



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Organización Industrial

**ANALISIS Y SIMULACION DEL MODELO DE
ONDA VERDE EN EL BARRIO DE LA
RONDILLA**

Autor:

Salvador Ortega, David

Tutores:

Pérez Blanco, Esteban

Pérez Rueda, María Ángeles

Departamento de 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, Febrero 2016.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi agradecimiento a todas las personas que de una manera u otra me han ayudado en la realización de este trabajo fin de grado, y que han estado conmigo durante todos estos años de carrera.

Especialmente a mis padres y mi hermana, que me han apoyado en los buenos y en los malos momentos, y sin los que no hubiera sido posible llevar a cabo esta etapa de mi vida.

A mis compañeros, Luis, Miguel, Javier, Saúl, Alberto, Yeray, Marco y otros tantos que me dejo, por su gran apoyo y los tantos buenos momentos que hemos pasado.

A mis amigos, por sus ánimos y compañía durante estos y tantos años.

A todos los profesores y el personal que están día a día en la Escuela de Ingenierías Industriales, y que me han ayudado a formarme como Ingeniero de Organización Industrial.

Y finalmente, a D. Esteban Pérez Blanco por la oportunidad de realizar este trabajo fin de agrado, por su ayuda y dedicación en ponerme en contacto con el Ayuntamiento de Valladolid para la toma de datos, y en definitiva por su inestimable colaboración.

A todos ellos, muchas gracias.

RESUMEN

Como consecuencia del crecimiento urbanístico de la ciudad de Valladolid y del aumento del tráfico que circula por el barrio de la Rondilla, este ha pasado de formar parte de las afueras a convertirse en parte del centro de la ciudad, lo que ha provocado que la capacidad de sus vías no sea suficiente para descargar todo el volumen de tráfico, especialmente en las vías arteriales de entrada al barrio.

Con la realización de este trabajo y la ayuda del software de simulación de tráfico AIMSUN, plantearemos un modelo de la Rondilla que nos ayude a analizar y mejorar esta congestión. Para ello, se verá la importancia de la coordinación semafórica en estas vías de mayor circulación y los beneficios de un correcto ajuste de los desfase en estas para lograr el modelo de Onda Verde.

Este análisis servirá además, como base a futuros estudios de tráfico mucho más amplios.

PALABRAS CLAVE

Ingeniería de Transporte, Tráfico Rodado, AIMSUN, Rondilla, Onda Verde



ÍNDICE



ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1- INTRODUCCIÓN	19
1.1.- INTRODUCCIÓN	3
1.2.- JUSTIFICACIÓN DEL TFG	4
1.3.- OBJETIVOS DEL TFG	5
1.4.- DISTRIBUCION DE LA MEMORIA.....	6
CAPÍTULO 2- INGENIERÍA DE TRÁFICO	7
2.1.- CONCEPTOS GENERALES DE TRÁFICO	9
2.1.1.- PLANIFICACIÓN VIAL	10
2.1.2.- ORGANIZACIÓN DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO.....	11
2.1.3.- CONCLUSIONES.....	13
2.2.- CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	13
2.2.1.- COMPOSICIÓN	14
2.2.2.- INTENSIDAD.....	14
2.2.3.- VELOCIDAD	15
2.2.4.- DENSIDAD.....	16
2.2.5.- RELACIÓN ENTRE INTENSIDAD Y VELOCIDAD.....	16
2.3.- CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO	18
2.3.1.- CAPACIDAD	18
2.3.2.- NIVELES DE SERVICIO	20
2.3.3.- CAPACIDAD EN INTERSECCIONES CON SEMÁFOROS	22
2.3.4.- CALIDAD DE SERVICIO	23
2.4.- CONTROL DEL TRÁFICO RODADO	23
2.4.1.- CANALIZACIÓN	25
2.4.2.- COMUNICACIONES.....	25
2.4.3.- LÍMITES DE VELOCIDAD.....	26
2.5.- DISPOSITIVOS DE CONTROL DEL TRÁFICO.....	26
2.5.1.- SEÑALES.....	26
2.5.2.- MARCAS.....	27
2.5.3.- SEMÁFOROS.....	27
2.5.3.1.- COORDINACIÓN SEMAFÓRICA U ONDA VERDE.....	31

2.5.3.2.- CÁLCULO DE PLANES	31
2.5.3.3- SISTEMA DINÁMICO DE CONTROL DE TRÁFICO	35
CAPÍTULO 3- PLANIFICACIÓN Y ORGANIZACIÓN DEL TRANSPORTE	37
3.1.- ESTUDIO DEL TRANSPORTE: AFOROS	39
3.1.1.- OBJETIVOS DE LOS AFOROS	39
3.1.2.- TÉCNICAS DE AFORO	39
3.1.3.- AFOROS EN ZONAS URBANAS	41
3.2.- PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE	42
3.2.1- ETAPAS DE LA PLANIFICACION	43
3.2.2- CONCEPTO DE COSTE	44
3.2.3- PLANIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIARIA	46
3.2.4.- ENCUESTAS PARA EL ESTUDIO DE LA DEMANDA.....	55
CAPÍTULO 4- SOFTWARE AIMSUN	59
4.1.- INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE AIMSUN	61
4.2.- DESARROLLO DE UN MODELO AIMSUN	62
4.2.1.- EDICION DE UN MODELO AIMSUN	63
4.2.1.1.- ZONA E INTERVALO DE TIEMPO DE ESTUDIO.....	63
4.2.1.2.- BASE CARTOGRÁFICA.....	64
4.2.1.3.- MODELADO DE LA GEOMETRÍA.....	64
4.2.1.4.- MODELADO DE LA DEMANDA DE TRÁFICO	66
4.2.1.5.- PLAN DE CONTROL SEMAFÓRICO	69
4.2.1.6.- PLAN DE TRANSPORTE PÚBLICO	70
4.2.1.7.- REPRESENTACION DE PEATONES.....	72
4.2.2.- TIPOS DE MODELADO.....	74
4.2.2.1.- MODELADO MICROSCOPICO O ASIGNACIÓN DINÁMICA DE TRÁFICO.	
.....	78
4.2.2.2.- MODELADO MACROSCÓPICO O ASIGNACIÓN ESTÁTICA DE TRÁFICO	
.....	86
4.2.3.- VERIFICACIÓN, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN.....	91
CAPÍTULO 5- ESTUDIO, ANÁLISIS Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO	95
5.1.- INTRODUCCIÓN	97
5.2.- CONSTRUCCION DEL MODELO.....	98
5.2.1- DATOS DE PARTIDA.....	98
5.2.2.- ELECCION DEL TIPO DE MODELO.....	103



5.2.3.- <i>REALIZACION DEL MODELO</i>	103
5.2.3.1.- DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	103
5.2.3.2.- INTERVALO DE TIEMPO A ESTUDIAR.....	107
5.2.3.3.- IMPORTACION DE BASE CARTOGRÁFICA.....	109
5.2.3.4.- MODELADO DE LA GEOMETRIA.....	109
5.2.3.5.- MODELADO DE LA DEMANDA DE TRÁFICO	112
5.2.3.6.- PLAN DE CONTROL SEMAFÓRICO Y TRANSPORTE PÚBLICO	117
5.2.3.7.- PARAMETROS DE EJECUCIÓN DE LA SIMULACIONES	121
5.3.- VERIFICACION, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN.....	123
5.3.1.- <i>VERIFICACIÓN DEL MODELO</i>	123
5.3.2.- <i>CALIBRACIÓN DEL MODELO</i>	124
5.3.2.1.- PARAMETROS DE LOS VEHICULOS	125
5.3.2.2.- PARAMETROS GLOBALES	127
5.3.2.3.- PARAMETROS LOCALES.....	131
5.3.3.- <i>VALIDACIÓN DEL MODELO</i>	135
5.3.3.1.- MÉTODO DE VALIDACIÓN.....	135
5.3.3.2.- VALIDACIÓN DEL MODELO.....	137
5.4.- ANALISIS DE RESULTADOS DEL MODELO	141
5.4.1.- <i>MAPAS DE FLUJO Y DENSIDAD DE TRÁFICO</i>	142
5.4.2.- <i>ANALISIS DE PARÁMETROS GLOBALES</i>	144
5.4.3.- <i>OTRAS CARACTERISTICAS DE LA RED</i>	152
CAPÍTULO 6- ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE TRÁFICO	157
6.1.- INTRODUCCIÓN	159
6.2.- ONDA U OLA VERDE	159
6.3.- ANALISIS DE LOS PROBLEMAS DE TRÁFICO	160
6.4.- PROPUESTAS DE TRÁFICO	161
6.4.1- FALLO EN UN GRUPO SEMAFORICO DE LA RED	163
6.4.1.1- ANALISIS DE PARAMETROS GLOBALES.....	164
6.4.1.2- OTRAS CARACTERISTICAS DE LA RED	170
6.4.1.3- CONCLUSIONES FINALES	174
6.4.2- MODELO DE ONDA VERDE	175
6.4.2.1- ANALISIS DE PARAMETROS GLOBALES.....	178
6.4.2.2- OTRAS CARACTERISTICAS DE LA RED	184
6.4.2.3- CONCLUSIONES FINALES	188

6.4.3- <i>CREACIÓN DE UN NUEVO GRUPO SEMAFORICO EN LA RED</i>	188
6.4.3.1- <i>ANALISIS DE PARAMETROS GLOBALES</i>	191
6.4.3.2- <i>OTRAS CARACTERISTICAS DE LA RED</i>	199
6.4.3.3- <i>CONCLUSIONES FINALES</i>	202
6.5.- <i>RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LAS PROPUESTAS DE TRÁFICO</i>	203
CAPÍTULO 7- ESTUDIO ECONÓMICO	205
7.1.- <i>INTRODUCCIÓN</i>	207
7.1.1. <i>COSTES DIRECTOS Y COSTES INDIRECTOS</i>	207
7.2. <i>COSTES DIRECTOS</i>	208
7.2.1. <i>COSTE DE PERSONAL</i>	208
7.2.2. <i>COSTES DE LOS EQUIPOS</i>	214
7.2.3. <i>COSTES DE MATERIALES</i>	215
7.3. <i>COSTES INDIRECTOS</i>	215
7.4. <i>COSTES TOTALES DEL PROYECTO</i>	216
CAPÍTULO 8- CONCLUSIONES	219
8.1.- <i>CONCLUSIONES</i>	221
8.2.- <i>LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN</i>	223
BIBLIOGRAFÍA	225
ANEXO	229
A.1.- <i>DATOS CEDIDOS POR EL AYUNTAMIENTO DE VALLADOLID</i>	231
A.1.1.- <i>DATOS DE PUNTOS DE AFORO PERMANENTE O ESPIRAS</i>	231
A.1.2.- <i>INTERSECCIONES SEMAFÓRICAS</i>	234



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Relación Intensidad-Velocidad	17
Figura 2.2: Capacidad máxima de un carril.....	20
Figura 2.3: Niveles de servicio.....	21
Figura 2.4: Ejemplo de Diagrama Espacio-Tiempo	32
Figura 2.5: Ejemplo de Onda Verde para vías de único sentido	33
Figura 2.6: Ejemplo de Onda Verde para vías de doble sentido	34
Figura 2.7: Control Dinámico de Tráfico por Ordenador	36
Figura 4.1: Diferentes tipos de secciones	65
Figura 4.2: Ejemplo Intersección Rondilla Santa Teresa-Santa Clara	65
Figura 4.3: Red definida a partir de estados de trafico.....	68
Figura 4.4: Ejemplo Grupo semafórico. Intersección 203.....	69
Figura 4.5: Ejemplo Ciclo semafórico. Intersección 203.....	70
Figura 4.6: Ejemplo Destello verde. Intersección 203.....	70
Figura 4.7: Ejemplo Línea de transporte público. Línea 17-Ida	71
Figura 4.8: Características Línea de transporte público. Línea 17-Ida	71
Figura 4.9: Plan de transporte publico.....	72
Figura 4.10: Ejemplo de representación de peatones mediante LEGION	73
Figura 4.11: Ejemplo Ruta O/D de peatones	74
Figura 4.12: Función de demora AIMSUN. Sección 289	76
Figura 4.13: Ejemplo Atributos estáticos de un vehículo durante la simulación de la red.....	81
Figura 4.14: Ejemplo Atributos dinámicos de un vehículo durante la simulación de la red.....	82
Figura 4.15: Ejemplo del camino de un vehículo durante la simulación de la red... 82	82
Figura 4.16: Distancia recorrida y velocidad media de un vehículo durante la simulación de la red	83
Figura 4.17: Ejemplo de Modo de vista. Flujo de vehículos simulado para cada sección	84
Figura 4.18: Ejemplo de Etiqueta dinámica. Flujo de vehículos en la sección	85
Figura 4.19: Ejemplo de Editor. Densidad y velocidad de una sección.....	86
Figura 4.20: Relación volumen/capacidad representada según colores en cada sección	87
Figura 4.21: Volumen y tiempo de viaje para cada sección y tipo de vehículo	88
Figura 4.22: Porcentaje y volumen de giro sección a sección	88
Figura 4.23: Asignación de caminos en la red	89
Figura 4.24: Localización óptima de detectores en la red	90
Figura 4.25: Esquema Verificación, calibración, validación.....	91
Figura 4.26: Verificación, calibración, validación.....	92
Figura 4.27: Validación final de la red de estudio	93

Figura 5.1: CAD inicial aportado zona de Valladolid	98
Figura 5.2: Mapa zona de estudio de la Rondilla.....	99
Figura 5.3: Situación de semáforos en la intersección Rondilla Santa Teresa- Cardenal Torquemada.....	100
Figura 5.4: Ciclos semafóricos en la intersección Rondilla Santa Teresa-Cardenal Torquemada.....	101
Figura 5.5: Datos de Aforo permanente de la subárea de la Rondilla expresados como IMD anual.....	102
Figura 5.6: Mapa de acceso a la ciudad de Valladolid	104
Figura 5.7: Situación de la zona de estudio del barrio de la Rondilla	105
Figura 5.8: Límites de nuestra zona de estudio.....	107
Figura 5.9: Distribución de viajes en Valladolid según periodo horario	108
Figura 5.10: Demanda de tráfico según periodo horario	108
Figura 5.11: Modelado final de la red en AIMSUN.....	110
Figura 5.12: Parámetros del Tipo de Vía de la red.....	111
Figura 5.13: Ejemplo del modelado de intersecciones en la intersección 203 de la red.....	112
Figura 5.14: Configuración de la red de proyectos anteriores.....	113
Figura 5.15: Situación final de los centroides en la red.....	114
Figura 5.16: Matriz O/D inicial	115
Figura 5.17: Situación final de las espiras de la red en AIMSUN	116
Figura 5.18: Localización de las espiras PM20301 y PM21301 en AIMSUN	116
Figura 5.19: Matriz O/D final de nuestra red en AIMSUN	117
Figura 5.20: Plano de control semafórico del subárea de la Rondilla cedido por el Ayuntamiento de Valladolid	118
Figura 5.21: Ejemplo de modelado del grupo semafórico de la intersección 203 en AIMSUN	119
Figura 5.22: Ejemplo del diagrama de fases de la intersección 203 en AIMSUN.	120
Figura 5.22: Ejemplo del modelado de las Línea 17 de Ida del transporte público	121
Figura 5.23: Parámetros principales del Escenario Dinámico.....	122
Figura 5.24: Parámetros de salida del Escenario Dinámico.....	122
Figura 5.25: Parámetros para Coches.....	126
Figura 5.26: Parámetros para Buses y Camiones	126
Figura 5.27: Detalle del tiempo de calentamiento de la simulación.....	127
Figura 5.28: Valores para el Tiempo de reacción del Experimento	128
Figura 5.29: Forma de introducir vehículos en la simulación	129
Figura 5.30: Ciclo, Numero de intervalos y Pesos del Experimento	130
Figura 5.31: Capacidad y coste definidos por el usuario en cada sección de la red	130
Figura 5.32: Capacidad de las vías de la red en AIMSUN	132
Figura 5.33: Distancia a las zonas de cambio de carril.....	133
Figura 5.34: Definición de zonas de cambio de carril en AIMSUN	133
Figura 5.35: Nodo tipo yellow box	134



Figura 5.36: Tipos de representación geométrica de las secciones de la red	135
Figura 5.37: Representación gráfica de valores (x, y)	136
Figura 5.38: Situación de los Detectores o PM (Puntos de Medida) de la red, facilitados por el Ayuntamiento de Valladolid	138
Figura 5.39: Situación final de espiras de la red en AIMSUN	138
Figura 5.40: Comparación del Aforo de los datos reales facilitados con los simulados en AIMSUN	139
Figura 5.41: Resultado final de la validación	140
Figura 5.42: Mapa de Flujo de Vehículos (Veh/h).....	142
Figura 5.43: Mapa de Densidad de Tráfico (Veh/Km).....	143
Figura 5.44: Flujo de Vehículos (Veh/h) durante la hora punta.....	145
Figura 5.45: Flujo de Vehículos (Veh/h) durante dos horas de simulación	145
Figura 5.46: Densidad de Tráfico (Veh/Km) durante la hora punta.....	146
Figura 5.47: Densidad de Tráfico (Veh/Km) durante dos horas de simulación	146
Figura 5.48: Longitud media de cola (Veh) durante la hora punta.....	147
Figura 5.49: Longitud media de cola (Veh) durante dos horas de simulación	147
Figura 5.50: Tiempo de Demora (Seg/Km) durante la hora punta	148
Figura 5.51: Tiempo de Demora (Seg/Km) durante dos horas de simulación	149
Figura 5.52: Velocidad media (Km/h) durante la hora punta.....	149
Figura 5.53: Velocidad media (Km/h) durante dos horas de simulación	150
Figura 5.54: Tiempo de Viaje y Tiempo Total de Viaje	152
Figura 5.55: Tiempo de Parada y Número de Paradas.....	153
Figura 5.56: Distancia Viajada y Velocidad media.....	154
Figura 6.1: Nodo 203, en la intersección de la calle Rondilla Santa Teresa con la calle Cardenal Torquemada.....	163
Figura 6.2: Desfase (Desplazamiento en AIMSUN) igual a '0' en el grupo semafórico 203	164
Figura 6.3: <i>Comparación del</i> Flujo de Vehículos (Veh/h). Fallo en la red	165
Figura 6.4: Comparación de la Densidad de Tráfico (Veh/Km). Fallo en la red	166
Figura 6.5: <i>Comparación de la</i> Longitud media de cola (Veh). Fallo en la red	167
Figura 6.6: <i>Comparación del</i> Tiempo de Demora (Seg/Km). Fallo en la red.....	168
Figura 6.7: Comparación de la Velocidad media (Km/h). Fallo en la red	169
Figura 6.8: Comparación del Tiempo total de viaje (Seg). Fallo en la red.....	171
Figura 6.9: Comparación del Tiempo de parada (Seg/Km) y el Número de paradas. Fallo en la red	172
Figura 6.10: Comparación de la Distancia total viajada (Km). Fallo en la red	173
Figura 6.11: Mapa de Flujo de Vehículos (Veh/h) del modelo real de la Rondilla	175
Figura 6.12: Grupos semafóricos en el subárea de la Rondilla.....	176
Figura 6.13: Diferencias entre los modelos de la intersección c/Rondilla Santa Teresa-c/Mirabel	178
Figura 6.14: Comparación del Flujo de Vehículos (Veh/h). Onda Verde	179
Figura 6.15: Comparación de la Densidad de Tráfico (Veh/Km). Onda Verde	180
Figura 6.16: Comparación de la Longitud media de cola (Veh). Onda Verde	181

Figura 6.17: Comparación del Tiempo de Demora (Seg/Km). Onda Verde.....	182
Figura 6.18: Comparación de la Velocidad media (Km/h). Onda Verde.....	183
Figura 6.19: Comparación del Tiempo total de viaje (Seg). Onda Verde.....	185
Figura 6.20: Comparación del Tiempo de parada (Seg/Km) y el Número de paradas. Onda Verde.....	186
Figura 6.21: Comparación de la Distancia total viajada (Km). Onda Verde.....	187
Figura 6.22: Situación actual de la intersección c/Rondilla Santa Teresa - c/Moradas.....	189
Figura 6.23: Nuevo grupos semafórico en la intersección c/Rondilla Santa Teresa - c/Moradas.....	190
Figura 6.24: Configuración final del nuevo grupo semafórico.....	190
Figura 6.25: Diagrama espacio-tiempo del nuevo grupo semafórico.....	191
Figura 6.26: Mapa de flujo de la intersección. Modelo Real.....	192
Figura 6.27: Mapa de flujo de la intersección. Nuevo Grupo Semafórico.....	192
Figura 6.28: Comparación del Flujo de Vehículos (Veh/h). Nuevo Grupo Semafórico.....	193
Figura 6.29: Comparación de la Densidad de Tráfico (Veh/Km). Nuevo Grupo Semafórico.....	194
Figura 6.30: Comparación de la Longitud media de cola (Veh). Nuevo Grupo Semafórico.....	195
Figura 6.31: Comparación del Tiempo de Demora (Seg/Km). Nuevo Grupo Semafórico.....	197
Figura 6.32: Comparación de la Velocidad media (Km/h). Nuevo Grupo Semafórico.....	198
Figura 6.33: Comparación del Tiempo total de viaje (Seg). Nuevo Grupo Semafórico.....	199
Figura 6.34: Comparación del Tiempo de parada (Seg/Km) y el Número de paradas. Nuevo Grupo Semafórico.....	200
Tabla 6.23: Valores medios del Tiempo y Número de paradas. Nuevo Grupo Semafórico.....	201
Figura 6.35: Comparación de la Distancia Total recorrida (Km). Nuevo Grupo Semafórico.....	201
Figura A.1: Ubicación de las estaciones de aforo permanente.....	232
Figura A.2: Ubicación de los grupos semafóricos del subárea de la Rondilla.....	235
Figura A.3: Intersección 202. c/Rondilla Santa Teresa - c/Mirabel.....	236
Figura A.4: Intersección 203. c/Rondilla Santa Teresa - c/Cardenal Torquemada.....	237
Figura A.5: Intersección 204. c/Gondomar - c/Santa Clara.....	238
Figura A.6: Intersección 220. Avenida Palencia - c/Amor de Dios.....	239
Figura A.7: Intersección 221. Avenida Palencia - c/Penitencia.....	240
Figura A.8: Intersección 222. Avenida Palencia - c/Real de Burgos.....	241
Figura A.9: Intersección 226. c/Cardenal Torquemada - c/Tirso de Molina.....	242
Figura A.10: Intersección 227. c/Cardenal Torquemada - c/Cardenal Cisneros ..	243
Figura A.11: Intersección 228. c/Cardenal Cisneros - c/Moradas.....	244

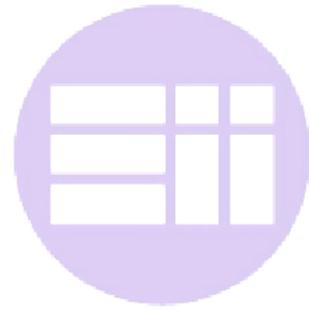


Figura A.12: Intersección 229. c/Cardenal Cisneros - c/Portillo Balboa	245
Figura A.13: Intersección 230. c/Soto - c/Cardenal Torquemada.....	246
Figura A.14: Intersección 231. c/Soto - c/Portillo Balboa.....	247
Figura A.15: Intersección 232. c/Cardenal Torquemada – c/Portillo Balboa	248

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1: Análisis en valores medios de los parámetros globales.....	150
Tabla 5.2: Valores medios de los parámetros de la red	154
Tabla 6.1: Valores medios del flujo de vehículos. Fallo en la red.....	165
Tabla 6.2: Valores medios de la densidad de tráfico. Fallo en la red.....	167
Tabla 6.3: Valores medios de la longitud media de cola. Fallo en la red.....	168
Tabla 6.4: Valores medios del tiempo de demora. Fallo en la red	169
Tabla 6.5: Valores medios de la velocidad media. Fallo en la red.....	170
Tabla 6.6: Valores medios del tiempo Total de viaje. Fallo en la red	172
Tabla 6.7: Valores medios del Tiempo y Número de paradas. Fallo en la red.....	173
Tabla 6.8: Valores medios de la Distancia total viajada. Fallo en la red.....	174
Tabla 6.9: Valores medios del flujo de vehículos. Onda Verde	179
Tabla 6.10: Valores medios de la Densidad de Tráfico. Onda Verde	180
Tabla 6.11: Valores medios de la Longitud media de cola. Onda Verde.....	182
Tabla 6.12: Valores medios del Tiempo de Demora. Onda Verde	183
Tabla 6.13: Valores medios de la Velocidad media. Onda Verde	184
Tabla 6.14: Valores medios del Tiempo total de viaje. Onda Verde	185
Tabla 6.15: Valores medios del Tiempo y Número de paradas. Onda Verde	186
Tabla 6.16: Valores medios de la Distancia total viajada. Onda Verde	187
Tabla 6.17: Valores medios del flujo de vehículos. Nuevo Grupo Semafórico	194
Tabla 6.18: Valores medios de la Densidad de Tráfico. Nuevo Grupo Semafórico	195
Tabla 6.19: Valores medios de la Longitud media de cola. Nuevo Grupo Semafórico	196
Tabla 6.20: Valores medios del Tiempo de Demora. Nuevo Grupo Semafórico....	197
Tabla 6.21: Valores medios de la Velocidad media. Nuevo Grupo Semafórico.....	198
Tabla 6.22: Valores medios del Tiempo total de viaje. Nuevo Grupo Semafórico.	200
Tabla 6.24: Valores medios de la Distancia total recorrida. Nuevo Grupo Semafórico	202
Tabla 6.25: Resultados finales de los modelos	203
Tabla 7.1: Coste mensual total del ingeniero.....	209
Tabla 7.2: Coste anual total del ingeniero.....	209
Tabla 7.3: Horas efectivas de trabajo por año	210

Tabla 7.4: Coste por hora del ingeniero.....	210
Tabla 7.5: Coste mensual total del director del proyecto.....	211
Tabla 7.6: Coste anual total del director del proyecto.....	211
Tabla 7.7: Coste por hora del director del proyecto.....	211
Tabla 7.8: Estimación de las horas invertidas por el ingeniero en el proyecto	212
Tabla 7.9: Estimación de las horas invertidas por el director en el proyecto	212
Tabla 7.10: Resumen de horas totales invertidas en la realización del proyecto.	213
Tabla 7.11: Coste total del personal de nuestro proyecto	213
Tabla 7.12: Coste total de los equipos de nuestro proyecto.....	214
Tabla 7.13: Coste total de los materiales de nuestro proyecto	215
Tabla 7.14: Costes directos totales de nuestro proyecto.....	215
Tabla 7.15: Costes indirectos totales de nuestro proyecto.....	216
Tabla 7.16: Costes totales de nuestro proyecto	216
Tabla A.1: Código y ubicación de los datos de espiras en IMD anual	233



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN



1.1.- INTRODUCCIÓN

Hoy en día el transporte ha evolucionado de tal modo que se ha convertido en un elemento fundamental en nuestra rutina diaria, y cuyo progreso se encuentra también ligado al desarrollo de la movilidad urbana, que ha crecido de tal forma que es necesaria una nueva planificación de ella para adaptarse a las necesidades y exigencias actuales.

Del mismo modo, la ciudad se ha vuelto más compleja debido al desarrollo urbanístico y al aumento tanto del flujo como de las distancias a recorrer, lo que ha provocado que surjan nuevos problemas relativos a zonas que un principio se concibieron como apartadas del abundante flujo vial pero que ahora forman parte de él.

Junto con la evolución de las ciudades, se ha producido a la vez un crecimiento exponencial del parque automovilístico, que ha provocado que las infraestructuras iniciales queden obsoletas y que exista una difícil convivencia entre vehículo privado, transporte público y peatones, cada uno de los cuales reclaman su espacio en la vía urbana de forma que se garantice su movilidad y accesibilidad. Para ello, van a ser las administraciones las encargadas de regular este espacio de forma que se logre un sistema eficaz de organización del tráfico.

En la búsqueda de esta correcta ordenación del tráfico, se van a buscar asimismo ciertos objetivos que buscan conseguir una movilidad sostenible y un uso moderado del vehículo privado, promoviendo e incentivando para ello tanto el uso del transporte público como una mejora en la integración de la vía y los peatones en su entorno, de forma que se garantice en mayor medida su seguridad.

A la vez, estos nuevos problemas que van apareciendo han de tener en cuenta conjuntamente aspectos políticos, económicos y técnicos a la hora de tratar la optimización de las calles y carreteras, ya que van a existir áreas donde debido a la falta de espacio o la existencia de problemas estructurales, no sea posible plantear soluciones de la forma más segura, eficaz y cómoda, y en cuyo caso se intentará solucionar los problemas existentes a partir de la optimización de los semáforos y el control de las vías correspondientes.

De este modo, esta nueva concepción del espacio urbano y el correspondiente beneficio general que ello ocasionara en la movilidad, solo será posible a partir de un contrato social que apueste por la movilidad y la

accesibilidad, de manera que se logre alcanzar una optimización desde un punto de vista universal.

1.2.- JUSTIFICACIÓN DEL TFG

Siguiendo la línea marcada dentro del Departamento de Ingeniería Mecánica e Ingeniería de Materiales de la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid, se va a realizar un nuevo proyecto de tráfico, cuyo objetivo se basa en la búsqueda de la optimización y la mejora de la circulación en la ciudad de Valladolid, centrándose este para ello en la optimización semafórica de las principales vías arteriales del barrio de la Rondilla.

En este sentido, el barrio de la Rondilla se encuentra enmarcado al norte de la ciudad de Valladolid, teniendo sus límites geográficos marcados por los ríos Esgueva y Pisuerga por el Norte y Oeste respectivamente, la calle Rondilla de Santa Teresa por el Sur y los números impares de la calle Santa Clara y la Avenida Palencia por el Oeste; formando estas últimas las vías arteriales más importantes y con mayor tránsito del barrio, y que serán pues las principales vías objeto de estudio de este trabajo.

En sus inicios, el barrio de la Rondilla aparece como consecuencia de la expansión industrial y la afluencia en masa de inmigrantes del campo hacia la ciudad. Así, el barrio adquirió un carácter social con bastantes carencias que con el paso de los años se han ido solucionando en la medida de lo posible.

En la actualidad, y debido con el paso del tiempo al aumento del parque automovilístico y el correspondiente crecimiento urbanístico, las infraestructuras del barrio se han quedado obsoletas en cierta medida. Esto es originado en gran medida por el desarrollo y la expansión de la ciudad, lo que ha provocado que este barrio pasara a formar parte de una zona de paso hacia el centro de la ciudad, con los consiguientes problemas de circulación que ello conlleva. Entre estos problemas esta la formación de atascos, especialmente en hora punta, con la correspondiente pérdida de tiempo y una mayor contaminación, la falta de espacio en sus vías que dificulta el paso de los vehículos de emergencias o la imposibilidad en muchas ocasiones de encontrar aparcamiento en la zona.

En este contexto y en colaboración con el Excmo. Ayuntamiento de Valladolid aparece este Trabajo de Fin de Grado, que se encargara de analizar la circulación en la zona teniendo en cuenta los problemas de tráfico existentes, e intentara proponer soluciones que mejoren esta situación.

Para realizar este estudio, se va a utilizar el software de simulación de tráfico AIMSUN, versión 6.1 Advanced, que nos permitirá crear un modelo de simulación que represente todas las características del tráfico de la zona de



estudio. A partir de este modelo se crearan a su vez otros modelos que representen las propuestas de tráfico planteadas y sus posibles efectos.

Todo este proceso de mejora se realizara analizando y valorando para ello, una gran cantidad de variables que definen el comportamiento de tráfico, como son el flujo de vehículos, la densidad del tráfico, los tiempos de viaje y de demora, la velocidad de los vehículos o la longitud de las colas entre otros.

1.3.- OBJETIVOS DEL TFG

Los principales objetivos que se van a buscar con la realización de este TFG van a ser:

- Analizar a través del software AIMSUN los problemas relativos al tráfico rodado que existen actualmente en el barrio de la Rondilla, centrándonos para ello en el tramo más conflictivo, es decir, en las horas punta de la circulación.
- Exponer diferentes propuestas de tráfico centradas en la optimización semafórica de las vías arteriales o de entrada al barrio, al ser estas las que soportan mayor circulación y por tanto, en las que existirán mayores problemas. Estos modelos, van a simular diferentes situaciones que permitan:
 - Ver a través de la simulación de una caída en el sistema de control de tráfico de la red, la importancia de llevar a cabo un correcto mantenimiento de los semáforos y sus programas, que evite problemas de circulación.
 - Conseguir el modelo de Onda Verde que mejore los resultados, a partir del correcto ajuste de los de los desfases y repartos de tiempo de los semáforos en estas vías arteriales de mayor tránsito.
 - Observar a partir del desarrollo y modelado de un nuevo grupo semafórico en la red, la necesidad de actualizar la estructura de control del tráfico de la red, permitiendo giros en intersecciones que actualmente no están permitidos y que descargarían otros puntos más conflictivos, evitando de este modo problemas de congestión.
- Estudiar los beneficios y limitaciones de las diferentes propuestas de tráfico planteadas, contrastando para ello los resultados en los distintos parámetros del tráfico presentes en el software AIMSUN.

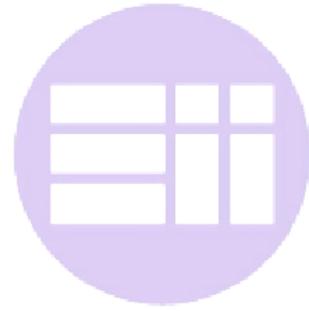
Asimismo, como objetivos secundarios podemos destacar:

- Integrar el modelo desarrollado en futuros proyectos propuestos en la zona de estudio como el análisis de la movilidad peatonal, o desarrollando un nuevo modelo en otras áreas de la ciudad.
- Valorar la diversidad de posibilidades del software AIMSUN para una futura aplicación como herramienta de trabajo en análisis y simulación del tráfico rodado.

1.4.- DISTRIBUCION DE LA MEMORIA

El presente TFG se encuentra estructurado en ocho capítulos y un anexo, siguiendo el siguiente orden:

- Capítulo 1 – Introducción
- Capítulo 2 – Ingeniería de Trafico
- Capítulo 3 – Planificación y Organización del Transporte
- Capítulo 4 – Software AIMSUN
- Capítulo 5 - Estudio, análisis y construcción del modelo
- Capítulo 6 – Análisis de las propuestas de trafico
- Capítulo 7 – Estudio Económico
- Capítulo 8 – Conclusiones
- Bibliografía
- Anexo, en el que se incluyen todos los datos aportados por el Gabinete de Movilidad Urbana del Ayuntamiento de Valladolid



CAPÍTULO 2

INGENIERÍA DE TRÁFICO



2.1.- CONCEPTOS GENERALES DE TRÁFICO

En primer lugar, una definición de la **Ingeniería de Tráfico** nos la proporciona el Instituto de Ingenieros de Tráfico de EEUU que la define como *“la rama de la Ingeniería que trata del planeamiento, trazado y funcionamiento de las calles y carreteras, así como de los aparcamientos, terrenos colindantes y zonas de influencia y de su relación con otros medios de transporte. Su objetivo final es que el movimiento de personas y mercancías se realice de la forma más segura, eficaz y cómoda”*.

En esta definición, se incluyen todos los campos que abarca la Ingeniería de Tráfico, es decir, planeamiento, trazado y funcionamiento de las calles, que es el origen de la regulación del tráfico.

La Ingeniería de Tráfico en sus inicios se orientó hacia el campo de la ordenación de la circulación y de la seguridad vial, de forma que se pudiera conseguir un mayor rendimiento de las calles existentes, lo que implicaba a la policía. Sin embargo, a medida que fueron evolucionando los problemas de tráfico y con ellos la Ingeniería de Tráfico, se fueron imponiendo los criterios ingenieriles, de forma que esta se ha encaminado más hacia las funciones de planteamiento y trazado, centrándose en el campo del desarrollo y la regulación del transporte.

Además de la planificación, trazado y funcionamiento de las calles y carreteras, la Ingeniería de Tráfico como hemos dicho, también debe tener en cuenta los aparcamientos, terrenos colindantes y zonas de influencia y su relación con otros medios de transporte, ya que muchas veces las soluciones para muchos problemas de tráfico interno pasan por la construcción de una correcta red viaria exterior, optimizando todos los elementos que utilizan la red viaria y utilizando para ello estudios de velocidad, aforos o encuestas.

Se pone de manifiesto pues, que los campos que abarca la Ingeniería de Tráfico van desde la solución de pequeños problemas locales hasta la elaboración de complejos planes de transportes, y que ha sido aceptada así en todo el mundo.

De este modo, las actividades de la Ingeniería de Tráfico van a poder dividirse en dos grandes grupos, que a pesar de estar bien diferenciados, tienen muchos aspectos comunes.

El primer grupo, corresponde a la Planificación de tráfico, muy relacionada con otras técnicas como la Estadística o las Matemáticas y que generalmente trata de problemas a largo plazo, o al menos no de acción inmediata.

El segundo grupo, que corresponde con el origen de esta rama de la Ingeniería, corresponde a la Ordenación de la circulación, y en general se dedica al estudio de actuaciones de acción inmediata. Su objetivo fundamental va a ser lograr el máximo rendimiento de las redes viarias existentes en la zona de estudio, intentando modificar su estructura en la menor medida posible o al menos realizando modificaciones muy pequeñas.

Hay que tener en cuenta que en la actualidad el transporte se intenta contemplar en todas sus formas de la manera más amplia posible, ya que no se van a poder aceptar soluciones parciales que sólo hagan referencia al problema de la circulación de los vehículos, especialmente en las zonas urbanas.

2.1.1.- PLANIFICACIÓN VIAL

Es importante recordar que el tráfico es un factor básico en la planificación de las calles y carreteras, ya que uno de sus principales objetivos es que la circulación funcione de la forma más eficaz posible.

De este modo, la Ingeniería de Tráfico ha de tener una participación importante junto con otras técnicas en todos los trabajos de planificación de infraestructuras. A continuación, vemos los diversos aspectos de la actuación de la ingeniería de tráfico en relación con su correspondiente planificación.

- **Recogida y análisis de datos**

El primer requisito para abordar un problema es su conocimiento de una manera objetiva, puesto que estos datos son la base de todo trabajo científico o ingenieril, y no tratar de este modo con supuestas hipótesis.

Los datos van a poder ser recogidos por cualquiera, aunque hay que destacar que existen procedimientos muy bien calibrados para obtener con un coste mínimo los datos básicos que permiten tomar estas medidas adecuadas. La puesta a punto y el refinamiento de estos procedimientos ha sido uno de los éxitos de la Ingeniería de Tráfico.

Esta técnica de la recogida de datos se ha desarrollado hasta tal punto, que muchas veces se confunde la misión del ingeniero con la simple realización de unos aforos o con la preparación de una encuesta, olvidando así que dentro de sus funciones esto sólo va a representar un primer paso para conseguir los principales objetivos, que son:

- ✓ El análisis crítico de las situaciones existentes
- ✓ La aplicación de los resultados de los estudios a soluciones concretas de los problemas que se hayan planteado

También, se deberá tener en cuenta que una excesiva acumulación de datos va a representar un coste inútil y de esta forma se puede desviar la actuación de los ingenieros de los objetivos más importantes.

- **Planificación vial y de transportes**

La planificación de las estructuras viarias, los sistemas de transportes y el estudio y comprobación de su comportamiento futuro, son algunas de las tareas esenciales de la Ingeniería de Tráfico.

En este campo, se impone la cooperación con otras técnicas y con los sistemas de transporte, que a pesar de no ser factores decisivos, pueden imponer la solución desde otros puntos de vista, aunque estos no sean los más adecuados.

Además, desde la aparición del vehículo privado, el transporte ha hecho evolucionar muchos conceptos básicos de la estructura de la ciudad, provocando un problema que existe tanto en las nuevas zonas urbanas como en las ciudades ya construidas.

- **Trazado**

La Ingeniería de Tráfico va a tener un papel especialmente importante en el trazado de las intersecciones y enlaces de calles o carreteras.

Es por ello conveniente, que los ingenieros que realizan los proyectos de trazado tengan una formación adecuada en tráfico, y será positivo que en las tareas de revisión de los planos finales intervenga algún ingeniero especialista en tráfico.

Puede también valorarse como muy eficaz el que los ingenieros de tráfico tengan alguna intervención en las etapas finales del proyecto, completando así su intervención en la planificación funcional.

2.1.2.- ORGANIZACIÓN DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO

Como vemos a continuación, la Ingeniería de Tráfico va a poder prestar servicios a organismos muy diversos, como:

- ✓ Administraciones de carreteras en relación con la planificación y ordenación del tráfico, especialmente fuera de las zonas urbanas
- ✓ Municipios con problemas de ordenación de tráfico y planificación urbana
- ✓ Administraciones que controlan el urbanismo en relación a la redacción y control de los planes
- ✓ Laboratorios y Centros de Investigación que no están directamente relacionados con los organismos de la administración y gestión del tráfico

- ✓ Determinados organismos privado, empresas de transportes, distribuidoras de carburantes o empresas de consultoría, que trabajan para alguno de los organismos citados

Por otro lado, si tenemos en cuenta una organización a escala municipal, hay que considerar que cada vez existen más problemas de circulación y estacionamiento. Esto es debido a que los parques de vehículos crecen rápidamente y las condiciones físicas de las ciudades mejoran muy poco a poco en la mayoría de los casos.

De estos primeros problemas de ordenación de tráfico suelen encargarse a la policía, aunque cada vez puede observarse más la tendencia de que al aumentar las dificultades se acude a la Ingeniería de Tráfico, aunque en la mayoría de los casos ésta no puede resolver muchos de los problemas ya que su origen está en la planificación de la propia ciudad.

Si esta tendencia de tener en cuenta el tráfico en la planificación urbana continua, será posible ordenar la circulación más eficazmente en futuras zonas urbanas. Aunque en ciudades importantes, hay ocasiones que no puede evitarse que en un futuro hayan de imponerse ciertas limitaciones al uso de los vehículos privados, a pesar de una planificación bien establecida.

Hay que tener en cuenta que actualmente las actividades de la Ingeniería de Tráfico aún están dedicadas a resolver los problemas de ordenación que ocupan la atención de la mayor parte de los ingenieros.

Una de las funciones más típicas de esta actividad es el estudio de medidas, tales como la señalización de las calles, el establecimiento de sentidos únicos, el control del estacionamiento o la prohibición de giros, todas ellas con el objetivo de obtener un mayor rendimiento de las vías existentes. De este modo, el arma fundamental de que disponen los ingenieros de tráfico para ordenar la circulación es la señalización, ya sea con semáforos, señales o marcas viales, mediante las cuales obligar a los conductores a cumplir las normas previamente establecidas.

La correcta ordenación del tráfico va a ser siempre necesaria para poder conseguir una circulación tanto segura como fluida. Esta fluidez del tráfico va a exigir medidas más ajustadas y su contribución ha sido decisiva para el desarrollo de la Ingeniería de Tráfico en todo el mundo, especialmente en las zonas urbanas.

Otra razón para aumentar el cuidado en la ordenación del tráfico, va a ser el mejorar la integración de la vía en su entorno y reducir así su impacto negativo en los que menos se benefician de su uso ya sean en unas ocasiones los peatones y en otras las personas que viven o trabajan en sus límites.

Por último, la Ingeniería de Tráfico va tener un papel importante en la revisión y puesta a punto de las normas generales que regulan la circulación, ya que a medida que surgen nuevos problemas, es preciso modificar las normas que



hay que aplicar, generalmente imponiendo mayores restricciones a determinados usuarios, consiguiendo de esta forma un mayor beneficio general.

2.1.3.- CONCLUSIONES

La Ingeniería de Tráfico está sometida a una intensa evolución que se presenta orientada principalmente hacia una mayor capacidad de su campo de acción y a una mayor tendencia al establecimiento de leyes.

Cuando llegó a Europa desde Estados Unidos, la Ingeniería de Tráfico era casi exclusivamente práctica, basada en observar cómo se cumplían unas determinadas leyes, sin tratar de justificarlas teóricamente. Los ingenieros europeos generalmente con mayor preparación teórica, pero con menos medios para reunir y analizar datos, han tratado de llegar a leyes análogas basándose en razonamientos teóricos, de forma que 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 ya que la Ingeniería de Tráfico surgió en América como una consecuencia de la expansión del automóvil privado, que en un principio parecía se iba a convertir en el único medio de transporte, pero sin embargo en las ciudades europeas se observó como el automóvil creaba problemas imposibles, resultando necesario estudiar conjuntamente la solución del transporte privado y colectivo. Actualmente, existe ya una tendencia a extender el campo de la Ingeniería de Tráfico al más amplio de los transportes.

Pero estas técnicas, se complican aún más ya que también se ha comprobado que no es posible aislar el problema del transporte de otros aspectos del urbanismo, lo que provoca que la Ingeniería de Tráfico se vaya mezclando cada vez más con el urbanismo, hasta el punto que la técnica del tráfico se está convirtiendo en un aspecto fundamental del urbanismo, incluyéndose especialistas en transportes en los equipos dedicados al urbanismo.

2.2.- CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

En la Ingeniería de Tráfico destacan tres características que no son independientes y que lo definen técnicamente:

- **Intensidad de tráfico**, es decir, el número de vehículos que pasan por una determinada sección de la vía en una unidad de tiempo.
- **Composición**, es decir, la clase de vehículos que forman la corriente de tráfico.

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

Otras características, también interesantes para definir el tráfico son la separación entre vehículos, el intervalo o la densidad.

2.2.1.- COMPOSICIÓN

La **composición** o corriente de tráfico está formada por vehículos muy diversos, que se diferencian 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 y autocares. Los carros y bicicletas se van a considerar sólo en casos especiales.

Puesto que cada tipo de vehículo recorre anualmente (en 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 la función y las características de la carretera que se considere. Además, está 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), que se define como el número de vehículos que pasan por una sección determinada de la vía durante un año, dividido por 365. Es decir, que puede considerarse como la intensidad de tráfico que corresponde al día medio del año.
- ✓ Intensidad horaria punta, que se define como el número de vehículos que pasan por una sección durante la hora que se considera representativa de las condiciones de mayor circulación.

La **IMD** interesa principalmente desde el punto de vista de la planificación, para: clasificar las vías, programas de mejora, determinación de tendencias en el uso de las vías, proyectos de señalización e iluminación, estudios económicos o determinación de características geométricas.



La **intensidad horaria punta** va a ser más interesante desde el punto de vista de la ordenación, para determinar: capacidad de la vía, características de las intersecciones y enlaces, control de tráfico o coordinación de semáforos entre otros.

Se debe tener en cuenta que el correcto funcionamiento de una vía no se juzga por su capacidad para intensidades medias, sino para intensidades en hora punta. 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 en cierto modo elegir normas rígidas para establecer la intensidad horaria del proyecto. Este va a ser por tanto un problema económico que puede estudiarse en cada caso, considerando los beneficios y costes que resultan de la existencia de ciertas congestiones de vehículos durante unas horas al año.

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

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

2.2.3.- VELOCIDAD

La **velocidad** es una de las definiciones más complejas del tráfico ya que 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 en cuenta a la vez las circunstancias ambientales y de la vía.

La velocidad de un determinado vehículo se puede definir de tres formas:

- ✓ Velocidad local, es decir, la velocidad de un vehículo al atravesar una determinada sección de una vía.
- ✓ Velocidad de circulación (V_c), que va a ser igual a la distancia recorrida en un tramo determinado dividida por el tiempo 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 este llega a su destino, incluyendo las posibles detenciones y retrasos debidos al tráfico.

Otros conceptos de '**velocidad**' van a tener también en cuenta las circunstancias de la vía, como:

- ✓ La velocidad de proyecto, que se define como aquella que se toma como base para definir los elementos geométricos de la vía.
- ✓ La velocidad de servicio, que se define como aquella a la que se puede circular por una determinada vía en situaciones atmosféricas favorables, con las condiciones de circulación existentes en cada momento y dentro de unos márgenes razonables de seguridad.

Este concepto de velocidad tiene un gran interés en la definición de la capacidad y los niveles de servicio de los distintos tipos de calles y carreteras.

2.2.4.- DENSIDAD

En la Ingeniería de Tráfico, la **densidad** se va a definir como el número medio de vehículos en la vía por unidad de longitud y en un momento dado, resultando así:

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

Dónde:

d = densidad de vehículos en un instante de tiempo

n = número de vehículos en la carretera

L = longitud de la carretera

2.2.5.- RELACIÓN ENTRE INTENSIDAD Y VELOCIDAD

Un aumento de la densidad va a corresponder a una reducción de la velocidad media, hasta llegar a un punto crítico que corresponde a la máxima intensidad. A partir de este punto van a decrecer ambas, tanto velocidad como intensidad. Este comportamiento se va a observar mejor en tramos completos que en secciones aisladas y los resultados van a ser de mayor consistencia, cuanto más largo sean los tramos.

De este modo, la velocidad media se va a deducir del conjunto de las velocidades de cada vehículo, aunque depende también de otros factores independientes de la intensidad y que son función unas veces de la vía, como las

características geométricas y el control de sus accesos, y otras de agentes externos, como las condiciones atmosféricas.

La **relación intensidad-velocidad media** se va a poder representar por una curva del tipo de las que se recogen en la figura 2.1. En condiciones de circulación interrumpida o discontinua, va a ser difícil establecer esta relación intensidad-velocidad.

Se debe tener en cuenta que la velocidad está condicionada por factores muy distintos como los límites de velocidad, la progresión de los semáforos o la capacidad de intersecciones próximas y por tanto, los resultados obtenidos van a ser poco consistentes.

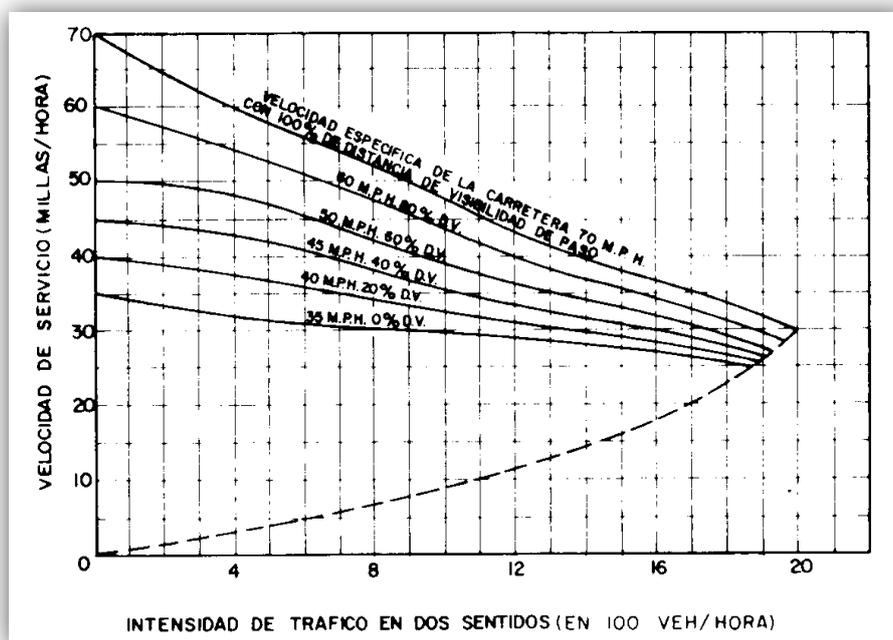


Figura 2.1: Relación Intensidad-Velocidad

- **Ecuación fundamental de flujo**

Existe una ecuación que relaciona las tres variables fundamentales de la Ingeniería de Tráfico que acabamos de definir. Esta es válida para cualquier tipo de vía, aunque ha sido usada principalmente para el tráfico de autopistas.

De esta forma, cuando se planifica una nueva carretera o se estudia la adecuación de una ya existente, se podrá estimar la velocidad de los vehículos correspondiente a la intensidad de tráfico que circulara por ella, a partir de la relación velocidad-intensidad, definida en una carretera de características equivalentes.

Así, a través una serie de procesos matemáticos se obtiene la ecuación fundamental de flujo, que se define como:

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

Dónde:

i = intensidad

d = densidad

\bar{V}_m = velocidad

Esta relación, relaciona las tres variables y permite calcular una de ellas, generalmente la densidad, en función de las otras dos.

Se debe tener en cuenta, que una carretera tiene una capacidad determinada y dicha capacidad se alcanza con unas condiciones concretas. Fuera de estas condiciones, la carretera va a permitir un tráfico menor que su capacidad.

Si la densidad es baja y la velocidad \bar{V}_m alta, el producto $d \times \bar{V}_m$ puede ser pequeño, lo que implica que la intensidad será baja, y por tanto tendremos una capacidad infrutilizada, lo que no resulta un problema. El problema se produce cuando la densidad es alta y la velocidad baja, pudiendo incluso llegar a valer cero, lo que provocara que la intensidad también sea nula. Al final, se llega a la conclusión de que la velocidad constante es la que permite un mejor uso de la carretera.

2.3.- CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO

En la Ingeniería de Tráfico, la estimación de la capacidad y el nivel de servicio van a ser necesarios para la toma de decisiones y el planteamiento de los transportes.

2.3.1.- CAPACIDAD

Se va a definir como **capacidad teórica de una vía**, el número de vehículos que pueden atravesar dicha vía en un momento determinado.

Dada la capacidad teórica de una vía, van a existir diversos factores que limitan el tiempo que emplean los vehículos en recorrer el trayecto, como son: el clima, el tonelaje, las paradas o la habilidad del operario del vehículo entre otras; limitaciones que determinan la existencia de un tiempo mínimo para recorrer la ruta.



Una vez establecida la capacidad teórica de la vía (vehículos-hora), podemos obtener un número teórico máximo de vehículos que pueden circular. Este valor sin embargo, no va a poder ser adaptable al estudio real debido al tiempo de interferencia promedio.

La 'General Electric Company' desarrolló los diagramas de avance horario, que permiten obtener el número máximo de vehículos reales capaces de circular de forma que no se sobrepase la capacidad teórica de la vía, es decir, que la capacidad real utilizada sea menor que la capacidad teórica calculada, que se va a obtener de integrar la función de probabilidad de los mencionados diagramas de avance horario.

El empleo de estas curvas de probabilidad indica como a medida que nos acercamos a la capacidad máxima de la vía, la interacción entre los vehículos provoca mayores demoras y hace que aumenten los tiempos promedios del viaje. Por tanto, el tiempo de interferencia promedio va a ser proporcional al número de vehículos que operan en un tiempo dado.

De este modo, la capacidad de las carreteras se va poder expresar mediante diferentes fórmulas, que 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, ya que a medida que aumenta la velocidad, el conductor tiende a aumentar la separación, y aparecen así los conceptos de **separación** y **velocidad óptima**, que son los que van a permitir que pasen un número máximo de vehículos por un punto en una hora.

Los estudios realizados señalan que dicha capacidad teórica máxima para un flujo de 2000 Veh/h se encuentra a 50 Km/h. Por otro lado, cuando la densidad aumenta de modo que no es posible sobrepasarla, el tráfico se va a mover aproximadamente a la misma velocidad y este es el momento de la **densidad crítica u óptima**, en cuyo caso cualquier aumento da lugar a una reducción de la velocidad y el volumen del tráfico.

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

En la siguiente figura se representa la capacidad máxima de un carril en diferentes situaciones:

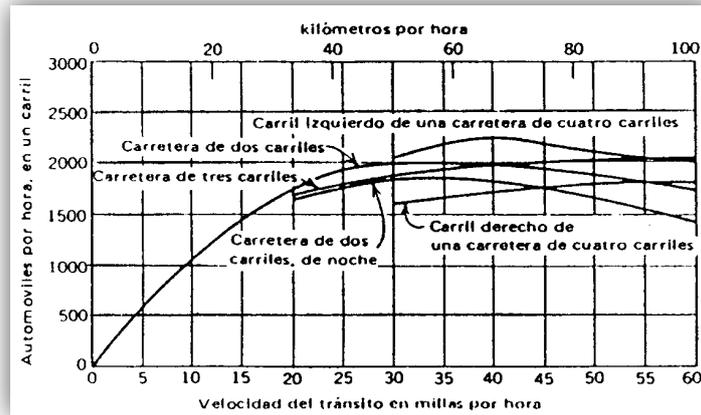


Figura 2.2: Capacidad máxima de un carril

2.3.2.- NIVELES DE SERVICIO

El **nivel de servicio** es una medida cualitativa del funcionamiento de una vía, que indica la cantidad de transporte necesaria para satisfacer la demanda cuando dicha vía mantiene una determinada intensidad de tráfico.

El nivel de servicio en una vía que soporta una determinada intensidad de tráfico, va a tener que tener en cuenta un conjunto de factores:

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

Va a ser muy difícil valorar todos estos factores tan diversos, por lo que se recomienda identificar el nivel de servicio en función de la velocidad o el tiempo empleado en recorrer un tramo y añadir un segundo índice, como la relación entre la intensidad de servicio o la intensidad de tráfico prevista y la capacidad. En la práctica, el conjunto de estos dos índices va a permitir identificar el nivel de servicio de cada tramo de la vía.

Para obtener estos índices es eficaz seguir los siguientes criterios:

- ✓ Medir la intensidad y la capacidad en vehículos por hora para cada uno de los subtramos en los que es convenientes dividir el tramo de la vía.
- ✓ Establecer los niveles de servicio 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 correspondiente debe tener en cuenta las diferentes circunstancias de cada subtramo.
- ✓ Analizar el tiempo de recorrido y la intensidad en subtramos semejantes, ya que la media ponderada de todos ellos establece el nivel de servicio del tramo total.
- ✓ Fijar separadamente valores de la velocidad y de los índices intensidad-capacidad para los siguientes tipos de vías:
 - Autopistas y autovías
 - Carreteras de dos o más carriles
 - Grandes arterias urbanas
 - Calles céntricas

Se establecen de esta forma **seis niveles de servicio** que abarcan todas las situaciones de tráfico que se pueden producir. En la siguiente figura vemos la relación entre los diferentes niveles de servicio y otras variables:

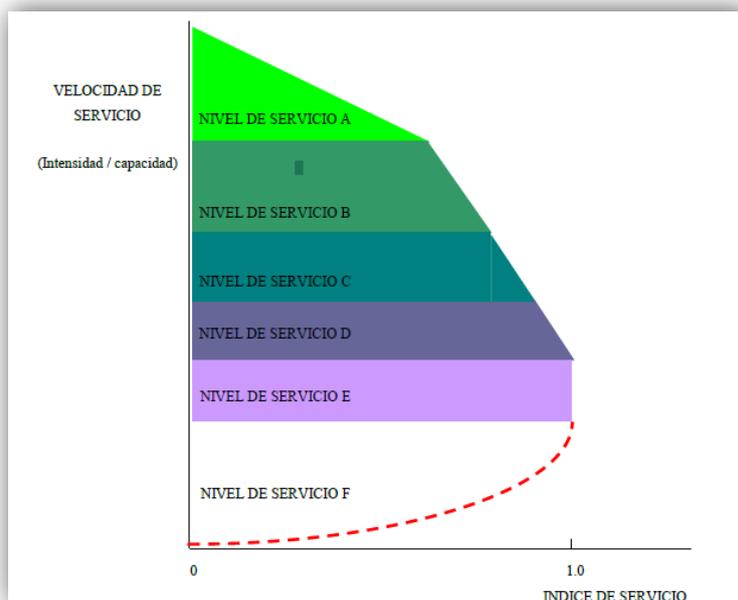


Figura 2.3: Niveles de servicio

Los niveles de A a D se van a definir en función de unos límites determinados para la velocidad de servicio y de los índices de servicio intensidad-capacidad. El nivel E va a corresponder a situaciones próximas a la saturación y el nivel F cuando se sobrepasa la capacidad de la vía, las condiciones son inestables y la velocidad e intensidad pueden variar notablemente.

2.3.3.- CAPACIDAD EN INTERSECCIONES CON SEMÁFOROS

Uno de los principales motivos de interrupción del flujo de tráfico son las intersecciones, especialmente si están reguladas por semáforos como es lógico. Las intersecciones que no están reguladas por semáforos mantienen en la vía principal un flujo sin interrumpir a través de señales de stop en la vía secundaria.

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

Nivel A: representa un flujo libre, con un factor de carga de 0 y por tanto sin demoras

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

Nivel C: representa un flujo estable, con un factor de carga de 0,3

Nivel D: se acerca al flujo estable, con un factor de carga de 0,7 y por tanto con algunas esperas y demoras

Nivel E: representa un flujo inestable, con un factor de carga entre 0,85 y 1 y por tanto con colas, esperas y demoras

Nivel F: representa un estado de congestión total

Como vemos a continuación, van existir unos **factores** que influyen en el **nivel de servicio y la capacidad de las intersecciones** reguladas por semáforos:

- Condiciones físicas y de operación, como la anchura del acceso, la anchura de los carriles, si la operación es de uno o dos sentidos o si se permite el estacionamiento en las proximidades de la intersección, entre otras.
- Condiciones ambientales, en las que destacan el factor de carga y factor de hora de máxima demanda.

El **factor de carga** 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, y va a representar el grado en que la luz verde se utiliza mientras dura. Este factor va a variar desde 0 (esto es que siempre que hay



luz verde da tiempo a que salgan todos los vehículos del semáforo que esperaban, antes de volverse a cerrar el semáforo) y 1 (esto es que 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 solidez de la demanda y 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 van a utilizar factores de 0,85 y para intersecciones con flujos elevados durante períodos cortos, se suelen usar factores comprendidos entre 0,6 y 0,7.

- Características del tránsito, como el porcentaje de vehículos que realizan giros (especialmente a la izquierda), el porcentaje de camiones y autobuses o los autobuses urbanos con paradas en alguno de los accesos a la intersección entre otros.
- Medidas de control, como las señales de tráfico, la duración del ciclo de semáforo y la relación entre el tiempo de luz verde y el del resto del ciclo, las marcas en el carril de acceso o los pasos de peatones, entre otras muchas.

2.3.4.- CALIDAD DE SERVICIO

La **calidad de servicio** va a indicar la manera en que el nivel de servicio se encuentra disponible atendiendo a aspectos como:

- ✓ Seguridad y confiabilidad
- ✓ Flexibilidad (volumen, mercancía y ruta)
- ✓ Rapidez
- ✓ Tiempo de viaje puerta a puerta
- ✓ Economía de energía

2.4.- CONTROL DEL TRÁFICO RODADO

La función de control del tráfico rodado va a buscar principalmente 3 objetivos:

- ✓ Lograr la máxima seguridad de la red
- ✓ Usar de forma eficiente la red viaria
- ✓ Buscar la confiabilidad del movimiento

Este control del tráfico puede ser algo simple, pero también bastante complejo. El objetivo de este control va a ser el mover los vehículos de la red lo más rápido posible y con las mínimas demoras, asegurando a su vez que no ocurran colisiones o que su probabilidad sea baja. Es decir, en definitiva se trata de obtener una intensidad de circulación máxima y con ello la **velocidad óptima de circulación**, que será la solución a nuestro 'problema'.

Estos objetivos sin embargo, muchas veces entran en conflicto ya que además de la seguridad, confiabilidad y rapidez de los vehículos, está el objetivo de aprovechar al máximo la capacidad del tránsito de vehículos, y para ello se deberá tener en cuenta la **velocidad máxima permitida** y el **horario**.

Aunque los medios destinados a efectuar el control del tráfico de vehículos varían notablemente, este proceso de control se puede resumir en cuatro etapas:

1. Situación actual que requiera cambios en el movimiento de vehículos
2. Detección de esa condición que requiera cambios
3. Variación de las fuerzas sobre el vehículo
4. Cambio de los parámetros del vehículo (velocidad, dirección, etc.)

Este control, además de llevar el registro del movimiento de todos los vehículos, debe también proporcionar información para fines operativos.

Por otra parte, uno de los principales problemas del control del tráfico consiste en decidir que parte del control debe ser automático y que parte se debe dejar al operador (manual), que en la mayoría de los casos se encarga de realizar las funciones de vigilancia y en ocasiones con la posibilidad en casos de emergencia de anular los controles automáticos.

El resto de problemas relativos del control van a provenir del progresivo aumento de la complejidad de los aparatos de control y las cada vez mayores densidades del tránsito en vías o medios de densidad limitada, frente al tiempo de reacción y nuestra capacidad para comprender y tomar decisiones en este sentido.

En definitiva, el objetivo final va a ser el poder detener cualquier condición mencionada que pueda necesitar un cambio, en un tiempo y distancia suficiente para evitar el peligro, ya sea en el movimiento, velocidad, dirección o altitud, y esto supone para ello seguir los cuatro pasos mostrados en el proceso anterior.



Por otro lado, a pesar de que existen diversas tecnologías de transporte y asignación de rutas que son sometidas a diferentes variaciones, todos los movimientos de los vehículos deben ser controlados de manera que tengan en cuenta la posibilidad de imprevistos, ya sea en situaciones que pueden requerir un cambio en el movimiento del vehículo donde se conoce de antemano el peligro y se pueda advertir de manera adecuada, o en algunas situaciones temporales más difíciles de tratar, como cruces de peatones o la existencias de vehículos en la carretera.

2.4.1.- CANALIZACIÓN

La **canalización** va a ser la forma más común de control del movimiento de vehículos. Su idea básica es la de dividir el movimiento de vehículos en categorías, de modo que el movimiento de todos los vehículos de una misma categoría sea lo más uniforme posible.

De esta forma, se ha advertido por ejemplo que la mediana en las autopistas ha reducido notablemente los accidentes de tráfico más que ninguna otra acción de control del tráfico.

2.4.2.- COMUNICACIONES

A pesar de que los iniciales sistemas de operación se apoyaban en reglas, señales o banderines, el control moderno de operaciones no puede existir sin un sistema de comunicaciones adecuado.

En la actualidad, los estudios relativos al transporte por carretera están orientados a sistemas que proporcionan una información detallada al usuario para lograr una mayor fluidez y aprovechamiento de las vías. Se trata de sistemas que analizan el flujo del tráfico en tiempo real, con lo que el conductor dispone de una información actualizada del estado de la vía. Un ejemplo de ellos, es el continuo aumento en la utilización de dispositivos GPS en los vehículos.

En definitiva, las comunicaciones se van a emplear principalmente para dirigir y seguir el rastro de los movimientos de los vehículos de forma que se mantiene el contacto por radio con cada vehículo, anotando todos sus movimientos en un registro y guiándolos hacia tareas sucesivas, consiguiendo así una mayor efectividad. Ejemplo de ello son los taxis o los vehículos de carga motorizados.

2.4.3.- LÍMITES DE VELOCIDAD

En ocasiones, va a existir la necesidad de limitar la velocidad de los vehículos en lugares específicos.

De este modo, el control del movimiento y la velocidad de los vehículos se realizan para asegurar que dos vehículos que viajan en la misma vía, no colisionen entre sí. Así, el segundo vehículo debe mantener una distancia de seguridad y una velocidad tal, que pueda parar o desviarse en el tiempo necesario para evitar colisionar con el primero. Esta situación se conoce con el término de **control de seguimiento**.

Por otro lado, también se utiliza el término de **seguimiento de comportamiento** en casos donde la conducta humana es un elemento que sirve para el control del vehículo y el proceso de decisión. Aquí, el conductor de cada vehículo va a ser el responsable de que su vehículo no colisione y por tanto, será el conductor quien deberá tener en cuenta la posición y velocidad del vehículo que le precede. En estos casos por supuesto, van a existir reglas de tráfico que sin embargo, no son siempre obedecidas.

2.5.- DISPOSITIVOS DE CONTROL DEL TRÁFICO

Los dispositivos de control del tránsito de vehículos se deben colocar próximos a las calles o carreteras. Estos dispositivos deben:

- ✓ Satisfacer una necesidad del tráfico
- ✓ Atraer la atención de los conductores
- ✓ Comunicar un mensaje claro y sencillo
- ✓ Dar el tiempo necesario para dar la respuesta adecuada

2.5.1.- SEÑALES

Las **señales** son uno de los elementos más comunes y empleados para el control del tráfico y se van a encargar de dar una información restrictiva y advertir de condiciones peligrosas o situaciones como la circulación en un solo sentido, entre otras.

Todas estas señales se encuentran recogidas en el **código de la circulación**. Estas se deben colocar a una distancia adecuada del punto peligroso, con el fin de que los conductores y los peatones tomen las medidas oportunas en cuanto a las velocidades y en las condiciones que predominen.



2.5.2.- MARCAS

Otra forma muy común de control del tráfico es a través de la delineación de carriles y movimientos mediante marcas pintadas en el pavimento que contribuyen a guiar el flujo del tránsito de vehículos sin obligar al conductor a quitar la vista del camino.

2.5.3.- SEMÁFOROS

En el tráfico urbano, va a ser muy frecuente el recurrir al uso del **semáforo** como elemento de control de la intensidad de una intersección.

Su función principal va a ser la de regular el paso de los distintos grupos de vehículos o peatones, minimizando los problemas y demoras de forma segura y eficaz.

En lo relativo a los semáforos, habrá que tener en cuenta tres definiciones:

- ✓ **CICLO:** Tiempo de duración de las fases sucesivas
- ✓ **FASE:** Cada una de las secuencias del ciclo
- ✓ **DESFASE:** va a hacer referencia al número de segundos que tarda en aparecer la indicación de luz verde en un semáforo, después de un instante dado, que se va a tomar como punto de referencia. Este va a poder ser expresado en % de ciclo y en ocasiones, se usa también para referirse al tiempo necesario para despejar ciertas intersecciones complejas.

Por su parte, los semáforos **van a constar de dos elementos principales:**

- **Regulador**

Se va a encargar del control del ciclo de las luces de un semáforo según los movimientos del cruce correspondiente, a través de una serie de luces rojas y verdes.

Si se trata de un cruce con dos fases 'a' y 'b':

$\text{Tiempo de ciclo} = T_a + T_b = \text{Tiempo de la luz verde de los dos}$

- **Detector**

Se van a emplear para detectar la intensidad de tráfico, de la cual va a depender la duración de ciclo. Estos miden la intensidad y se la transmiten a un regulador o programa que corrige la duración de los **tiempos de ciclo**. En general:

$$35 \text{ segundos} < 1 \text{ ciclo} < 120 \text{ segundos}$$

En los semáforos, **va ser importante estudiar:**

- Tiempo de ciclo optimo
- Retraso medio

- **Tiempo de ciclo optimo**

En los cruces de las diferentes intersecciones se debe regular el tiempo de luz verde, que debe ser proporcional a la intensidad:

$$T_a/T_b = I_a/I_b$$

Dónde:

$$T = \text{tiempo verde}$$

En el caso de que los intervalos medios en las diferentes calles sean distintos, entonces:

$$T_a/T_b = I_a * \tau_a / I_b * \tau_b$$

Dónde:

$$\tau = \text{intervalos medios}$$

En estos, se deberá de tener en cuenta tanto los tiempos de pedidas como la capacidad máxima de los diferentes semáforos.

De este modo, el tiempo del ciclo debe ser lo más grande posible con el objetivo de evitar las pérdidas, pero como el tiempo de espera del contrario va a ser grande, esto provoca que se forman grandes colas y en definitiva supone mayores pérdidas. Se busca por tanto, un **tiempo de ciclo óptimo** que se aproxime a un tiempo de ciclo mínimo:

La duración de C será igual al \sum de todos los T_i :

$$C = \sum_{i=1}^n T_i = \sum_{i=1}^n P_i + C * \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{C_i}$$

Llamando:

$$P_t = \sum_{i=1}^n P_i \quad y = \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{C_i}$$



Y donde:

$$T_i = P_i + I_i / C_i * C$$

C = tiempo de ciclo

T_i = tiempo de luz verde del semáforo

I_i = intensidad de tráfico que hay en la intersección

P_i = pérdidas de tiempo en el semáforo

C_i = capacidad en Veh/h del semáforo - i

Tenemos por tanto, que:

$$C = P_t + C \cdot y$$

O lo que es lo mismo:

$$C_{\min} = \frac{P_t}{1 - y}$$

Se debe tener en cuenta, que en la práctica los semáforos están agrupados. Consiguiendo una **onda verde**, se va a conseguir que la velocidad del vehículo sea constante. Sin embargo, el problema se complica cuando hay dos direcciones, vías de doble sentido de circulación, como es nuestro caso.

Centrándonos en la onda verde, esta va a consistir en es un fenómeno en el cual cualquier vehículo que se mueva a la velocidad establecida por las principales vías de la red, vea progresivamente una serie de luces verdes según avanza, de forma que tenga que detenerse el menor tiempo posible en las intersecciones afectadas permitiendo con ello un mayor volumen y fluidez del tráfico y una reducción en las distancias y tiempos de espera. Esta se presentara con más detalle en el **capítulo 6**, junto con la realización del modelo de onda verde propuesto para la zona de estudio, en nuestro caso el barrio de la Rondilla.

Por otro lado, van a existir otras soluciones como:

- ✓ Poner todos los semáforos a la vez en verde, de forma que cuando la onda verde llegue a su mitad, el semáforo se pondrá en rojo
- ✓ Abrir un poco antes el semáforo
- ✓ Usar reguladores de tiempo fijo

- **Retraso medio**

Otro aspecto a tener en cuenta, van a ser los retrasos de los vehículos en las distintas intersecciones, que son debidos a la pérdida de tiempo en la aceleración y al tiempo que tardan los coches en cruzar la intersección.

Se usan muchos métodos para la estimación de este retraso, tomando en cuenta factores como el tiempo de color verde, el volumen de tráfico, la fracción de vehículos haciendo distintos movimientos a través de la intersección, es decir, los giros, o la fracción de camiones y autobuses.

Un método muy simple para hallar el **retraso medio** de un vehículo, viene dado por la siguiente ecuación:

$$D_j = \frac{C * (1 - L_i)^2}{2(1 - L_j * X_j)} + \frac{X_j^2}{2V_j * (1 - X_j)} - 0.65 \left(\frac{C}{V_j^2} \right)^{\frac{1}{3}} * X_j^{2+5*L_i}$$

Llamando:

$$X_j = V_j / (L_i * S)$$

$$L_i = (G_i - K_i) / C$$

Y donde:

D_j = retraso medio por vehículo en el lado 'j' durante la fase 'i'

C = longitud del ciclo

G_i = tiempo en la fase "i" en verde.

K_i = parte pérdida de tiempo verde

V_j = volumen en el carril "j"

s = saturación o máximo flujo durante la fase verde

Se puede observar, como el retraso medio de un vehículo va a ir creciendo con el incremento de volumen.

2.5.3.1.- COORDINACIÓN SEMAFÓRICA U ONDA VERDE

La coordinación de semáforos va a ser una de las formas más eficientes de reducir demoras, consumo de combustible o contaminación y por tanto, de reducir accidentes y lograr una circulación del tráfico más fluida.

La coordinación semafórica consiste en la sincronización de los programas de tiempo de los semáforos con el objetivo de favorecer la progresión del tránsito de vehículos, es decir, que los grupos de vehículos avancen a lo largo de la vía o ruta en su caso, manteniendo una velocidad compatible con las características geométricas de estas vías y el nivel de servicio del tránsito, soportando el mínimo de demoras y detenciones. Esta coordinación va a exigir para ello, que todas las intersecciones tengan la misma duración de ciclo, en el caso de Valladolid **100 seg.**

La coordinación se puede analizar y calcular para una sola vía arterial o para una red, pero sólo en la primera se va a poder realizar manualmente con relativa facilidad como puede deducirse de forma lógica. Para ambos casos, puede recurrirse al uso de programas computacionales desarrollados especialmente creados para tal propósito.

2.5.3.2.- CÁLCULO DE PLANES

Los métodos empleados para el cálculo de planes de control semafórico van a poder realizarse de forma manual como explicamos a continuación o de forma automática a través de programas computacionales como acabamos de mencionar. En el caso de los **métodos manuales**, habrá que tener en cuenta que estos solo van a servir para sistemas sencillos de coordinación.

De este modo, para la realización de un plan de **coordinación de un sistema de semáforos sencillo** (vía en uno y doble sentido), se necesita determinar en las intersecciones que la componen, lo siguiente:

- ✓ Ciclo común, en nuestro caso 100 seg. como acabamos de mencionar.
- ✓ Reparto de ciclo o tiempo efectivo de verde, el cual se encuentra en los diagramas de fase que en nuestro caso nos ha aportado el Ayuntamiento de Valladolid.
- ✓ Desfase, el cual se obtiene después de realizar un proceso de ‘tanteo’ (manual) para establecer la coordinación más adecuada o mediante la aplicación de programas computacionales especializados. Estos desfases van a depender de las condiciones y corrientes de vehículos existentes, y van a tomar como punto de referencia u origen de tiempos un instante dado, que en el caso de Valladolid hace referencia al instante ‘0’ o ‘cero absoluto’, de los diagramas espacio-tiempo que vemos a continuación.

Así, para la realización del **procedimiento manual o por 'tanteo'**, en primer lugar debe haberse definido como hemos comentado anteriormente, tanto el ciclo común de la red (100 seg. en nuestro caso) como el reparto del ciclo en cada intersección semaforizada de la red a estudiar.

Para facilitar la determinación de los desfases, se emplea el **diagrama espacio-tiempo**, el cual es un sistema de coordenadas cartesianas en donde el eje de las ordenadas corresponde a las distancias en metros medida a lo largo de las vías a coordinar y el eje de las abscisas a los tiempos en segundos o contados partir de cierto instante tomado como referencia, en el caso de Valladolid y por tanto el nuestro, se toma el **instante '0'**, que hace referencia a un **origen de tiempos ABSOLUTO**. A continuación, podemos ver en la siguiente figura un diagrama tiempo-espacio que sirve de orientación.

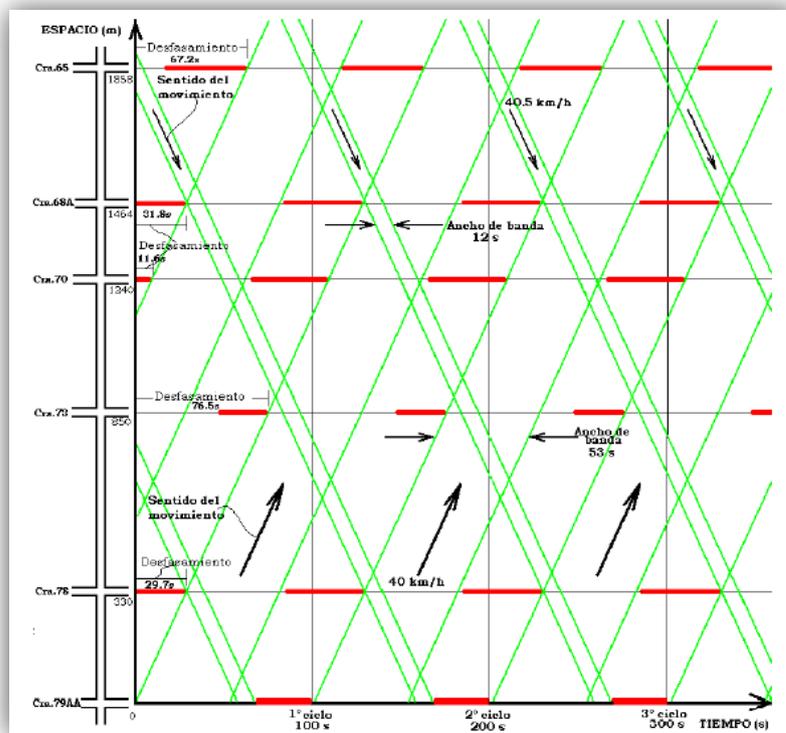


Figura 2.4. Ejemplo de Diagrama Espacio-Tiempo

En el eje de las abscisas o tiempo, se hacen marcas igualmente espaciadas que representan la duración de ciclo común, a través de las cuales y mediante líneas paralelas y trazadas por la ordenada que corresponda a la ubicación de cada intersección, se dibuja el reparto del ciclo de cada una, representando con franjas en negro el verde efectivo y con franjas en rojo el rojo efectivo, los cuales vendrá especificados en los diagramas de fase de las correspondientes intersecciones. Este reparto de tiempo se debe iniciar con la intersección que servirá de referencia o con el movimiento cuyo inicio, define el instante de referencia de los desfases con las demás intersecciones a coordinar.

De esta forma, se puede observar en la anterior figura como las **bandas u ondas de verde** van a ser franjas inclinadas, limitadas por líneas paralelas y situadas sobre los verdes efectivos de las intersecciones correspondientes.

El **ancho de banda** va a ser la separación medida en segundos entre las líneas que la limitan y representa el intervalo (en segundos) entre el primer y el último vehículo del mayor 'pelotón' que puede pasar por todos los semáforos sin detenerse; mientras que la **eficiencia de la banda** va a ser la duración del ciclo expresada en segundos o en %, la cual se mide relacionando su ancho.

A continuación, podemos ver en las siguientes figuras como resultaría la coordinación y modelo de onda verde en el caso de una vía en un solo sentido y el caso de vías en ambos sentidos de circulación.

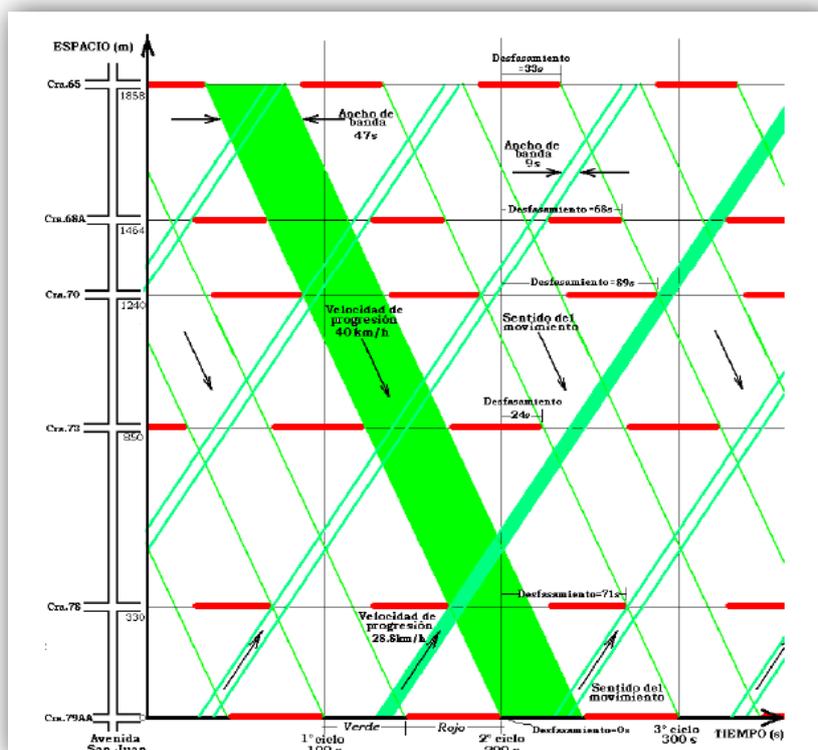


Figura 2.5. Ejemplo de Onda Verde para vías de único sentido

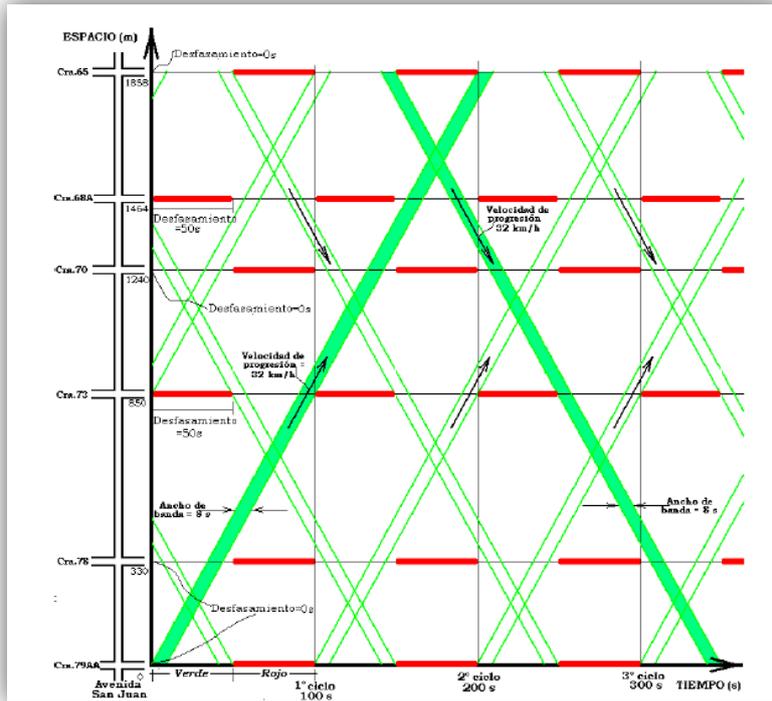


Figura 2.6. Ejemplo de Onda Verde para vías de doble sentido

En el caso de vías en un único sentido, el **Desfase** entre semáforos consecutivos, de acuerdo a la velocidad de progresión del tránsito que en nuestro caso se ha fijado en **50 Km/h**, y a las condiciones de circulación de las vías, este se podrá obtener de forma numérica a través de la siguiente expresión:

$$Desfase (seg) = \frac{Distancia\ entre\ semaforos\ (metros) * 3,6}{Velocidad\ de\ progresión\ establecida \left(\frac{Km}{h}\right)}$$

O bien, de forma gráfica trazando en el diagrama y en función de la velocidad de progresión establecida, líneas paralelas al eje de las ordenadas, espaciadas por la duración del ciclo común y coincidiendo con los inicios del verde efectivo, los cuales nos darán el desfase correspondiente, como puede observarse en las anteriores figuras.

Se debe de tener en cuenta sin embargo, que para el caso de vías con ambos sentidos de circulación como el de la figura 2.6., el problema es más difícil de resolver y muchas veces no tiene una única solución. En este caso, deberá haber cierta simetría en el diagrama espacio-tiempo, es decir, velocidades y anchos de banda iguales. Para determinar los desfases en estos casos es preciso por tanto, efectuar varios tanteos y ‘arreglos’ para llegar a la solución más favorable. Este procedimiento de ensayo y error o tanteo debe repetirse hasta



lograr la mejor eficiencia de los anchos de banda compatibles con las velocidades y volúmenes de vehículos en cada sentido de la circulación.

2.5.3.3- SISTEMA DINÁMICO DE CONTROL DE TRÁFICO

La ciudad de Valladolid emplea un sistema dinámico para controlar las intersecciones semafóricas de la ciudad. El Gabinete de Movilidad Urbana que pertenece al Área de Seguridad y Vialidad del Ayuntamiento de Valladolid, va a ser el encargado de realizar este control semafórico.

Para realizar este control, utilizan el **Control Dinámico de Tráfico por Ordenador**. Éste Sistema Dinámico se divide en cuatro niveles de forma jerárquica y funciones muy diferentes.

Los niveles jerárquicos definidos son:

1. El **Ordenador Central**, que tiene tres misiones:

- ✓ Recibir la información de los detectores y enviar en base a estos datos el programa de tráfico más adecuado.
- ✓ Vigilar el correcto funcionamiento de los equipos que se encuentran conectados a él, avisando de los problemas que puedan surgir con el fin de que puedan ser corregidos.
- ✓ Elaborar y dejar constancia en la memoria de todos los datos que se pidan, manteniendo en todo momento un diálogo con el operador además de ejecutar las posibles órdenes que reciba.

2. La **Central CR32**, que tiene principalmente cuatro objetivos:

- Controlar y vigilar los reguladores de su zona, junto con los correspondientes detectores
- Almacenar los programas y llevar a cabo su selección siguiendo las órdenes del computador central
- Servir como equipo de emergencia en caso de avería del Ordenador Central
- Concentrar las transmisiones para evitar grandes tendidos de cables

Esta Central se va a encargar de controlar hasta 32 nudos y 256 detectores.

3. Los **Reguladores Locales**, que van a ser los encargados de recibir las órdenes de la Central y gobernar los semáforos según estas, a la vez que se encargan de enviar a la Central la información en tiempo real de los detectores.

4. Los **Detectores de los Vehículos**, que se encargan de recoger los datos de presencia de los móviles cuando estos los activan y que posteriormente, van a ser tratados en el Ordenador Central.

En la ciudad de Valladolid, estos detectores van a ser en su mayoría **espiras** de inducción magnética que poseen un contacto que actúa mientras la espira está ocupada y cuyo sistema es controlado por el Ordenador Central.

Además, para completar este Sistema Dinámico de Control de Tráfico, con el fin de descargar el ordenador de tareas y de este modo poder dedicarlo a diferentes funciones, la conexión entre éste y las centrales de zona se va a realizar a través del Calculador de Entradas y Salidas (C.E.S.), cuya misión va a ser la de procesar los datos que envían cada una de las centrales y enviarlos ya de forma globalizada. Hay que tener en cuenta también, que en caso de avería del Ordenador, va a tener capacidad decisoria pasando este a modo de emergencia.

A continuación, podemos ver un esquema del control dinámico de tráfico de la ciudad de Valladolid.

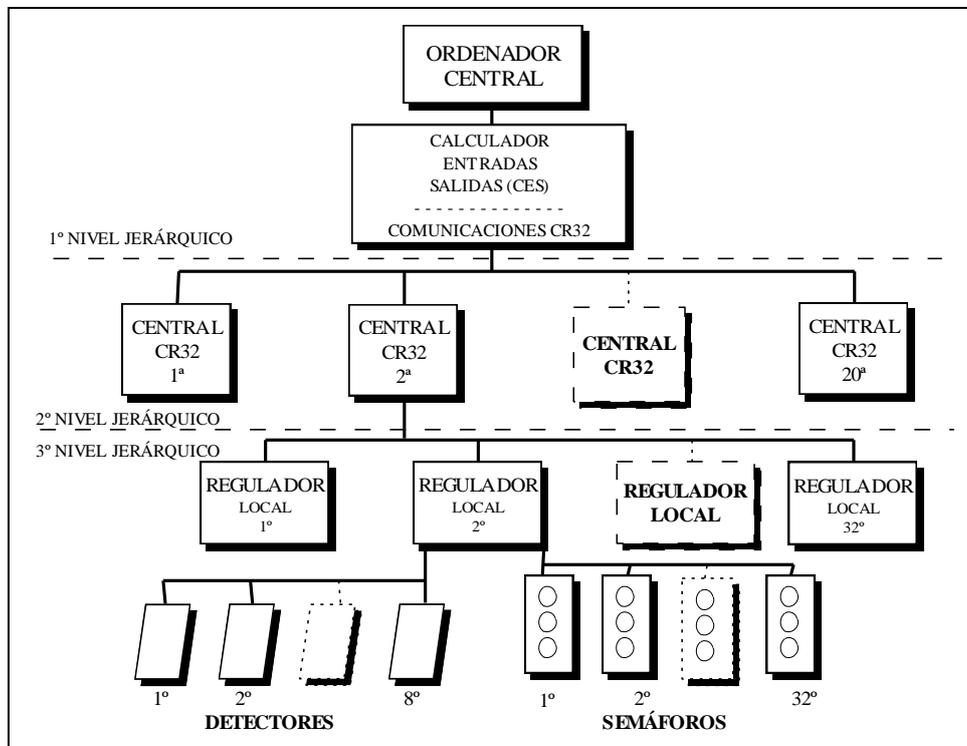
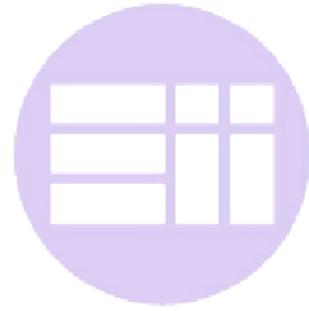


Figura 2.7. Control Dinámico de Tráfico por Ordenador



CAPÍTULO 3

PLANIFICACIÓN Y ORGANIZACIÓN DEL TRANSPORTE

3.1.- ESTUDIO DEL TRANSPORTE: AFOROS

A la hora de realizar un estudio de tráfico cualquiera que sea, uno de los primeros pasos va a ser medir el número de vehículos que circulan por un determinado carril en un intervalo de tiempo, evaluando de este modo los movimientos que se originan en la red.

De este modo, todos los **aforos** están orientados a conocer aspectos importantes de la demanda de tráfico como la intensidad, la composición o la densidad, entre otros.

3.1.1.- OBJETIVOS DE LOS AFOROS

Los principales objetivos de los aforos van a ser:

- ✓ Comparar entre unas vías y otras, los efectos de cualquier programa de actuación
- ✓ Justificar las inversiones en las que el tráfico va a ser una variable
- ✓ Determinar las características físicas de las vías de acuerdo a las necesidades del tráfico
- ✓ Establecer el tipo de señalización, fija o automática
- ✓ Asignar el tráfico a las nuevas vías
- ✓ Servir como elemento de investigación

De los datos de una vía procedentes de estos aforos, se pueden obtener muchas de las variables relacionadas con el tráfico que hemos explicado anteriormente, como: la Intensidad Media Diaria anual (IMD), la composición del tráfico, la distribución por sentidos, los movimientos de giro o la intensidad del tráfico de peatones.

3.1.2.- TÉCNICAS DE AFORO

Los aforos van a poder realizarse tanto manual como automáticamente. La elección de uno u otro método viene condicionada principalmente por dos factores:

- Los medios disponibles, que principalmente serán económicos
- Los resultados que se pretenden obtener

Los aforos por otra parte, presentan en ocasiones ciertas dificultades. De esta forma, los **aforos automáticos** no son útiles en algunas situaciones, como:

- ✓ El estudio de los movimientos de giro
- ✓ El estudio de la composición del tráfico
- ✓ Si las condiciones físicas de la vía impiden la instalación de contadores automáticos

Del mismo modo, los **aforos manuales** se realizan con dificultad si por ejemplo:

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

A continuación, vemos con más detalle cada uno de estos tipos de aforos.

- **Aforos manuales**

Este tipo de aforos van a consistir en anotar el paso de cada vehículo completando un impreso especial para ello o anotando cada vez que un vehículo realiza el movimiento elemental que se está estudiando, esta vez sobre unos contadores manuales.

Entre las principales características de los aforos manuales podemos destacar que suministran una información más completa durante periodos cortos, que requieren un personal adecuadamente preparado y que son difíciles y costosos si se pretende mantener una información permanente con ellos.

Hay que tener en cuenta, que estas tareas van a ser realizadas por un operador, aunque si la intensidad horaria es elevada o si se requiere información de muchos movimientos o tipos de vehículos van a ser necesarios varios observadores para ello.

Si es preciso clasificar los vehículos, es aconsejable no sobrepasar los 800 Vehículos/hora por observador, aunque a veces estas tareas se realizan en periodos cortos inferiores a 15 minutos, de modo que un mismo observador puede recoger datos de varios movimientos diferentes.

- **Aforos automáticos**

Estos aforos no van a resultar muy útiles a la hora de estudiar movimientos de giros o la composición del tráfico, pero si van a ser muy útiles cuando la intensidad horaria del tráfico sea muy elevada.

Los equipos que se van a emplear para realizar estos aforos son:



- ✓ Contadores automáticos, que han sido utilizados hasta hace pocos años y cuyo proceso consistía en transmitir un impulso que cerraba un circuito eléctrico cuando el vehículo pasaba un tubo de goma extendido sobre la calzada.
- ✓ Totalizadores, que van a ser un sistema similar a los contadores automáticos, pero que acumulan todos los impulsos que reciben.
- ✓ Registradores, que de nuevo van a ser un sistema similar a los anteriores, pero que en este caso imprimen en una cinta el número de vehículos que pasan en un tiempo concreto. Estos registradores van a ser los más utilizados pero también los más caros.
- ✓ Existen también otros sensores más complejos cuyo uso se ha extendido como los de presión, los electromagnéticos, los electrónicos o los fotoeléctricos.

3.1.3.- AFOROS EN ZONAS URBANAS

Como es lógico, el tráfico va a presentar unas características muy distintas en las vías urbanas, que en las carreteras situadas por ejemplo en pleno campo. Además los objetivos de los aforos serán distintos, ya que en las ciudades será más interesante la intensidad en la hora punta que la IMD, y serán más frecuentes los aforos orientados al estudio de una solución concreta.

De este modo, el **Plan de Aforos en una zona urbana** va a constar de las siguientes etapas:

1. Definición del sistema viario que constituye la red que se pretende aforar. Este plan inicial se va a poder ir completando los años siguientes.
2. Establecimiento de como mínimo una estación permanente, para definir las variantes del tráfico, y en ciudades importantes, al menos cuatro estaciones permanentes o de control, para definir los ciclos principalmente en:
 - ✓ Centro de ciudad
 - ✓ Vías de penetración al centro
 - ✓ Vías tangenciales al centro
 - ✓ Zonas periféricas
3. Realización de programas de aforos de cobertura que cubran el conjunto de la red a estudiar. Para ello será suficiente con la colocación de este tipo de estaciones en los tramos de calle situados entre intersecciones de importancia

En ciertas ocasiones, debido a la dificultad que supone seguir el movimiento de cada vehículo, la complejidad de movimientos y las elevadas intensidades de tráfico, no será fácil conseguir la información, aunque se posean los medios y aparatos necesarios, por lo que se aprovechan otros sistemas distintos como el Sistema Dinámico de Control de Tráfico para disponer de algunos datos permanentes sobre la intensidad del tráfico de forma automática.

Van a existir movimientos que muchas veces son prácticamente imposibles de medir mediante la utilización de aforos simples, por lo que va a ser preciso obtenerlos a través de otros aforos. En casos muy complicados, también pueden emplearse recursos más complejos como las **encuestas**.

En intersecciones complicadas sin una gran intensidad de tráfico, se podrán realizar encuestas parando a los conductores en alguno de los accesos cercanos y realizando aforos en todos ellos. Este método sin embargo, no será válido para zonas céntricas con una gran intensidad debido a su difícil aplicación.

Por último, se debe tener en cuenta que las principales variables que van a intervenir a la hora de aforar una intersección van a ser:

- ✓ 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

3.2- PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE

La planificación del transporte va tener diversos problemas y procedimientos que deberán variar con el tipo de necesidad que se desee satisfacer. De este modo, esta planificación va a ser realizada por diferentes organismos, los cuales se encuentra a muchos niveles.

El **objetivo** principal de la planificación va a ser dar un servicio de transporte seguro, adecuado, rápido y confiable desde el punto de vista del volumen y el tipo de mercancías especificadas, todo ello a un coste razonable. De esta forma, la planificación tendrá las siguientes metas:

- **Metas generales:** satisfacer la necesidad que se requiera hallando para ello un nivel de servicio adecuado a la demanda estimada.
- **Metas inherentes:** ofrecer rapidez, capacidad adecuada, frecuencia de servicio y accesibilidad, seleccionando para todo ello una calidad de servicio apropiada.



- **Meta adicional:** asegurarse de que todos los usos propuestos del suelo y los núcleos humanos tengan accesibilidad humana.

Esta planificación presenta también ciertos **problemas** como: la necesidad de definir las características de la demanda, selección de la modalidad adecuada, efectos en los valores o problemas relacionados con el medio ambiente.

A continuación, vamos a ver cada uno de los aspectos que conforman esta planificación del transporte.

3.2.1- ETAPAS DE LA PLANIFICACION

La planificación y ejecución de los distintos planes del transporte va a seguir por lo general una guía con las siguientes etapas:

1. Reconocimiento de la necesidad

La necesidad puede ser actual y grave o por el contrario esta puede no ser tan evidente. Para averiguarlo basta con estudiar las necesidades presentes y futuras.

2. Metas de la planificación:

La planificación tendrá que tener una dirección y un propósito concretos, es decir, que deberá establecer tanto los objetivos como los medios necesarios para lograr estos objetivos.

3. Objetivos de la planificación

Los objetivos de la planificación van a representar la dirección en que una sociedad desea moverse. Estos 'objetivos' sirven para lograr las metas, mientras que los 'criterios' se van a aplicar para cuantificar estos objetivos.

4. Análisis de demanda

Los estudios de demanda van a ser la fuente de información a partir de la cual se puede proceder a la planificación.

5. Proyecciones

Una vez establecida la demanda, el tráfico se va a distribuir entre rutas y modalidades de transporte. En estas proyecciones se compara la capacidad con la demanda actual y se observa el exceso o falta de capacidad para después realizar la elección de modalidades. Hay que tener en cuenta, que la demanda del tránsito se proyecta hacia el futuro, por lo que se deberán asignar las rutas y anotar de nuevo los excesos o deficiencias correspondientes de la capacidad.

6. Diseño de soluciones

Se deben considerar todas las soluciones posibles y desarrollar con mayor detalle las dos o tres que resulten más prometedoras. Con estas soluciones se seleccionara la modalidad, el diseño y la ubicación de la red correspondiente, además de estimar el nivel de servicio y el coste económico de cada alternativa y tomar nota de las consecuencias sociales y medioambientales.

7. Evaluación de alternativas

Se va a realizar un análisis detallado de las soluciones seleccionadas. Para la evaluación de estas soluciones habrá que considerar su efectividad, además de calcular tanto el coste económico como los costes sociales y ambientales y hallar las consecuencias más significativas de cada solución alternativa. Habrá que tener en cuenta también la aceptabilidad por parte del público, que va a ser un criterio muy importante.

8. Presentación

Una vez seleccionados los planes y las alternativas viables, estos se van a presentar al correspondiente Consejo de Planificación junto con los métodos de financiación que se aconsejan.

9. Ejecución del plan

Una vez aprobado y autorizado el correspondiente plan, se van a establecer los métodos de financiación que van a permitir: preparar los planos y diseños finales, adquirir el terreno, presentar los presupuestos y la construcción y la operación final.

Se debe tener en cuenta por último, que va a existir una relación muy estrecha entre todas las etapas y que la planificación inicial va a ser fundamental ya que puede indicar que el proyecto no es justificable y por tanto no sea viable, evitando de este modo un gasto innecesario de recursos y esfuerzos.

3.2.2- CONCEPTO DE COSTE

Por norma general, el coste de facilitar servicios de transporte va a determinar la elección final del tipo de transporte excepto cuando predominen condiciones tecnológicas restrictivas. En este sentido, el ingeniero y en especial el de organización, se van a tener que enfrentar constantemente al problema de elegir prácticas tecnológicas que den como resultado un coste mínimo.

Hay que tener en cuenta, que el concepto de coste es muy amplio y abarca diferentes sectores que van a influir de manera directa o indirecta en la elección de la alternativa a seguir. A continuación, se explican distintos tipos de coste y su importancia en la planificación del transporte.



- **Costes de capital y costes de operación**
 - **Costes de capital:** hacen referencia a lo que supone obtener la planta y el equipo iniciales, las ampliaciones y las mejoras de esas instalaciones. Incluyen además los intereses que se pagan correspondientes al capital invertido. Estos costes se van a desglosar en: Inversión en ruta y estructuras e Inversión en equipo.
 - **Costes de operación:** van a ser los de manejo del negocio de transporte y se van a dividir en:
 - ✓ Mantenimiento de la ruta: como conservar carreteras, vías férreas, pavimentos, tuberías, etc.
 - ✓ Mantenimiento del equipo: como conservación del equipo motriz y rodante.
 - ✓ Costes de transporte: aquellos en los que se incide al llevar a cabo el transporte, como: combustible y energía, costes de terminal y sueldos de quienes dirigen el movimiento de vehículos.
 - ✓ Costes de tráfico: son los de solicitud de carga, publicidad y administración.
 - ✓ Costes generales y diversos: como gastos de oficina, de asesoría legal o sueldos de los funcionarios y el personal.
- **Costes fijos y variables**
 - **Costes fijos:** van a ser aquellos que tienen poca relación con el volumen de tráfico, aunque se va a incidir en ellos hasta cuando no se mueve tráfico alguno.
 - **Costes variables:** son aquellos que varían con los cambios del tránsito de vehículos.

Los costes fijos y variables se van a relacionar con el tiempo de forma que:

- ✓ A corto plazo, va a ser un período bastante corto como para que la capacidad permanezca fija
 - ✓ A largo plazo, va a ser un período lo suficiente largo para que se produzcan cambios en la capacidad
- **Costes directos e indirectos**
 - **Costes directos:** van a corresponder con los denominados 'costes en efectivo'.

- **Costes indirectos:** van a ser aquellos en que los que se incide con motivo de la operación de modalidad de transporte.

3.2.3- PLANIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIARIA

Gran parte de la inversión pública va a estar destinada a la planificación de la infraestructura de los sistemas viarios, tanto para aumentar y conservar este patrimonio como para crear nuevas vías.

En esta planificación van a existir una serie de etapas:

1. **Estado inicial:** Va a ser imprescindible entender cuál es la situación inicial existente y efectuar un inventario de la infraestructura y el conocimiento del tráfico actual, tanto de sus características técnicas más frecuentes como la intensidad o la velocidad, como de sus otras características más específicas como los tipos de viajes.
2. **Estimación de la demanda futura:** Se va a realizar una estimación correspondiente a la demanda para poder estudiar los principales objetivos y actuación del plan viario.
3. **Determinación de objetivos:** El principal objetivo es conseguir en cada momento con un nivel de servicio específico, una correcta relación entre las exigencias del tráfico y el estado de la infraestructura.
4. **Diferentes actuaciones de un plan viario:** Una vez fijados los objetivos y estudiada la situación inicial, se deben delimitar los diferentes tipos de actuaciones en cada uno de los tramos de la vía.

En un principio, se debe intentar optimizar el estado inicial e ir mejorando en la medida de lo posible, pero si esto no fuera posible se deberá establecer un programa de construcción, que se encuentra dividido 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

Para estudiar la planificación de la estructura viaria vamos dividir esta en tres apartados:



- Planificación a largo plazo en zonas urbanas
- Generación, atracción y distribución del tráfico
- Asignación de tráfico

A continuación, estudiamos con detalle cada uno de estas partes.

- **Planificación a largo plazo en zonas urbanas**

Vamos a dividir esta planificación en zonas urbanas en **6 subapartados** que van desde la integración y clasificación hasta las posibilidades de actuación y la planificación final.

1. Integración en la planificación de una ciudad

La ciudad ha de diseñarse para facilitar y solucionar los problemas del transporte, por lo que es este transporte quien depende de la ciudad y no al contrario. En esta integración transporte-ciudad, la coordinación va a ser fundamental en 2 niveles:

- ✓ Entre todos los medios de transporte
- ✓ Entre el transporte y la planificación urbana

Esta coordinación sin embargo no va a ser fácil, de forma que no se debe concentrar toda la responsabilidad en un único organismo, sino que se realizara una subdivisión de la gestión entre distintos departamentos. Actualmente para ello, se han elaborado equipos y organismos de coordinación con una mayor responsabilidad y capacidad de decisión con los que poder conseguir una mayor fluidez.

2. Forma y dimensiones de la red viaria

Hay que tener en cuenta que cada ciudad va a tener sus propias circunstancias y demandas concretas, por lo que no va a existir un modelo de planificación ideal. Sin embargo y según ciertos estudios, sí que existen ciertos **parámetros** principales a tener en cuenta, como:

- ✓ *Espacio necesario por persona y kilómetro en la ciudad.*

Así, se va a definir el ancho de la calzada como:

$$A = \frac{(1000 * a)}{(n * c * T)} \quad m^2$$

Dónde:

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.*

Este efecto va a influir en la forma de entrar en las diferentes zonas.

- ✓ *Superficie viaria necesaria en un centro urbano para el transporte de personas.*

Se va a considerar una zona urbana de forma circular donde la superficie total necesaria para el transporte de una persona se especificara como:

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

Dónde:

r = Radio donde entran n personas

k = Coeficiente función del itinerario

A = Superficie por persona y kilometro

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

Van a existir dos elementos que condicionaran el cálculo del radio óptimo de una red viaria urbana radial: el coste de ejecución, que va a depender de la longitud del anillo y del coste de la vía por unidad de longitud, y el tiempo que hace ahorrar a los vehículos.

En función de estos van a existir 3 tipos de viaje:

- Interiores: $r_{op} = 0.67r$
- Interiores próximos a la periferia $r_{op} = 0,82 r$
- Viajes que cruzan la zona urbana por el borde de la ciudad

3. Clasificación funcional de las vías urbanas

- ✓ *La función de la red viaria.* La red viaria debe estar constituida fundamentalmente por:



- Red viaria principal
- Red específica para transportes colectivos
- Instalaciones terminales.

Si esta red se planifica de forma que no exista límite del uso del coche privado, éste sobrepasara la capacidad de la vía destinada a este uso. Por otro lado, el transporte de la ciudad tampoco va a poder resolverse en gran parte por medios colectivos ya que es necesario llegar a un compromiso entre ambos.

De esta forma, deben acotarse los resultados que puedan alcanzarse y debe haber un compromiso entre el servicio al viajero y al residente, además de deber de considerarse el valor del suelo.

- ✓ *Justificación de la especialización de las vías urbanas.* Cuando se dificultan las condiciones de circulación, las vías se van llenando de peatones y vehículos y no existe una clara definición de la función de la vía, dichas condiciones se degradan cada vez más y la solución no siempre va a poder ser aumentar la superficie ocupada por la red viaria, sino una especialización de las vías. Es por ello que la justificación se basa en 3 criterios: la capacidad, el nivel de servicio y la seguridad y funcionalidad.
- ✓ *El concepto del control o limitación de los accesos.* La diferencia entre una vía que posea accesos limitados y otra sin ellos va a estar en el distinto grado de entrecruzamiento entre los vehículos entre sí y entre los vehículos y peatones.

Hay que tener en cuenta que en las vías con accesos limitados, la capacidad por unidad de anchura va a ser mucho mayor y el índice de accidentes por tanto más reducido.

4. Tipos de vías de la red arterial de una área urbana

Van a existir fundamentalmente dos categorías de redes viarias. Por un lado la red arterial o primaria, que van a ser vías destinadas principalmente a la circulación y por otro lado las que sirven a las propiedades circundantes.

Dentro de **la red primaria** a su vez van a existir diferentes tipos de vías:

- ✓ *Autopistas urbanas*

Las vías fundamentales van a tener que tener características de autopista, ya sea a corto o a largo plazo.

Presenta diversas **Ventajas:**

- Su capacidad por unidad de superficie va a ser superior a la de cualquier otro tipo de vía.
- Mayor seguridad.
- Descongestionan las calles locales, ya que en estas se va a circular a alta velocidad, y los conductores tienen predilección por ello.

También presentan ciertas **Desventajas**, como: un mayor coste y dificultades técnicas y urbanísticas para su introducción en las ciudades.

✓ *Autovías*

La existencia de las autovías se debe a las dificultades de establecer una autopista en zonas urbanas. En estas los mayores problemas surgen en las intersecciones y es por ello que deben encontrarse bien señalizadas y poseer carriles especiales para los giros.

✓ *Arterias principales*

Estas vías suelen encontrarse normalmente en zonas edificadas, por lo que van a ser destinadas la mayor parte de las veces para viajes de menor recorrido.

Algunas de sus características son que: no existen limitaciones en los accesos, se permite normalmente el estacionamiento y la detención o pueden o no disponer de mediana, entre otras.

En cuanto a la **red secundaria** que citamos anteriormente, su objetivo principal va a ser el de llevar el tráfico desde los edificios hasta la red principal por el trayecto más corto posible.

En este tipo de red secundaria el tráfico debe ser reducido y no debe emplearse para viajes de largo recorrido o para unir varios sectores de una ciudad.

Dentro de esta red vamos a diferenciar 2 tipos de vías:

✓ *Calles colectoras*

Van a encargarse de recoger el tráfico de la red local y dirigirlo hacia la principal. En general van a suponer una circulación compleja y aunque sus dimensiones son limitadas, van a poder tener un tráfico intenso pero de corto recorrido.

✓ *Calles locales:*

Las calles locales van a suponer una circulación lenta y poco intensa, pero van a representar un porcentaje importante de la longitud total de la red viaria de una ciudad y además, su tipología va a ser muy variada pudiendo existir: calles residenciales, comerciales, centro de negocios, etc.



5. Posibilidades de actuación en situaciones existentes

Por norma general la construcción de las vías a estar relacionado con la función principal para la que van a ser empleada y aunque una ciudad no se haya formado en función de ningún plan de transporte, las vías se van a diferenciar tanto en trazado como en dimensiones. En ocasiones, es necesario tomar medidas para definir más la función de la vía, como:

- ✓ En vías de la red principal, se prohíbe el estacionamiento, se señalizan los cruces con semáforos o se acondicionan las intersecciones entre otras.
- ✓ En calles locales, se aumenta la capacidad de aparcamiento ya que es deseable impedir el paso de una parte del tráfico, aunque el problema va a estar en que pocas vías tienen un carácter residencial puro.
- ✓ En vías de tipo suburbano, se controlan los accesos y se realiza una mejora progresiva de sus características.

6. Planificación

Cada ciudad va a tener unas características concretas y es por ello que para realizar una correcta planificación lo más convenientes es realizar un examen de los planes en una serie de ciudades de diferentes características.

A pesar de ello, se pueden definir algunos principios generales que dan una visión global, como:

- ✓ *Red viaria principal.* Esta va a estar destinada para los mayores desplazamientos dentro de la zona urbana. Debe establecer una limitación de los accesos y ha de servir a la mayor parte de los recorridos de la ciudad para poder descargar de esta forma todo lo posible la red secundaria.
- ✓ *Redes secundarias.* Van a completar los espacios urbanos que definen las vías principales. Estas redes suele estar definidas sin ningún criterio concreto y va a ser necesario una ordenación para distinguir su función.
- ✓ *Transportes colectivos.* Su planificación va a ser función del número de habitantes de la ciudad correspondiente. De esta forma, en las grandes ciudades el metro se encuentra justificado como un elemento de transporte que absorbe buena parte del tráfico de superficie, mientras que en pequeñas poblaciones resulta más rentable el transporte de superficie y el invertir más en construcción y mejoras de autopistas.

- **Generación, atracción y distribución del tráfico**

La estimación y distribución del número de viajes que han de producirse en un futuro van a ser muy importantes en el proceso de planificación de un área. En este apartado vamos a ver cómo se generan, qué puntos son atractivos y cómo se distribuye el tráfico final y para ello necesitamos definir una serie de conceptos:

- *Viaje generado por un domicilio:* va a ser el que tenga su origen o destino (extremos) en el domicilio.
- *Viaje atraído:* hace referencia al viaje generado en un domicilio, pero que es observado desde el otro extremo.
- *Viaje no basado en el domicilio:* va a ser aquel en el que ninguno de sus extremos coincide con el domicilio.
- *Origen del viaje:* lugar donde se inicia el viaje.
- *Destino:* punto donde finaliza el viaje
- *Viaje simple:* va a ser aquél en que no se cambia de vehículo.
- *Viaje básico:* es el que se realiza entre dos puntos definidos, aunque sea preciso cambiar de vehículo.

A continuación, vamos a ver en detalle la correspondiente Generación, Atracción y Distribución de los viajes.

1. Generación de los viajes

Partiendo del conocimiento de la situación existente y de la previsión de las condiciones urbanísticas futuras, se van a deber establecer una serie de variables importantes, como: nivel de motorización, nivel renta, distancia al centro, densidad de población, población activa o disponibilidad de medios de transporte entre otras. Estas variables nos van a ayudar a comprender como y por qué se producen los viajes

El primer dato a considerar va a ser el número de viajes que se generan y su clasificación por medios de transporte y objeto del viaje que nos van a dar una idea del orden de magnitud en el que nos vamos a mover.

2. Atracción de los viajes

Una vez hallados en la Generación tanto el número total de desplazamientos como uno de sus extremos, es ahora cuando vamos a hallar el extremo desconocido del viaje y para ello el factor principal que determina la atracción, va a ser el uso del suelo en el destino.

La variable que mejor indica el poder de atracción de una zona y que sirve de indicar va a ser el número de puestos de trabajo existentes. De esta forma, se van a distinguir dos tipos de viaje:



- ✓ *Viajes del domicilio al trabajo.* En este caso cada puesto de trabajo atrae 2 viajes diarios, uno de ida y otro de vuelta, aunque en la práctica atrae 1,5 viajes, ya que hay que considerar los desplazamientos a pie, faltas al trabajo, etc.
- ✓ *Viajes con objeto distinto al del trabajo.* Van a considerarse un gran número de variables como: número de habitantes, puestos de trabajo, viviendas, superficie edificada, hoteles, etc. Además, va a ser también conveniente distinguir diferentes zonas dentro del ámbito de estudio.

3. Distribución de viajes

Finalmente se va a estudiar cómo se distribuyen estos viajes entre los diferentes pares de zonas. El estudio se podrá realizar desde dos puntos de vista diferentes:

- ✓ *Analógico.* Se realizara una extrapolación y un estudio de una situación inicial estudiada comparándolo con la distribución actual de los viajes.
- ✓ *Sintético.* Se basa en el análisis de los procedimientos que existen en lo que se refiere a la forma en que se producen los desplazamientos y se definen modelos matemáticos similares a los de la generación.

Los analógicos van a ser de más fácil aplicación que los sintéticos, pero no son aplicables en el caso de cambios o nuevas planificaciones de vías ya que solo van a ser aceptables a corto plazo, mientras los sintéticos por contra tienen su mejor aplicación a largo plazo.

- **Asignación de tráfico**

Esta asignación del tráfico se va a encargar de valorar las intensidades de tráfico de una o varias vías en función de sus características físicas y del tráfico potencial que pueda utilizarlas. De esta forma, va a constar 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 red vial concreta.

Del mismo modo los factores que determinan la elección de un itinerario van a ser:

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

A continuación, vamos a ver los métodos, formas y distribución de los desplazamientos de esta Asignación de Tráfico.

1. Métodos de asignación

Estos métodos siempre tienen que tener en cuenta los tiempos empleados por uno u otro camino y en algunos de estos, todos los factores se reducen a costes. Estos métodos van a ser:

- ✓ 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

2. Formas de realizar una asignación de tráfico

Para realizar una asignación de tráfico va a ser conveniente seguir el siguiente orden:

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

b) *Tabla de origen y destino.* Es conveniente distinguir entre el tráfico pesado y el tráfico de coches ya que las condiciones de asignación serán distintas.

c) *Definición de las redes viarias que unen los centros de zonas.* Cada zona con su correspondiente centro se va a unir con los demás mediante el sistema viario existente que va a constituir la 'Red 1' y el nuevo sistema que se trata de estudiar que va a constituir la 'Red 2'.

d) *Cálculo de los costes o de los tiempos de recorrido.* Para cada tramo de las redes 1 y 2 se va a deber definir el coste que supone recorrerlo en unas condiciones de circulación dadas. Este cálculo va a ser conveniente realizarlo para varios niveles de tráfico.

e) *Asignación propiamente dicha.* Va a ser conveniente calcular las intensidades de tráfico y comparar los resultados con los ya obtenidos. Después se asignarán a las redes 1 y 2 cada uno de los movimientos de la tabla de origen y destino y una vez realizada la asignación a través los métodos mencionados, se



debe comprobar las intensidades de tráfico en cada tramo para la totalidad de movimientos.

Por último, habrá que tener en cuenta que para realizar todas estas operaciones matemáticas va a ser necesario el uso del ordenador, ya que mediante su utilización es posible resolver modelos más complejos.

3. Distribución de desplazamientos por medios de transporte

Según los factores que intervienen en esta asignación de tráfico se van a seleccionar unos u otros medios de transporte.

3.2.4.- ENCUESTAS PARA EL ESTUDIO DE LA DEMANDA

Las encuestas van a ser empleadas generalmente para profundizar en el estudio real de la demanda del transporte, analizando para ello tanto sus características y objetivos como su relación con otros factores. Estas se van a basar en el hecho de que los viajes realizados por un determinado grupo de personas se van a repetir día a día con gran semejanza.

De esta forma, las encuestas van a tratar de identificar la forma en que una muestra característica de un cierto grupo de personas realiza sus viajes cotidianos durante un día típico. No se trata por tanto de conocer opiniones ni de realizar posibles preguntas, sino de recoger, clasificar y analizar adecuadamente los hechos confirmados de los cuales se deducen los resultados de la encuesta.

A continuación, vamos a ver los factores que se deberán tener en cuenta para el desarrollo de una encuesta, así como los tipos de encuestas más importantes.

- **Factores importantes en el desarrollo de una encuesta**

- a) Determinación del tamaño de muestra

El tamaño de la muestra va a depender principalmente del proceso y la forma que se vaya a seguir para elaborar los datos y realizar el correspondiente estudio.

Por otro lado, en el tamaño de la muestra no solo va a interesar el número de encuestas, sino también la forma en cómo se realizan, ya que estas se van a deber de ajustar lo máximo posible al objeto a estudiar.

Así, si se trata de buscar el tamaño de una muestra de la cual se quiere conocer como es un cierto movimiento, la fórmula siguiente nos va a permitir conocer los intervalos que determinan la precisión de estos resultados:

$$Ip_1 = \frac{N_1}{N} \pm M \sqrt{\frac{P_1 * P_2}{N} * \left(1 - \frac{N}{S}\right)} \quad \text{con} \quad P_1 = \frac{N_1}{N} \quad P_2 = \frac{N - N_1}{N}$$

Dónde:

Ip_1 = Intervalo de confianza con el que se puede definir 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 que corresponde a un cierto coeficiente de confianza en una distribución normal, y que se encuentra expresado en unidades de desviación típica (Va a existir una tabla para hallar este factor)

Hay que tener en cuenta que otra forma de hallar el tamaño de una muestra va a ser a través de la experiencia.

b) División en zonas del área de estudio

Vamos a poder clasificar las zonas de la encuesta en función del área de estudio. Así tendremos:

- ✓ Zonas internas, que van a servir para analizar los movimientos que se producen dentro del área.
- ✓ Zonas externas, que sirven para situar uno de los extremos de los viajes que salen al exterior.

c) Codificación y tratamiento por ordenador

Los diferentes tipos de encuestas van a deber de ser codificadas de forma precisa, teniendo en cuenta para ello tanto el objeto como el objetivo del estudio.

• **Tipos de encuestas**

Se debe tener en cuenta que las encuestas van a poder ser: Internas, en cuyo caso estudian el tráfico dentro de los límites de un área urbana o Externas, que por el contrario se encargan de estudiar la interconexión de un núcleo con su entorno exterior, analizando para ello el tráfico que lo rodea.

Según la forma en cómo se realicen las encuestas, vamos a tener:



- ✓ Encuestas que se realizan en la vía pública, las cuales se van a realizar parando a una parte de los vehículos que circulan por una calle o carretera concreta. En general este tipo de encuestas van a estar orientadas a obtener información sobre los viajes de vehículos.
- ✓ Encuestas a domicilio, que se van a desarrollar mediante entrevistas con varias personas. Estas encuestas estarán orientadas a obtener información de viajes de personas, indistintamente del medio de transporte empleado para ello.
- ✓ Encuestas bajo formularios, que van a estar orientadas tanto para viajes de vehículos como personas. Estas encuestas se van a realizar a través de impresos entregadas directamente o por correspondencia en su defecto.
- ✓ Encuestas por entrevista con fines específicos, las cuales van a ser empleadas principalmente para realizar estudios de estacionamiento o para determinar índices de atracción de viajes.

A continuación, vemos con más detalle los tipos de encuestas más empleadas.

- **Encuestas origen-destino en la vía pública**

Su objetivo principal va a ser conocer el origen y destino de los viajes de los vehículos, así como algunas características de sus desplazamientos, como objetos, longitudes de los viajes u ocupación de los vehículos. Dentro de estas encuestas van a existir diferentes tipos:

- ✓ Las empleadas para estudiar el tráfico entre la ciudad y el exterior, en cuyo caso las estaciones de control se situaran alrededor del área urbana.
- ✓ Las destinadas a conocer las características de los viajes que cruzan la ciudad, y que se realizar utilizando una pantalla a través de la zona en estudio.
- ✓ Las dedicadas a estudiar los desplazamientos de los vehículos que efectúan trayectos largos, contando para ello con estaciones de control que abarquen extensas superficies.

Este tipo de encuestas van a servir para estudiar tanto puntos concretos como cruces difíciles que no pueden estudiarse con simples aforos por efectuarse dentro de estos cruces movimientos complejos y difíciles de observar a simple vista.

- **Encuestas origen-destino a domicilio**

Este tipo de encuestas deben recoger toda la información relativa a los viajes realizados por cada miembro de la familia en un día determinado, independientemente del medio de transporte utilizado, y van a presentar las siguientes características:

- ✓ Se trata un sistema de información costoso, pero que aporta datos completos y fiables.
- ✓ Se puede obtener información de los viajes no generados, aportando para ello información complementaria, como encuestas de aparcamiento o de grandes centros de atracción de viajes.
- ✓ Es esencial 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 está estudiando.

En definitiva el objetivo final de estas encuestas va a ser obtener correlaciones entre la demanda de transporte y factores socioeconómicos.

- **Otros tipos de encuestas**

Por último, se debe tener en cuenta que existirán otros tipos de encuestas aunque empleadas en menor medida, como son:

- ✓ Encuestas por tarjetas o correspondencia

Estas encuestas consisten en enviar por correo unos cuestionarios referentes a los componentes que interesa conocer, y que en general hacen referencia a los desplazamientos realizados durante un día.

- ✓ Encuestas a determinados tipos de vehículos

Por ejemplo:

- *Vehículos comerciales*, en cuyo caso los resultados más interesantes suelen ser los que relacionan los viajes con el uso del suelo en el destino.
- *Taxis*, en los que los resultados son interesantes debido a la enorme presencia de estos en el centro de las grandes ciudades.

- ✓ Encuestas de estacionamiento

Finalmente, este tipo de encuestas pretenden conocer la situación en cuanto al estacionamiento que existe en un determinado momento y en una zona concreta.

Van a estar empleadas para encontrar una solución a un problema concreto o para obtener una información que poder aplicar a otro problema actual o futuro, para lo que serán empleados diferentes muestreos.



CAPÍTULO 4

SOFTWARE

AIMSUN



4.1.- INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE AIMSUN

El análisis y la simulación de este proyecto han sido realizados a través del software 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.

Este software presenta un impresionante nivel técnico, cuyo desarrollo se ha basado en más de veinte años de investigación, decenas de publicaciones científicas y los comentarios de los usuarios originados por la realización de cientos de proyectos desde su creación hasta la actualidad. Usuarios en la Administración, Consultorías y Universidades en 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.

De este modo, AIMSUN permite modelar a nivel microscópico una red de transporte, simulando vehículo a vehículo interacciones que puedan suceder en la realidad como adelantamientos, giros conflictivos, formaciones de colas o demás problemas que puedan surgir en las carreteras. También será posible modelar el comportamiento del conductor en cuanto a la selección de rutas antes y durante la simulación a través de distintos algoritmos de elección de ruta basados en el cálculo del coste de las diferentes opciones.

Además, permite simular cualquier evento imprevisible que pueda suceder como accidentes y trabajos en la calzada o modelar operaciones mediante las cuales modifica el comportamiento de los vehículos de la vía mejorando el flujo de tráfico. También permite modelar diferentes tipos de planes de control semafórico tanto fijo como dinámico, que para nuestro modelo será de especial importancia.

Asimismo, nos permite modelar las principales características del transporte público como las líneas, horarios, tiempos de parada o diferentes rutas para cada servicio de transporte.

De esta forma, AIMSUN nos permite gestionar y controlar el tráfico rodado ofreciendo la posibilidad de evaluar y mejorar cualquier combinación de estrategias posible.

A nivel macroscópico es posible ajustar matrices origen-destino que se encuentren obsoletas, localizar detectores de manera óptima o tratar determinadas zonas de la red de manera independiente al resto.

Este software de simulación y análisis de tráfico se utiliza principalmente para la realización de estudios de movilidad o planificación de transporte. Igualmente es una herramienta fundamental en el diseño y mejora de la infraestructura vial, reducción de la congestión de tráfico o diseño de entornos urbanos y no urbanos para vehículos y peatones. Entre sus principales aplicaciones destacan:

- Análisis y evaluación de redes viales: cambios de geometría, aumento de carriles, cruces a desnivel, etc.
- Análisis del impacto de cambios en la calzada: cambio en el sentido de las calles, desvíos, implantación de carril bici, etc.
- Análisis de políticas de control: programación semafórica fija o dinámica, desfase entre semáforos, etc.
- Modelado de transporte público: rutas, horarios, carriles reservados para transporte público, etc.
- Modelado de incidentes viales como accidentes, trabajos en la calzada, etc.

Finalmente, hay que tener cuenta que existen también otros programas con los que poder simular redes de transporte, aunque la mayoría de estos están en desarrollo y pocos de ellos se encuentran comercializados.

4.2.- DESARROLLO DE UN MODELO AIMSUN

Los pasos para desarrollar un modelo en el software AIMSUN serán los siguientes:

- Edición del modelo
- Determinación de los parámetros
- Verificación, calibración y validación del modelo
- Toma y análisis de resultados



A continuación, explicamos cada uno de estos puntos en detalle.

4.2.1.- EDICION DE UN MODELO AIMSUN

El primer paso que se deberá llevar a cabo para la edición de un modelo en AIMSUN es determinar la zona de estudio y crear la red viaria correspondiente a partir de planos o imágenes. Sobre esta, se representan las distintas carreteras, cruces o rotondas a través de segmentos e intersecciones. A su vez, se representaran los pasos de peatones, señales viarias y todos los elementos geométricos de los que conste la red.

Una vez representada la geometría, se determina la demanda de tráfico, el plan de control semafórico y el plan de transporte público. Por último, es posible representar los peatones.

De este modo, los pasos fundamentales para la edición de un modelo son:

- ✓ Determinación de la zona de estudio y el intervalo de tiempo a estudiar.
- ✓ Importación de base cartográfica (generalmente en formato CAD).
- ✓ Construcción de la geometría (carreteras, cruces, rotondas y demás elementos geométricos de la red a estudiar).
- ✓ Modelado de demanda de tráfico, plan de control semafórico y plan de transporte público.
- ✓ Modelado de peatones.

4.2.1.1.- ZONA E INTERVALO DE TIEMPO DE ESTUDIO

La zona de estudio elegida se seleccionara en función de los objetivos del proyecto, por lo que éstos deben estar bien definidos previamente. Hay que tener en cuenta que la zona de estudio deberá ser suficiente amplia para englobar todos los factores que puedan afectar a las conclusiones del estudio, aunque sin excedernos en factores innecesario. Por ejemplo, si se pretende estudiar un problema en una determinada intersección no se puede estudiar la intersección problemática aislada y trasladar el problema a la intersección siguiente de la red, sino que se debe coger una zona de estudio más amplia que englobe ambas intersecciones. Un factor importante a tener en cuenta será también la formación de colas de vehículos que salen de la zona modelada.

En cuanto al intervalo de tiempo a estudiar de la red también se deberán tener en cuenta los objetivos del estudio, ya que este variara en función de cuales sean estos objetivos. No será igual un estudio sobre aglomeraciones de vehículos, para lo que nos interesaran horas punta, que un estudio sobre la resistencia de ciertos elementos como un puente, para lo que será necesaria un estudio de todo un día.

4.2.1.2.- BASE CARTOGRÁFICA

Lo más normal para el modelado de redes en AIMSUN es trabajar a partir de planos en formato AutoCAD, aunque también permite importar otros tipos de formatos como imágenes .jpg, archivos de dibujo DGN o archivos de mapas entre otros.

Dentro de AIMSUN, se trabaja con un sistema de capas cuyo objetivo es organizar de manera sencilla todos los elementos de los que conste el proyecto. De esta forma el plano o imagen importada de la zona de estudio se sitúa en una capa, mientras que la red creada por el usuario se sitúa en otra; esta última capa siempre existe y su nombre por defecto es 'red'.

A su vez, dentro de cada capa se podrán crear subcapas cuyo estilo se modificara de forma independiente. Por ejemplo, los cambios de color o grosores de línea.

Estas subcapas se utilizaran para organizar de una forma sencilla la red, por ejemplo distinguir tramos de vías con diferentes alturas, mantener una zona de la red visible o invisible según convenga, o por otros motivos como por ejemplo en una ciudad grande tener cada barrio representado en una capa por razones de organización.

4.2.1.3.- MODELADO DE LA GEOMETRÍA

La geometría de la red se podrá representar mediante:

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

A continuación, detallamos cada uno de ellos detenidamente.

➤ **Secciones:**

Las secciones hacen referencia a segmentos de carretera mediante los cuales se modela toda la red viaria a semejanza de la zona de estudio elegida, a través de vértices rectos o curvos modificables. Mediante las secciones podremos incluir carriles adicionales o líneas continuas, modificar el número y el ancho de los carriles o representar los pasos de peatones.

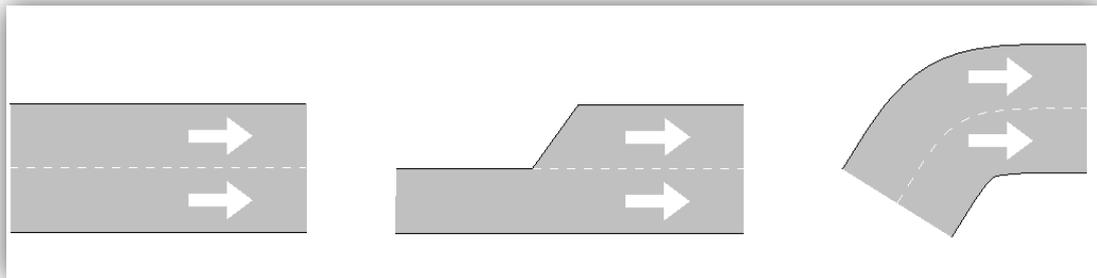


Figura 4.1: Diferentes tipos de secciones

➤ **Intersecciones:**

Las secciones se unen mediante intersecciones para representar los cruces denominados ‘nodos’ y las rotondas de la red que simplemente son una sucesión de secciones unidas entre ellas mediante nodos.

Dentro de cada nodo, se indican las posibilidades de giro de los carriles de entrada con los carriles de salida. Estos giros se pueden modificar o curvar en base a la situación real de nuevo mediante vértices rectos o curvos modificables

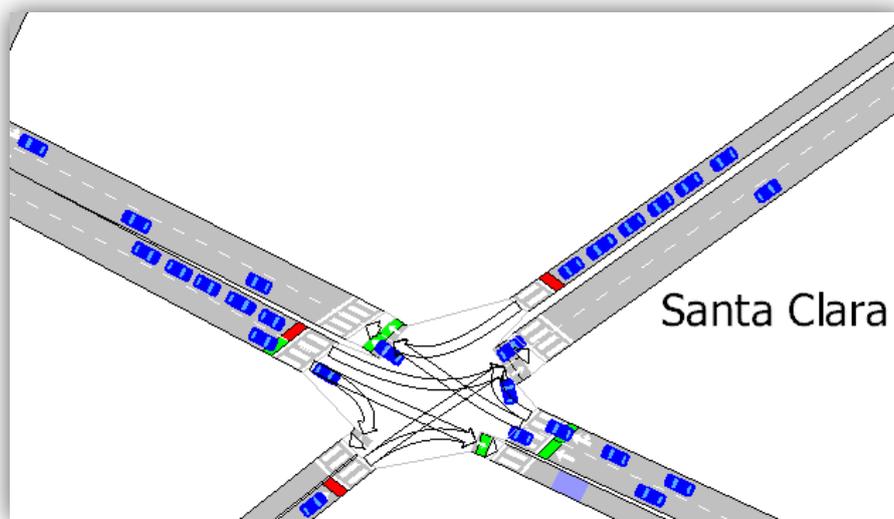


Figura 4.2: Ejemplo Intersección Rondilla Santa Teresa-Santa Clara

Por último, hay que destacar que en el cuadro de diálogo de cada nodo se podrán incluir las señales de ceda el paso y stop, así como los grupos semafóricos correspondientes con los que se creara el plan de control semafórico.

➤ ***Tipos de vía:***

Una vez representada la geometría de la red, se asignara a las diferentes secciones un tipo de vía. Estas se diferencian principalmente en base a dos parámetros:

- La capacidad de la vía. Esta se define como el máximo volumen de vehículos por hora que pueden circular de forma razonable teniendo en cuenta las características geométricas, las condiciones del tráfico o las condiciones climáticas.

Se cuantifica en **PCUs/h** cuyas siglas hacen referencia a Passenger Car Unit (unidad de automóviles de pasajeros). Esta unidad toma un valor de 1 para coches 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 tráilers.

- La velocidad de la sección. Indica la velocidad a la que circularán los vehículos siempre que las circunstancias del tráfico lo permitan.

Hay que tener en cuenta, que si se pretende representar la realidad, se deberá definir la velocidad real de los vehículos y no la que marca la ley.

4.2.1.4.- MODELADO DE LA DEMANDA DE TRÁFICO

- **Modelado de vehículos**

Por defecto, existen una serie de vehículos como coches y camiones cuyos parámetros van a estar determinados en función a una distribución normal, de tal forma que cada vehículo que se representa en el modelo se diferencia del resto.

De este modo, se pueden tomar estos vehículos predeterminados, modificar sus parámetros o crear otros nuevos.

Cada parámetro de los vehículos vendrá definido por una media, unos valores máximos y mínimos y una desviación. Esto parámetros serán:

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



La delimitación de estos parámetros va a ser fundamental en el proceso de calibración y validación del modelo.

- **Modelado de la demanda de tráfico**

Hay que tener en cuenta que los datos de demanda de tráfico se deberán aproximar ya que obtenerlos de manera exacta es prácticamente imposible. De los datos de partida de los que se disponga y el proceso de cálculo utilizado dependerá la calidad de esta aproximación.

En nuestro caso la demanda de tráfico de nuestro estudio se ha obtenido a partir de datos de espiras proporcionados por el Ayuntamiento de Valladolid junto con datos de aforos in situ de proyectos anteriores de los que se disponía en la zona de estudio seleccionada.

Existen también otros sistemas para redes más grandes como planes de encuestas realizadas en la zona de estudio o sistemas más avanzados que utilizan cámaras para seguir el camino que realizan los vehículos y obtener de este modo datos sobre su demanda.

La demanda de tráfico se va a poder representar mediante estados de tráfico o matrices O/D (origen-destino).

- **Estados de tráfico:**

Un estado de tráfico vendrá definido tanto por el flujo de vehículos entrante a la red como del porcentaje que se desvían en cada cruce de red. De esta forma, podemos ver un ejemplo en la siguiente figura:

Sin embargo, utilizando estados de tráfico los vehículos eligen su camino respetando los porcentajes definidos aleatoriamente en cada nodo. Por ejemplo, en una rotonda un determinado vehículo puede tomar siempre la opción de seguir por la rotonda sin tomar ninguna salida y dar varias vueltas o quedar incluso atrapado en la red, si aleatoriamente coincide de esta forma.

Por tanto, modelando mediante matrices O/D los vehículos se comportan de forma similar a como ocurre en la realidad, cosa que no sucede con los estados de tráfico, por lo que éstos últimos solo se aconseja utilizar en redes muy pequeñas o redes donde la demanda de tráfico sea muy conocida.

4.2.1.5.- PLAN DE CONTROL SEMAFÓRICO

En primer lugar, se deberán crear los grupos semafóricos en cada una de las intersecciones donde se quiere crear el plan, editando para ello los nodos correspondientes y creando de esta forma el plan de control semafórico de la red.

En definitiva, un grupo semafórico es un conjunto de giros que se ponen en rojo, ámbar y verde. Cada grupo semafórico podrá ser utilizado para representar dos o más semáforos iguales de secciones distintas, aunque lo más normal es que cada grupo semafórico represente un único semáforo.

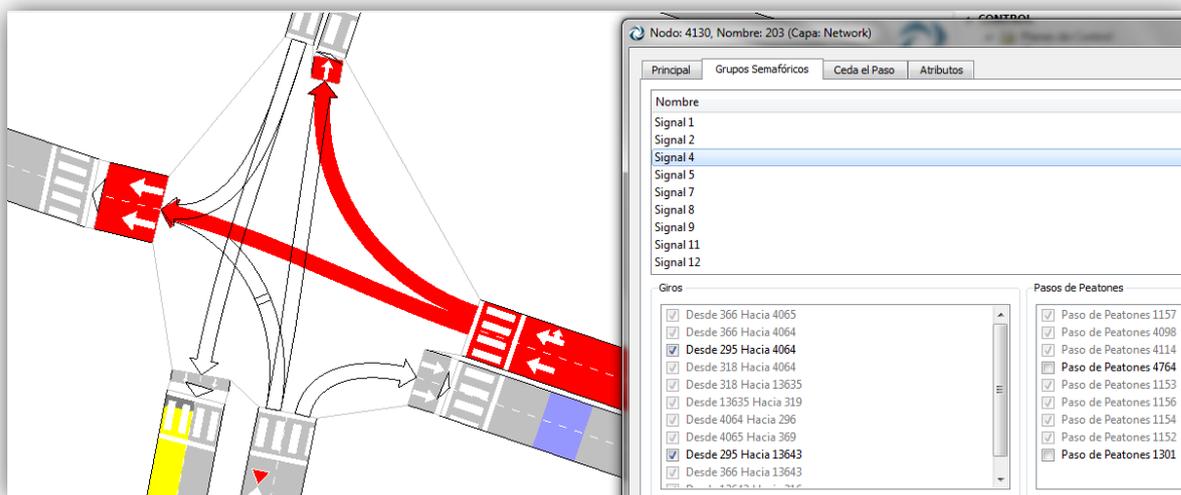


Figura 4.4: Ejemplo Grupo semafórico. Intersección 203

Una vez creado el grupo semafórico, se creara el plan de control semafórico en donde se asigna a cada grupo su correspondiente tiempo de verde, ámbar y rojo, utilizando para ello el modo 'grupo' de AIMSUN.

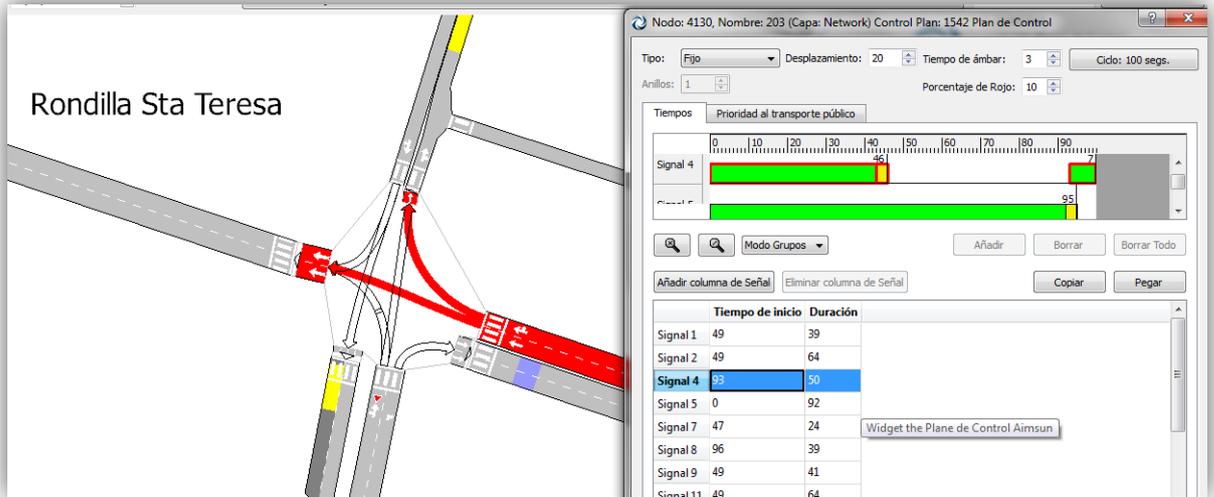


Figura 4.5: Ejemplo Ciclo semafórico. Intersección 203

Por último, se deberán asignar los tiempos de ámbar, denominado en el software como 'destello en verde', utilizando para ello el modo 'fase' de AIMSUN.

Con este modo, podremos también a su vez observar que semáforos están abiertos en cada una de las fases del plan de control creado.

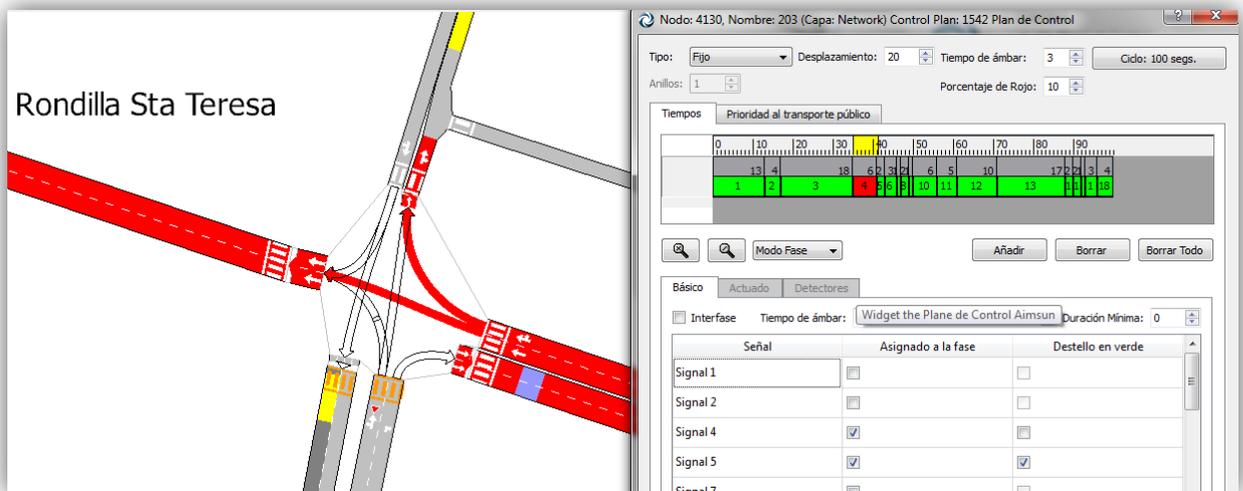


Figura 4.6: Ejemplo Destello verde. Intersección 203

4.2.1.6.- PLAN DE TRANSPORTE PÚBLICO

Para crear un plan de transporte público, lo primero será crear las paradas de autobús correspondiente de la red. Van a existir dos tipos de paradas:

- ✓ Normal (se sitúan dentro de la calzada)
- ✓ Segregada (se sitúan de la calzada)

Después de crear las paradas, se deberán definir en la red las líneas de transporte público existentes en la zona de estudio, incluyendo: secciones que las forman, paradas, frecuencia y tiempo que se recoge a los viajeros, etc. El software nos permitirá también crear carriles de uso exclusivo para el transporte público.

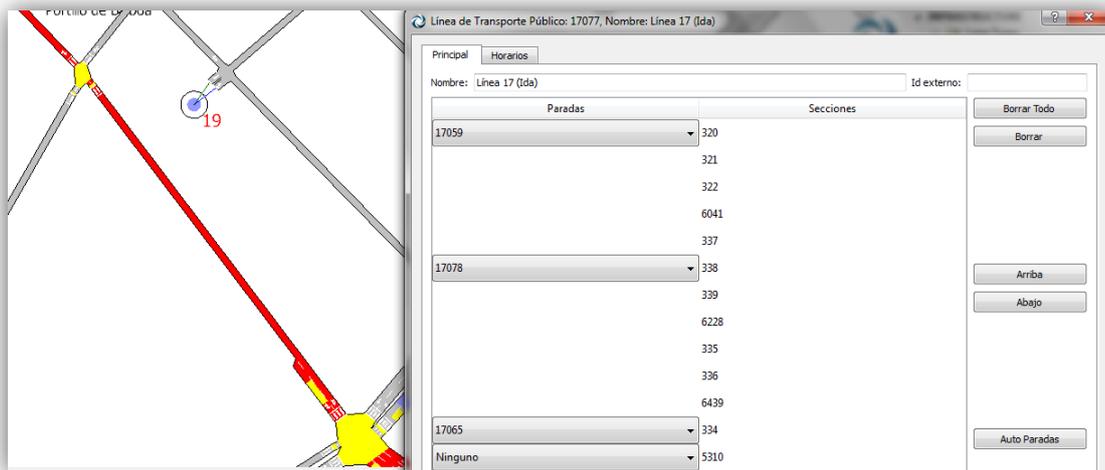


Figura 4.7: Ejemplo Línea de transporte público. Línea 17-I da

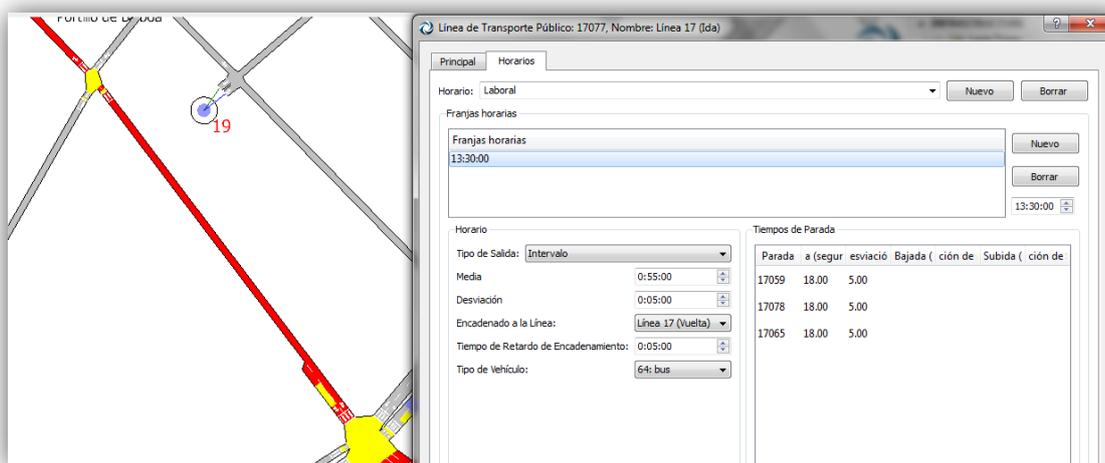


Figura 4.8: Características Línea de transporte público. Línea 17-I da

Por último, se agruparan todas las líneas de transporte público creadas en la red que conformaran el plan de transporte público.

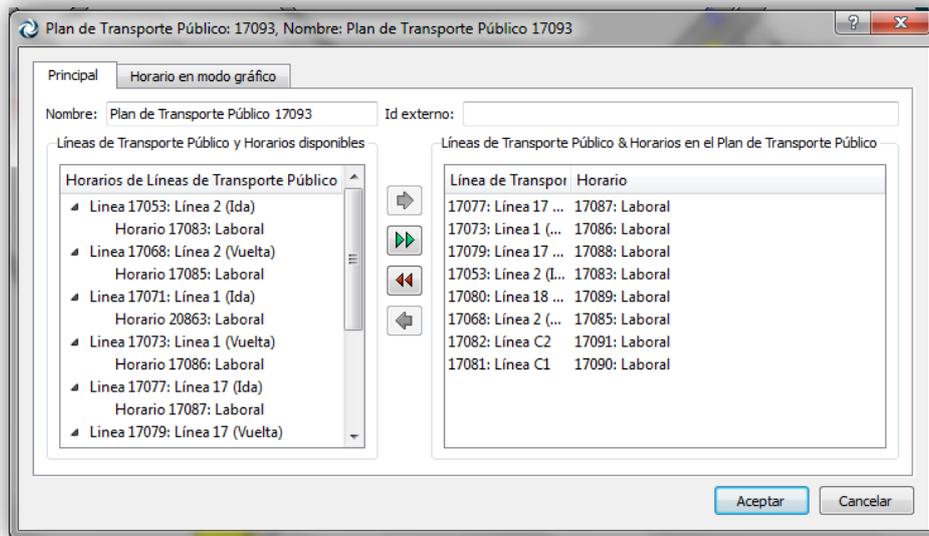


Figura 4.9: Plan de transporte publico

4.2.1.7.- REPRESENTACION DE PEATONES

La representación de peatones se podrá realizar de dos formas: directamente mediante AIMSUN o a través de una extensión del software, denominada **LEGION**, para la cual es necesaria una licencia adicional.

LEGION es por tanto un software dedicado únicamente a la simulación de peatones y que se encuentra integrado dentro de AIMSUN como una extensión del programa, de forma que tanto el tráfico de vehículos como el de peatones se simularan dentro del mismo software.

- **Representación de peatones mediante AIMSUN:**

La representación directa a través de AIMSUN consistirá en representar peatones de forma análoga a la representación de vehículos.

Para ello, inicialmente se crearan los pasos de peatones y se definirá la red a través de la cual solo se permitirá el tránsito de peatones. Esta red de forma análoga a una red de vehículos también deberá tener su matriz O/D o plan de control semafórico entre otros. La diferencia respecto a la red de vehículos estará en el tipo de vía y el tipo de vehículos que en este caso serán 'área de peatones' y 'peatón' respectivamente.

- **Representación de peatones mediante LEGION:**

En este caso, inicialmente se creara mediante un polígono una zona peatonal por donde circularan los peatones. Esta zona peatonal se situará

por defecto en una nueva capa denominada 'Capa Legion', donde deberemos situar mediante subcapas todos los elementos que hagan referencia a los peatones.

Una vez creado el polígono para la representación de los peatones y al igual que si los representáramos directamente a través de AIMSUN, en primer lugar se representarían los pasos de peatones en la red. Después, se definirán dentro de la zona peatonal las líneas que no pueden ser cruzadas por los peatones y que denominaremos obstáculos de peatones. Estos obstáculos se podrán definir directamente desde el plano de AutoCAD, desde el área peatonal o de forma manual creando obstáculos donde se desee. Un ejemplo de estos obstáculos se creará entre los límites de los pasos de peatones para que estos no se salgan de la zona destinada al cruce de peatones.

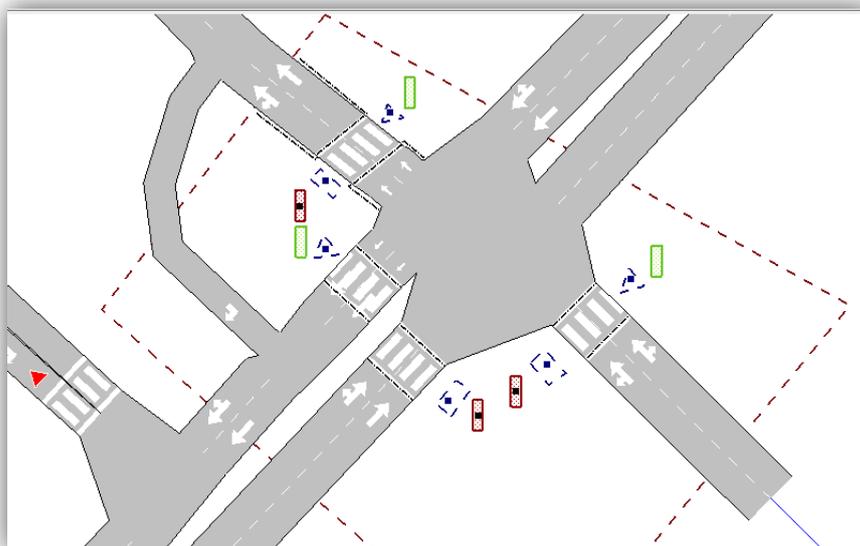


Figura 4.10: Ejemplo de representación de peatones mediante LEGION

A continuación y de forma análoga a los centroides de los vehículos, se crean entradas y salidas en la red que serán el origen y el destino de los peatones.

Finalmente, se crean las matrices y rutas O/D utilizando tanto los nodos de decisión como las entradas y salidas creadas anteriormente.

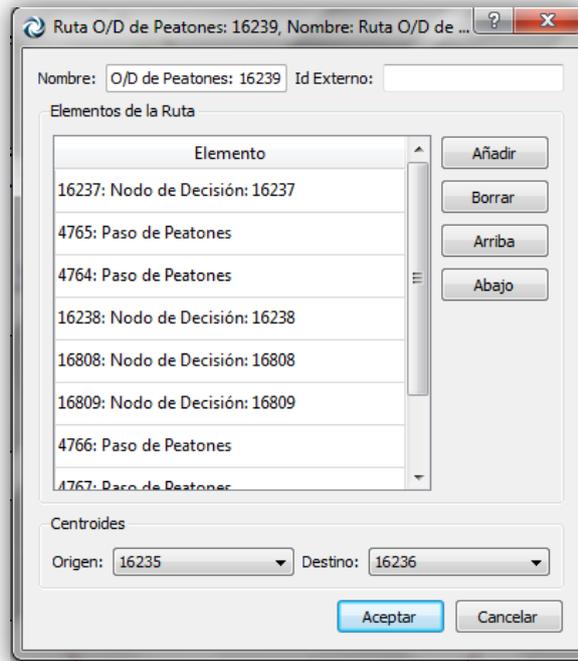


Figura 4.11: Ejemplo Ruta O/D de peatones

Hay que tener en cuenta por último que utilizando las herramientas LEGION se obtendrá una representación mucho más real, por lo que se aconseja utilizar especialmente en redes que representen puntos céntricos de una ciudad o en zonas donde la circulación de peatones sea especialmente abundante.

4.2.2.- TIPOS DE MODELADO

Simular va a hacer referencia al diseño y desarrollo a través de un software del modelo de un sistema, con el objetivo de entender el comportamiento real del sistema y evaluar diferentes estrategias con las que pueda operar el sistema con la finalidad de obtener mejores resultados y por tanto un mejor comportamiento.

Las funciones principales del modelo de simulación de un sistema van a ser:

- ✓ Descubrir su comportamiento
- ✓ Predecir el comportamiento futuro del sistema, evaluando para ello los efectos que se producirían en él mediante los cambios introducidos.

En nuestro caso, el sistema va a ser el tráfico de vehículos en la zona de estudio. Mediante el desarrollo del modelo evaluaremos el comportamiento

vehicular, analizando los problemas existentes con el objetivo de aportar soluciones y predecir cómo se comportarían estos cambios en el sistema.

En cuanto a los tipos de modelado existen tres:

- Microscópico
- Macroscópico
- Mesoscópico

En este estudio, vamos a exponer fundamentalmente tanto las características como parámetros y herramientas de los modelados microscópico y macroscópico, ya que el modelado mesoscópico se encuentra aún en vías de desarrollo.

- **Modelado microscópico o asignación dinámica de tráfico:**

El modelado microscópico va a trabajar de forma dinámica. Se basa en el movimiento individual de los vehículos, y el movimiento de éstos va a depender de su comportamiento y el de los otros vehículos que circulan por la red.

Cuando se asignen los centroides a cada vehículo mediante la matriz O/D, éstos van partir desde su origen hacia su destino siguiendo el camino que mejor les convenga según las condiciones de tráfico hasta alcanzar su destino. Estos de igual manera a como ocurre en la realidad variarían su ruta si encuentran una mejor, es decir, una ruta de menor coste. El coste por sección, en segundos, se va a determinar de la siguiente manera:

$$Coste = Tv + Tv Y \left(1 - \frac{Aj}{Amax} \right) + K Cu$$

Esta ecuación se divide en tres términos:

- Tiempo de viaje: Tv (en segundos)
- Atractividad: $Tv Y \left(1 - \frac{Aj}{Amax} \right)$ dónde:

Tv = Tiempo de viaje

Y = Peso de atractividad (constante)

Aj = Capacidad de la sección a medir (Pcu/h)

$Amax$ = Capacidad máxima (Pcu/h)

- Coste de usuario: $K C_u$ donde:

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

C_u = Coste definido por el usuario (constante)

De este modo, el coste de cada sección va a depender: del tiempo de viaje, de la capacidad o atractividad de la vía y del coste de usuario, que hace referencia a los casos en los que el usuario decida penalizar unas vías respecto a otras.

Se debe tener en cuenta que este tipo de modelado es el más común ya que su dinamismo representa mejor la realidad.

- **Modelado macroscópico o asignación estática de tráfico**

Este tipo de modelado va a trabajar de forma estática. En primer lugar calcula según la matriz O/D asignada, el coste de una serie de rutas de los vehículos en flujo libre. Después realiza iteraciones internamente y vuelve a calcular el coste con unas rutas diferentes, hasta conseguir las rutas que tengan como resultado el menor coste total de toda la red.

Este coste de los caminos hace referencia al tiempo que tarda cada vehículo desde que sale desde su centroide origen hasta que alcanza su centroide destino. Para calcular este coste, utiliza en cada sección y giro del modelo una de las funciones incluidas en el software, en este caso la función de coste de la vía o función de demora (VDF).

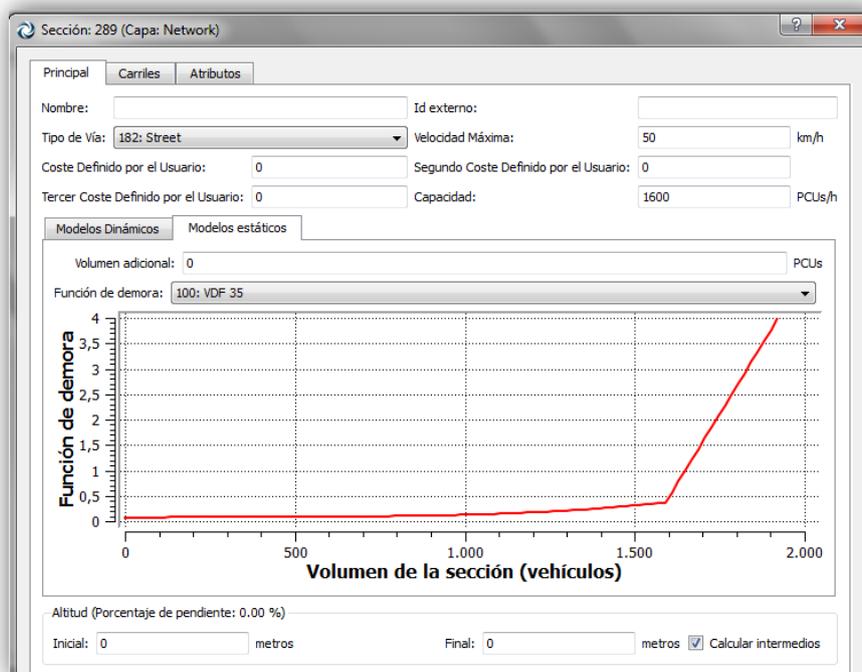


Figura 4.12: Función de demora AIMSUN. Sección 289



En esta figura podemos observar como el valor de la función de demora es bajo hasta que el volumen de vehículos alcanza la capacidad máxima de la vía. Esto quiere decir, que el software interpreta que los vehículos que circulan por esa sección lo hacen de manera bastante rápida hasta llegar a la capacidad máxima, y cuando se alcanza ésta, el valor de la función de demora crece de manera exponencial como se ve.

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

- **Diferencias entre modelado microscópico y macroscópico**

- ✓ Vehículos

En un modelo microscópico se puede observar el recorrido de los vehículos durante la simulación, a diferencia del modelo macroscópico donde no es posible. De esta forma, se pueden observar los problemas que ocurran en la red y por tanto analizar las características de la red más detenidamente, obteniendo con ello unos resultados más fiables y de mayor calidad.

- ✓ Plan de control semafórico

En un modelo macroscópico no se tienen en cuenta los semáforos ya que no existen, a diferencia del modelo microscópico donde sí se van a tener en cuenta.

En estos casos una forma de simular el efecto de los semáforos consistirá en penalizar a través de la capacidad las diferentes secciones donde se encuentren situados, de manera que cuando el software calcule internamente el coste de estas rutas, estas tendrán un coste mayor. Este dato de capacidad no se puede calcular de forma exacta, por lo que se deberá aproximar

- ✓ Tamaño de la red

A través de un modelo microscópico se van a poder simular redes de prácticamente cualquier tamaño, pudiendo llegar a simular hasta ciudades enteras. Con un modelo macroscópico por su parte se podrán llegar a analizar redes de mayor tamaño aun.

Para analizar estas redes tan grande es recomendable analizar la red general a través del modelado macroscópico y las áreas de mayor interés utilizando el modelado microscópico.

✓ Calibración

Debido a que en un modelo microscópico se pueden ver durante la simulación el recorrido de los vehículos y por tanto el funcionamiento de la red, la calibración de este tipo de modelado será más sencilla.

En resumen, teniendo en cuenta todos los aspectos mencionados se puede concluir que las características del tráfico real se representaran con mayor precisión a través de un modelo microscópico. El modelo macroscópico por su parte tendrá otras utilidades que se explicaran más adelante.

4.2.2.1.- MODELADO MICROSCOPICO O ASIGNACIÓN DINÁMICA DE TRÁFICO.

En primer lugar para simular una red utilizando el modelo microscópico se deberán definir: un escenario, un experimento y varias replicaciones.

✓ Escenario:

En el escenario hay que incluir: la demanda de tráfico, el plan de control semafórico y el plan de transporte público, es decir, los tres elementos fundamentales que se han definido en la edición previa del modelo.

Dentro de la simulación se pueden crear más de un escenario, lo que será útil para cambiar la demanda de tráfico, variar los ciclos semafóricos o realizar modificaciones en la red, y analizar con ello los diferentes comportamientos de la misma red.

Dentro del escenario también se permite validar la red a través de conjuntos de datos reales útiles.

✓ Experimento:

Se pueden crear uno o varios experimentos dentro del escenario. El experimento determinara en gran medida el comportamiento de los vehículos en la red, a través de la calibración de multitud de parámetros.

✓ Replicaciones y media:

Las replicaciones se crean dentro del experimento y desde estas se va a ejecutar la simulación de la red.

Las replicaciones van a simular el comportamiento de los vehículos de forma diferente para que nuestra red represente la realidad de un periodo de tiempo de varios días, ya que por ejemplo en una cierta replicación puede existir un atasco a una hora en una determinada vía y si embargo que este atasco no



exista en otra replicación, de igual forma que ocurre en el tráfico real. De este modo, es recomendable crear varias replicaciones que permitan representar diferentes posibilidades del comportamiento real de los vehículos en la red.

Después de crear las replicaciones se crea la media, la cual va a calcular el valor medio de todas las características analizadas en la simulación.

Hay que tener en cuenta por tanto que todos los resultados que se obtengan de cualquier modelo, no se deben obtener únicamente de una de estas replicaciones sino de la media de todas las replicaciones.

- **Resultados del simulador microscópico**

De la simulación del modelo microscópico se van a poder extraer dos tipos de resultados:

- Estadísticas a nivel global o de toda la red.
- Estadísticas locales, es decir, estadísticas que hacen referencia a los vehículos, secciones, giros, centroides, etc.

En función del elemento considerado de la red, se van a poder analizar distintas variables, como:

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

El software también nos da la posibilidad de incluir **detectores** en la red, que van a ser capaces de distinguir entre los diferentes tipos de vehículos y proporcionar con ello los siguientes resultados:

- ✓ Contajes, es decir, el número de vehículos que pasan por el detector
- ✓ Velocidad, es decir, la media de la velocidad de los vehículos que pasan por el detector
- ✓ Densidad (Veh/km) mediante medida de contajes y velocidad

- ✓ Progreso, es decir, el intervalo de tiempo entre vehículos
- ✓ Ocupación, es decir, el porcentaje de tiempo en el que el detector detecta presencia

Algunas de estas funciones que realizan los detectores en la simulación son realizadas en vías reales por elementos denominados **espiras**, colocados de forma subterránea y que van a detectar el paso o no de vehículos por las vías de la red.

La principal ventaja de estas espiras es que su instalación subterránea pasa desapercibida para los usuarios, lo que las hace ideales para estaciones permanentes de aforo, aunque su instalación requiera de una obra de instalación.

- **Visualización de resultados:**

Los resultados de la simulación de la red van a poder ser visualizados de forma dinámica durante la simulación o a través de tablas y gráficas una vez acabada ésta.

- ***Datos de vehículos:***

- Atributos estáticos:

El software nos permite observar durante la simulación los atributos estáticos de un vehículo en concreto, como se puede ver en la siguiente figura:

Atributo	Valor	Unidades
Id Aimsun	512	
Tipo de Vehículo	car	
Reenrutado	No	
Seguido	No	
Equipado	No	
Aceptación de guiado	71.1304	%
Centroide de Origen	16913: Zona 7	
Centroide de Destino	16912: Zona 6	
Camino	13:50:00 (1)	hh:mm:ss
Longitud	4.51741	metros
Ancho	2	metros
Máxima Aceleración Deseada	3.17	m/s ²
Deceleración Deseada	-4.44715	m/s ²
Máxima Deceleración Deseada	-5.35037	m/s ²
Velocidad Media Deseada	95.0497	km/h
Aceptación del Límite de Velocidad.	1.04953	
Distancia Mínima Entre Vehículos	0.790372	metros
Tiempo máximo de ceda el paso	9.38734	
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	No	
Mínimo intervalo de tiempo entre dos vehículos	0	Segundos
Factor de Sensibilidad	1	

Figura 4.13: Ejemplo Atributos estáticos de un vehículo durante la simulación de la red

Hay que tener en cuenta que los valores de estos atributos se van a encontrar limitados por los valores dados en la definición del vehículo.

- Atributos dinámicos:

En esta pestaña se indican: las distintas velocidades del vehículo, su posición, los giros perdidos, es decir, los giros que debido a las condiciones de tráfico o una mala representación de la geometría de la red el vehículo no ha podido tomar, y otros datos como la distancia viajada, su velocidad media, el número de paradas o el tiempo de parada.

Hay que tener en cuenta que los valores de estas variables van a corresponder al instante en que se realice la toma de datos del vehículo. En la siguiente figura podemos ver estos atributos:

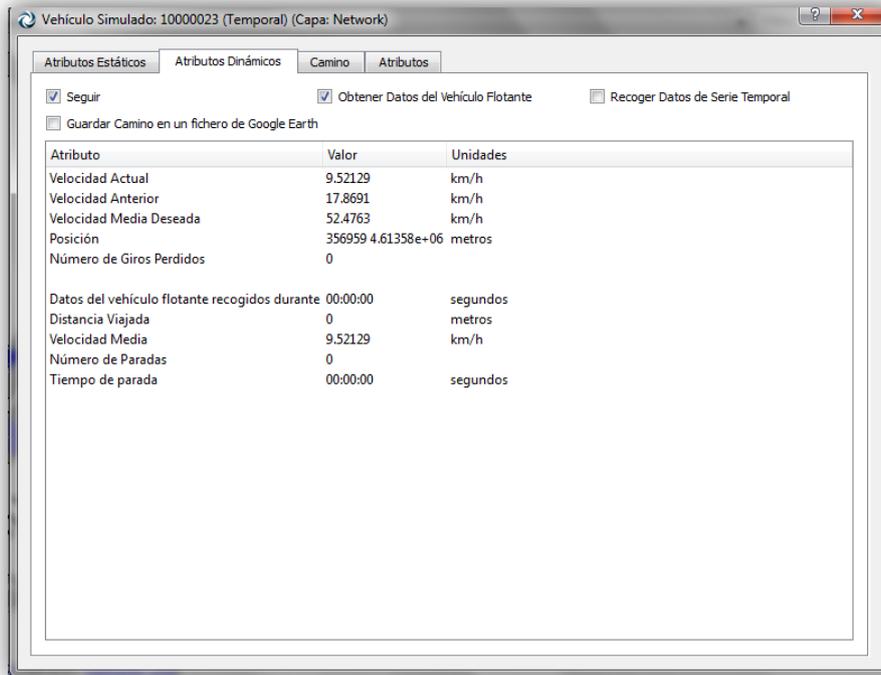


Figura 4.14: Ejemplo Atributos dinámicos de un vehículo durante la simulación de la red

- Camino:

Durante la simulación el software permite visualizar el camino que sigue el vehículo. Este camino puede ser: el camino inicial, es decir, todo el camino que sigue el vehículo desde su origen hasta su destino o el camino actual, a través de las secciones que ira tomando durante su recorrido.

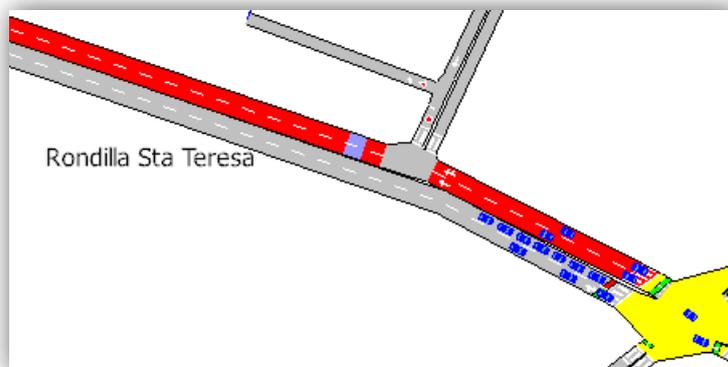


Figura 4.15: Ejemplo del camino de un vehículo durante la simulación de la red

- Serie temporal:

Finalmente también se podrán visualizar series temporales de datos como la distancia recorrida o la velocidad y aceleración del vehículo.

Como podemos ver en la siguiente figura los valores de esta gráfica se van a ir actualizando según avanza la simulación.

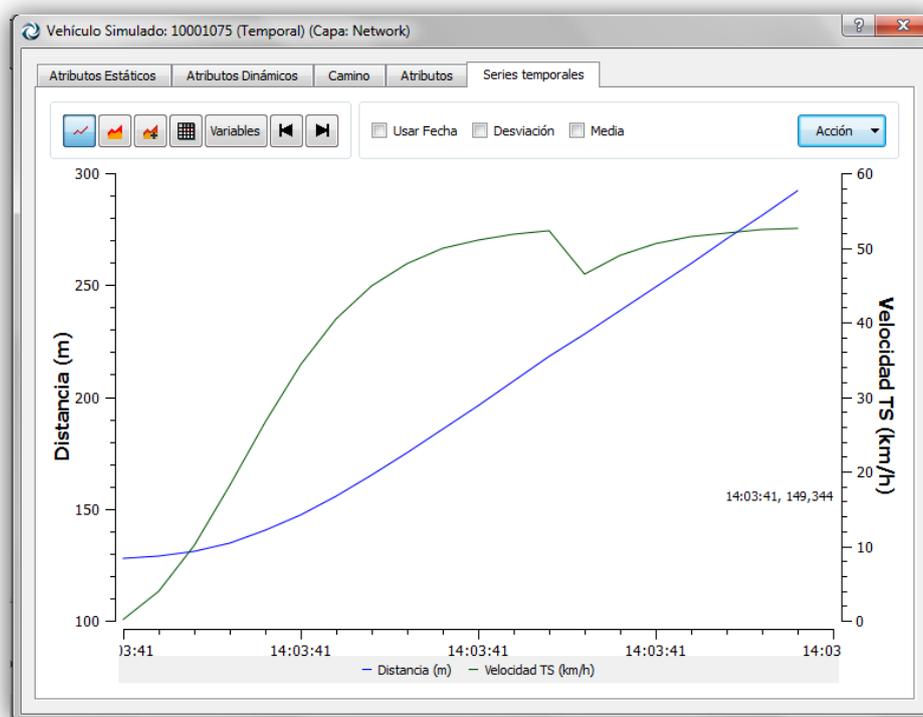


Figura 4.16: Distancia recorrida y velocidad media de un vehículo durante la simulación de la red

- **Estilos y modos:**

El software va a permitir mediante estilos que normalmente utilizan colores, indicar que elementos queremos visualizar y de qué manera. Un modo por su parte va a ser un conjunto de estilos aplicados al mismo tiempo para crear un mapa dinámico de la simulación de la red.

De esta forma, los modos nos van a dar una idea a nivel general de los resultados que se pueden obtener, ya que nos permiten analizar las variables que se deseen de un elemento en concreto o a nivel global. Además estos modos van a ser por tanto muy útiles en la etapa de calibración del modelo.



Figura 4.17: Ejemplo de Modo de vista. Flujo de vehículos simulado para cada sección

Se van a poder crear multitud de modos de visualización:

- Relacionado con datos estáticos, por ejemplo ocultando centroides o a través secciones de varios colores según la capacidad de éstas.
- Con resultados que obtendremos del modelo, por ejemplo a través de secciones de más o menos grosor según el flujo de vehículos y de varios colores según la velocidad media de los vehículos.
- Con los propios vehículos según sus características, por ejemplo a través vehículos de diferentes colores según la velocidad de éstos, como se puede ver en la anterior figura.
- Relacionados con la calibración y otros.

- **Etiquetas dinámicas.**

Nos va a mostrar valores del elemento al que van asociadas, y van a ir actualizándose a medida que avanza la simulación. El software nos va a permitir crear multitud de etiquetas, por ejemplo asociadas a la velocidad media de vehículos que circulan por una sección o al número de vehículos en un detector.

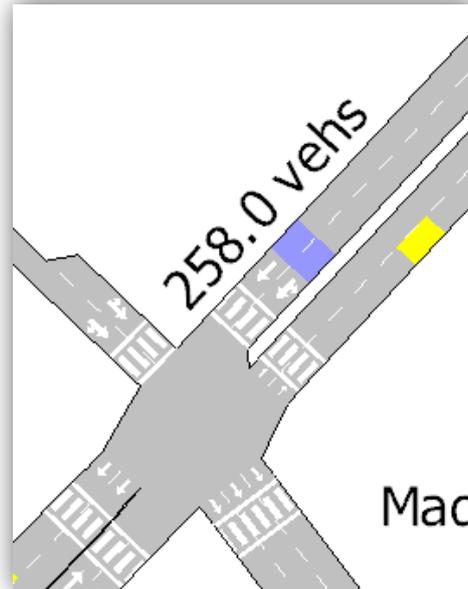


Figura 4.18: Ejemplo de Etiqueta dinámica. Flujo de vehículos en la sección

- **Editores:**

Los resultados de una microsimulación se van a obtener de manera general a través de series temporales, que van a mostrar los resultados de los elementos especificados de la red mediante tablas y gráficas, y van a ser fácilmente exportables a programas como Excel o similares.

AIMSUN nos va a permitir obtener series temporales de cualquier tipo variable (aforos, densidad de vehículos, tiempos de viaje, de demora, etc.) ya sea contenida en las secciones, en los detectores o en cualquier elemento de la red.

En la siguiente figura vemos un ejemplo donde se muestran datos de densidad y velocidad de una sección, y se puede observar como que a medida la densidad aumenta, la velocidad de los vehículos disminuye y viceversa.

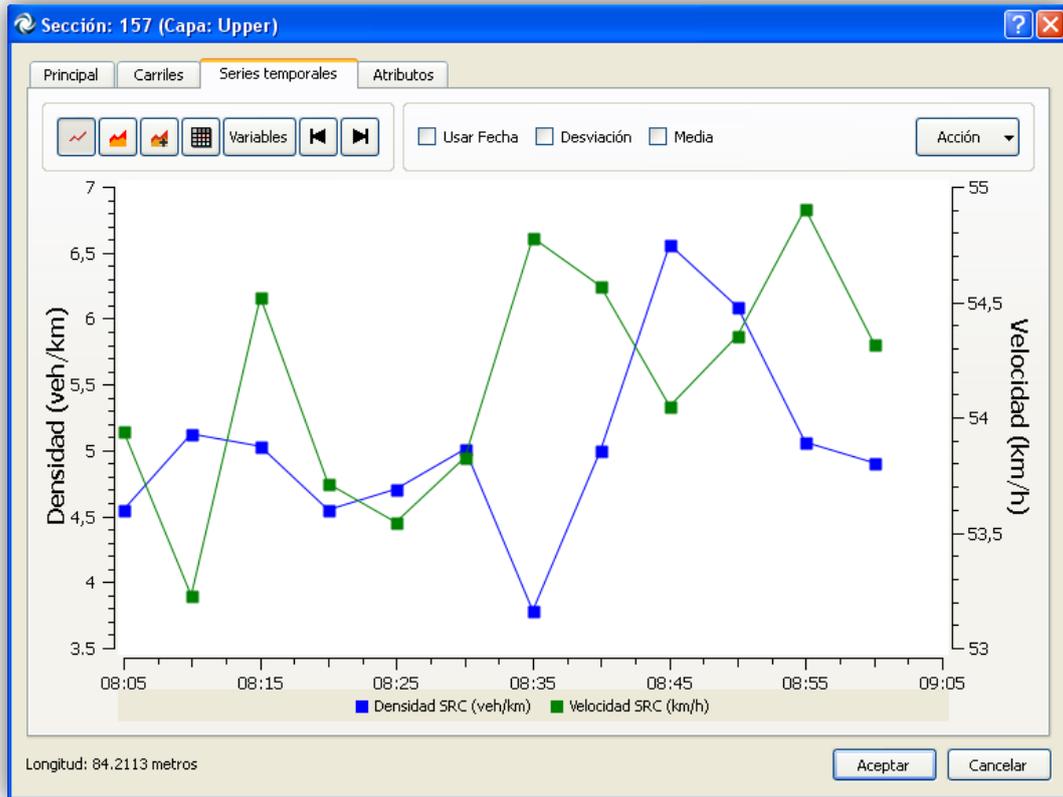


Figura 4.19: Ejemplo de Editor. Densidad y velocidad de una sección

- **Vídeos**

AIMSUN también nos va a permitir grabar vídeos durante las simulaciones a través de la instalación de cámaras en la red.

4.2.2.2.- MODELADO MACROSCÓPICO O ASIGNACIÓN ESTÁTICA DE TRÁFICO

Al igual que para un modelo microscópico, lo primero será crear un escenario macroscópico en el que habrá que incluir la demanda de tráfico y el plan de transporte público. En este caso no se tendrá en cuenta el plan de control semafórico.

Una vez creado el escenario, lo siguiente es crear un experimento macro donde se tendrán que determinar multitud de parámetros que se deben calibrar y entre los que destaca el número máximo de iteraciones que se requieren para llegar a la asignación de menor coste de la red, es decir, la asignación estática en equilibrio.

Finalmente se ejecutara el modelo de la red. El software nos devolverá los siguientes resultados:

- **Mapa temático:**

El color de las secciones va a indicar la relación volumen/capacidad (los colores más oscuros corresponderán con las secciones más congestionadas) y el grosor la asignación del volumen en la sección correspondiente. Los valores por su parte van a indicar el volumen de vehículos para cada sección, expresados en PCU's (passenger car unit).

En la figura siguiente podemos ver estos resultados:



Figura 4.20: Relación volumen/capacidad representada según colores en cada sección

- **Tablas de datos:**

En las tablas de datos del experimento macro aparecerán los siguientes apartados:

- ✓ Secciones:

Van a mostrar para cada sección y tipo de vehículo, el volumen y el tiempo de viaje.

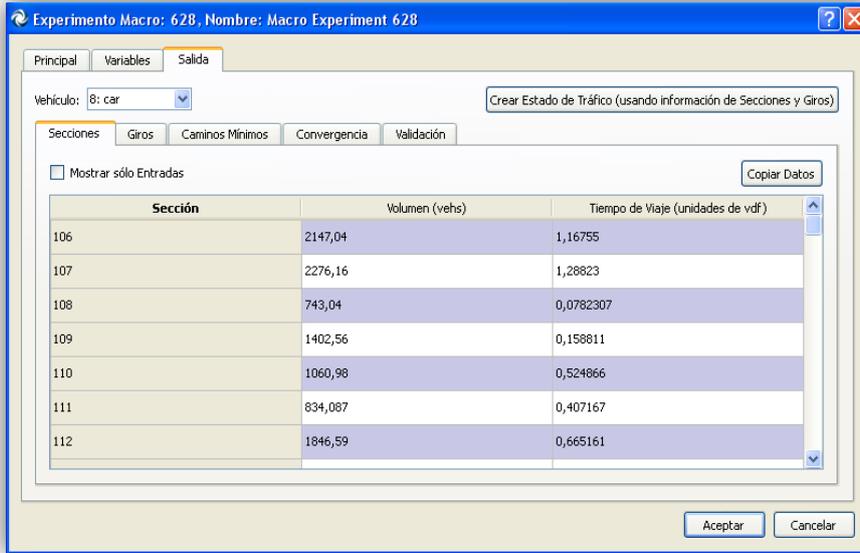


Figura 4.21: Volumen y tiempo de viaje para cada sección y tipo de vehículo

✓ Giros:

Van a mostrar sección a sección los porcentajes y volúmenes de giro.

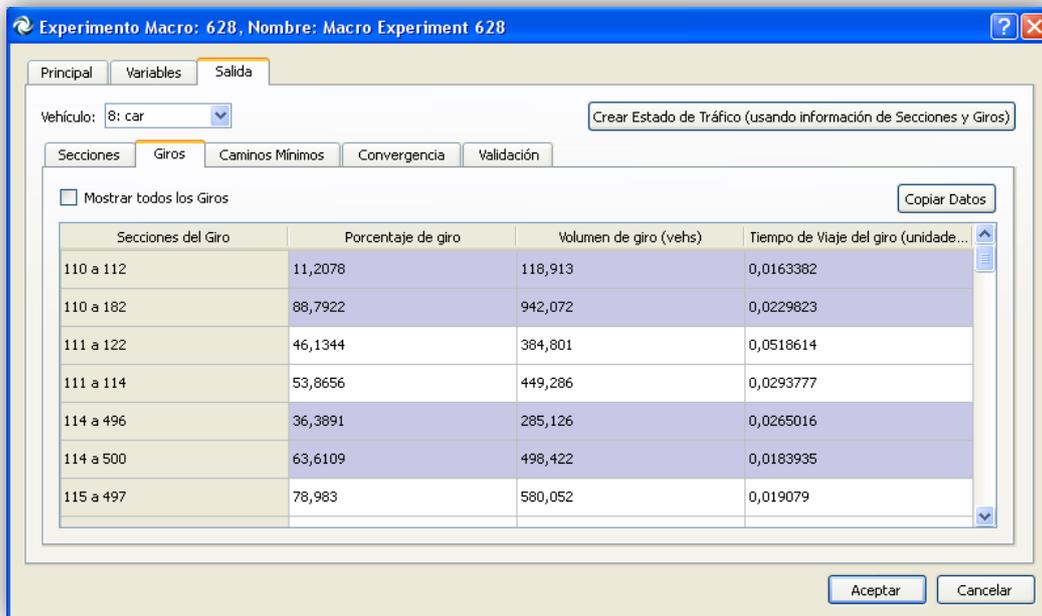


Figura 4.22: Porcentaje y volumen de giro sección a sección

✓ Caminos:

Van a mostrar la asignación de caminos de menor coste total, realizadas mediante iteraciones. En este apartado se indica el volumen y porcentaje de vehículos con el mismo origen y destino, el tiempo de viaje y la distancia viajada.

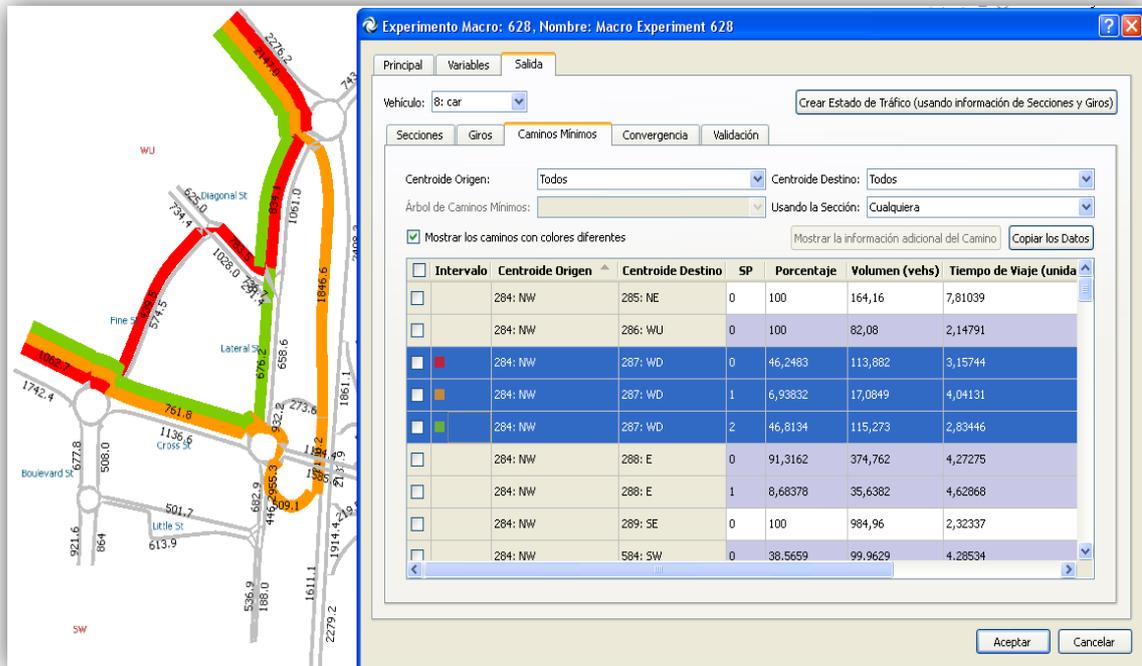


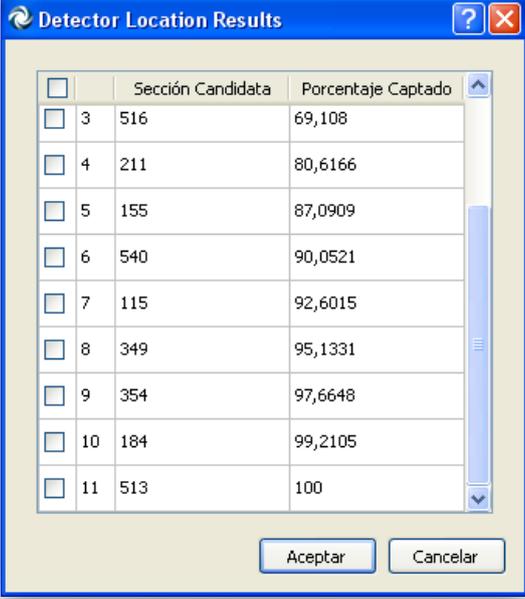
Figura 4.23: Asignación de caminos en la red

- Herramientas del modelado macroscópico:

- **Localización óptima de detectores:**

Esta herramienta nos va a indicar las posiciones óptimas de instalación de detectores en la red de forma que estos cubran toda la demanda de tráfico.

De esta forma va a determinar qué % de demanda está cubierto con los detectores existentes en la red, y las posiciones óptimas de colocación de nuevos detectores hasta poder llegar a cubrir la demanda al 100%.



The screenshot shows a window titled "Detector Location Results" with a table containing the following data:

	Sección Candidata	Porcentaje Captado
<input type="checkbox"/>	3 516	69,108
<input type="checkbox"/>	4 211	80,6166
<input type="checkbox"/>	5 155	87,0909
<input type="checkbox"/>	6 540	90,0521
<input type="checkbox"/>	7 115	92,6015
<input type="checkbox"/>	8 349	95,1331
<input type="checkbox"/>	9 354	97,6648
<input type="checkbox"/>	10 184	99,2105
<input type="checkbox"/>	11 513	100

At the bottom of the window are two buttons: "Aceptar" and "Cancelar".

Figura 4.24: Localización óptima de detectores en la red

- **Ajuste de matrices:**

Esta herramienta va a ser útil para:

- ✓ Refinar una matriz obsoleta. Se va a poder ajustar una matriz O/D antigua a partir de datos de nuevas espiras.
- ✓ Ajustar la duración de una matriz a los datos reales. Por ejemplo partiendo de una matriz O/D de una hora de duración y datos reales que solo disponemos en intervalos de 30 minutos, esta herramienta va a crear a partir matriz inicial, 2 matrices ajustadas a los datos reales disponibles, que van a ser más realistas.

- **Matriz transversal:**

Esta herramienta nos va a permitir cortar una o varias sub-áreas de la red y tratar éstas como independientes de la original para su posterior análisis.

De esta forma, delimitando mediante un polígono una sub-área de la red, se va a crear una matriz transversal a partir de la original para esta sub-área y a su vez una nueva configuración de centroides.

4.2.3.- VERIFICACIÓN, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN

La **verificación** del modelo consiste en la comprobación de que las entradas introducidas en la red correspondan al sistema que se quiere modelar.

La **calibración** es el proceso de ajuste todos los parámetros del modelo hasta obtener una validación correcta. Esta va a depender del software y la 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 datos reales disponibles con los resultados de la simulación, de acuerdo a unos límites de error, para evaluar en qué medida los resultados corresponden a la realidad.

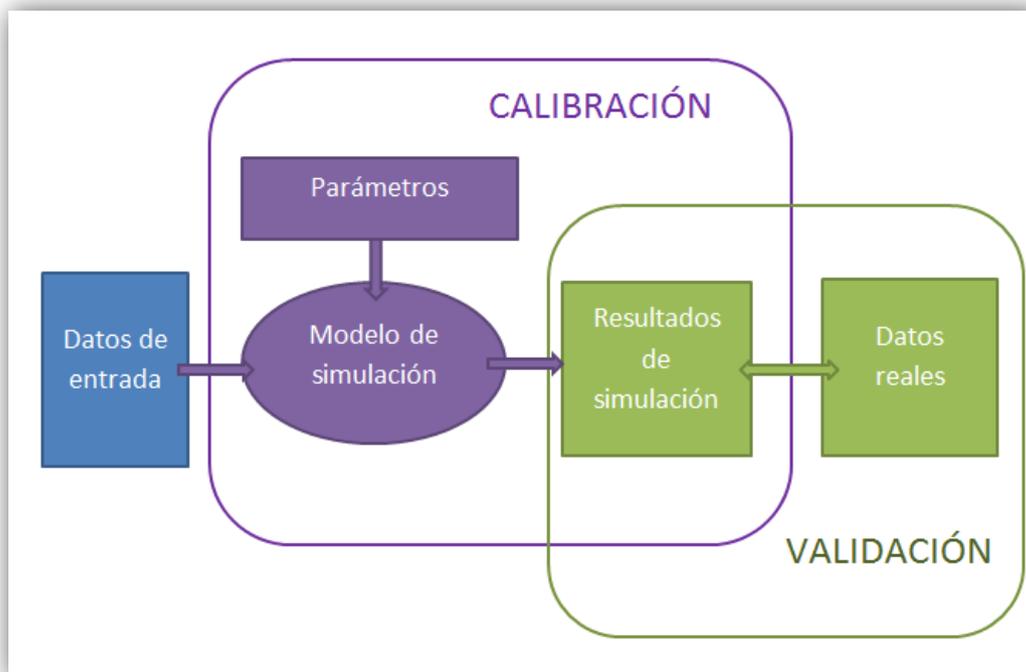


Figura 4.25: Esquema Verificación, calibración, validación

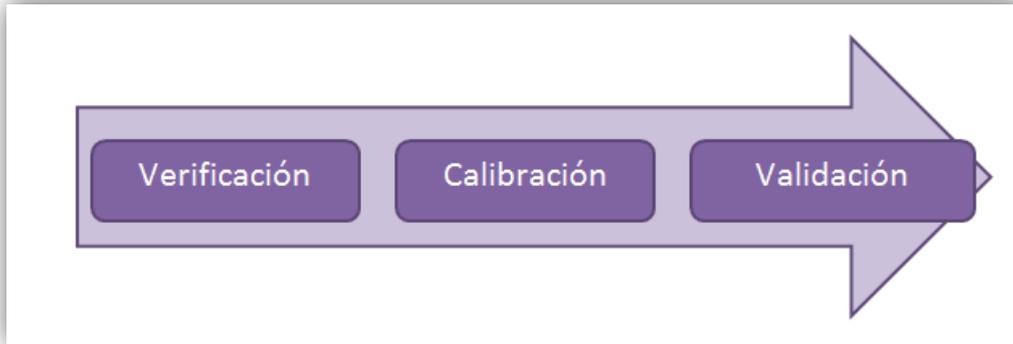


Figura 4.26: Verificación, calibración, validación

De esta forma en el proceso de verificación:

- ✓ Se revisa todo el proceso de edición de la red
- ✓ Se comprueba que los datos de entrada corresponden a la realidad
- ✓ Se comprueba que la descripción de la red corresponde a los objetivos de estudio.

En el proceso de calibración se ajustan todos los parámetros tanto globales como locales que hacen referencia a los vehículos, nodos etc.

En el proceso de validación por su parte lo primero va a ser determinar qué datos se van a comparar, lo que va a depender de:

- ✓ **Tipo de análisis.** No va a ser lo mismo trabajar con un modelo micro o macroscópico, ya que obtendremos diferentes tipos de resultados.
- ✓ **Objetivos del estudio.** En función de los objetivos del estudio, nos interesara analizar unos u otros parámetro. Por ejemplo si el objetivo de estudio consiste en evaluar el transporte público, nos interesara el tiempo de viaje, mientras que si estamos evaluando un problema de congestión de tráfico, nos interesara más analizar la longitud de las colas.
- ✓ **Tipo de red.** De igual modo en función del tipo de red nos va a interesar analizar unos u otros valores, ya que no es lo mismo analizar un área urbana que una ciudad entera. En este caso será más útil analizar la longitud de colas y el flujo de tráfico, respectivamente.

En definitiva lo que debemos conseguir con el proceso de validación es que nuestra red represente de manera precisa el tráfico real de la zona de estudio, reflejando para ello las características que mejor se adapten a la red, aunque en la

práctica este proceso se encuentra muy limitado por la dificultad para disponer de los datos reales y el elevado presupuesto que supone el conseguir otros nuevos.

En nuestro caso estos datos son datos de espiras proporcionados por el Ayuntamiento de Valladolid, aunque existen otros métodos como planes de aforo in situ, encuestas, etc.

Por ultimo hay que destacar que el para realizar el proceso de validación se van a poder introducir datos reales en varios tipos de formatos, y realizar el proceso de validación mediante regresión lineal. En la siguiente figura se puede ver una regresión lineal punto a punto que muestra la diferencia entre los datos reales introducidos por el usuario y los datos obtenidos en la simulación.

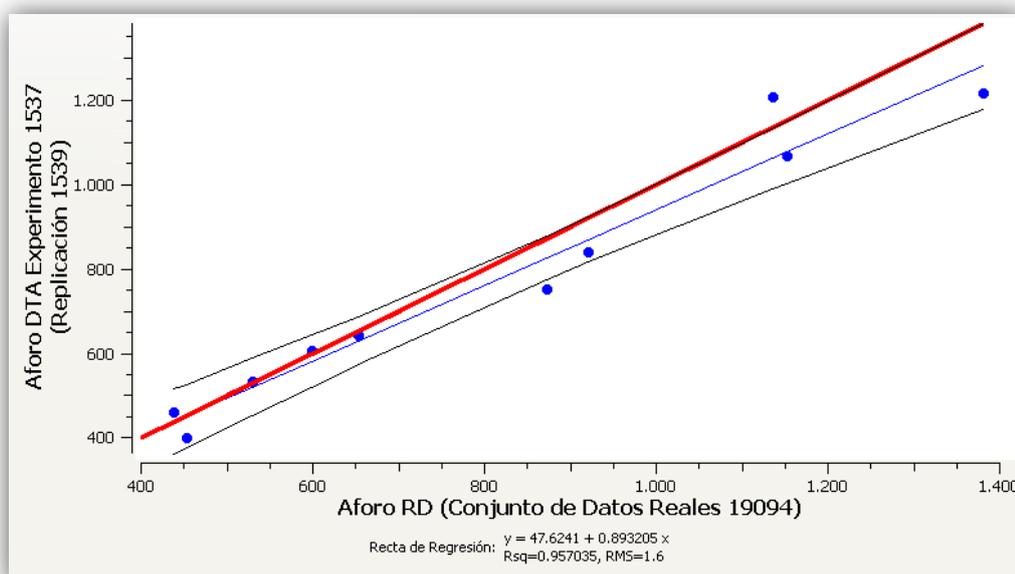


Figura 4.27: Validación final de la red de estudio



CAPÍTULO 5

ESTUDIO, ANÁLISIS Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO



5.1.- INTRODUCCIÓN

Para poder desarrollar el modelo del barrio de la Rondilla y la posterior simulación y análisis de resultados, es necesario realizar un estudio completo y detallado de la zona de estudio; todo ello con el objetivo de que el modelo final de la red se asemeje lo máximo posible a la realidad.

Para ello es fundamental conocer bien todos los aspectos de la red con la que vamos a trabajar, no solo en cuanto a configuración del barrio, datos geométricos, ciclos semafóricos o demanda de tráfico, sino que también habrá que tener en cuenta otros factores como el comportamiento de los vehículos y su interacción en las vías, las reacciones de los conductores ante diferentes situaciones, eventuales incidencias de tráfico que puedan existir en la zona o la situación de la zona de estudio respecto a la red vial general y su influencia en ella. Se deberá tener en cuenta también la localización de institutos, gasolineras, estaciones de trenes y autobuses cercanas o incluso la existencia de elementos como túneles o puentes, cuya existencia modificara el comportamiento de la red. Estas características van a influir en el comportamiento y los resultados de la red y van a ser fundamentales en su representación.

Para conseguir todos estos datos que acabamos de mencionar y conseguir una representación de la red lo más real posible, hemos contado con la ayuda tanto del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Valladolid a través de diferentes proyectos realizados en la zona de estudio, como del Gabinete de Movilidad Urbana del Ayuntamiento de Valladolid a través de Roberto Riol, que nos facilitó multitud de datos reales sobre el tráfico de la zona como planos del barrio, datos de aforos o los planes de control semafórico entre otros.

Todos estos datos aportados junto con su correspondiente análisis y ello unido al desarrollo del modelo que mejor se adapte a las características del tráfico, nos han servido para lograr la mayor exactitud posible en la simulación y las conclusiones del estudio.

5.2.- CONSTRUCCION DEL MODELO

5.2.1- DATOS DE PARTIDA

- **Base cartográfica:**

En primer lugar iniciamos el desarrollo del modelo a partir de los planos de la zona de estudio que fueron aportados, los cuales se encuentran en formato CAD como se muestra a continuación, y que han servido para construir la correspondiente red en el software AIMSUN.

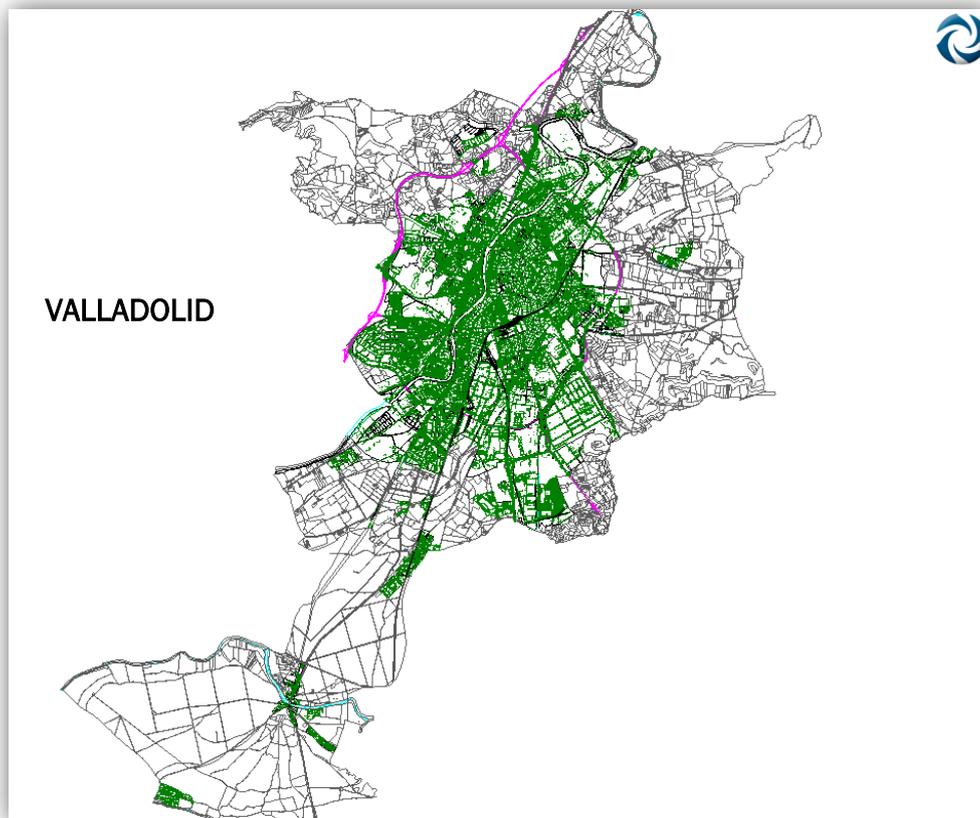


Figura 5.1: CAD inicial aportado zona de Valladolid

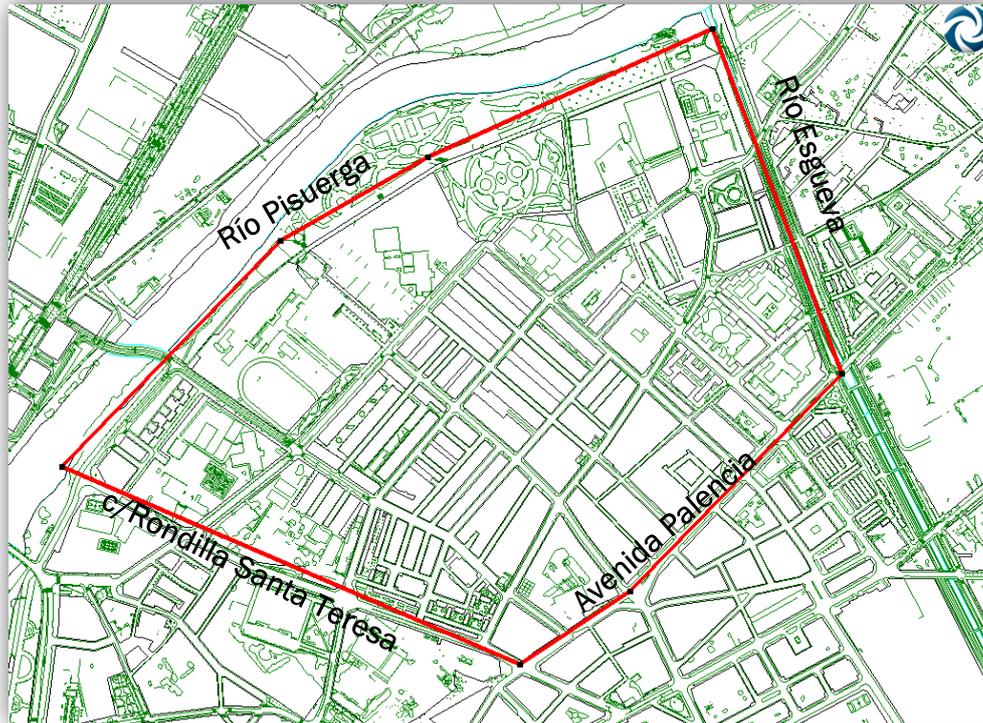


Figura 5.2: Mapa zona de estudio de la Rondilla

- **Inventario de la zona de estudio:**

El primer paso para poder modelar la geometría de la red viaria va a ser realizar un inventario de todos los elementos que se encuentran en la zona de estudio. Este inventario se realizó teniendo en cuenta:

- ✓ Vías, tipos de vías, número de carriles, capacidad de las vías y velocidad de los vehículos
- ✓ Cruces e intersecciones, junto con la situación de éstas y los posibles movimientos de los vehículos en sus proximidades
- ✓ Situaciones de semáforos y señales de tráfico
- ✓ Existencia de líneas y paradas de bus
- ✓ Situación de pasos de peatones
- ✓ Existencia de puentes, túneles u otros elementos en las proximidades

- **Plan de control semafórico:**

Debido a la necesidad de disponer de datos reales en las intersecciones de la red para su correcta representación y lograr con ello unos resultados lo más fiables posibles con los que poder trabajar, de forma que se consigan mejorar estos datos tal como se pretende con este proyecto, se nos cedió por parte del Ayuntamiento de Valladolid la información recogida en el Anexo de este TFG, donde se incluyen todos los datos aportados en relación a los cruces semafóricos.

Para cada intersección se nos facilitó un plano con la situación de los semáforos en formato CAD y los tiempos de verde, ámbar y rojo (Diagramas de Fase) de cada uno de ellos, como se muestra a continuación:

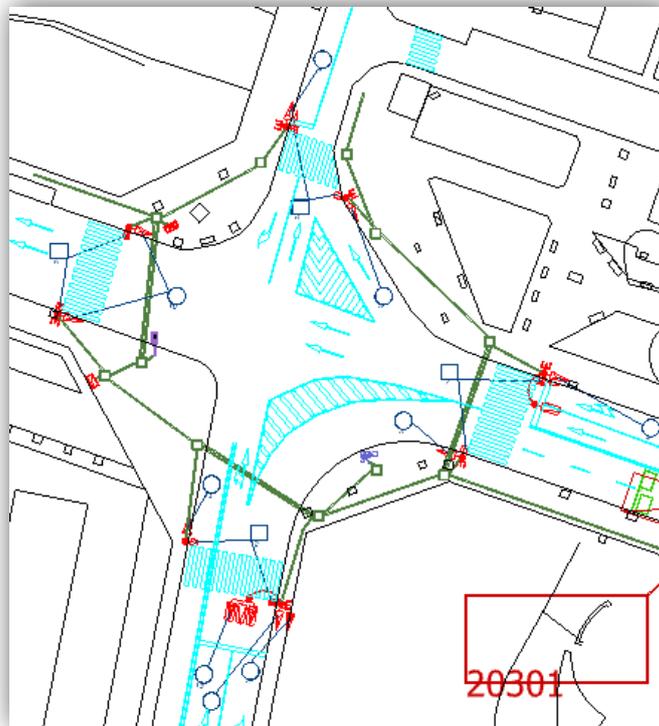


Figura 5.3: Situación de semáforos en la intersección Rondilla Santa Teresa-Cardenal Torquemada

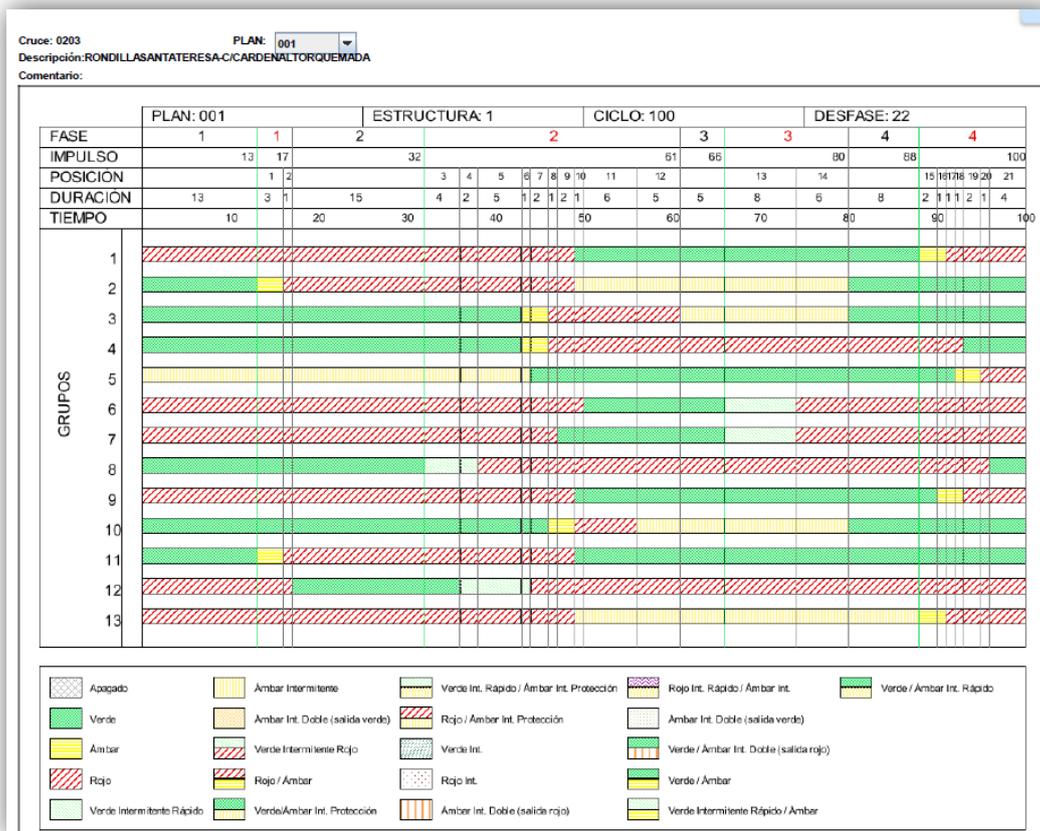


Figura 5.4: Ciclos semafóricos en la intersección Rondilla Santa Teresa-Cardenal Torquemada

- **Datos de Estaciones de Aforo o Espiras**

La demanda de tráfico va a ser el aspecto más complicado de definir a la hora de conseguir unos datos lo más exactos posibles a los reales. Para ello, la cantidad y precisión de los datos con los que se trabaja y su posterior análisis van a ser los factores más importantes.

El Ayuntamiento de Valladolid, nos cedió de nuevo la información que se adjunta completa en el Anexo de este TFG acerca de los datos de Intensidad Media Diaria Anual (IMD) pertenecientes a la zona de estudio tanto en días laborables como en días festivos, como se muestra a continuación (en color amarillo se encuentran las espiras las cuales entran en nuestra zona de estudio):

INTENSIDAD MEDIA DIARIA (LABORAL Y FESTIVO) ANUAL

ESTACIONES DE AFORO PERMANENTE DE LA SUBÁREA DE LA RONDILLA

Haga clic en H y Comentario funciones adic

UBICACION	P.M.	2011		2012		2013		2014	
		Laboral	Festivo	Laboral	Festivo	Laboral	Festivo	Laboral	Festivo
PUENTE MAYOR -> SAN BARTOLOME (SAN NICOLÁS)	PM020101	18.682	13.686	18.208	13.442	17.682	13.214	17.553	12.973
ISABEL LA CATÓLICA -> SAN ILDEFONSO (SAN NICOLÁS)	PM020102	6.730	4.286	6.801	4.759	6.158	4.119	6.064	4.002
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
CHANCILLERÍA -> SAN MARTIN (GONDOMAR)	PM020502	3.115	2.197	3.032	2.152	2.822	1.979	2.844	2.011
CHANCILLERÍA GIRO IZQUIERDA -> GONDOMAR	PM020503	7.936	5.585	7.782	5.454	7.149	4.968	7.292	5.036
CHANCILLERÍA -> REAL DE BURGOS (GONDOMAR)	PM020504	2.841	2.564	2.600	1.939	2.577	1.901	2.684	1.919
CHANCILLERÍA -> GONDOMAR (REAL DE BURGOS)	PM020601	4.003	2.659	5.840	3.704	6.349	3.946	6.697	4.443
REAL DE BURGOS -> HUELGAS (CHANCILLERÍA-ENTRADA)	PM020602	12.036	8.386	8.777	5.959	9.145	6.266	9.241	6.387
REAL DE BURGOS -> HUELGAS (CHANCILLERÍA-SALIDA)	PM020603	16.292	11.612	13.632	9.300	13.132	8.803	13.887	9.402
MADRE DE DIOS -> CEMENTERIO (DOCTOR BANUELOS)	PM020701	4.623	2.736	4.654	2.907	2.854	1.757	3.468	2.162
MADRE DE DIOS -> REAL DE BURGOS (PRADO DE LA MAGDALENA)	PM020801	9.360	5.788	9.520	5.786	8.923	5.407	8.610	5.345
MADRE DE DIOS -> CEMENTERIO (PRADO DE LA MAGDALENA)	PM020802	5.225	3.012	2.663	1.392	1.913	958	3.615	2.149
MADRE DE DIOS -> REAL DE BURGOS (VALLE ESGUEVA)	PM020901	7.467	4.783	7.724	4.816	7.363	4.594	7.215	4.632
VALLE ESGUEVA -> REAL DE BURGOS (MADRE DE DIOS)	PM020902	2.000	993	2.004	1.011	1.861	934	1.696	930
CAMINO DEL CEMENTERIO -> REAL DE BURGOS (MADRE DE DIOS)	PM020903	4.072	2.863	2.514	1.708	3.157	2.100	3.940	2.632
CAMINO DEL CEMENTERIO -> CEMENTERIO (VALLE ESGUEVA)	PM020904	4.355	2.955	4.272	2.852	4.097	2.694	3.968	2.652
ISABEL LA CATÓLICA -> PUENTE MAYOR (SAN QUIRCE)	PM021001	9.246	6.636	8.796	6.470	8.540	6.236	7.365	5.393
SAN QUIRCE -> PLAZA SAN PABLO (EXPOSITOS)	PM021101	6.893	4.604	10.207	6.740	10.085	6.729	9.685	6.410
CARDENAL TORQUEMADA -> RONDILLA SANTA TERESA (SAN PABLO)	PM021301	10.146	6.746	9.603	6.402	9.428	6.268	9.393	6.166
ISABEL LA CATÓLICA -> PUENTE MAYOR (ENCARNACIÓN)	PM021501	20.850	14.696	19.871	14.152	19.259	13.707	19.152	13.625
ISABEL LA CATÓLICA -> PUENTE MAYOR (PONIENTE)	PM021601	17.118	12.543	19.088	14.110	18.286	13.733	18.032	13.473
ISABEL LA CATÓLICA -> SAN ILDEFONSO (PONIENTE-INTERIOR)	PM021602	8.091	5.472	8.573	6.078	8.218	5.684	8.247	5.635
ISABEL LA CATÓLICA -> SAN ILDEFONSO (PONIENTE-SALIDA)	PM021603	12.675	9.253	12.104	9.005	13.339	10.020	11.739	8.664
PONIENTE -> FUENTE DORADA (RINCONADA)	PM021701	18.339	14.013	17.537	13.590	16.876	12.812	17.120	12.997
RINCONADA -> FUENTE DORADA (INTERIOR)	PM021702	16.450	11.987	15.820	11.836	15.075	11.371	15.255	11.413
ISABEL LA CATÓLICA -> PUENTE MAYOR (DOCTRINOS)	PM021801	21.687	14.821	20.704	14.655	19.678	13.758	18.043	12.904
SAN ILDEFONSO -> PASEO DE ZORRILLA (TENERIAS)	PM021901	12.168	8.121	11.770	7.917	11.286	7.567	10.103	6.815
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
PARAISO -> SANZ Y FORES (RAMON Y CAJAL)	PM022401	6.472	5.066	6.397	5.065	5.250	4.132	4.986	3.853
RAMON Y CAJAL -> CHANCILLERÍA (PARAISO)	PM022402	9.086	6.437	9.030	6.488	8.057	5.450	7.193	4.868
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 Carrenal Torquemada

Figura 5.5: Datos de Aforo permanente de la subárea de la Rondilla expresados como IMD anual

Debido a la necesidad de concretar más estos datos para el cálculo de la demanda de tráfico con la que lograr una validación aceptable del modelo, a través de la comparación de los datos de flujo de vehículos obtenidos en AIMSUN y los datos de estas espiras introducidos de nuevo en AIMSUN, se realizó la media de las IMD de estas espiras durante los años aportados (2011, 2012, 2013 y 2014) y se multiplico esta media por el porcentaje que representa el total de viajes del transporte privado durante la hora punta de simulación (14:00-15:00), el cual como se especifica en el PIMUVA (Plan Integral de Movilidad Urbana de Valladolid), representa aproximadamente el 24% de los viajes (0,24).

Después de los cálculos realizados, estos datos van a hacer referencia al número de vehículos por hora y serán los que tendremos que conseguir en la simulación de nuestro modelo mediante ajustes en la Matriz O/D para conseguir una validación alta del mismo y por tanto la mayor exactitud posible.



5.2.2.- ELECCION DEL TIPO DE MODELO

Como se ha mencionado en el capítulo 2, existen tres tipos de modelado: Microscópico, Macroscópico y Mesoscópico.

Para nuestro caso y debido a los objetivos de este estudio, debemos analizar la red desde un punto de vista dinámico; observando de este modo el efecto de la semaforización, así como las interacciones entre vehículos, la formación de colas y demás características de la red durante la simulación, para poder identificar y dar solución e incluso mejorar los problemas existentes en la red. Por estas razones y apoyándonos en lo descrito en el capítulo 2 sobre los tipos de modelado, en nuestro caso se escogió el **modelado microscópico**.

No va a existir para ello ningún inconveniente que no nos permita utilizar este tipo de modelado, como podría ser el tamaño de la red o no disponer de datos acerca de la los ciclos semafóricos.

En cuanto a la posibilidad de analizar la red desde otro punto de vista como por ejemplo el macroscópico, no va a existir motivo para hacerlo ya que las características de este tipo de modelado no nos sirven de nada a la hora de alcanzar los objetivos de nuestro estudio.

5.2.3.- REALIZACION DEL MODELO

Los pasos que vamos a seguir para la construcción de nuestro modelo van a ser:

- ✓ Elección de la zona de estudio
- ✓ Importación de base cartográfica
- ✓ Modelado de la geometría
- ✓ Elección del intervalo de tiempo a estudiar
- ✓ Introducción y ajustes de la demanda de tráfico y el plan de control semafórico

5.2.3.1.- DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona elegida para nuestro estudio ha sido **el barrio de la Rondilla**, de la ciudad de Valladolid. A continuación detallamos tanto la situación como modelado el modelado de la zona escogida.

- **Situación de la zona de estudio**

Valladolid es una ciudad española situada en el cuadrante noroeste de la península ibérica, capital de la provincia de Valladolid y sede de las Cortes y la Junta de la comunidad autónoma de Castilla y León, siendo esta la ciudad con mayor población de todo el noroeste español.

Va a limitar al Norte con las provincias de León y Palencia, al Este con Burgos y Segovia, al Sur de nuevo con Segovia, Ávila y Salamanca y al Oeste con Zamora.

Su estratégica posición y comunicación a través de una amplia red de autovías, la alta velocidad (AVE) o la existencia del aeropuerto de Villanubla, así como su carácter de nodo logístico, hacen que Valladolid forma el principal foco industrial de Castilla y León.

De este modo, se puede llegar a Valladolid por carretera, tren o avión. La N-620 va a unir Palencia y Burgos con Valladolid y Salamanca, atravesando la ciudad muy cerca del Río Pisuergra. La N-601 por su parte va a unir Valladolid con León y el aeropuerto de Villanubla en dirección Oeste y con Madrid en dirección Sur-Este. A través de la N-122 se podrá llegar a Soria, mientras que por el Este encontramos el acceso a Segovia por la A-601 o Autovía de Pinares. Esta amplia red de carreteras se prolongara también en el casco urbano de la ciudad constituyendo una red viaria de primer orden, que canaliza la circulación de Valladolid.

A continuación vemos en la siguiente figura una imagen de esta extensa red de carreteras mencionada.

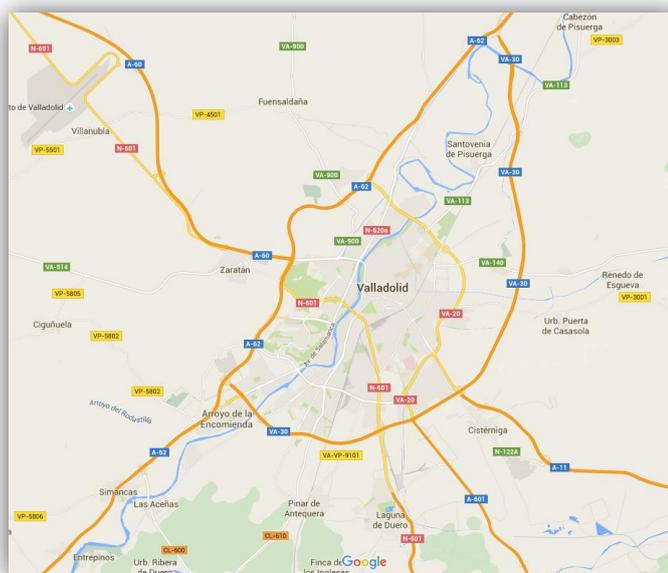


Figura 5.6: Mapa de acceso a la ciudad de Valladolid

Dentro de la ciudad de Valladolid, nuestra zona de estudio elegida ha sido como ya hemos mencionado, **el barrio de la Rondilla**, que va a contar con una superficie total de 82 hectáreas aproximadamente, es decir, el 2,5% del suelo urbano de Valladolid; sobre la que se ubican más de 11.000 viviendas y que cuenta aproximadamente con una población de más de 28.000 habitantes, lo que supone el 8,9 % de la población de Valladolid.

Los límites del barrio los marcan tanto el Río Pisuerga por el margen izquierdo como el río Esgueva por el Norte, que son los dos ríos que atraviesan la ciudad, además de la calle Rondilla de Santa Teresa y la Avenida Palencia por el Sur y el Este respectivamente, formando estas dos últimas las principales vías arteriales del barrio y en las que existirá una mayor circulación de tráfico. A continuación vemos una imagen de la situación del barrio.

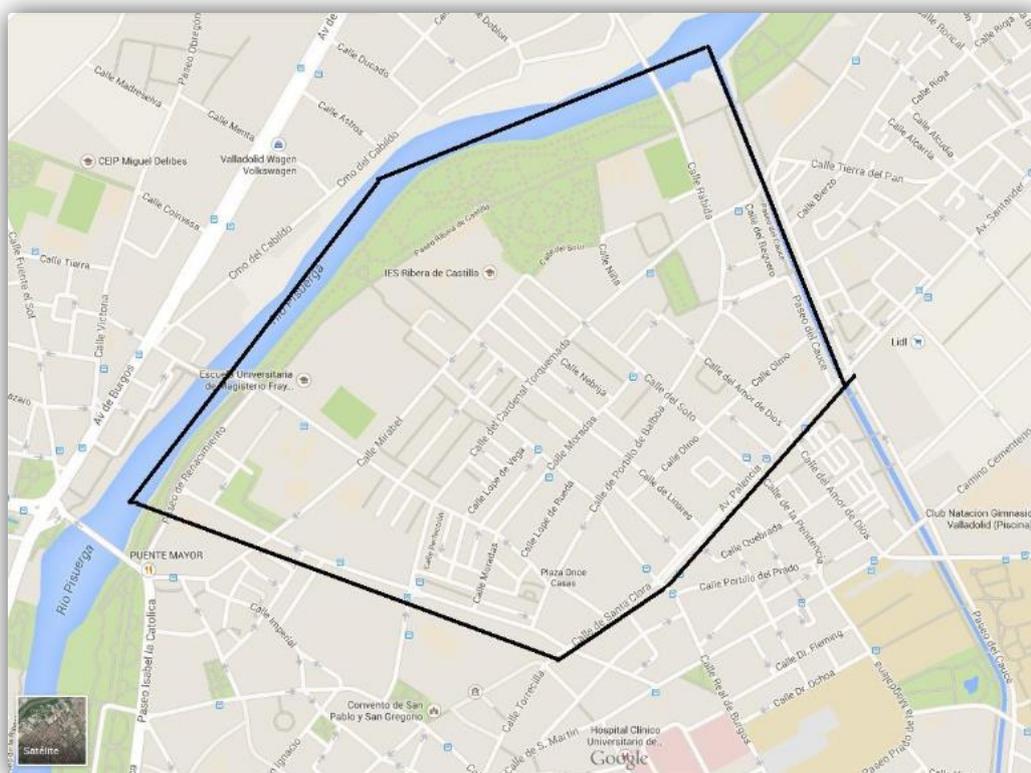


Figura 5.7: Situación de la zona de estudio del barrio de la Rondilla

El barrio de la Rondilla se ha caracterizado desde sus orígenes por ser un barrio humilde y de carácter social, que surgió en la década de los 60's con el objetivo de acoger a la población procedente en su mayoría del campo como consecuencia de la expansión industrial de la ciudad.

Esta expansión del barrio fue unida a la aparición de nuevas necesidades sociales necesarias de atender, de forma que las carencias iniciales han ido solucionando poco a poco con los años, en gran parte gracias a la Asociación

Vecinal de la zona que ha logrado incrementar las infraestructuras y servicios del barrio para dar respuesta a las necesidades de sus vecinos y vecinas.

En cuanto a la situación viaria del barrio, la Rondilla siempre se ha caracterizado por soportar una tasa de tráfico elevada, que se ha ido aumentando considerablemente en los últimos años, debido ello en gran medida a que se ha convertido en una zona de paso hacia el centro urbano de la ciudad, cuyo tráfico debe canalizar. Esto ocasiona por tanto serios problemas, sobre todo en horas punta de circulación que serán las que tengamos en cuenta para la realización de nuestro estudio al tratarse de las más conflictivas y problemáticas en cuanto a atascos, colas de vehículos o retrasos.

- **Modelado de la zona de estudio**

El objetivo principal de este proyecto es dar soluciones a los problemas de tráfico de la Rondilla; por lo que las principales zonas en las que nos vamos a centrar en nuestro estudio van a ser las avenidas principales que delimitan el barrio y que podemos definir por tanto como las principales vías arteriales del barrio, las cuales son formadas por la calle Rondilla de Santa Teresa y la Avenida Palencia.

Hay que tener en cuenta que al delimitar la zona para nuestro estudio, se tomó como área todo el barrio, sin exceder en representar zonas sin relevancia alguna; de manera que se reflejaran bien los problemas de tráfico, con el objetivo de dar las oportunas soluciones y cumplir con los objetivos propuestos del estudio. A su vez, se tuvo en cuenta el efecto que nuestras modificaciones podían tener en las posteriores y anteriores intersecciones que delimitan el barrio pero que no forman parte del mismo.

También se tuvieron en cuenta los datos disponibles de proyectos anteriores a la hora de delimitar nuestra zona de estudio, ya que podrían surgir dificultades a la hora de calcular la demanda de tráfico y resultar está demasiado imprecisa, afectando por ello a los resultados y conclusiones del estudio.

A continuación, podemos ver en la figura la delimitación de la zona para nuestro estudio.

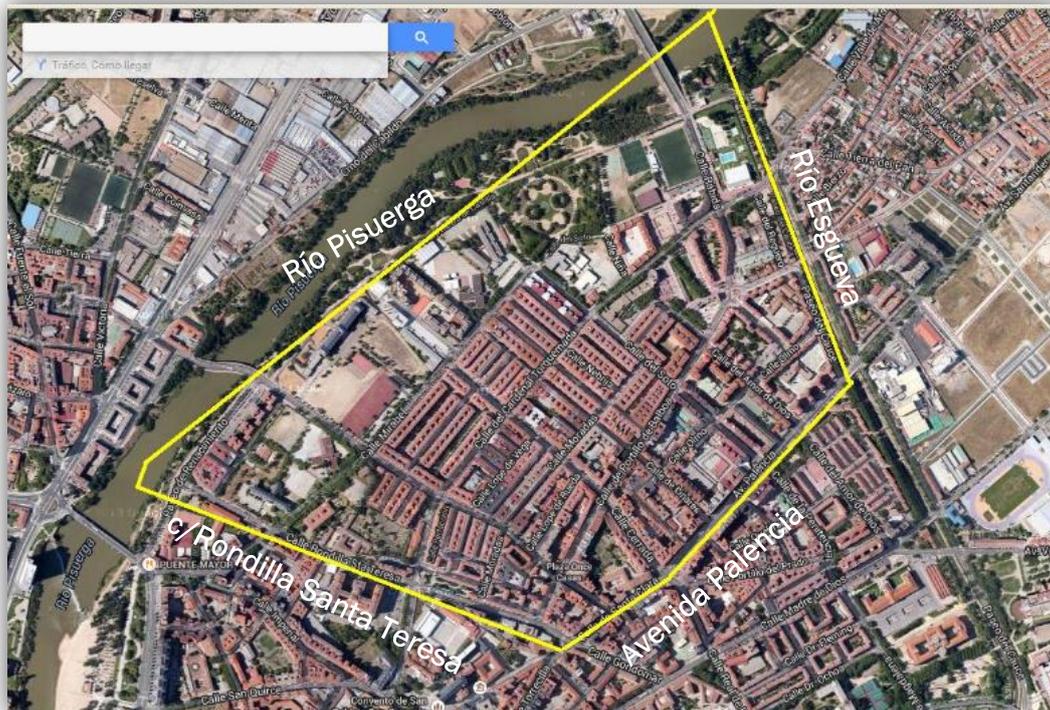


Figura 5.8: Limites de nuestra zona de estudio

5.2.3.2.- INTERVALO DE TIEMPO A ESTUDIAR

Con la realización de este proyecto se plantea como hemos mencionado, el dar soluciones a los principales problemas viales existentes en la zona de estudio como congestiones de tráfico, formación de colas de vehículos u otras incidencias de la red. Para ello, vamos a deber determinar el intervalo de '**hora punta**' de la circulación, ya que será el intervalo más desfavorable y por tanto, en el que ocurran mayores incidencias.

En base a los datos expuestos en el **PIMUVA (Plan Integral de Movilidad Urbana Ciudad de Valladolid)**, la distribución de viajes según hora de comienzo del viaje y motivo prioritario, se muestra en la siguiente tabla:

Viajes según hora de comienzo del viaje y motivo prioritario					
Hora	A pie	T. Público	T. Privado	Otros	Total
6 - 7	1.339	384	7.655	2.338	11.716
7 - 8	10.994	5.981	22.323	2.353	41.651
8 - 9	36.487	9.625	26.204	3.396	75.711
9 - 10	30.721	5.412	11.906	2.335	50.374
10 - 11	26.204	4.959	5.198	706	37.066
11 - 12	38.879	5.095	4.110	490	48.575
12 - 13	38.371	5.377	4.678	707	49.134
13 - 14	39.612	8.064	16.007	2.876	66.640
14 - 15	43.952	12.032	29.440	5.845	91.269
15 - 16	27.526	7.816	26.574	3.717	65.429
16 - 17	17.595	5.483	12.801	965	36.843
17 - 18	36.152	8.108	11.477	2.497	58.234
18 - 19	29.046	5.840	11.717	1.362	47.965
19 - 20	27.432	7.002	15.045	959	50.438
20 - 21	23.864	8.521	16.119	1.145	49.649
21 - 22	12.999	4.945	9.672	1.249	28.864
22 - 6	10.907	3.730	14.664	5.788	35.089
Total	452.082	108.168	245.678	38.728	844.656

Figura 5.9: Distribución de viajes en Valladolid según periodo horario

De este modo y representado estos datos gráficamente, la demanda de tráfico resulta:

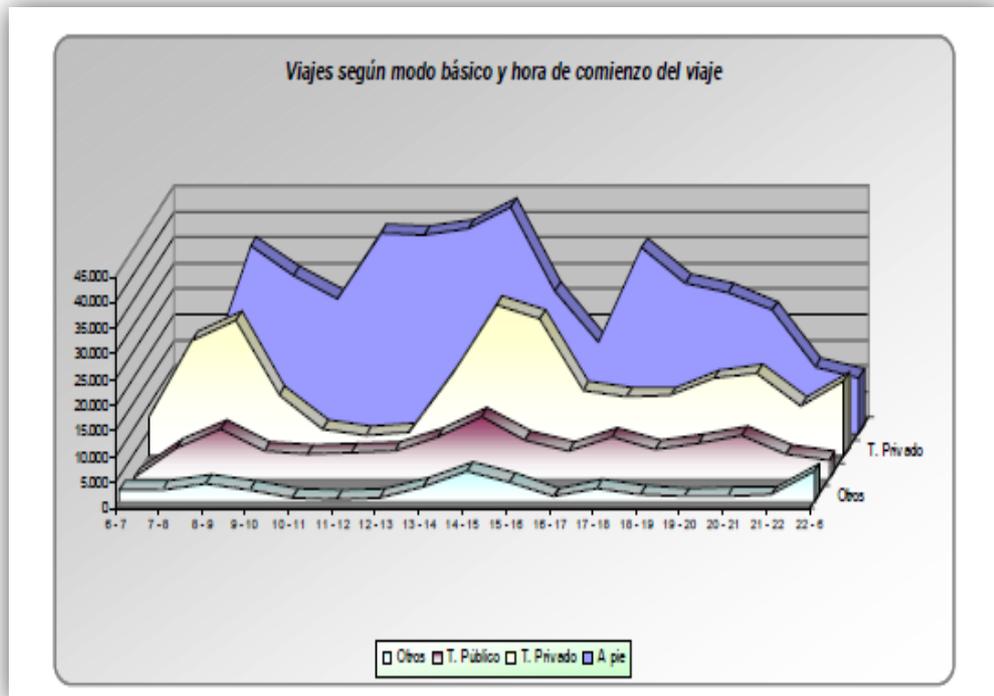


Figura 5.10: Demanda de tráfico según periodo horario



Como podemos observar tanto en los datos de la tabla como en la gráfica, va a existir un aumento del tráfico respecto a la media, de 08:00 a 09:00 horas y de 17:00 a 18:00 horas, cuando comienzan en este caso el 9,0% el 6,9% de los viajes, respectivamente.

Sin embargo, la importancia de la punta y por tanto el periodo de mayor circulación de tráfico se producirá de **14:00 a 15:00 horas**, período en el que comienzan el 10,8% de los viajes; de modo que va a ser este intervalo de tiempo el que se tendrá en cuenta como hora punta y en el que se analizarán con la ayuda de AIMSUN los diferentes parámetros de circulación con las que sacar las conclusiones de nuestro estudio.

5.2.3.3.- IMPORTACION DE BASE CARTOGRÁFICA

Los planos para el modelado de nuestra red fueron importados directamente a AIMSUN como fueron facilitados por el Ayuntamiento de Valladolid, es decir, en formato CAD. De esta forma, se va a respetar el sistema de capas aportado, que nos será útil durante el proceso de modelado de la geometría del barrio.

5.2.3.4.- MODELADO DE LA GEOMETRIA

A partir de la base cartográfica aportada y según el inventario de la zona de estudio detallado anteriormente, se modeló en AIMSUN la red del barrio de la Rondilla.

En la siguiente figura podemos ver el resultado final de nuestra red.

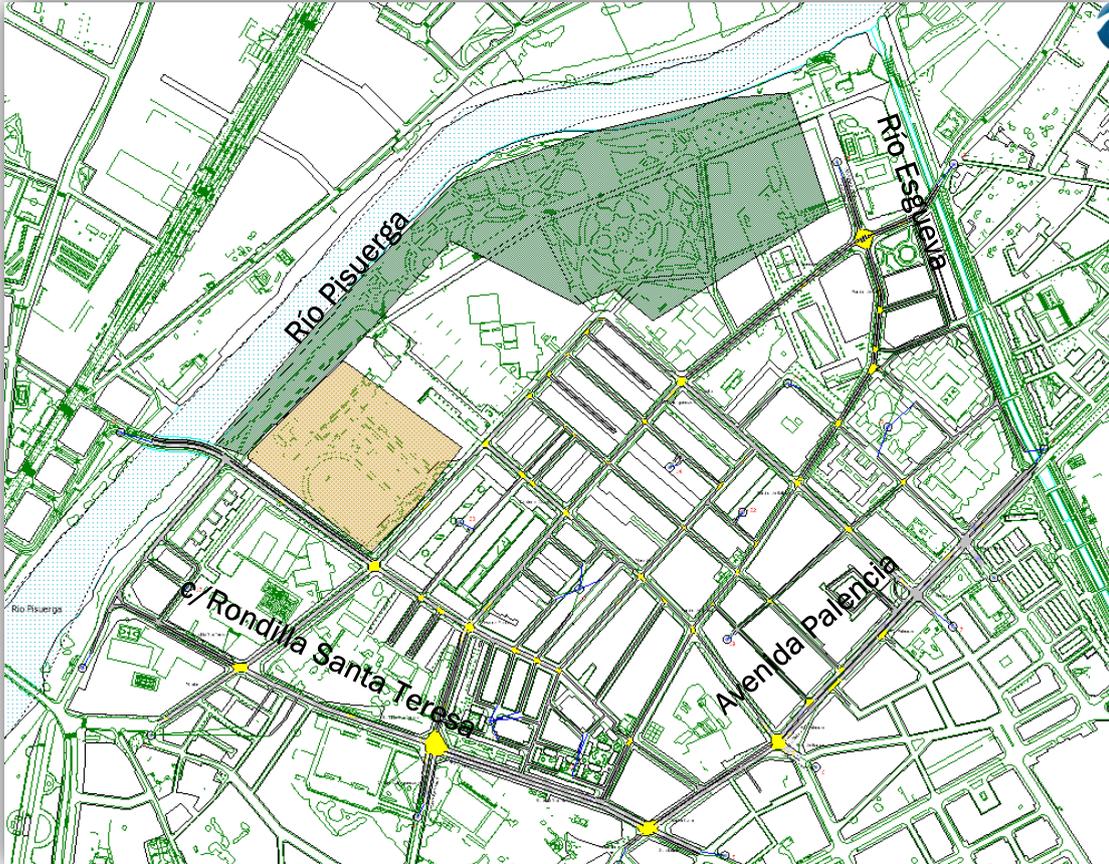


Figura 5.11: Modelado final de la red en AIMSUN

Sobre el plano de la red en formato CAD, las carreteras han sido representadas mediante secciones que se unen entre sí según las características viarias de la zona de estudio para formar intersecciones, en las que posteriormente se añadirán los correspondientes ciclos semafóricos.

Cada vía del modelo tiene asignadas unas características determinadas como se puede ver en la figura 5.12. Estas características son las que van a definir el comportamiento de nuestra red a la hora de las correspondientes simulaciones, y que van a ser fundamentales en el proceso de calibración y validación del modelo.

Entre estas características, podemos destacar la **capacidad de la vía** y la **velocidad máxima de vehículos**, que serán los parámetros con los que trabajaremos principalmente para el citado proceso de calibración.

Tipo de Vía: 170, Nombre: Arterial

Principal

Nombre: Arterial Id externo: Clase Funcional: 3

Parámetros por defecto

Velocidad Máxima: 50 km/h Capacidad (por carril): 900 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: 100 metros

Modelo Macroscópico

Función de demora: 98: VDF 25 Volumen adicional: 0 PCUs

Arcén

Derecho: Ninguno Anchura:

Izquierdo: Ninguno Anchura:

Información

9 secciones usan este tipo de carretera

Actualizar Secciones Aceptar Cancelar

Figura 5.12: Parámetros del Tipo de Vía de la red

Una vez modela la geometría de la red, se definieron todas las intersecciones de la misma, las cuales condición en gran parte los resultados de la simulación. Para ello, además de ver y recorrer in situ la zona de estudio, se utilizó Google Maps para tener en cuenta todos los posibles movimientos de los vehículos en cada una de estas intersecciones. A continuación, podemos ver un ejemplo del modelado de las distintas intersecciones de la red.

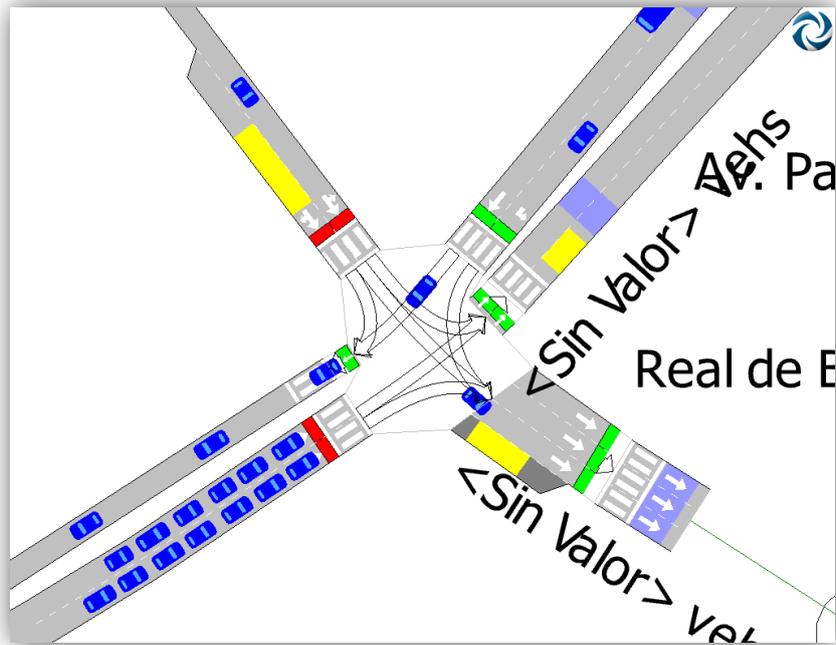


Figura 5.13: Ejemplo del modelado de intersecciones en la intersección 203 de la red

Por último, se incluyó el plan de control semafórico de la zona, aportado de nuevo por el Gabinete de Movilidad Urbana del Ayuntamiento de Valladolid, con el que trabajaremos en el capítulo siguiente para conseguir optimizar nuestra red.

Además del plan de control semafórico, se incluyeron las correspondientes señales de stop, ceda el paso y pasos de peatones de la red.

5.2.3.5.- MODELADO DE LA DEMANDA DE TRÁFICO

A la hora de definir la demanda de tráfico, esta se puede modelar de dos formas, mediante Estados de tráfico o Matrices Origen-Destino (Matrices O/D)

Las características y diferencias entre ambos tipos de modelado se explicaron en el capítulo 2.

Para nuestro estudio, definimos la demanda de tráfico de la zona mediante **Matrices O/D**, ya que es la forma que mejor se adapta a las características de nuestra red y con la que se trabaja más fácilmente a la hora de conseguir una validación alta que represente fielmente la realidad.

Esta Matriz Origen-Destino con la que vamos a trabajar, es una matriz que relaciona el número de vehículos que van desde cada origen hacia cada destino a través de una serie de puntos, denominados **centroides**.

Así, la configuración final de la red para nuestro estudio consta de 22 centroides, dispuestos como se puede observar en la figura siguiente.

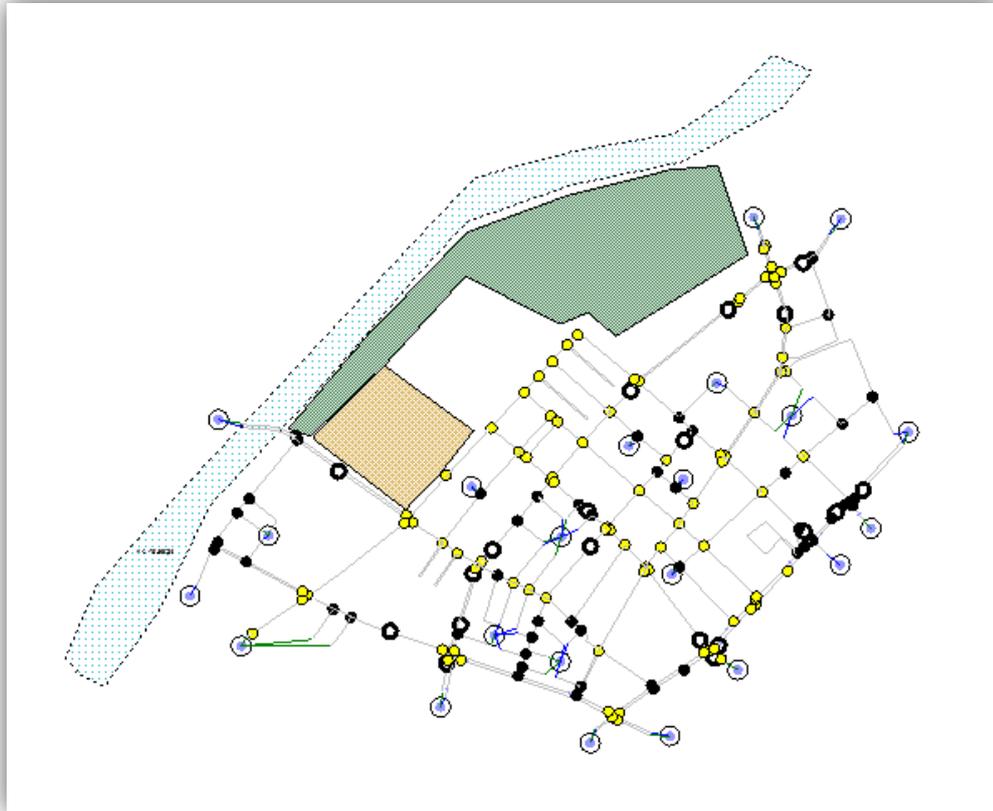


Figura 5.15: Situación final de los centroides en la red

Asimismo, debido a la dificultad en el proceso de toma de datos para calcular nuestra matriz O/D, se partió de nuevo inicialmente de la matriz O/D de la zona de la Rondilla de la que se disponía de proyectos anteriores de la misma zona de estudio, obtenida a partir de encuestas realizadas con anterioridad.

Esta matriz O/D inicial la podemos ver en la figura siguiente.



Figura 5.17: Situación final de las espiras de la red en AIMSUN

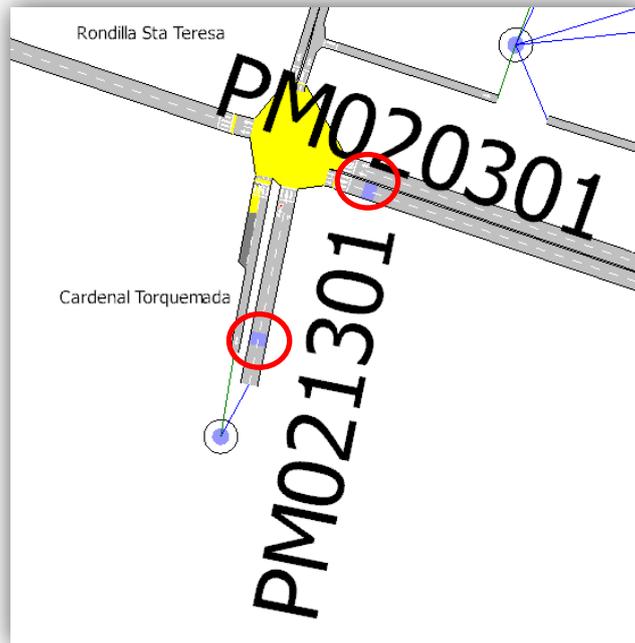


Figura 5.18: Localización de las espiras PM20301 y PM21301 en AIMSUN

De este modo y mediante el proceso de ajuste que acabamos de mencionar, a partir de las matrices de la zona definidas en otros proyectos a través de encuestas y de los datos de las espiras e IMD cedidas por el Ayuntamiento de Valladolid, resulto la matriz O/D final para nuestro modelo y con ella la demanda de tráfico.



A continuación, en la figura 5.19 podemos ver el resultado final de esta matriz en AIMSUN.

	08: Zon	09: Zon	10: Zon	11: Zon	12: Zon	14: Zon	15: Zon	16: Zon	19: Zon	20: Zon	21: Zon	22: Zon	23: Zon	24: Zon	25: Zon	26: Zon	: Zona 2	28: Zon	29: Zon	30: Zon	Total
16907: Zona 1	36	18			58.400	18	32	4	4	0.800	5.600	1.600	10	8	1.600	4	2.400	4	10	30	248.400
16909: Zona 3	280		75	325	270	20	45	3	4	4	8	3.200	4	14	13.600	10	5.600	2	16		1102.400
16910: Zona 4	78	19		100	51.200	6	18	2			0.800			2	2.400	2	2.400	4	10	24	321.800
16911: Zona 5	660	75			160	18	46	10	12.800	4.800	9.600	5.600	26	40	8	12	7.200	32	14	100	1241.000
16913: Zona 7	122	45			85	85	185	18	7.200	16.800	6.400	4.800	12	18	28	8	9.600	8	12	96	766.800
16915: Zona 9	125	65			135	200		40	15	19	15	17	22	22	7	28	15	17	48	34	824
16916: Zona 10	10.800	6			14.400	2			0.800	0.800	0.800			2		2	0.800	2	30	24	96.400
16919: Zona 13	10.800	2			1.600	16	4	2					2						10	4	52.400
16920: Zona 14	32.400	6			11.200	6	14	1			0.800				1.600		0.800	6	8		87.800
16921: Zona 15	32.400				16	10	6	6												8	78.400
16922: Zona 16	18				11.200	2	4	3					2				0.800		14	16	71.000
16923: Zona 17	23.400				19.200		2	1		0.800							0.800		8		55.200
16924: Zona 18	36				17.600	14		1										4	6	20	98.600
16925: Zona 19	22.680				16.800	1.400	12.600	2		0.560			2.800		1.120		0.560	2.800	7		70.320
16926: Zona 20	14.400				27.200	6	10	1		1.600					4		4	4		8	80.200
16927: Zona 21 y 22	22.680				13.440	9.800	7	2										1.400	5.600	12.600	74.520
16928: Zona 23	19.800					6	2												8		35.800
16929: Zona 24	26.460	22.400				19.600	15.400	24			11.200					21			18.200	32.200	190.460
16930: Zona 25	32.400	20			101.100	34	57	12		9.600		7.200	22	22	9.600	46	6.400	18			397.300
Total	1603.200	278.400	75	425	1009.300	467.800	464	134	43.800	58.760	58.200	39.400	102.800	128	76.920	133	56.360	105.200	224.800	408.800	5892.800

Figura 5.19: Matriz O/D final de nuestra red en AIMSUN

5.2.3.6.- PLAN DE CONTROL SEMAFÓRICO Y TRANSPORTE PÚBLICO

Para nuestro modelo y teniendo en cuenta tanto los límites del barrio que seleccionamos para nuestro estudio como los datos relativos a las intersecciones semafóricas en la zona, van a existir dentro de estos límites 15 intersecciones semaforizadas.

Estas intersecciones dentro del subárea de la Rondilla son por tanto las que se deberán tener en cuenta y con las que trabajaremos en el capítulo siguiente, especialmente las situadas en las vías arteriales del barrio (Rondilla Santa Teresa-Avenida Palencia) para presentar las correspondientes propuestas de tráfico. A continuación, podemos ver en la figura 5.20 parte del plano cedido por el Ayuntamiento de Valladolid, el cual se encuentra completo en el anexo, con las intersecciones semaforizadas del subárea de la Rondilla representados en color verde.

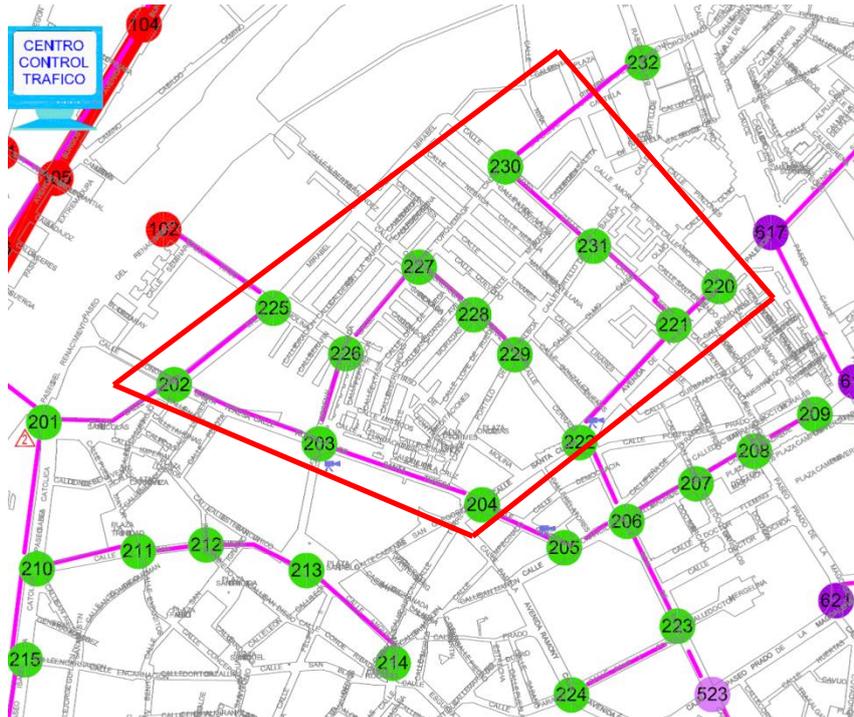


Figura 5.20: Plano de control semafórico del subárea de la Rondilla cedido por el Ayuntamiento de Valladolid

En cuanto al proceso de modelado del **plan de control semafórico**, se definieron para cada intersección semaforizada los distintos grupos semafóricos, a partir de los planos de control del tráfico rodado de la zona y según lo expuesto en el capítulo 4 sobre el modelado del software AIMSUN.

A continuación, detallamos el proceso de desarrollo para la intersección 203 de nuestra red.

En primer lugar, se deberán definir para cada una de estas intersecciones, en este caso la denominada 203 que hace referencia al cruce entre c/Cardenal Torquemada y c/Rondilla Santa Teresa, los diferentes giros permitidos en cada una de estas intersecciones juntos con los pasos de peatones, es decir, en definitiva los diferentes ‘ciclos’ de los grupos semafóricos, que AIMSUN denomina como ‘Signal’.

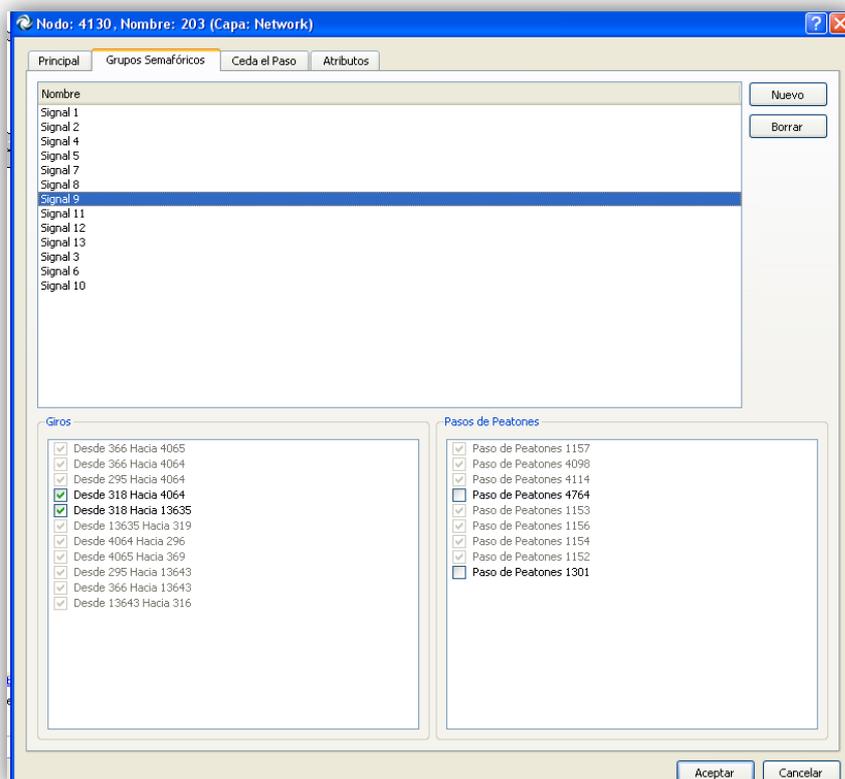


Figura 5.21: Ejemplo de modelado del grupo semafórico de la intersección 203 en AIMSUN

Una vez definidos los grupos semafóricos, se definirán los respectivos diagramas de fase mediante el tiempo de ciclo, el desfase o los tiempos de verde entre otros parámetros. Podemos ver en la figura 5.22 el ejemplo para la intersección 203.

Toda la información relativa a los diagramas de fase de la red está recogida como dijimos en el Anexo de este trabajo, donde se adjuntan completos los datos de cruces semafóricos cedidos por el Gabinete de Movilidad Urbana del Ayuntamiento de Valladolid.

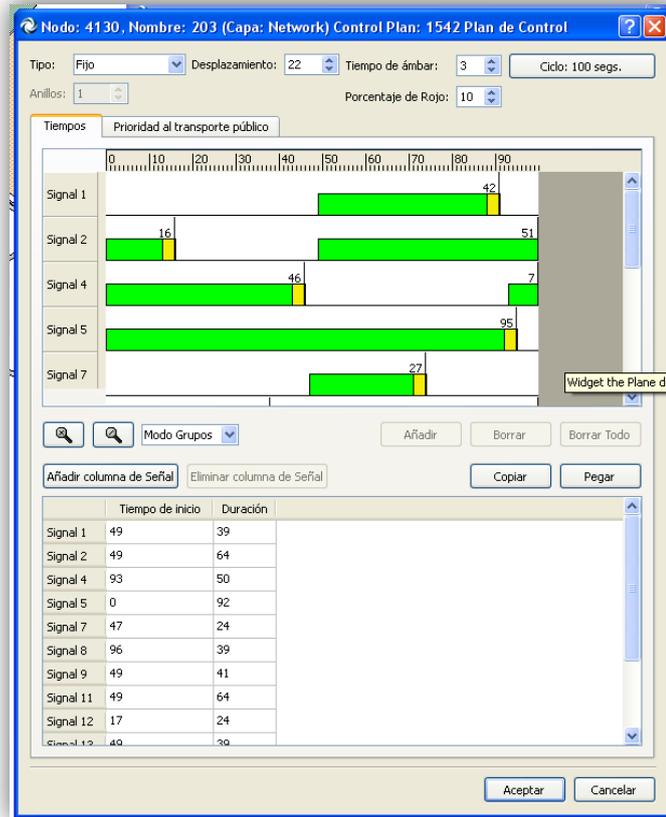


Figura 5.22: Ejemplo del diagrama de fases de la intersección 203 en AIMSUN

Respecto al **plan de transporte público**, y para tener en cuenta su influencia en el tráfico rodada del barrio, se crearon las correspondientes líneas de transporte público cuya trayectoria discurría principalmente por la zona de estudio, modelando en la red para ello los recorridos y paradas por las que circulan estas líneas.

De nuevo para el modelado en este caso del plan de transporte público se siguieron los pasos según lo expuesto en el capítulo 4 sobre el modelado del software AIMSUN. A continuación, podemos ver un ejemplo de la ruta de Ida de la Línea 17 de AUVASA que atraviesa la zona por las calles Cerrada y Cardenal Torquemada.

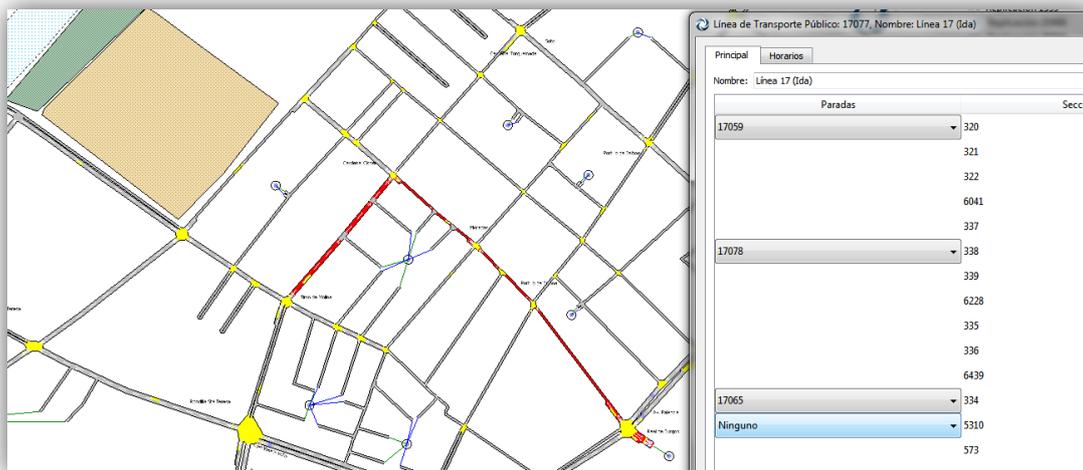


Figura 5.22: Ejemplo del modelado de las Línea 17 de Ida del transporte público

En total se crearon 9 líneas de autobús, que incluyen las líneas 1, 2, 17, 18, C1 y C2, tanto de Ida como de Vuelta. Esta información fue recogida de la página web de AUVASA (Autobuses Urbanos de Valladolid) que es la empresa encargada de las líneas de bus de la ciudad.

5.2.3.7.- PARAMETROS DE EJECUCIÓN DE LA SIMULACIONES

Para llevar a cabo la simulación de cualquier modelo de la red, se debe crear un escenario, un experimento y las correspondientes replicaciones. En caso de crear varias replicaciones para nuestra red, también estará la opción de crear una media de las distintas replicaciones. Para nuestro modelo se definieron un total de **3 replicaciones y su correspondiente media**.

El escenario de nuestra red estará definida como podemos observar en la siguiente figura, en la que van a estar adjuntas la demanda de tráfico, el plan de transporte público y el plan de control maestro o plan de control semafórico.

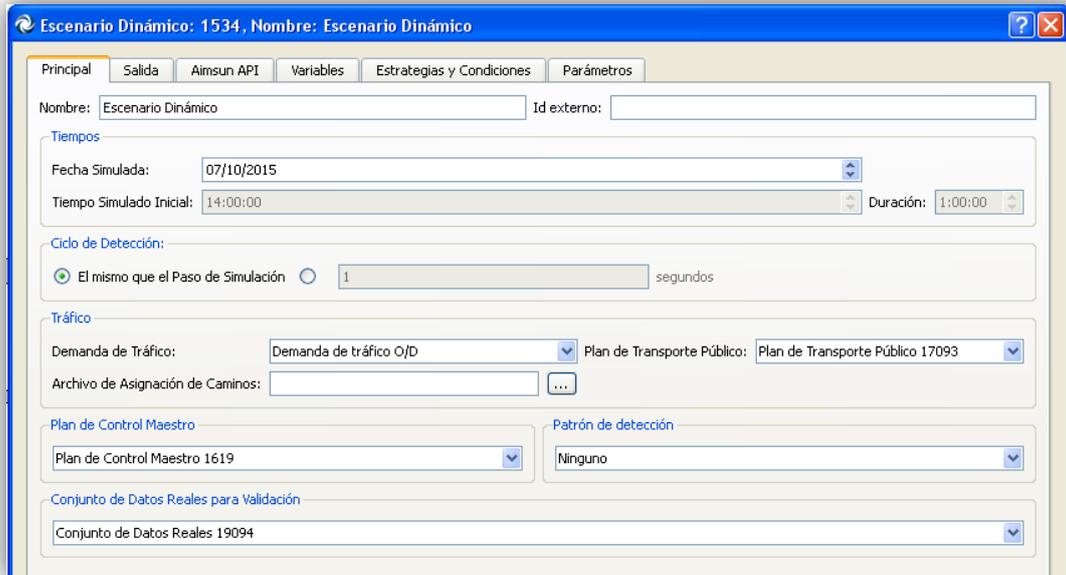


Figura 5.23: Parámetros principales del Escenario Dinámico.

En la siguiente pestaña del escenario dinámico se definirá el intervalo de tiempo de medición, tanto en los detectores como en el resto de parámetros o estadísticas. AIMSUN creara como salida de estos resultados un archivo ACCESS donde se recogerán todos los parámetros simulados de la red.

Para nuestra red hemos decidido trabajar con **un intervalo de 30 minutos**.



Figura 5.24: Parámetros de salida del Escenario Dinámico.

5.3.- VERIFICACION, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN

En primer lugar, vamos a realizar una breve definición de lo que significa cada una de estas etapas que llevaremos a cabo para nuestro modelo.

- ✓ **Verificar**, va a consistir en realizar la comprobación de que los elementos introducidos en la red, se correspondan a la realidad de la zona de estudio que se quiere modelar.
- ✓ **Calibrar**, va a hacer referencia al ajuste y las pruebas de los parámetros del modelo, con los que conseguir una validación aceptable para nuestra red.
- ✓ **Validar**, hace alusión a la comprobación de la calidad del modelo, comparando para ello los datos reales de los que se dispone con los resultados obtenidos a partir de las distintas simulaciones.

5.3.1.- VERIFICACIÓN DEL MODELO

Para el proceso de verificación se consideró tanto la geometría de la red como la demanda de tráfico y los planes de control semafórico y transporte público. Este proceso se realizó teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- **Edición del modelo**

Se comprobó que todos los elementos de la red se encontraban correctamente definidos. Para ello, se tuvieron en cuenta secciones, tipos de vías, centroides, matriz O/D, etc.

- **Comprobación de los datos de entrada respecto a la realidad**

En lo referente a la geometría de la red, esta se importó a partir de los planos en formato CAD de la ciudad de Valladolid facilitados por el Gabinete de Movilidad Urbana del Ayuntamiento de Valladolid.

En el caso de la demanda de tráfico, esta se modela a partir de los datos reales de IMD que nos aportaron, al igual que el plan de control semafórico.

Por último, el plan de transporte público se consiguió a través de la página web de la empresa encargada de ello en la ciudad de Valladolid (AUVASA)

- **Comprobación de la descripción del modelo respecto a los objetivos de estudio**

De acuerdo a los objetivos del estudio, para la geometría de la red se tomó un área suficientemente grande y cuyos límites abarcaran toda la extensión del barrio de la Rondilla.

En cuanto a la demanda de tráfico, se modeló con la matriz O/D ajustada de la figura 5.19, a partir de los centroides de las zonas definidas para nuestro estudio con intervalos de tiempo de 30 min que describieron correctamente los resultados de la red.

A la hora de realizar la simulación, se tuvo en cuenta el factor de hora punta como hemos mencionado anteriormente y por tanto el momento más desfavorable del día en cuanto a la circulación del tráfico rodado, realizando de este modo la simulación en el intervalo de 14:00 a 15:00, como se ve en las figuras 5.9 y 5.10.

5.3.2.- CALIBRACIÓN DEL MODELO

Para el proceso de calibración del modelo, se realizaron ajustes a todos los parámetros de tráfico de la red a partir de ensayos de prueba y error.

El objetivo principal de este proceso de calibración es el de obtener una validación alta de la red que represente fielmente la realidad de la zona de estudio. Para ello, se han debido tener en cuenta todas las características de la zona de estudio:

- ✓ Problemas o incidencias de tráfico en la red como aglomeraciones o colas de vehículos que puedan suceder en la vía.
- ✓ Comportamiento y reacción de los conductores en cuanto a una intersección, un semáforo e incluso en cuanto a velocidades y tiempos de reacción de los mismos.
- ✓ Tiempos y número de descargas de vehículos en los distintos semáforos de la red.

Para tener en cuenta todas estas características, AIMSUN va a contar con una gran cantidad de parámetros de calibración. A continuación exponemos los de mayor importancia, agrupados en tres grupos:

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



5.3.2.1.- PARAMETROS DE LOS VEHICULOS

Estos parámetros van a ser muy importantes para la simulación, ya que van a ser lo que determinen el comportamiento de los vehículos de la red, y por tanto van a influir en la velocidad, longitud de colas, tiempos de viaje o capacidades de la vía entre otros. Así tenemos:

- **Longitud y anchura.** Son los parámetros geométricos que representan las dimensiones de los vehículos. Se encuentran referidos en metros.
- **Velocidad máxima deseada.** Es la velocidad 'cómoda' para los conductores, a la que circularían si no fuese por las restricciones de la vía.
- **Desaceleración normal y máxima.** Son los valores de la desaceleración en condiciones óptimas de los vehículos.
- **Aceptación de velocidad.** Parámetro que hace referencia al % de velocidad en que se puede sobrepasar la velocidad de la vía.

Un valor mayor de 1 significa que existe probabilidad de que los vehículos circulen a una velocidad mayor de lo que permite la vía. Para nuestro caso hemos escogido un valor de 1.1, que nos indica que los vehículos circularan a una velocidad un 10% superior a la velocidad permitida, siempre y cuando las condiciones del tráfico lo permitan.

- **Distancia mínima entre vehículos.** Va a ser la distancia entre dos vehículos, cuando estos se encuentran parados. Se encuentran referidos en metros.
- **Tiempo de ceda el paso.** Es el tiempo en el cual un vehículo permanece parado en una situación de ceda el paso, en el que las condiciones del tráfico no le permitan avanzar.
- **Aceptación de guiado.** Hace referencia a la probabilidad de que los vehículos sigan las recomendaciones de la vía.
- **Factor de sensibilidad.** Hace referencia a la componente de desaceleración respecto al vehículo que circula delante.
- **% PCU (Passenger Car Unit).** Expresa la capacidad asignada para cada de vehículo. En el caso de los coches por ejemplo, se toma un valor igual a 1.

En las siguientes figuras podemos ver los valores que se han tomado para nuestro modelo.

✓ Para coches y furgonetas:

Tipo de Vehículo: 62, Nombre: car

Nombre: car 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 Deseada	110	10	80	150	km/h
Aceleración Máxima	3	0.2	2.6	3.4	m/s ²
Desaceleración Normal	4	0.25	3.5	4.5	m/s ²
Desaceleración Máxima	6	0.5	5	7	m/s ²
Aceptación de Velocidad	1.1	0.1	0.9	1.3	
Distancia Mínima entre Vehículos	1	0.3	0.5	1.5	metros
Tiempo de Ceda el Paso	10	2.5	5	15	Secs
Aceptación de Guiado	75	10	65	90	%
Factor de Sensibilidad	1	0	1	1	
Intervalo mínimo de tiempo entre vehículos	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

Aceptar Cancelar

Figura 5.25: Parámetros para Coches

✓ Para autobuses y camiones:

Tipo de Vehículo: 64, Nombre: bus

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 Deseada	90	10	80	120	km/h
Aceleración Máxima	1	0.3	0.8	1.8	m/s ²
Desaceleración Normal	2	2	1.5	4.8	m/s ²
Desaceleración Máxima	5	2	4.5	8	m/s ²
Aceptación de Velocidad	1	0.1	0.9	1.1	
Distancia Mínima entre Vehículos	1.5	0.5	1	2.5	metros
Tiempo de Ceda el Paso	50	20	30	80	Secs
Aceptación de Guiado	75	10	65	90	%
Factor de Sensibilidad	1	0	1	1	
Intervalo mínimo de tiempo entre vehículos	0	0	0	0	Secs

Después de adelantamiento, porcentaje de permanencia en el Carril Rápido: 0 % Vehículos equipados: 0 %

Casos de adelantamiento por el carril lento: 0 % Tolerancia de cruce: 0.8 m/s²

Casos de Cambios de Carril Imprudentes: 0 % PCUs: 2.5

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

Aceptar Cancelar

Figura 5.26: Parámetros para Buses y Camiones

5.3.2.2.- PARAMETROS GLOBALES

Este tipo de parámetros se van a definir en el Experimento y van a ser:

- **Calentamiento**

Va a hacer referencia al tiempo ficticio anterior al inicio del periodo de simulación durante el que han estado circulando vehículos virtualmente. Esto quiere decir que la simulación no comienza con una red vacía, sino que a la hora de los resultados, la simulación cuenta este periodo anterior. En nuestro caso se asignó un calentamiento inicial de **10 minutos**, como se puede observar en la siguiente figura.

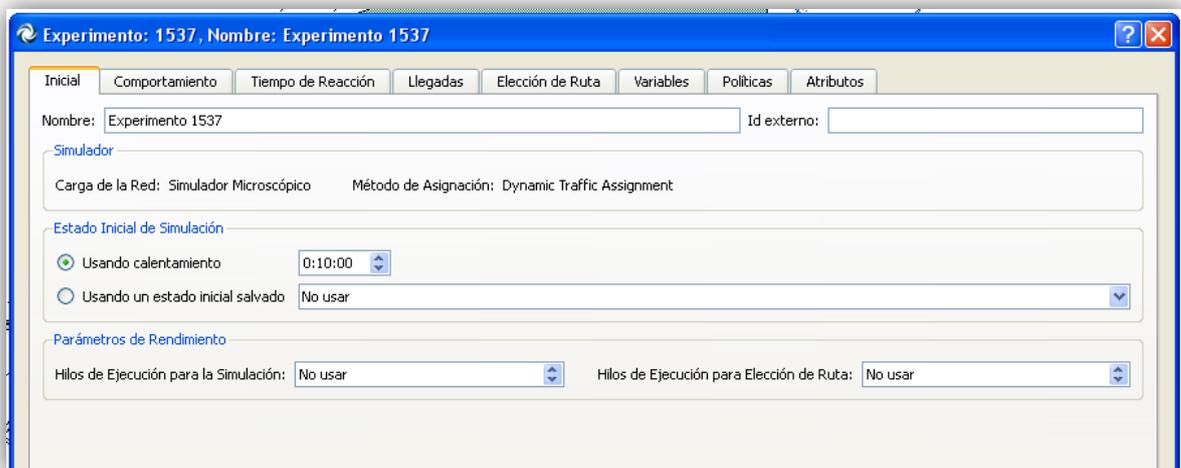


Figura 5.27: Detalle del tiempo de calentamiento de la simulación

- **Paso de simulación**

Va a ser el intervalo de tiempo durante el cual no se representan vehículos en la red; este se va a expresar en segundos. En nuestro caso se asignó un paso igual a **0,75 segundos**.

- **Tiempo de reacción**

Va a ser el tiempo que discurre sin que los vehículos tomen decisiones en cuanto a su ruta. Se puede distinguir por tipo de vehículo e influye en la capacidad de la sección. En nuestro caso y al igual que el paso de simulación, se asignó un tiempo de **0,75 segundos** para todo tipo de vehículos.

- **Tiempo de reacción en parada**

Va a ser el tiempo que tarda un vehículo en reanudar la marcha desde que reanuda la marcha el que se encuentra delante. Este parámetro va a ser determinante en la medida de formación de las colas de vehículos. En nuestro caso se asignó un tiempo de **1,6 segundos** para todo tipo de vehículos.

- **Tiempo de reacción para el primer vehículo en un semáforo**

Va a ser el tiempo que un vehículo tarda en reanudar la marcha, desde que el semáforo se encuentra en verde. En nuestro caso, se asignó un valor de **1,35 segundos** para todo tipo de vehículos.

En la siguiente figura se pueden ver los valores de todos estos parámetros:

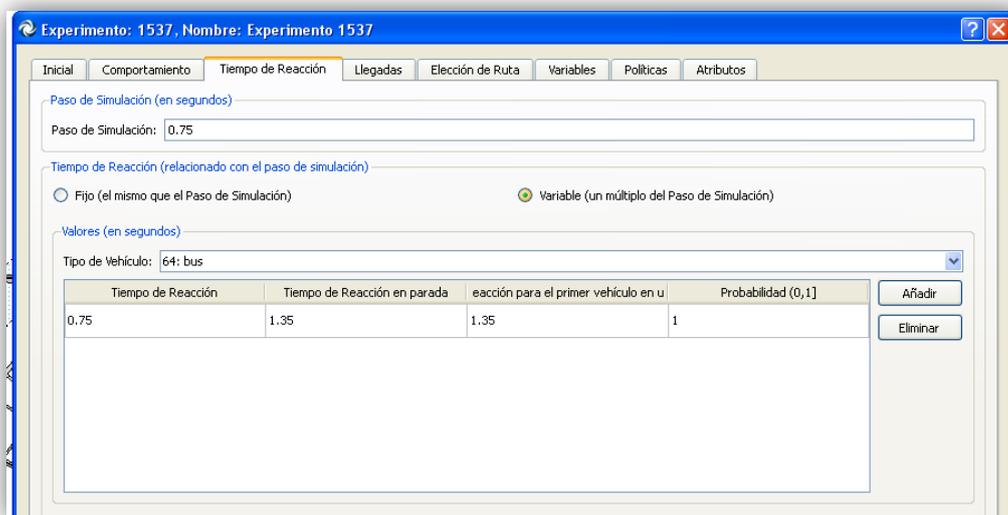


Figura 5.28: Valores para el Tiempo de reacción del Experimento

- **Llegadas de los vehículos**

Se trata de la manera en la que se van a introducir los vehículos a la hora de simular la red. En función de los objetivos del estudio, AIMSUN dispone de las siguientes opciones:

- ✓ **Exponencial:** Introducirá los vehículos en la red de forma aleatoria. Normalmente es la forma más utilizada, y es la que hemos elegido en nuestro caso al adaptarse perfectamente a los objetivos de nuestro estudio.
- ✓ **Uniforme y normal:** Son similares a la exponencial, pero se ajustan en menor medida a la realidad del tráfico vehicular.

- ✓ **Constante:** Introducirá vehículos de forma constante, como por ejemplo pudiera suceder a la salida de un centro comercial.
- ✓ **ASAP (As Soon As Possible):** Introducirá vehículos en la red de forma inmediata, como por ejemplo a la salida de conciertos o eventos deportivos, en los que salen todos los vehículos a la vez.

En la siguiente figura podemos ver de forma gráfica las distintas opciones que ofrece AIMSUN:

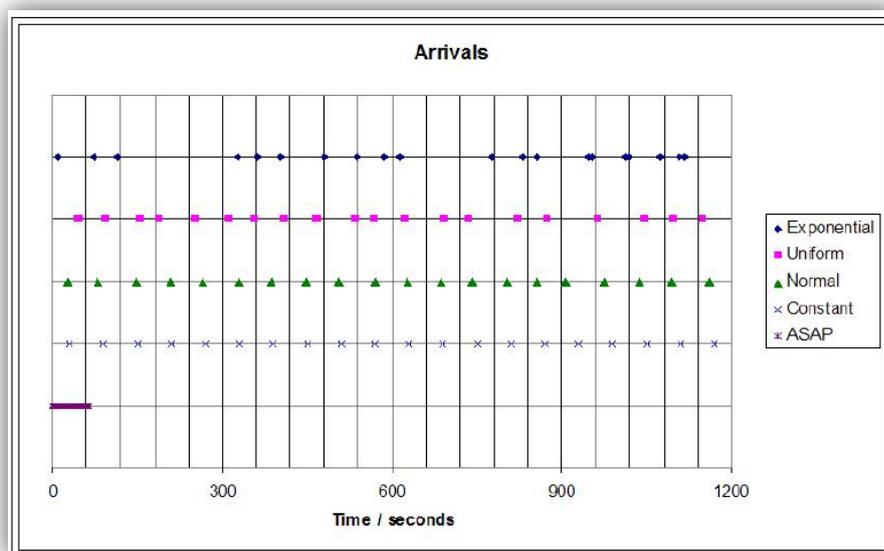


Figura 5.29: Forma de introducir vehículos en la simulación

- **Tiempo de ciclo y número de intervalos**

En la pestaña 'Elección de Ruta', vamos a poder configurar tanto el tiempo de ciclo como el número de intervalos de la red, que van a ser fundamentales a la hora de interpretar los resultados de las simulaciones.

Este **Tiempo de ciclo** va a ser el tiempo que toma la simulación para enrutar a los vehículos hacia las rutas de menor coste. En nuestro caso se tomó un tiempo de ciclo de 30 minutos.

El **número intervalos** por su parte va a ser el número de periodos, de duración el tiempo de ciclo, que el software emplea para calcular costes. En nuestro caso se tomó un número de intervalos igual a 1.

En este apartado vamos a poder definir también los pesos de estos costes. En nuestro caso para el **peso de la atractividad (Y)** y el **peso del coste definido por el usuario (K)** tomaremos un valor igual a 0 y 1 respectivamente.

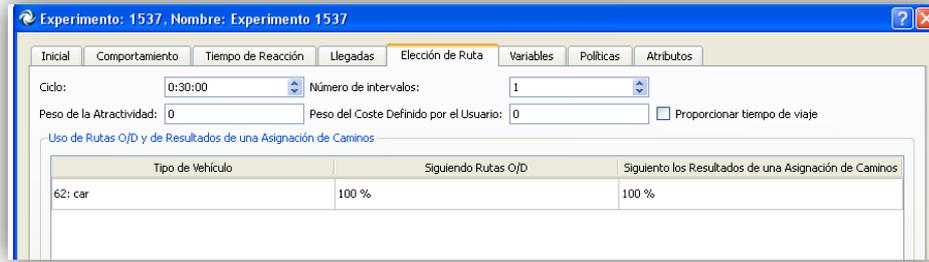


Figura 5.30: Ciclo, Numero de intervalos y Pesos del Experimento

- **Capacidad y Coste Definido por el Usuario**

En un modelado microscópico las rutas se van a asignar de forma dinámica en función del coste de estas, calculado dicho coste como vimos en el capítulo 2, de la siguiente manera:

$$Coste = Tv + Tv Y (1 - Aj / Amax) + K Cu$$

De esta expresión se determinara la **capacidad de las vía** que iremos ajustando a la hora de calibrar el modelo y el **coste definido por el usuario (Cu)**, que en nuestro caso tomaremos un valor igual a 0.

Estos dos parámetros se van a definir en el cuadro de opciones de cada sección de las vías, como se muestra a continuación:

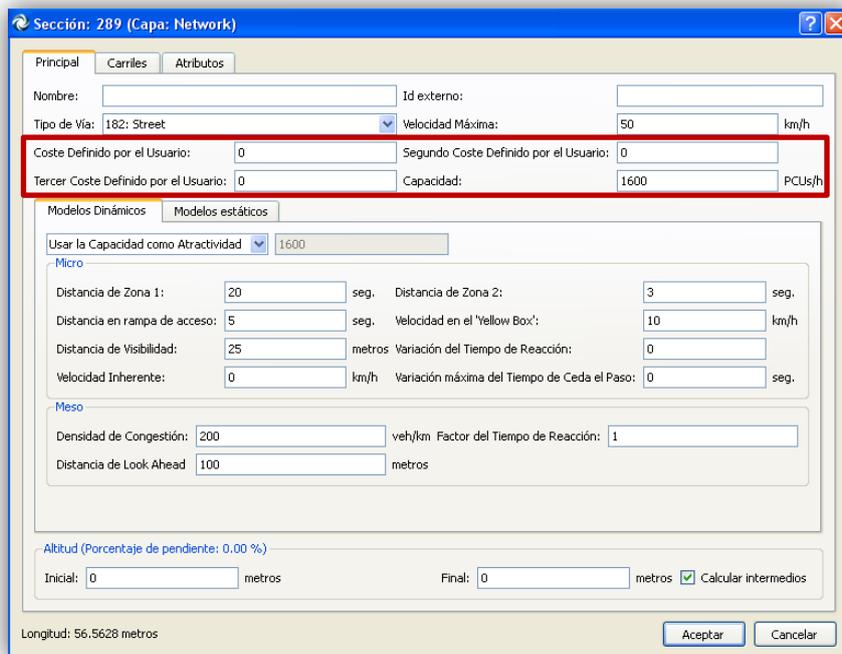


Figura 5.31: Capacidad y coste definidos por el usuario en cada sección de la red



5.3.2.3.- PARAMETROS LOCALES

Por último, los parámetros locales que vemos a continuación, van a hacer referencia a parámetros de secciones, nodos o intersecciones.

➤ SECCIONES

- **Límite de velocidad**

Va a ser el factor que determina la velocidad de los vehículos y por tanto el tiempo de viaje. Se deberá especificar la velocidad real a la que circulan los vehículos en la zona de estudio, aunque este dato no sea el que marque la ley, ya que se pretende representar la realidad.

Para nuestra simulación se ha escogido dar a toda la zona de estudio una **velocidad de 50 km/h.**

- **Capacidad de la sección**

Hace referencia al máximo volumen de vehículos por hora que pueden circular por una vía, teniendo en cuenta las características de la red y las condiciones meteorológicas y del tráfico. La capacidad va a influir en los principales resultados de la simulación como el tiempo de viaje o la longitud de colas.

A continuación, podemos ver en la siguiente figura el mapa de la capacidad de las vías de la red, donde el grosor de línea va a reflejar la capacidad de las vías en PCU/h (Passenger Car Unit), cuyos valores van a oscilar entre 0 y 2700 Pcu/h. En este caso colores más oscuros y líneas más gruesas, van a representar mayores valores.



Figura 5.32: Capacidad de las vías de la red en AIMSUN

- **Distancia en las zonas cambio de carril**

El proceso de decisión de cambio de carril se va a realizar usando tres zonas definidas en función de la distancia al giro más próximo (en segundos). En función de estas zonas, los vehículos tendrán un tipo de motivación diferente con respecto al cambio de carril, como vemos a continuación:

- ✓ **Zona 1.** En esta las decisiones son tomadas en función de condiciones de tráfico como velocidad, número de vehículos, etc.
- ✓ **Zona 2.** En esta la proximidad a un giro aumenta las probabilidades de un vehículo de cambiar de carril si tiene espacio suficiente.
- ✓ **Zona 3.** En esta los vehículos deben girar obligatoriamente y forzaran un hueco si fuera necesario.

Estas zonas se van a definir para cada sección de la siguiente manera:

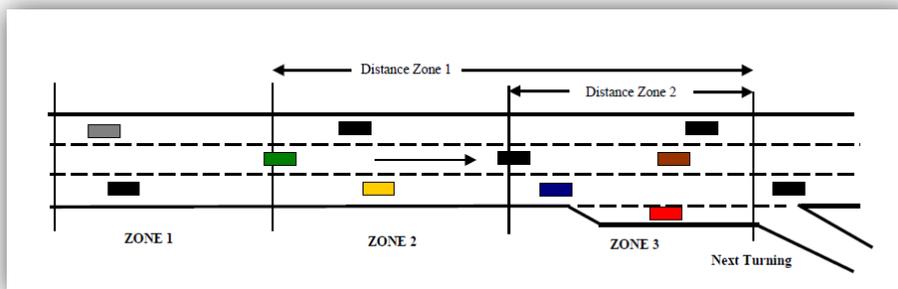


Figura 5.33: Distancia a las zonas de cambio de carril

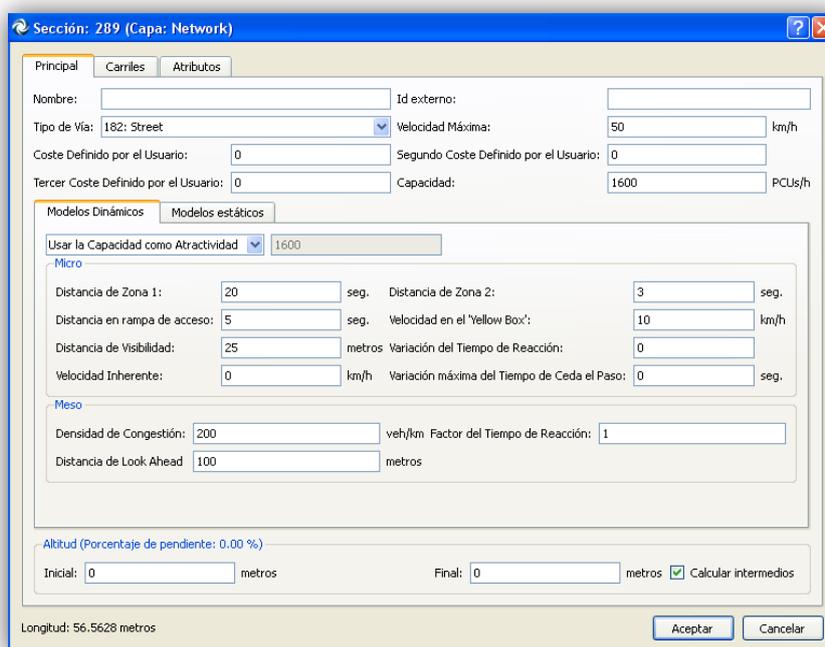


Figura 5.34: Definición de zonas de cambio de carril en AIMSUN

➤ NODOS O INTERSECCIONES

- **Yellow box**

Se trata de nodos en los que no se va a permitir la parada de vehículos dentro de éste. Estos ‘Yellow box’ se van a emplear por tanto, para prevenir que los vehículos no bloqueen la intersección y evitar de este modo que puedan producirse excesivas colas de vehículos en las intersecciones.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de intersección tipo yellow box.

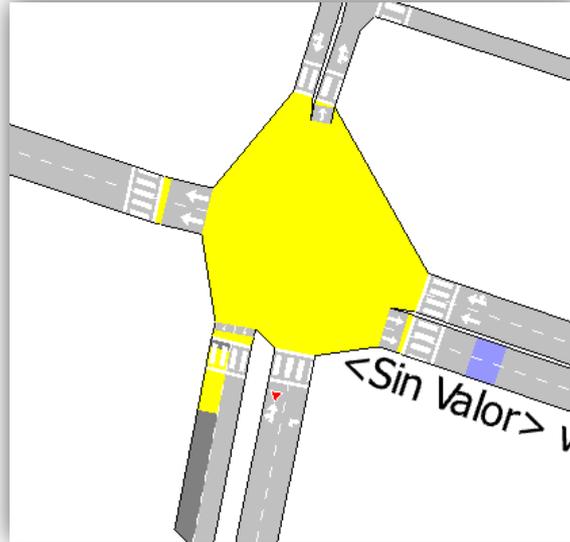


Figura 5.35: Nodo tipo yellow box

- **Líneas de parada**

Se trata de líneas que se situaran en el giro de un determinado carril y controlan que cuando el semáforo que regula el giro se encuentre en ámbar, los vehículos paren en este punto antes de atravesar la intersección, de forma que evitamos que se pueda bloquear la intersección. En nuestro caso, estas líneas de parada no fueron necesarias.

- **Velocidad de giro**

Se trata de la velocidad a la que circularan los vehículos dentro del nodo. Esta velocidad de giro determinara entre otros parámetros, el tiempo de viaje de la simulación.

- **Porcentaje en rojo**

Va a determinar la agresividad de los conductores ante un semáforo. Para ello se debe tener en cuenta el tiempo de ámbar, que para nuestro estudio hemos tomado como un tiempo fijo de 3 segundos.

Como ejemplo, un porcentaje en rojo del 15% nos va a indicar que durante el 15% del tiempo de ámbar (0,45 segundos), los vehículos interpretan que el semáforo se encuentra en rojo, y el resto del tiempo (2,55 segundos), interpretan que se encuentra en verde.

Para determinar este parámetro va a ser importante conocer bien la zona de estudio, para conocer cuál es el comportamiento de los conductores. Para nuestro

caso, se determinó que todo el tiempo de ámbar era verde para los vehículos y por tanto se dio un valor de **0 segundos** a este parámetro.

- **Desplazamiento o Desfase**

Va a determinar el inicio del ciclo semafórico en una intersección, con respecto a las intersecciones anteriores y posteriores. En nuestro caso este dato va a estar incluido en los planes de control semafóricos que nos fueron facilitados por el Gabinete de Movilidad Urbana.

➤ **REPRESENTACION GEOMETRICA**

Por último, hay que tener en cuenta que siempre se debe modelar la geometría de la red de la forma más simple, representando los cruces de forma sencilla o las diferentes secciones con la menor distancia y el menor número de vértices posibles, como podemos ver en la figura

De esta modo, evitaremos por ejemplo las colas y con ellas los correspondientes atascos o interrupciones en la red.

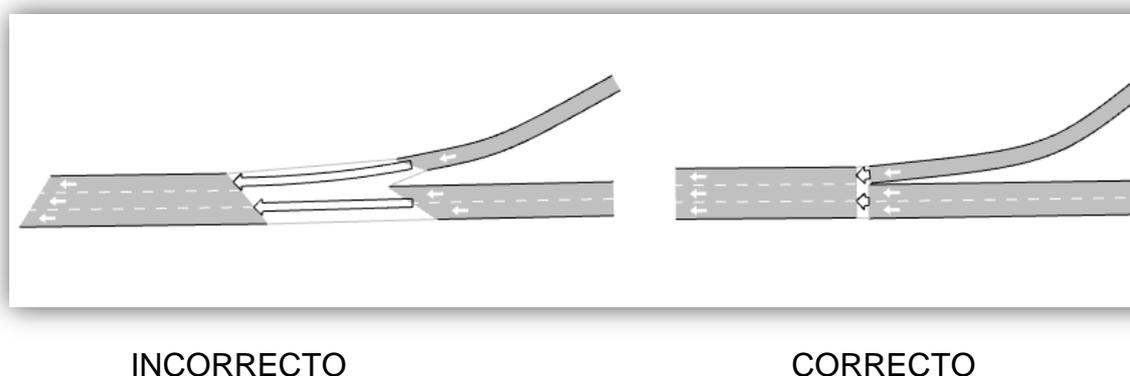


Figura 5.36: Tipos de representación geométrica de las secciones de la red

5.3.3.- VALIDACIÓN DEL MODELO

5.3.3.1.- MÉTODO DE VALIDACIÓN

El proceso de validación de nuestra red se va a realizar mediante regresión lineal, la cual nos va a permitir modelar y comprobar la relación entre dos o más variables.

En nuestro caso, realizamos la correspondiente validación para comprobar la validez de los datos de la simulación respecto a la realidad. Para ello representamos los datos mediante puntos pares de valores (x, y) donde:

- ✓ **x**: variable dependiente, que hace referencia a los datos reales de espiras.
- ✓ **y**: variable independientemente, que hace referencia a los datos recogidos en los detectores situados en la red, de forma análoga a las espiras en la realidad.

De esta forma, representados gráficamente nos queda una regresión como la de la figura:

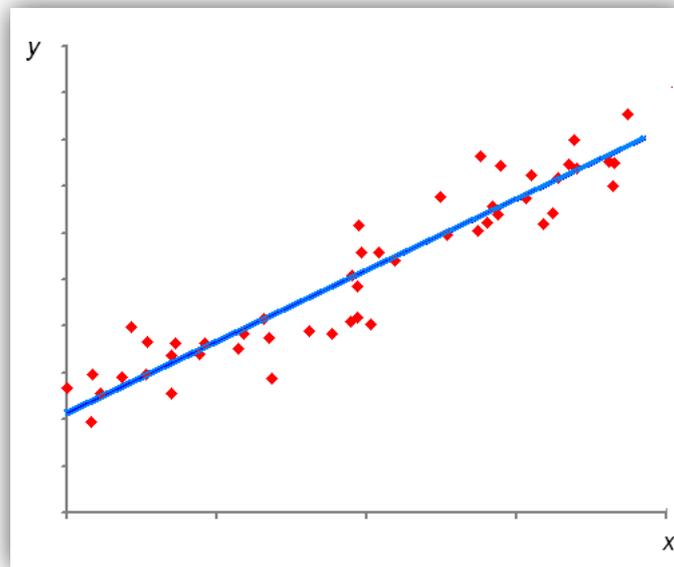


Figura 5.37: Representación gráfica de valores (x, y)

Esta serie de puntos de la figura van a ser ajustados mediante regresión lineal definiendo la recta que mejor se adapte, de la forma:

$$y = ax + b$$

Dónde:

- ✓ El **parámetro 'a'** va a ser el valor que toma la variable dependiente 'y', cuando la variable independiente 'x' vale 0, y es el punto donde la recta corta el eje vertical.
- ✓ El **parámetro 'b'** en su caso va a determina la pendiente de la recta, y por tanto su grado de inclinación. Este se va a calcular a través de la siguiente ecuación:

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

Dónde:

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

Para verificar la calidad de nuestra validación, vamos a utilizar el **coeficiente de correlación lineal 'r'**, que es una medida numérica sobre la relación lineal entre las dos variables, cuyo valor se encuentra entre -1 y +1, y que al elevar al cuadrado dicho coeficiente, sus valores se encontrarán entre 0 y +1, de forma que cuanto más cercano se halle este coeficiente a +1, mejor se adaptara a los datos la regresión lineal realizada.

5.3.3.2.- VALIDACIÓN DEL MODELO

Nuestro modelo ha sido validado mediante datos de espiras. En total han sido empleados 9 datos de espiras, las cuales se encuentran situadas desde la Avenida Palencia hasta la c/ Rondilla Santa Teresa.

También se ha tenido en cuenta que el modelo representara todas las características que determinan el comportamiento real de la zona de estudio, como son los problemas de tráfico de la red y el origen de estos, los comportamientos y reacciones de los vehículos y conductores o la formación de colas y descargas en la red entre otros.

De esta forma el proceso de calibración de la red no se va a dar como concluido hasta conseguir **una validación alta de la red**. A continuación, detallamos este proceso de validación mediante datos de espiras.

- **Validación mediante datos de espiras**

Para el correspondiente proceso de validación que acabamos de mencionar, se han comparado los datos de aforo procedentes de los datos de espiras facilitados por el Ayuntamiento de Valladolid (Dato real) y que hacen referencian al número de vehículos, con los datos procedentes de la simulación de la red en AIMSUN (Dato simulado).

En la siguiente imagen se pueden ver representadas a través de flechas azules, la situación de las espiras facilitadas:

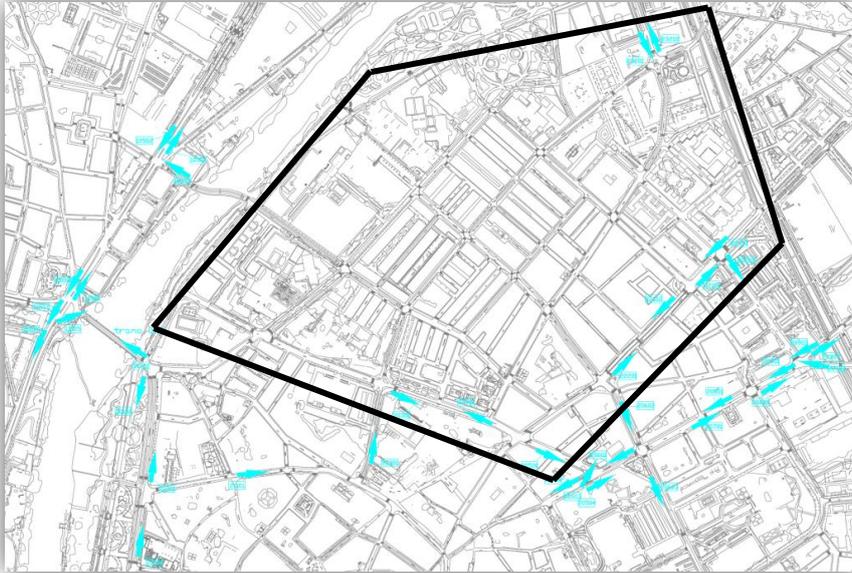


Figura 5.38: Situación de los Detectores o PM (Puntos de Medida) de la red, facilitados por el Ayuntamiento de Valladolid

De esta forma, se modelaron en AIMSUN los 9 detectores que entraban dentro de los límites de nuestra zona de estudio, dando como resultado final la figura 5.39 donde vemos de nuevo las espiras juntos con su correspondiente codificación y que anteriormente vimos en este capítulo para el modelado de la demanda de tráfico.



Figura 5.39: Situación final de espiras de la red en AIMSUN

Una vez situados las espiras en la red, se procedió a ejecutar la simulación de la red para realizar la comparación de los datos reales facilitados y los datos simulados obtenidos.

En la figura siguiente se pueden ver los resultados obtenidos en esta simulación:

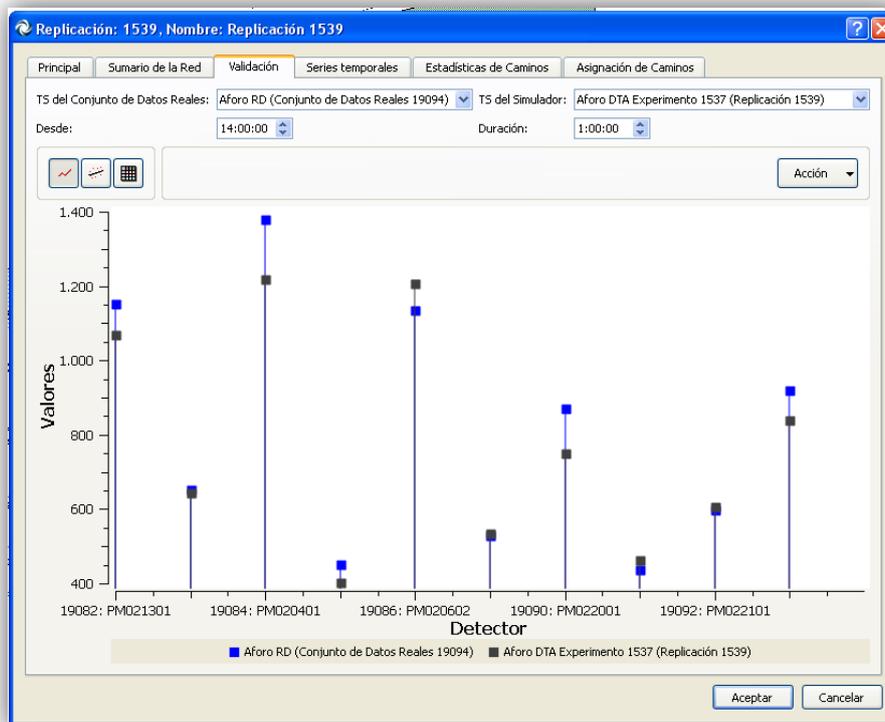


Figura 5.40: Comparación del Aforo de los datos reales facilitados con los simulados en AIMSUN

En la gráfica, los puntos azules se van a corresponder con los datos reales y los puntos negros corresponderán con los datos simulados obtenidos en la simulación.

Viendo los resultados de la simulación en forma de recta, la validación final de la red resultado como se puede ver en la siguiente figura:

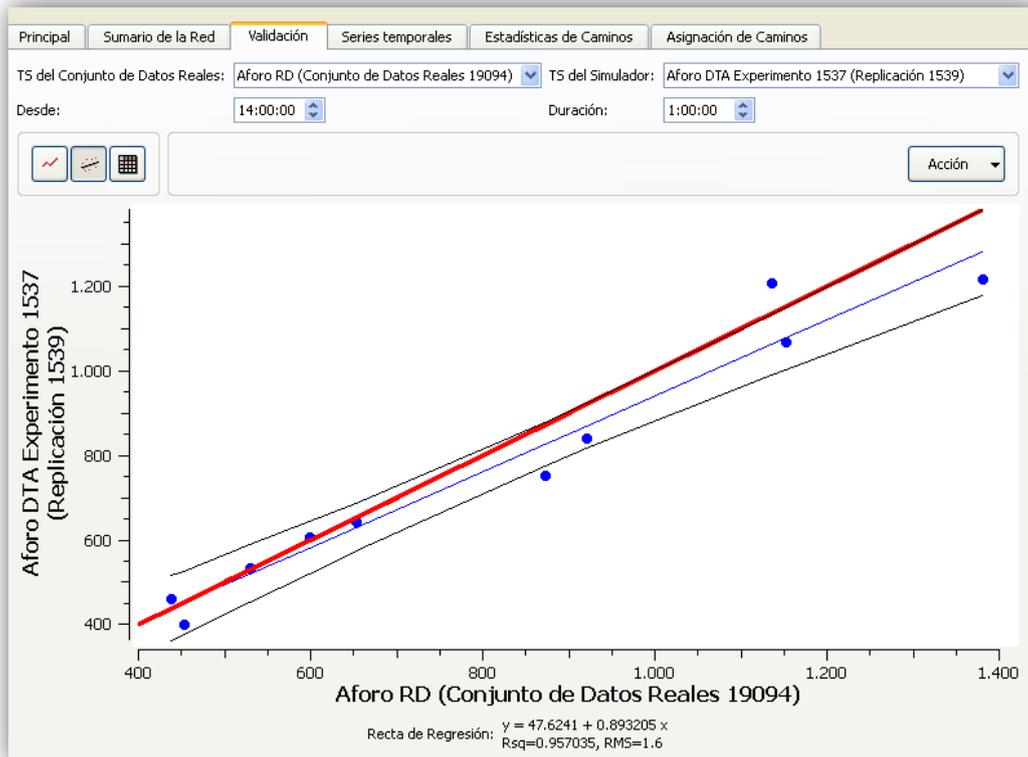


Figura 5.41: Resultado final de la validación

En este caso la coordenada 'x' va a hacer referencia al flujo real y su coordenada 'y' por contra al flujo simulado. Cada punto azul por su parte representara un giro.

En la gráfica de validación se representaran también dos rectas paralelas a la recta azul. Si existiese en la red algún punto alejado de esta recta, deberemos revisar ese giro porque es probable que exista algún error en la simulación. En este caso todos los puntos azules están cerca de la recta azul.

Finalmente, se representa en la gráfica un recta roja que va a corresponder a la recta $y=x$ que hace referencia a la situación ideal, es decir, corresponde al caso ideal en que los valores simulados y los reales son idénticos. Se puede observar como nuestras dos rectas van a estar muy próximas a la roja.

Después de realizar los ajustes necesarios en la matriz O/D de la red para el proceso de calibración, podemos observar como finalmente nos queda un valor de r^2 muy próximo a 1, exactamente:

$$r^2=0,957035$$



Observando las gráficas de validación, los puntos más ‘alejados’ van a representar que al simular nuestro modelo existían tramos de la simulación durante los cuales se saturaba la circulación y se producían paradas momentáneas, quedando los vehículos atascados. Se puede observar sin embargo, como no existe ningún punto demasiado alejado de la recta $y=ax+b$ siendo el valor de r^2 bastante próximo a 1 lo que quiere decir que no van a existir problemas significativos en nuestra red.

A su vez, la recta azul se acerca bastante a la recta $y = x$, con lo que los datos reales y simulados concuerdan correctamente, ya que si la recta azul se encontrara desplazada hacia arriba respecto a la roja significaría que los valores simulados serían mayores que los reales y al contrario si la recta azul se encontrara desplazada hacia abajo, en cuyo caso los valores simulados en general serían menos que los reales.

5.4.- ANALISIS DE RESULTADOS DEL MODELO

Una vez analizados todos los aspectos a tener en cuenta de la zona de estudio, realizar la correcta representación de la red en AIMSUN y modelar todos los parámetros con los que lograr una alta validación del modelo que representase lo más fielmente posible los problemas de la Rondilla; nos queda finalmente evaluar nuestro modelo a través de los siguientes resultados:

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

Habrá que tener en cuenta, que todos los resultados que aparecen en este apartado están referidos a la media de las replicaciones del modelo, ya que los resultados de una replicación determinada no van a ser representativos de la red.

5.4.1.- MAPAS DE FLUJO Y DENSIDAD DE TRÁFICO

- *Flujo de Vehículos (Veh/h)*



Figura 5.42: Mapa de Flujo de Vehículos (Veh/h)

- ✓ **Grosor de línea**, indica el *Flujo medio de vehículos*, cuyos valores oscilan entre 0-1300 Veh/h
- ✓ **Color**, indica el *Flujo de vehículos respecto la capacidad de la vía*, cuyos valores oscilan entre 0-115 %

Este mapa también se conoce como ‘Sumario de la Red’ y nos va a indicar las vías de la red con mayor flujo medio de vehículos. También nos muestra mediante colores el flujo de vehículos que existe en la red respecto a la capacidad de la vía, de forma que las vías con colores más oscuros señalan que están más cerca de llegar a la saturación, pudiendo llegar a saturarse en determinados momentos de la simulación.

Como vemos en la Figura 5.42, serán principalmente las vías desde la c/ Rondilla Santa Teresa hasta la Avenida Palencia, y a su vez desde la Avenida Palencia hasta la c/ Rondilla Santa Teresa, las vías que presenten mayor flujo de vehículos y por tanto mayores problemas respecto a la capacidad de estas, lo que provoca que la circulación sea menos fluida, la formación de atascos y demoras e incluso la aparición de problemas en el interior de la red, como ocurre en las calles Cerrada o Tirso de Molina. De este modo serán tanto la c/ Rondilla Santa Teresa como la Avenida Palencia que suponen las principales vías arteriales del barrio de

la Rondilla, con las que trabajaremos en el siguiente capítulo con el objetivo de optimizar sus ciclos semafóricos y obtener unos mejores resultados que permitan una circulación más fluida.

- **Densidad de Tráfico (Veh/Km)**



Figura 5.43: Mapa de Densidad de Tráfico (Veh/Km)

- ✓ **Color y grosor de línea**, indican la *Densidad media de vehículos* y sus valores oscilan entre 0-90 Veh/Km

Mediante el mapa de Densidad de Tráfico podemos ver de nuevo como en general las vías que aparecen más anchas y por tanto en las que va a existir mayor densidad de tráfico serán las vías en ambos sentidos, desde c/ Rondilla Santa Teresa hasta la Avenida Palencia, especialmente en el tramo final de la Avenida Palencia hacia la Avenida Santander. También existirán ciertos problemas aunque en menor medida en la salida de c/Cardenal Torquemada y el tramo de la c/ Moradas. De este modo, serán de nuevo las vías arteriales del barrio (Rondilla Santa Teresa-Avenida Palencia) las vías con mayores problemas y con las que deberemos trabajar principalmente.

Debemos de tener en cuenta que tanto el mapa de Flujo de Vehículos como el de Densidad de Tráfico procedentes de la simulación de la red, van a ser mapas contruidos con valores medios ya que durante la simulación estos van a ir variando, resultando para cada momento de la simulación un mapa distinto y dándonos como resultado final los mapas adjuntos que serán de los que se extraigan las conclusiones de la red.

5.4.2.- ANALISIS DE PARÁMETROS GLOBALES

Una vez ejecutada la simulación y a partir de los resultados de los diferentes parámetros que nos facilita AIMSUN, se realizara el correspondiente análisis global de la red. Para ello se van a analizar a continuación los siguientes parámetros:

- ✓ Flujo de Vehículos (Veh/h)
- ✓ Densidad de Tráfico (Veh/km)
- ✓ Longitud media de cola (Veh)
- ✓ Tiempo de Demora (Seg/km)
- ✓ Velocidad media (Km/h)

Estos parámetros representaran los más significativos de la red y todos ellos serán tenidos en cuenta para nuestro siguiente capítulo, en el que trataremos de optimizarlos a través del análisis de los desfases y la sincronización semafórica.

Para analizar esta serie de parámetros y como hemos mencionado anteriormente, se van a recoger los resultados de la simulación en AIMSUN durante la **hora punta de la circulación (14:00-15:00)**, con un **intervalo de 5 minutos** entre las mediciones. Estos datos también los vamos a comparar con los datos resultantes media hora antes y después de la hora punta (13:30-15:30) para ver cómo es en estos tramos antes y después de la hora punta de circulación, donde empiezan a aumentar y disminuir respectivamente estos valores.

Para su representación de forma gráfica vamos a extrapolar los datos a una tabla de Excel, obteniéndose los siguientes resultados que se presentan.

- **Flujo de Vehículos (Veh/h)**

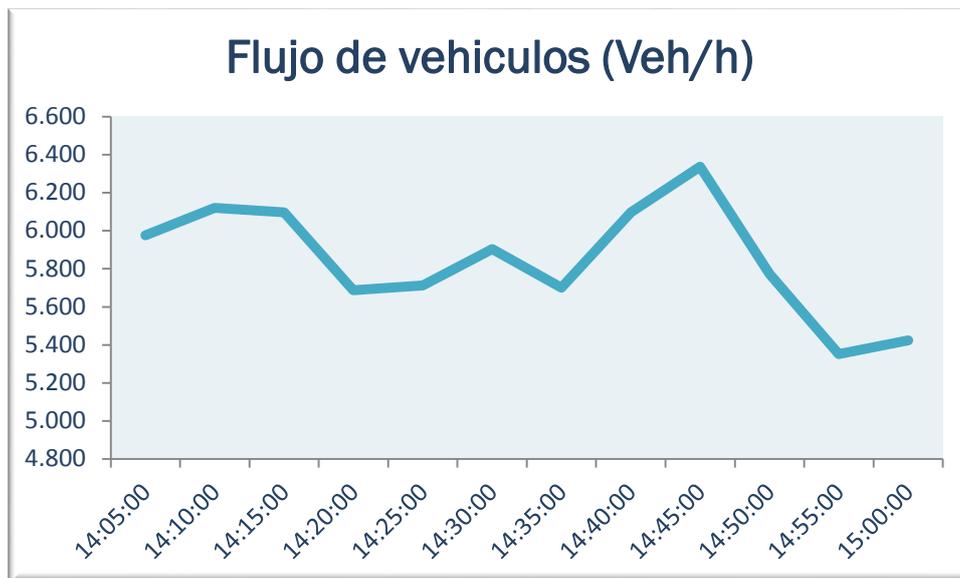


Figura 5.44: Flujo de Vehículos (Veh/h) durante la hora punta

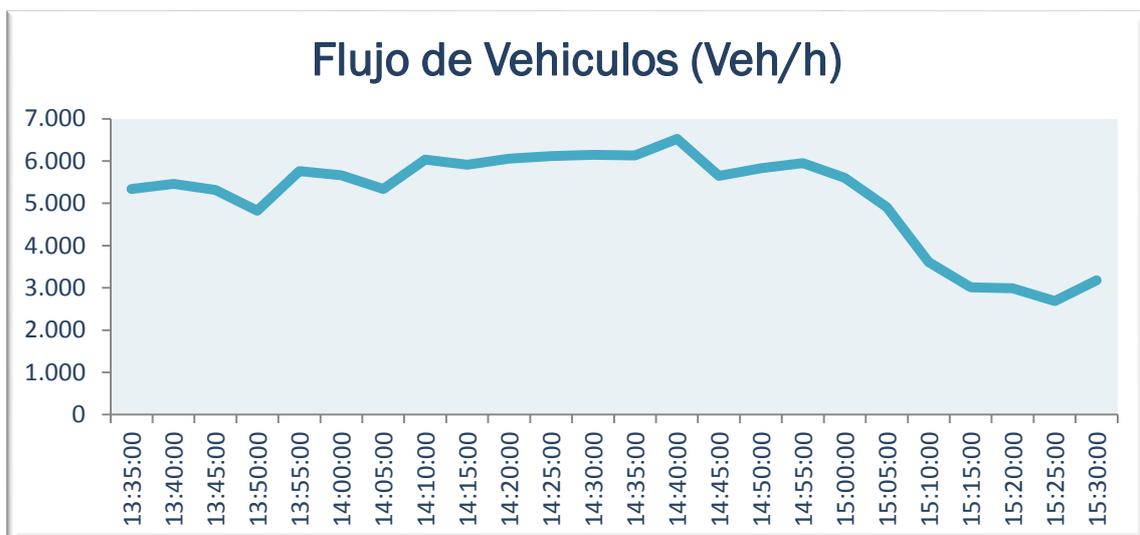


Figura 5.45: Flujo de Vehículos (Veh/h) durante dos horas de simulación

Podemos ver como los mayores valores de flujo de vehículos se producen durante la hora punta como es lógico, especialmente en el tramo de 14:20 a 14:45 donde se origina como vemos en el pico de la primera grafica el mayor incremento. En el tramo final de la simulación y coincidiendo con el final de la hora punta se puede apreciar como estos valores comienzan a disminuir.

- **Densidad de tráfico (Veh/km)**

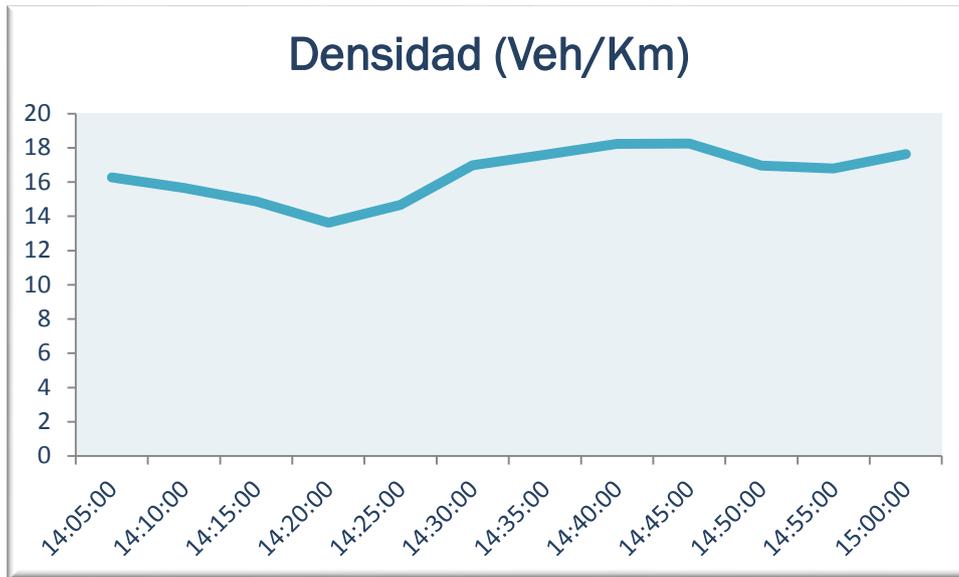


Figura 5.46: Densidad de Tráfico (Veh/Km) durante la hora punta

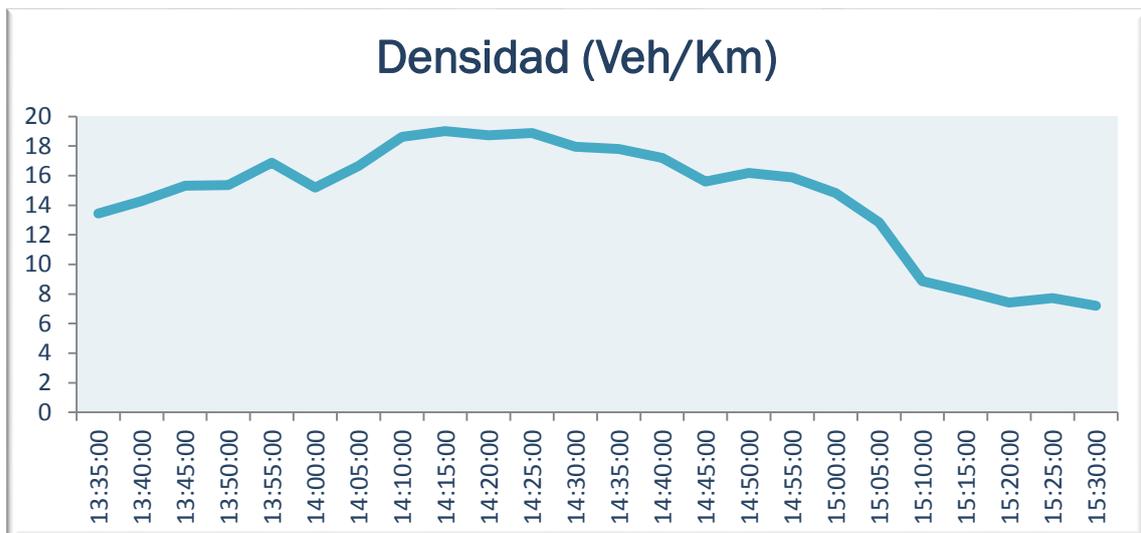


Figura 5.47: Densidad de Tráfico (Veh/Km) durante dos horas de simulación

Atendiendo a las gráficas podemos ver como existe una correspondencia con el flujo de vehículos de forma que a mayor flujo, mayor densidad, como es lógico. Otra vez vemos como fuera de la hora punta los valores son menores y es en la hora punta de 14:00 a 15:00, donde van a existir mayores problemas en la red, especialmente y de nuevo en el tramo de 14:20 a 14:45, como se puede apreciar.

- **Longitud media de cola (Veh)**

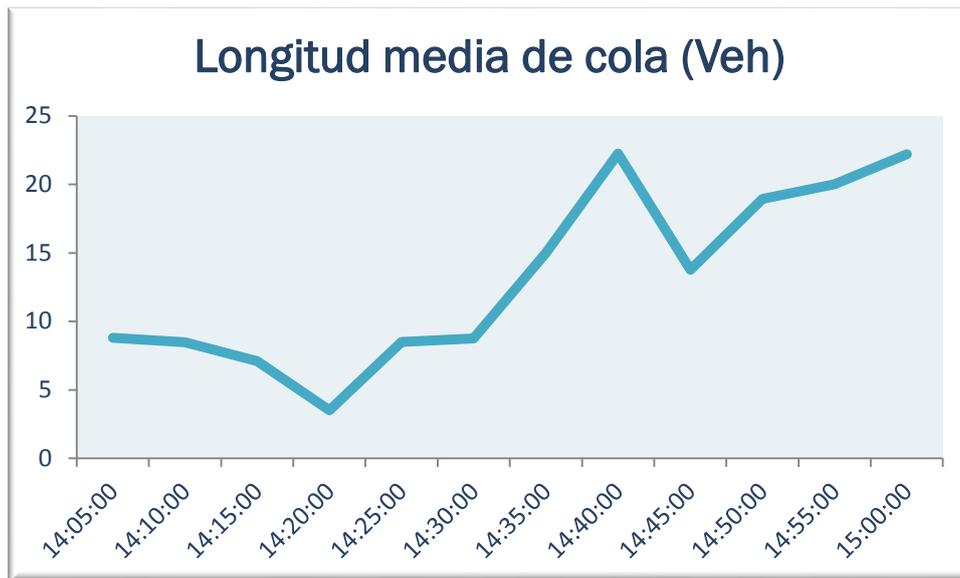


Figura 5.48: Longitud media de cola (Veh) durante la hora punta

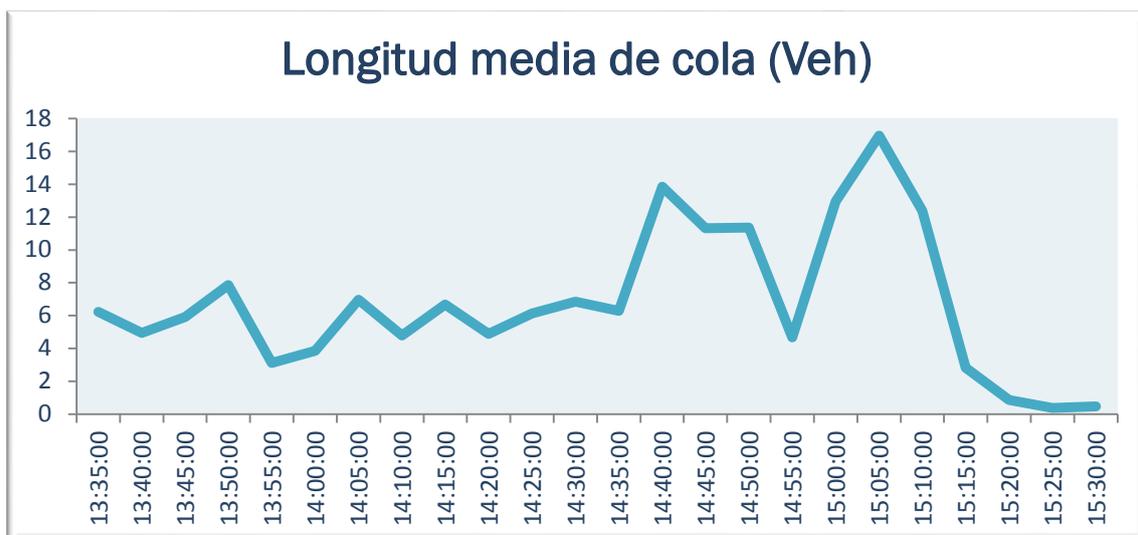


Figura 5.49: Longitud media de cola (Veh) durante dos horas de simulación

Se puede observar como a medida que aumenta el flujo y la densidad de tráfico, va a ir aumentando la longitud media de cola de los vehículos, es decir que va incrementándose el número de vehículos que debido a la congestión de tráfico tienen que detenerse y esperar que esta circulación disminuya. Estas longitudes de colas irán variando como se ve en la segunda grafica con subidas y bajadas, pero en general estos valores irán aumentando paulatinamente durante la hora punta de circulación como también puede apreciarse en la primera gráfica, produciéndose los picos más importantes de transito al final de la hora punta, entre las 14:45 y las 15:00; y no será hasta después de esta hora punta cuando los valores comienzan a disminuir, síntoma ello de que la hora punta ha finalizado y el tráfico ha logrado calmarse.

- **Tiempo de demora (Seg/Km)**

El Tiempo de Demora lo vamos a poder definir como el tiempo de retraso de un vehículo determinado debido a la capacidad de la vía u otros motivos, respecto a la situación ideal en la que existiría como única restricción la velocidad de la vía.

De esta forma, la expresión que nos da como resultado el tiempo de demora (TD) que tarda un vehículo en realizar un trayecto concreto, será:

$$TD=TT-TFF$$

Dónde:

TD = Tiempo de demora

TT (Travel Time) = Tiempo medio que tardaran todos los vehículos en realizar el trayecto en condiciones normales

TFF (Free Flow Time) = Tiempo que tardara un vehículo en realizar el trayecto, teniendo como única restricción la velocidad de la vía

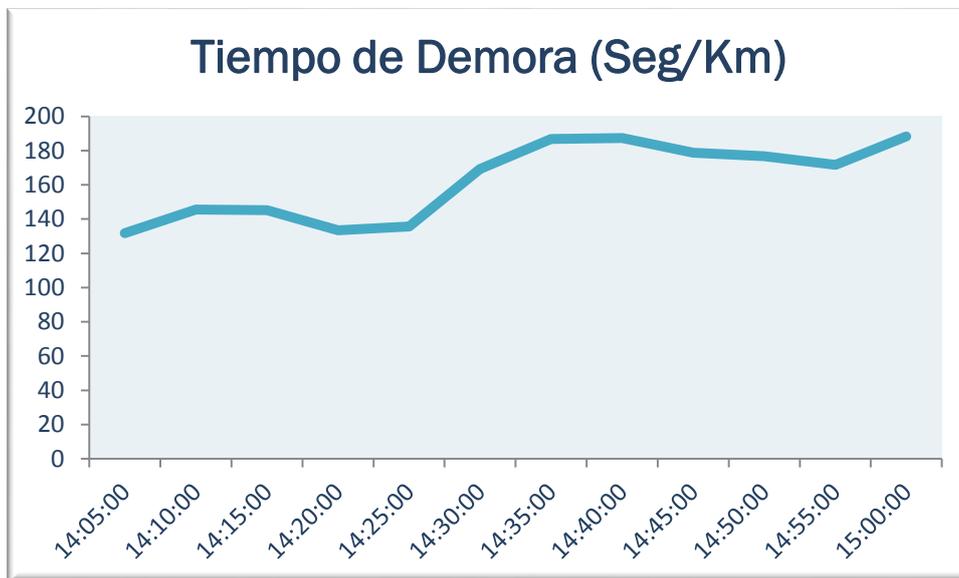


Figura 5.50: Tiempo de Demora (Seg/Km) durante la hora punta

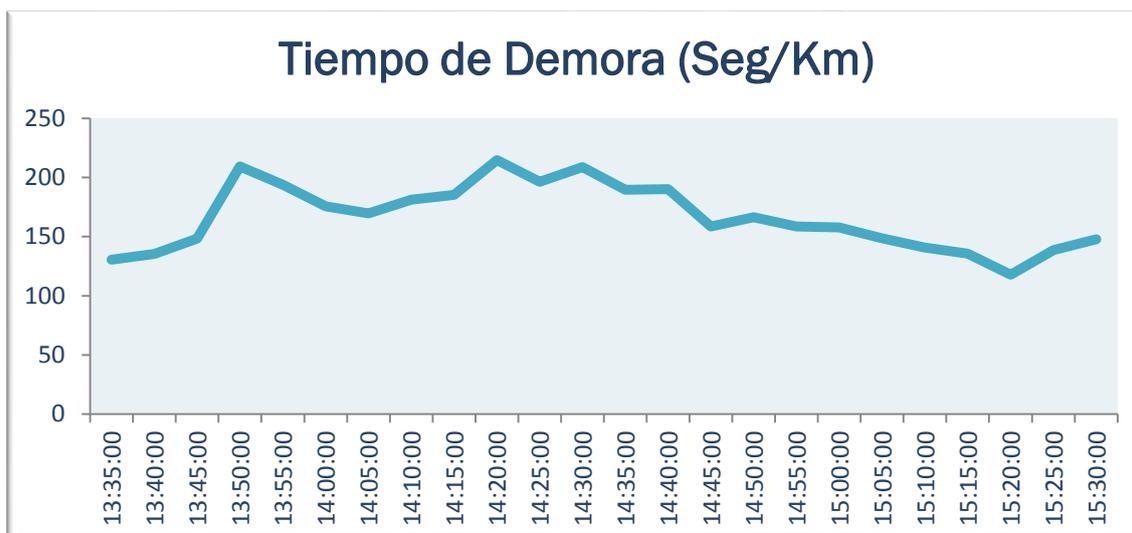


Figura 5.51: Tiempo de Demora (Seg/Km) durante dos horas de simulación

En este caso vemos en ambas graficas como los tiempos de demora, es decir, los tiempos de espera de los vehículos, tienen sus máximos valores durante la hora punta (14:00-15:00) que es cuando comenzaran a aumentar. Vemos como durante la hora punta de la circulación estos valores se mantienen más o menos constantes y como es fuera de la hora punta donde estos valores disminuyen.

- **Velocidad (Km/h)**

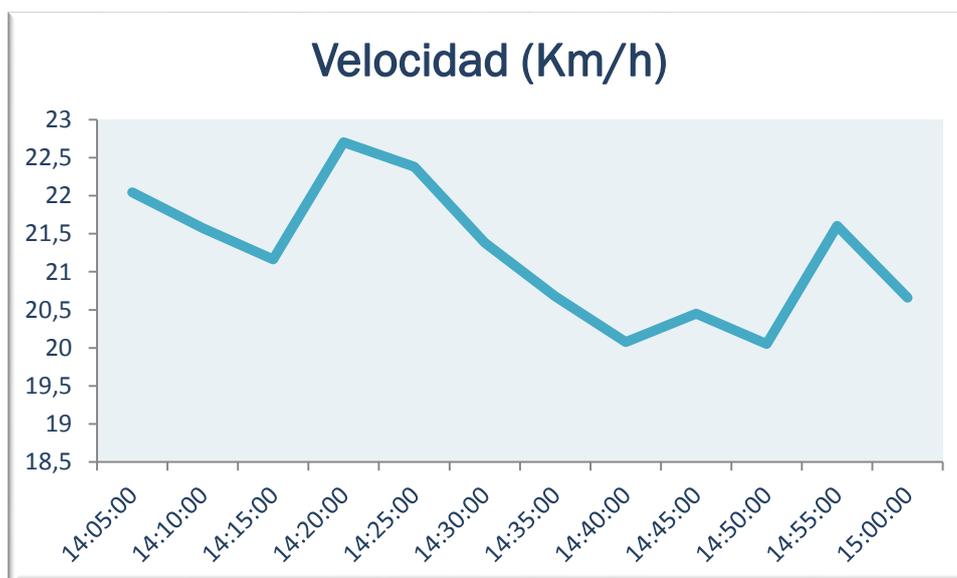


Figura 5.52: Velocidad media (Km/h) durante la hora punta

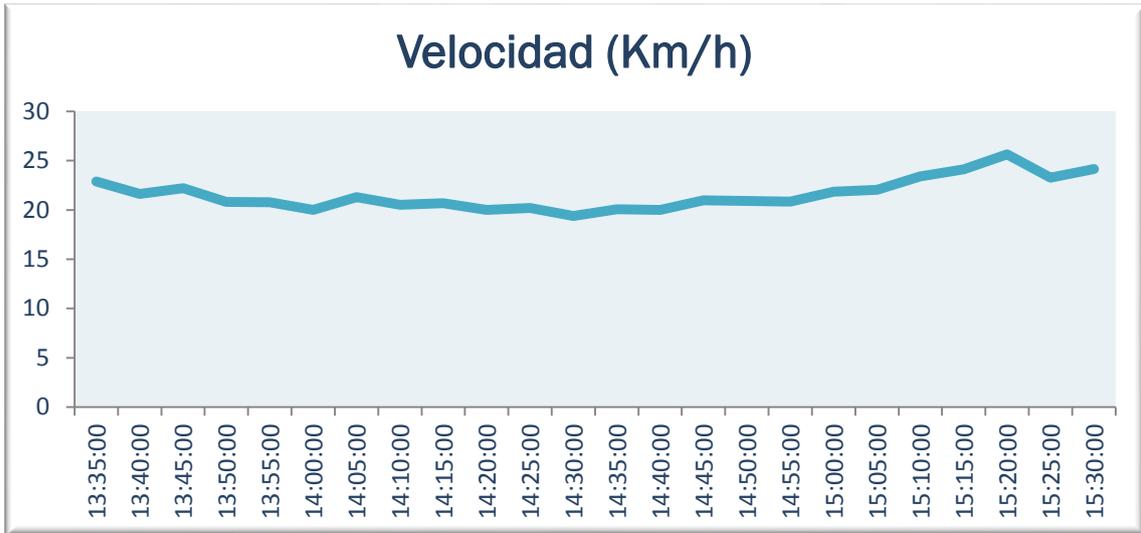


Figura 5.53: Velocidad media (Km/h) durante dos horas de simulación

Por último, puede apreciarse como la velocidad media de los vehículos de la red ira disminuyendo progresivamente durante la hora punta de circulación, es decir entre las 14:00 y las 15:00, alcanzando su punto mínimo alrededor de las 14:45 como se ve en la primera grafica. Estos datos son un hecho lógico ya que es en este tramos de hora punta donde se producen como hemos visto mayores problemas, es decir, mayor flujo de vehículos, mayores longitudes de colas y mayores tiempos de demora, que obligaran con ello a reducir la velocidad media de los vehículos y que como vemos se ve reflejado en las gráficas.

De esta forma, los valores medios de estos parámetros en AIMSUN durante la hora punta fueron los siguientes:

Flujo de vehículos	5848 Veh/h
Densidad de tráfico	16,4615 Veh/Km
Longitud media de cola	13,1094 Veh
Tiempo de demora	162,386 Seg/Km
Velocidad media	21,2209 Km/h

Tabla 5.1: Análisis en valores medios de los parámetros globales

- **Conclusiones**

Hemos analizado la red del barrio de la Rondilla en el tramo de hora punta de la circulación, que estará comprendido de 14:00 a 15:00 como se recoge en el PIMUVA (Plan Integral de Movilidad Urbana Ciudad de Valladolid). Este intervalo de tiempo será el más interesante de analizar ya que va a ser como hemos visto el más desfavorable y por tanto en el que ocurran mayores incidencias, como comentamos anteriormente en este mismo capítulo.

Estos datos del tránsito en hora punta les hemos comparado con los datos resultantes durante dos horas de simulación, tomando para ello intervalos de tiempo de 30 minutos tanto antes como después de la citada hora punta del tráfico y ejecutando por tanto la simulación de 13:30 a 15:30.

Al analizar las simulaciones de la red vamos a poder ver las diferencias en los resultados de los diferentes parámetros que nos facilita AIMSUN una vez ejecutada la simulación entre estos tramos. Así, durante las dos horas de simulación vemos como tanto al inicio como al final y a pesar de las variaciones lógicas de tráfico, estos parámetros toman valores medios y es en el tramo de hora punta, de 14:00 a 15:00, y más concretamente de 14:20 a 14:45 donde van a comenzar a aumentar y van a ser en general superiores a la media de la red.

Centrándonos en el tramo de hora punta que es por tanto nuestro periodo más conflictivo y para el que hemos validado la red, vemos en este intervalo como hemos comentado para cada gráfica, como aumenta el flujo de vehículos en la red, lo que conlleva una mayor densidad de tráfico, mayores longitudes de cola de los vehículos debido a la formación de atascos y la congestión del tráfico o mayores tiempos de demora entre otros. También vemos como en este tramo se produce de forma lógica una disminución de la velocidad de los vehículos, ello provocado por este aumento del tránsito y la mayor dificultad de los vehículos para circular por el barrio.

Este incremento de los resultados en el tramo de 14:00 a 15:00 va a ser debido principalmente al movimiento de trabajadores de la zona, tanto de los trabajadores que salen de las fábricas en algunos casos como de los que entran a sus puestos de trabajo en otros. Pasado este periodo de tiempo vemos como en general los valores vuelven como al inicio a estabilizarse y tomar valores medios debido a la disminución de esta congestión de tráfico que corresponde con el final de la hora punta.

En cuanto a las zonas del barrio donde se producen los principales problemas de atascos y congestión de tráfico, vemos tanto en los mapas como realizando una simulación animada de la red, como en general se provocan grandes colas de vehículos que elevan estos valores en los tramos en ambos sentidos que van desde la Avenida Palencia hasta la c/Rondilla Santa Teresa y que provocan a su vez problemas en el interior de la red, como ya vimos reflejado en los

mapas de flujo y densidad de tráfico. Tendremos en cuenta por tanto estas vías, que constituyen las vías arteriales del barrio, para analizarlas más en detalle y tratar de reducir los valores de estos parámetros.

5.4.3.- OTRAS CARACTERISTICAS DE LA RED

Una vez analizados los parámetros principales en los que vemos como es lógico que es en las horas de máxima demanda donde van a existir mayores problemas en la red, será también conveniente reflejar los valores del resto de parámetros que nos ofrece AIMSUN y que se reflejan a continuación, de nuevo de forma gráfica en tablas de Excel a partir de los datos obtenidos en la simulación.

- **Tiempo de viaje y tiempo total de viaje**

El **tiempo de viaje**, lo vamos a definir como el tiempo de forma media que tarda cada vehículo en realizar su trayecto, mientras que el **tiempo total de viaje** va a ser la suma de los tiempos que tardara cada vehículo de la demanda de tráfico de la red en recorrer su trayecto. Estos se encuentran expresados en **Seg/km** y **Segundos**, respectivamente.

Ambos parámetros representados de forma conjunta resultan de la siguiente forma:

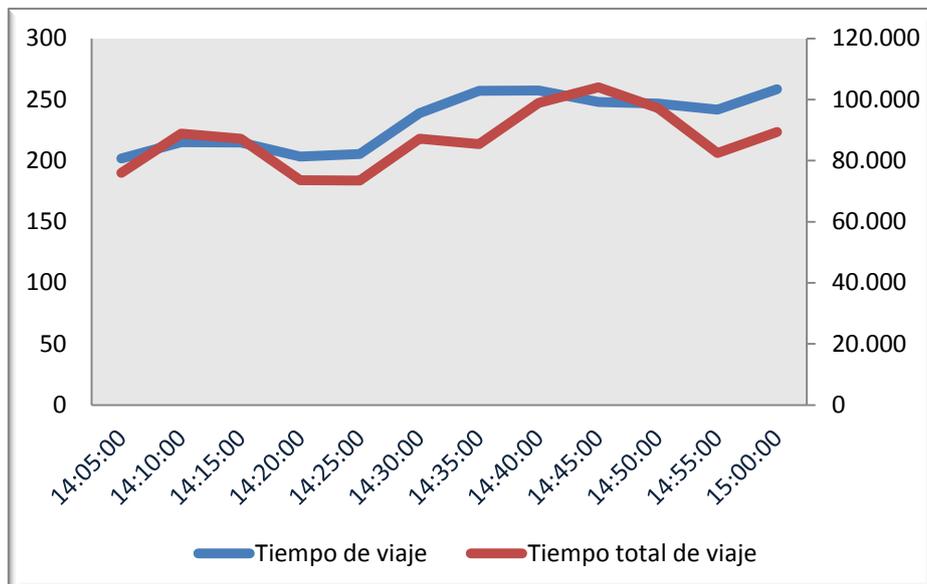


Figura 5.54: Tiempo de Viaje y Tiempo Total de Viaje

Se puede ver como se corresponden de forma lógica el tiempo de viaje y el tiempo total del viaje, superando este último al primero alrededor de las 14:45 que corresponderá como vimos en las anteriores graficas con el periodo más conflictivo de la red.

- **Tiempo de parada y número de paradas**

En este caso el **tiempo de parada** se corresponde con el tiempo medio que cada vehículo se mantendrá parado durante el recorrido de su camino, expresado en Seg/km; y el **número de paradas** va a hacer referencia al números medio de paradas que cada vehículo parara durante el recorrido de su trayecto.

La grafica de ambos parámetros resulta:

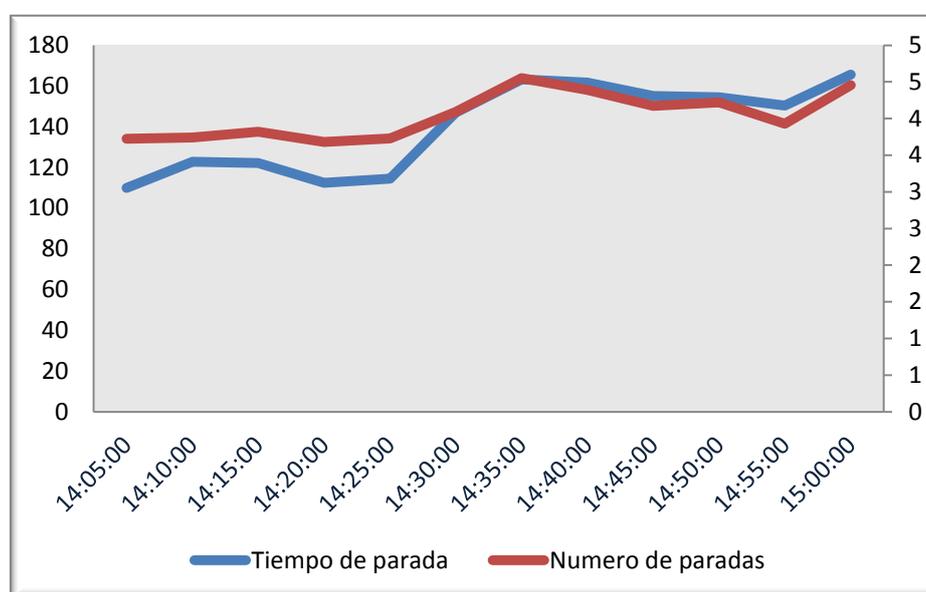


Figura 5.55: Tiempo de Parada y Número de Paradas

De nuevo podemos observar cómo se van a corresponder el tiempo de parada con el numero paradas, siendo el valor más elevado de estos en el periodo más conflictivo, es decir durante la hora punta.

- **Distancia total viajada y velocidad media:**

Se define la **distancia total viajada** como la suma total de las distancias recorridas por cada vehículo desde su origen hacia su destino y se encuentra expresada en Km. La **velocidad media** por su parte, es el valor de las velocidades medias a la que circula cada vehículo durante su recorrido expresada en km/h.

La grafica conjunta de ambos parámetros resulta:

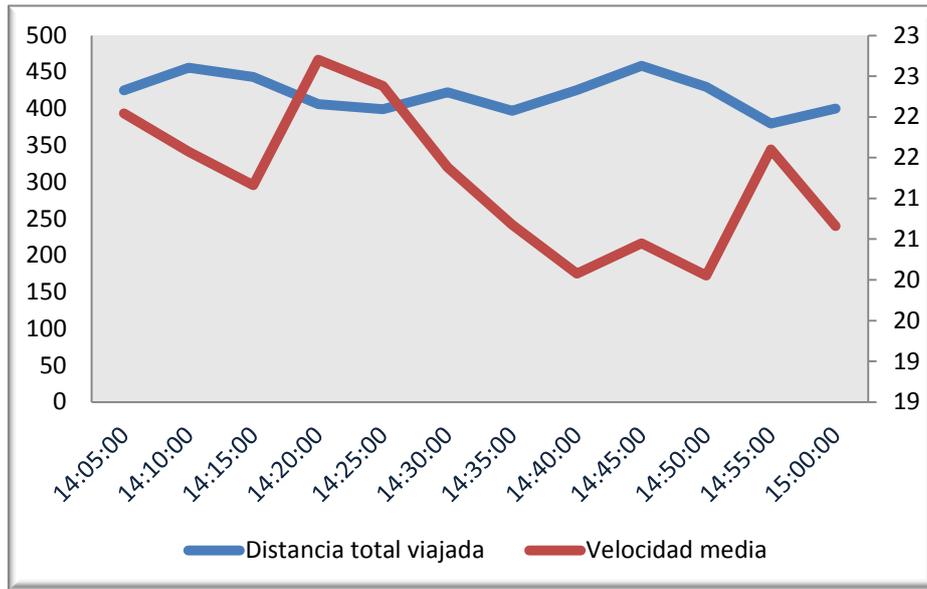


Figura 5.56: Distancia Viajada y Velocidad media

Por último, vemos en este grafica como todos los parámetros se van a corresponder tomando estos sus máximos valores en el periodo más conflictivo de la red, a excepción de la velocidad media que va a tender a disminuir en este periodo.

De forma general los valores medios de estos parámetros resultaron:

Tiempo de viaje	232,258 Seg/Km
Tiempo total de viaje	289,9h
Tiempo de parada	139,752 Seg/Km
Número de paradas	4,0432
Distancia total viajada	5044,42 Km
Velocidad media	21,2209 Km/h

Tabla 5.2: Valores medios de los parámetros de la red



- **Conclusiones**

Podemos ver de nuevo como va a ser en el tramo de hora punta de la circulación donde los distintos parámetros van a tomar sus valores más elevados.

Como vimos en los parámetros principales analizados anteriormente, va a ser en este periodo donde aumente el flujo de vehículos principalmente en las vías arteriales de la red y va a ser durante este periodo de mayor congestión de tráfico donde los vehículos circulen con mayor dificultad y por tanto mayor lentitud, lo que provoca por tanto que la velocidad media de los vehículos disminuya y los valores de tiempo de viaje, tiempo de parada y número de paradas aumenten. Asimismo y como consecuencia del aumento tránsito de vehículos, aumentarán las distancias y tiempos de viaje como se refleja en los parámetros de Distancia total viajada y Tiempo total de viaje.

Hay que mencionar por último, que todos los resultados que se han analizado en este capítulo han sido como consecuencia de una media de las distintas replicaciones. Esto es debido a que estos datos pueden, aunque ligeramente, variar de unas replicaciones a otras, igual que puede ocurrir en el día a día del barrio en el que no siempre se darán las mismas condiciones de circulación; y es mediante la simulación de la media de estas replicaciones como conseguimos los resultados de la red de varios días.

Además, todas las características del tráfico y comportamientos de la red en las simulaciones han sido resultado de un proceso de calibración y validación, de forma que se asemejaran lo más fielmente posible a la realidad y siempre según las observaciones que se realizaron in situ de la zona de estudio.



CAPÍTULO 6



ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE TRÁFICO

6.1.- INTRODUCCIÓN

Una vez ya realizado en el capítulo previo el estudio, análisis y construcción del modelo del barrio de la Rondilla de la ciudad de Valladolid, en el que hemos podido simular y analizar a través del software de modelado de tráfico AIMSUN los principales problemas referentes al tráfico rodado de la zona en un día cualquiera; vamos a realizar en este nuevo capítulo el análisis de las propuestas de tráfico planteadas.

Estas propuestas de tráfico van a estar orientadas hacia la coordinación semafórica y el ajuste del modelo de onda u ola verde del barrio, a través del cual se coordinan una serie de semáforos para permitir el flujo continuo del tráfico en una misma dirección sobre varias intersecciones. Para ello y como detallaremos en el apartado sobre el análisis de los problemas de tráfico, vamos a centrarnos en las principales vías arteriales que conforman el barrio de la Rondilla, al tratarse estas de las más transitadas y por ende, las más conflictivas de nuestra zona de estudio.

6.2.- ONDA U OLA VERDE

Se debe de tener en cuenta, que las programaciones optimas de los semáforos de una zona van a estar asociadas a las características de circulación existentes en el momento en que se produjo la toma de datos del flujo de vehículos y demás variables del tránsito, por lo que pasado un cierto tiempo y debido a las variaciones existentes en estos parámetros, va a ser necesaria una revisión de las programaciones de los semáforos y por tanto, un ajuste en el **modelo de onda verde**.

Esta periodicidad en las revisiones de los planes de control semafórico, aparte de las actualizaciones que se realicen por determinados motivos, no se puede definir con exactitud, aunque es aconsejable realizar un ajuste en las programaciones cada 2 o 3 años o cuando existan variaciones significativas en el flujo de vehículos de la zona en torno al 15%, como ha sido el caso del barrio de la Rondilla, la cual lleva funcionando con el mismo plan de control desde el año **2003**.

Mediante el modelo de onda verde, se pretende que cualquier vehículo que se mueva a la velocidad establecida a lo largo de esta (en torno a 50 Km/h en nuestro caso), vea progresivamente una serie de luces verdes según avanza de forma que tenga que detenerse el menor tiempo posible en las intersecciones

afectadas, permitiendo con ello un mayor volumen del tráfico y una reducción en las distancias y tiempos de espera.

En la práctica, será aconsejable emplear el modelo de onda verde solo en las vías por las que circulen los volúmenes más importantes de tráfico, como serán en nuestro caso las vías arteriales de la Rondilla (Rondilla Santa Teresa-Avenida Palencia).

Este ajuste del modelo de onda verde y por tanto de sus características, que vimos de forma más detallada en el apartado 2.5.3.2 del capítulo 2, se podrá llevar a cabo mediante modificaciones en los **desfases** (es decir, diferencia relativa entre los inicios del verde del grupo u origen de referencia de acceso a cada intersección en la ruta) y en el **reparto** (asignación del tiempo de verde a cada fase variable vinculada al grupo de referencia), que serán los parámetros con los que trabajaremos principalmente para el planteamiento de las diferentes propuestas de tráfico.

Por otro lado, se podrán realizar modificaciones incluso en la **estructura** de los planes de control de tráfico (diagrama de espacios-tiempos, que sirve de base para la modificación de los repartos), y que únicamente va a variar cuando se producen modificaciones en los tiempos fijos o de seguridad de alguno de sus grupos semafóricos, es decir, mediante la creación de nuevos planes de tráfico, que también realizaremos en este capítulo a petición del Ayuntamiento de Valladolid y como detallaremos más adelante, en la intersección de la calle Rondilla de Santa Teresa con la calle Moradas.

Por último, hay que destacar que el objetivo final que se pretende con el modelo de onda verde, a través de la coordinación semafórica de sus desfases principalmente, va a ser el **permitir una mayor fluidez del tráfico que reduzca las congestiones y problemas de tráfico de la zona seleccionada.**

6.3.- ANALISIS DE LOS PROBLEMAS DE TRÁFICO

Al igual que se comentó en el anterior capítulo, el barrio de la Rondilla surgió como consecuencia de la expansión industrial de la ciudad de Valladolid, con el objetivo de acoger a la población procedente en su mayoría del campo. Debido a esta expansión de la ciudad y al aumento del parque automovilístico, el barrio de la Rondilla ha pasado de formar parte de las afueras de Valladolid, a convertirse en una zona de paso hacia el centro de la ciudad, con el aumento de la circulación que ello conlleva en sus vías y cuyo tráfico debe soportar y canalizar.

Debido a esta elevada tasa de tráfico que ha ido aumentando progresivamente en los últimos años, cada vez se producen más problemas de circulación, especialmente en las **horas puntas**, que coinciden con las entradas y

salidas de trabajadores de la zona hacia sus centros de trabajo como ya se ha comentado anteriormente en el capítulo 5 y que son por tanto, las que se han tenido en cuenta de nuevo para el análisis de las propuestas de tráfico de la zona en este capítulo. De esta forma, y de acuerdo al análisis realizado en el capítulo anterior, podemos concluir que los principales problemas de tráfico del barrio van a ser:

- ✓ **Retenciones en las vías arteriales de entrada hacia el barrio**, que conforman las vías en ambos sentidos desde la calle Rondilla Santa Teresa hasta la Avenida Palencia, en las cuales la capacidad de estas se ve sobrepasada debido al elevado número de vehículos que intentan acceder a la zona, el cual no pueden absorber. A su vez los principales puntos de acceso a estas vías y que por tanto también deberán ser tenidos en cuenta, serán: desde la Avenida Santander, el Puente Mayor y especialmente la calle Gondomar, donde la capacidad de estas vías se ve más saturada como hemos podido ver.
- ✓ **Elevadas distancias y tiempos de espera en los semáforos**, especialmente de las vías arteriales del barrio, debido a las colas formadas en estos y la falta de coordinación entre ellos como consecuencia del aumento del tráfico que transita por la zona en los últimos años.

Estos problemas además, van a tener una difícil solución debido a la imposibilidad de modificar las infraestructuras de la zona, la falta de espacio existente en las vías del barrio que se ve reducida por la doble fila o esta elevada tasa de tráfico que comentamos; todas las cuales no facilitan la búsqueda de soluciones.

Por tanto, las propuestas de tráfico de este capítulo van a estar orientadas hacia los **ajustes y modificaciones de la coordinación semafórica y sus parámetros** en las vías que soportan mayor volumen de tráfico de la zona (Rondilla Santa Teresa-Avenida Palencia), donde veremos la importancia de un correcto ajuste y los beneficios de conseguir un modelo de onda verde, el cual se acaba de explicar en el anterior apartado. Todo ello, a través de simulaciones en estas nuevas propuestas de tráfico que se compararan con los resultados obtenidos en el modelo real de la zona.

6.4.- PROPUESTAS DE TRÁFICO

A continuación, se detallan las propuestas de tráfico que se han planteado en el barrio de la Rondilla para ver la importancia de la coordinación en los semáforos y su ajuste a través del modelo de onda verde. Para ello, se han definido tres modelos en total que se van a comparar con el modelo real de la zona analizado en el capítulo anterior.

Inicialmente se debe de tener en cuenta al igual que se comentó en el capítulo 2, que en el caso de la ciudad de Valladolid el sistema de control de tráfico funciona con un origen de tiempos absoluto, y que por tanto la coordinación de los diagramas de fase de los diferentes grupos semafóricos se inicia tomando como referencia un 'instante cero'.

De este modo, las propuestas analizadas han sido las siguientes:

- **Fallo en un grupo semafórico de la red.** Se simula la caída de la red definiendo el desfase igual a cero (desfase que solo puede darse en caso de fallo al trabajar con un origen de tiempos absoluto) en uno de los grupos semafóricos de las vías arteriales, como consecuencia de un fallo tanto en el sistema central de control de tráfico como en el sistema de emergencia.
- **Modelo de Onda Verde.** Se define el modelo ideal de la zona, a través del ajuste óptimo del desfase en los distintos grupos semafóricos de las vías analizadas para conseguir la onda verde.
- **Creación de un nuevo grupo semafórico en la red.** Se analizara la conveniencia o no de introducir una nueva intersección regulada con semáforos (creación de un nuevo plan de tráfico) en la intersección de la calle Rondilla Santa Teresa con la calle Moradas.

Para cada uno de estos modelos que se van a analizar, vamos a comparar los resultados obtenidos a través del análisis de los siguientes parámetros:

- **Parámetros globales**
 - ✓ Flujo de vehículos (Veh/h)
 - ✓ Densidad de tráfico (Veh/Km)
 - ✓ Longitud media de cola (Veh)
 - ✓ Tiempo de demora (Seg/Km)
 - ✓ Velocidad media (Km/h)
- **Otras características de la red**
 - ✓ Tiempo total de viaje (H)
 - ✓ Tiempo (Seg/Km) y número de paradas
 - ✓ Distancia Total viajada (Km)

6.4.1- FALLO EN UN GRUPO SEMAFORICO DE LA RED

En esta primera propuesta de tráfico se va a simular un posible fallo tanto en el sistema de control de tráfico de la red como en el sistema de emergencia en cualquiera de sus niveles, como ya vimos en el capítulo 2 (Figura 2.7).

En nuestro caso, hemos seleccionado el nodo que afecta al **grupo semafórico 203** el cual se encuentra en las vías arteriales del barrio, concretamente en la intersección de la calle Rondilla Santa Teresa con la calle Cardenal Torquemada, como se puede ver en la siguiente figura.

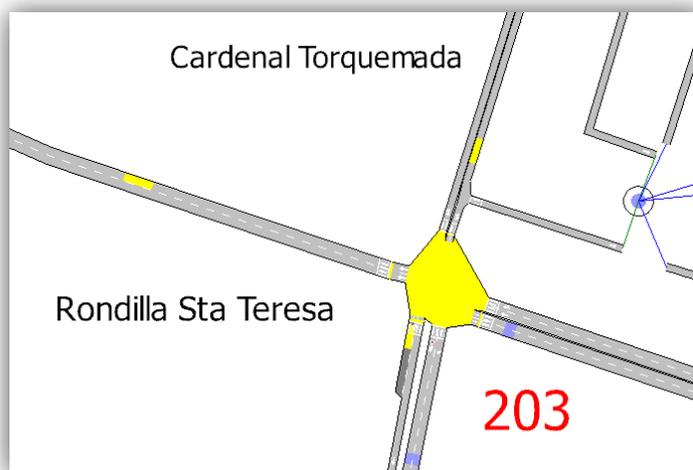


Figura 6.1: Nodo 203, en la intersección de la calle Rondilla Santa Teresa con la calle Cardenal Torquemada

Para simular este caída del sistema de control de tráfico, se debe de tener en cuenta lo expuesto en el capítulo 2 relativo a la coordinación semafórica y los desfases, según lo cual explicábamos como:

- ✓ **DESFASE:** va a hacer referencia al número de segundos que tarda en aparecer la indicación de luz verde en un semáforo, después de un instante dado, que se va a tomar como punto de referencia. Este va a poder ser expresado en % de ciclo y en ocasiones, se usa también para referirse al tiempo necesario para despejar ciertas intersecciones complejas.

En la siguiente figura podemos ver de este modo como se ha simulado la caída en el sistema de control de tráfico de la zona, estableciendo en el grupo semafórico 203 como acabamos de ver, **un desfase igual a cero**, el cual es imposible de darse al trabajar con un origen de tiempos absoluto como hemos comentado.

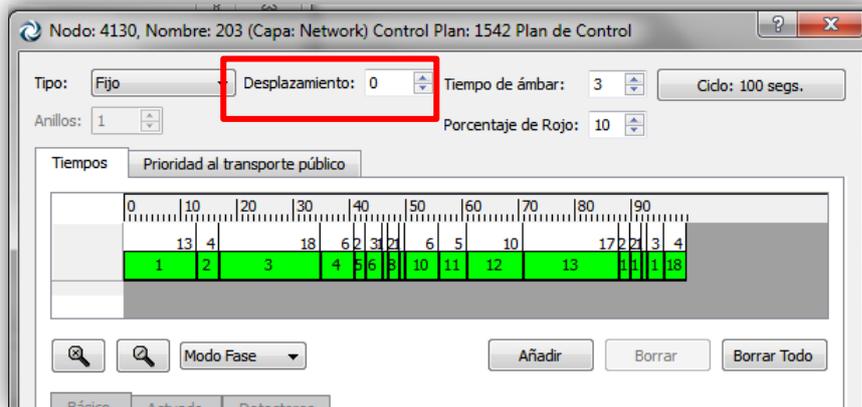


Figura 6.2: Desfase (Desplazamiento en AIMSUN) igual a '0' en el grupo semafórico 203

Se debe de tener en cuenta por último que en AIMSUN el Desfase de los grupos semafóricos, se va a denominar **DESPLAZAMIENTO**.

Una vez definidos los parámetros de esta nueva red, ejecutamos la simulación para comparar los resultados con los del modelo real de la red del capítulo 5, como se muestra a continuación.

6.4.1.1- ANALISIS DE PARAMETROS GLOBALES

Como hemos comentando previamente en la introducción del capítulo, en este apartado vamos a analizar los siguientes parámetros: Flujo de vehículos, Densidad de Tráfico, Longitud media de cola, Tiempo de demora y Velocidad media.

Para analizar esta serie de parámetros y al igual que en el anterior capítulo, se van a recoger los resultados de la simulación en AIMSUN durante la **hora punta de la circulación (14:00-15:00)**, con un **intervalo de 5 minutos** entre las mediciones.

La comparativa de los resultados obtenidos para estos parámetros fue la siguiente:

- **Flujo de Vehículos (Veh/h)**

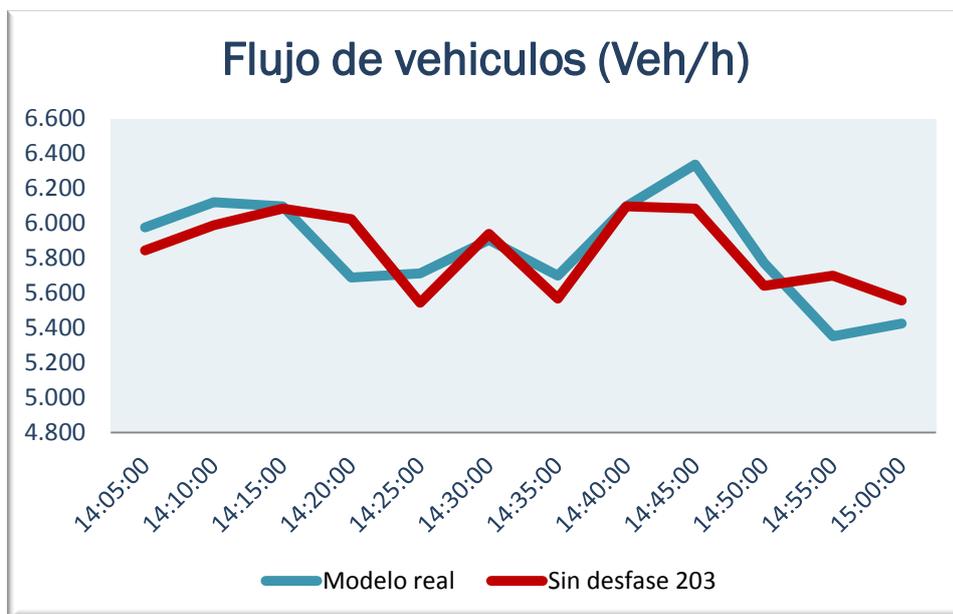


Figura 6.3: Comparación del Flujo de Vehículos (Veh/h). Fallo en la red

Como se puede observar en la figura 6.3, los valores del flujo de vehículos (que representan el número de vehículos por hora que circulan) tanto en el modelo real como en el modelo sin desfase en el nodo 203, son prácticamente iguales y apenas tienen variaciones significativas como es lógico, ya que en ambas situaciones la demanda de tráfico es la misma. Se puede apreciar sin embargo, como durante toda la hora punta de circulación el flujo de vehículos en el modelo sin desfase se mantiene ligeramente por debajo del modelo real, excepto al final de la hora punta donde el flujo de vehículos es algo mayor. Esto es debido al descontrol y los atascos que provocaría este fallo en el sistema, lo que provocara que los conductores elijan otras rutas para llegar a sus destinos.

En el sumario de la red, podemos ver los valores del flujo medio de vehículos en ambas situaciones, que se muestran a continuación:

Flujo de Vehículos	Veh/h
Modelo real	5848
Sin desfase 203	5839

Tabla 6.1: Valores medios del flujo de vehículos. Fallo en la red

Vemos como acabamos de comentar, que el flujo de vehículos en ambas simulaciones es prácticamente el mismo aunque en media el flujo de la red en la que existe el fallo en el sistema de control de tráfico es ligeramente inferior durante toda la simulación, debido a que los vehículos preferirán tomar otras rutas para llegar a su destino, evitando así pasar por la zona en la que existen problemas, aunque esto implique un recorrido más largo.

- **Densidad de tráfico (Veh/km)**

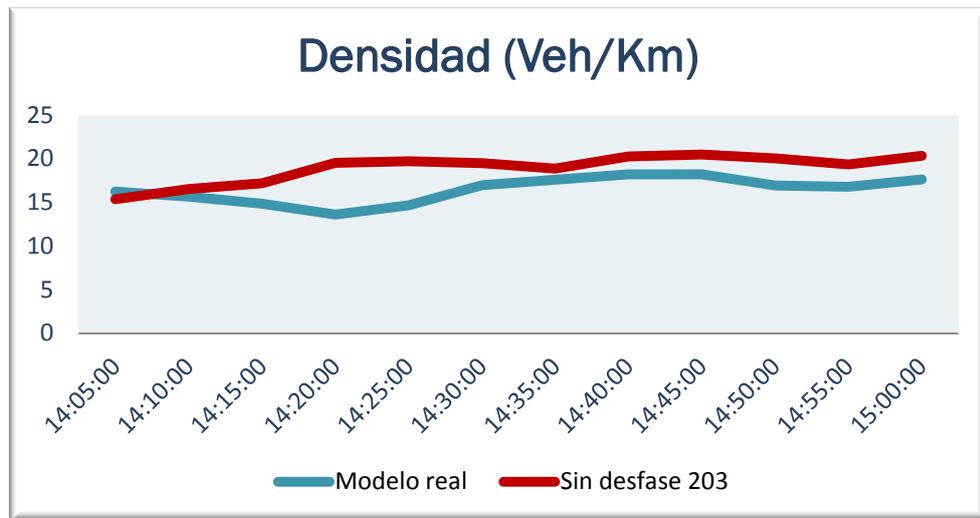


Figura 6.4: Comparación de la Densidad de Tráfico (Veh/Km). Fallo en la red

En esta nueva gráfica podemos ver como en ambas situaciones la densidad se va a mantener semejante en su forma, pero como durante toda la simulación la densidad del modelo sin desfase en la que existe el fallo va a ser superior a la del modelo real la cual sucede en condiciones de un día normal. Este hecho va a ser lógico ya que la demanda de tráfico a través de la matriz O/D es la misma en ambos casos, pero debido a los atascos y la congestión del tráfico que se producirá en la red en la que existe el fallo, la densidad de esta red siempre va a ser superior en media a la del modelo real.

De nuevo en el sumario de la red, podemos ver reflejado estos resultados que se muestran a continuación, en los que los valores medios de densidad fueron:

Densidad de Trafico	Veh/Km
Modelo real	16,4615
Sin desfase 203	18,9453

Tabla 6.2: Valores medios de la densidad de tráfico. Fallo en la red

Al igual que se refleja en la comparativa de las gráficas, la densidad en el modelo en que existe el fallo en el sistema de control de tráfico, va a ser lógicamente mayor.

- **Longitud media de cola (Veh)**

En este caso, la longitud media de cola que hace referencia al número de vehículos en media que se encuentran esperando en las colas que se forman durante la simulación, se trata del parámetro más significativo para comparar los modelos y ver las diferencias entre el modelo real y el modelo en el que existe la caída en el sistema.

Se muestra a continuación la gráfica resultante de la comparativa de este parámetro:

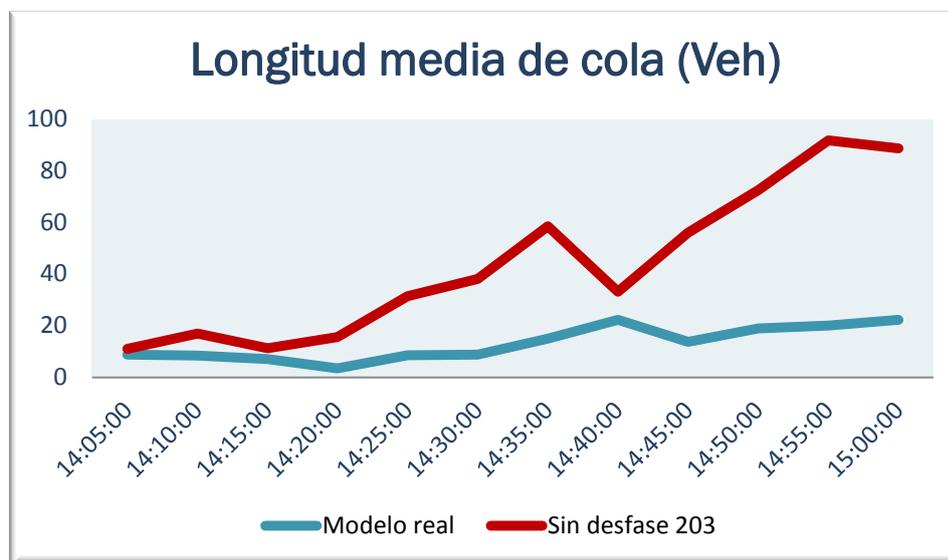


Figura 6.5: Comparación de la Longitud media de cola (Veh). Fallo en la red

La grafica comparativa de la longitud media de cola, va a hacer referencia a las colas de tráfico que se forman como hemos comentado, tanto en el caso de los vehículos que se encuentran esperando para entrar o pasar por las vías arteriales

al barrio, como de los vehículos que se encontraran esperando en los semáforos. Como se puede observar, en este caso la longitud media de cola será mucho mayor en la red donde existe el fallo en el sistema como es lógico, ya que debido a este fallo se producirán tanto atascos como una elevada congestión del tráfico que provocara que el número de vehículos en espera sea mucho mayor.

En media, los valores medios de estas colas fueron:

Longitud media de cola	Veh
Modelo real	13,1094
Sin desfase 203	43,7296

Tabla 6.3: Valores medios de la longitud media de cola. Fallo en la red

Vemos como hemos comentado, como el valor en el modelo sin desfase va a ser muy superior y como de este modo será muy importante tanto un mantenimiento preventivo como una correcta coordinación en los ajustes de los semáforos, hecho que reflejaremos tanto en las conclusiones de esta comparativa como en las conclusiones finales del capítulo.

- **Tiempo de demora (Seg/Km)**

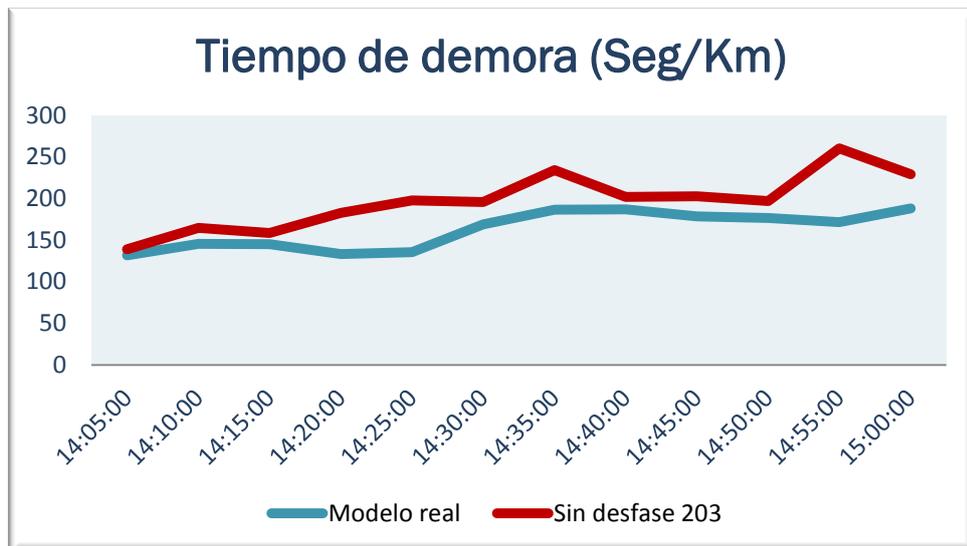


Figura 6.6: Comparación del Tiempo de Demora (Seg/Km). Fallo en la red

En esta nueva comparativa referente en este caso al tiempo de demora, la comparación de los resultados obtenidos en AIMSUN nos indica como la forma de ambas graficas tendrán una forma similar, pero como en el caso en el que no existe

desfase aparecerán picos locales debido a las variaciones que existirán en la circulación en este modelo y como el valor del tiempo de demora va a ser siempre superior en este caso al existente en el modelo real, hecho que se corresponde de forma lógica con los resultados anteriores obtenidos.

En medias los valores de estos tiempos de demora fueron:

Tiempo de demora	Seg/Km
Modelo real	162,386
Sin desfase 203	196,492

Tabla 6.4: Valores medios del tiempo de demora. Fallo en la red

Se observa como al igual que existía una densidad y una longitud media de cola más elevada en el caso del modelo sin desfase, existirá un tiempo de demora de nuevo más elevado a razón aproximadamente de 30 Seg/Km, lo cual al igual que la longitud media de cola resulta un valor bastante significativo.

- **Velocidad media(Km/h)**



Figura 6.7: Comparación de la Velocidad media (Km/h). Fallo en la red

Por ultimo en el análisis de los parámetros globales, vamos a analizar la velocidad media de la red en ambas situaciones, cuya comparativa resulta como se indica en la figura anterior.

Se puede ver como en este caso la velocidad media durante la simulación en el modelo sin desfase va a ser siempre inferior respecto al modelo real del barrio. Esto sucede debido a que con motivo de esta congestión producida en la zona por el atasco y las esperas de los vehículos, estos se verán obligados a reducir la velocidad a la que circulan por la red.

Este resultado parece lógico en comparación con los resultados que acabamos de obtener en los parámetros de densidad, longitud de cola y tiempo de demora, ya que al igual que sucedía en el modelo real analizado en el capítulo anterior, es el parámetro de la velocidad el único que disminuye al aumentar el resto.

En el sumario de la red se reflejan los siguientes valores medios de la velocidad:

Velocidad media	Km/h
Modelo real	21,2209
Sin desfase 203	18,8211

Tabla 6.5: Valores medios de la velocidad media. Fallo en la red

Comprobamos como efectivamente, la velocidad media en el modelo sin desfase va a ser inferior a la velocidad a la que circularan los vehículos en un día cualquiera en el modelo real de la Rondilla.

6.4.1.2- OTRAS CARACTERISTICAS DE LA RED

En este apartado y como reflejamos anteriormente, se van a analizar durante la circulación en hora punta de la red (14:00-15:00), los parámetros de: Tiempo total de viaje, Tiempo y número de paradas y Distancia total recorrida.

La comparativa de los resultados obtenidos en las simulaciones y representados gráficamente en Excel a partir de los datos de AIMSUN, fueron las siguientes:

- **Tiempo total de viaje**

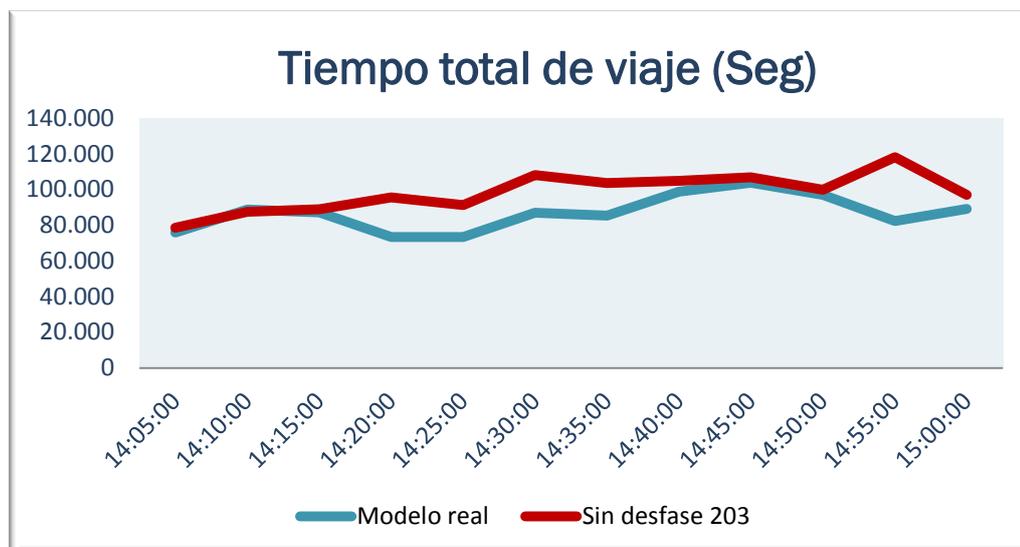


Figura 6.8: Comparación del Tiempo total de viaje (Seg). Fallo en la red

En la gráfica se puede ver como los valores en media del tiempo total de viaje van a ser superiores durante toda la simulación en el modelo sin desfase, en este caso en el nodo 203 simulando el efecto de una posible caída del sistema de control de tráfico como ya hemos dicho, respecto al modelo real del capítulo 5. Este resultado nos le podíamos esperar viendo los resultados obtenidos en los parámetros globales, en los que la densidad, la longitud de cola o el tiempo de demora nos han dado valores superiores al modelo real, por lo que se confirma este resultado de tiempo total de viaje como algo lógico.

Como hemos comentado ya en el análisis de los parámetros globales este incremento de los valores, en este caso en el tiempo total de viaje, va a ser debido a los atascos en la circulación y la congestión del tráfico que va a provocar que en este caso aumente el tiempo total de viaje.

De nuevo en el sumario de la red podemos ver los valores medios del tiempo total de viaje en ambas situaciones. Estos valores como son representados en la gráfica, AIMSUN los aporta en Segundos, pero por comodidad de no dar unos resultados tan elevados, a continuación se muestran estos transformados en Horas.

Tiempos totales de viaje	Horas
Modelo real	289,9
Sin desfase 203	328,41

Tabla 6.6: Valores medios del tiempo Total de viaje. Fallo en la red

Se comprueba de este modo como el tiempo total de viaje va a ser superior en el modelo en el que simulamos el fallo del sistema respecto al modelo considerado para un día normal de la circulación.

- **Tiempo de parada y número de paradas**

A continuación se muestran conjuntamente al igual que hiciéramos en el capítulo 5, los valores del tiempo de parada, que van a hacer referencia al tiempo que se encuentran los vehículos parados por kilómetro y el número de paradas.

Los resultados obtenidos en AIMSUN y representados gráficamente, resultaron de la siguiente forma:

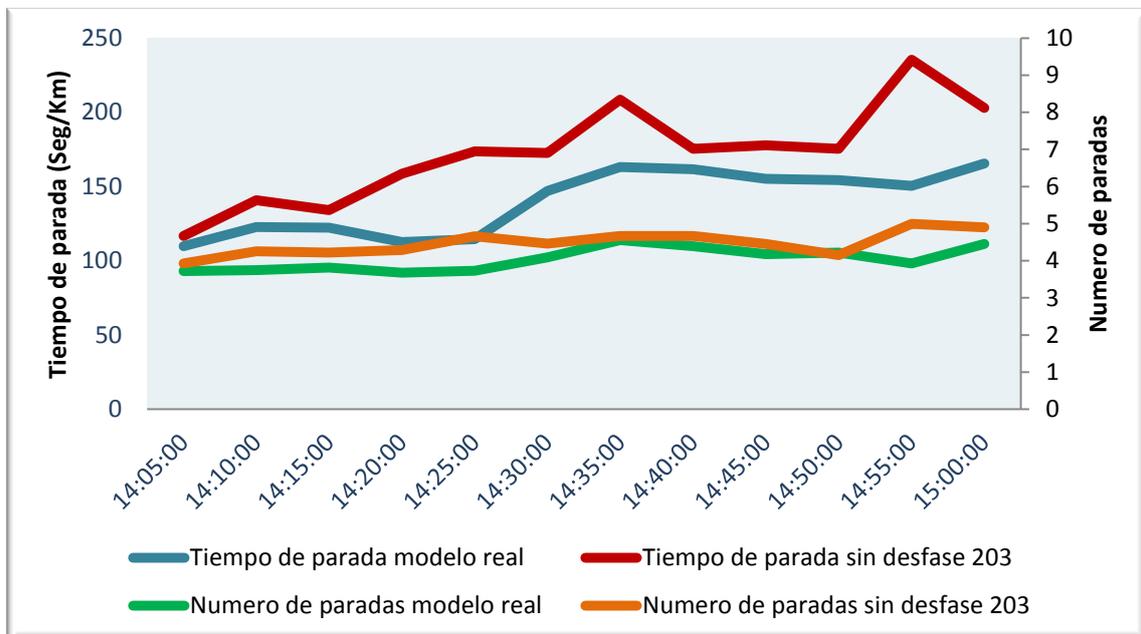


Figura 6.9: Comparación del Tiempo de parada (Seg/Km) y el Número de paradas.

Fallo en la red

Se puede de una forma bastante visual como tanto el tiempo de parada como el número de estas van a superiores en el modelo en el que simulamos el fallo en la red respecto al modelo para un día normal. Se puede observar también como en este modelo aparecen picos locales abandonando las formas suaves del modelo considerado como real.

Los valores medios de estos parámetros obtenidos en AIMSUN fueron los siguientes:

	Tiempo de parada (Seg/Km)	Número de paradas
Modelo real	139,752	4,0432
Sin desfase 203	172,036	4,46492

Tabla 6.7: Valores medios del Tiempo y Número de paradas. Fallo en la red

Se confirma pues como los valores del modelo sin desfase en el nodo 203 son superiores al modelo del barrio considerado como real. Vemos como el número de paradas de ambas redes va a ser similar, pero no así el tiempo de las mismas.

- **Distancia total viajada**

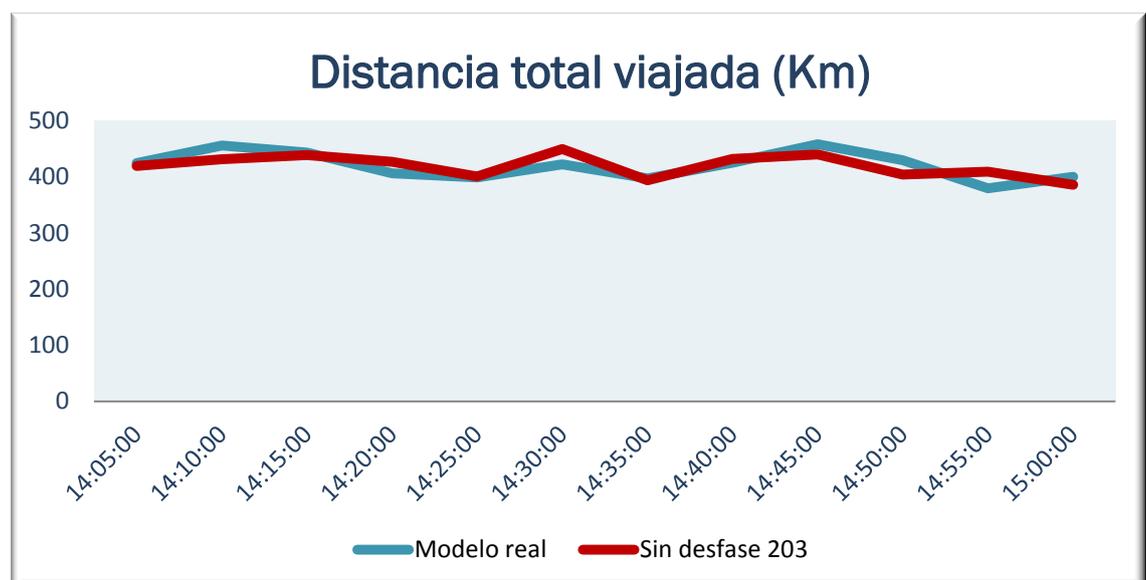


Figura 6.10: Comparación de la Distancia total viajada (Km). Fallo en la red

En la figura se puede ver como en este caso la distancia total viajada va a ser prácticamente idéntica en ambos casos, al igual que ocurría con el flujo de

tráfico, por lo que es un resultado que cabía esperarse y que de nuevo al igual que en el flujo de vehículos que acabamos de comentar parece algo lógico ya que en ambos modelos la demanda de tráfico a través de la matriz O/D es la misma.

Los valores totales de esta distancia obtenidos en AIMSUN fueron los siguientes:

Distancia total viajada	Km
Modelo real	5044,42
Sin desfase 203	5034,94

Tabla 6.8: Valores medios de la Distancia total viajada. Fallo en la red

Como veíamos en la gráfica se confirma que en ambos modelos el resultado es prácticamente el mismo, dándonos una diferencia entre ambas de apenas 10 Km. De nuevo al igual que ocurría en el flujo de tráfico esta ligera diferencia nos la da a favor del modelo considerado en condiciones normales de circulación.

6.4.1.3- CONCLUSIONES FINALES

Una vez analizados tanto los parámetros globales como otras características que se han considerado oportunas para la comparativa de los modelos, podemos concluir como a pesar de que el flujo de vehículos en ambos casos apenas varía, si aumentan notablemente la densidad de tráfico, los tiempos de demora y especialmente el parámetro más significativo para la comparativa de los modelos, la longitud en media de las colas, donde hemos podido ver como el que ocurra un posible fallo en el funcionamiento de cualquier grupo semafórico de la red, especialmente en las vías por las que transita el mayor volumen del tráfico, en nuestro caso las vías arteriales del barrio de la Rondilla, tiene consecuencias muy negativas para la circulación tales como atascos, congestión del tráfico o elevados tiempos de espera, como se ha visto reflejado en el análisis que acabamos de realizar de los parámetros de la red.

De este modo, es indispensable realizar tanto un mantenimiento preventivo de los sistemas de control de tráfico como una actualización cada cierto tiempo de la coordinación semafórica, especialmente cuando el flujo de tráfico varía con los años considerablemente, como es en el caso de la Rondilla.

En el siguiente punto de este capítulo, vamos a analizar el efecto de llevar a cabo un ajuste en la coordinación de estos desfases en las vías de mayor volumen de tráfico, con el objetivo de mejorar los resultados de la red y en nuestro caso

conseguir el fenómeno de la 'onda verde', modelo que a continuación desarrollamos detenidamente.

6.4.2- MODELO DE ONDA VERDE

En esta segunda propuesta de tráfico, que va a ser la central de este capítulo pues es la que se ha intentado realizar un correcto ajuste de los desfases para solucionar los problemas de tráfico de la zona de estudio y que es la que da título a este trabajo, se plantea el efecto que tendría en la circulación el modelo de 'onda u ola verde' a través como acabamos de mencionar de un ajuste en los desfases de las vías de mayor volumen de tráfico de la red.

En nuestro caso como ya hemos comentado varias veces, estas van a ser las vías en ambos sentidos desde la calle Rondilla Santa Teresa hasta la Avenida Palencia. A continuación, podemos ver con el mapa de flujo de tráfico del capítulo 5, como son estas las vías con mayor volumen de vehículos y en las cuales la capacidad no es suficiente para absorber toda la demanda del tráfico que circula por ellas, por lo que será en las que existan mayores problemas de circulación y con las que trabajaremos en este modelo.



Figura 6.11: Mapa de Flujo de Vehículos (Veh/h) del modelo real de la Rondilla

Se puede comprobar efectivamente como es en las vías arteriales o de entrada al barrio, que forman las vías en ambos sentidos desde la calle Rondilla Santa Teresa hasta la Avenida Palencia, donde existe un mayor volumen de tráfico

y con las que se deberá trabajar a través del ajuste en los desfases de los grupos semafóricos de esta vías para lograr mejorar los parámetros analizados del barrio e intentar conseguir la onda verde. En el mapa de flujo se puede ver a su vez como esta congestión en las principales vías del barrio provocara a su vez problemas en el interior de la Rondilla. Como explicamos en la introducción de este capítulo, va a ser en estas vías de mayor tránsito con las que se debe trabajar en este sentido y las únicas en las que se pueda conseguir este modelo de red.

A continuación, se muestra el mapa aportado por el Ayuntamiento de Valladolid referente a los grupos semafóricos en el subárea de la Rondilla, resaltando en color rojo los grupos semafóricos que afectan a las vías con las que trabajamos en esta propuesta de tráfico.

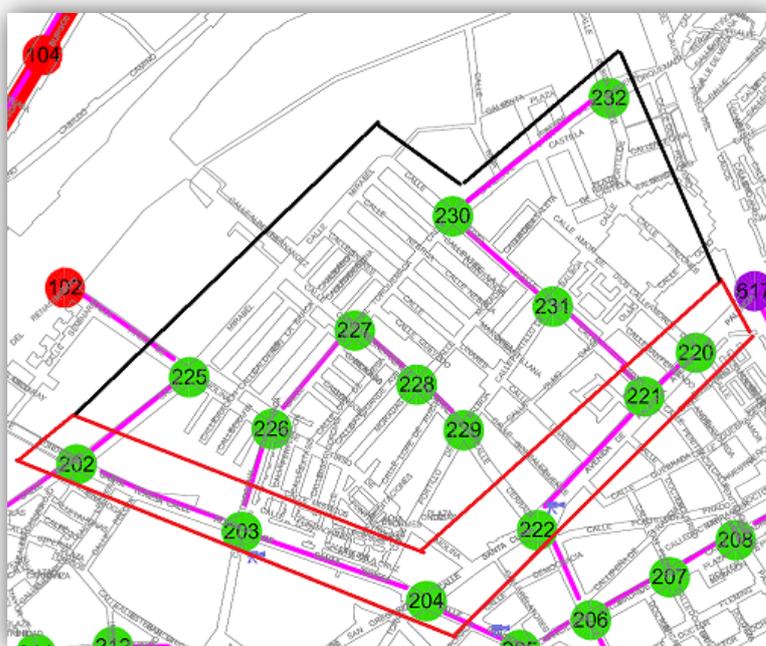


Figura 6.12: Grupos semafóricos en el subárea de la Rondilla

De este modo, en nuestro caso los grupos semafóricos e intersecciones que van a afectar a las vías arteriales del barrio con las que vamos a trabajar, van a ser:

- **Intersección 202.** c/Rondilla Santa Teresa - c/Mirabel
- **Intersección 203.** c/Rondilla Santa Teresa - c/Cardenal Torquemada
- **Intersección 204.** c/Gondomar - c/Santa Clara



- **Intersección 220.** Avenida Palencia - c/Amor de Dios
- **Intersección 221.** Avenida Palencia - c/Penitencia
- **Intersección 222.** Avenida Palencia - c/Real de Burgos

Por último y al igual que se refleja en la definición dada inicialmente de la onda verde, se debe de tener en cuenta que los objetivos que se pretenden en esta propuesta de tráfico van a ser que cualquier vehículo que se mueva a la velocidad establecida a lo largo de estas vías (fijada en 50 Km/h en los parámetros de AIMSUN) vea progresivamente una serie de luces verdes según avanza, de forma que tenga que detenerse el menor tiempo posible en las intersecciones afectadas que acabamos de ver, permitiendo con ello una reducción en las distancias y tiempos de espera y en definitiva un tráfico más fluido.

Para conseguir este objetivo se va a realizar un ajuste en los desfases y los repartos, principalmente en los desfases al ser el parámetro más influyente, de los grupos semafóricos cuyas intersecciones nos afectan en este caso, las cuales acabamos de ver.

Como ya explicamos en el apartado 2.5.3.2 del capítulo 2, el único método para llevar a cabo este ajuste, aparte de emplear programas computacionales creados especialmente para ello, es mediante un **procedimiento manual o ‘tanteo’** el cual se puede realizar a través de diagramas espacio-tiempo como vimos reflejado o como es nuestro caso gracias a un software de simulación de tráfico, en nuestro caso AIMSUN, con el que podemos trabajar y observar a través de simulaciones animadas, el efecto de ir variando los distintos desfases de los grupos semafóricos de la red de forma que se logre la mejor coordinación semafórica.

De esta forma, podemos ver en la siguiente figura los cambios llevadas a cabo en la primera de estas intersecciones, en este caso la denominada 202, que se encuentra en el cruce entre la calle Rondilla Santa Teresa y la calle Mirabel, y al igual que realizamos con el resto de los grupos semafóricos que nos afectan.

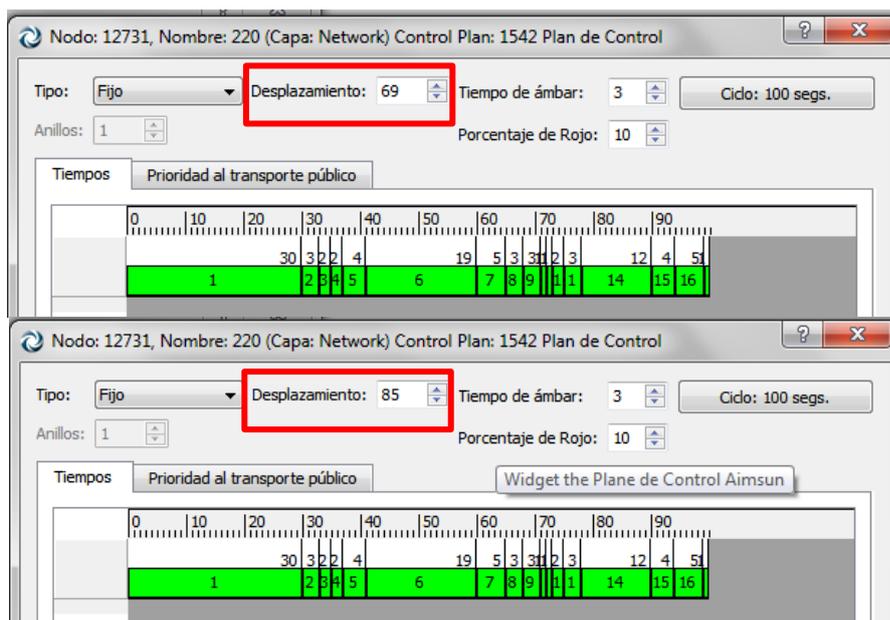


Figura 6.13: Diferencias entre los modelos de la intersección c/Rondilla Santa Teresa-c/Mirabel

Por último, a la hora de realizar la simulación de este nuevo modelo se debe tener en cuenta que como consecuencia de este ajuste, una mayor cantidad de vehículos van a circular por estas vías respecto a las vías del interior del barrio o de otras zonas límites de la Rondilla, por lo que se ha disminuido un 25% la demanda del interior del barrio, dando por tanto una mayor prioridad a estas vías que ya tenían en cierto modo en el modelo real del capítulo 5 a través de la matriz O/D y al conseguir como vimos una validación del 96% aproximadamente.

A continuación y al igual que hiciéramos con la anterior propuesta, vamos a realizar tanto el análisis de los parámetros globales como otras características de la red consideradas como importantes para comparar los resultados con el denominado modelo real de la red (capítulo 5).

6.4.2.1- ANALISIS DE PARAMETROS GLOBALES

De nuevo en este apartado, vamos a realizar la comparativa durante la hora punta de circulación con un intervalo de 5 minutos, de los siguientes parámetros: Flujo de vehículos, Densidad de Tráfico, Longitud media de cola, Tiempo de demora y la Velocidad media.

La comparativa de los resultados obtenidos para estos parámetros fue la siguiente:

- **Flujo de vehículos (Veh/h)**

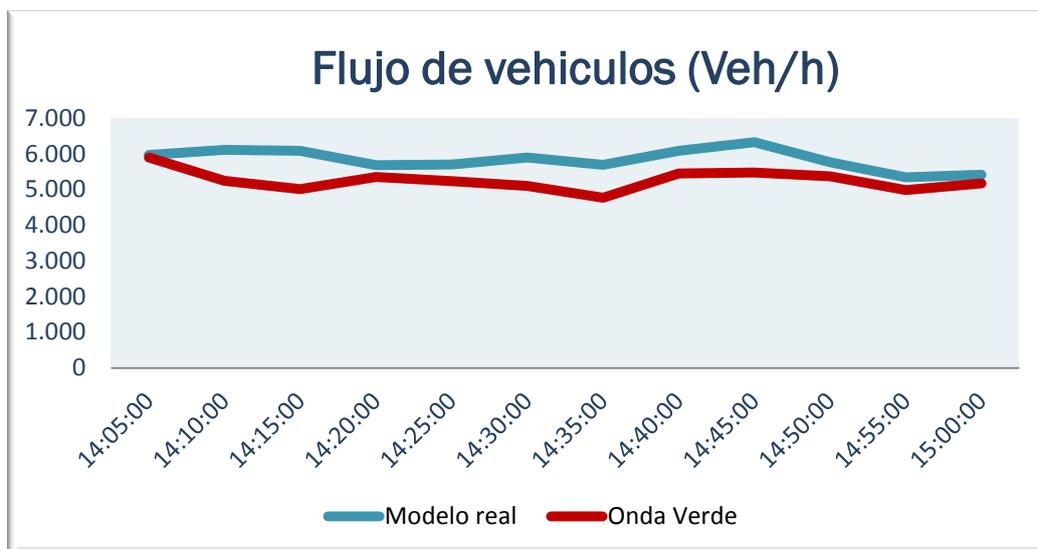


Figura 6.14: Comparación del Flujo de Vehículos (Veh/h). Onda Verde

Se puede ver en la figura 6.14 como ambas gráficas, que recordemos están simuladas durante la hora punta de la red, comienzan y terminan en el mismo punto, manteniéndose el flujo de vehículos del modelo de la onda verde siempre ligeramente inferior al modelo real. El flujo de vehículos se ve reducido al cambiar la demanda de la misma, lo que es debido como se podrá observar en la simulación animada de la red a la circulación más fluida que existe ahora en las vías de entrada al barrio, lo que permite que haya una menor congestión del tráfico y por tanto un menor flujo de vehículos ‘atrapadas’ en la red.

De nuevo en el sumario de la red, podemos ver los valores del flujo medio de vehículos en ambas situaciones, el cual se muestran a continuación:

Flujo de Vehículos	Veh/h
Modelo real	5848
Modelo Onda Verde	5264

Tabla 6.9: Valores medios del flujo de vehículos. Onda Verde

Se corrobora como hemos visto en la gráfica, como el flujo de vehículos en este caso va a ser inferior al flujo del modelo existente en la actualidad en el barrio de la Rondilla y que hemos analizado y validado en el capítulo 5.

Observamos por ultimo como a pesar de esta circulación más fluida de la red que evita la menor congestión del tráfico en la hora punta, el flujo de vehículo es ‘ligeramente’ inferior, lo cual es debido a que debido también a esta mayor fluidez de tráfico, vehículos que antes tomaban otras rutas, ahora pasaran por estas vías más fluidas, lo que hace que la demanda en ambos casos sea bastante similar.

- **Densidad de tráfico (Veh/Km)**

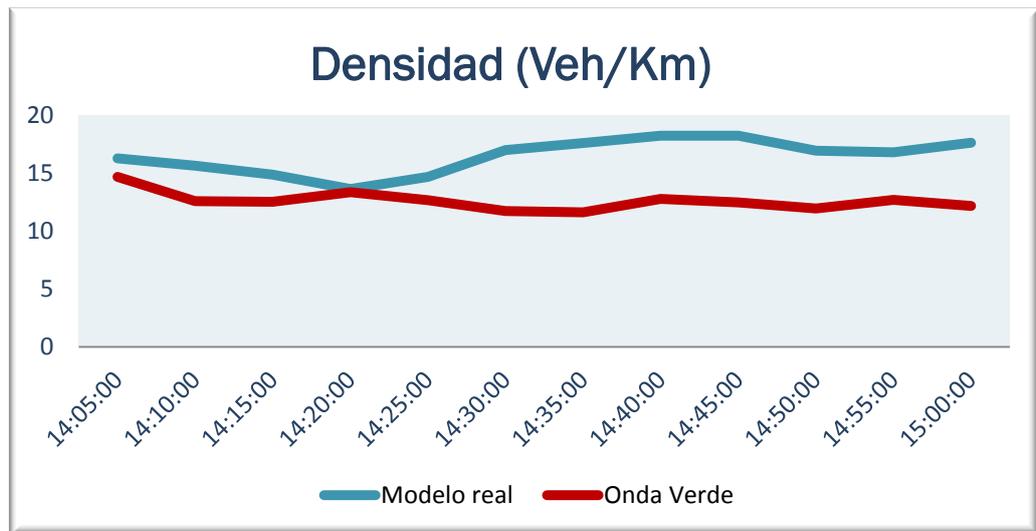


Figura 6.15: Comparación de la Densidad de Tráfico (Veh/Km). Onda Verde

En esta nueva comparativa, que en este caso hace referencia a la densidad del tráfico rodado por el barrio de la Rondilla durante la hora punta, se puede observar como la densidad de vehículos en el modelo de la onda verde va a ser lógicamente inferior como era de esperar, al existir una circulación más fluida por las vías de mayor volumen de tráfico de la red.

Los valores medios obtenidos en AIMSUN de la densidad de tráfico, fueron los siguientes:

Densidad de Tráfico	Veh/Km
Modelo real	16,4615
Modelo Onda Verde	12,6059

Tabla 6.10: Valores medios de la Densidad de Tráfico. Onda Verde

Se comprueba efectivamente de esta foma la notable disminución en la densidad de tráfico de la red durante la hora punta.

- **Longitud media de cola (Veh)**

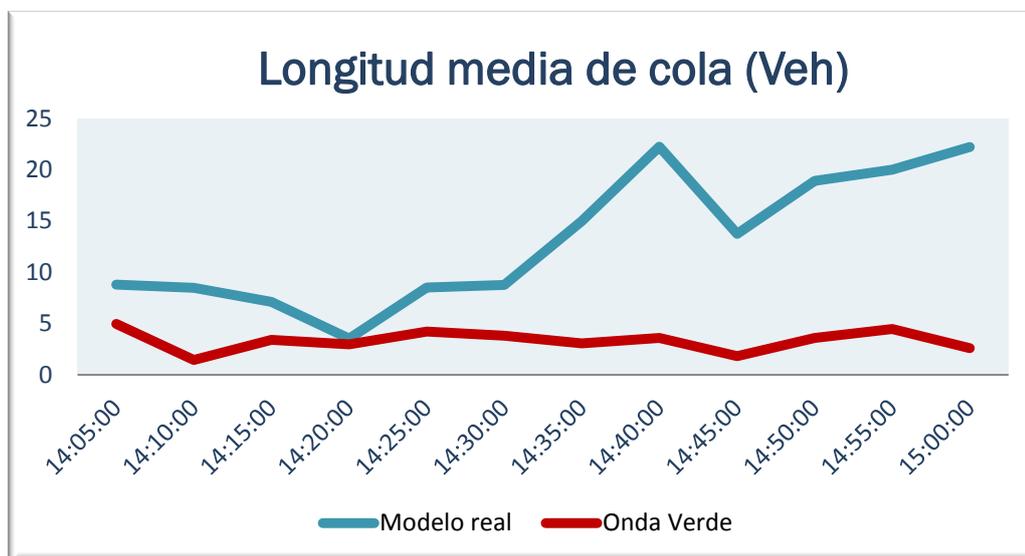


Figura 6.16: Comparación de la Longitud media de cola (Veh). Onda Verde

En este caso, y al igual que ya comentamos para la primera propuesta de tráfico planteada, va a ser el parámetro de la longitud media de cola el más representativo y fiable a la hora de realizar las comparativas entre los modelos.

Podemos ver como este parámetro se ve claramente reducido en nuestro modelo de la onda verde, el cual se mantiene constante durante toda la simulación, como pretendíamos con la propuesta de esta red.

Esto es debido a la mejor sincronización de los desfases como se puede ver en la simulación animada de la red, donde se observa como los vehículos que circulan por las vías arteriales de entrada al barrio se encuentran una cascada de luces verdes a su paso manteniéndose parados un menor tiempo que en el modelo real inicial, de forma que estos vehículos no se van a detener tanto tiempo y van a permitir un flujo más fluido, como se veía en el análisis de los anteriores parámetros.

Una vez más, los valores medios des estos parámetros fueron los siguientes:

Longitud media de cola	Veh
Modelo real	13,1094
Modelo Onda Verde	3,32187

Tabla 6.11: Valores medios de la Longitud media de cola. Onda Verde

De este modo se refleja con estos datos, la gran disminución de vehículos esperando en la red, que provocara una circulación más fluida y una reducción de las esperas como se pretendía.

- *Tiempo de demora (Seg/Km)*

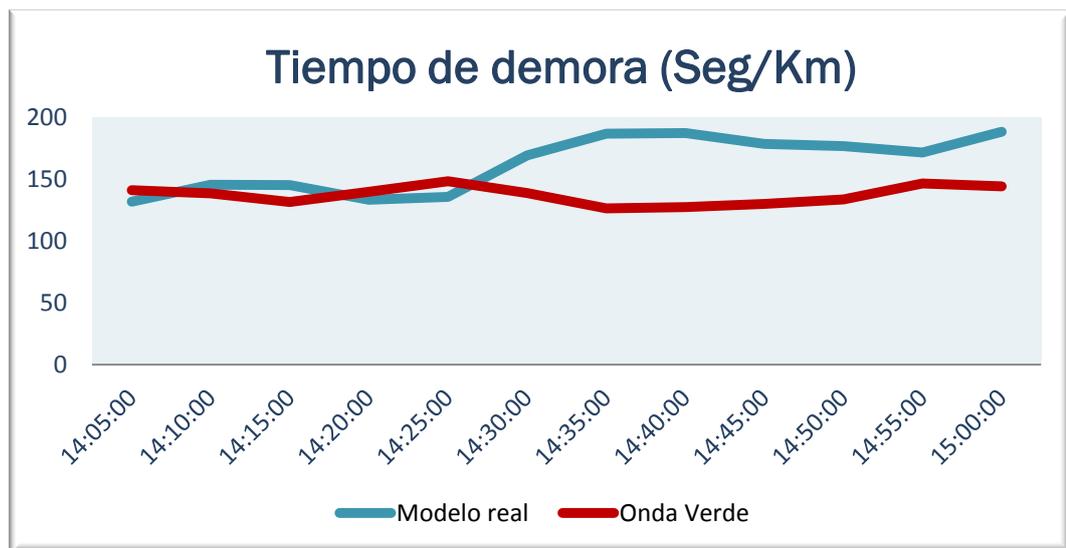


Figura 6.17: Comparación del Tiempo de Demora (Seg/Km). Onda Verde

Observamos en el caso de los tiempo de demora, como este parámetro en el modelo de la onda verde va a ser inferior al modelo considerado como real durante toda la simulación, especialmente a partir de las 14:30 que serán como hemos visto varias veces, el punto de comienzo del periodo más conflictivo de circulación. Este parámetro era de esperar de forma lógica viendo los resultados que acabamos de analizar.

Cabe destacar sin embargo como pese a la notable disminución de la longitud media de cola, esta reducción del tiempo de demora no es tan significativa. Esto se deba a que a pesar de que haya menos congestión de colas

en la red por la mejor coordinación semafórica, los vehículos deben de parar en los semáforos igualmente para permitir también el paso de las vías transversales.

Los valores medios obtenidos fueron los siguientes:

Tiempo de Demora	Seg/Km
Modelo real	162,386
Modelo Onda Verde	137,239

Tabla 6.12: Valores medios del Tiempo de Demora. Onda Verde

Como acabamos de decir, se observa con estos valores la disminución en el tiempo de demora aunque no de forma tan significativa respecto a la longitud media de cola.

- **Velocidad media (Km/h)**

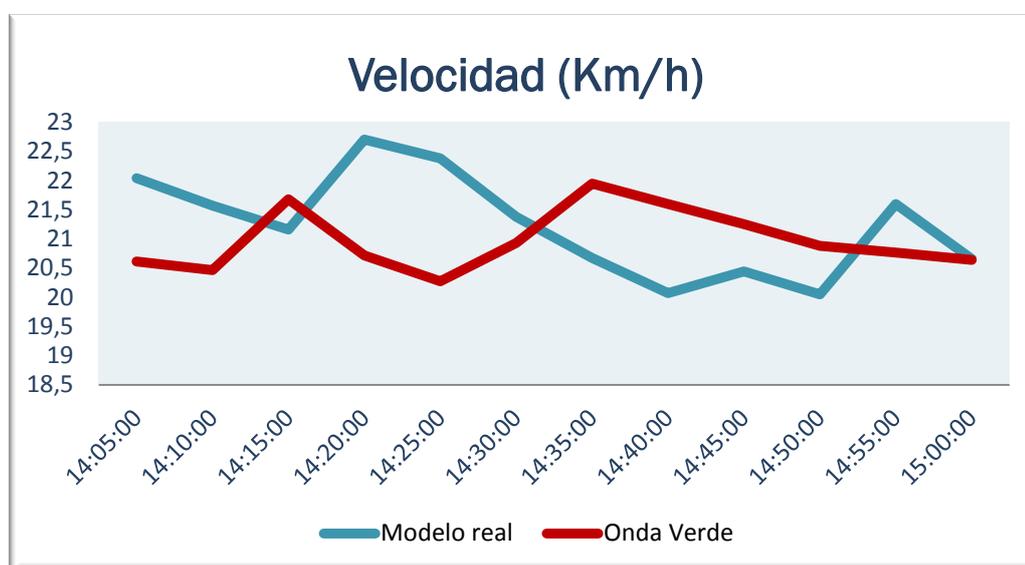


Figura 6.18: Comparación de la Velocidad media (Km/h). Onda Verde

Analizando por ultimo en estos parámetros la velocidad media de las redes, vemos cómo van a existir dos tramos diferenciados. El primero desde el inicio de la hora punta hasta las 14:35 donde la velocidad es superior en el modelo real, y el segundo tramo desde las 14:35 hasta prácticamente el final de la simulación,

donde vemos que en este caso es en el modelo de la onda verde donde la velocidad es mayor.

Este hecho es lógico, ya que va a ser en este último tramo en el que había una mayor congestión del tráfico, donde se van a ver como hemos visto los mayores beneficios de la circulación más fluida de este modelo, que permiten una mayor velocidad de circulación de los vehículos.

Se puede apreciar además, como en este casos van a existir más picos en la gráfica del modelo de la onda verde, lo que se debe a que los vehículos circulan a una mayor velocidad pero tienen que pararse de igual forma en los semáforos para permitir el tránsito del resto de vías, por lo que existirán mayores aumentos y disminuciones de velocidad y de ahí la aparición de estos picos.

De forma numérica los valores medios de estas velocidades resultaron los siguientes:

Velocidad media	Km/h
Modelo real	21,2209
Modelo Onda Verde	20,9734

Tabla 6.13: Valores medios de la Velocidad media. Onda Verde

Se ve como debido a la existencia de dos tramos diferenciados en los cuales predomina una mayor velocidad de un modelo en un caso y de otro modelo en el otro, resultan en media ambas valores prácticamente iguales, en torno a una velocidad media de 21 Km/h.

6.4.2.2- OTRAS CARACTERISTICAS DE LA RED

En este apartado y al igual que hiciéramos en la primera propuesta de tráfico, se van a analizar durante la hora punta de circulación, los parámetros del: Tiempo total de viaje, Tiempo y número de paradas y Distancia total recorrida.

Una vez más, la comparativa de los resultados obtenidos en las simulaciones y representados gráficamente en Excel a partir de los datos de AIMSUN, fueron las siguientes:

- **Tiempo total de viaje**

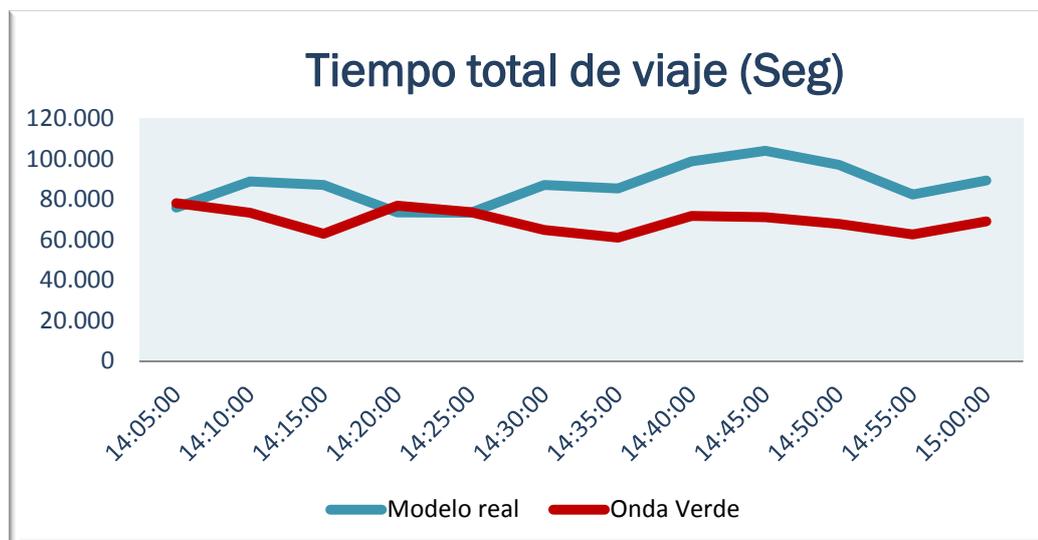


Figura 6.19: Comparación del Tiempo total de viaje (Seg). Onda Verde

Podemos ver en la figura 6.19 como se obtiene una gráfica muy similar respecto a la comparativa de la densidad de tráfico o del tiempo de demora. Esto es lógico ya que al existir menos densidad de vehículos en la zona por la circulación más fluida, se producirán en media menos demoras y por tanto el tiempo total de viaje en el modelo de onda verde será menor.

Se puede apreciar como al igual que dijimos para el tiempo de demora, el tiempo total de viaje mejorara al disminuir su valor pero no de manera excesiva, lo que se debe a que a pesar de mejorar la coordinación de los semáforos ajustando los desfases, no se puede modificar excesivamente el reparto de tiempos de verde de los grupos semafóricas ya que los vehículos que circulan por estas vías arteriales también deberán de cumplir los ciclos semafóricos, deteniéndose en ellos cuando así marquen para permitir el flujo de tráfico por las vías transversales.

Los valores medios de estos parámetros fueron:

Tiempo total de viaje	Horas
Modelo real	289,9
Modelo Onda Verde	231,79

Tabla 6.14: Valores medios del Tiempo total de viaje. Onda Verde

Efectivamente se comprueba con los valores medios, como en el modelo de la onda verde se reduce el tiempo de viaje de los vehículos de la zona de forma considerable.

- **Tiempo y número de paradas**

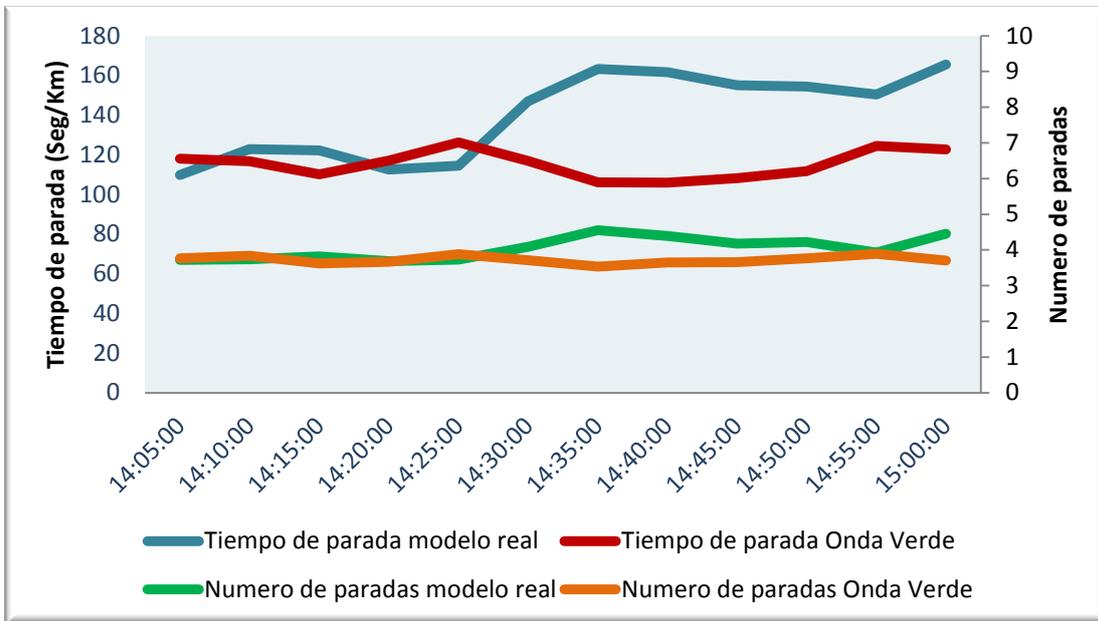


Figura 6.20: Comparación del Tiempo de parada (Seg/Km) y el Número de paradas. Onda Verde

En la gráfica comparativa del tiempo de parada y el número de paradas vemos como en el modelo propuesto se reduce notablemente el tiempo de parada, aunque no así el número de paradas. Esto se debe como hemos dicho a la mejor coordinación de los desfases de los semáforos, que hace que este tiempo de parada se reduzca, lo que no quita que los vehículos deben detenerse igualmente en ellos para permitir el tráfico en todas las direcciones.

De forma numérica, los valores medios de estos parámetros fueron:

	Tiempo de parada (Seg/Km)	Número de paradas
Modelo real	139,752	4,0432
Onda Verde	115,354	3,72517

Tabla 6.15: Valores medios del Tiempo y Número de paradas. Onda Verde

Comprobamos como efectivamente se han reducido ambos parámetros, aunque en el caso del número de paradas ligeramente como acabamos de comentar.

- **Distancia total recorrida**

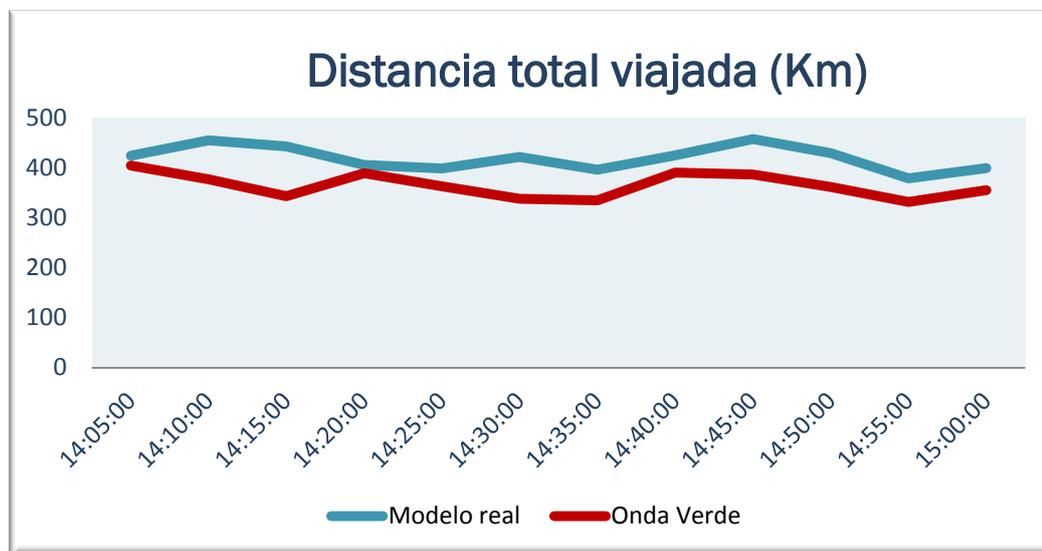


Figura 6.21: Comparación de la Distancia total viajada (Km). Onda Verde

Por último, analizando la distancia total recorrida en ambos modelos, vemos como en esta propuesta se mejora ligeramente también este parámetro, al existir menos congestión y demoras; pero al ser similar el flujo de vehículos como hemos visto, este parámetro también será bastante parejo.

Los valores totales de distancia recorrida fueron:

Distancia total viajada	Km
Modelo real	5044,42
Sin desfase 203	4383,81

Tabla 6.16: Valores medios de la Distancia total viajada. Onda Verde

Como veíamos en la gráfica, el hecho de mejorar las distancias y tiempos de demora provoca que la distancia total recorrida de esta nueva propuesta sea menor.

6.4.2.3- CONCLUSIONES FINALES

Una vez analizados tanto los parámetros globales de la red como otras características que también hemos considerado oportunas para analizar la comparativa de los modelos, podemos concluir que mediante las iteraciones de tanteo realizadas para ajustar los desfases, se ha conseguido mejorar la sincronización de los programas de tiempo de los semáforos, como se puede ver tanto en el análisis de estos parámetros donde efectivamente hemos comprobado la disminución en la longitud media de cola, la densidad de tráfico o la distancia total viajada entre otros, como en las simulaciones animadas de la red, donde se ve como mejora la progresión del tránsito de vehículos de forma que se reducen las demoras y detenciones.

En los ficheros AIMSUN que se adjuntan en los CD´s junto al TFG y al igual que hemos visto en la comparativa de las gráficas, se podrán ver reflejados todos estos cambios en los distintos modelos de la red. Igualmente mediante la ejecución de la simulación de estas redes como acabamos de mencionar, se podrá ver como en este nuevo modelo los vehículos de la red circulan por las vías arteriales de forma que se encuentran progresivamente una serie de luces verdes según avanzan, deteniéndose en las intersecciones en este caso un menor tiempo que en el modelo real de la red que validamos en el capítulo 5, consiguiendo de este modo la onda verde del barrio.

De esta forma, hay que destacar finalmente la importancia de realizar periódicamente un ajuste en la coordinación semafórica de las principales vías, especialmente en las zonas como es el barrio de la Rondilla donde las infraestructuras existentes y el poco espacio disponible en la zona, unido al aumento experimentado en los últimos años de la demanda de tráfico que circula por la zona al tratarse de una zona de paso, impiden llevar a cabo modificaciones estructurales importantes.

6.4.3- CREACIÓN DE UN NUEVO GRUPO SEMAFORICO EN LA RED

En primer lugar hay que mencionar que esta última propuesta de tráfico surge a raíz de una petición del Ayuntamiento de Valladolid a través de Roberto Riol, jefe del Gabinete de Movilidad Urbana, el cual en una reunión fijada conmigo y mi tutor del proyecto en la que nos aportó todos los datos relativos a la demanda de tráfico, los planos de control semafórico de la zona, etc. necesarios para la realización de los distintos modelos de este trabajo, nos sugirió investigar y modelar la conveniencia o no y la eficiencia de introducir una nueva intersección regulada con semáforos en la intersección de la calle Rondilla de Santa Teresa con

la calle Moradas.

De este modo, en esta última propuesta de tráfico y en colaboración con el Ayuntamiento de Valladolid, vamos a realizar como exponíamos en el punto 6.2 de este capítulo, una modificación en la estructura del control de tráfico de la red, mediante la creación de un nuevo grupo semafórico en la intersección citada entre la calle Rondilla Santa Teresa y la calle Moradas.

A continuación, adjuntamos en las siguientes figuras el modelado realizado para la creación de este nuevo grupo semafórico en la intersección mencionada.

Para su modelado, hubo que realizar varias visitas in situ a la zona de estudio para comprobar cómo se podría definir este nuevo cruce y como se comportaba tanto el tráfico como los semáforos adyacentes de la zona, ya que en esta ocasión había que modelar toda la estructura del grupo semafórico, es decir:

- ✓ Configuración de giros
- ✓ Configuración de semáforos del grupo ('Signal' en AIMSUN)
- ✓ Desfase
- ✓ Asignación de tiempos de inicio
- ✓ Asignación de duraciones de verde efectivo

De esta forma, podemos observar a continuación el resultado final del modelado comparado con la situación actual de la intersección en el barrio de la Rondilla, la cuales resultan de la siguiente forma:

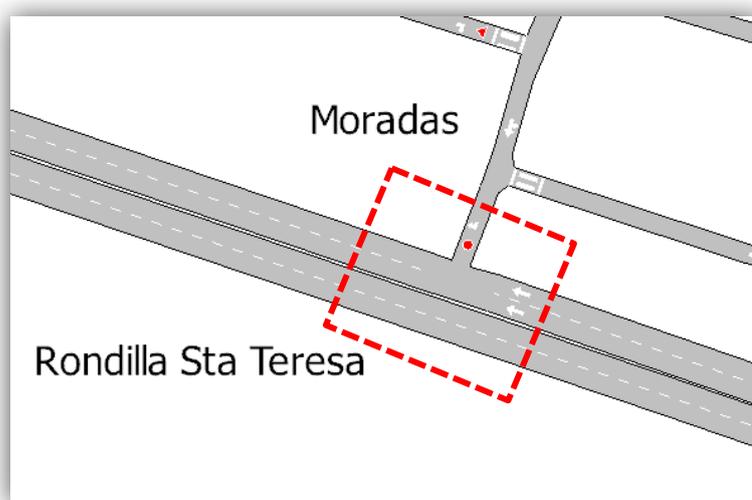


Figura 6.22: Situación actual de la intersección c/Rondilla Santa Teresa – c/Moradas

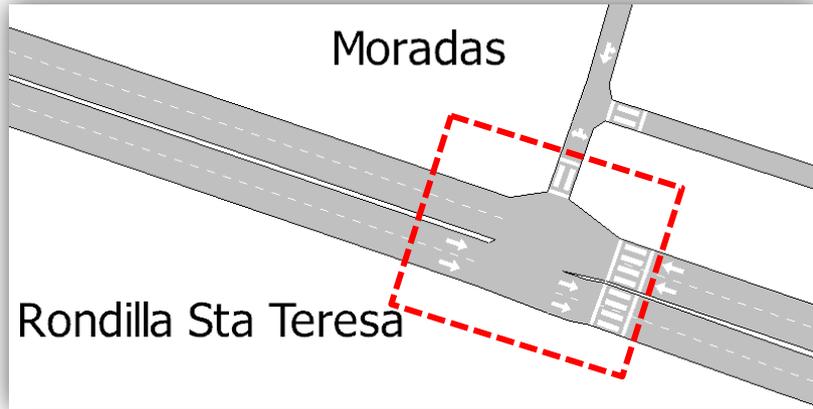


Figura 6.23: Nuevo grupos semafórico en la intersección c/Rondilla Santa Teresa – c/Moradas

Así, la **configuración de giros** para el nuevo cruce resulto como se puede ver en la siguiente figura, en la que se ha permitido la circulación en la calle Rondilla Santa Teresa en ambos sentidos, con la aportación en este caso del giro a la izquierda desde la calle Moradas hacia la calle Santa Clara.

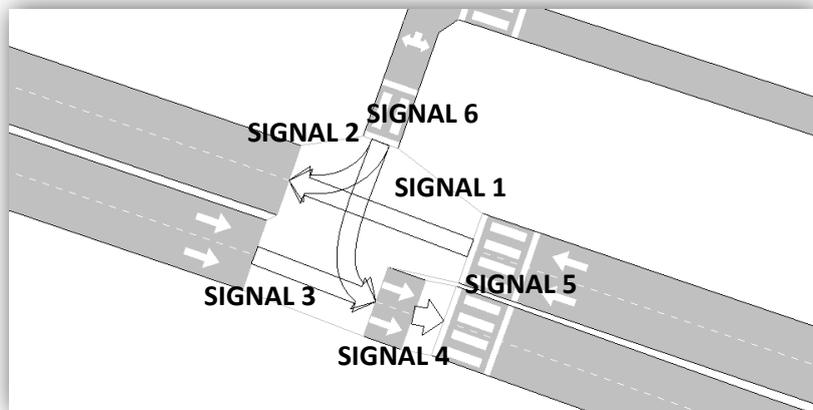


Figura 6.24: Configuración final del nuevo grupo semafórico

Igualmente, la configuración de semáforos o 'Signal' y el **diagrama espacio-tiempo** (se debe de tener en cuenta que la 'signal 5' y la 'signal 6' hacen referencia a los semáforos de los cruces de peatones) fue el siguiente:

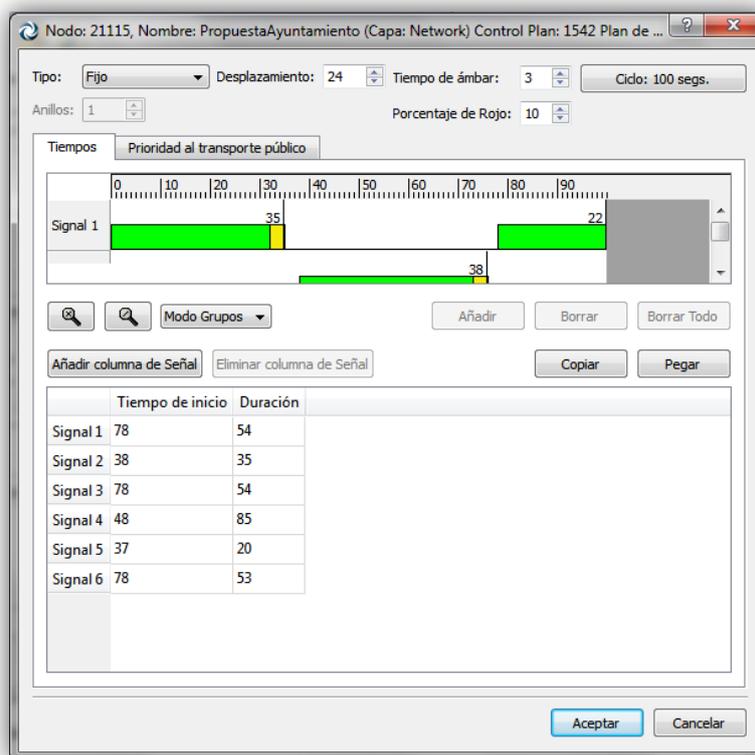


Figura 6.25: Diagrama espacio-tiempo del nuevo grupo semafórico

Uno de los aspectos obligatorios y a tener en cuenta en la creación de este nuevo grupo semafórico, es que el ciclo del nuevo grupo debe ser el mismo que el ciclo del resto de grupos, en este caso como es el de la ciudad de Valladolid, igual a **100 seg.**, como se puede apreciar en la anterior figura.

Finalmente, una vez definidos todos los parámetros en la red del nuevo grupo semafórico, vamos a realizar al igual que hiciéramos con las dos anteriores propuestas, la comparativa tanto de los parámetros globales como de otras características de la red respecto al modelo real del barrio analizado en el capítulo 5.

6.4.3.1- ANALISIS DE PARAMETROS GLOBALES

Como hemos comentando previamente en la introducción del capítulo, en este apartado vamos a analizar los siguientes parámetros: Flujo de vehículos, Densidad de Tráfico, Longitud media de cola, Tiempo de demora y la Velocidad media.

Para analizar esta serie de parámetros y al igual que en el anterior capítulo, se van a recoger los resultados de la simulación en AIMSUN durante la **hora punta**

de la circulación (14:00-15:00), con un intervalo de 5 minutos entre las mediciones.

La comparativa de los resultados obtenidos para estos parámetros fue la siguiente:

- **Flujo de Vehículos (Veh/h)**

En primer lugar, para ver mejor las diferencias obtenidas con la introducción del nuevo grupo semafórico en la intersección de la calle Rondilla Santa Teresa con la calle Moradas, que recordemos forma parte de las vías arteriales del barrio en las que se centra tanto este capítulo como el TFG en general, vamos a realizar una comparación de los mapas de flujo de ambas redes en la correspondiente intersección. De esta forma los mapas de flujo de ambos modelos han sido los siguientes:

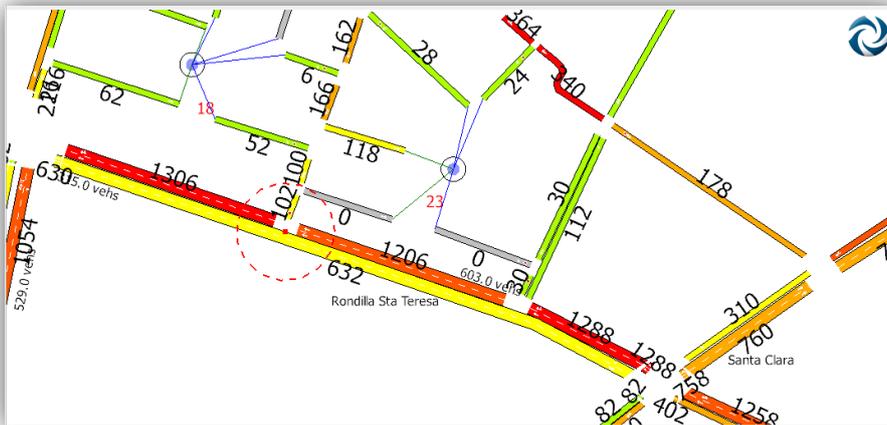


Figura 6.26: Mapa de flujo de la intersección. Modelo Real

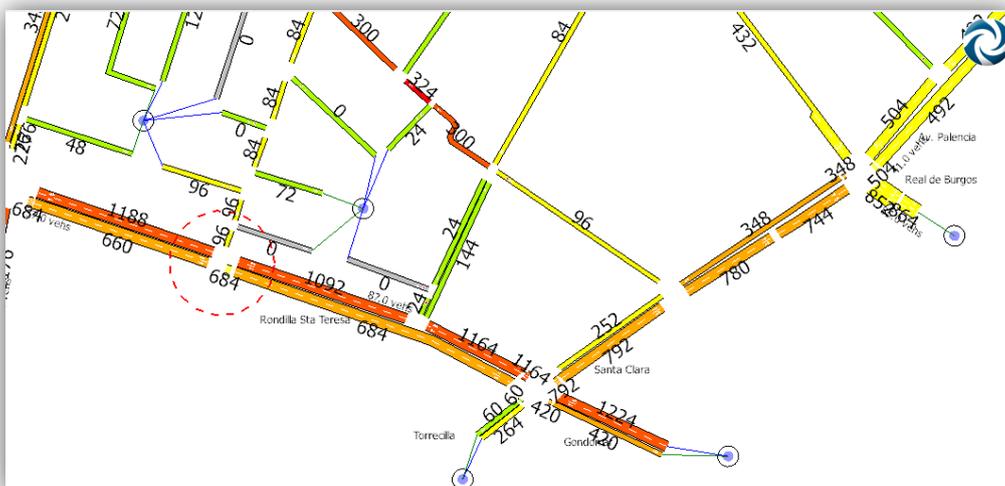


Figura 6.27: Mapa de flujo de la intersección. Nuevo Grupo Semafórico

Comparando ambas graficas podemos observar cómo con la aportación del nuevo grupo semafórico que permite el giro a la izquierda desde la calle Moradas hacia la calle Santa Clara, se logra descargar otras vías como Cerrada o Santa Clara y las vías hacia Chancillería, reduciendo de esta forma distancias y tiempos de recorrido.

Esto se puede observar en los datos de flujo de vehículos de las intersecciones, los cuales son menores con el aporte del nuevo grupo semafórico y en la capacidad de las vías las cuales han pasado a colores más claros y 'líneas' menos gruesas, debido a esta disminución de capacidad que se verá reflejada en el análisis de las gráficas de los parámetros que analizamos a continuación.

De este modo, la comparativa del flujo de vehículos entre ambos modelos resulto la siguiente:

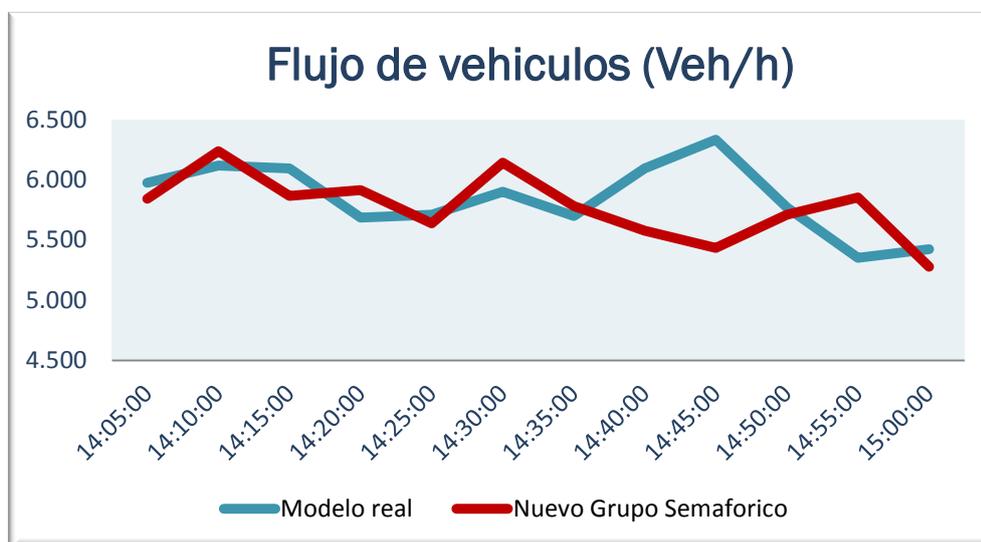


Figura 6.28: Comparación del Flujo de Vehículos (Veh/h). Nuevo Grupo Semafórico

En la comparativa del flujo de vehículos de ambos modelos, se puede ver como este se mantiene bastante similar hasta las 14:35 aproximadamente, donde el flujo de vehículos de la nueva red en la que hemos añadido el grupo semafórico (aunque con variaciones) se mantiene por debajo del flujo de vehículos del modelo real de la red hasta igualarse en el tramo final. Este hecho es algo positivo ya que es justo en el momento en el que el nuevo modelo comienza a disminuir, cuando más problemas existían en la red, de forma que va a aliviar el flujo de vehículos en este tramo de circulación más conflictivo.

Al igual que en las anteriores propuestas, los valores del flujo medio de vehículos en ambas situaciones fueron los siguientes:

Flujo de Vehículos	Veh/h
Modelo real	5848
Modelo 'Cruce Ayuntamiento'	5775

Tabla 6.17: Valores medios del flujo de vehículos. Nuevo Grupo Semafórico

Vemos como en media ambos valores son similares al tratarse en ambos casos de la misma demanda de tráfico, pero como en este caso la aportación del nuevo cruce disminuye este flujo de vehículos, especialmente como hemos visto en la gráfica, durante el periodo más conflictivo.

- **Densidad de Tráfico (Veh/Km)**

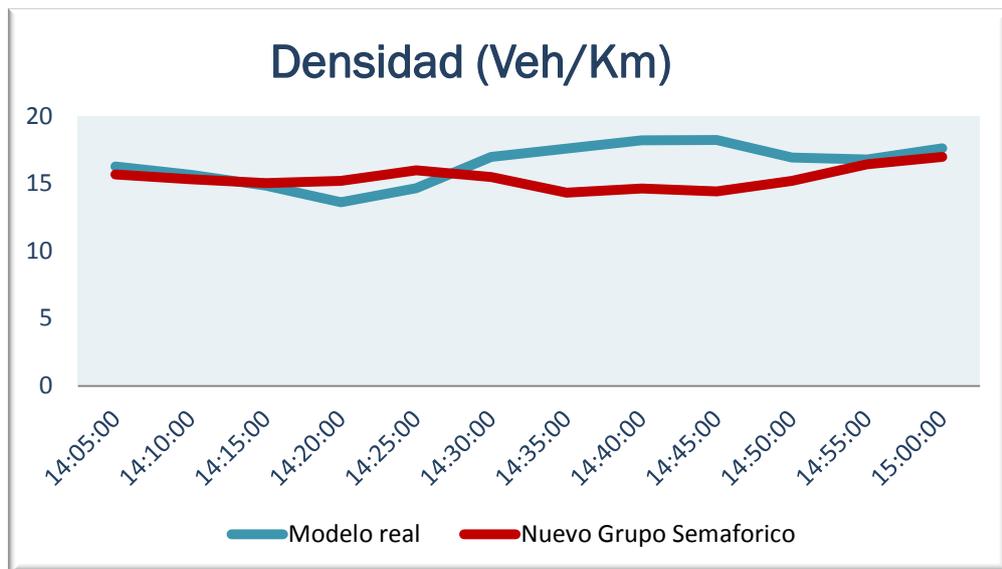


Figura 6.29: Comparación de la Densidad de Tráfico (Veh/Km). Nuevo Grupo Semafórico

En esta comparativa vemos como las densidades se van a mantener parejas durante la simulación, pero como la densidad de esta nueva propuesta se va a mantener por debajo de la densidad del modelo real siendo por tanto menor, sobre todo en el tramo de mayor congestión de tráfico de la hora punta, alcanzando a las 14:40 aproximadamente una diferencia de 10 Veh/km.

Los valores medios de la densidad obtenidos durante la simulación en AIMSUN fueron los siguientes:

Densidad de Trafico	Veh/km
Modelo real	16,4615
Modelo 'Cruce Ayuntamiento'	15,4041

Tabla 6.18: Valores medios de la Densidad de Tráfico. Nuevo Grupo Semafórico

Podemos comprobar como en esta nueva propuesta en la que hemos añadido el nuevo grupo semafórico, la densidad aunque ligeramente sí que va a disminuir, como hemos visto en los mapas del flujo de tráfico especialmente descargando vías como Cerrada o Santa Clara, las cuales antes se encontraban muy congestionados, pero como este nuevo grupo semafórico tampoco puede disminuir en general 'demasiado' la red, lo cual también es lógico.

- Longitud media de cola (Veh)

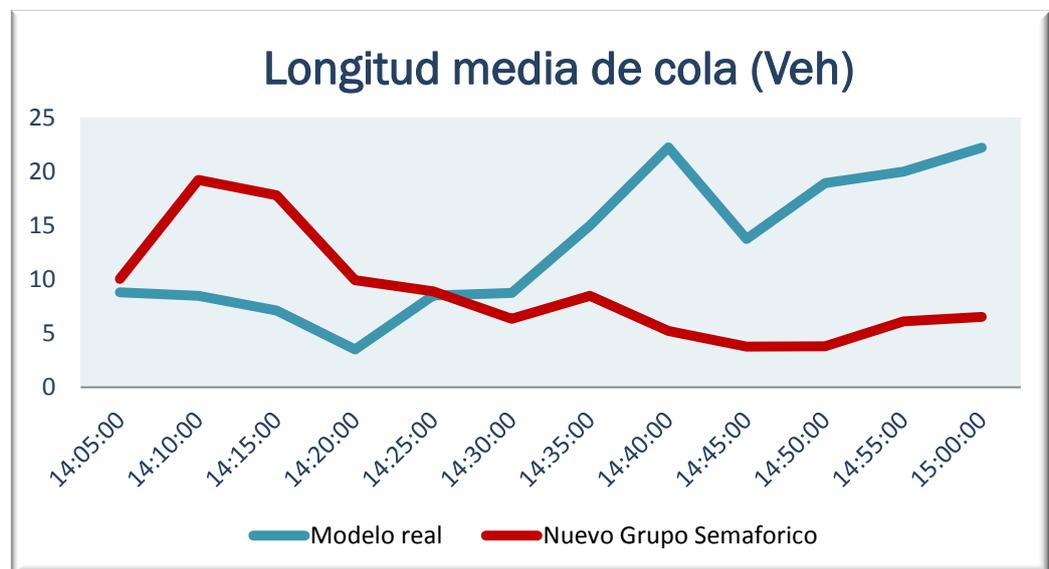


Figura 6.30: Comparación de la Longitud media de cola (Veh). Nuevo Grupo Semafórico

En este caso vamos a analizar como hemos dicho para las anteriores propuestas de tráfico planteadas, el parámetro de la longitud media de cola, con el cual podemos ver de forma más clara las diferencias planteadas entre los modelos. En nuestro caso, comparar la conveniencia o no de la introducción de un nuevo grupo semafórica en la intersección ya mencionada de la calle Rondilla Santa Teresa con la calle Moradas.

De este modo podemos ver en las gráficas comparativas como en un principio de la simulación la longitud media de cola en el modelo propuesto con el nuevo grupo semafórico va a ser mayor, pero como durante toda la hora punta esta va a disminuir progresivamente, a diferencia de la longitud media de cola del modelo real analizado en el capítulo 5, donde esta se incrementaba progresivamente durante la hora punta. De esta forma podemos ver como el aporte de este nuevo grupo semafórico hace que las longitudes medias de cola durante la hora punta no aumentan sino que disminuyan y se mantengan constantes con los periodos anterior y posterior a esta hora punta como veíamos en la simulación durante dos horas del capítulo anterior.

De forma numérica, los valores medios de esta longitud media de cola fueron:

Longitud media de cola	Veh
Modelo real	13,1094
Modelo 'Cruce Ayuntamiento'	7,35083

Tabla 6.19: Valores medios de la Longitud media de cola. Nuevo Grupo Semafórico

Vemos como simplemente añadiendo el nuevo grupo semafórico, que es la única modificación realizada en este caso respecto al modelo real del barrio de la Rondilla, esta longitud media de cola se ve disminuida.

- **Tiempo de demora (Seg/Km)**

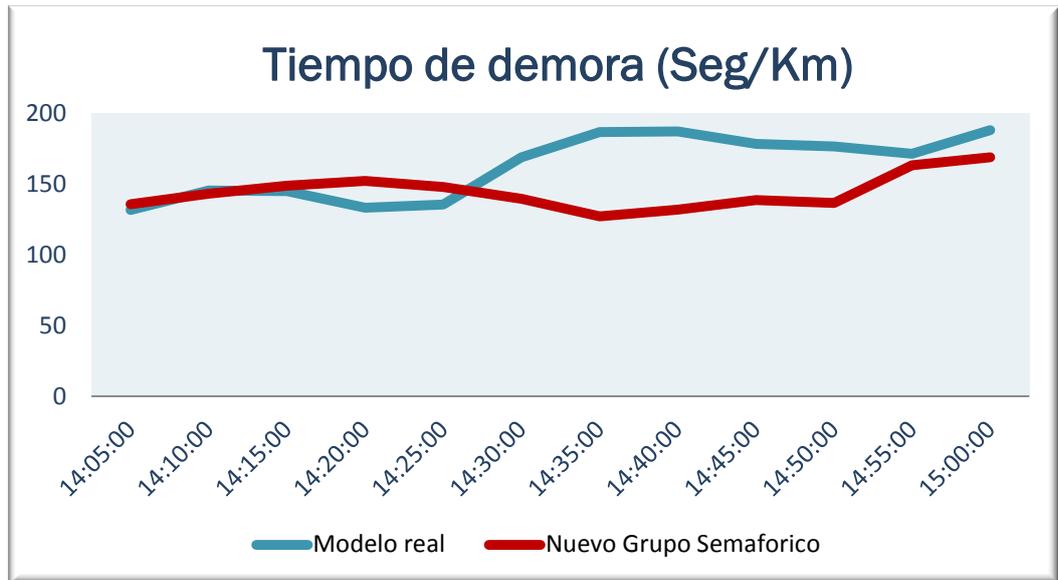


Figura 6.31: Comparación del Tiempo de Demora (Seg/Km). Nuevo Grupo Semafórico

En la comparativa de los Tiempos de Demora vemos como esta al igual que ocurría en las propuestas anteriores, va a la par de la densidad y la longitud media de cola de forma que van a ser similares hasta la mitad de la hora punta, a partir de la cual este tiempo de demora comienza a disminuir respecto al modelo real.

Los valores medios de estos parámetros han sido:

Tiempo de Demora	Seg/Km
Modelo real	162,386
Modelo 'Cruce Ayuntamiento'	144,552

Tabla 6.20: Valores medios del Tiempo de Demora. Nuevo Grupo Semafórico

Comprobamos como la densidad y la longitud media de cola hacen que el tiempo de demora del modelo con el nuevo grupo semafórico como veíamos en la comparativa, sea menor.

- **Velocidad media (Km/h)**

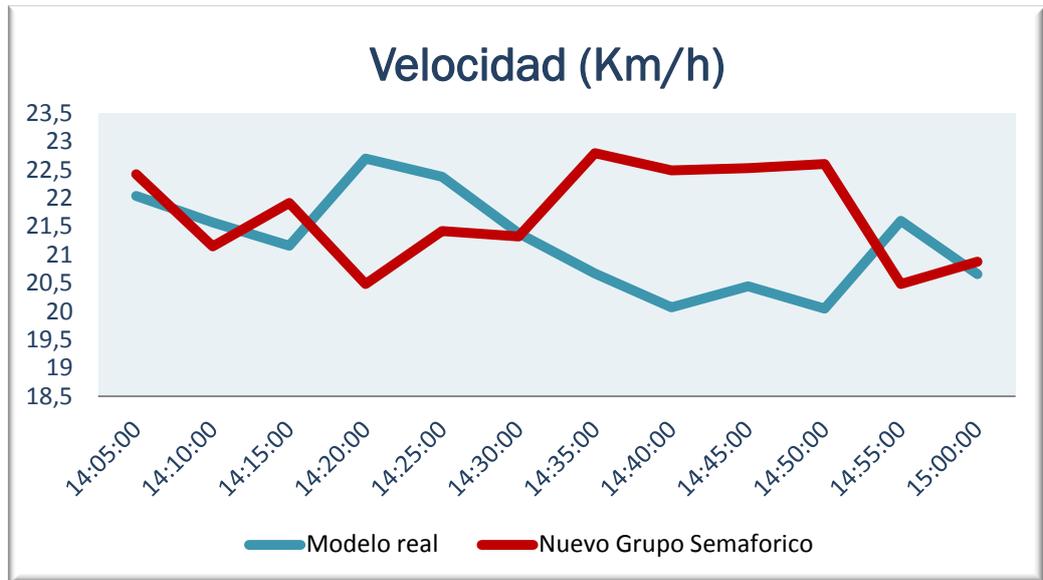


Figura 6.32: Comparación de la Velocidad media (Km/h). Nuevo Grupo Semafórico

En esta última comparativa de los parámetros globales vemos como la velocidad media varia bastante en ambos modelos hasta las 14:30, pero como a partir de este momento en el caso de la nueva propuesta esta velocidad aumenta respecto al modelo real, en el cual disminuye. Esto es debido a que como hemos visto en los anteriores parámetros, en esta nueva propuesta la densidad va a disminuir al igual que la distancia y los tiempos de demora, de forma que se va a poder producir un aumento en la velocidad de los vehículos.

De esta forma, los valores medios de esta velocidad fueron:

Velocidad media	Km/h
Modelo real	21,2209
Modelo 'Cruce Ayuntamiento'	21,7024

Tabla 6.21: Valores medios de la Velocidad media. Nuevo Grupo Semafórico

Comprobamos como debido a las variaciones en la velocidad que acabamos de comentar, esta velocidad media va a ser similar en ambos modelos.

6.4.3.2- OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LA RED

De nuevo en este apartado al igual que hemos realizado para las anteriores propuestas, se van a analizar los parámetros de: Tiempo total de viaje, Tiempo y número de paradas y Distancia total recorrida. Todos ellos, durante la hora punta de circulación (14:00-15:00) al ser el periodo más conflictivo de la red y donde se verán reflejados más fielmente los resultados de las comparativas realizadas.

Los resultados de las gráficas de las comparativas fue la siguiente:

- **Tiempo total de viaje**

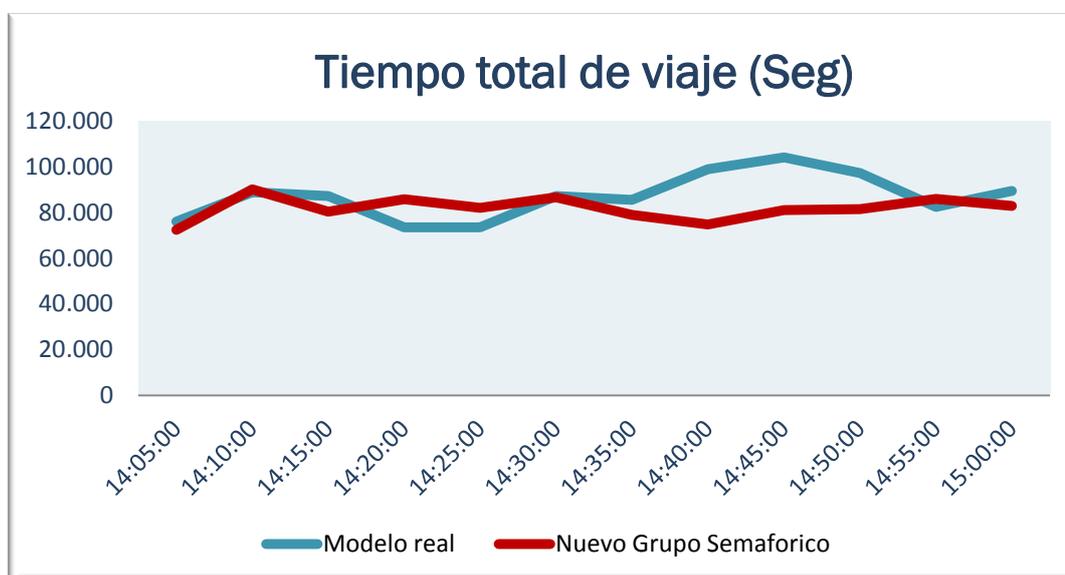


Figura 6.33: Comparación del Tiempo total de viaje (Seg). Nuevo Grupo Semafórico

Se observa como al igual que ocurría con los parámetros globales, como según avanza la hora punta de circulación, el tiempo total de viaje de la nueva propuesta va disminuyendo respecto al modelo real, para terminar en el mismo punto al final de la hora punta, al igual que ocurría con la densidad y el tiempo de demora.

Los valores medios de estos parámetros han sido:

Tiempo total de viaje	Horas
Modelo real	289,9
Modelo 'Cruce Ayuntamiento'	272,9

Tabla 6.22: Valores medios del Tiempo total de viaje. Nuevo Grupo Semafórico

Vemos por tanto como de nuevo al igual que ocurría con los parámetros mencionados, este tiempo total de viaje de la nueva propuesta vuelve a ser menor.

- Tiempo y número de paradas

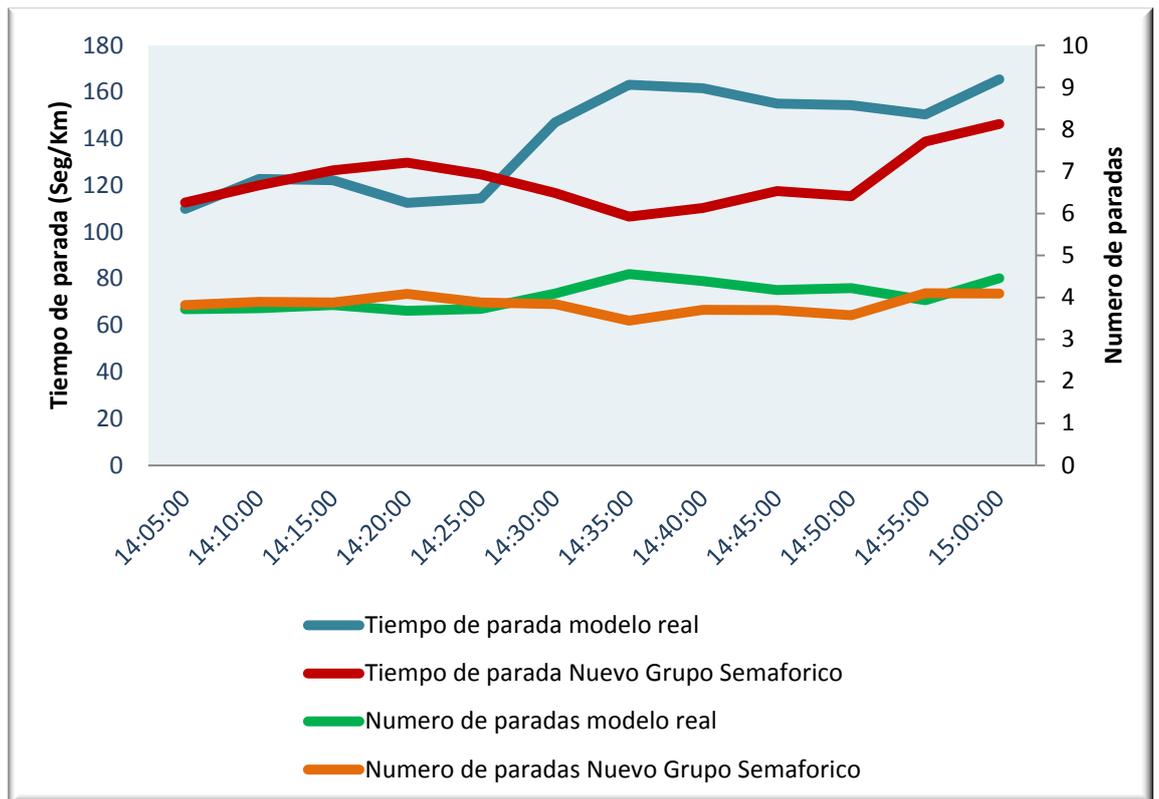


Figura 6.34: Comparación del Tiempo de parada (Seg/Km) y el Número de paradas. Nuevo Grupo Semafórico

En la gráfica comparativa del tiempo y el numero paradas, vemos como de forma lógica con los valores analizadas en esta propuesta del nuevo grupo semafórico, tanto el tiempo de parada como el número de estas va a ser menor respecto al modelo real, aunque en el caso del número de paradas como dijimos en las anteriores comparaciones de este parámetro, van a ser similares ya que los ciclos de los semáforos se deben cumplir en cualquier modelo.

Los valores medios de estos parámetros resultaron:

	Tiempo de parada (Seg/Km)	Número de paradas
Modelo real	139,752	4,0432
Cruce Ayuntamiento	121,983	3,8335

Tabla 6.23: Valores medios del Tiempo y Número de paradas. Nuevo Grupo Semafórico

Comprobamos como han disminuido ambos parámetros, aunque en el caso del número de paradas en menor medida.

- **Distancia total recorrida**

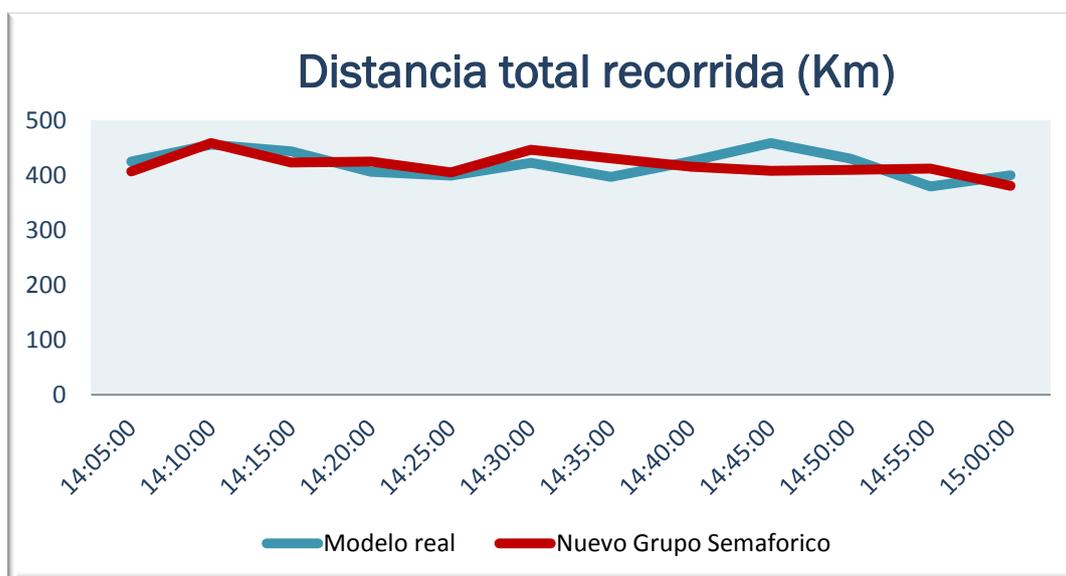


Figura 6.35: Comparación de la Distancia Total recorrida (Km). Nuevo Grupo Semafórico

En esta última comparativa vemos como al tratarse de la misma demanda en ambos modelados, la distancia total recorrida en ambos modelos va a ser prácticamente idéntica.

Para comprobarlo, los valores medios de estos parámetros fueron:

Distancia total recorrida	Km
Modelo real	5044,42
Modelo 'Cruce Ayuntamiento'	5022,86

Tabla 6.24: Valores medios de la Distancia total recorrida. Nuevo Grupo Semafórico

Vemos como en ambos modelos la distancia total recorrida es la misma, variando en este caso en apenas 20 Km.

6.4.3.3- CONCLUSIONES FINALES

Una vez analizados tanto los parámetros globales como las otras características de la red al igual que en las anteriores propuestas, podemos concluir como en esta nueva propuesta que como hemos indicado surge a petición del Ayuntamiento de Valladolid a través de Roberto Riol como jefe del Gabinete de Movilidad Urbana, hemos introducido un nuevo grupo semafórico en la intersección de la calle Rondilla Santa Teresa con la calle Moradas, de forma que hemos realizado una modificación en la estructura de control de tráfico de la red con este nuevo grupo semafórico en la citada intersección y hemos permitido el giro a la izquierda desde la calle Moradas hacia la calle Santa Clara, de modo que como hemos visto se logra descargar otras vías como Cerrada o Santa Clara y las vías hacia Chancillería, reduciendo así las distancias y tiempos de recorrido entre otros, como hemos visto con el análisis de todos los parámetros.

Finalmente, hay que tener en cuenta por tanto la importancia de realizar periódicamente un ajuste tanto en la coordinación semafórica, especialmente de sus principales vías como hemos realizado en la propuesta anterior como un ajuste en la coordinación de las vías, de forma que se permitan ciertos movimientos para mejorar las condiciones generales de circulación de las vías, aunque este hecho lleve consigo algunos inconvenientes como pueden ser las obras que conllevaría, como es en este caso.

6.5.- RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LAS PROPUESTAS DE TRÁFICO

De forma general y realizando un resumen de los parámetros más importantes que se han analizado en las propuestas de tráfico planteadas en este capítulo, resulta la tabla siguiente:

	REAL	SIN DESFASE 203	ONDA VERDE	CRUCE AYUNTAMIENTO
Flujo (Veh/h)	5848 Veh/h	5839 Veh/h	5264 Veh/h	5775 Veh/h
Densidad (Veh/Km)	16,4615 Veh/Km	18,9453 Veh/Km	12,6059 Veh/Km	15,4041 Veh/Km
Longitud media de cola (Veh)	13,1094 Veh	43,7296 Veh	3,32187 Veh	7,35083 Veh
Tiempo de demora (Seg/Km)	162,386 Seg/Km	196,492 Seg/Km	137,239 Seg/Km	144,552 Seg/Km
Velocidad (Km/h)	21,2209 (Km/h)	18,8211 (Km/h)	20,9734 (Km/h)	21,7024 (Km/h)
Tiempo de parada (Seg/Km)	139,752 Seg/Km	172,036 Seg/Km	115,354 Seg/Km	121,983 Seg/Km
Número de paradas	4,0432	4,46492	3,72517	3,8335

Tabla 6.25: Resultados finales de los modelos

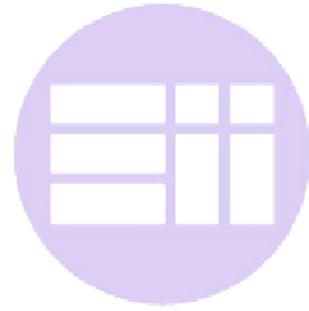
Finalmente, realizando una conclusión de todas estas propuestas en función de los resultados adjuntos, podemos concluir como va a ser esencial el realizar tanto un mantenimiento adecuado y preventivo de los sistemas de control de tráfico como una revisión y su correspondiente actualización si fuese necesario de

la coordinación de los distintos grupos semafóricos de la zona, especialmente cuando el flujo de tráfico varía notablemente ya sea disminuyendo o aumentando como es en el caso de la Rondilla en los últimos años, en los que el flujo de vehículos ha aumentado considerablemente al pasar de ser una zona de las 'afueras' a convertirse en una zona de paso hacia el centro urbano de la ciudad.

Hemos podido ver como el que exista un posible fallo en el funcionamiento de cualquier grupo semafórico de la red, especialmente en las vías por las que circula un mayor volumen del tráfico, en nuestro caso las vías arteriales o de entrada hacia el barrio de la Rondilla, va a tener consecuencias muy negativas para la circulación tales como atascos, congestión del tráfico o elevados tiempos de espera como se ha visto reflejado en los análisis realizados, de forma que va a ser vital este mantenimiento y revisión de los sistemas de control del tráfico rodado que hemos mencionado.

Se debe de tener en cuenta también, que este ajuste o modificación en la estructura de control de tráfico de la red, va ser juntos con las limitaciones de velocidad de las vías, una de las únicas formas de mejorar los problemas existentes en zonas como es el caso de la Rondilla donde las infraestructuras existentes y el poco espacio disponible impiden llevar a cabo modificaciones estructurales importantes.

Por último, destacar como ya hemos dicho en este capítulo, que en los ficheros de AIMSUN que se adjuntan en los CD´s junto al TFG se podrán ver reflejados al igual que en el análisis de los parámetros realizados de este capítulo, todos los cambios realizados en los distintos modelos de la red y la importancia por tanto de los mismos.



CAPÍTULO 7

ESTUDIO

ECONÓMICO

7.1.- INTRODUCCIÓN

En este capítulo se va a estudiar la viabilidad económica del proyecto y para ello se van a calcular los costes que supondría la realización del mismo. En el presupuesto que se va a elaborar, vamos a detallar por tanto todos los costes en los que se ha incurrido en el desarrollo de este proyecto.

Los costes totales de la realización de un proyecto se van a poder clasificar de varias formas, como: Costes Directos e Indirectos, Costes Fijos y Variables, etc. En nuestro caso hemos elegido clasificarlos en Directos e Indirectos.

7.1.1. COSTES DIRECTOS Y COSTES INDIRECTOS

- **Costes directos:** Son costes que se pueden repartir exactamente y por tanto se sabe en qué medida repercutirá cada uno de ellos en el coste final.

Dentro de estos costes se consideraran los siguientes:

- Costes de personal: Va a hacer referencia al coste destinado a los empleados y variara en función del número de trabajadores que empleemos en el proyecto, de su nivel, de las horas laborales que realice cada uno de ellos, etc.
 - Costes de los equipos: Serán los costes de los equipos necesarios para la realización de este proyecto, como ordenadores, escáneres, impresoras o programas necesarios. Estos van a variar en función del número de equipos necesarios para nuestro proyecto.
 - Coste de material: Serán los costes de los materiales necesarios para la realización de este proyecto, como cartuchos de impresoras, papel o material de oficina necesario. Su coste variara en función de la cantidad de material empleado y el coste total se calculara pues sumando los costes de todo el material utilizado para nuestro proyecto.
- **Costes indirectos:** Son aquellos que a pesar de ser necesarios tenerlos en cuenta para calcular el presupuesto, no se conoce con precisión la medida en que influyen cada uno de ellos y por ello no se pueden distribuir objetivamente. Esto costes por tanto no van a ser imputables directamente a la elaboración del proyecto.

Dentro de estos costes se van a considerar todos aquellos que no influirán de manera directa sobre el proyecto, pero que si deberán tenerse en cuenta a la hora de la realización del presupuesto, ya que existirán en mayor o menor medida, como la electricidad, el Internet, etc.

Podemos concluir por tanto que los costes se van a clasificar en directos o indirectos dependiendo del tipo de empresa, las actividades que lleve a cabo o incluso de los sistemas de mediación y control que posea la compañía, pudiendo llegar a ocurrir el que un coste sea directo para una compañía e indirecto para otra, o viceversa.

A continuación, vamos a realizar el estudio económico de este proyecto detallando cada uno de estos costes.

7.2. COSTES DIRECTOS

En estos costes como hemos detallado se incluyen los costes de personal junto con los de equipos y materiales utilizados en el proyecto, amortizables o no, ya que estos equipos y materiales no se utilizaran en exclusiva para la elaboración de este proyecto, por lo habrá que repartir esta inversión entre los diferentes trabajos realizados.

Estos costes resultan por tanto como se detallan a continuación:

7.2.1. COSTE DE PERSONAL

Como hemos dicho el coste de personal va a hacer referencia al coste destinado a los empleados y va variar en función del número de trabajadores que empleemos en el proyecto, de su nivel, de las horas laborales que realice cada uno de ellos, etc. Para nuestro proyecto dentro de este tipo de coste vamos a contar con un **ingeniero** y un **director de proyecto**, cuyos costes también habrá que tener en cuenta en la elaboración del presupuesto.

El ingeniero será quien se encargue de la realización del proyecto y de todas las etapas del mismo hasta que se termine definitivamente, mientras que el director de proyecto por su parte será el encargado de su supervisión a lo largo del proceso de elaboración y servirá de apoyo en las tareas de búsqueda de información, resolución de problemas o aporte de bibliografía entre otras.

Los costes del ingeniero vamos a calcularlos en función de su categoría y del tiempo empleado en el proyecto, y estos harán referencia a un sueldo fijo anual más incentivos y las correspondientes cotizaciones a la Seguridad Social, que actualmente están fijadas en un 42 % aproximadamente.



Debemos de tener en cuenta que el coste anual corresponderá a **14 pagas** (12 meses/año más dos pagas extraordinarias) y que todas las cantidades del correspondiente proyecto estarán reflejadas en **euros**.

Sueldo bruto + Incentivos	2.000
Seguridad Social (42% sueldo bruto)	840
Coste mensual total	2.840

Tabla 7.1: Coste mensual total del ingeniero

Sueldo bruto + Incentivos	28.000
Seguridad Social (42% sueldo bruto)	11.760
Coste anual total	39.760

Tabla 7.2: Coste anual total del ingeniero

En nuestro caso lo que vamos a calcular va a ser el coste horario del ingeniero, para que una vez conocidas las horas empleadas, se pueda calcular el correspondiente coste total del ingeniero en el proyecto.

Para ello, en primer lugar vamos a fijar el número de horas de trabajo por año:

Días/año	365
Sábados y Domingos (días/año)	104
Días de vacaciones (días/año)	30
Días festivos (días/año)	12
Días asuntos propios estimados	3
Total días efectivos por año	216
Horas diarias de trabajo	8
Total Horas Efectivas Anuales	1.728

Tabla 7.3: Horas efectivas de trabajo por año

Hay que tener en cuenta que la jornada laboral se ha considerado de 40 horas semanales en 5 días de trabajo por semana y por tanto 8 horas diarias.

Por último, en función del coste anual total y del número de horas efectivas anuales, podemos calcular el coste por hora del ingeniero del proyecto.

Horas efectivas anuales	1.728
Coste anual del ingeniero	39.760
Coste por hora del ingeniero	23,00

Tabla 7.4: Coste por hora del ingeniero

De forma análoga se calculara el coste total del director de proyecto, como vemos a continuación:

Sueldo bruto + Incentivos	3.500
Seguridad Social (42% sueldo bruto)	1.470
Coste mensual total	4.970

Tabla 7.5: Coste mensual total del director del proyecto

Sueldo bruto + Incentivos	49.000
Seguridad Social (42% sueldo bruto)	20.580
Coste anual total	69.580

Tabla 7.6: Coste anual total del director del proyecto

Horas efectivas anuales	1.728
Coste anual del director	69.580
Coste por hora del director	40,26

Tabla 7.7: Coste por hora del director del proyecto

Una vez que hemos fijado el coste por hora tanto del ingeniero como del director del proyecto y para calcular el coste total del personal, debemos hacer una estimación de las horas empleadas por ambos en el proyecto.

La duración del proyecto ha sido de aproximadamente **7 meses**, aunque hacer una estimación del tiempo dedicado a cada parte del proyecto es difícil al no saber con exactitud el tiempo empleado en cada una de ellas, por lo que se va a realizar una aproximación de las horas invertidas en cada una de las partes del proyecto, como vemos a continuación:

Etapa	Horas
Documentación/Búsqueda de bibliografía	50
Aprendizaje y manejo de AIMSUN	90
Recogida de datos y observación en la zona de estudio	30
Desarrollo de modelos en AIMSUN	80
Calibración y análisis de modelos	100
Propuestas de tráfico	80
Elaboración de la documentación	100
Total Horas Invertidas por el Ingeniero	530

Tabla 7.8: Estimación de las horas invertidas por el ingeniero en el proyecto

Para el caso del director del proyecto, de nuevo es bastante complejo saber con exactitud las horas empleadas en cada una de las tareas del proyecto, por lo que vamos a realizar también una estimación de las horas empleadas a lo largo de estos 7 meses de duración del mismo, como vemos a continuación:

Etapa	Horas
Elección del tema y la zona de estudio proyecto	5
Supervisión y tutorías	25
Resolución de problemas	10
Aporte de bibliografía	5
Total Horas Invertidas por el Director	45

Tabla 7.9: Estimación de las horas invertidas por el director en el proyecto



El número de horas totales invertidas por el ingeniero y el director de proyecto nos queda por tanto de la siguiente manera:

Horas invertidas por el Ingeniero	530
Horas invertidas por el Director	45

Tabla 7.10: Resumen de horas totales invertidas en la realización del proyecto

Finalmente, con los costes por hora y las horas totales empleados en el proyecto tanto por el ingeniero como por el director del proyecto, se calculara el coste total del personal, como vemos en la siguiente figura:

	Ingeniero	Director Proyecto
Coste por hora del personal	23,00	40,26
Horas totales empleadas en el proyecto	530	45
Total	12.190	1.811,7

Total Coste Personal **14.001,7**

Tabla 7.11: Coste total del personal de nuestro proyecto

7.2.2. COSTES DE LOS EQUIPOS

Para calcular el coste total de los equipos empleados en la elaboración del proyecto habrá que tener en cuenta el coste de amortización de los mismos. En nuestro caso hemos considerado un método de amortización lineal en el tiempo.

Para la elaboración de nuestro proyecto hemos contado con los siguientes equipos:

- Ordenador personal Toshiba Satellite
- Sistema operativo Windows 7
- Paquete ofimático Microsoft Office 2007
- Software Aimsun 6.1
- Ordenador Universidad (Ya amortizado)

Para calcular el coste real de cada uno de estos equipos habrá que asignar su coste al tiempo de realización del proyecto, por lo que habrá que tener en cuenta sus correspondientes amortizaciones. Para nuestro caso podemos suponer que los equipos se amortizan de forma lineal al cabo de 3 años.

Así, en función del número total de horas de trabajo del personal calculado anteriormente, que nos daba un total de 575 horas y en función de las correspondientes amortizaciones de los equipos, a continuación se detallan los costes totales de los equipos para nuestro proyecto.

Concepto	Importe total (euros)	Índice de amortización (euros/horas)	Duración del proyecto (horas)	Amortización efectiva (euros)
Ordenador Personal Toshiba	799	0,20	575	115
Sistema operativo Windows 7	229	0,10	575	57,5
Paquete ofimático Microsoft Office 2007	120	0,09	575	51,75
Software Aimsun 6.1.	3.000	0,67	575	385,25
Total Coste de los Equipos				609,5

Tabla 7.12: Coste total de los equipos de nuestro proyecto

7.2.3. COSTES DE MATERIALES

También deberemos tener en cuenta el coste de los materiales empleados en la elaboración de nuestro proyecto, como papel, fotocopias o tinta para la impresora entre otros.

Para elaboración de nuestro proyecto vamos a estimar unos **costes totales de materiales de 200 euros**.

Total Coste de los Materiales (euros)	200
---------------------------------------	-----

Tabla 7.13: Coste total de los materiales de nuestro proyecto

Por último, una vez que tenemos los costes totales tanto del personal como de los equipos y los materiales, podemos calcular los costes directos totales que se desarrollarían en la elaboración de nuestro proyecto, como vemos a continuación:

Concepto	Cuantía (euros)
Coste Total de Personal	14.001,7
Coste de Equipos Amortizables	609,5
Coste de Materiales	200
Total Costes Directos	14.811,2

Tabla 7.14: Costes directos totales de nuestro proyecto

7.3. COSTES INDIRECTOS

En la elaboración de nuestro presupuesto además de los costes directos, habrá que tener en cuenta también los costes indirectos producidos en la elaboración de este, como son por ejemplo los gastos de administración y tramitación o los gastos de electricidad y teléfono.

A continuación podemos ver en la siguiente figura los gastos, de nuevo estimados, de los costes indirectos totales imputados en la elaboración del proyecto:

Concepto	Cuantía (euros)
Gastos administrativos	250
Consumo eléctrico	180
Consumo telefónico	20
Transportes	50
Total costes indirectos	500

Tabla 7.15: Costes indirectos totales de nuestro proyecto

7.4. COSTES TOTALES DEL PROYECTO

Finalmente, mediante la suma del total de los costes directos e indirectos calculados, podemos calcular el coste total de nuestro proyecto como vemos en la figura siguiente:

Concepto	Cuantía (euros)
Costes totales directos	14.811,2
Costes totales indirectos	500
Costes Totales	15.311,2

Tabla 7.16: Costes totales de nuestro proyecto



Redondeando finalmente el importe total imputable a nuestro proyecto, este asciende a quince mil, trescientos diez euros.

15.310 Euros



CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES

8.1.- CONCLUSIONES

A través de la realización de este TFG hemos podido desarrollar y analizar diferentes modelos y redes sobre el tráfico rodado y la distribución de este en una zona urbana de Valladolid, en nuestro caso el barrio de la Rondilla.

Para ello, hemos valorado los problemas de congestión de tráfico y atascos existentes especialmente en la hora punta de circulación, simulando para ello diferentes modelos y propuestas a través del ajuste en los sistemas de control semafórico del tráfico rodado, para analizar los resultados y compararlos con la situación actual de la zona.

Para el correspondiente análisis, se ha empleado el software de simulación de tráfico AIMSUN cuyo amplio campo de manejo nos ha permitido:

- Construir y modelar la red objeto de este estudio lo más similar posible a la realidad, simulando para ello la red del barrio de la Rondilla con sus vías, intersecciones, señales, demanda de tráfico o plan de control semafórico entre otros.
- Calibrar el modelo del barrio para representar lo más fielmente posible tanto la configuración y características del viario urbano, como el comportamiento del tráfico en la zona, especialmente en las vías de mayor volumen de tráfico. Para ello, se ajustaron parámetros como los límites de velocidad, la capacidad de las vías, los cambios de carril, la velocidad de los vehículos o los diagramas de fase de los semáforos, entre otros muchos.
- Lograr a través de una regresión lineal una validación correcta de nuestra red, comparando para ello los datos obtenidos de la simulación en AIMSUN y los datos reales de espiras aportados en nuestro caso por el Ayuntamiento de Valladolid.
- Analizar y comparar múltiples resultados sobre la circulación de los vehículos en la red, tales como el flujo de vehículos, la densidad de tráfico, la longitud media de colas, el tiempo de demora o la velocidad media.

- Localizar el origen de los problemas de congestión de la situación actual del barrio en el modelo real y analizar las diferentes propuestas de tráfico planteadas, comparando los resultados obtenidos con los de la red inicial validada.

En función de los resultados obtenidos en la simulación de la situación actual del barrio de la Rondilla y su comparación con las propuestas de tráfico planteadas, podemos extraer las siguientes conclusiones:

- ✓ En el caso del modelo real del barrio de la Rondilla que hace referencia a la situación actual de la circulación en un día cualquiera, los mayores valores de flujo de vehículos se van a producir de forma lógica en el tramo de hora punta analizado, donde hemos comprobado cómo van a comenzar a aumentar los valores de densidad o la distancia y tiempos de demora entre otros. En cuanto a las zonas del barrio donde se producen los principales problemas de atascos y congestión de tráfico, se puede ver tanto en la simulación animada como en los mapas de la red, como en general se provocan grandes colas de vehículos que elevan estos valores en los tramos en ambos sentidos que van desde la Avenida Palencia hasta la c/Rondilla Santa Teresa, que forman las vías arteriales de entrada hacia el barrio y que provocan a su vez problemas en el interior de la red, como se puede ver reflejado nuevamente en los mapas de flujo y densidad de tráfico.
- ✓ Mediante la propuesta analizada del barrio en donde simulamos la caída del sistema de control de tráfico en uno de los grupos semafóricos de la red, estableciendo su desfase igual a '0' el cual resulta imposible al trabajar con un sistema de referencia absoluto, hemos podido comprobar como aumenta notablemente la densidad de tráfico, los tiempos de demora y especialmente la longitud en media de las colas, de forma que el hecho de que ocurra un posible fallo en el funcionamiento de cualquier grupo semafórico de la red, especialmente en las vías por las que transita el mayor volumen del tráfico, en nuestro las vías arteriales del barrio, tiene consecuencias muy negativas para la circulación tales como atascos, congestión del tráfico o elevados tiempos de espera.
- ✓ En la propuesta central en la que hemos analizado el modelo de onda verde, realizando un ajuste en los desfases y repartos de los grupos semafóricos de las vías en ambos sentidos desde la calle Rondilla Santa Teresa hasta la Avenida Palencia, que son las vías de mayor volumen de tráfico de la zona y las únicas en las que es posible por tanto tener este trato 'preferencial', hemos podido comprobar cómo se ha conseguido mejorar la sincronización de los programas de tiempo de los semáforos de estas vías, de forma que se puede comprobar las mejoras tanto en el análisis realizado de los diferentes parámetros donde efectivamente se comprueba la disminución en la longitud media de cola, la densidad de tráfico o la distancia total viajada

entre otros, como en las simulaciones animadas de la red a través de AIMSUN, donde se ve como mejora la progresión del tránsito de vehículos de forma que se reducen las demoras y detenciones, consiguiéndose así una circulación más fluida.

- ✓ En la última propuesta, la cual ha sido realizada en la zona propuesta por el Ayuntamiento de Valladolid, se ha realizado una modificación en la estructura del sistema de control de tráfico mediante la creación de un nuevo grupo semafórico en la intersección de la calle Rondilla Santa Teresa con la calle Moradas, de forma que se permitía en este caso el giro a izquierdas desde la calle Moradas hacia la calle Santa Clara, logrando de este modo descargar otras vías como Cerrada o Santa Clara y las vías en dirección hacia Chancillería, reduciendo así las distancias y tiempos de recorrido entre otros parámetros, como se ha podido ver con el análisis realizado de todos ellos y poniendo de manifiesto la necesidad de actualizar las programaciones de los semáforos cada 2 o 3 años o cuando la demanda de tráfico de la zona varía considerablemente.

De este modo, hay que destacar finalmente la importancia de realizar tanto un mantenimiento adecuado y preventivo de los sistemas de control semafórico del tráfico, como una revisión y ajuste si fuese necesario, en la coordinación semafórica de las principales vías, especialmente cuando el flujo de tráfico varía notablemente, ya sea disminuyendo o aumentando como es en el caso de la Rondilla en los últimos años al pasar de ser una zona de las ‘afueras’ a convertirse en una zona de paso hacia el centro urbano de la ciudad, o en zonas como es de nuevo el de la Rondilla, donde las infraestructuras existentes y el poco espacio disponible, impiden llevar a cabo modificaciones estructurales importantes.

Por último hay que destacar que con la realización de este TFG se ha demostrado la validez del software de simulación de tráfico AIMSUN como herramienta de trabajo y valoración del comportamiento de la circulación, en nuestro caso en el barrio de la Rondilla al ser la zona elegida para nuestro estudio; y como va a ser por tanto, una herramienta útil para su uso en futuros proyectos de investigación como los que ahora plantearemos o en asignaturas como ‘Ingeniería del Transporte’, la cual ha sido fundamental para la realización de este trabajo.

8.2.- LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Finalmente, analizando las posibilidades del software de simulación de tráfico AIMSUN y como posibles continuaciones de este TFG, proponemos por nuestra parte las siguientes futuras líneas de investigación:

- Continuar la línea de este trabajo en otras zonas de la ciudad que se ven afectadas por la optimización de los planes de control semafórico.
- Analizar el movimiento peatonal relativo al barrio de la Rondilla para implantarlo sobre el modelo de las redes de este trabajo.
- Analizar los problemas de circulación que afectan a otras zonas urbanas de la ciudad.
- Analizar la movilidad urbana si se limitasen ciertas zonas urbanas a zonas 30.
- Estudiar las mejoras relativas al problema del transporte público en la ciudad de Valladolid.

- Analizar y optimizar la circulación en salidas de eventos multitudinarios.

- Estudiar el comportamiento del tráfico rodado ante situaciones espontaneas, como accidentes o congestiones en la circulación.



BIBLIOGRAFÍA





LIBROS

- Valdés, A. (1988). *Ingeniería del Tráfico*. Madrid: Ed. Bellisco.
- Hay, W. W: (1983). *Ingeniería de transporte*. [s.l]: Ed. Limusa.
- Morlok, E.K. (1978). *Introduction to transportation engineering and planning*. New York: Ed. MacGraw-Hill.
- Cal y Mayor, R. & Cardenas, J.: (1994). *Ingeniería de Tránsito*. Mexico: Ed. Alfaomega
- Khisty, C. J. (1998). *Transportation engineering: an introduction*. New Jersey: Ed. Prentice-Hall.
- Ayuntamiento de Valladolid (2003). *Plan Integral de Movilidad Urbana ciudad de Valladolid. Informe sobre movilidad*. Valladolid.
- Asociación Técnica de Carreteras. (1995). *Manual de capacidad de carreteras*. Madrid. Asociación Técnica de Carreteras.

PROYECTOS

- García, S. (2000). *Análisis de Movilidad Peatonal en la Rondilla. Modelos de Conveniencia del Tráfico Peatonal*. Valladolid. Proyecto Fin de Carrera.
- 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.
- Sánchez, R. (1999). *Modelización y simulación de las características del tráfico en la Rondilla*. 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.

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.

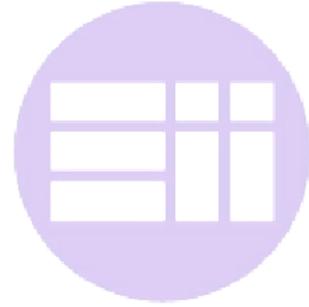
PAGINAS WEB

Dirección General de Tráfico. (2016). <http://www.dgt.es/>. (Último acceso: Enero 2016).

TSS. Transport Simulation System. (2016). <http://www.aimsun.com/>. (Último acceso: Enero 2016).

Ayuntamiento de Valladolid, Movilidad y transporte. (2016); <http://www.valladolid.es/es/ciudad/movilidad-transporte/>. (Último acceso: Enero 2016).

Asociación Vecinal Rondilla. (2016). <http://www.rondilla.org/>. (Último acceso: Enero 2016).



ANEXO

A.1.- DATOS CEDIDOS POR EL AYUNTAMIENTO DE VALLADOLID

En este anexo del TFG se presentan los datos cedidos por el Gabinete de Movilidad Urbana del Ayuntamiento de Valladolid, que nos fueron facilitados a través de Roberto Riol como jefe de este centro y los cuales nos han sido de gran utilidad para la realización de nuestro estudio. Los datos aportados para este fin fueron:

- Mapa de ubicación de los puntos de aforo permanente o espiras en el subárea del barrio de la Rondilla
- Datos de las espiras en IMD anual desde 2011 hasta 2014
- Mapa de situación de los distintos grupos semafóricos en el subárea del barrio de la Rondilla
- Localización, Giros y Diagramas de Fase de los grupos semafóricos de la zona

A.1.1.- DATOS DE PUNTOS DE AFORO PERMANENTE O ESPIRAS

El Ayuntamiento de Valladolid nos facilitó tanto el mapa como los datos de IMD anual, laboral y festivo de los últimos años, de las espiras en nuestra zona de estudio, que en este caso denominan como el subárea de la Rondilla. Estos datos de espiras son empleadas por el Ayuntamiento para determinar el número de vehículos que atraviesan la zona y nos han sido de gran utilidad a la hora de modelar la demanda de tráfico.

Se adjuntan a continuación el mapa de espiras, así como los códigos y ubicación de las espiras que nos afectaban para nuestro estudio, las cuales se localizaban entre las calles Rondilla Santa Teresa y la Avenida Palencia.

Mapa de estaciones de aforo permanente o espiras

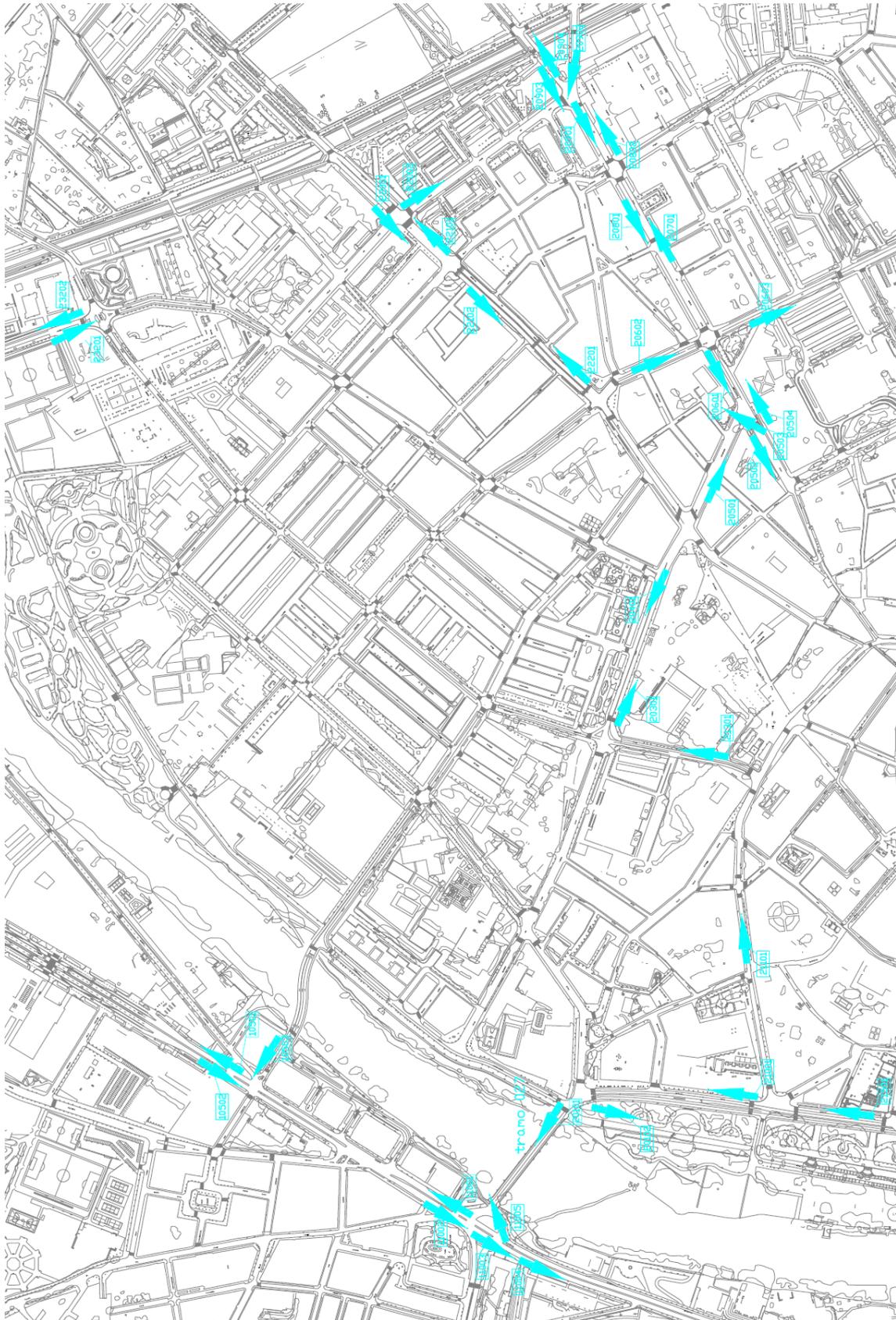


Figura A.1: Ubicación de las estaciones de aforo permanente

Código y ubicación de los 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)	PM020601	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
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									

Tabla A.1: Código y ubicación de los datos de espiras en IMD anual

A.1.2.- INTERSECCIONES SEMAFÓRICAS

El Ayuntamiento de Valladolid nos facilitó también, tanto el mapa con la ubicación de los distintos grupos semafóricos en el subárea del barrio de la Rondilla, como el detalle de la localización, los giros y el correspondiente diagrama de fase de cada uno de estos grupos semafóricos que afectaban a la zona de nuestro estudio. Para ello se consideraron todas las intersecciones a la hora de modelar el modelo real y nos centramos en los grupos semafóricos de las vías arteriales o de entrada al barrio al ser las que más volumen de tráfico soportan como hemos podido ver y las más influyentes a la hora de presentar las diferentes propuestas del TFG. Estas intersecciones aportadas y que afectaban a nuestro estudio fueron las siguientes:

- Intersección 202. c/Rondilla Santa Teresa - c/Mirabel
- Intersección 203. c/Rondilla Santa Teresa - c/Cardenal Torquemada
- Intersección 204. c/Gondomar - c/Santa Clara
- Intersección 220. Avenida Palencia - c/Amor de Dios
- Intersección 221. Avenida Palencia - c/Penitencia
- Intersección 222. Avenida Palencia - c/Real de Burgos
- Intersección 226. c/Cardenal Torquemada - c/Tirso de Molina
- Intersección 227. c/Cardenal Torquemada - c/Cardenal Cisneros
- Intersección 228. c/Cardenal Cisneros - c/Moradas
- Intersección 229. c/Cardenal Cisneros - c/Portillo Balboa
- Intersección 230. c/Soto - c/Cardenal Torquemada
- Intersección 231. c/Soto - c/Portillo Balboa
- Intersección 232. c/Cardenal Torquemada - c/Portillo Balboa

A continuación, se adjuntan todos estos datos, es decir, tanto el mapa general de ubicación de los grupos semafóricos (**en verde los que nos afectan**), como los mapas de localización y giros que se encontraban en formato CAD y los correspondientes diagramas de fase de cada una de estas intersecciones.

Mapa de grupos semafóricos

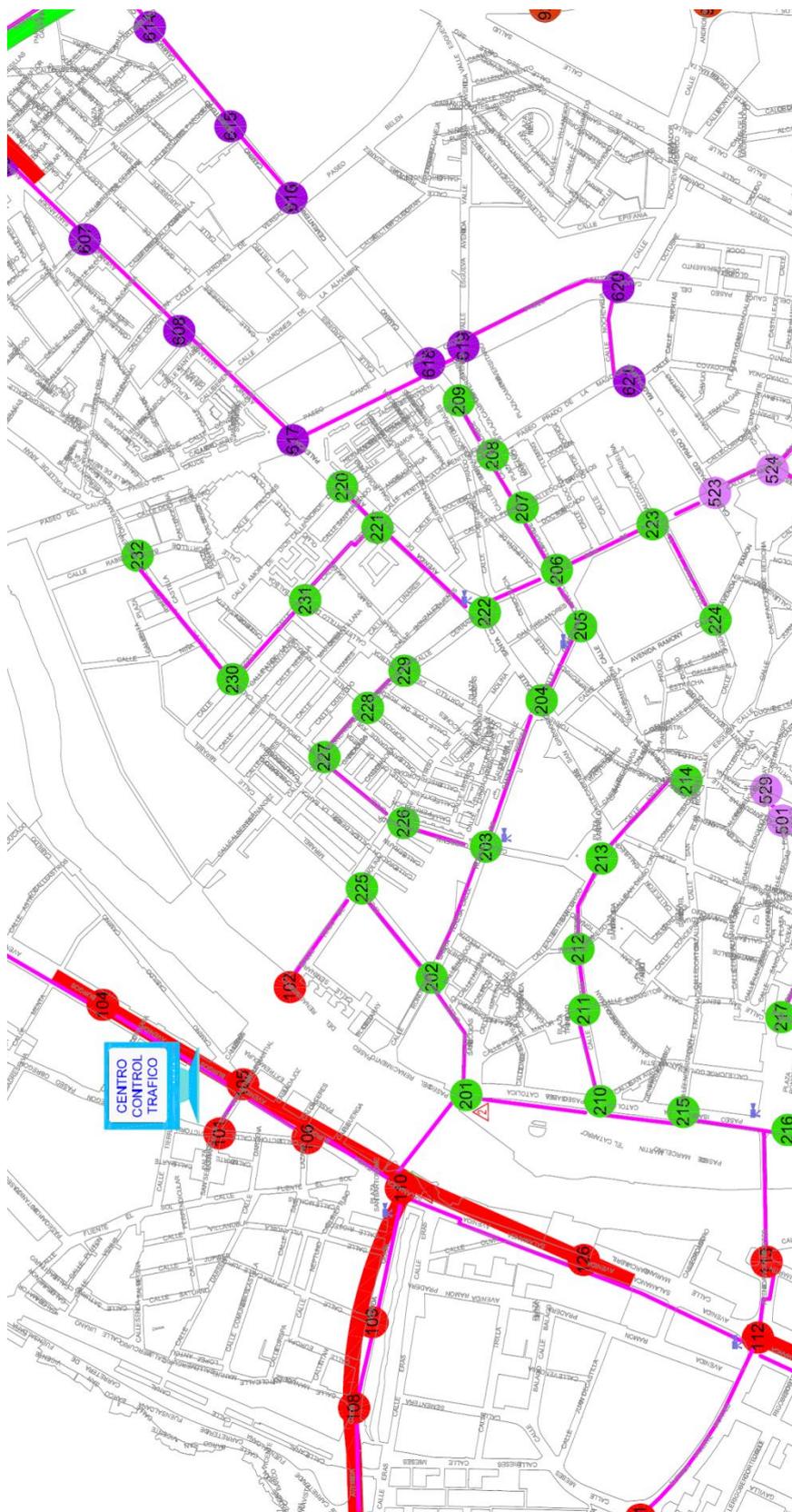


Figura A.2: Ubicación de los grupos semafóricos del subárea de la Rondilla

Grupos semafóricos detallados

- Intersección 202. c/Rondilla Santa Teresa - c/Mirabel

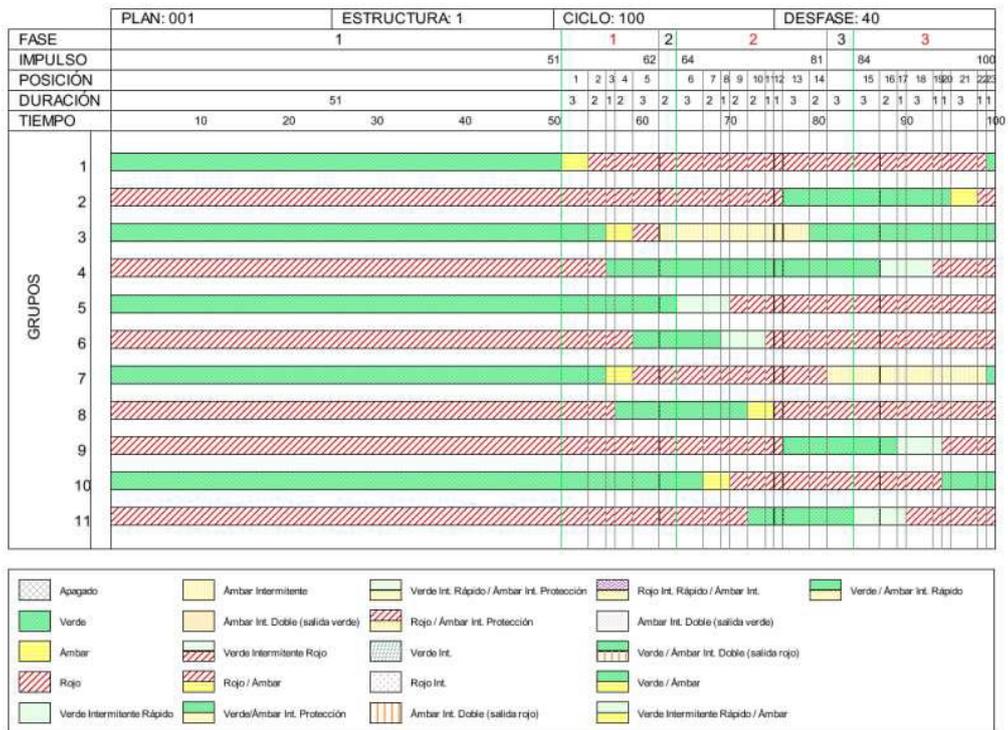
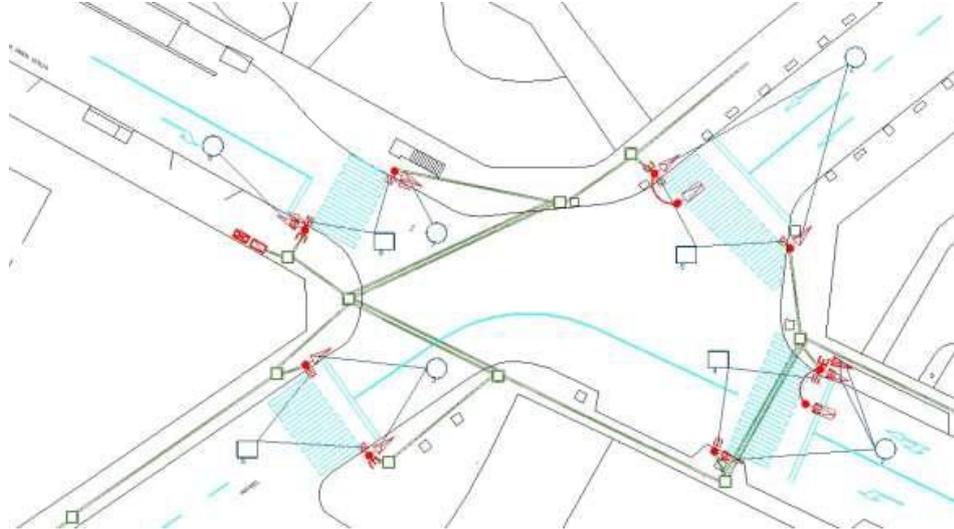
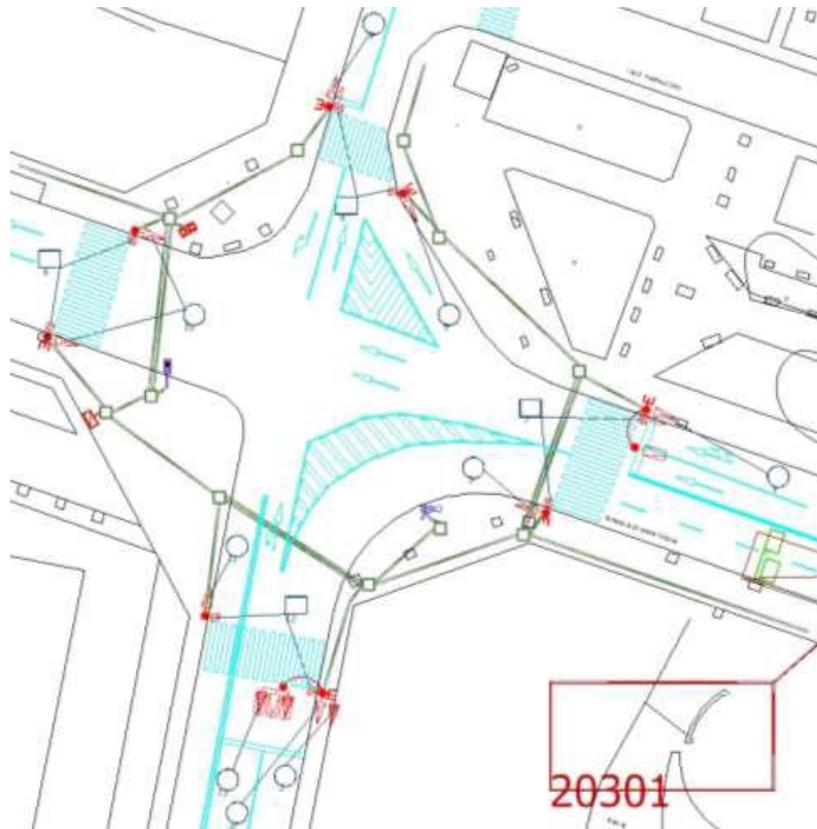


Figura A.3: Intersección 202. c/Rondilla Santa Teresa - c/Mirabel

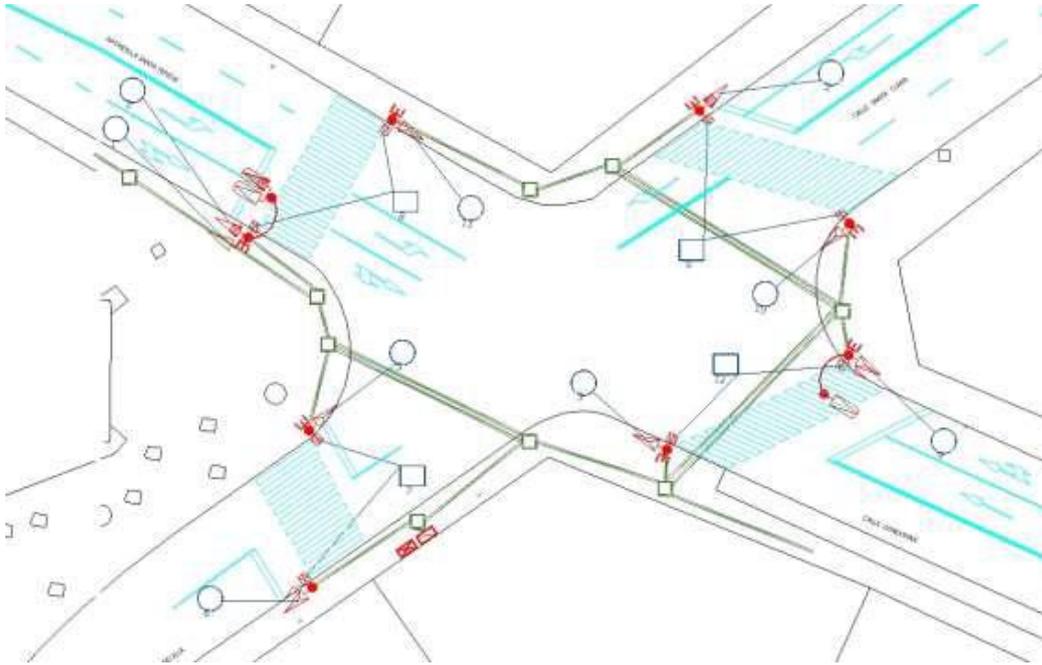
▪ Intersección 203. c/Rondilla Santa Teresa - c/Cardenal Torquemada



	PLAN: 001		ESTRUCTURA: 1				CICLO: 100				DESFASE: 22													
FASE	1	1	2	2				3	3	4	4													
IMPULSO	13	17	32	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	100	
DURACIÓN	13	3	1	15	4	2	5	1	2	1	2	3	6	5	5	8	6	8	8	2	3	2	1	4
TIEMPO	10		20	30	40		50	60		70	80		90		100									140
GRUPOS	1	Hatched		Green				Hatched				Green												
	2	Green		Hatched				Green				Hatched												
	3	Green		Hatched				Green				Hatched												
	4	Green		Hatched				Green				Hatched												
	5	Green		Hatched				Green				Hatched												
	6	Hatched		Green				Hatched				Green												
	7	Hatched		Green				Hatched				Green												
	8	Green		Hatched				Green				Hatched												
	9	Hatched		Green				Hatched				Green												
	10	Green		Hatched				Green				Hatched												
	11	Green		Hatched				Green				Hatched												
	12	Hatched		Green				Hatched				Green												
	13	Hatched		Green				Hatched				Green												

Figura A.4: Intersección 203. c/Rondilla Santa Teresa - c/Cardenal Torquemada

▪ Intersección 204. 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											
DURACIÓN	30							4							17				3				9				8			
TIEMPO	10		20		30		40		50		60		70		80		90		100											
GRUPOS	1	Green														Yellow				Red										
	2	Red														Yellow				Green										
	3	Green														Yellow				Red										
	4	Green														Yellow				Red										
	5	Yellow														Green				Red										
	6	Red														Yellow				Green										
	7	Green														Yellow				Red										
	8	Red														Yellow				Green										
	9	Green														Yellow				Red										
	10	Yellow														Green				Red										
	11	Green														Yellow				Red										
	12	Red														Yellow				Green										

Figura A.5: Intersección 204. c/Gondomar - c/Santa Clara

▪ Intersección 220. Avenida Palencia - c/Amor de Dios

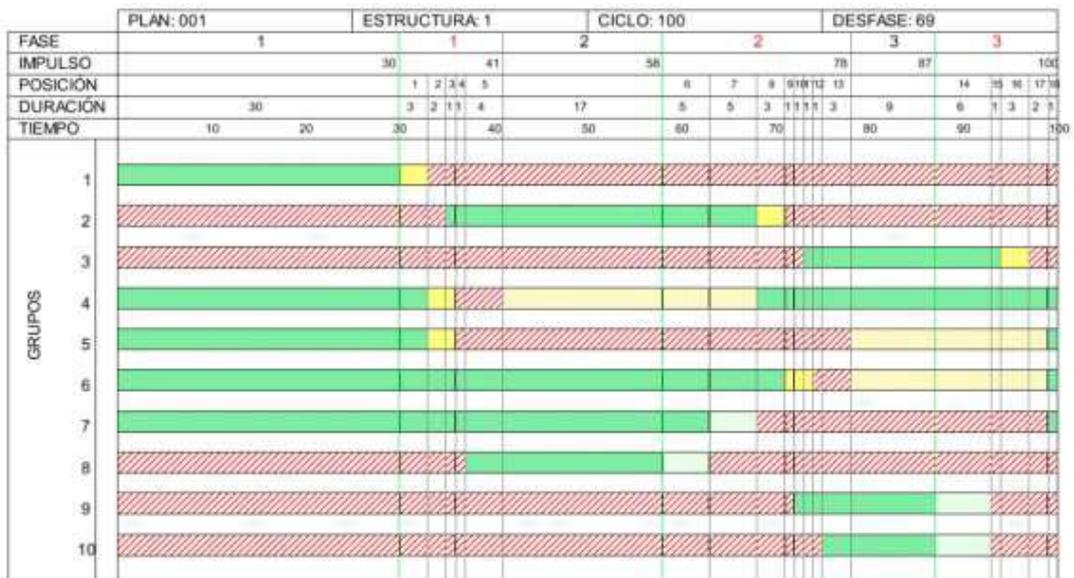
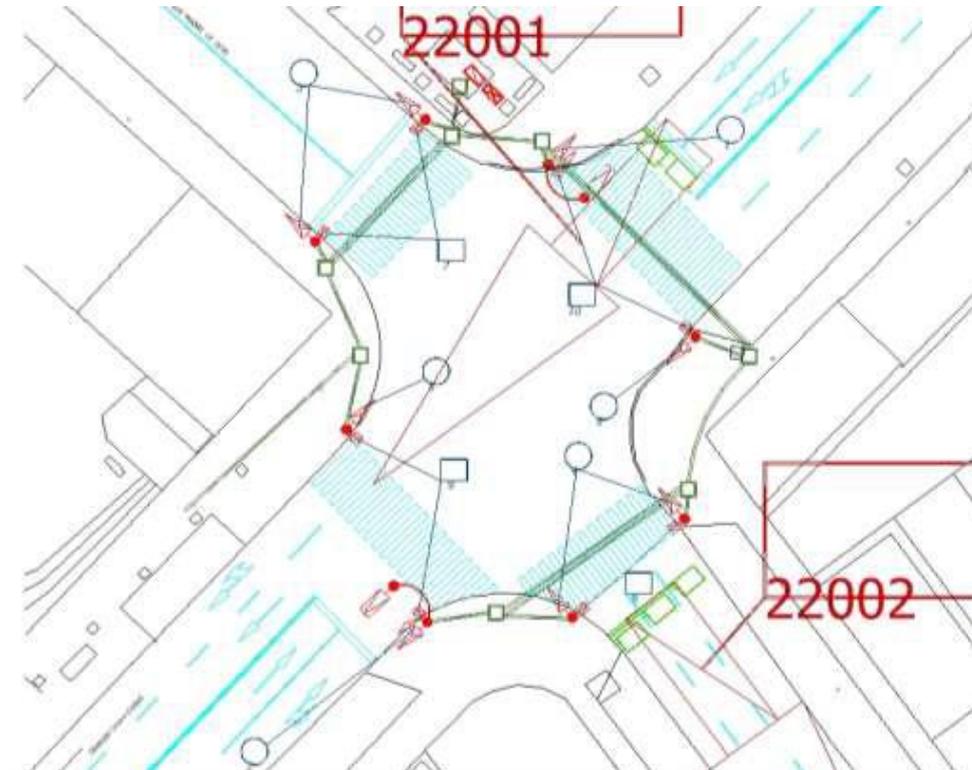


Figura A.6: Intersección 220. Avenida Palencia - c/Amor de Dios

▪ Intersección 221. Avenida Palencia - c/Penitencia

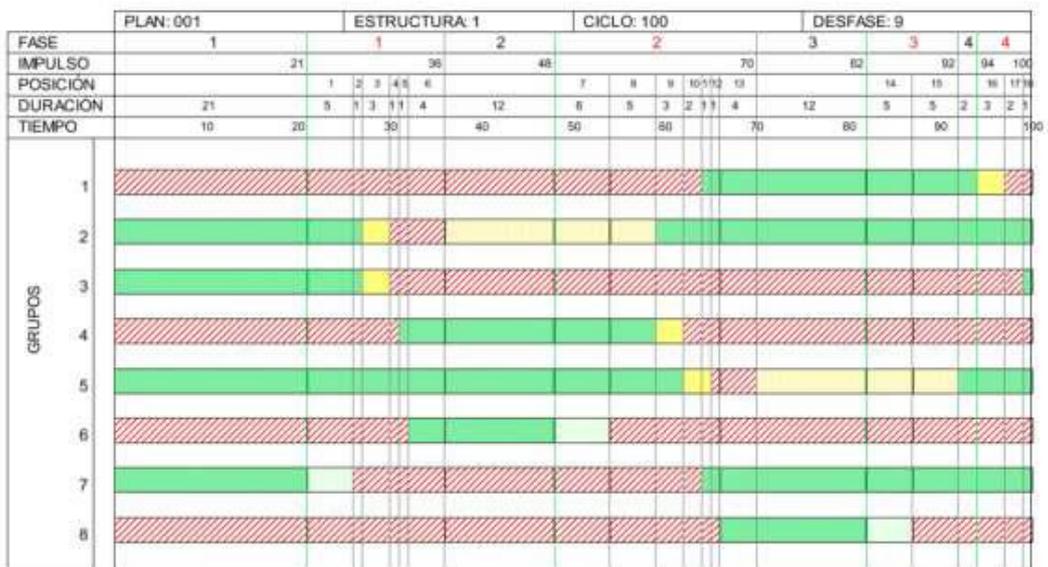
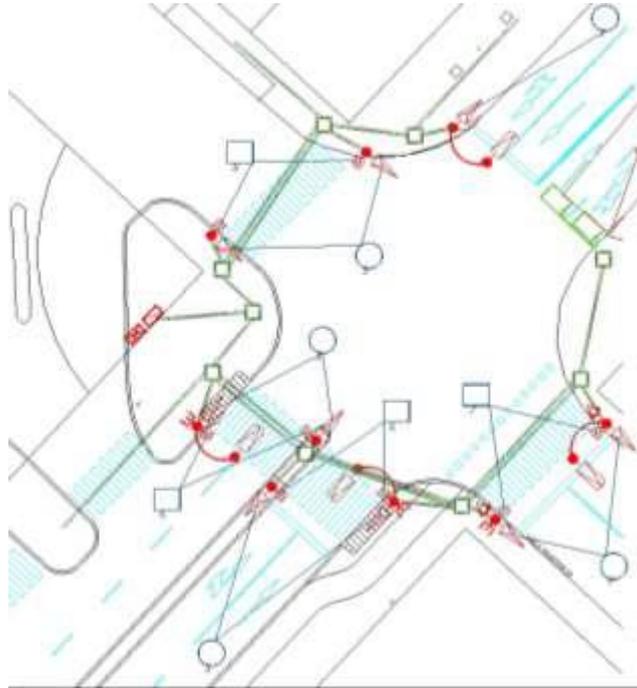


Figura A.7: Intersección 221. Avenida Palencia - c/Penitencia

▪ Intersección 222. Avenida Palencia - c/Real de Burgos

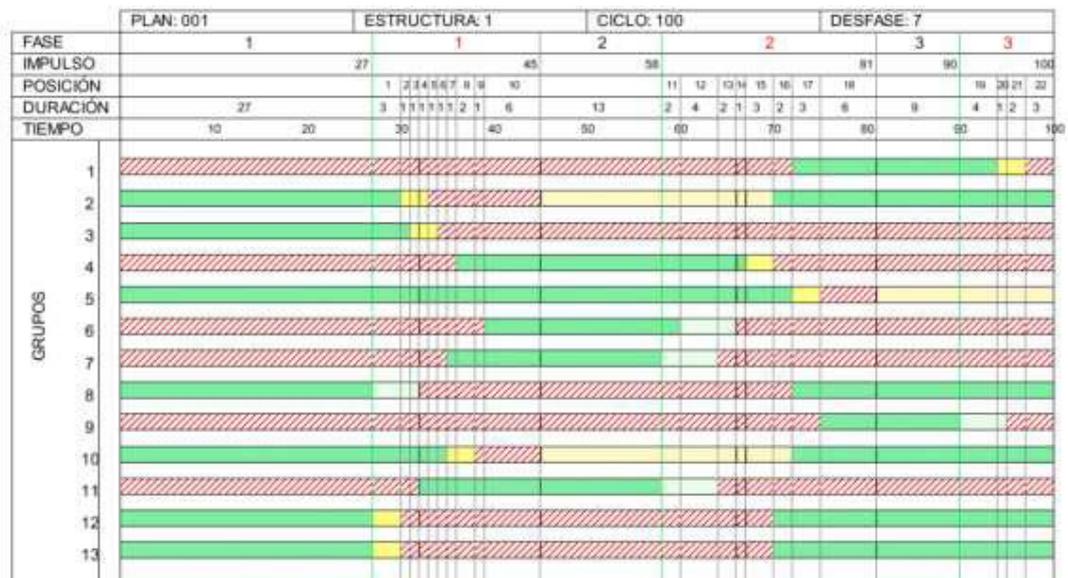
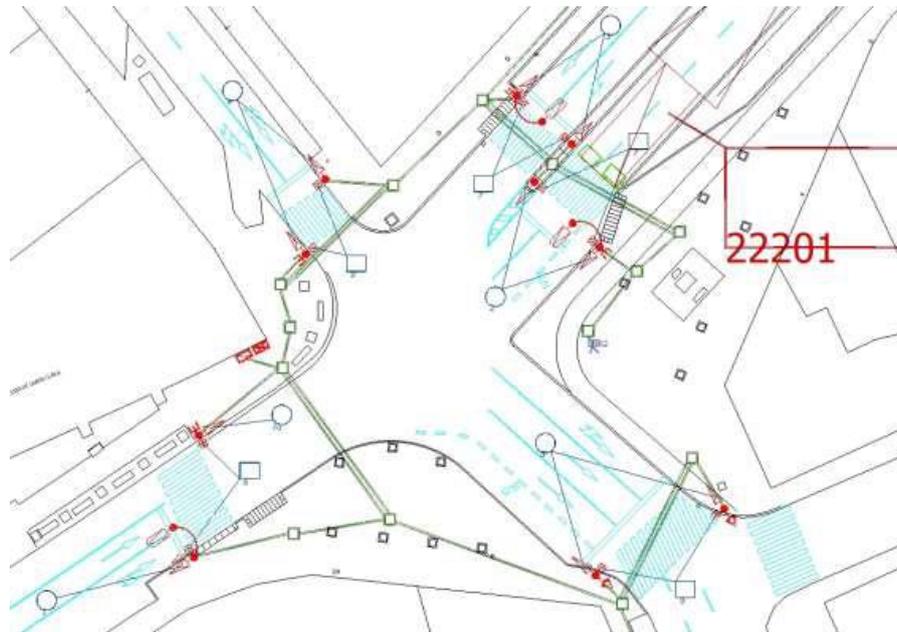
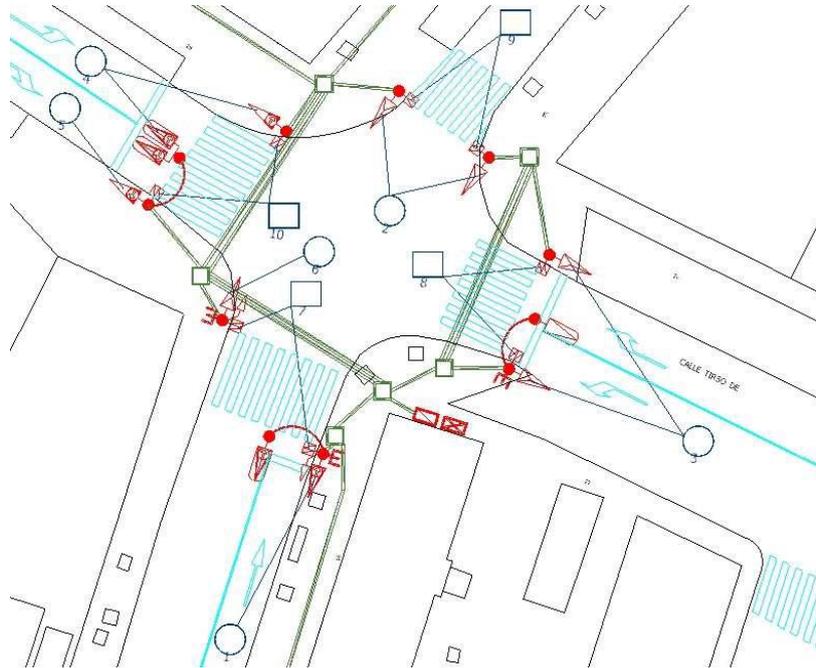


Figura A.8: Intersección 222. Avenida Palencia - c/Real de Burgos

▪ Intersección 226. c/Cardenal Torquemada - c/Tirso de Molina



	PLAN: 001	ESTRUCTURA: 1			CICLO: 100							DESFASE: 52		
FASE	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3		
IMPULSO		25	35		55				73		88	100		
POSICIÓN		1	2	3		4	5	6	7	8	9	10		
DURACIÓN	25	5	3	2	20	6	3	3	3	11	1	2		
TIEMPO	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100				
GRUPOS	1	Green		Red		Green		Red		Green		Red		
	2	Green		Red		Green		Red		Green		Red		
	3	Green		Red		Green		Red		Green		Red		
	4	Green		Red		Green		Red		Green		Red		
	5	Green		Red		Green		Red		Green		Red		
	6	Green		Red		Green		Red		Green		Red		
	7	Green		Red		Green		Red		Green		Red		
	8	Green		Red		Green		Red		Green		Red		
	9	Green		Red		Green		Red		Green		Red		
	10	Green		Red		Green		Red		Green		Red		

Figura A.9: Intersección 226. c/Cardenal Torquemada - c/Tirso de Molina

▪ Intersección 227. c/Cardenal Torquemada - c/Cardenal Cisneros

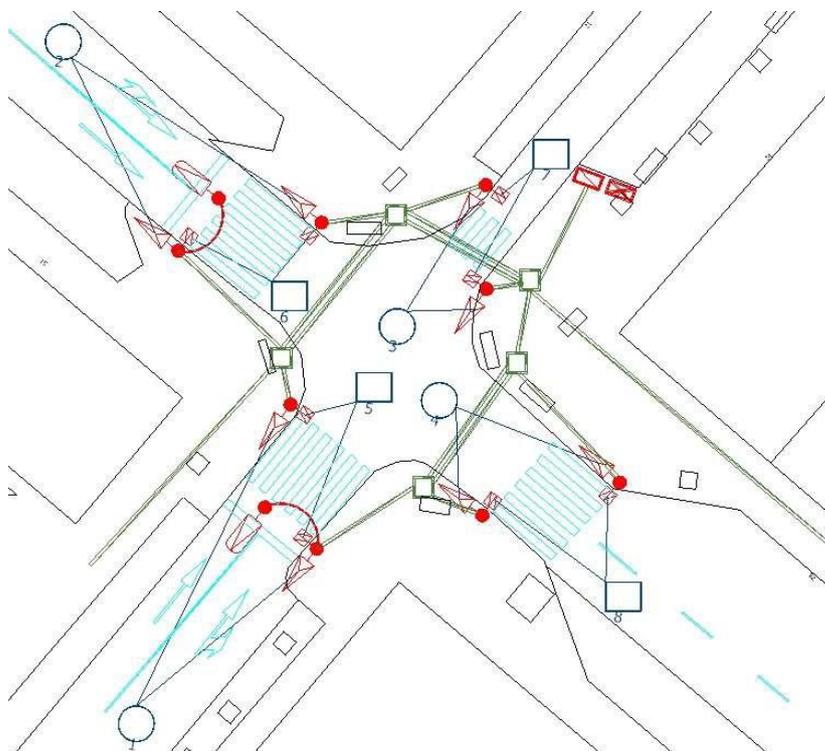


Figura A.10: Intersección 227. c/Cardenal Torquemada - c/Cardenal Cisneros

▪ Intersección 228. c/Cardenal Cisneros - c/Moradas

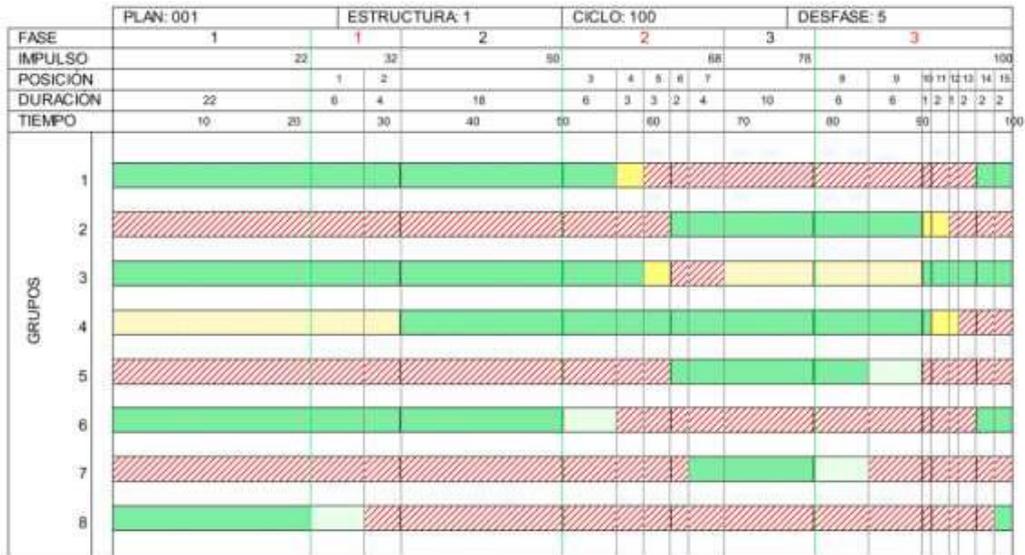
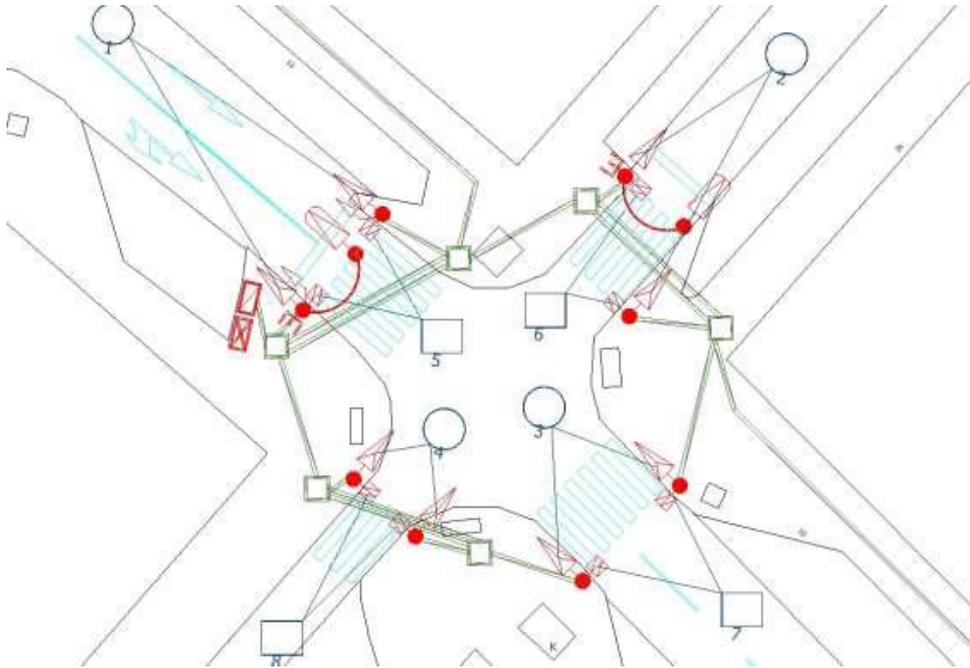


Figura A.11: Intersección 228. c/Cardenal Cisneros - c/Moradas

▪ Intersección 229. c/Cardenal Cisneros - c/Portillo Balboa

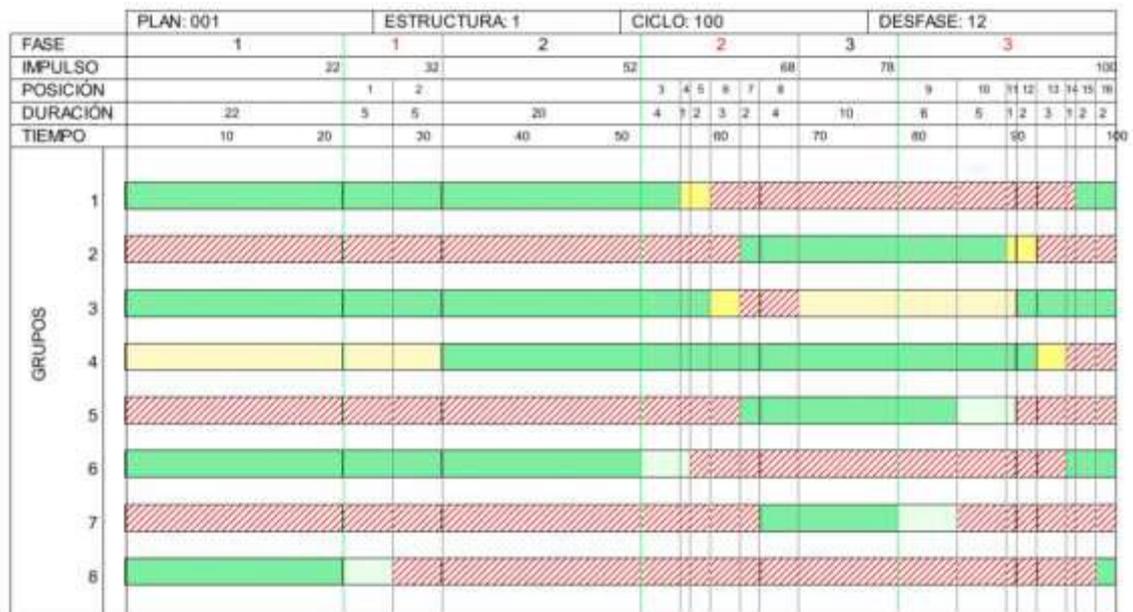
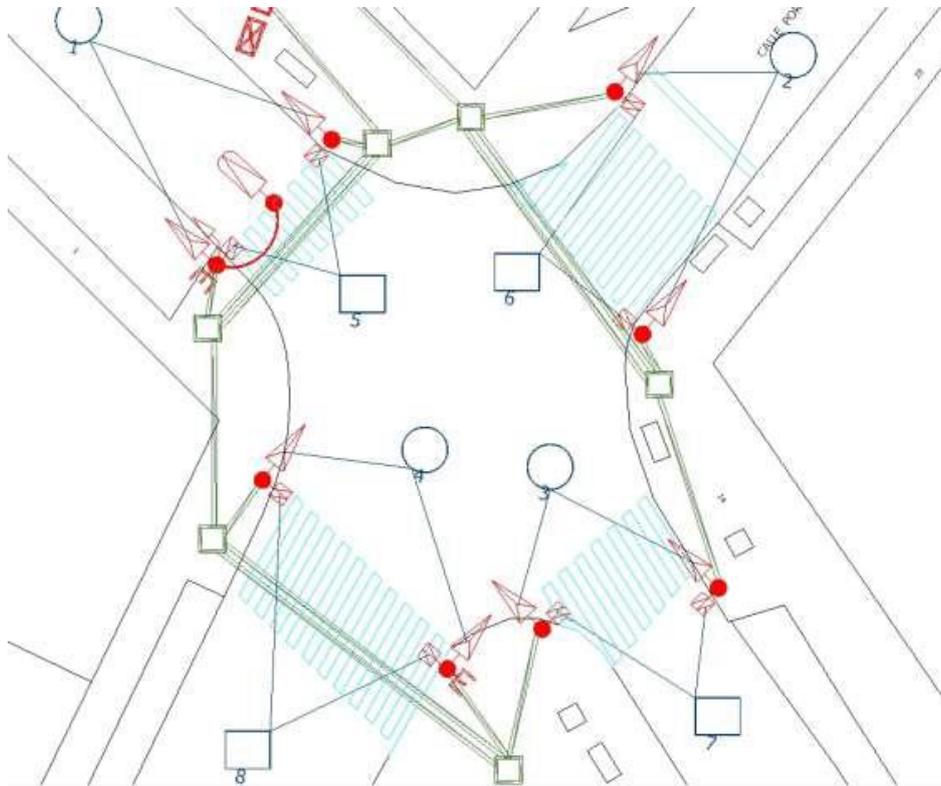


Figura A.12: Intersección 229. c/Cardenal Cisneros - c/Portillo Balboa

▪ Intersección 230. c/Soto - c/Cardenal Torquemada

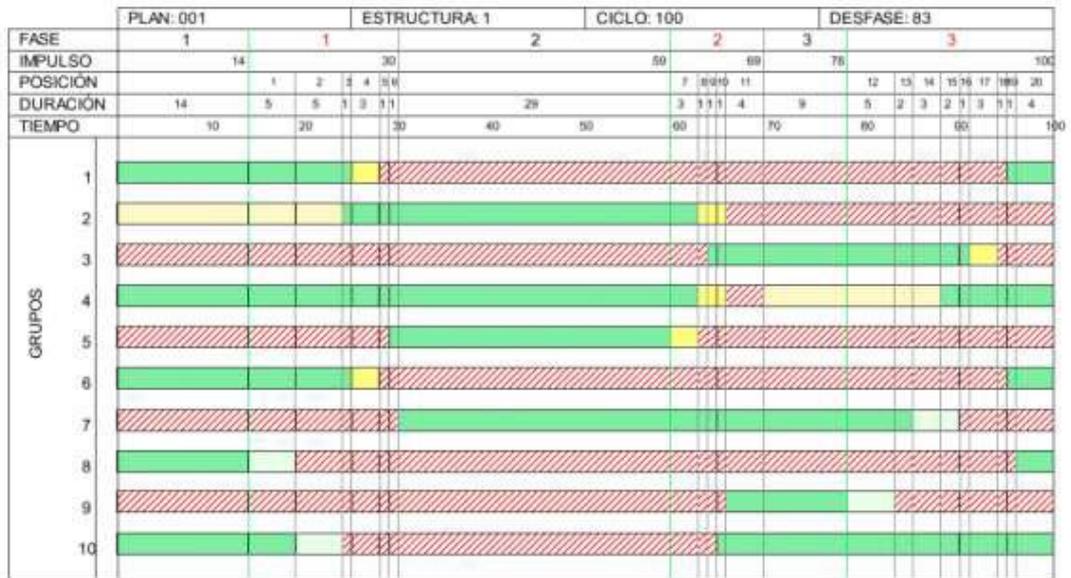
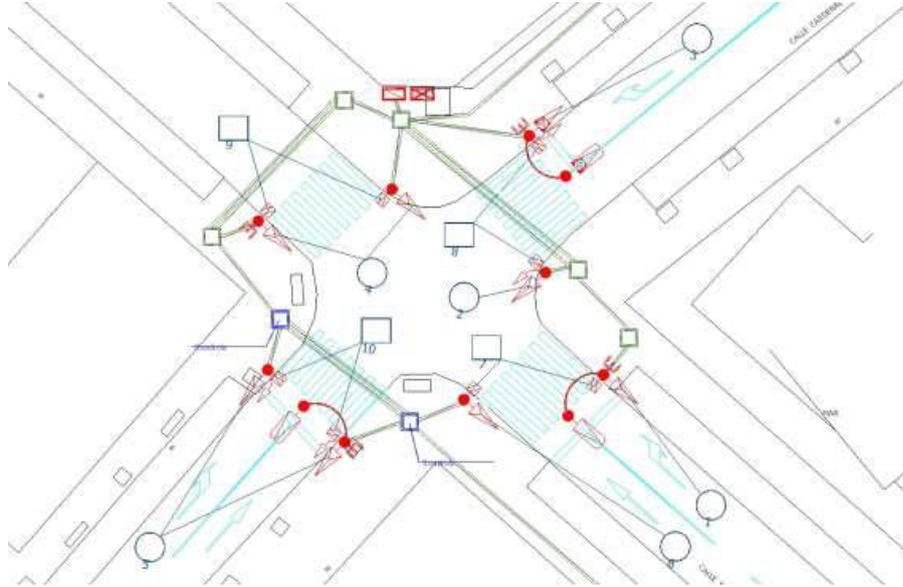
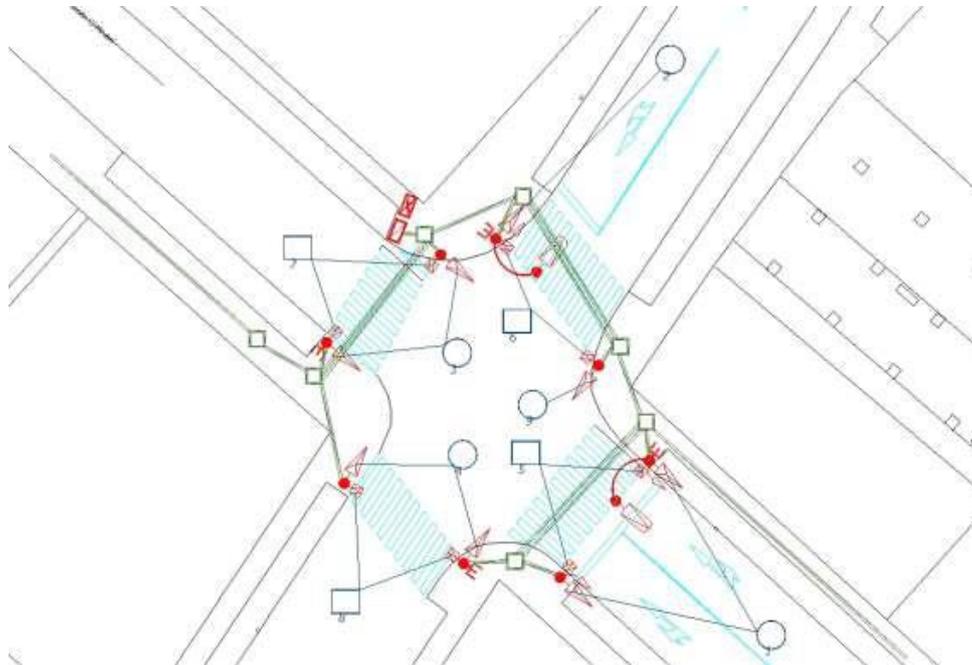


Figura A.13: Intersección 230. c/Soto - c/Cardenal Torquemada

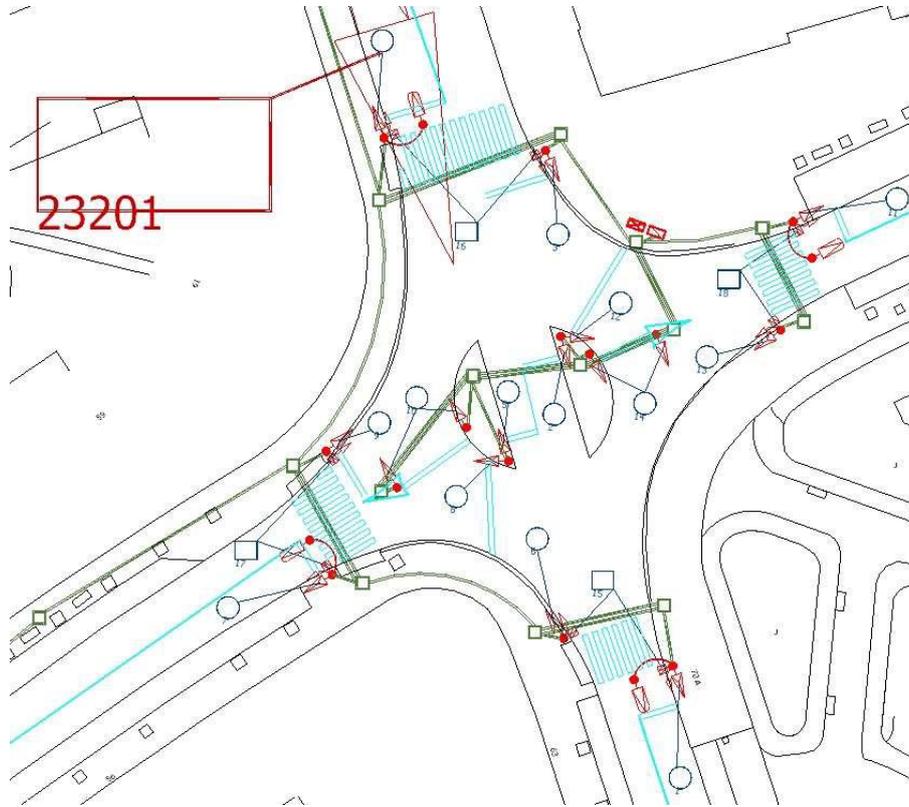
▪ Intersección 231. c/Soto - c/Portillo Balboa



	PLAN: 001				ESTRUCTURA: 1				CICLO: 100				DEFASE: 49			
FASE	1		1		2		2		3		3		3			
IMPULSO	14		24		43		53		72		72		100			
POSICIÓN	1 2 3 4		1 2 3 4		5 6 7 8 9 10		5 6 7 8 9 10		11 12 13 14 15 16 17 18 19 20		11 12 13 14 15 16 17 18 19 20		11 12 13 14 15 16 17 18 19 20			
DURACIÓN	14		4 1 3 2		19		2 1 2 1 1 3		19		3 2 2 1 2 2 1 2 3		3 2 2 1 2 2 1 2 3			
TIEMPO	10		20		30		40		50		60		70			
GRUPOS	1	Green		Green		Green		Green		Green		Green				
	2	Red		Red		Red		Red		Red		Red				
	3	Green		Green		Green		Green		Green		Green				
	4	Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		Yellow				
	5	Red		Red		Red		Red		Red		Red				
	6	Green		Green		Green		Green		Green		Green				
	7	Red		Red		Red		Red		Red		Red				
	8	Green		Green		Green		Green		Green		Green				
	9	Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		Yellow				

Figura A.14: Intersección 231. c/Soto - c/Portillo Balboa

- Intersección 232. c/Cardenal Torquemada – c/Portillo Balboa



	PLAN: 001													ESTRUCTURA: 1													CICLO: 100						DESFASE: 84																																									
FASE	1													2													3						3																																									
IMPULSO	11													41													50						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													18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1						18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1																																									
DURACIÓN	11													9													15						5						5																																			
TIEMPO	10													20													30						40						50						60						70						80						90						100					
GRUPOS	1	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]																
	2	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	3	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	4	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	5	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	6	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	7	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	8	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	9	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	10	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	11	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	12	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	13	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	14	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	15	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	16	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	17	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	18	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	19	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	20	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	21	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	22	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	23	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										
	24	[Green]													[Green]													[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]						[Green]										

Figura A.15: Intersección 232. c/Cardenal Torquemada – c/Portillo Balboa



