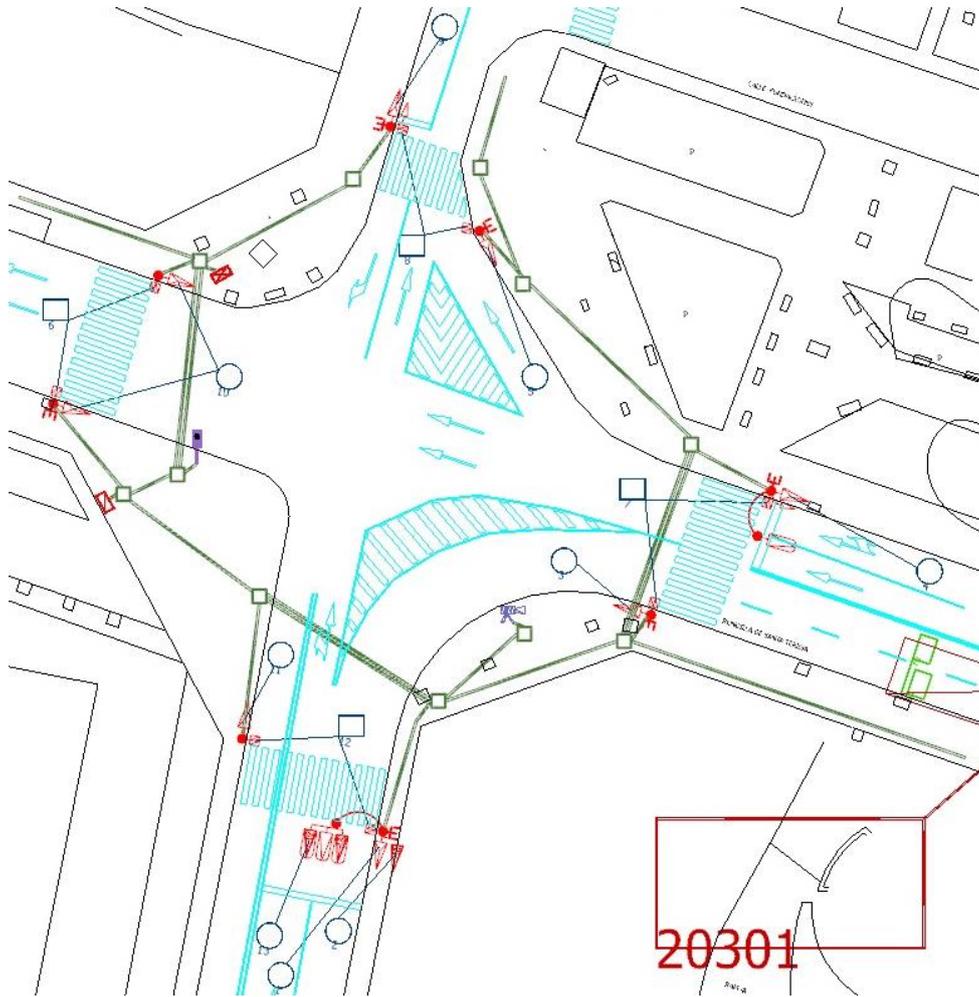


Figura A.3: Cruce 0202- C/Rondilla de Santa Teresa- C/Mirabel.

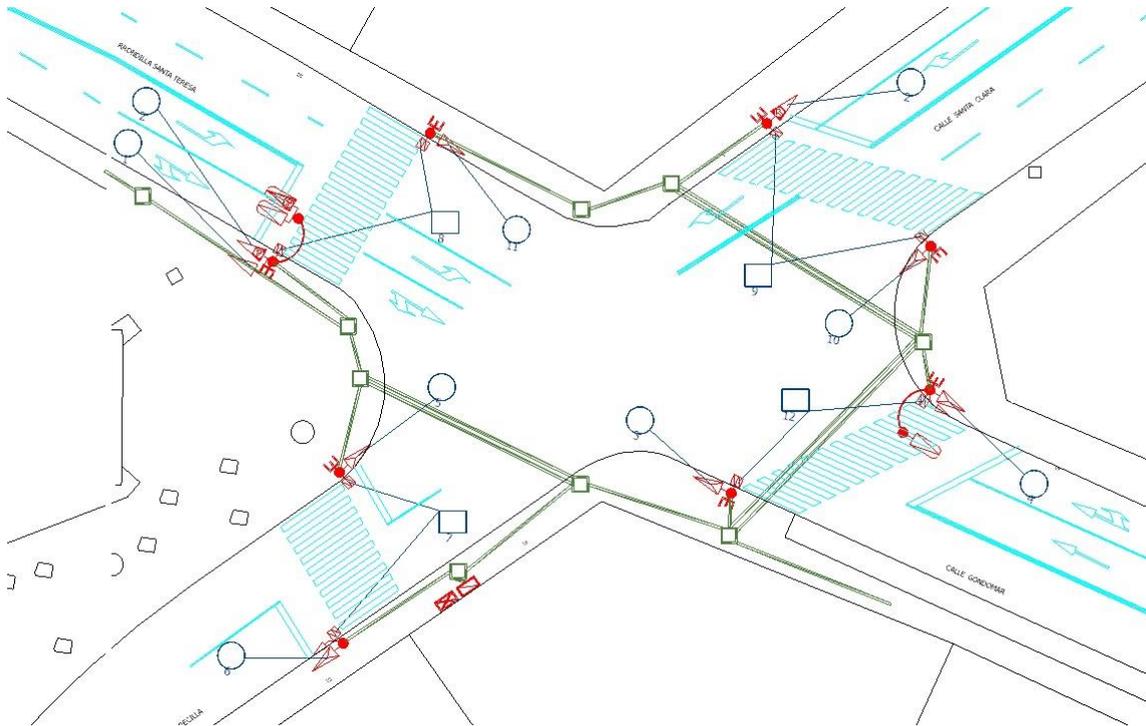
- Cruce 0203- C/Rondilla de Santa Teresa- C/Cardenal Torquemada.



	PLAN: 001		ESTRUCTURA: 1								CICLO: 100		DESFASE: 22							
FASE	1	1	2		2								3	3	4		4			
IMPULSO	13	17	32		61								66	80		88	100			
POSICIÓN		1 2			3 4 5 6 7 8 9 10 11 12			13 14				15 16 17 18 19 20 21								
DURACIÓN	13	3 1	15		4 2 5 1 2 1 2 1 6		5 5		8 6		8 2 1 1 1 2 1 4									
TIEMPO	10		20		30		40		50		60		70		80		90		100	
GRUPOS	1																			
	2																			
	3																			
	4																			
	5																			
	6																			
	7																			
	8																			
	9																			
	10																			
	11																			
	12																			
	13																			

Figura A.4: Cruce 0203- C/Rondilla de Santa Teresa- C/Cardenal Torquemada.

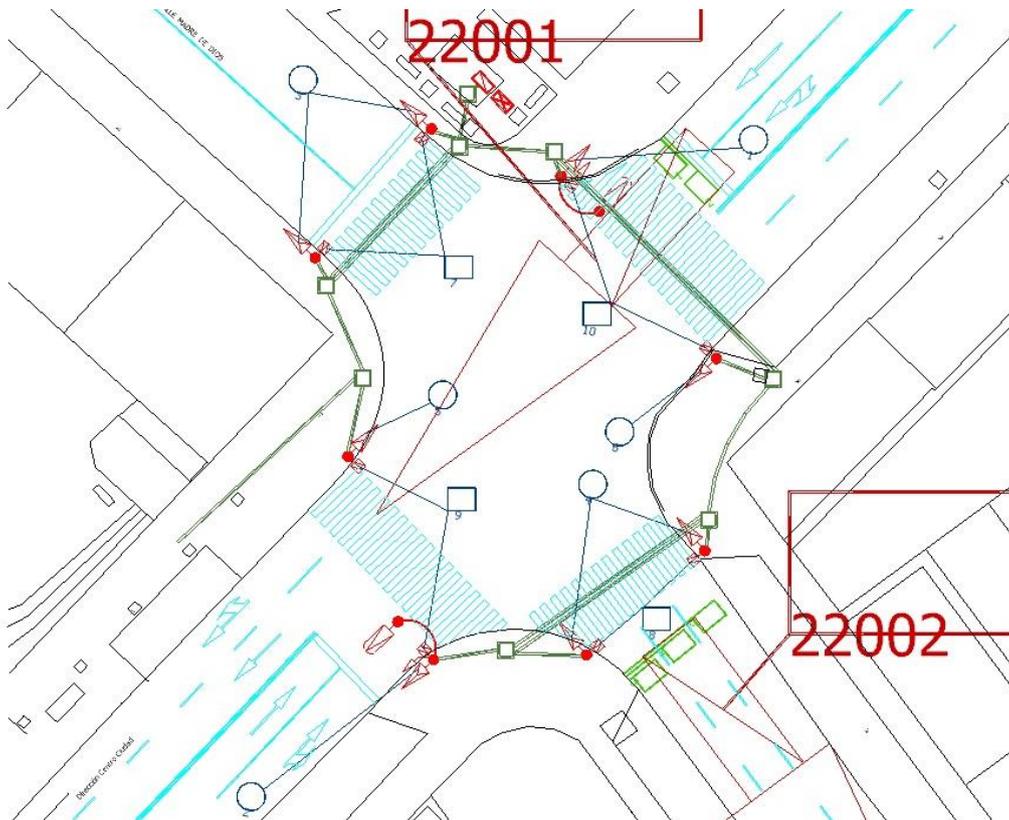
- Cruce 0204- C/Gondomar- C/Santa Clara.



	PLAN: 001		ESTRUCTURA: 1					CICLO: 100				DESFASE: 8																	
FASE	1		1					2				2				3				3									
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		Red					Green				Red				Green				Red								
	2	Red		Green					Red				Green				Red				Green								
	3	Green		Red					Green				Red				Green				Red								
	4	Green		Red					Green				Red				Green				Red								
	5	Yellow		Green					Yellow				Green				Yellow				Green								
	6	Red		Green					Red				Green				Red				Green								
	7	Green		Red					Green				Red				Green				Red								
	8	Red		Green					Red				Green				Red				Green								
	9	Green		Red					Green				Red				Green				Red								
	10	Yellow		Green					Yellow				Green				Yellow				Green								
	11	Green		Red					Green				Red				Green				Red								
	12	Red		Green					Red				Green				Red				Green								

Figura A.5: Cruce 0204- C/Gondomar- C/Santa Clara.

- Cruce 0220- Avda. de Palencia - C/Amor de Dios.



	PLAN: 001		ESTRUCTURA: 1					CICLO: 100					DESFASE: 69								
FASE	1		1					2					3								
IMPULSO			30					58					78								
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	3	9	6	1	3	2	1
TIEMPO	10	20	30				40	50	60				70			80	90				100
GRUPOS	1	Green		Red					Green					Red							
	2	Red		Green					Red					Green							
	3	Red		Green					Red					Green							
	4	Green		Red					Green					Red							
	5	Green		Red					Green					Red							
	6	Green		Red					Green					Red							
	7	Green		Red					Green					Red							
	8	Red		Green					Red					Green							
	9	Red		Green					Red					Green							
	10	Red		Green					Red					Green							

Figura A.6: Cruce 0220- Avda. de Palencia - C/Amor de Dios.

- Cruce 0221- Avda. de Palencia - C/Penitencia.

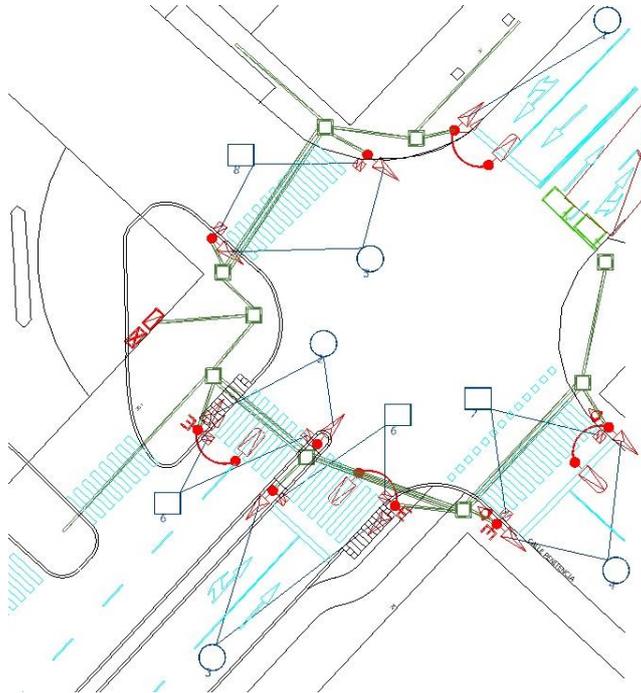
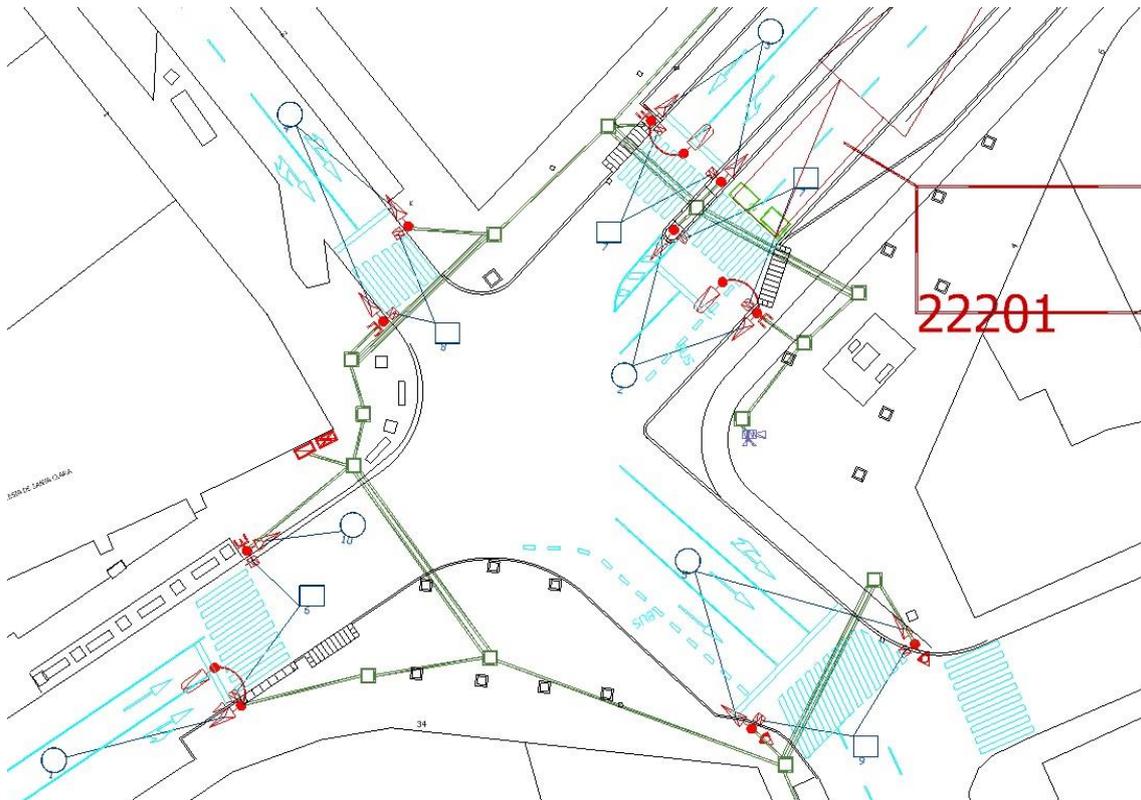


Figura A.7: Cruce 0221- Avda. de Palencia - C/Penitencia.

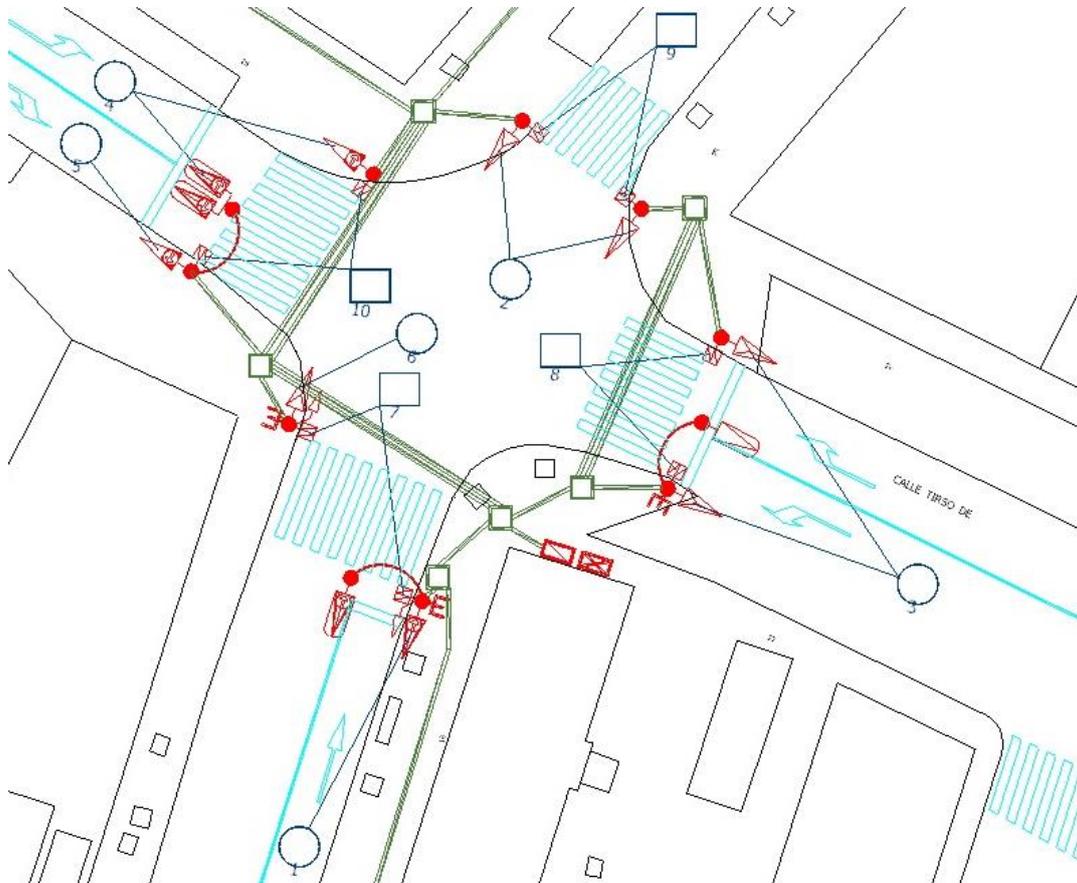
- Cruce 0222- Avda. de Palencia - C/Real de Burgos.



	PLAN: 001		ESTRUCTURA: 1								CICLO: 100		DEFASE: 7												
FASE	1		1								2		2		3		3								
IMPULSO	27		45								58		81		90		100								
POSICIÓN			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
DURACIÓN	27		3	1	1	1	1	1	1	2	1	6	2	4	2	1	3	2	3	6	9	4	1	2	3
TIEMPO	10		20		30			40					50		60			70		80		90		100	
GRUPOS	1	[Red Hatched]		[Green]								[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]		[Green]			
	2	[Green]		[Red Hatched]								[Green]		[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]			
	3	[Green]		[Red Hatched]								[Green]		[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]			
	4	[Red Hatched]		[Green]								[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]		[Green]			
	5	[Green]		[Red Hatched]								[Green]		[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]			
	6	[Red Hatched]		[Green]								[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]		[Green]			
	7	[Red Hatched]		[Green]								[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]		[Green]			
	8	[Green]		[Red Hatched]								[Green]		[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]			
	9	[Red Hatched]		[Green]								[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]		[Green]			
	10	[Green]		[Red Hatched]								[Green]		[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]			
	11	[Red Hatched]		[Green]								[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]		[Green]			
	12	[Green]		[Red Hatched]								[Green]		[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]			
	13	[Red Hatched]		[Green]								[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]		[Green]		[Red Hatched]		[Green]			

Figura A.8: Cruce 0222- Avda. de Palencia - C/Real de Burgos.

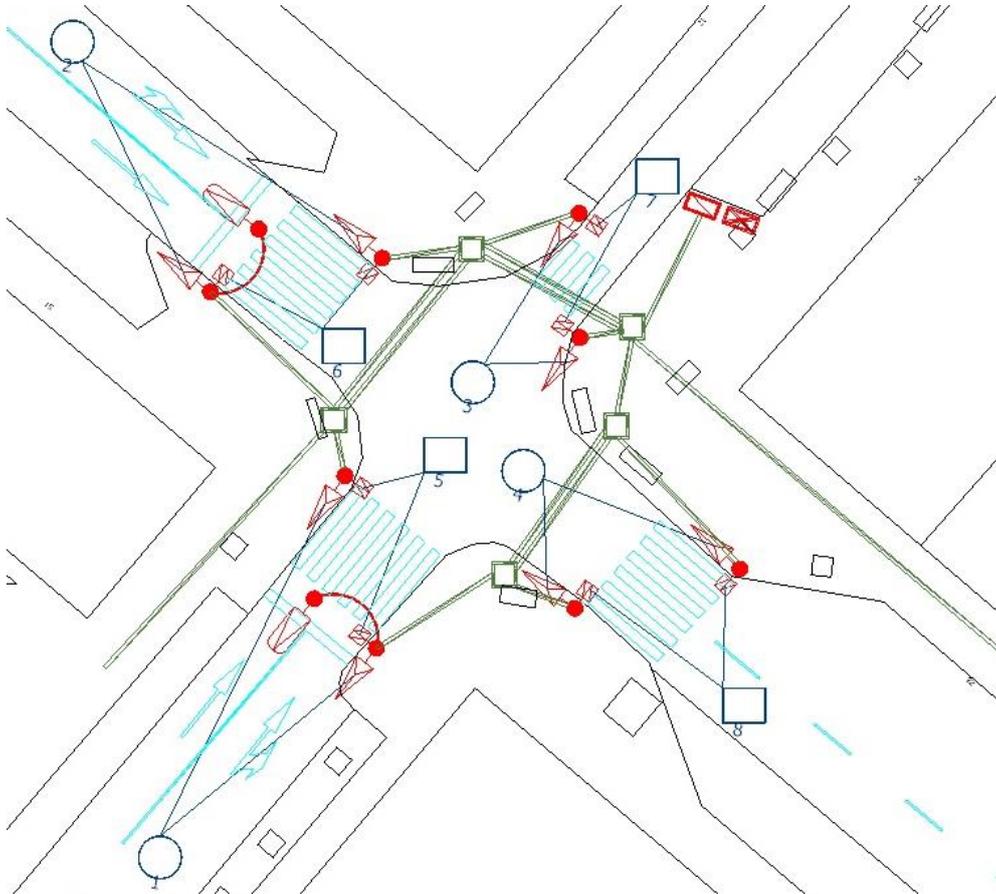
- Cruce 0226- C/Cardenal Torquemada – C/Tirso de Molina.



	PLAN: 001			ESTRUCTURA: 1			CICLO: 100				DESFASE: 52												
FASE	1			1			2				2												
IMPULSO	25			35			55				73												
POSICIÓN				1	2	3					3												
DURACIÓN	25			5	3	2	20				15												
TIEMPO	10	20		30			40	50			60				70				80	90			100
GRUPOS	1	[Hachurado]			[Verde]			[Hachurado]				[Verde]											
	2	[Verde]			[Hachurado]			[Verde]				[Hachurado]											
	3	[Hachurado]			[Verde]			[Hachurado]				[Verde]											
	4	[Verde]			[Hachurado]			[Verde]				[Hachurado]											
	5	[Verde]			[Hachurado]			[Verde]				[Hachurado]											
	6	[Hachurado]			[Verde]			[Hachurado]				[Verde]											
	7	[Verde]			[Hachurado]			[Verde]				[Hachurado]											
	8	[Verde]			[Hachurado]			[Verde]				[Hachurado]											
	9	[Hachurado]			[Verde]			[Hachurado]				[Verde]											
	10	[Hachurado]			[Verde]			[Hachurado]				[Verde]											

Figura A.9: Cruce 0226- C/Cardenal Torquemada – C/Tirso de Molina.

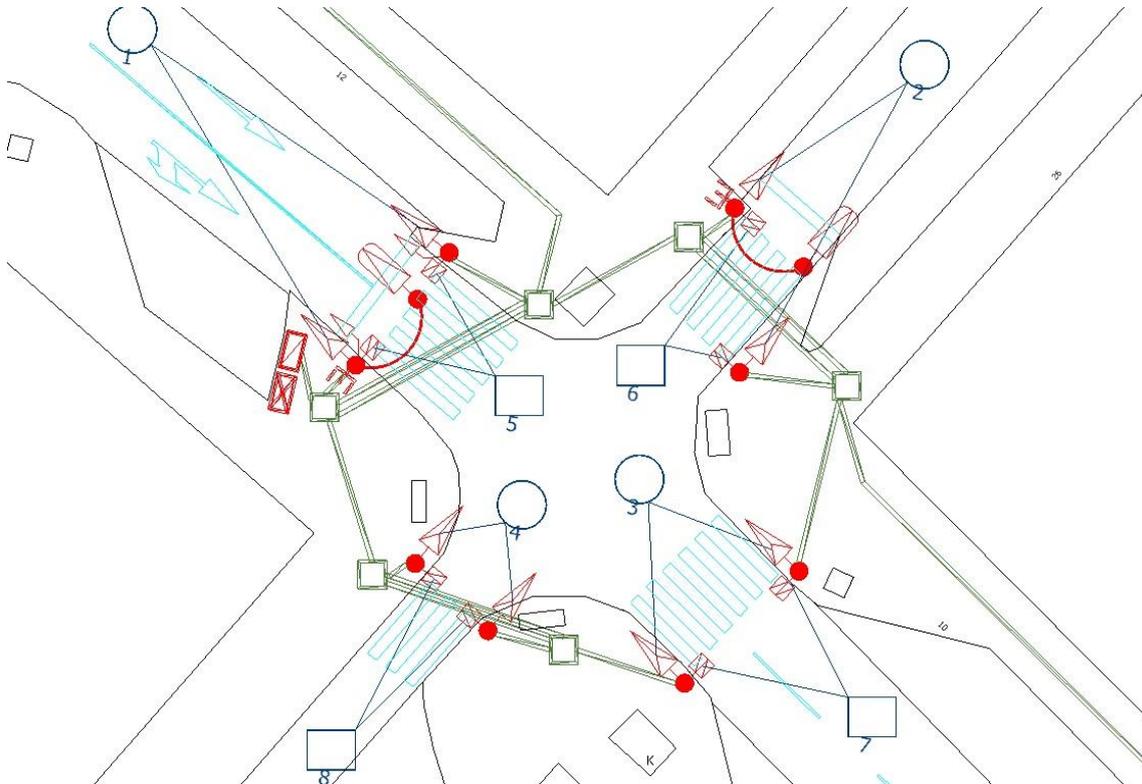
- Cruce 0227- C/Cardenal Torquemada – C/Cardenal Cisneros.



	PLAN: 001		ESTRUCTURA: 1		CICLO: 100								DESFASE: 89																											
FASE	1		1		2		2						3		3																									
IMPULSO	23		33		56		3		4		5		6		7		8		82		100																			
POSICIÓN			1		2				3		4		5		6		7		8				9		10		11		12		13		14		15		16		17	
DURACIÓN	23		5		5		23		5		3		2		1		1		3		11		3		2		3		2		1		2		1		1		3	
TIEMPO	10		20		30		40		50		60				70				80				90				100				100				100					
GRUPOS	1	Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		
	2	Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		
	3	Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		
	4	Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		
	5	Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		
	6	Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		
	7	Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		Red		
	8	Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		

Figura A.10: Cruce 0227- C/Cardenal Torquemada – C/Cardenal Cisneros.

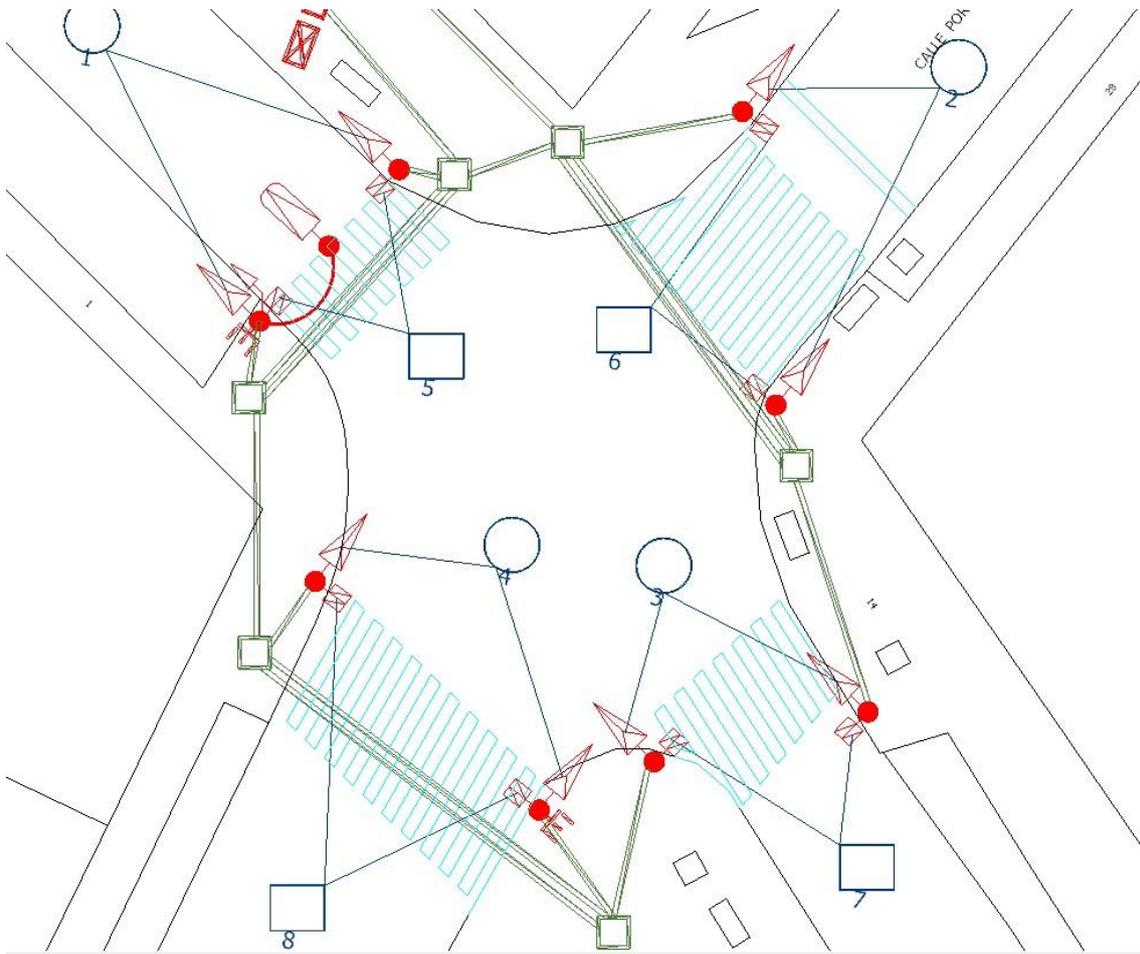
- Cruce 0228- C/Cardenal Cisneros – C/Las Moradas.



	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							90	100
GRUPOS	1	[Barra verde]		[Barra verde]		[Barra verde]		[Barra verde]					[Barra verde]			[Barra verde]						
	2	[Barra roja con rayas]		[Barra roja con rayas]		[Barra roja con rayas]		[Barra roja con rayas]					[Barra roja con rayas]			[Barra roja con rayas]						
	3	[Barra verde]		[Barra verde]		[Barra verde]		[Barra verde]					[Barra verde]			[Barra verde]						
	4	[Barra amarilla]		[Barra verde]		[Barra verde]		[Barra verde]					[Barra verde]			[Barra verde]						
	5	[Barra roja con rayas]		[Barra roja con rayas]		[Barra roja con rayas]		[Barra roja con rayas]					[Barra roja con rayas]			[Barra roja con rayas]						
	6	[Barra verde]		[Barra verde]		[Barra verde]		[Barra verde]					[Barra verde]			[Barra verde]						
	7	[Barra roja con rayas]		[Barra roja con rayas]		[Barra roja con rayas]		[Barra roja con rayas]					[Barra roja con rayas]			[Barra roja con rayas]						
	8	[Barra verde]		[Barra roja con rayas]		[Barra roja con rayas]		[Barra roja con rayas]					[Barra roja con rayas]			[Barra roja con rayas]						

Figura A.11: Cruce 0228- C/Cardenal Cisneros – C/Las Moradas.

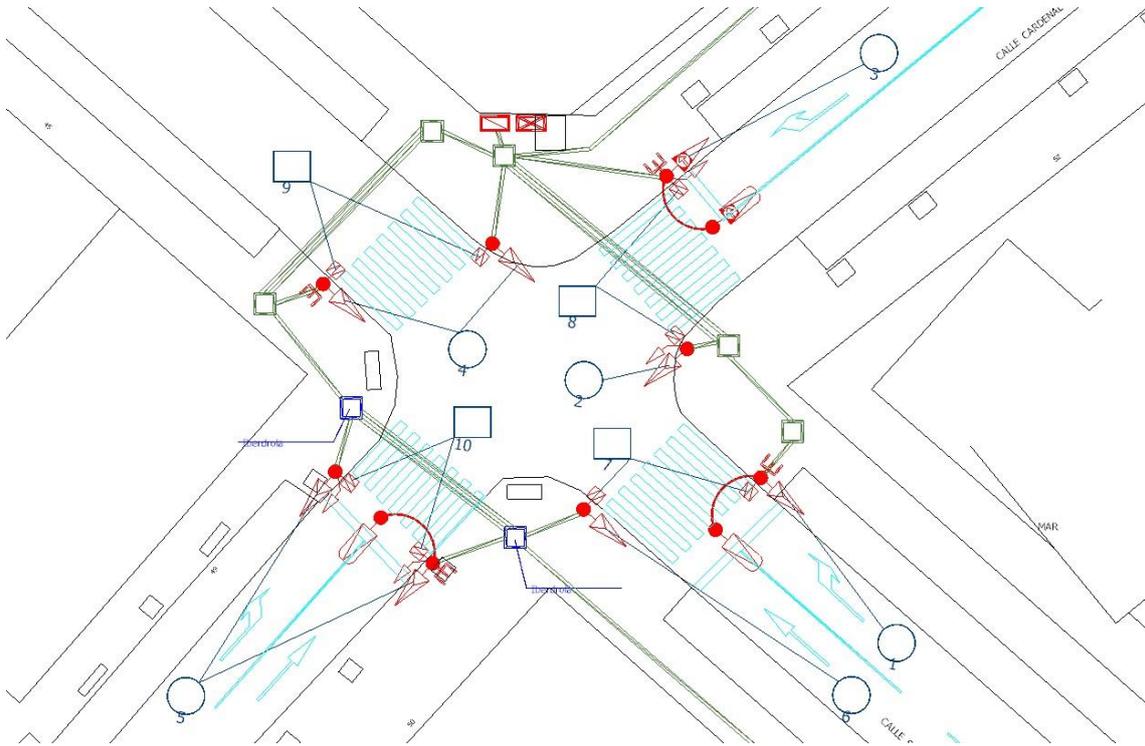
- Cruce 0229- C/Cardenal Cisneros - C/Portillo de Balboa.



	PLAN: 001		ESTRUCTURA: 1		CICLO: 100								DESFASE: 12							
FASE	1		1		2		2				3		3							
IMPULSO	22		32		52		68				78		100							
POSICIÓN			1	2			3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DURACIÓN	22		5	5	20		4	1	2	3	2	4	10	6	5	1	2	3	1	2
TIEMPO	10		20		30		40		50		60		70		80		90		100	
GRUPOS	1	Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		
	2	Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		
	3	Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		
	4	Yellow		Yellow		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		
	5	Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		
	6	Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		
	7	Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		Red Hatched		
	8	Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		Green		

Figura A.12: Cruce 0229- C/Cardenal Cisneros - C/Portillo de Balboa.

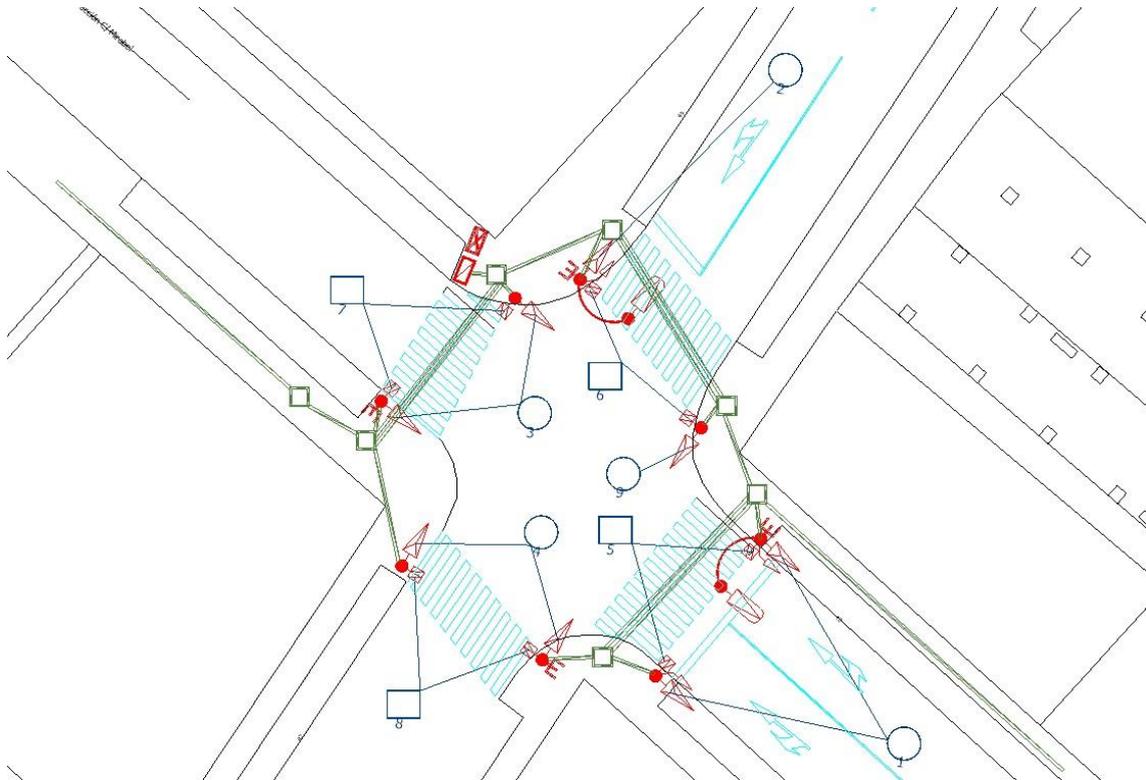
- Cruce 0230- C/Soto - C/Cardenal Torquemada.



	PLAN: 001						ESTRUCTURA: 1					CICLO: 100				DESFASE: 83										
FASE	1		1				2					2		3		3										
IMPULSO	14		30				59					69		78		100										
POSICIÓN	1		2	3	4	5	6	29					7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
DURACIÓN	14		5	5	1	3	1	29					3	1	1	4	9	5	2	3	2	1	3	1	1	4
TIEMPO	10		20				30					40		50		60		70		80						
GRUPOS	1	Green		Green				Red Hatched					Green		Red Hatched		Green									
	2	Yellow		Green				Red Hatched					Yellow		Red Hatched		Green									
	3	Red Hatched		Red Hatched				Green					Red Hatched		Green		Red Hatched									
	4	Green		Green				Red Hatched					Yellow		Red Hatched		Green									
	5	Red Hatched		Red Hatched				Green					Yellow		Red Hatched		Green									
	6	Green		Green				Red Hatched					Yellow		Red Hatched		Green									
	7	Red Hatched		Red Hatched				Green					Red Hatched		Green		Red Hatched									
	8	Green		Red Hatched				Red Hatched					Red Hatched		Green		Red Hatched									
	9	Red Hatched		Red Hatched				Red Hatched					Red Hatched		Green		Red Hatched									
	10	Green		Red Hatched				Red Hatched					Red Hatched		Green		Red Hatched									

Figura A.13: Cruce 0230- C/Soto - C/Cardenal Torquemada.

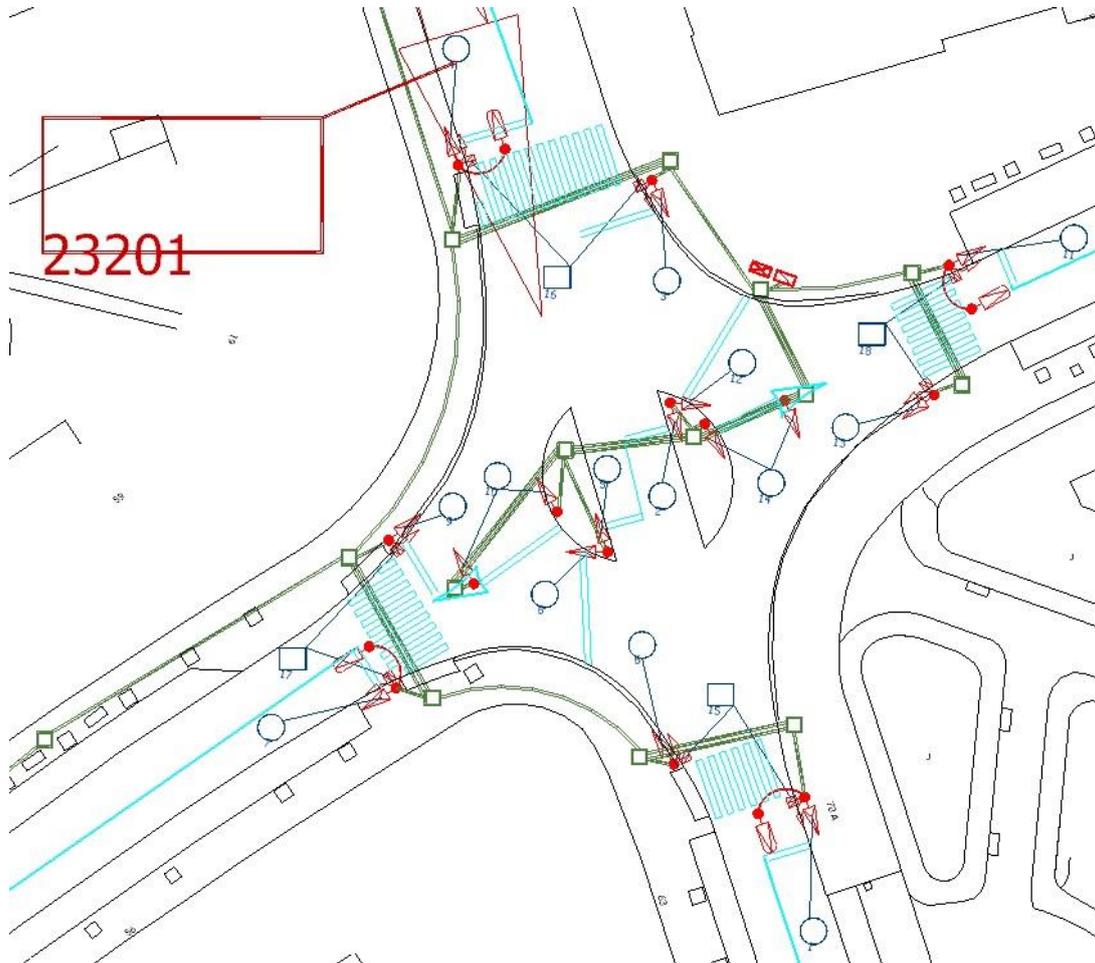
- Cruce 0231- C/Soto - C/Portillo de Balboa.



	PLAN: 001				ESTRUCTURA: 1					CICLO: 100					DESFASE: 49																	
FASE	1				2					3					3																	
IMPULSO	14				43					53					72					100												
POSICIÓN		1	2	3	4						5	6	7	8	9	10							11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
DURACIÓN	14				19					19					3					10												
TIEMPO	10				30					60					80					90												
GRUPOS	1	Green				Green					Green					Green																
	2	Red				Red					Red					Red																
	3	Green				Green					Green					Green																
	4	Yellow				Green					Green					Green																
	5	Red				Red					Red					Red																
	6	Green				Red					Red					Red																
	7	Red				Red					Red					Red																
	8	Green				Red					Red					Red																
	9	Yellow				Green					Red					Red																

Figura A.14: Cruce 0231- C/Soto - C/Portillo de Balboa.

- Cruce 0232- C/Cardenal Torquemada – C/Portillo de Balboa.



	PLAN: 001				ESTRUCTURA: 1								CICLO: 100				DESFASE: 84																																																																																			
FASE	1				1								2				3				3																																																																															
IMPULSO	11				41								50				54				69								100																																																																							
POSICIÓN					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15					16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27																																																																	
DURACIÓN	11				5	5	2	5	1	3	1	1	1	1	1	3	9	3	1	15				5	4	1	2	3	1	3	1	2	3	1	5																																																																	
TIEMPO	10				20				30				40				50				60				70				80				90				100																																																															
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	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	[Green]																																																																																																			
2	[Red Hatched]																																																																																																			
3	[Green]																																																																																																			
4	[Red Hatched]																																																																																																			
5	[Green]																																																																																																			
6	[Red Hatched]																																																																																																			
7	[Green]																																																																																																			
8	[Red Hatched]																																																																																																			
9	[Green]																																																																																																			
10	[Red Hatched]																																																																																																			
11	[Green]																																																																																																			
12	[Red Hatched]																																																																																																			
13	[Green]																																																																																																			
14	[Red Hatched]																																																																																																			
15	[Green]																																																																																																			
16	[Red Hatched]																																																																																																			
17	[Green]																																																																																																			
18	[Red Hatched]																																																																																																			
19	[Green]																																																																																																			
20	[Red Hatched]																																																																																																			
21	[Green]																																																																																																			
22	[Red Hatched]																																																																																																			
23	[Green]																																																																																																			
24	[Red Hatched]																																																																																																			

Figura A.15: Cruce 0232- C/Cardenal Torquemada – C/Portillo de Balboa.

