



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERS
DE CAMINS, CANALS I PORTS

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



Estudio y mejora de la capacidad y funcionalidad de la intersección semaforizada en Av. Pío XII, Av. Campanar, Calle Vall de la Ballestera y Calle Joaquin Ballester mediante la aplicación del High Capacity Manual 2010.

TRABAJO FINAL DE MASTER

Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.

Autora: ANNA CARMEN AIELLO PERDICES

Tutor: JAVIER SORIANO FERRIOL

Valencia, Septiembre 2017.



ÍNDICE

1.	ANTECEDENTES	1
2.	INTRODUCCIÓN	2
2.1	Glorietas	2
2.2	Intersecciones semaforizadas	2
2.3	Problemática de congestión en intersecciones semaforizadas	3
3.	OBJETO DE ESTUDIO.....	5
4.	ESTADO DEL ARTE	6
4.1	Introducción	6
4.2	Semáforos	6
4.3	Tipos de movimientos	8
4.4	Capacidad de la intersección.....	9
4.4.1	Definición	9
4.4.2	Factores.....	9
4.5	Nivel de servicio	12
4.6	Método de determinación de la capacidad y nivel de servicio en una intersección semaforizada	13
4.6.1	Introducción	13
4.6.2	Determinación de la capacidad y el nivel de servicio	13
5.	CARACTERIZACIÓN DE LA INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA	29
5.1	Características de la intersección semaforizada	29
5.1.1	Caracterización del tramo	29
5.1.2	Caracterización del transporte urbano	33
5.1.3	Caracterización de las intersecciones de estudio	34
5.2	Toma de información	37
5.2.1	Volúmenes vehiculares	37
5.2.3	Composición vehicular	38
5.3	Problemática de la intersección.....	38
6.	Análisis de capacidad de la intersección semaforizada con el hcm 2010.....	41
6.1	Parámetros de entrada	41
6.2	aplicación metodología hcm 2010	43
7.	PRESENTACIÓN Y ELECCIÓN DE PROPUESTAS	62



7.1 Introducción	62
7.2 Propuestas.....	62
7.2.1 Alternativa 1: Marcas Viales.....	63
7.2.2 Alternativa 2: Desvío Vehículos Vial Secundario.....	64
7.2.3 Alternativa 3: Modificación Sentido Avenida Campanar	66
7.2.4 Alternativa 4: Intersección giratoria.....	68
7.2.5 Alternativa 5: Paso inferior	69
7.3 Análisis y selección de propuesta.....	69
8. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LAS PROPUESTAS.....	73
8.1 Propuesta 1, 2 y 3.....	73
8.2 Propuesta paso inferior y glorieta.....	78
8.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	86
8.3.1 Alternativa 1, 2 y 3.	86
8.3.2 Alternativa Paso inferior y glorieta	89
9. CONCLUSIONES	90
10. BIBLIOGRAFÍA	92



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de movimiento en una intersección.....	8
Figura 2. Grupos de carriles comunes para el análisis.....	16
Figura 3. Vista satélite de la intersección objeto de estudio.....	30
Figura 4. Fotografía Intersección 1.....	31
Figura 5. Fotografías Intersección 2.....	32
Figura 6. Fotografía Intersección 3.....	32
Figura 7. Fotografía Intersección 4.....	33
Figura 8. Elementos característicos de la intersección.....	34
Figura 9. Líneas Autobús Intersección.....	34
Figura 10. Descripción física Intersección 1.....	35
Figura 11. Descripción física Intersección 2.....	35
Figura 12. Descripción física Intersección 3.....	36
Figura 13. Descripción física Intersección 4.....	36
Figura 14. Ubicación de los aforos.....	37
Figura 15. Problemática Intersección 2.....	40
Figura 15. 1-Problemática Intersección 4.....	40
Figura 16. Grupo de movimientos y grupo de carriles de la intersección 1.....	43
Figura 17. Grupo de movimientos y grupo de carriles de la intersección 2.....	44
Figura 18. Grupo de movimientos y grupo de carriles de la intersección 3.....	44
Figura 19. Grupo de movimientos y grupo de carriles de la intersección 4.....	45
Figura 20. Grupo de Carriles de la Intersección 1.....	46
Figura 21. Grupos de Carriles de la Intersección 2.....	47
Figura 22. Intersección 3. Grupos de carriles de la Intersección 3.....	47
Figura 23. Intersección 4.....	48
Figura 24. Congestión en la intersección 2. Vista frontal.....	55
Figura 25. Congestión en la intersección 2. Vista lateral.....	55
Figura 26. Congestión en la intersección 2. Vista trasera.....	56
Figura 27. Esquema de Almacenamiento en la intersección 2.....	58



Figura 28. Problemática Almacenamiento en la intersección 2.....	59
Figura 29. Esquema de Almacenamiento en la intersección 4.....	60
Figura 30. Problemática de Almacenamiento en la intersección 4.....	61
Figura 31. Alternativa 3. Marca vial horizontal.....	63
Figura 32. Desvío Vial Secundario Avenida Pío XII.....	64
Figura 33. Desvío vehículos procedentes del tramo sur de la Avenida Campanar.	66
Figura 34. Desvío vehículos procedentes del tramo norte de la Avenida Campanar.....	67
Figura 35. Alternativa paso inferior e instalación de glorieta.....	68
Figura 36 Propuesta Paso Inferior y Glorieta.....	70
Figura 37. Propuesta 1,2 y 3.....	71
Figura 38. Intersección 1. Glorieta + Paso inferior.....	78
Figura 39. Intersección 2. Glorieta + Paso inferior.....	78
Figura 40. Intersección 3. Glorieta + Paso inferior.....	79
Figura 41. Intersección 4. Glorieta + Paso inferior.....	79



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Demora del tráfico según el nivel de servicio.....	12
Tabla 2. Valores del factor de ajuste por ancho.....	18
Tabla 3. Valores Para el Factor de Ajuste de Progresión.....	25
Tabla 4. Parámetros requeridos para el análisis operacional.....	41
Tabla 5. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 1.....	42
Tabla 6. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 2.	42
Tabla 7. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 3.	42
Tabla 8. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 4.	42
Tabla 9. Intensidad de grupos de carril de la intersección 1.....	47
Tabla 10. Intensidad de grupos de carril de la intersección 2.....	47
Tabla 11. Intensidad de grupos de carril de la intersección 3.....	48
Tabla 12. Intensidad de grupos de carril de la intersección 4.	48
Tabla 13. Capacidad de grupos de carril de la intersección 1.....	49
Tabla 14. Capacidad de grupos de carril de la intersección 2.....	49
Tabla 15. Capacidad de grupos de carril de la intersección 3.....	50
Tabla 16. Capacidad de grupos de carril de la intersección 4.	50
Tabla 17. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 1.	50
Tabla 18. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 2.	51
Tabla 19. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 3.	51
Tabla 20. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 4.	51
Tabla 21. Demora de los grupos de carril de la intersección 1.	52
Tabla 22. Demora de los grupos de carril de la intersección 2.	52
Tabla 23. Demora de los grupos de carril de la intersección 3.	53
Tabla 24. Demora de los grupos de carril de la intersección 4.	53
Tabla 25. Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 1.	53
Tabla 26. Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 2.	54
Tabla 27. Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 3.	54
Tabla 28. Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 4.	54



Tabla 29. Propuesta. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 1.....	72
Tabla 30. Propuesta. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 2.....	72
Tabla 31. Propuesta. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 3.....	72
Tabla 32. Propuesta. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 4.....	73
Tabla 33. Intensidad de grupos de carril de la intersección 1.....	73
Tabla 34. Intensidad de grupos de carril de la intersección 2.....	73
Tabla 35. Intensidad de grupos de carril de la intersección 3.....	73
Tabla 36. Intensidad de grupos de carril de la intersección 4.	73
Tabla 37. Propuesta. Capacidad de la Intersección 1.....	74
Tabla 38. Propuesta. Capacidad de la Intersección 2.....	74
Tabla 39. Propuesta. Capacidad de la Intersección 3.....	74
Tabla 40. Propuesta. Capacidad de la Intersección 4.....	74
Tabla 41. Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la I.1.....	75
Tabla 42. Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la I.2.....	75
Tabla 43. Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la I.3.	75
Tabla 44. Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la I.4.	75
Tabla 45. Propuesta. Demora de los grupos de carril de la Intersección 1.	76
Tabla 46. Propuesta. Demora de los grupos de carril de la Intersección 2.	76
Tabla 47 Propuesta. Demora de los grupos de carril de la Intersección 3.	76
Tabla 48. Propuesta. Demora de los grupos de carril de la Intersección 4.	76
Tabla 49. Propuesta. Nivel de Servicio en los grupos de carril de la Intersección 1.	76
Tabla 50. Propuesta. Nivel de Servicio en los grupos de carril de la Intersección 2.	77
Tabla 51. Propuesta. Nivel de Servicio en los grupos de carril de la Intersección 3.....	77
Tabla 52. Propuesta. Nivel de Servicio en los grupos de carril de la Intersección 4.	77
Tabla 53. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 1.....	80
Tabla 54. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 2.	80
Tabla 55. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 3.	80
Tabla 56. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 4.	80
Tabla 57. Intensidad de saturación para el grupo de carriles de la Intersección 1.	80



Tabla 58. Intensidad de saturación para el grupo de carriles de la Intersección 2.	81
Tabla 59. Intensidad de saturación para el grupo de carriles de la Intersección 3.	81
Tabla 60. Intensidad de saturación para el grupo de carriles de la Intersección 4.	81
Tabla 61. Capacidad obtenida en la intersección 1.	81
Tabla 62. Capacidad obtenida en la intersección 2.	81
Tabla 63. Capacidad obtenida en la intersección 3.	82
Tabla 64. Capacidad obtenida en la intersección 4.	82
Tabla 65. Proporción de volumen-capacidad en la intersección 1.	82
Tabla 66. Proporción de volumen-capacidad en la intersección 2.	82
Tabla 67. Proporción de volumen-capacidad en la intersección 3.....	83
Tabla 68. Proporción de volumen-capacidad en la intersección 4.	83
Tabla 69. Demora Intersección 1.	83
Tabla 70. Demora Intersección 2.	83
Tabla 71. Demora Intersección 3.	84
Tabla 72. Demora Intersección 4.	84
Tabla 73. Nivel de servicio de la intersección 1.	84
Tabla 74. Nivel de servicio de la intersección 2.	84
Tabla 75. Nivel de servicio de la intersección 3.	84
Tabla 76. Nivel de servicio de la intersección 4.....	84
Tabla 77. Cuadro comparativo de demoras y niveles de servicio entre la intersección modificada y la existente.....	85
Tabla 78. Reparto de los vehículos en los carriles GC1, GC2 y GC3 de la intersección 2.....	86
Tabla 79. Reparto de los vehículos en los carriles GC1, GC2 y GC3 dela intersección 4.....	87

MASTER EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA





1. ANTECEDENTES

El siguiente estudio se presenta como el Trabajo Fin de Máster del estudiante Anna Carmen Aiello Perdices, habiendo sido tutelado por Javier Soriano Ferriol, Profesor del Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

El presente Trabajo Fin de Máster tiene el siguiente título: “Estudio y mejora de la calidad y funcionalidad de la intersección semaforizada en Avda Pío XII – Avda Campanar – Calle Vall de la Ballestera – Calle Joaquín Ballester mediante aplicación del Highway Capacity Manual 2010”.

Por último, al tratarse de un estudio de investigación este Trabajo Fin de Máster se clasifica como tipo II.



2. INTRODUCCIÓN

Como se ha mencionado en el apartado anterior, este estudio se centrará en el análisis de una intersección semaforizada situada en la ciudad de Valencia.

En general, se entiende por intersección giratoria a toda intersección compuesta por una calzada circular, que discurre alrededor de una isleta central, a la que acceden distintas vías.

Hay dos tipos fundamentales de intersecciones giratorias: las intersecciones con prioridad a la circulación anular, y el resto, bien sean con prioridad a todas o algunas de las entradas o con sistemas diferentes de prioridad.

2.1 GLORIETAS

Las glorietas son intersecciones de dos o más vías que están compuestas por una calzada anular con un único sentido de circulación que tiene prioridad sobre el tráfico entrante a la misma, el cual está controlado por señales de Ceda el Paso. Y, una vez dentro de la glorieta, los vehículos sólo pueden hacer giros a derechas, para dirigirse a una de las salidas. Las trayectorias de los vehículos no se cruzan, sino que convergen y divergen, por ello, el número de puntos de conflicto es más reducido que en otros tipos de nudo.

Nuestro caso de estudio, no es propiamente una glorieta, sino que se denomina glorieta partida, en la que dos tramos de vías, generalmente opuestos, se conectan directamente a través de la isleta central, partiéndola, por lo que el tráfico que pasa de un tramo a otro no lo rodea.

2.2 INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

Las intersecciones semaforizadas se pueden definir como intersecciones con regulación mayoritaria de sistemas de luces que establecen las prioridades de paso por la intersección.

Entre las funciones principales de la semaforización de intersecciones se encuentran: la reducción de la congestión, la mejora de la seguridad o bien, apoyar diferentes estrategias de transporte (fortalecer el transporte público, reforzamiento de la jerarquía viaria, potenciación de peatones y ciclistas, etc).

Las intersecciones semaforizadas son el tipo de intersección más característico de las áreas urbanas, al proporcionar unas reglas de paso simples y universales. Se recomiendan a partir de ciertos niveles de intensidad de tráfico, por encima de los



cuales las intersecciones convencionales se muestran incapaces de funcionar sin regulación. Como referencia indicativa, la semaforización debe tenerse en cuenta cuando las intensidades de las vías confluyentes son del orden de los 300 vehículos por hora en cada uno, o 500 en la vía principal.

Las razones para la implantación de una glorieta controlada por semáforos pueden ser varias, pero además de las mencionadas, este tipo de glorieta partida con semáforos se encuentra en un medio urbano con importantes cargas de tráfico.

Por tanto, una intersección semaforizada puede sufrir períodos de punta durante los que un flujo dominante de un cierto movimiento impida la incorporación de los vehículos de las otras entradas a la calzada anular. El desequilibrio entre las entradas puede llegar a impedir la autorregulación propia de las glorietas, llegando a producirse colas en algunas entradas cuyos efectos se propaguen hacia los vehículos que se acercan.

Por otro lado, en zona urbana también existe un importante tráfico peatonal que convierte al peatón en usuario de la glorieta y por consiguiente, debe ser tenido en cuenta en la proyección de la misma, para así poder garantizar su seguridad y evitar recorridos o esperas innecesarias.

También se puede dar prioridad en la incorporación a la calzada anular, a vehículos de tipo público, como autobuses o tranvías, por cuestión de tiempo de recorrido o seguridad en la intersección.

Por otro lado, las intersecciones semaforizadas pueden ser interesantes en zonas con mala visibilidad, o zonas en las que interese una cierta gestión del tráfico, incompatible con el funcionamiento de la intersección a no ser que esté semaforizada.

2.3 PROBLEMÁTICA DE CONGESTIÓN EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

La capacidad y los niveles de servicio de una glorieta o intersección semaforizada dependen de la interacción entre su diseño, el comportamiento de los conductores y las características del tráfico. La eficiencia de su comportamiento es máxima cuando la distribución de los orígenes y destinos está uniformemente repartida, resultando unos flujos de tráfico similares en todas las entradas y en las distintas partes del anillo principal; todo ello, incluso con niveles de demanda medios.



Cuando los flujos están descompensados, el funcionamiento de la glorieta o intersección semaforizada es admisible siempre y cuando el volumen global de demanda sea bajo, los problemas aparecen incluso con niveles de demanda intermedios, al estar la entrada más cargada aguas abajo de otra entrada con demanda intermedia, cuyos vehículos han accedido antes al anillo y, por tanto, tienen prioridad.

Se está haciendo más habitual observar glorietas o intersecciones semaforizadas en servicio que llegan con más frecuencia a situaciones de alta demanda, e incluso a la congestión; sin embargo, también hay bastantes que, sin llegar a volúmenes muy altos de demanda, se saturan en alguno de sus accesos por presentar una gran descompensación entre las distintas entradas.

En el caso de la intersección semaforizada objeto de estudio, el funcionamiento llega en horas puntuales del día a un volumen de tráfico bastante alto, lo que conlleva a la congestión de ciertos ramales del enlace.

Al tratarse de la conexión norte de la ciudad de Valencia, se producen demoras en las horas de entrada y salida de la jornada laboral. Más adelante se definirá el problema con más detalle.



3. OBJETO DE ESTUDIO

En el presente trabajo se procede a analizar la intersección semaforizada de la Avenida Pío XII, la Avenida de Campanar, la Calle de la Vall de la Ballestera y Calle Joaquín Ballester situada en la ciudad de Valencia. Con el fin de realizar un estudio sobre su capacidad y nivel de servicio, ya que, presenta problemas de congestión produciendo demoras e incomodidades a los usuarios. Una vez realizados estos análisis, se propone una serie de alternativas para proporcionar una solución factible al problema.

En vista de ello, se recogerá en este documento, el método de determinación para el cálculo de la capacidad en intersecciones semaforizadas y, por otro lado, se plasmará la información obtenida de la intersección semaforizada seleccionada.

La metodología que se empleará en todo el estudio se regirá en la definida en el HCM 2010, Highway Capacity Manual 2010. Siguiendo los procedimientos que se explican el volumen 3 "Interrupted Flow", capítulo 18 del HCM 2010, se procederá a evaluar la capacidad y la calidad del servicio que se proporciona a los usuarios de los vehículos que cruzan la intersección mencionada. Además de esto, la metodología permite identificar la fuente de problemas y proporciona una medida de estrategias para su mejora.

Una vez obtenidos los cálculos mediante el procedimiento del HCM 2010, y propuesto las alternativas para resolver el problema, se realiza un análisis de las propuestas planteadas y se realiza un estudio comparativo entre éstas.



4. ESTADO DEL ARTE

4.1 INTRODUCCIÓN

Las intersecciones están diseñadas de acuerdo a las circunstancias del tráfico, en las cuales son implementadas unos tiempos específicos en función de la fluidez de la intersección, evitando la congestión y manteniendo un nivel de servicio adecuado.

Las intersecciones semaforizadas, como en nuestro caso, permiten varios movimientos en diferentes sentidos dentro de la intersección, que a su vez se establecen por una variedad de condiciones que afectan la circulación del tráfico rodado, como son: la cantidad y distribución del tráfico, composición del mismo, diseños geométricos, manejo de la semaforización y señalización.

4.2 SEMÁFOROS

Este tipo de intersecciones están reguladas por semáforos. El semáforo es la variable directa de las intersecciones semaforizadas, el cual distribuye el tiempo entre los movimientos conflictivos que se dan, para poder dar un correcto funcionamiento a la intersección así como no saturar sus accesos.

Los semáforos tienen operaciones que afectan directamente a la circulación, tales como: el plan de fases, la asignación de tiempos en verde, la duración del ciclo, los distintos tipos de giros protegidos, permitidos o sin oposición, entre otros. A continuación se definirán algunos de estos conceptos.

- Ciclo: es la secuencia completa de indicaciones de un semáforo, es decir el tiempo total que se suma de “verde”, “ámbar” y “rojo”.
- Duración de ciclo: es el tiempo total que necesita el semáforo para completar un ciclo, expresado en segundos.
- Intervalo: es el período de tiempo en el que todas las indicaciones semaforizadas permanecen constantes.
- Fase: es el tiempo durante el cual no se produce ningún cambio de color en los semáforos.
- Tiempo de “ámbar”: es el tiempo que transcurre entre el cambio de verde a rojo, actualmente fijo con una duración de 3 a 4 segundos.
- Tiempo de cambio: intervalos de “ámbar” más el “todo rojo” con el fin de que la intersección quede totalmente despejada, para que se puedan poner en funcionamiento el tiempo de “verde”, el tiempo de “verde” efectivo, y el tiempo de “rojo” efectivo.
- Tiempo de “verde”: es el tiempo durante el cual la intersección no está utilizada por ningún movimiento. Estos tiempos ocurren durante el intervalo de



cambio y al principio de cada fase cuando los primeros vehículos sufren retrasos en el arranque.

- Tiempo de “verde” efectivo: es el tiempo de verde más el intervalo de cambio menos el tiempo perdido de fase, expresado en segundos.
- Tiempo de rojo “efectivo”: es el tiempo durante el cual no se permite la circulación, algún movimiento específico o un conjunto de movimientos. Es la duración del ciclo menos el tiempo de verde efectivo para una fase específica, expresado en segundos.

Dentro de las señales de tráfico el manual de capacidad de carreteras, como se denomina en inglés *Highway Capacity Manual (HCM)*, se contempla dos tipos de operaciones para la señalización semaforizada: la operación prefijada y la operación accionada.

La operación prefijada es una acción que consiste en una secuencia de fases fijas, que están en un orden repetitivo, la duración de cada fase es precisa siempre con los mismos tiempos, es decir, todos los intervalos de cambio están prefijados, pero el intervalo de verde puede cambiar ya sea por el día de la semana o se acomoda a unas horas determinadas.

La operación accionada se define como la fase de la secuencia en que la presentación de cada fase depende o está asociada a los movimientos del tráfico. Este tipo de operación se puede describir como: actuado, semi actuado y coordinado-actuado.

- Semáforos actuados: se da cuando las fases están actuadas y todos los movimientos de tráfico de la intersección están controladas por detectores. Este tipo de control no está asociado con un ciclo constante y así las duraciones del ciclo y los tiempos de verde pueden variar según la demanda que se tenga.
- Semáforos semi actuados: se trata de un tipo de control que utiliza las fases actuadas para servir los menores movimientos (calles secundarias) de una intersección mientras que los mayores movimientos que se producen en la intersección están operados con fases no actuadas, tratando de estar siempre en fase verde, así cuando las calles secundarias detecten un flujo vehicular, se les dará paso con un intervalo determinado. La secuencia y duración de cada fase actuada está determinada por la demanda de tráfico. Este tipo de control no está asociado a un ciclo constante.
- Semáforos coordinados-actuados: este tipo de control es similar al anterior y asocia la fase coordinada aquellos movimientos menores en la intersección.

4.3 TIPOS DE MOVIMIENTOS

En una intersección regulada por semáforos, dentro de las características significativas que influyen en su capacidad, además de la asignación del tiempo de verde, debe tenerse también en cuenta la disposición de los movimientos de giro dentro de la secuencia de fases.

Se pueden diferenciar cuatro tipos de movimientos:

- Giro de paso: es el giro en el que el vehículo continúa en la dirección que llevaba antes de atravesar la intersección. De todos los movimientos, es el menos demandado por el sistema.
- Giro permitido: es el giro en el que el vehículo que lo efectúa debe atravesar bien una corriente peatonal, bien un flujo vehicular en sentido opuesto. Por ejemplo, un movimiento de giro a la izquierda que se realice al mismo tiempo que el movimiento de tráfico en sentido opuesto se considera permitido. Asimismo, un movimiento de giro a la derecha simultáneo con un cruce de peatones también lo será. Este tipo de movimientos exigen un mayor consumo del tiempo en verde.
- Giro protegido: en este tipo de movimientos, el vehículo no presenta oposición vehicular o peatonal a la hora de realizar la maniobra. Se trataría del caso de giros a la izquierda realizados en una fase exclusiva para ellos, una flecha verde adicional en el semáforo, o de giros a la derecha con prohibición de cruce para los peatones durante esa fase.
- Giro sin oposición: a diferencia del caso anterior, esta clase de movimientos no necesita una regulación de fase exclusiva, ya que la configuración de la intersección hace imposible que se den conflictos o interferencias con el tráfico de paso. Se dan sobre todo en calles de sentido único o en intersecciones en T que operan con dos fases separadas para cada dirección.

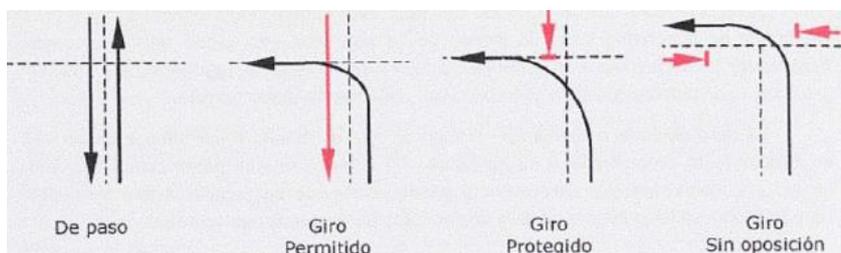


Figura 4. Tipos de movimiento en una intersección



4.4 CAPACIDAD DE LA INTERSECCIÓN

4.4.1 DEFINICIÓN

Un estudio de la capacidad de un sistema vial es al mismo tiempo un estudio cuantitativo y cualitativo, el cual permite evaluar la suficiencia y la calidad del servicio ofrecido por el sistema a los usuarios.

Según el *Highway Capacity Manual* la definición de la capacidad sería la siguiente: la capacidad de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos que razonablemente pueden pasar por una intersección durante un intervalo de tiempo dado, normalmente una hora, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control.

Para determinar la capacidad de un sistema vial, rural o urbano, no sólo es necesario conocer sus características físicas o geométricas, sino también las características de los flujos vehiculares, bajo una variedad de condiciones de operación sujetas a los dispositivos de control y al medio ambiente.

4.4.2 FACTORES

Entre los factores que determinan la capacidad de una intersección se encuentran los siguientes: la geometría de la intersección (la anchura, la inclinación de la rasante, etc.) el tráfico presente, el estacionamiento, las maniobras de giro, el factor de hora punto, etc.

Condiciones de la vía

Las condiciones que afectan a la vía comprenden las condiciones geométricas y los elementos del proyecto. Entre los factores más relevantes se encuentran: el tipo de vía y el medio urbanístico en que está inmersa, la anchura del carril, el ancho de las bermas y los despejes laterales, la velocidad de proyecto, el alineamiento horizontal y el alineamiento vertical, y la disponibilidad de espacio para esperar en cola en las intersecciones.

La anchura de la calle es el factor más significativo de cara a evaluar la capacidad de una intersección. La anchura del acceso no varía únicamente con la de la calle, sino que depende de otros factores como la disposición de las marcas viales o la presencia de isleta u otros obstáculos.

El número de filas en que se dispone el tráfico, además de ser las delineadas por la señalización, varían en función de las horas punta, ya que los vehículos se sitúan formando más filas que las definidas por las marcas viales. Sin embargo,



una buena demarcación de los carriles contribuye normalmente a aumentar la capacidad de la intersección.

Condiciones del tráfico

La capacidad individual de cada acceso y la intersección en su total, se ve afectada por la proporción de vehículos pesados existentes en la corriente de tráfico. Esto se debe a que, como ya sabemos el vehículo pesado es más lento y voluminoso, haciendo que sus maniobras en el ámbito urbano estén más restringidas.

Además de la composición vehicular, se tiene en cuenta el reparto por sentidos de circulación, el cual es especialmente crucial en vías de dos carriles, donde las condiciones ideales se producen cuando la distribución es del 50% en cada sentido de la circulación.

Por otro lado, el transporte público influye notablemente, ya que, además de poderse considerar como vehículos pesados, su frecuencia de parada en los puntos destinados a la subida y bajada de pasajeros modifica la capacidad del acceso donde existan este tipo de zonas.

Estacionamiento

La existencia de vehículos parados, detenidos o estacionados en las proximidades de la intersección es un factor que afecta doblemente a la capacidad de la intersección, esto se debe a que disminuye la anchura eficaz del acceso y retarda la circulación de vehículos, en el caso de existir vehículos realizando maniobras de estacionamiento.

Así pues, la existencia de vehículos estacionados en las inmediaciones de la intersección reducirá en gran medida la capacidad de la misma. Por otro lado, si se destina una zona de la vía a este fin, pueden obtenerse mejoras notorias de la capacidad.

Maniobras de giro

Al tratarse de una intersección semaforizada, en este caso con el cruce de dos grandes avenidas y dos calles, el conductor del vehículo tiene una serie de posibles trayectorias a elegir. El conductor podrá acceder a cualquier dirección de la intersección, es decir, continuar en la dirección que lleva, girar inmediatamente a su derecha, girar la segunda a la derecha, seguir su trayectoria, o bien, lo mismo pero con giros a izquierda.



Factor de hora punta

Sin duda, el momento más crítico para la intersección, en lo que a capacidad se refiere, se produce durante la hora punta, por lo que será necesario tener en cuenta el factor de hora punta, denominado con las siglas FHP, definido por el *Highway Capacity Manual 2010* como “el cociente entre la intensidad de la hora punta y cuatro veces la intensidad de los quince minutos más cargados”.

$$FHP = \frac{I_{60}}{4 \cdot I_{15}} \quad [1]$$

El factor de hora punta, FHP, será de aplicación en intersecciones donde se afore la intensidad de la hora punta, IHP, y no la máxima de los quince minutos (I_{15}), ya que los criterios de nivel de servicio que adopta el *Highway Capacity Manual 2010* se refieren a ésta. En las zonas urbanas dicho factor se halla comprendido normalmente entre los valores de 0,75 y 0,90, utilizando como valor medio 0,85.

Situación de la intersección

Análogamente a la influencia del tamaño de la ciudad en la fluidez del tráfico, también ejerce cierta influencia la localización de la intersección dentro de dicha ciudad. A efectos de cálculo se diferencian cuatro zonas:

- Zona centro: es la zona en la que el uso predominante del suelo es la actividad mercantil y de negocios. Se caracteriza por el gran número de peatones, por la frecuencia de vehículos que cargan y descargan mercancías, por la alta demanda de estacionamiento y por la alta rotación del mismo.
- Zona intermedia: es la zona contigua al centro, donde se mezcla la actividad mercantil con suelo residencial de alta densidad. La mayor parte del tráfico no tiene su origen ni su destino dentro de la zona, caracterizada por la presencia de un número moderado de peatones.
- Zona del centro periférico: es una zona con menor trascendencia que el centro aunque con unas características similares, con la diferencia de que se observa una mezcla de tráfico de paso con el existente dentro de la propia zona.
- Zona residencial: es la zona en la que predomina el uso residencial, y se caracteriza por tener una baja densidad peatonal y una renovación de estacionamiento muy baja.



4.5 NIVEL DE SERVICIO

Para medir la calidad del flujo vehicular se usa el concepto de nivel de servicio. Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial.

De los factores que afectan el nivel de servicio, se distinguen los internos y los externos:

- Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamiento o direccionales, etc.
- Entre los externos se encuentran las características físicas, tales como el ancho de los carriles, la distancia libre lateral, el ancho de las banquetas, las pendientes, etc.

Analizar los volúmenes de tráfico es útil para entender la naturaleza general del tráfico en un área, pero no nos indica la capacidad de la vía para absorber un flujo adicional, ni nos describe el funcionamiento de la vía o intersección. Para esto se ha desarrollado este concepto de nivel de servicio.

En el manual se han establecido seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E y F, que van del mejor al peor, los cuales se definen según que las condiciones de operación sean de circulación continua o discontinua.

Los niveles de servicio en intersecciones semaforizadas se obtienen a partir de la demora media obtenida, concepto que se atribuye a molestias, retrasos o tiempo de viaje perdido por el conductor. Los niveles de servicio A, B y C indican unas condiciones de tráfico en la que los vehículos no tienen demoras significativas en los periodos punta de demanda. Los niveles de servicio D y E indican un empeoramiento progresivo de las condiciones operacionales en los periodos punta mientras que el nivel de servicio F indica que la demanda excede la capacidad de la intersección.

Nivel de servicio	Demora en segundos
A	<10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-50
E	>50-80
F	>80



Tabla 1. Demora del tráfico según el nivel de servicio

4.6 MÉTODO DE DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO EN UNA INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA

4.6.1 INTRODUCCIÓN

Para determinar el nivel óptimo del flujo de vehículos en una intersección, se hará uso del Highway Capacity Manual 2010. Para ello se utiliza como base la metodología definida en el capítulo 18 “Intersecciones señalizadas” del Volumen 3 del HCM, en donde se evalúa la capacidad y el nivel del servicio proporcionado a los usuarios a través de la intersección semaforizada.

Estos son fundamentales para definir como se encuentra la intersección en el momento del análisis y poder decir con certeza como se está llevando a cabo el tráfico diariamente. Tanto la capacidad como el nivel de servicio son análisis que se realizan por separado, a partir de un proceso que se inicia con la recaudación de la información (aforos), a partir de los cuales se realiza un análisis para obtener la capacidad y por consiguiente, el nivel de servicio en el que se encuentra.

Para hallar la capacidad o el nivel de servicio, es imprescindible entender en primer lugar la forma en que se agrupan los carriles, identificado como: movimientos por carriles o movimientos por grupos de carril (GC), definiendo el “GC” como el mismo movimiento que se lleva a cabo en uno o más carriles. En segunda medida para hallar la capacidad y el NS, se debe analizar por grupos de carriles los cuales acceden a una intersección, e identificar la demora media en parada por GC de la intersección, para este factor se encuentra que es alterado por la calidad de progresión, de duración de la fase verde, del ciclo y de la capacidad.

4.6.2 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD Y EL NIVEL DE SERVICIO

Como ya se ha mencionado, para la determinación de la capacidad en una intersección semaforizada, el Highway Capacity Manual 2010, en su capítulo 18 de intersecciones semaforizadas, describe una metodología para la evaluación de la capacidad y nivel de servicio. Además incluye una serie de medidas de actuación que describen el funcionamiento de la intersección para modos de viajes múltiples. Estas medidas sirven como clave para identificar el origen de los problemas y proporcionar información sobre el desarrollo de estrategias de mejora.



NIVEL DE ANÁLISIS

Cuando se aplica esta metodología, el nivel de análisis puede describirse en tres niveles:

- Nivel operacional
- Nivel en base al diseño
- Nivel analítico en base a la planificación e ingeniería preliminar

El análisis operacional es la aplicación más detallada y requiere información sobre el tráfico, tanto condiciones geométricas como de señalización.

El análisis en base al diseño también requiere información detallada sobre las condiciones de tráfico y niveles de servicio, así como sobre las condiciones geométricas y de señalización. Este análisis busca determinar unos valores razonables para las condiciones no previstas.

Por último, el análisis en base a la planificación e ingeniería preliminar, requiere solamente de información proporcionada por el analista. Para los otros datos de entrada se toman unos valores por defecto.

PERÍODO DE ESTUDIO

El período de estudio es el intervalo de tiempo representado por la evaluación de actuación. Se compone de uno o más períodos de análisis consecutivos. Un periodo de análisis es el intervalo de tiempo evaluado por una sola aplicación de la metodología.

La metodología se basa en la suposición de que las condiciones de tráfico son constantes durante el período de análisis, es decir, el cambio sistemático en el tiempo es despreciable. Por esta razón, el período de análisis varía desde 0,25 hasta 1 hora. Hay que tener especial precaución con los períodos de análisis que exceden de 1 h, ya que las condiciones de circulación generalmente no son estables durante largos períodos de tiempo.

Uno de los enfoques que más se utilizan se basa en la evaluación del número de vehículos en los 15 minutos más cargados del período de estudio. El período de análisis es de 0,25 h.

Por tanto, describiremos como el factor de hora punta a la relación entre la intensidad horaria de la hora punta y cuatro veces la intensidad del cuarto de hora más cargado de esa hora punta.



La estructura de la metodología para el cálculo de la capacidad y nivel de servicio en intersecciones semaforizadas presenta una secuencia de cálculos necesarios para estimar las medidas de actuación. Estos cálculos se describen a continuación.

1. Determinar grupos de movimientos y grupos de carriles

La designación de un grupo de movimiento es útil para especificar los datos de entrada mientras que el grupo de carril es útil para la descripción de los cálculos asociados con la metodología.

Las siguientes reglas son utilizadas para determinar grupos de movimientos en una intersección:

- Se designa como grupo de maniobras de giro al conjunto de movimientos realizado desde uno o más carriles exclusivos y carriles no compartidos.
- Otro grupo de maniobras formaría parte del conjunto de carriles no asignado en el grupo anterior.

El concepto de grupo de carriles es útil cuando un carril compartido está presente en un enfoque que tiene dos o más carriles. Las siguientes reglas son utilizadas para determinar los grupos de carriles en una intersección:

- Uno o más carriles exclusivos de giro a la izquierda deben ser asignados como un grupo de carriles separado. Del mismo modo ocurre en carriles exclusivos de giro a derechas.
- Cualquier carril compartido debe ser designado como un grupo de carriles separado.
- Aquellos carriles que no sean carriles de giro exclusivos o carriles compartidos debe combinarse en un grupo de carriles.

Estas reglas son el resultado de la asignación de una o más de las siguientes posibilidades de grupos de carriles en una intersección:

- Carril (o carriles) exclusivo de giro a la izquierda
- Carril (o carriles) exclusivo de movimiento de frente
- Carril (o carriles) exclusivo de giro a la derecha
- Carril compartido directo y giro a la izquierda
- Carril compartido giro a la derecha y giro a la izquierda
- Carril compartido de movimiento de frente y giro a la derecha
- Carril compartido giro a la derecha, movimiento de frente y giro a la izquierda



La metodología puede aplicarse a cualquiera combinación lógica de estos grupos de carriles.

La figura 2 muestra los grupos de movimientos y grupos de carriles más comunes que se utilizan para el análisis.

Number of Lanes	Movements by Lanes	Movement Groups (MG)	Lane Groups (LG)
1	Left, thru., & right:	MG 1:	LG 1:
2	Exclusive left: Thru. & right:	MG 1: MG 2:	LG 1: LG 2:
2	Left & thru.: Thru. & right:	MG 1:	LG 1: LG 2:
3	Exclusive left: Exclusive left: Through: Through: Thru. & right:	MG 1: MG 2:	LG 1: LG 2: LG 3:

Figura 5. Grupos de carriles comunes para el análisis

2. Determinar la intensidad por grupo de movimientos

En este paso se determina la intensidad para cada grupo de movimientos. Si el movimiento de giro es atendido por uno o más carriles exclusivos o no compartidos, entonces la intensidad de los movimientos son asignados a un grupo de movimientos. La intensidad de giros a la derecha en rojo son abstraídos de la intensidad de giros a la derecha, independientemente si el giro a la derecha ocurre de un carril compartido o exclusivo. En una intersección existente, el número de giros a la derecha en rojo debe ser determinado mediante observación en campo.

3. Determinar la intensidad por grupo de carriles

En este paso se determina la intensidad por grupo de carriles. Si no hay carriles compartidos en la intersección o sólo tiene un carril, hay una correspondencia exacta entre grupo de carriles y grupo de movimiento, por lo que la intensidad de los grupos de carriles será igual que la intensidad de los grupos de movimientos.

Si hay uno o más carriles compartidos en la actuación y dos o más carriles, entonces la intensidad por grupo de carriles se basa en el deseo que asumen los conductores al elegir el carril que minimice su tiempo de servicio en la intersección, donde la



intensidad de saturación es utilizada para estimar las diferencias relativas en ese momento entre los diferentes carriles.

4. Determinar el ajuste de la intensidad de saturación

El ajuste de la intensidad de saturación para cada carril de cada grupo de carril se calcula en base a la siguiente ecuación. Esta intensidad se ve afectada por varios factores que se ajustan a la intensidad de saturación base (s_0) con unas condiciones específicas que se presentan en la intersección. La siguiente ecuación se utiliza para carriles exclusivos con modo protegido sin interacción de peatones ni ciclistas.

$$s = s_0 \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_{bb} \cdot f_a \cdot f_{LU} \cdot f_{LT} \cdot f_{RT} \cdot f_{Lpb} \cdot f_{Rpb} \quad [1]$$

En donde:

s_0 =intensidad de saturación base (1900 veh/h/carril).

f_w =factor de ajuste por ancho de carril.

f_{HV} =factor de ajuste por vehículos pesados en el flujo vehicular.

f_g =factor de ajuste por inclinación del acceso.

f_p = factor de ajuste por existencia de carril de estacionamiento.

f_{bb} =factor de ajuste por efecto de los autobuses locales que paran dentro de la zona.

f_a =factor de ajuste por tipo de área.

f_{LU} =factor de ajuste por utilización de carril.

f_{LT} =factor de ajuste por giros a la izquierda en un grupo de carriles.

f_{RT} =factor de ajuste por giros a la derecha en un grupo de carriles.

f_{Lpb} =factor de ajuste por movimientos a la izquierda de peatones y ciclistas.

f_{Rpb} =factor de ajuste por movimientos a la derecha de peatones y ciclistas.

Intensidad de saturación base (s_0)

Con este término se representa el valor promedio de intensidad para un tráfico que tenga unas condiciones evaluadas de 1 para cada valor de ajuste. Dicho valor es de 1900 vehículos/carril/hora según determina el HCM de 2010.

Factor de ajuste por ancho de carril (f_w)



El factor de ajuste por ancho de carril tiene en cuenta el impacto que pueden ejercer los carriles estrechos en la intensidad de saturación, así como el incremento de intensidad producidos por carriles anchos. El ancho estándar es de 3,65 metros. En el caso de que el carril fuese superior a los 4,8 metros de ancho, debería analizarse considerándose dos carriles estrechos. El uso de dos carriles siempre conllevará una mayor intensidad de saturación que con un único carril, pero en ningún caso se ha de calcular este factor para anchuras inferiores a los 2,4 metros. A continuación, se muestra la tabla con los valores de estos factores.

f_w	Ancho de carril (m)
0'96	≤ 3
1	3-3'9
1'04	$\geq 3'9$

Tabla 2. Valores del factor de ajuste por ancho

Factor por vehículos pesados (f_{hv})

Este factor tiene en cuenta el espacio adicional que ocupan los vehículos pesados y sus diferentes paradas en relación con los vehículos ligeros.

$$f_{hv} = \frac{100}{100 + P_{hv} \cdot (E_t - 1)} \quad [3]$$

En donde:

P_{hv} = Porcentaje de vehículos pesados en el grupo de carriles

$E_T = 2$ (Para caminos y autobuses)

Factor de ajuste por inclinación del acceso (f_g)

El pertinente factor tiene en cuenta el efecto de la inclinación en cualquier operación de todos los vehículos.

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200} \quad [4]$$

En donde:

P_g = efecto de la inclinación para un grupo de movimiento correspondiente (%). Tiene un rango de -0.6% y +10.0%.

Factor de ajuste por maniobras de estacionamiento (f_p)



El factor de ajuste de estacionamiento tiene en cuenta el efecto de fricción que el carril de estacionamiento ejerce sobre el grupo de carriles en conjunto, así como el bloqueo ocasional de estos carriles por los vehículos que entran y salen de los aparcamientos. Si no presenta aparcamiento, este factor será equivalente a 1, pero si presenta, se debe tener en cuenta que las maniobras duran un promedio de 18 segundos, y debe ser evaluado con la siguiente ecuación:

$$f_p = \frac{N - 0,1 - \left(18 \cdot \frac{N_m}{3600}\right)}{N} \quad [5]$$

En donde:

N = es el número de carriles en el grupo de carriles

N_m = es el número de maniobras por hora en 75 metros aguas arriba, y con límite de 180.

$f_p = 1$ (Si no hay aparcamiento).

$f_p \geq 0,05$ (Se entiende que cada maniobra estorba 18 segundos).

Factor de ajuste por bloqueo de autobuses locales en la zona de estudio (f_{bb})

Este factor tiene en cuenta el impacto de los autobuses de circulación local al recoger o descargar pasajeros en la zona anterior o posterior de la intersección, en una distancia comprometida entre 76 metros y la línea de parada. Para hallar el valor de este factor, se utiliza la siguiente ecuación:

$$f_{bb} = \frac{N - \left(\frac{14,4 \cdot N_b}{3600}\right)}{N} \quad [6]$$

En donde:

N = es el número de carriles en el grupo de carriles

N_b = Es el número de buses parando en 75 metros aguas arriba o aguas abajo y con un límite de 250.

$f_{bb} \geq 0,05$

Si se presentan más de 250 autobuses a la hora, debe ajustarse este número como límite práctico. El factor que se utiliza asume un tiempo medio de bloqueo de 14,4 segundos durante la fase verde.

Factor de ajuste por tipo de área (f_a)



Este factor tiene en cuenta la ineficiencia relativa de las intersecciones en las zonas comerciales en comparación con aquellas zonas situadas en otros lugares, y se debe fundamentalmente a la complejidad y congestión general en el entorno de las zonas comerciales. Cuando ocurre esta situación este factor adopta el valor de 0,90.

Factor de ajuste por utilización de carril (f_{LU})

Este factor se utiliza para estimar la intensidad de saturación para un grupo de carriles con más de un carril exclusivo. Si el grupo de carriles tiene un carril compartido o un carril exclusivo, entonces este factor es 1,0.

Factor de ajuste por giros a la izquierda en un grupo de carriles (f_{LT})

Este factor de ajuste intenta reflejar el efecto de la geometría. Para calcular su valor se utiliza la expresión que se muestra a continuación:

$$f_{LT} = \frac{1}{E_L} \quad [7]$$

En donde:

E_L = equivalente de vehículos que giran a la izquierda en modo protegido. Será igual a 1,05. Para carril compartido o único equivale a 0,85 y para doble carril su valor será de 0,75.

Factor de ajuste por giros a la derecha en un grupo de carriles (f_{RT})

Este factor intenta reflejar el efecto de la geometría. Para calcularlo se utiliza la siguiente ecuación:

$$f_{RT} = \frac{1}{E_R} \quad [8]$$

En donde:

E_R = equivalente de vehículos que giran a la derecha en modo protegido. Será igual a 1,18. Sin embargo, para carril compartido o único equivale a 0,95 y, para doble carril su valor será de 0,92. Para una calle en intersección en T se usa 0,85 para un carril y 0,75 para dos carriles.



Factor de ajuste en los giros por cruce de peatones y ciclistas (f_{Lpb} , f_{Rpb})

Para determinar estos factores se determinará el promedio de ocupación por los peatones y por los ciclistas, la ocupación de la zona relevante en conflicto (tanto para peatones como para ciclistas) y, por último, proceder a calcular el factor de ajuste.

- Promedio de ocupación de los peatones
Para determinar el flujo de peatones durante un tiempo de servicio de los mismos (V_{pedg}) se utilizará la siguiente ecuación:

$$V_{pedg} = V_{ped} \cdot \left(\frac{c}{g_p}\right) \leq 5000 \quad [9]$$

En donde:

V_{pedg} = flujo de peatones durante el tiempo de servicio (p/h)

V_{ped} = flujo de peatones en el cruce (en ambas direcciones) (p/h)

c = ciclo (seg)

g_p = tiempo de servicio de peatones (seg)

Si el flujo de peatones durante el tiempo de servicio es menor o igual a 1000 p/h, la ocupación de peatones se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$OCC_{pedg} = \frac{V_{pedg}}{2000} \quad [10]$$

Sin embargo, si el flujo de peatones es superior a 1000 p/h, entonces se sigue la siguiente ecuación:

$$OCC_{pedg} = 0,4 + \frac{V_{pedg}}{2000} \leq 0,90 \quad [11]$$

- Promedio de ocupación por los ciclistas
Este promedio se realiza de la misma forma que para la determinación de la ocupación promedio de peatones. A continuación se muestra la fórmula para calcular el flujo de ciclistas durante la fase verde:

$$V_{bicg} = V_{bic} \cdot \left(\frac{c}{g}\right) \leq 1900 \quad [12]$$

En donde:

V_{bicg} = flujo de ciclistas durante la fase de verde (ciclistas/h)

V_{bic} = flujo de ciclistas (ciclistas/h)

c = Ciclo (seg)

g = tiempo efectivo de verde (seg)



Obtenido el flujo de ciclistas/h, se calcula el promedio de ocupación de ciclistas con la siguiente ecuación:

$$OCC_{bicg} = 0,02 + \frac{V_{bicg}}{2700} \quad [13]$$

- Zonas de conflictos ocupacional relevantes

Con las ecuaciones que se muestran a continuación (14 y 15), se determina la zona de conflicto de la zona de ocupación utilizado para los movimientos de giros a la derecha sin interferencia de ciclistas o para movimientos de giro a la izquierda para una calle de un sentido (OCC_r).

$$OCC_r = \frac{g_{ped}}{g} \cdot OCC_{pedg} \quad [14]$$

Esta ecuación nos ofrece la zona de conflicto ocupacional relevante y se basa en dos factores:

- El cruce de peatones se lleva a cabo durante el período de tiempo asociado con g_{ped} .
- El no cruzar ocurre durante el período de fase en verde $g - g_{ped}$, cuando existe este período de tiempo.

Además, esta ecuación se utiliza para movimientos de giro a la derecha implicando el movimiento de peatones y ciclistas, con todas las variables ya definidas anteriormente.

$$OCC_r = \frac{g_{ped}}{g} \cdot OCC_{pedg} + OCC_{bicg} - \left(\frac{g_{ped}}{g} \cdot OCC_{pedg} \cdot OCC_{bicg} \right) \quad [15]$$

- Factor de ajuste

Por último, para determinar el factor de ajuste (f_{Lpb} y f_{Rpb}), tanto para el movimiento de giro a la derecha como para el giro a la izquierda, se ha de determinar previamente los factores de ajuste para movimientos de giro en la fase permitida de peatones y ciclistas (A_{pbT}).

El número de carriles de cruce (N_{turn}) y de carriles receptores (N_{rec}) debe ser determinado por medio de observaciones de campo, ya que algunos vehículos pueden realizar giros ilegales desde un carril exterior o debido a que los movimientos de giro apropiados se encuentran obstaculizados por el estacionamiento de vehículos en doble fila. Por tanto, se consideran dos condiciones:

- Si el número de carriles receptores es igual al número de carriles de giro, los vehículos que giren tendrán la posibilidad de maniobrar esquivando ciclistas y peatones; el factor de ajuste entonces es la



proporción del tiempo que la zona de conflicto está desocupada. Esto se muestra en la ecuación 16:

$$A_{pbT} = 1 - OCC_r \quad [16]$$

- Si el número de carriles receptores excede del número de carriles de giro, los vehículos que giran pueden maniobrar para esquivar los peatones y ciclistas, reduciendo los efectos de la intensidad de saturación de peatones y ciclistas. Este caso se utilizar la siguiente ecuación:

$$A_{pbT} = 1 - 0,6 \cdot OCC_r \quad [17]$$

Una vez determinados estos factores de ajuste, los factores de ajuste de intensidad de saturación tienen en cuenta los efectos de peatones y los ciclistas en la intensidad de saturación de vehículos que giran, y dependen de la proporción de tráfico de giro que utilizan las fases protegidas. Para operaciones de giros a la derecha permitidos en un carril exclusivo, la ecuación que se muestra a continuación calcula el factor de ajuste por movimientos a la derecha de peatones y ciclistas.

$$f_{Rpb} = A_{pbT} \quad [18]$$

Para operaciones protegidas y permitidas en un carril exclusivo, el factor de la ecuación 18 es utilizada para calcular el ajuste de intensidad de saturación durante el período permitido. El factor tiene un valor de 1,0 cuando es utilizado para calcular el ajuste de intensidad de saturación durante el período protegido.

Y, finalmente, para operaciones de giros a la izquierda en calles de un solo carril, la ecuación 19 es utilizada para calcular el factor de ajuste por movimientos a la izquierda de peatones.

$$f_{Lpb} = A_{pbT} \quad [19]$$

5. Determinar la duración de fase de semáforo

La duración de fase de semáforo depende del tipo de control utilizado en la intersección. Si la intersección tiene un control prefijado entonces la duración de fase es una entrada y este paso se omite.

6. Determinar la capacidad y la proporción volumen-capacidad.



La capacidad de las intersecciones está basada en el concepto de intensidad de saturación, proporción de verde efectivo del grupo de carriles y número de carriles. La capacidad está dada para los grupos de carriles de un movimiento de tráfico y está definida por la ecuación que se muestra a continuación:

$$c = \frac{N \cdot s \cdot g}{C} \quad [20]$$

En donde:

c= capacidad de grupo de carriles (veh/h)

N=número de carriles

s= intensidad de saturación (veh/h)

g/C= proporción de verde efectivo del grupo de carriles

Por otro lado, la proporción volumen-capacidad (v/c) para un grupo de carriles está definida como la proporción del volumen del grupo de carriles y su capacidad. Con ello, se tiene:

$$X = \frac{v}{c} \quad [21]$$

En donde:

X= proporción volumen-capacidad

V= flujo de demanda (veh/h)

c= capacidad (veh/h)

7. Determinar la demora

La demora es una medida compleja y depende de una serie de valores que incluyen la calidad de la progresión, la duración del ciclo, la relación de verde y la relación intensidad-capacidad para el grupo de carriles en cuestión.

La demora calculada en este apartado representa la demora media experimentada por todos los vehículos que llegan durante el período de análisis. La demora de control para un grupo de carril dado se calcula con la siguiente expresión:

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad [22]$$

En donde:



d = demora de control (s/veh)

d_1 = demora uniforme (s/veh)

PF= Factor de ajuste de progresión que considera los efectos de la progresión de la señal sobre la demora.

d_2 = demora incremental (s/veh)

d_3 = demora por cola inicial (s/veh)

La demora uniforme (d_1) se calcula asumiendo llegadas uniformemente distribuidas a lo largo del tiempo del ciclo. Si la intersección se encuentra en capacidad, la demora media será igual a la mitad del tiempo de rojo.

Si las llegadas se dieran solamente en el tiempo de verde, la demora sería nula. Este es el efecto que pretende tomar el factor de progresión, cuya influencia resulta superior al de todos los otros juntos para el término de demora uniforme.

Si la progresión es buena, una gran cantidad de los vehículos llega a la intersección en verde y la demora uniforme tendrá poca incidencia en la demora total, mientras que una mala progresión hace que una gran proporción de vehículos lleguen en rojo y, por lo tanto, la demora uniforme es importante.

El factor de ajuste de progresión PF es seleccionado de acuerdo a la siguiente tabla:

Tipo de llegada	El factor de ajuste de progresión PF como una función de la proporción de verde					
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
No coordinado	1	1	1	1	1	1
Coordinado*	0,92	0,86	0,78	0,67	0,5	0,22

*PF=(1-[1,33·g/C])/(1-g/C)

Tabla 3. Valores Para el Factor de Ajuste de Progresión

Los valores por defecto sugeridos por el HCM 2010 para identificar el tipo de llegada, para luego calcular el factor de progresión, están basados en el espaciamiento entre semáforos y en consideraciones generales que pueden no ser correctamente interpretadas para determinados casos particulares.

Retomando el concepto de la demora uniforme, se hallará utilizando la siguiente ecuación:

$$d_1 = \frac{0,5 \cdot C \cdot \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left[\min(1, X) \cdot \frac{g}{C}\right]} \quad [23]$$



En donde:

d_1 = demora uniforme (s/veh)

C= Duración del ciclo (seg). (Se trata de la duración del ciclo en señales preestablecidas, o promedio de duración de ciclo en controles autoajustables).

g= tiempo efectivo de verde para el grupo de carriles (seg)

X= relación v/c del grupo de carriles

En referente a la demanda incremental (d_2), se estima por las llegadas no uniformes y los fallos temporales de ciclo así como las causadas por períodos de sobresaturación. Esto depende de la relación v/c del grupo de carriles (X), de la duración del período de análisis (T) y la capacidad del grupo de vías (c). La siguiente ecuación asume que no hay demanda sin servicio causada por filas residuales en el comienzo del período de análisis (T).

$$d_2 = 900 \cdot T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{4 \cdot X}{c \cdot T}} \right] \quad [24]$$

En donde:

d_2 = demora incremental (s/veh)

T= duración del ciclo (h)

X= relación v/c del grupo del carriles

c= capacidad (veh/h)

En último lugar, la demora por cola inicial (d_3) representa la demora experimentada por todos los vehículos que llegan durante el período de análisis, incluyendo la demora que es experimentada en los períodos de tiempo subsecuentes. Por tanto, esta demora debe agregarse en caso de que exista cola inicial. De no ser así, la demora por cola inicial es igual a 0. La expresión que se utilizará para su cálculo es la siguiente:

$$d_3 = \frac{1800 \cdot Q_b \cdot (1 + u) \cdot t}{c \cdot T} \quad [25]$$

En donde:

d_3 = demora por cola inicial (s/veh)

Q_b = cola inicial al comienzo del período T (veh)

c= capacidad del grupo de carriles ajustada (veh/h)



T = duración del período de análisis (h)

t = duración de la demanda insatisfecha en T (h)

u = parámetro de demora

Esta demora debe agregarse en caso de existencia de cola inicial. En este caso no existe cola inicial por lo que la demora por cola inicial es igual a 0.

8. Determinar el nivel de servicio

Se utiliza la tabla 1, anteriormente mencionada, para determinar el nivel de servicio de cada grupo de carriles, cada planteamiento y cada intersección como un conjunto. El nivel de servicio es una indicación de la aceptabilidad de los niveles de demora de vehículos en la intersección. También puede indicar una operatividad inaceptable por un grupo de carriles individual.

La demora cuantifica el aumento del tiempo de viaje debido al control de las señales de tráfico, además, indirectamente sirve de medida para conocer la disconformidad del usuario y el consumo de gasolina. Por otro lado, el índice de capacidad calculado cuantifica el grado de un Grupo de Carril en cuanto a capacidad se refiere.

Nivel de servicio	Demora en segundos
A	<10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-50
E	>50-80
F	>80

Tabla 1. Demora del tráfico según el nivel de servicio

Nivel de Servicio A: este nivel de servicio describe operaciones en donde la demora no supera los 10 segundos por vehículo. Este nivel se asigna habitualmente cuando la relación entre la capacidad y el volumen es baja, debido a una progresión favorable, la mayoría de los vehículos llegan durante la fase verde y cruzan la intersección sin hacer paradas.

Nivel de Servicio B: describe operaciones con una demora entre 10 y 20 segundos por vehículo. Suele establecerse, al igual que en el tipo A, cuando la relación entre la capacidad y el volumen de vehículos es baja. Sin embargo, en este tipo de nivel de servicio hay más paradas que el primer tipo.



Nivel de servicio C: comprende las operaciones con una demora entre 20 y 35 segundos por vehículo y una relación entre el volumen y la capacidad no mayor que 1,0.

Normalmente, este nivel se asigna cuando la progresión es favorable o la duración del ciclo es moderada. Por otro lado, el número de vehículos que se detienen es significativo, aunque muchos de ellos siguen pasando a través de la intersección sin parar.

Nivel de servicio D: describe las operaciones con una demora entre 35 y 55 segundos por vehículo y una relación de volumen-capacidad no superior a 1,0. Este nivel se suele asignar cuando la relación entre el volumen y la capacidad es alta y la progresión es ineficaz o la duración del ciclo es larga. Muchos vehículos se detienen.

Nivel de servicio E: este nivel define las operaciones con una demora entre 55 y 80 segundos por vehículo y una relación entre el volumen y la capacidad no superior a 1,0. Este nivel de servicio aparece cuando la relación entre el volumen y la capacidad es alta, la progresión es desfavorable y la duración del ciclo es larga, además, los fallos en los ciclos individuales empiezan a ser frecuentes.

Nivel de servicio F: describe operaciones con una demora superior a los 80 segundos por vehículo o un ratio entre el volumen y la capacidad mayor a 1,0. En este tipo de servicio la progresión de los vehículos es muy deficiente, y la duración del ciclo es larga.



5. CARACTERIZACIÓN DE LA INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA

5.1 CARACTERÍSTICAS DE LA INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA

5.1.1 CARACTERIZACIÓN DEL TRAMO

El tramo de estudio seleccionado se localiza en la zona noroeste de la ciudad de Valencia, concretamente, en el barrio y distrito de Campanar. Se trata de una de las principales vías de acceso a la ciudad por la autovía CV-35 o Pista de Ademuz. En sus proximidades se encuentran elementos que hacen que esta intersección adquiera gran importancia en la ciudad de Valencia; tales como: la galería comercial “Nuevo Centro”, el Expo hotel, el antiguo Hospital La Fe, el Instituto Valenciano de Oncología y al final de la avenida, en su cruce con la Avenida del General Avilés, el Centro Comercial Ademuz (Hipercor).

La intersección está formada por la Avenida Pío XII, la Avenida Campanar, la Calle Joaquín Ballester y la Calle de la Vall de la Ballestera. En la figura 3 se aprecia una vista completa aérea de la intersección. En todos los cruces se permite la circulación de peatones, ciclistas y vehículos.

Al tratarse de una glorieta partida, se ha optado por centrar el análisis en los puntos más conflictivos para la conducción, los cuales aumentan el tiempo de viaje de los conductores y afectan a la seguridad vial. Más adelante, se definirá la problemática localizada en la intersección semaforizada de este estudio con más detalle.

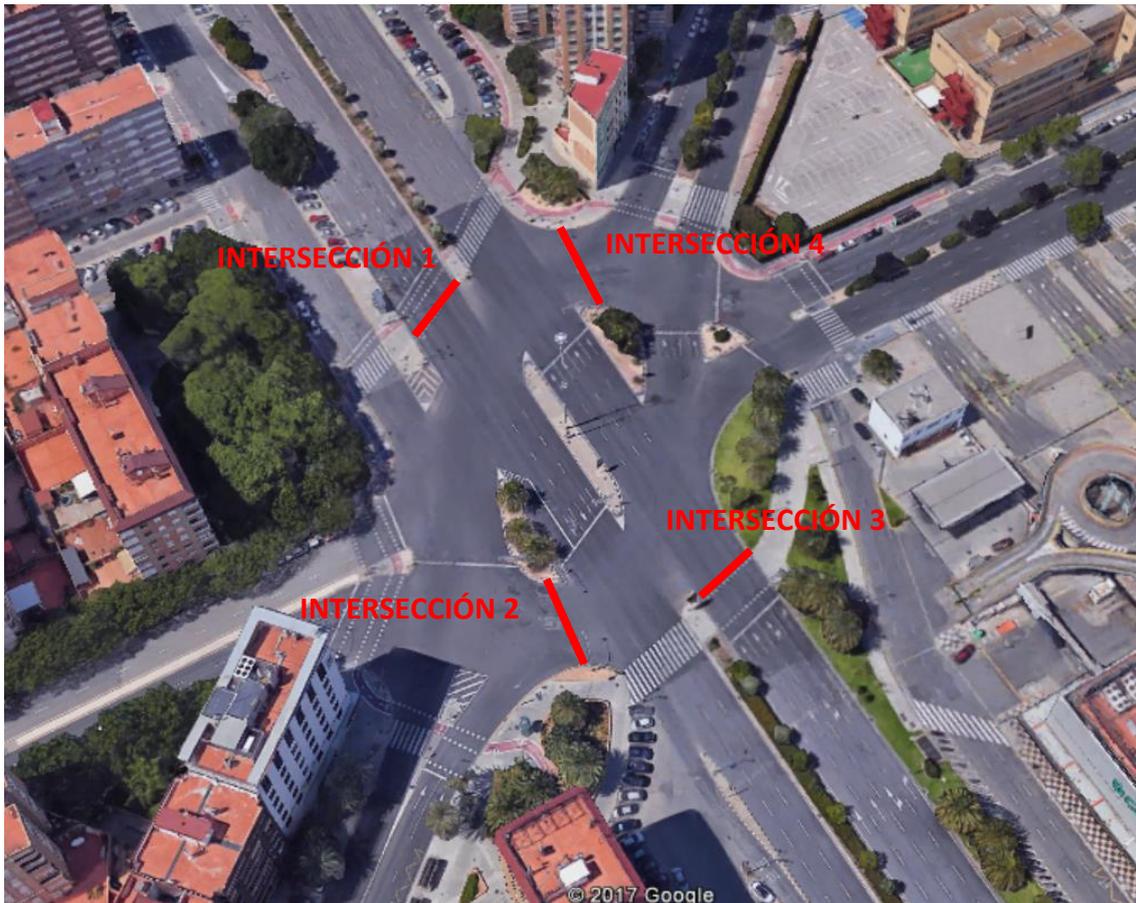


Figura 6. Vista satélite de la intersección objeto de estudio.

Intersección 1

En esta intersección los vehículos proceden de la Avenida Pío XII, la cual se inicia en el puente de Ademuz y finaliza en el cruce con la Avenida del General Avilés, donde se inicia la Avenida de las Cortes Valencianas. Se trata de unas de las principales vías de acceso a la ciudad, posee 750 metros de longitud y 55 metros de anchura. Dispone de cuatro carriles en sentido norte y tres carriles más un carril bus en sentido sur, desde el puente de Ademuz hasta el cruce con la Avenida Campanar. Además cada sentido dispone de dos carriles más en las vías de servicio laterales. El tramo con el que intersecciona contiene vehículos de la intersección de diferentes direcciones, principalmente, de la Avenida Campanar. Por otro lado, esta intersección da servicio tanto a peatones, ciclistas como a vehículos.



Figura 4. Fotografía Intersección 1

Intersección 2

En cuanto a la segunda intersección, está formada por un tramo de la Avenida Campanar, y su cruce con la intersección de la zona de estudio. Dicha avenida cruza el distrito de Campanar, desde el antiguo cauce del río Turia hasta el barrio Benicalap. Este tramo de la avenida está formado por dos calzadas de dos carriles cada una, siendo uno de ellos carril bus, con una longitud de aproximadamente 400 metros y una anchura de 12 metros. Paralelamente posee estacionamiento de vehículos en batería en las dos calzadas.





Figura 5. Fotografías Intersección 2

Intersección 3

Esta intersección se sitúa en la continuación de la Avenida Pío XII hacia el cauce del río y su cruce con la intersección del análisis. Este tramo comienza en el puente de las glorias valencianas con una longitud de 250 metros y una anchura de 55 metros. Al tratarse de la misma avenida que la intersección 1 tendrá la misma constitución y dimensiones en cuanto a la calzada se refiere. De la misma manera, los vehículos que circulen por esta parte de la Avenida, intersectarán con los vehículos que procedan de la intersección. Además de tener tráfico rodado, también se tendrá tráfico de peatones y ciclistas.



Figura 6. Fotografía Intersección 3.



Intersección 4

En esta intersección los vehículos llegan principalmente de la Avenida Campanar, concretamente del tramo más próximo al antiguo hospital La Fe de Valencia. Las características relacionadas con la geometría del tramo coinciden con las citadas en la Intersección 2, a excepción de que el aparcamiento será en línea en lugar de ser en batería.



Figura 7. Fotografía Intersección 4

5.1.2 CARACTERIZACIÓN DEL TRANSPORTE URBANO

Para el conocimiento completo del transporte urbano que se maneja sobre las intersecciones, se debe hallar la información sobre los movimientos que se producen en los centros atractores y receptores cerca de las intersecciones. En el estudio que nos ocupa, se encuentran cerca lugares con una gran afluencia de vehículos y peatones, lo que conlleva bastante tráfico en las horas punta, ya que esta intersección

se utiliza para acceder a los distintos lugares, tales como: el Centro Comercial Nuevo Centro, el antiguo hospital La Fe de Valencia, el Instituto Valenciano de Oncología, y además, se encuentra la entrada norte a Valencia.



Figura 8. Elementos característicos de la intersección.

En cuanto al transporte público urbano que circula por la intersección, se tienen un gran número de líneas de autobús. En la siguiente imagen se pueden apreciar los recorridos que se da lugar, con lo que se tendrá que tener en cuenta por su influencia como vehículos pesados y por el bloqueo que pudieran ocasionar los autobuses debido a sus dimensiones. En cuanto a las paradas de los autobuses, sólo afectará al análisis de la capacidad la situada en la intersección 1.



Figura 9. Líneas Autobús Intersección

5.1.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS INTERSECCIONES DE ESTUDIO

Para analizar la capacidad de la intersección semaforizada se ha decidido estudiar 4 intersecciones concretas, como bien se ha mencionado con anterioridad. En cada una de ellas se identifican distintos tipos de giro. En las siguientes imágenes se

representan, para cada intersección, los movimientos vehiculares que se dan, así como los movimientos peatonales y ciclistas en la glorieta partida.

La intersección 1 cuenta con 4 carriles que operan de Oeste a Este, cada uno de unos 3,25 metros de ancho. El carril más situado al sur, alberga una parada de autobús. Ningún carril permite el giro a la derecha, siendo todos ellos unidireccionales. Por otro lado, los carriles que provienen del interior de la intersección, de Norte a Sur, se destinan a continuar recto hacia la Calle Vall de la Ballestera y la Avenida Campanar, o bien, para girar a la izquierda y dirigirse a la Avenida Pío XII.



Figura 10. Descripción física Intersección 1.

La intersección 2 cuenta con 5 carriles de unos 3,80 metros de ancho los cuales operan de Sur a Norte. El carril más situado al este permite exclusivamente el giro a la derecha. En sentido Oeste-Este, se cuenta con 4 carriles, cada uno de 3,5 metros de ancho, procedentes de la Intersección 1.

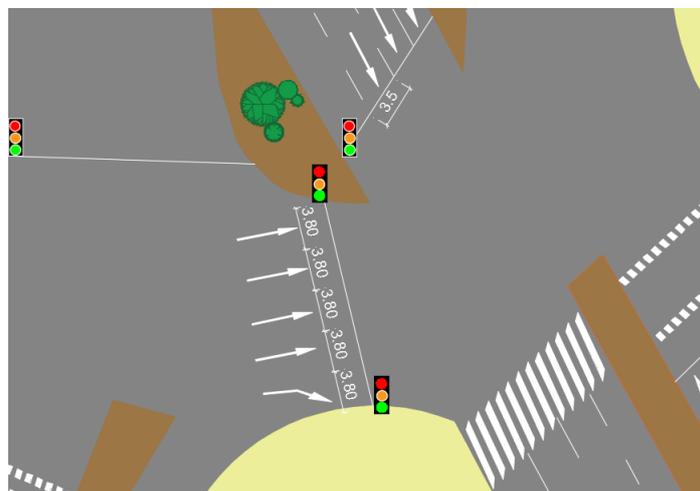


Figura 11. Descripción física Intersección 2.

La intersección 3 cuenta con 4 carriles que operan de este a oeste, cada uno de 3,5 metros de ancho. El carril más situado al norte permite el giro a la derecha. En sentido Sur a Norte, se cuenta con 4 carriles, cada uno de 3,8 metros de ancho, los cuales proceden de los vehículos que han continuado recto en la intersección 2.

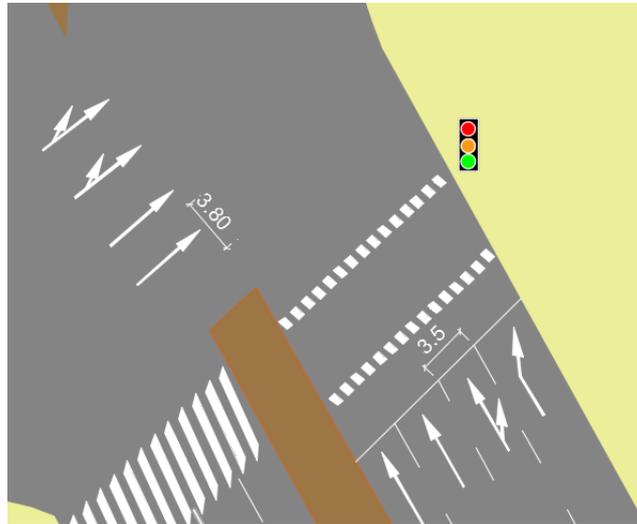


Figura 12. Descripción física Intersección 3.

Por último en la intersección 4, cuenta con 5 carriles en la dirección de Norte a Sur, en los que el carril más situado al Norte permite el giro a la derecha, y el resto de ellos la continuidad en la intersección. Los carriles que operan de Oeste a Este son los que provienen de la Avenida Pío XII, formados por 4 carriles de 3,5 metros de ancho.

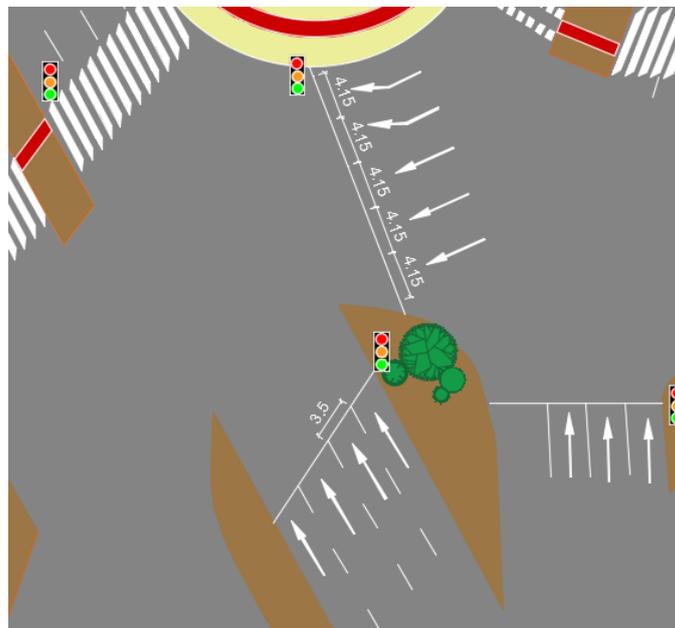


Figura 13. Descripción física Intersección 4.

5.2 TOMA DE INFORMACIÓN

Los datos obtenidos para poder realizar el análisis, son de vital importancia, ya que ellos nos darán la información para poder actuar o sugerir ciertas medidas en base a los resultados obtenidos. Para ello, se ha recogido información sobre datos vehiculares, peatonales y de ciclistas.

Al carecer de información de aforos distribuidos en la zona de estudio, se han obtenido los datos mediante un conteo manual en la hora punta de entrada a la ciudad de Valencia, situada entre las 07,00h y las 08,00h y la hora punta de salida de la ciudad situada entre las 19,00h a las 20,00h de la tarde. Se ha anotado el número de vehículos, diferenciando entre vehículos pesados y ligeros, así como la dirección que tomaban en cada intersección.

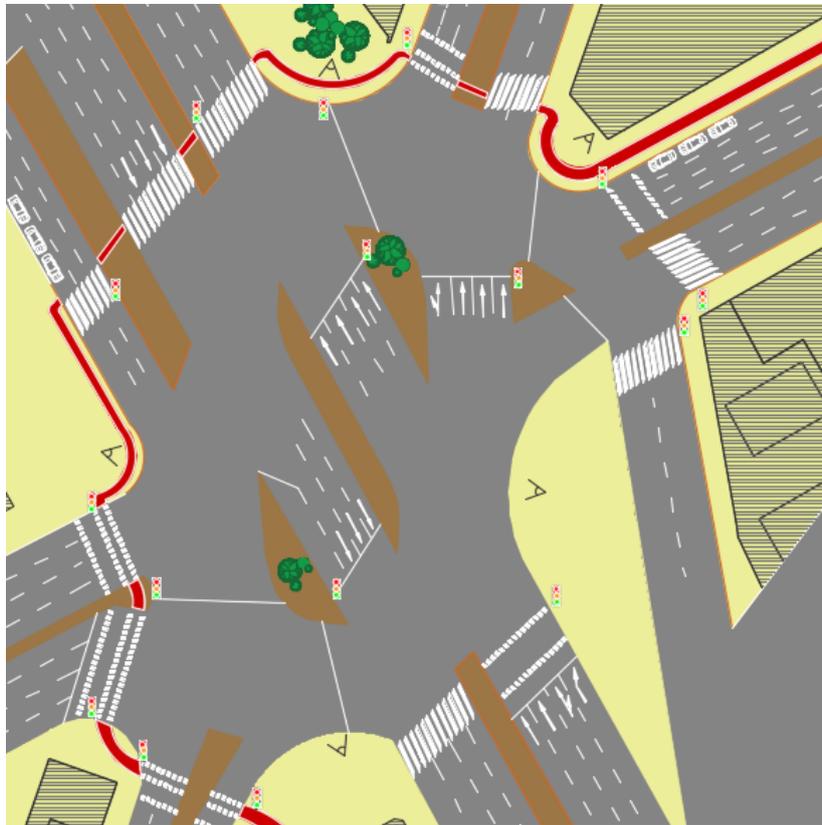


Figura 14. Ubicación de los aforos

5.2.1 VOLÚMENES VEHICULARES

Los datos de volúmenes vehiculares se adquieren para poder realizar un análisis de la capacidad y nivel de servicio en la intersección de estudio. Con estos aforos se obtiene una clasificación vehicular, los movimientos direccionales en las intersecciones semaforizadas, la dirección de recorridos y el uso de los carriles.

Los aforos se realizaron en días hábiles, concretamente martes, miércoles y jueves, tanto para vehículos como para peatones y ciclistas. El resto de días se descartan



porque el comportamiento en estos días es variable respecto a los mencionados anteriormente.

En cuanto al volumen vehicular de cada intersección en particular, se identifican múltiples giros que son los que presentan mayor demanda de tráfico.

- En la intersección 1, la mayor demanda de tráfico proviene de la Avenida Pío XII con unos 1.170 veh/hora, los cuales, atraviesan la glorieta partida sin variar su trayectoria.
- En la intersección 2, se tienen los vehículos que proceden de la intersección 1 con su movimiento recto, pero además, hay un gran volumen de vehículos que se continúan su movimiento en la glorieta. Estos vehículos son alrededor de 660 veh/hora, procedentes del interior de la intersección, de la Avenida Campanar y la Calle La Vall de la Ballestera.
- En la intersección 3, los movimientos que siguen recto conllevan mayor tráfico, unos 2280 veh/hora, correspondiéndose con los vehículos que salen de la ciudad de Valencia.
- En la intersección 4, los vehículos que provienen de la Avenida Pío XII, desde el río son lo que mayor carga de tráfico aportan, pero no se puede despreciar los 750 veh/hora que llegan desde la Avenida Campanar y la Calle Joaquín Ballester.

5.2.3. COMPOSICIÓN VEHICULAR

La composición vehicular de la intersección se caracteriza por tener un bajo volumen de vehículos pesados, ya que al tratarse de una intersección situada en zona urbana, el acceso a vehículos pesados está bastante limitado, por eso el porcentaje de vehículos pesados se acerca al 6%, en función de la hora, tratándose básicamente de vehículos destinados al transporte público.

5.3 PROBLEMÁTICA DE LA INTERSECCIÓN

Como se ha mencionado previamente, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la capacidad y funcionalidad de la intersección semaforizada definida, y así poder mejorar el conflicto que se observa en ella.

La problemática de esta intersección se desarrolla en horas muy concretas, las denominadas horas punta, comprendidas entre las 8:00-9:00 horas de la mañana y las 19:00-20:00 horas de la tarde. Estos intervalos horarios coinciden con el inicio y fin de la jornada laboral, y además, se aprecia más aún en la intersección de estudio ya que se encuentra en la entrada/salida norte de la ciudad de Valencia. Sin conocer todavía



el nivel de servicio de las distintas intersecciones del estudio, se percibe que en dos de ellas, concretamente en la intersección 2 y 4, se produce un atasco que bloquea varios carriles, afectado a la capacidad de la intersección.

Utilizando como esquema la figura 15, se definirá el problema encontrado en la intersección 2. El problema se empieza a crear de la siguiente manera; al estar los semáforos 1,2 y 3 en fase roja, y los semáforos 4, 5 en fase verde, los vehículos que se aproximan desde el semáforo 4, se empiezan a acumular en la intersección 2, y a su vez, los vehículos que se acercan al semáforo 1, se van acumulando en el semáforo 2 y detrás de los que estaban en la intersección 2. El problema radica, en que es tal la saturación de vehículos en ese punto, que los que quieren acceder a la Avenida Campanar tienen impedido el paso, y tanto lo que se acercan desde la glorieta, como los que vienen desde la C/ Vall de la Ballestera, forman atasco en la intersección 2.

En la intersección 4 ocurre una situación similar, en la que los vehículos que quieren dirigirse a la Avenida Campanar se quedan bloqueados. Esto sucede dado que se acumulan vehículos que provienen de la Calle Joaquín Ballester en la línea de detención del semáforo de la Intersección 4.

En la figura 15.1 se muestra un esquema de lo que sucede en la realidad. De manera más concreta, cuando los semáforos 3' y 1' se encuentran en fase roja, el 2' en fase verde y el 4' en fase ámbar. En este momento se acumulan los vehículos procedentes de la calle Joaquín Ballester y la Avenida Campanar en la línea de detención del semáforo 3'. A continuación, el semáforo 1' pasa a fase verde, y los vehículos que se continúan recto, hacia la Avenida Campanar, se quedan bloqueados por los vehículos acumulados anteriormente.

En los siguientes capítulos se mostrará los análisis y resultados obtenidos en las 4 intersecciones de estudio, y se intentará resolver el problema con diferentes alternativas. A continuación se seleccionará la más apropiada para disminuir la gestión y liberar de flujo vehicular la intersección en su totalidad.



Figura 15. Problemática Intersección 2.

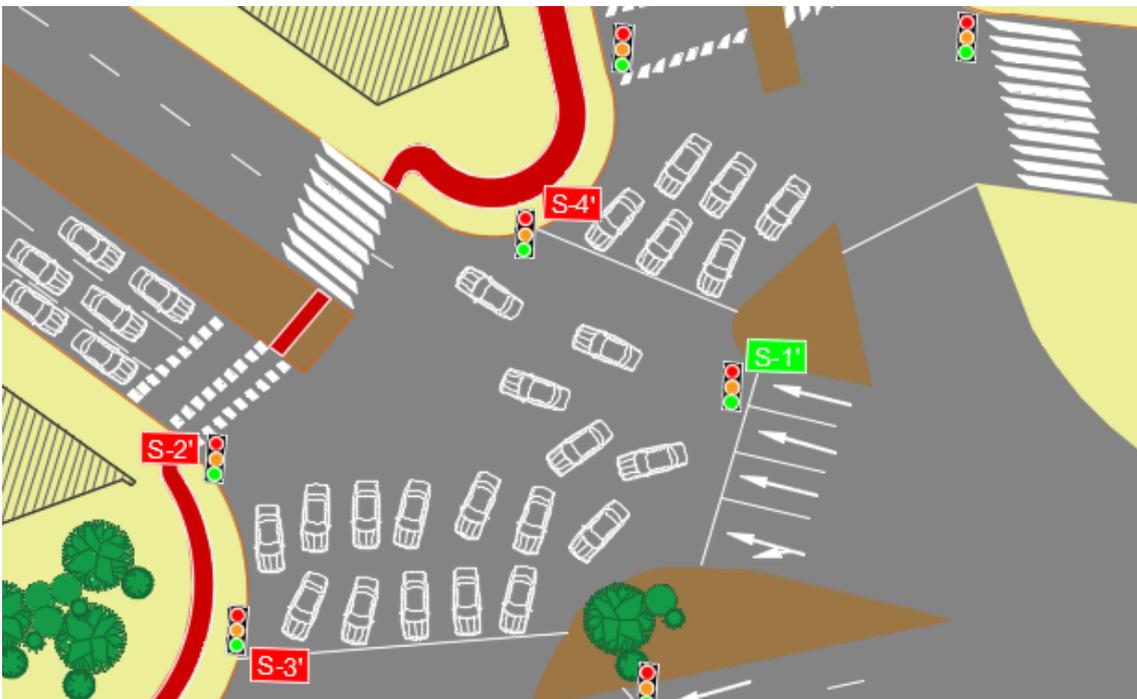


Figura 15. 1-Problemática Intersección 4.



6. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LA INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA CON EL HCM 2010

En el presente apartado se muestra el cálculo de la capacidad y el nivel de servicio actual de la intersección semaforizada, utilizando la metodología definida previamente, para mejorar la capacidad de la zona de estudio.

6.1 PARÁMETROS DE ENTRADA

Para realizar el análisis de los datos se necesitan unos parámetros de entrada, los cuales se definen en la tabla 4 para poder así seguir todos los pasos de la metodología descrita.

Condiciones geométricas	Número de carriles (N)
	Ancho de carril (W)
Condiciones de tráfico	Volumen (veh/h)
	FHP
	Paradas de autobuses (buses/h)
	Número de aparcamientos (Maniobras/h)
Condiciones de señalización	Volumen de peatones (Vped/h)
	Volumen de ciclistas (Vbic/h)
	Tiempo de ciclo (s)
	Tiempo efectivo de verde(s)
	Tiempo mínimo de peatones (s)

Tabla 4. Parámetros requeridos para el análisis operacional.

Estos parámetros de entrada se obtienen en la hora punta definida en capítulos anteriores, mediante la medición de aforo de 19:00 a 20:00 en el área de estudio; ya que son las horas que presentan mayores flujos vehiculares.

Más adelante se especifican los parámetros requeridos para el análisis operacional.

Condiciones geométricas:

Intersección 1:

Avenida Pío XII Norte: 4 carriles con 3,5 metros de ancho.



Intersección semaforizada: 3 carriles con 3,6 metros de ancho.

Intersección 2:

Avenida Campanar Río: 5 carriles con 3,8 metros de ancho.

Intersección semaforizada: 4 carriles con 3,5 metros de ancho.

Intersección 3:

Avenida Pío XII Sur/Río: 4 carriles con 3,5 metros de ancho.

Intersección semaforizada: 4 carriles con 3,8 metros de ancho.

Intersección 4:

Avenida Campanar La antigua Fe: 5 carriles con 3,6 metros de ancho.

Intersección semaforizada: 3 carriles con 3,5 metros de ancho.

Condiciones de tráfico:

Para los volúmenes de tráfico se ha decidido utilizar la media de los volúmenes de cada hora punta.

	Intersección 1	
	Veh/h	Veh. pesados
GC1	1170	35
GC2	660	20
GC3	120	1

Tabla 5. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 1.

	Intersección 2	
	Veh/h	Veh. pesados
GC1	120	1
GC2	660	20
GC3	410	4
GC4	1170	35

Tabla 6. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 2.

	Intersección 3	
	Veh/h	Veh. pesados
GC1	270	16
GC2	2280	91
GC3	660	20
GC4	120	1

Tabla 7. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 3.



	Intersección 4	
	Veh/h	Veh. pesados
GC1	390	4
GC2	750	23
GC3	2280	91

Tabla 8. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 4.

Condiciones de señalización:

-Volumen de peatones y volumen de ciclistas:

Al encontrarse la intersección en un punto concurrido por los ciudadanos, se tendrá en cuenta en los posteriores cálculos, el volumen de peatones y ciclistas que intervienen en ella en la hora punta de estudio seleccionada. En el Anexo 1 se muestra la información completa sobre estos datos.

-Tiempo de ciclo, tiempo efectivo de verde y tiempo mínimo de peatones:

En el Anexo 1 también se facilitan los tiempos correspondientes de cada fase semafórica de cada tramo seleccionado.

Una vez conocidos estos parámetros, se procederá a desarrollar la metodología definida con anterioridad.

6.2 APLICACIÓN METODOLOGÍA HCM 2010

1- Determinación de los grupos de movimientos y grupos de carriles

Para definir los grupos de movimientos y grupos de carriles utilizaremos las bases establecidas en apartados anteriores. Para cada intersección en particular, se obtienen una serie de grupos de movimientos y grupos de carriles, los cuales se han establecido según las maniobras que realizan los conductores sobre los diferentes carriles, respetando las marcas viales existentes.

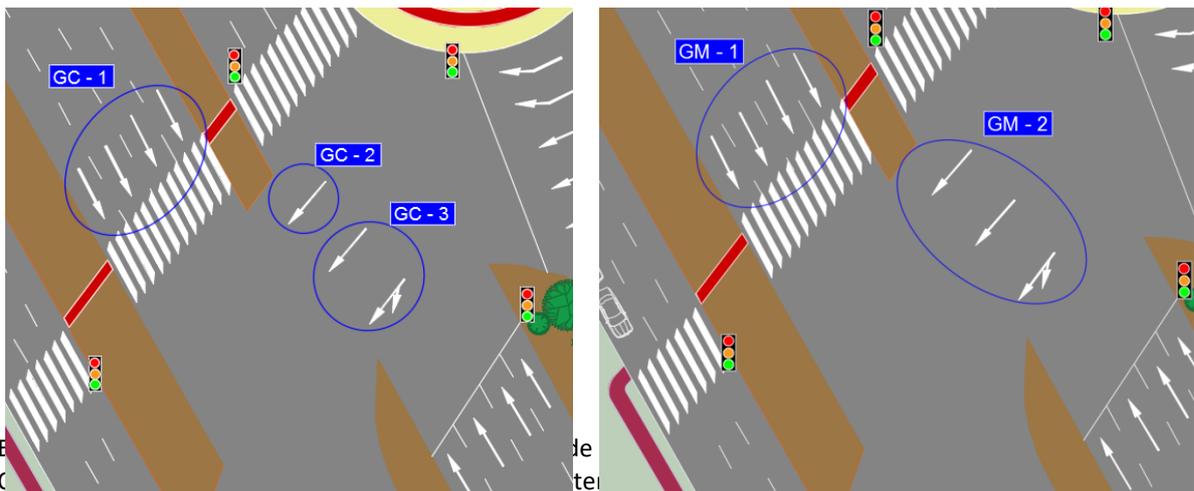


Figura 16. Grupo de movimientos y grupo de carriles de la intersección 1.

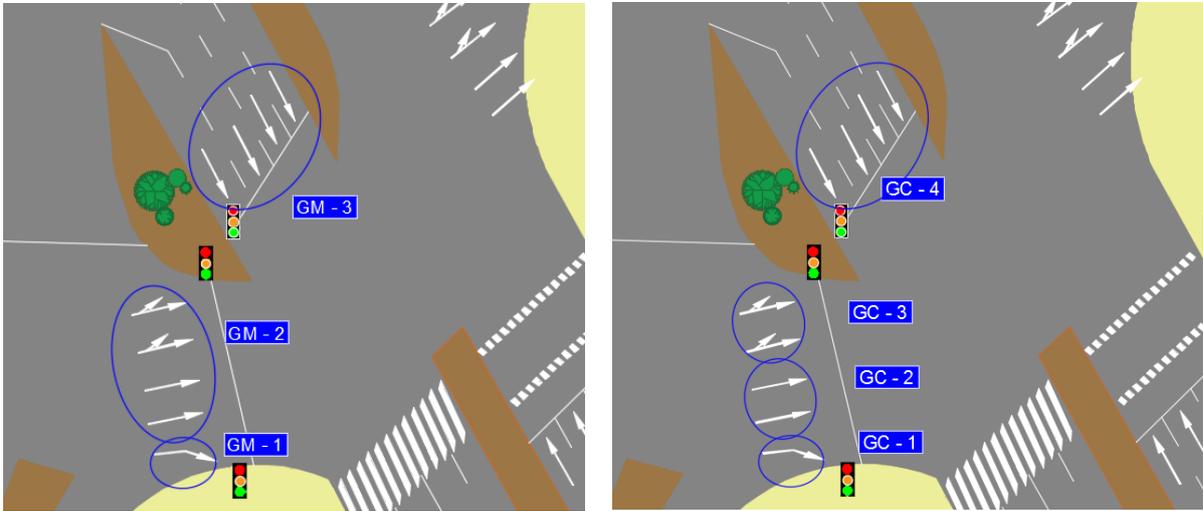


Figura 17. Grupo de movimientos y grupo de carriles de la intersección 2.

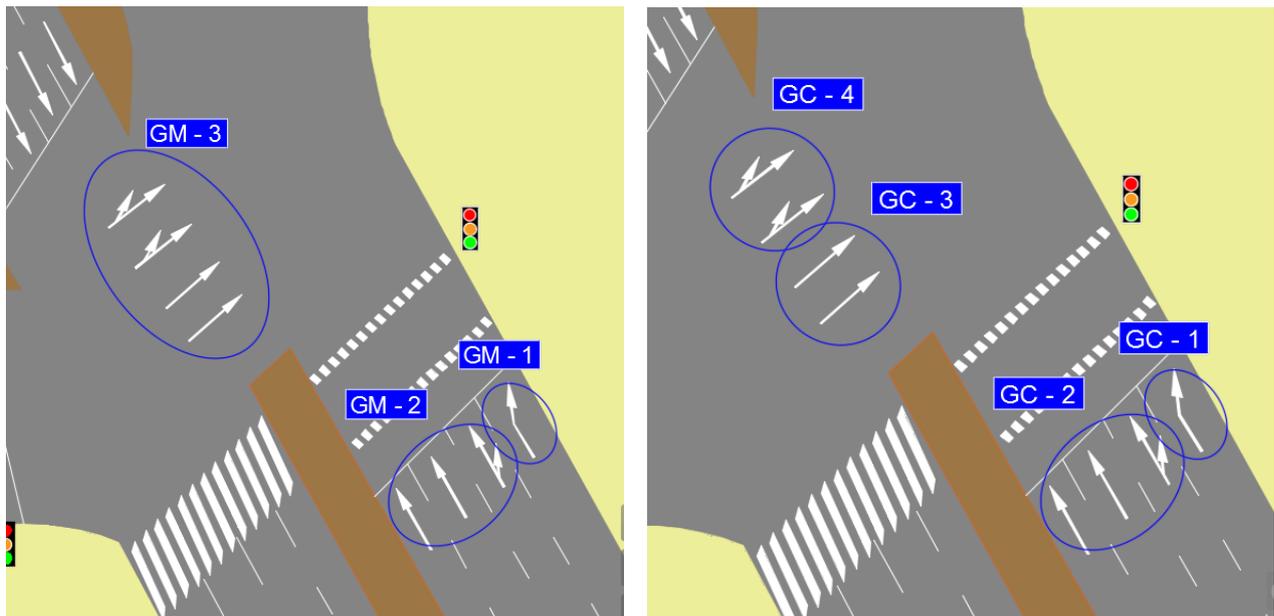


Figura 18. Grupo de movimientos y grupo de carriles de la intersección 3.

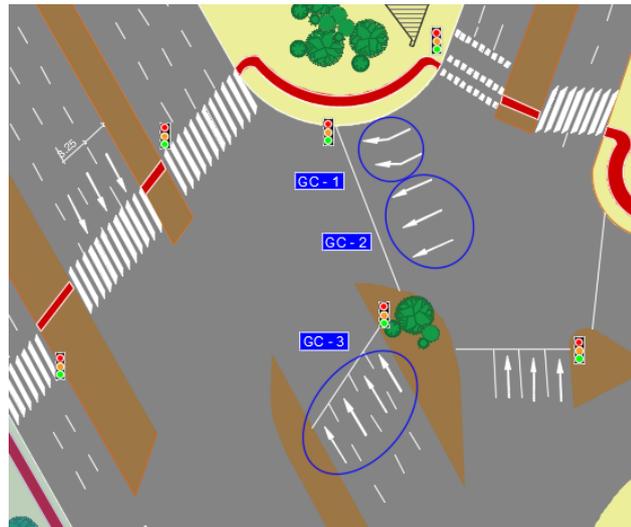


Figura 19. Grupo de movimientos y grupo de carriles de la intersección 4.

2- Determinar la intensidad por grupo de carriles

Los grupos de movimientos definidos sirven para especificar, mientras que los grupos de carriles para la descripción de los carriles.

A continuación se establece para cada grupo su intensidad de vehículos por hora. Como bien se ha comentado en capítulos anteriores, se ha partido de los datos obtenidos en las horas punta en las que la intersección se ve más congestionada.

Determinamos las intensidades de cada grupo de carriles para cada intersección:

- Intersección 1
 - Grupo de carril 1: 1.170 Veh/h
 - Grupo de carril 2: 660 Veh/h
 - Grupo de carril 3: 120 Veh/h

- Intersección 2
 - Grupo de carril 1: 120 Veh/h
 - Grupo de carril 2: 660 Veh/h
 - Grupo de carril 3: 410 Veh/h
 - Grupo de carril 4: 1170 Veh/h

- Intersección 3
 - Grupo de carril 1: 270 Veh/h
 - Grupo de carril 2: 2280 Veh/h
 - Grupo de carril 3: 660 Veh/h
 - Grupo de carril 4: 120 Veh/h

- Intersección 4
 - Grupo de carril 1: 390 Veh/h
 - Grupo de carril 2: 750 Veh/h
 - Grupo de carril 3: 2280 Veh/h

3- Determinar el ajuste de la intensidad de saturación

Para realizar el cálculo de la intensidad de saturación se utilizará la expresión que se muestra a continuación, descrita en apartados anteriores (capítulo 4.6). Esta intensidad se ve afectada por varios factores que se ajustan a la intensidad de saturación base, s_o , a la cual se le atribuye el valor de 1900 veh/h/carril.

$$s = s_o \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_{bb} \cdot f_a \cdot f_{LU} \cdot f_{LT} \cdot f_{RT} \cdot f_{Lpb} \cdot f_{Rpb}$$

Así pues, se tendrá para cada grupo de carril de cada intersección individualizada una intensidad de saturación concreta.

Se utilizará el mismo procedimiento para todas las intersecciones, el cual se muestra con más detalle en el Anexo 3. En donde se presentan los cálculos de todos los factores para cada grupo de carril utilizando las fórmulas definidas con anterioridad.

- Intersección 1

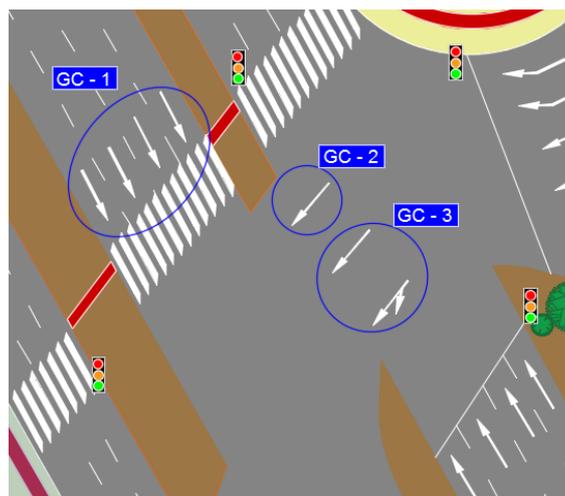


Figura 20. Grupo de Carriles de la Intersección 1.

Intersección 1			
	GC1	GC2	GC3
Intensidad de saturación (s)	1658,534	1660,194	1612,447

Tabla 9. Intensidad de grupos de carril de la intersección 1.

- Intersección 2

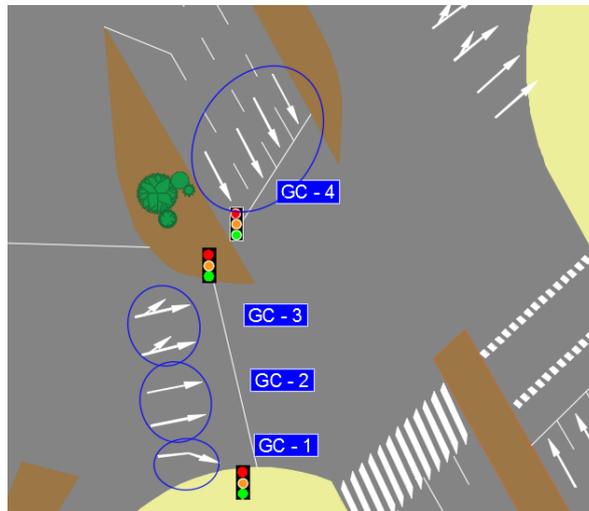


Figura 21. Grupos de Carriles de la Intersección 2.

Intersección 2				
	GC1	GC2	GC3	GC4
Intensidad de saturación (s)	836,965	1581,137	1434,804	1660,194

Tabla 10. Intensidad de grupos de carril de la intersección 2.

- Intersección 3

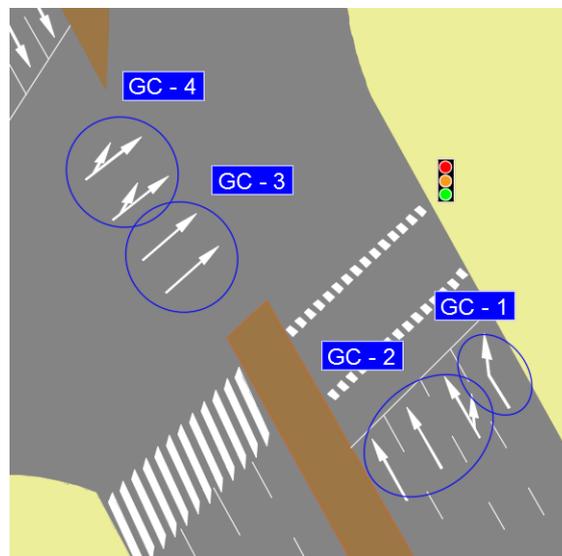


Figura 22. Intersección 3.

Intersección 3				
	GC1	GC2	GC3	GC4
Intensidad de saturación (s)	1367,125	1644,231	1581,137	1434,804

Tabla 11. Intensidad de grupos de carril de la intersección 3.

- Intersección 4

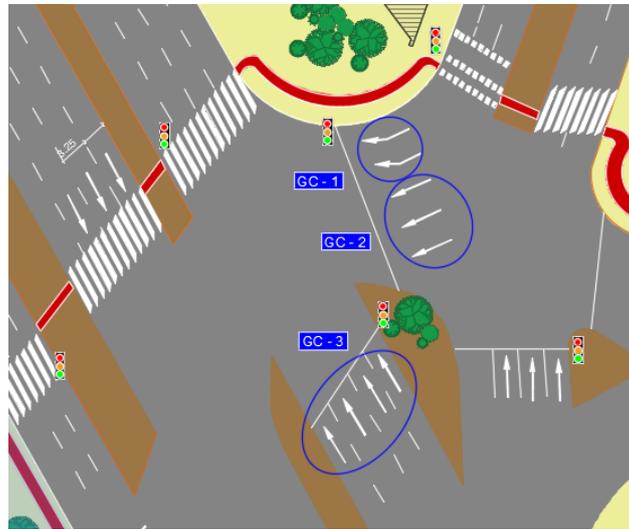


Figura 23. Intersección 4.

Intersección 4			
	GC1	GC2	GC3
Intensidad de saturación (s)	1084,483	1660,194	1644,231

Tabla 12. Intensidad de grupos de carril de la intersección 4.

4- Determinación la duración de fase de semáforo

Para determinar la duración de fase de semáforo es necesario saber qué tipo de control se utiliza en la intersección, ya que como se comentó anteriormente, si la intersección tiene un control prefijado entonces la duración de fase es una entrada y este paso se omite, y si la duración de fase es desconocida, entonces se ha de considerar la duración de fase prefijada según un procedimiento de cálculo.

En nuestro estudio, al tratarse de una intersección con un control prefijado, se omitirá este paso en el procedimiento.

5- Determinar la capacidad y la proporción volumen-capacidad

Recordando lo que se ha comentado previamente, la capacidad de las intersecciones está basada en el concepto de intensidad de saturación, proporción de verde efectivo del grupo de carriles y número de carriles.

Por tanto, para hallar la capacidad de cada grupo de carriles se utilizará la siguiente expresión.



$$c = \frac{N \cdot s \cdot g}{C}$$

En donde:

c= capacidad de grupo de carriles (veh/h)

N=número de carriles

s= intensidad de saturación (veh/h)

g/C= proporción de verde efectivo del grupo de carriles

A continuación se muestra el cálculo de la capacidad para cada intersección.

Intersección 1			
	GC1	GC2	GC3
N	4	2	1
s	1658,534	1660,194	1612,447
g	45	30	30
C	120	120	120
g/C	0,375	0,250	0,250
Capacidad	2487,801	830,097	403,112

Tabla 13. Capacidad de grupos de carril de la intersección 1.

Intersección 2				
	GC1	GC2	GC3	GC4
N	1	2	2	4
s	836,965	1581,137	1434,804	1660,194
g	30	30	30	45
C	120	120	120	120
g/C	0,250	0,250	0,375	0,375
Capacidad	209,2412	790,5687	1076,1034	2490,2913

Tabla 14. Capacidad de grupos de carril de la intersección 2.

Intersección 3				
	GC1	GC2	GC3	GC4
N	1	3	2	2
s	1367,125	1644,231	1581,14	1434,804
g	70	70	30	30
C	120	120	120	120
g/C	0,583	0,583	0,250	0,250
Capacidad	797,4896	2877,4038	790,5687	717,4022

Tabla 15. Capacidad de grupos de carril de la intersección 3.



Intersección 4			
	GC1	GC2	GC3
N	2,000	3,000	3,000
s	1084,483	1660,1942	1644,2308
g	30,000	30,000	70,000
C	120,000	120,000	120,000
g/C	0,250	0,250	0,583
Capacidad	542,241	1245,1456	2877,4038

Tabla 16. Capacidad de grupos de carril de la intersección 4.

Una vez calculada la capacidad, se obtiene la proporción volumen-capacidad (v/c) para cada grupo de carriles. Es decir:

$$X = \frac{v}{c}$$

En donde:

X= proporción volumen-capacidad

V= flujo de demanda (veh/h)

c= capacidad (veh/h)

Intersección 1			
	GC1	GC2	GC3
Capacidad	2487,801	830,097	403,112
Vi (Veh/h)	1170,000	495,000	84,000
X	0,470	0,60	0,208

Tabla 17. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 1.

Intersección 2				
	GC1	GC2	GC3	GC4
Capacidad	209,2412	790,5687	1076,1034	2490,2913
Vi (Veh/h)	120	660	410	1170
X	0,574	0,795	0,339	0,470

Tabla 18. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 2.

Intersección 3				
	GC1	GC2	GC3	GC4
Capacidad	797,4896	2877,4038	790,5687	717,4022
Vi (Veh/h)	270	2280	660	120
X	0,3386	0,7924	0,8348	0,1673

Tabla 19. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 3.



	Intersección 4		
	GC1	GC2	GC3
Capacidad	542,24132	1245,14563	2877,40385
Vi (Veh/h)	390,000	750,000	2280,000
X	0,71924	0,60234	0,79238

Tabla 20. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 4.

6- Determinar la demora

Una vez calculadas la capacidad y la proporción volumen-capacidad se procede a determinar la demora. Como se ha comentado previamente, para el cálculo de la demora se ha de tener en cuenta tres conceptos: la demora uniforme (d_1), la demora incremental (d_2) y la demora por cola inicial (d_3). Además hay que aplicarle un factor de ajuste de la progresión a la demanda uniforme (PF).

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3$$

La demora uniforme (d_1) se calcula asumiendo llegadas uniformemente distribuidas a lo largo del tiempo del ciclo. En base a la duración del ciclo, el tiempo efectivo de verde y la relación volumen-capacidad se obtiene dicha demanda.

$$d_1 = \frac{0,5 \cdot C \cdot (1 - \frac{g}{C})^2}{1 - [\min(1, X) \cdot \frac{g}{C}]}$$

En segundo lugar, la demanda incremental (d_2) se halla a través de las llegadas no uniformes y a los fallos temporales de ciclo, así como las llegadas causadas por períodos de sobresaturación. Por tanto, en base a la duración del ciclo en horas, la relación volumen-capacidad y la capacidad de los grupos de carriles calculamos la demora incremental.

$$d_2 = 900 \cdot T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{4 \cdot X}{c \cdot T}} \right]$$



Para finalizar, la demora por cola inicial (d_3) representa la demora experimental de todos los vehículos que llegan durante el período de análisis. Por tanto, esta demora debe agregarse en caso de existencia de cola inicial. En el caso que nos ocupa no existe cola inicial por lo que este valor será igual a 0.

Una vez se calculan la demora uniforme, la demora incremental y el factor de ajuste por progresión se puede determinar la demora para cada grupo de carriles de cada intersección.

Intersección 1			
	GC1	GC2	GC3
d1	28,456	42,123	36,464
PF	0,802	0,890	0,890
d2	0,629	5,590	1,807
demora	23,450	43,079	34,259

Tabla 21. Demora de los grupos de carril de la intersección 1.

Intersección 2				
	GC1	GC2	GC3	GC4
d1	39,399	42,652	27,344	28,450
PF	0,890	0,890	0,802	0,802
d2	8,460	6,610	1,000	0,627
demora	43,525	44,570	22,930	23,444

Tabla 22. Demora de los grupos de carril de la intersección 2.

Intersección 3				
	GC1	GC2	GC3	GC4
d1	12,980	19,370	42,652	35,223
PF	0,538	0,538	0,890	0,890
d2	1,120	2,023	6,610	0,498
demora	8,10	12,44	44,57	31,85

Tabla 23. Demora de los grupos de carril de la intersección 3.

Intersección 4			
	GC1	GC2	GC3
d1	41,149	39,733	19,370
PF	0,890	0,890	0,538
d2	6,072	2,003	2,023
demora	42,695	37,365	12,444

Tabla 24. Demora de los grupos de carril de la intersección 4.



7- Determinar el Nivel de Servicio

Por último, se obtendrá el nivel de servicio para cada grupo de carriles de cada intersección en función de la demora determinada previamente. Para ello, se utilizará la tabla de niveles de servicios para intersecciones semaforizadas mostrada a continuación.

Nivel de servicio	Demora en segundos
A	<10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-50
E	>50-80
F	>80

Tabla 1. Demora del tráfico según el nivel de servicio

Intersección 1			
	GC1	GC2	GC3
Demora (s/veh)	23,45	43,08	34,26
Nivel de servicio	C	D	C

Tabla 25. Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 1.

Intersección 2				
	GC1	GC2	GC3	GC4
Demora (s/veh)	43,52	44,57	22,93	23,44
Nivel de servicio	D	D	C	C

Tabla 26. Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 2.

Intersección 3				
	GC1	GC2	GC3	GC4
Demora (s/veh)	8,10	12,44	44,57	31,85
Nivel de servicio	A	B	D	C

Tabla 27. Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 3.

Intersección 4			
	GC1	GC2	GC3
Demora (s/veh)	42,69	37,37	12,44
Nivel de servicio	D	D	B

Tabla 28. Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 4.



Una vez obtenidos todos los resultados para poder hallar la demora, se puede apreciar que en la mayoría de los grupos de carriles el nivel de servicio se encuentra entre los niveles A, B, C y D. Esto representa unas condiciones de tráfico en las que los vehículos no tienen demoras significativas en los períodos punta de demanda. Sin embargo, lo que ocurre en realidad es que si existe una congestión en diversos puntos de la intersección, en donde existen demoras y la progresión es ineficaz. En las siguientes imágenes se puede apreciar la congestión que se produce en la intersección 2.



Figura 24. Congestión en la intersección 2. Vista frontal.



Figura 25. Congestión en la intersección 2. Vista lateral.



Figura 26. Congestión en la intersección 2. Vista trasera.

Esto nos indica que el análisis que se ha llevado a cabo en las intersecciones no se corresponde con la realidad, dado que la capacidad que se obtiene es suficiente para la intersección.

En concreto, uno de los factores para el ajuste de la intensidad de saturación no puede calcularse correctamente ya que el caso concreto de uno de los grupos de carriles no está definido en la normativa del HCM 2010 para realizar su cálculo.

Por tanto, en cada intersección, y en concreto en la 2 y la 4, los grupos de carriles que realizan los giros a la izquierda, no pueden calcularse con precisión.

En el HCM 2010 no se contempla el cálculo específico del factor para este tipo de carriles. Dichos carriles, son los que al realizar el giro a la izquierda se encuentran con una fase en rojo. Por tanto, no podemos analizar este grupo de carriles con la metodología establecida y se ha de recurrir a un análisis diferente que los tenga en cuenta.

Para solventar esta problemática se propone un análisis de almacenamiento sobre el grupo de carriles situados al interior, que realicen el giro a izquierdas, y los que se vean afectados en caso de congestión producida por esos vehículos.

Para el estudio del almacenamiento en cada intersección se necesitan unos datos de entrada. Para ello se utiliza un vehículo estándar, con una longitud de 5 metros y una anchura de 2 metros. Por otro lado, se adopta una distancia de 1 metro entre vehículos y un total de 4 y 5 carriles disponibles para el almacenamiento de vehículos, en la intersección 2 y 4 respectivamente. Con estos datos se procede a analizar cada



intersección para averiguar si la demanda existente de vehículos produce almacenamiento.

Intersección 2.

En la presente intersección es donde se aprecia una congestión más acentuada en el grupo de carril 3, el cual engloba los vehículos que proceden de dentro de la intersección, del vial secundario de la Avenida Pio XII y de la Calle Vall de la Ballestera.

En esta intersección suceden varios factores a la vez, los cuales producen un problema de almacenamiento que deriva en que los vehículos que se dirigen a la Avenida Campanar, se queden bloqueados.

Los grupos de carriles “GC1”, “GC2” y “GC3”, presentan una duración de ciclo de 120 segundos con un tiempo efectivo de verde de 30 segundos. Durante el tiempo efectivo de verde, el total de vehículos que se acumulan en el “GC2” y “GC3” es de 24 vehículos, y en el “GC1” de 4 vehículos, sumando un total de 28 vehículos. Estos vehículos proceden principalmente del interior de la intersección, de la vía secundaria y de la C/Vall de la Ballestera.

Una vez obtenidos los datos se procede a estudiar la intersección. En la siguiente imagen se aprecia el número de vehículos que producen el almacenamiento y, por tanto, la congestión de la intersección. Si el número de vehículos que realizan el movimiento a la izquierda, es decir, que no continúan por la Avenida Campanar, es mayor a 13 vehículos, la intersección se vería saturada, y por tanto, llegaría a la congestión.

En el caso estudiado, el número de vehículos es superior al valor mencionado, por lo que se produciría atasco.

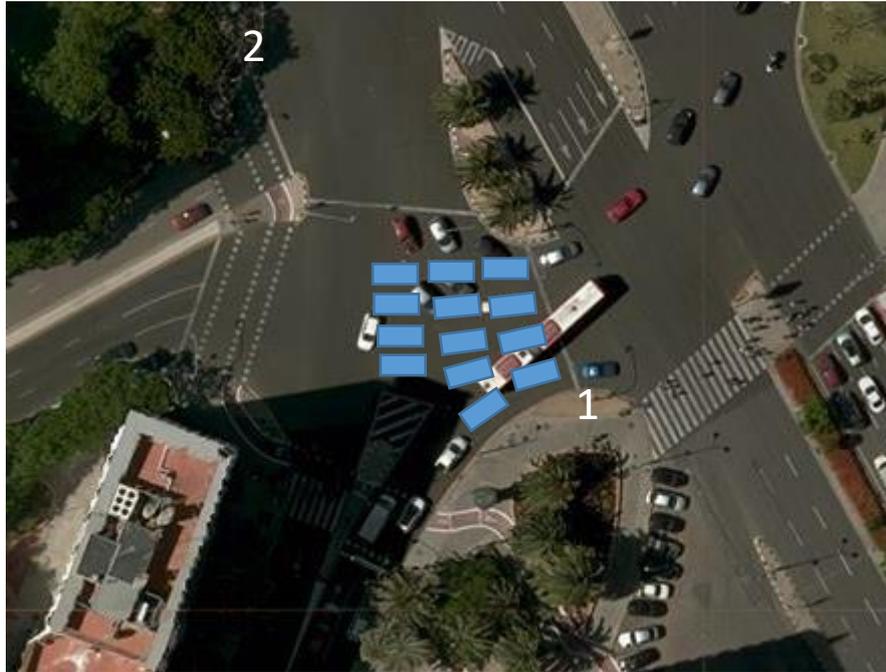


Figura 27. Esquema de Almacenamiento en la intersección 2.

A continuación se muestra la figura 28 en la que se puede apreciar con claridad cómo se causa el problema de almacenamiento en la intersección.

- 1- Fase Roja semáforo 1 Intersección 2 y proceden vehículos desde la C/Vall de la Ballestera y de la Avenida Campanar.
- 2- Mientras el semáforo 1 sigue rojo, cambia de fase el semáforo 2 del vial secundario de la Avenida Pio XII, permitiendo acceder a la intersección más vehículos.
- 3- Los vehículos se quedan atravesados e impiden circular a los que siguen recto hacia la Avenida Campanar.

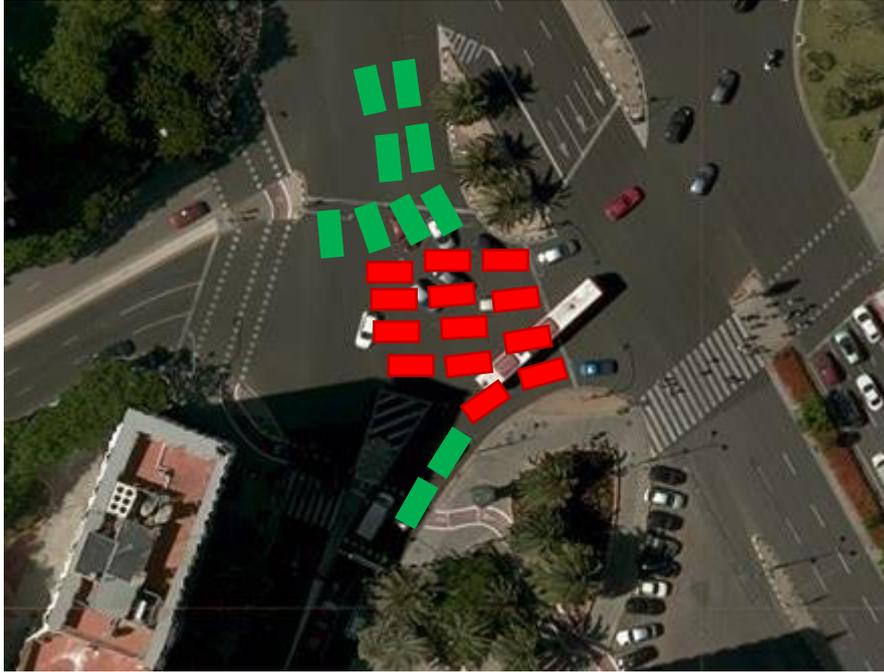


Figura 28. Problemática Almacenamiento en la intersección 2.

Intersección 4.

En esta intersección, los grupos de carriles “GC2” y “GC3” presentan una duración de ciclo de 120 segundos con un tiempo efectivo de verde de 30 segundos. Durante el tiempo efectivo de verde, el total de vehículos que circulan por el “GC2” es de 13 vehículos, en el caso más desfavorable; mientras que el total de vehículos que circulan por el grupo de carril “GC3” es de 25 vehículos en el caso más desfavorable.

De la misma forma que en la anterior intersección, se procede a estudiar el problema de almacenamiento. Se realiza su estudio en base a los vehículos que realizan el movimiento hacia la izquierda, es decir, que continúan su trayectoria dentro la intersección, como se puede apreciar en la siguiente figura.

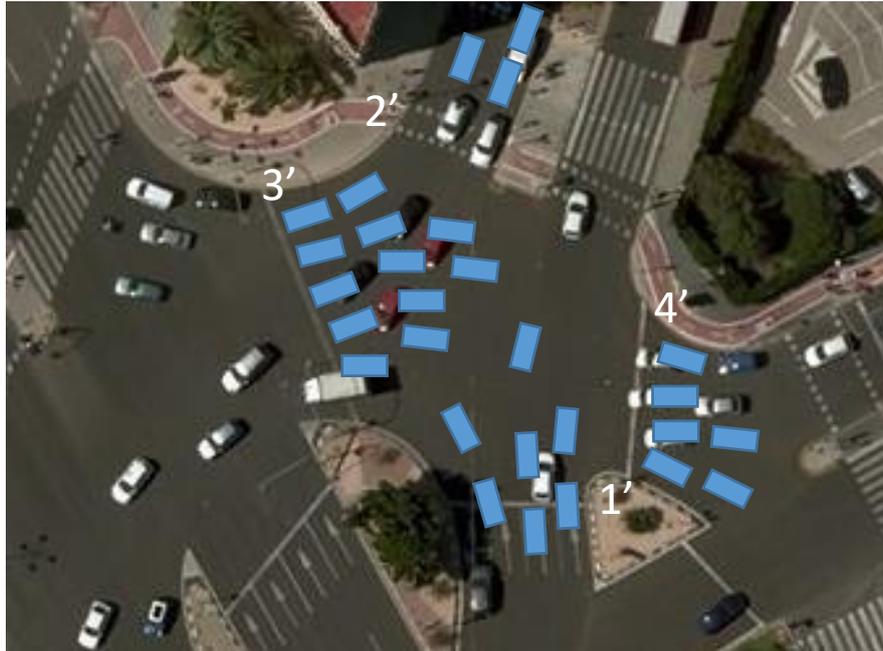


Figura 29. Esquema de Almacenamiento en la intersección 4.

En esta intersección se produce un caso similar:

1. Los semáforos 3' y 2' se encuentran en fase verde, mientras que el semáforo 4' se encuentra en fase roja y el semáforo 1' en fase ámbar. En este ciclo circulan los vehículos sin dificultades.
2. Los semáforos 3' y 2' cambia a fase roja y se acumulan vehículos procedentes del semáforo 1' y del semáforo 4' en su línea de detención. Esta acumulación llega a obstaculizar los conductores que vienen del interior de la intersección desean dirigirse al tramo norte de la Avenida Campanar.

Si el número de vehículos que realizan el movimiento a la izquierda, es mayor a 18 vehículos, la intersección se vería saturada, y por tanto, llegaría a producir bloqueo. En este caso el número de vehículos que realiza el giro a la izquierda es de 25 vehículos, por lo tanto, se produce una congestión.

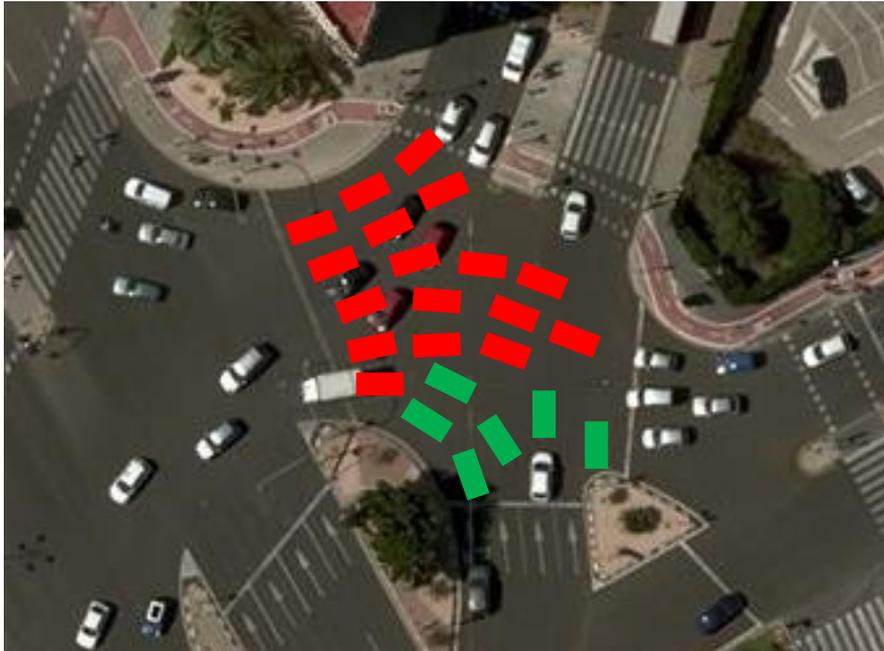


Figura 30. Problemática de Almacenamiento en la intersección 4.

Una vez se ha estudiado las intersecciones conflictivas de la zona de estudio, se llega a la siguiente conclusión. En las intersecciones 2 y 4 se producen congestiones, como bien se observa en las imágenes, hecho que con la metodología del HCM 2010 no se ha llegado a obtener.

Por tanto, al conocer que la intersección semaforizada alcanza una situación de congestión, se debe proponer posibles soluciones para mejorar la seguridad vial.



7. PRESENTACIÓN Y ELECCIÓN DE PROPUESTAS

7.1 INTRODUCCIÓN

Las intersecciones semaforizadas cuentan con movimientos protegidos o permitidos para que la circulación de los vehículos sea más agradable, permitiendo, a su vez una mayor fluidez en todas las direcciones de la intersección. Además también se facilita un espacio suficiente de tiempo para que los movimientos de peatones y ciclistas se produzcan con normalidad pero en ciertas ocasiones, las intersecciones presentan ciertos puntos de conflicto que suelen llegar a crear un problema o riesgo vial en el momento que se realizan.

En el presente estudio, el movimiento que produce mayor conflicto es el giro a izquierda en las intersecciones 2 y 4. Según Wang y Abdel-Aty, el giro es la causa que provoca mayor número de accidentes en las intersecciones semaforizadas y son propensas a ser accidentes graves debido a las velocidades que pueden llegar a ser relativamente altas, además del ángulo de impacto.

Para salvar este conflicto, se ha realizado un estudio con diferentes opciones las cuales puedan disminuir la demanda producida en el giro a la izquierda, y de esta manera, evitar que se produzca el atasco en la intersección.

En este caso se proponen 5 alternativas, se analizan sus ventajas e inconvenientes, y se comprueba si son adecuadas para su implementación en la intersección.

7.2 PROPUESTAS

En la intersección de estudio existe un gran número de puntos de conflicto debido a los 6 ramales que confluyen en la misma. Estos puntos de conflicto son puntos potenciales de accidentes, y la posibilidad de producirse será tanto mayor cuanto mayor sea la intensidad del tráfico.

Las intersecciones analizadas con anterioridad, las denominadas con los números 2 y 4, son las que albergan los puntos de cruce más conflictivos, por lo tanto, se presentarán propuestas para solventar los problemas que se producen en ellas.

Para reducir las colisiones en estos puntos de cruce se utilizan sistemas que separan los vehículos de diferentes trayectorias, estos pueden mediante una separación física o bien mediante una separación en el tiempo.

La intersección está regulada por semáforos, los cuales dan alternativamente paso a los vehículos que siguen una u otra trayectoria. Sin embargo una alternativa para reducir los puntos de cruce podría ser mediante la señalización de marcas viales de forma que, el conductor llegue a los puntos de conflicto de forma más deseable.



También se puede reducir las congestiones y el colapso en las intersecciones mediante la reducción de intensidad de vehículos que llegan al punto de cruce, desviándolos por otra trayectoria antes de llegar a la intersección. No sólo los vehículos de particulares sino también autobuses del transporte público.

Por otro lado, si se dispone de espacio suficiente, se puede incluso suprimir los puntos de cruce, estableciendo una corriente de tráfico circular alrededor de una isleta central.

7.2.1 Alternativa 1: Marcas Viales

El diseño de esta propuesta tiene como principal objetivo reducir la zona de conflicto situada en la intersección 2. Para ello, se persigue evitar que los vehículos procedentes de la Calle Vall de la Ballestera se acumulen en el semáforo situado en la línea de detención de la intersección 2, bloqueando el paso a los vehículos procedentes de dentro de la intersección y del vial de servicio.

La zona de conflicto mencionada es una superficie pavimentada de grandes dimensiones que invita a los vehículos a realizar movimientos desordenados, con la siguiente confusión, que aumenta el número de accidentes y disminuye la capacidad de la intersección. Este tipo de áreas son propias de las intersecciones oblicuas, como el caso de estudio, y una característica poco recomendable.

Para eludir esta zona se plantea la aplicación de una marca vial horizontal, concretamente la señalización M-7.10 denominada comúnmente como “Cuadrícula” de color amarillo, según lo establecido en la Norma 8.2-IC-“Marcas Viales”, dado que las fase roja de la Calle Vall de la Ballestera coincide con la del semáforo del semáforo de la intersección 2.

Esta señal funciona como recordatorio a los conductores de la prohibición de penetrar en una intersección aun cuando el semáforo lo permita o gocen de prioridad, si la situación de la circulación es tal que previsiblemente puedan quedar detenidos de forma que impidan u obstruyan la circulación transversal.

Esta propuesta únicamente conlleva ventajas pues su ejecución es sencilla y no perjudica a las trayectorias de los conductores.

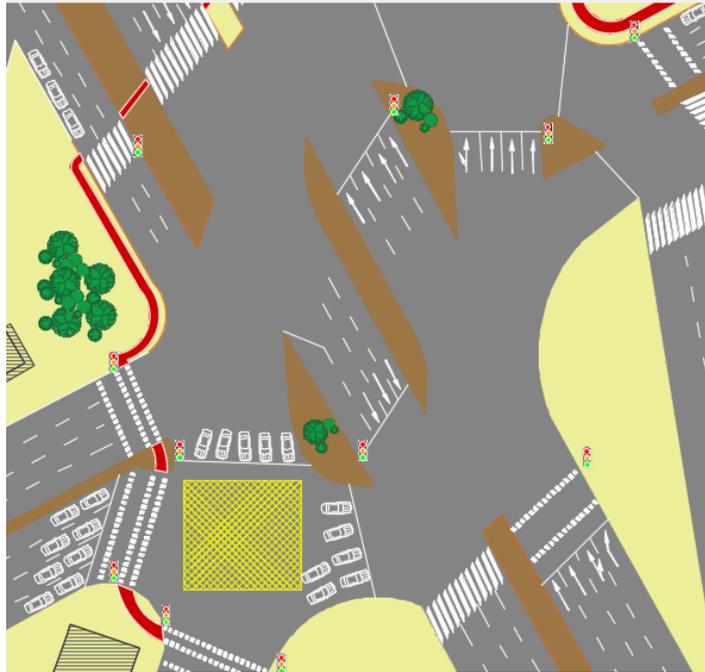


Figura 31. Alternativa 3. Marca vial horizontal

7.2.2 Alternativa 2: Desvío Vehículos Vial Secundario

La segunda propuesta se corresponde con un cambio en el diseño de la intersección que facilite la disminución de vehículos que interceden en la misma.

Dado que las trayectorias que conllevan mayor intensidad de vehículos a lo largo del día son las procedentes de la Avenida Pío XII, se propone reducir su flujo de vehículos. Para ello, se sugiere que los vehículos del vial secundario, paralelo a la Avenida Pío XII, que llegan desde la Avenida de las Cortes Valencianas, realicen los siguientes movimientos: dirigirse por la Calle Valdelinares, a continuación girar a la izquierda por la Calle Rascanya hasta la Calle Diputado Luís Lucía y así incorporarse a la Avenida Campanar. Esta nueva trayectoria se plasma en la siguiente imagen.

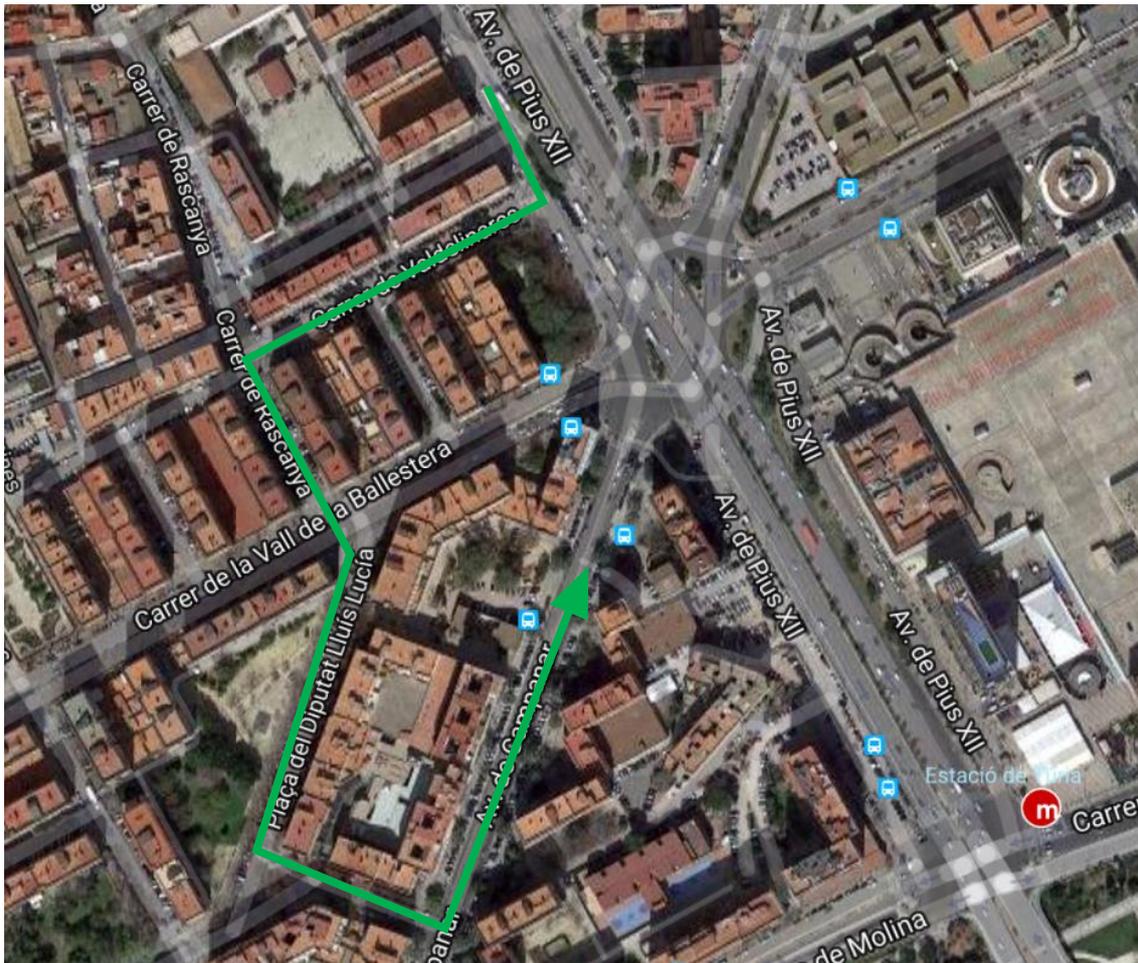


Figura 32. Desvío Vial Secundario Avenida Pío XII

Para que la glorieta partida funcione de manera correcta, el tráfico de paso de la vía secundaria/servicio no debe ser muy elevado, ya que se le obliga a rodear parte central, y así ocasiona acumulaciones indeseadas.

La principal ventaja de esta propuesta es que los vehículos procedentes de la trayectoria mencionada, pueden llegar a la Avenida Campanar sin tener que cruzar la intersección, y con ello, evitan quedarse atrapados en la misma.

Esta modificación reducirá aproximadamente un 20% los vehículos que circulan la intersección. En cuanto a las desventajas, mencionar que este movimiento aumentaría la duración del recorrido.

Su implementación requiere el cierre de la vía de servicio y el cambio de sentido de la Calle Diputado Luis Lucía para que puedan llegar hasta el tramo sur de la Avenida Campanar

También se debería regular la red de semáforos para su correcto funcionamiento.



7.2.3 Alternativa 3: Modificación Sentido Avenida Campanar

Por otro lado se valora la modificación del sentido de la trayectoria de la Avenida Campanar, pasando de doble sentido a sentido único. Concretamente, se propone que los ramales de la avenida Campanar, sean solo de salida de la intersección, y no de entrada a la misma.

Con esta propuesta se elimina el número de vehículos procedentes del tramo norte de la avenida Campanar, y con ello, el bloqueo que se crea en las intersecciones 2 y 4.

Su ejecución resultaría sencilla de aplicar, dado que se eliminaría las medianas existentes y se cambiaría la señalización horizontal de los viales.

En la intersección 2, los vehículos que provienen del ramal sur de la Avenida Campanar, proceden en su mayoría del desvío que existe en la Avenida Tirso de Molina. En su caso, sería necesario ejecutar las modificaciones en la mediana, ya que se suprimiría ese acceso, y los conductores podrían llegar de igual manera a la intersección por la Calle Vall de la Ballestera.

Por otro lado, en la intersección 4 el principal inconveniente, sería que los conductores que proceden del tramo norte de la Avenida Campanar, deberían de hacer un recorrido más largo, desviándose por la Calle Doctor Nicasio Benlloch hacia la Avenida Burjassot y la Calle Padre Ferriz, hasta llegar a la Calle Joaquín Ballester. Se señala en la siguiente imagen.

Por último, se verían afectadas las líneas de autobús 89 y 90 que transitan por la Avenida de Campanar en ambos sentidos.



Figura 33. Desvío vehículos procedentes del tramo sur de la Avenida Campanar.

7.2.5 Alternativa 5: Paso inferior

La última propuesta consiste en la ejecución de un paso inferior. Concretamente se propone alargar el túnel que comienza en la Avenida de las Cortes Valencianas hasta la Calle Menéndez Pidal.

Por medio de esta alternativa, los vehículos procedentes de la Avenida Pío XII tendrían una circulación más fluida evitando semáforos, y en segundo lugar, dejaría lugar a una intersección de 6 ramales, la cual disminuye la dificultad de la intersección, siendo más factible la ejecución de una glorieta.

El paso inferior supondría una reducción del flujo de vehículos en la intersección de aproximadamente un 62%. Por el contrario, tiene el inconveniente de que su ejecución es muy costosa, causando un impacto sustancial en el tráfico de vehículos durante la construcción, afectando además a peatones y ciclistas.

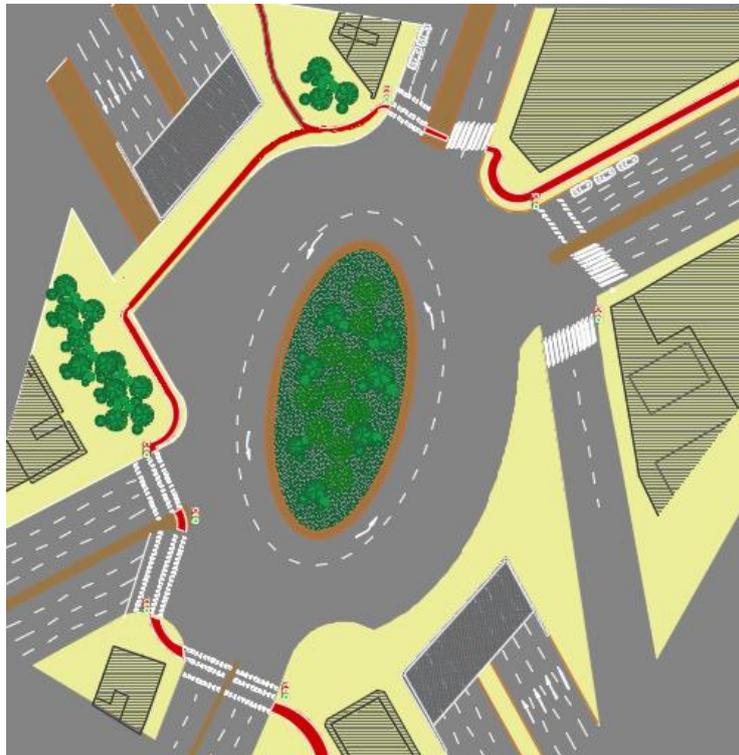


Figura 35. Alternativa paso inferior e instalación de glorieta.

7.3 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE PROPUESTA

Se ha mostrado varias propuestas para disminuir el atasco de vehículos en la intersección, mejorando el nivel de servicio y evitando situaciones de bloqueo. Todas las alternativas planteadas son viables en cuanto a su implementación se refiere, sin embargo a continuación se seleccionará la solución más idónea para la zona de estudio.



En primer lugar, se descarta la instalación de una glorieta sobre el estado actual dado que:

- No existe una demanda equilibrada.
Al tratarse de una zona urbana, en la que existen grandes variaciones de intensidad de tráfico según la hora del día, la glorieta no funcionaría correctamente.
- La importancia de los tramos que interfieren en la intersección es diferente. Los tramos de la Avenida Pio XII son el itinerario principal, albergando más carga de vehículos, mientras que el resto de tramos que llegan a la intersección son vías de carácter secundario respecto al itinerario principal. Por lo que en caso de construir una glorieta, los tramos principales perderían prioridad, lo que supondría demoras a todos los usuarios.
- La ejecución de las obras de construcción son costosas y perjudicaría al tráfico normal en gran medida.

De las 4 alternativas restantes se va a analizar con más detalle su implementación, por un lado la unión de las propuestas 1, 2 y 3 y por otro la ejecución de la propuesta 5.

El principal inconveniente del paso inferior es que las obras de construcción del mismo supondrían un gran impacto en la circulación del tráfico y un alto coste económico. Sin embargo, supondrían la eliminación total del problema de almacenamiento, dado que se podría ejecutar una glorieta con capacidad suficiente. Si bien, mediante otras propuestas se puede reducir este problema sin tener que recurrir a la construcción de un paso inferior.

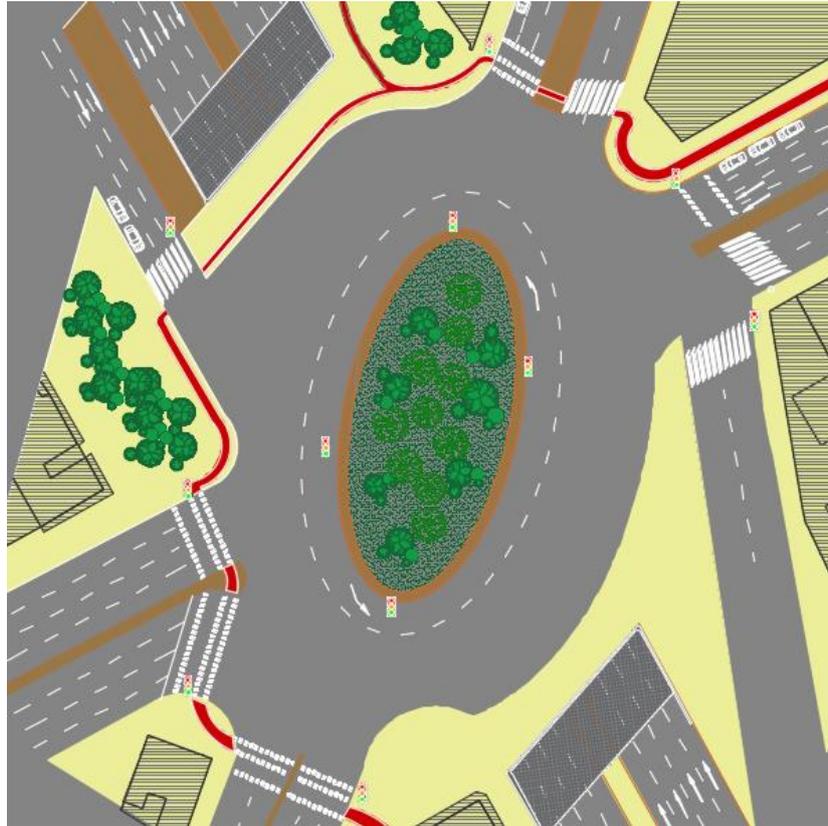


Figura 36 Propuesta Paso Inferior y Glorieta

En cuanto a la propuesta que engloba las alternativas 1, 2 y 3, ayuda a resolver el conflicto de las intersecciones 2 y 4, las más conflictivas. Es una propuesta recomendable ya que supondría una disminución de un 25% de los vehículos que circularían por la intersección y no conlleva gastos elevados para llevarla a cabo. En la figura 37 se muestra cómo sería esta alternativa.

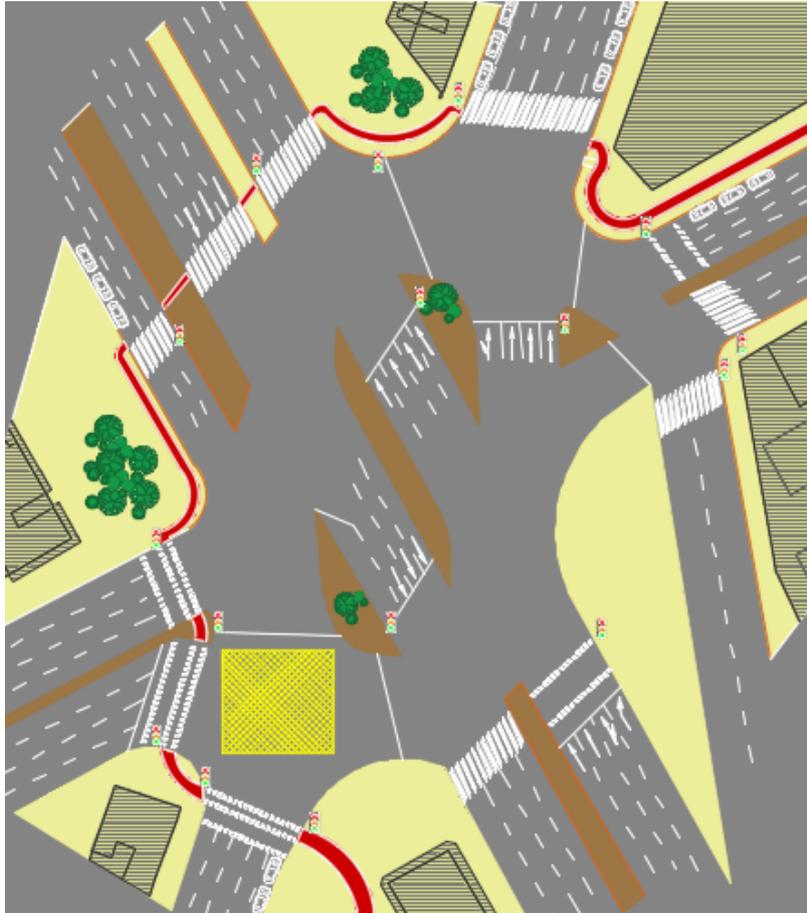


Figura 37. Propuesta 1,2 y 3.

Este diseño requiere colocar la señalización de cuadrícula para impedir que se formen colas en el semáforo de los coches procedentes de la Calle Vall de la Ballestera. Además, al desviar el vial secundario, se debe invertir el sentido de la Calle Diputado Luís Lucía para permitir la circulación de los vehículos hacia la Avenida Campanar.

Con esto salvamos los vehículos que proceden desde el vial de servicio, se dirigen a la Avenida Campanar y quedan bloqueados en la intersección 2, que es el que causa mayores atascos. Y por otro lado, se evita que se acumulen los conductores en el semáforo de la intersección 2, impidiendo el paso a los vehículos que quieren dirigirse a la Avenida Campanar.

Por otro lado, se deberá adaptar la Avenida Campanar, en cuanto a la modificación de la señalización, eliminación de la mediana y obras que faciliten el sentido único.

A partir de las propuestas planteadas, en el siguiente apartado se analizará la intersección de estudio para comprobar los cambios que se producen en cuanto a la capacidad y nivel de servicio.



8. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LAS PROPUESTAS

En este apartado se analiza el comportamiento que presenta las propuestas planteadas sobre la intersección semaforizada, con el objetivo de poder resolver el conflicto que se presenta en la zona de estudio.

8.1 PROPUESTA 1, 2 Y 3.

Las actuaciones de la propuesta no afectan directamente a las diferentes intersecciones estudiadas, por lo que los grupos de carriles no han sufrido modificaciones. Así pues, se realiza una estimación de los vehículos que accederían en caso de establecer los cambios propuestos.

En primer lugar, se analizarán las cuatro intersecciones con el procedimiento descrito en el HCM 2010, y se comprobará si existe una mejora en la capacidad y en el nivel de servicio. Después de esto se evaluarán los grupos de carriles afectados mediante el análisis de almacenamiento durante un ciclo.

En primer lugar se muestra la variación en el volumen de vehículos, modificada por la reducción de flujo entrante en la intersección:

	Intersección 1	
	Veh/h	Veh. pesados
GC1	1170	35
GC2	495	14
GC3	90	1

Tabla 29. Propuesta. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 1

	Intersección 2	
	Veh/h	Veh. pesados
GC1	120	1
GC2	495	15
GC3	245	3
GC4	1170	35

Tabla 30. Propuesta. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 2

	Intersección 3	
	Veh/h	Veh. pesados
GC1	270	16
GC2	2280	91
GC3	495	15
GC4	90	1

Tabla 31. Propuesta. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 3



Intersección 4		
	Veh/h	Veh. pesados
GC1	390	4
GC2	562	17
GC3	2280	91

Tabla 32. Propuesta. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 4

Una vez obtenidos los cambios en los volúmenes de los grupos de carriles afectados, se analiza la propuesta elegida con la metodología del HCM 2010. En primer lugar, se muestra las intensidades de saturación, las cuales no se han visto modificadas.

- Intersección 1

Intersección 1			
	GC1	GC2	GC3
Intensidad de saturación (s)	1658,534	1660,194	1612,447

Tabla 33. Intensidad de grupos de carril de la intersección 1.

- Intersección 2

Intersección 2				
	GC1	GC2	GC3	GC4
Intensidad de saturación (s)	836,965	1581,137	1434,804	1660,194

Tabla 34. Intensidad de grupos de carril de la intersección 2.

- Intersección 3

Intersección 3				
	GC1	GC2	GC3	GC4
Intensidad de saturación (s)	1367,125	1644,231	1581,137	1434,804

Tabla 35. Intensidad de grupos de carril de la intersección 3.

- Intersección 4

Intersección 4			
	GC1	GC2	GC3
Intensidad de saturación (s)	1084,483	1660,194	1644,231

Tabla 36. Intensidad de grupos de carril de la intersección 4.

A continuación se procede a determinar la capacidad y la proporción volumen-capacidad, en las cuales se notaran los cambios introducidos.



	Intersección 1		
	GC1	GC2	GC3
N	4	2	1
s	1658,534	1660,194	1612,447
g	45	30	30
C	120	120	120
g/C	0,375	0,250	0,250
Capacidad	2487,801	830,097	403,112

Tabla 37. Propuesta. Capacidad de la Intersección 1

	Intersección 2			
	GC1	GC2	GC3	GC4
N	1	2	2	4
s	836,965	1581,137	1434,804	1660,194
g	30	30	30	45
C	120	120	120	120
g/C	0,250	0,250	0,375	0,375
Capacidad	209,241	790,569	1076,103	2490,291

Tabla 38. Propuesta. Capacidad de la Intersección 2

	Intersección 3			
	GC1	GC2	GC3	GC4
N	1	3	2	2
s	1367,125	1644,231	1581,14	1434,804
g	70	70	30	30
C	120	120	120	120
g/C	0,583	0,583	0,250	0,250
Capacidad	797,490	2877,404	790,569	717,402

Tabla 39. Propuesta. Capacidad de la Intersección 3

	Intersección 4		
	GC1	GC2	GC3
N	2,000	3,000	3,000
s	1084,483	1660,194	1644,231
g	30,000	30,000	70,000
C	120,000	120,000	120,000
g/C	0,250	0,250	0,583
Capacidad	542,241	1245,146	2877,404

Tabla 40. Propuesta. Capacidad de la Intersección 4

Ahora bien, una vez calculado la capacidad se procede al cálculo de la proporción volumen-capacidad de cada grupo de carriles. Para ello, se utiliza la siguiente ecuación, utilizada con anterioridad:

$$X = \frac{v}{c}$$



	Intersección 1		
	GC1	GC2	GC3
Capacidad	2487,801	830,097	403,112
Vi (Veh/h)	1170,000	495,000	84,000
X	0,470	0,596	0,208

Tabla 41. Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 1.

	Intersección 2			
	GC1	GC2	GC3	GC4
Capacidad	209,241	790,569	1076,103	2490,291
Vi (Veh/h)	90	495	245	1170
X	0,430	0,626	0,228	0,470

Tabla 42. Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 2.

	Intersección 3			
	GC1	GC2	GC3	GC4
Capacidad	797,490	2877,404	790,569	717,402
Vi (Veh/h)	270	2280	495	90
X	0,339	0,792	0,626	0,125

Tabla 43. Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 3.

	Intersección 4		
	GC1	GC2	GC3
Capacidad	542,241	1245,146	2877,404
Vi (Veh/h)	390,000	562,000	2280,000
X	0,719	0,451	0,792

Tabla 44. Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 4.

Continuando con el procedimiento definido en el manual HCM 2010, se calcula la demora según la formulación descrita.

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3$$

	Intersección 1		
	GC1	GC2	GC3
d1	28,456	39,663	35,605
PF	0,802	0,890	0,890
d2	0,629	2,835	1,145
demora	23,450	38,135	32,833

Tabla 45. Propuesta. Demora de los grupos de carril de la Intersección 1.



Intersección 2				
	GC1	GC2	GC3	GC4
d1	37,816	40,013	25,625	28,450
PF	0,890	0,890	0,802	0,802
d2	5,507	3,280	0,487	0,627
demora	39,164	38,892	21,039	23,444

Tabla 46. Propuesta. Demora de los grupos de carril de la Intersección 2.

Intersección 3				
	GC1	GC2	GC3	GC4
d1	12,980	19,370	40,013	34,843
PF	0,538	0,538	0,890	0,890
d2	1,120	2,023	3,280	0,357
demora	8,104	12,444	38,892	31,367

Tabla 47 Propuesta. Demora de los grupos de carril de la Intersección 3.

Intersección 4			
	GC1	GC2	GC3
d1	41,149	38,043	19,370
PF	0,890	0,890	0,538
d2	6,072	1,145	2,023
demora	42,695	35,003	12,444

Tabla 48. Propuesta. Demora de los grupos de carril de la Intersección 4.

Por último, se halla el nivel de servicio de cada grupo de carriles para cada intersección.

Intersección 1			
	GC1	GC2	GC3
Demora (s/veh)	23,450	38,135	32,833
Nivel de servicio	C	Casi C	C

Tabla 49. Propuesta. Nivel de Servicio en los grupos de carril de la Intersección 1.

Intersección 2				
	GC1	GC2	GC3	GC4
Demora (s/veh)	39,164	38,892	21,039	23,444
Nivel de servicio	D	D	C	C

Tabla 50. Propuesta. Nivel de Servicio en los grupos de carril de la Intersección 2.

Intersección 3				
	GC1	GC2	GC3	GC4
Demora (s/veh)	8,104	12,444	38,892	31,367
Nivel de servicio	A	B	D	C

Tabla 51. Propuesta. Nivel de Servicio en los grupos de carril de la Intersección 3

	Intersección 4		
	GC1	GC2	GC3
Demora (s/veh)	42,695	35,003	12,444
Nivel de servicio	D	C	B

Tabla 52. Propuesta. Nivel de Servicio en los grupos de carril de la Intersección 4.

8.2 PROPUESTA PASO INFERIOR Y GLORIETA.

La siguiente propuesta modifica el diseño completo de la intersección, por lo que se tiene nuevos grupos de carriles. Con esto, se realiza una estimación de los vehículos que accedería a la intersección en caso de implementarse un paso inferior.

Se han delimitado cuatro intersecciones, en las que mediante el procedimiento descrito en el HCM 2010 se comprobará si existe una mejora en la capacidad y en el nivel de servicio.

Para analizar la capacidad de la nueva intersección giratoria se ha decidido estudiar 4 intersecciones concretas. En cada una de ellas se identifican distintos tipos de giro, los cuales se muestran en las siguientes imágenes.

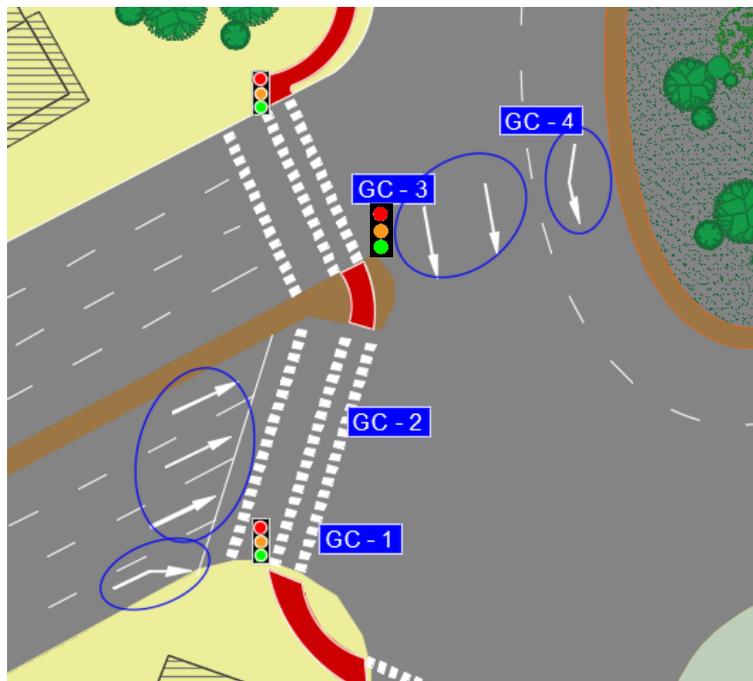


Figura 38. Intersección 1. Glorieta + Paso inferior

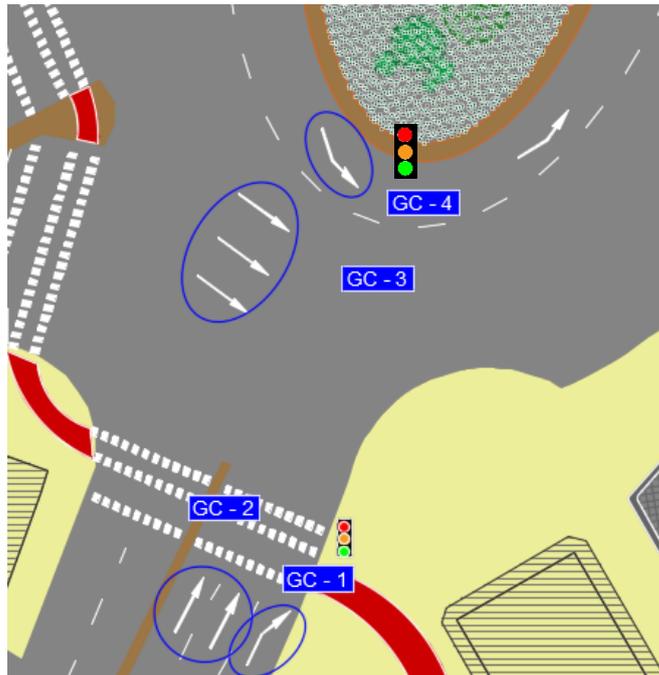


Figura 39. Intersección 2. Glorieta + Paso inferior

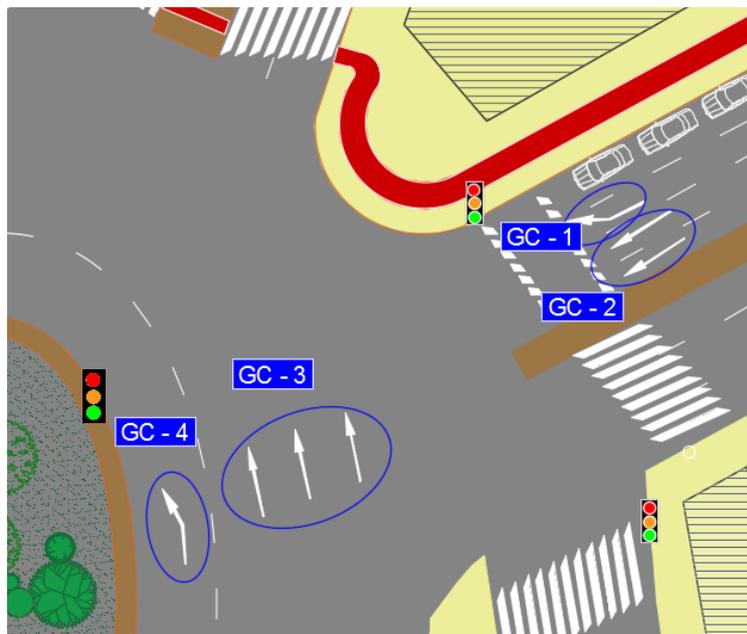


Figura 40. Intersección 3. Glorieta + Paso inferior

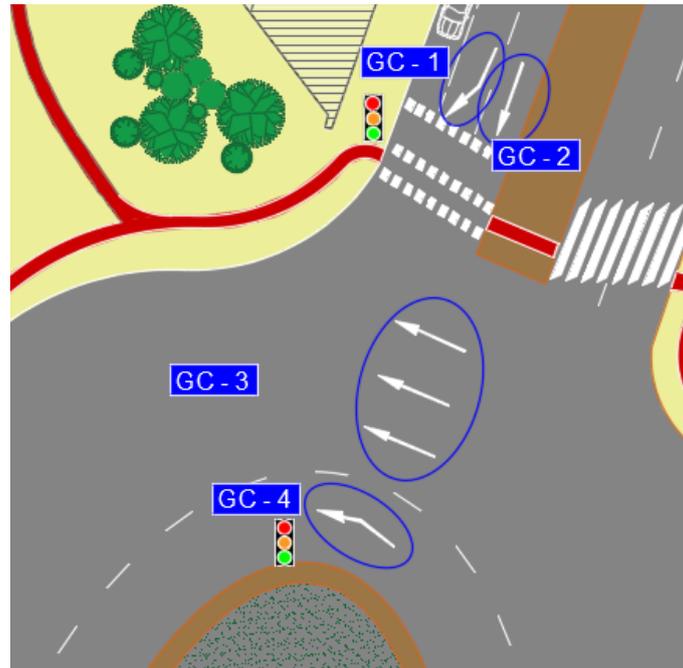


Figura 41. Intersección 4. Glorieta + Paso inferior

A continuación se muestran los volúmenes vehiculares que se darían en estas condiciones:

Intersección 1		
	Veh/h	Veh. Pesados
GC1	76	2
GC2	178	3
GC3	35	1
GC4	93	3

Tabla 53. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 1.

Intersección 2		
	Veh/h	Veh. Pesados
GC1	73	2
GC2	47	1
GC3	176	2
GC4	93	3

Tabla 54. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 2.

Intersección 3		
	Veh/h	Veh. Pesados
GC1	88	3
GC2	50	1
GC3	158	2
GC4	89	2

Tabla 55. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 3.



	Intersección 4	
	Veh/h	Veh. Pesados
GC1	54	1
GC2	36	2
GC3	160	3
GC4	77	3

Tabla 56. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 4.

Como se ha comentado en apartados anteriores, una vez obtenidos los cambios en los volúmenes, se analiza la propuesta elegida con la metodología del HCM 2010. En primer lugar, se muestra las intensidades de saturación.

	Intersección 1			
	GC1	GC2	GC3	GC4
Intensidad de saturación (s)	702,338504	1693,06931	1693,06931	1581,13731

Tabla 57. Intensidad de saturación para el grupo de carriles de la Intersección 1.

	Intersección 2			
	GC1	GC2	GC3	GC4
Intensidad de saturación (s)	1141,87613	1693,06931	1693,06931	1581,13731

Tabla 58. Intensidad de saturación para el grupo de carriles de la Intersección 2.

	Intersección 3			
	GC1	GC2	GC3	GC4
Intensidad de saturación (s)	1056,7014	1693,06931	1693,06931	1596,63866

Tabla 59. Intensidad de saturación para el grupo de carriles de la Intersección 3.

	Intersección 4			
	GC1	GC2	GC3	GC4
Intensidad de saturación (s)	1124,84846	1660,19417	1693,06931	1581,13731

Tabla 60. Intensidad de saturación para el grupo de carriles de la Intersección 4.

A continuación se procede a determinar la capacidad y la proporción volumen-capacidad, en las cuales se notaran los cambios introducidos.



Intersección 1				
	GC1	GC2	GC3	GC4
N	1,000	3,000	2	1
s	702,339	1693,069	1693,069	1581,137
g	45,000	45,000	50	50
C	120,000	120,000	120	120
g/C	0,375	0,375	0,417	0,417
Capacidad	263,377	1904,703	1410,891	658,807

Tabla 61. Capacidad obtenida en la intersección 1.

Intersección 2				
	GC1	GC2	GC3	GC4
N	1,000	2,000	3	1
s	1141,876	1693,069	1693,069	1581,137
g	50,000	50,000	30	30
C	120,000	120,000	120	120
g/C	0,417	0,417	0,250	0,25
Capacidad	475,782	1410,891	1269,802	395,284

Tabla 62. Capacidad obtenida en la intersección 2.

Intersección 3				
	GC1	GC2	GC3	GC4
N	1,000	2,000	2	1
s	1056,701	1693,069	1693,069	1596,639
g	45,000	45,000	40	40
C	120,000	120,000	120	120
g/C	0,375	0,375	0,333	0,33
Capacidad	396,263	1269,802	1128,713	532,213

Tabla 63. Capacidad obtenida en la intersección 3.

Intersección 4				
	GC1	GC2	GC3	GC4
N	1,000	1,000	3	1
s	1124,848	1660,194	1693,069	1581,137
g	50,000	50,000	30	30
C	120,000	120,000	120	120
g/C	0,417	0,417	0,250	0,25
Capacidad	468,687	691,748	1269,802	395,284

Tabla 64. Capacidad obtenida en la intersección 4.



Siguiendo la misma metodología explicada con anterioridad, una vez calculado la capacidad se procede al cálculo de la proporción volumen-capacidad de cada grupo de carriles. Para ello, se utiliza la siguiente ecuación, utilizada con anterioridad:

$$X = \frac{v}{c}$$

Intersección 1				
	GC1	GC2	GC3	GC4
Capacidad	263,377	1904,703	1410,891	658,807
Vi (Veh/h)	76,000	176,000	35,000	93,000
X	0,289	0,092	0,025	0,141

Tabla 65. Proporción de volumen-capacidad en la intersección 1.

Intersección 2				
	GC1	GC2	GC3	GC4
Capacidad	475,782	1410,891	1269,802	395,284
Vi (Veh/h)	73,000	47,000	176,000	93,00
X	0,153	0,033	0,139	0,235

Tabla 66. Proporción de volumen-capacidad en la intersección 2.

Intersección 3				
	GC1	GC2	GC3	GC4
Capacidad	396,263	1269,802	1128,713	532,213
Vi (Veh/h)	88,000	50,000	158,000	89,00
X	0,222	0,039	0,140	0,167

Tabla 67. Proporción de volumen-capacidad en la intersección 3.

Intersección 4				
	GC1	GC2	GC3	GC4
Capacidad	468,687	691,748	1269,802	395,284
Vi (Veh/h)	54,000	36,000	160,000	77,00
X	0,115	0,052	0,126	0,195

Tabla 68. Proporción de volumen-capacidad en la intersección 4.

Continuando con el procedimiento definido en el manual HCM 2010, se calcula la demora según la formulación descrita.

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3$$



Intersección 1				
	GC1	GC2	GC3	GC4
d1	26,281	24,279	20,630	21,693
PF	0,802	0,802	0,764	0,764
d2	2,597	0,096	0,032	0,445
Demora	23,674	19,568	15,800	17,024

Tabla 69. Demora Intersección 1.

Intersección 2				
	GC1	GC2	GC3	GC4
d1	21,811	20,704	34,961	35,859
PF	0,764	0,764	0,89	0,89
d2	0,676	0,044	0,227	1,356
Demora	17,346	15,868	31,343	33,271

Tabla 70. Demora Intersección 2.

Intersección 3				
	GC1	GC2	GC3	GC4
d1	25,567	23,789	27,972	28,241
PF	0,802	0,802	0,835	0,835
d2	1,259	0,058	0,258	0,669
Demora	21,763	19,137	23,615	24,250

Tabla 71. Demora Intersección 3.

Intersección 4				
	GC1	GC2	GC3	GC4
d1	21,446	20,869	34,848	35,478
PF	0,76428571	0,76428571	0,89	0,89
d2	0,495	0,142	0,203	1,075
Demora	16,886	16,092	31,218	32,650

Tabla 72. Demora Intersección 4.

Y en último lugar se obtiene el nivel de servicio:

Intersección 1				
	GC1	GC2	GC3	GC4
Demora	23,674	19,568	15,800	17,024
NS	C	B	B	B

Tabla 73. Nivel de servicio de la intersección 1.



Intersección 2				
	GC1	GC2	GC3	GC4
Demora	17,346	15,868	31,343	33,271
NS	B	B	C	C

Tabla 74. Nivel de servicio de la intersección 2.

Intersección 3				
	GC1	GC2	GC3	GC4
Demora	21,763	19,137	23,615	24,250
NS	C	B	C	C

Tabla 75. Nivel de servicio de la intersección 3.

Intersección 3				
	GC1	GC2	GC3	GC4
Demora	16,886	16,092	31,218	32,650
NS	B	B	C	C

Tabla 76. Nivel de servicio de la intersección 4.

Tras haber determinado los niveles de servicio de la intersección semaforizada con las nuevas actuaciones se presenta un cuadro comparativo de las demoras y niveles de servicio entre la intersección actual, la implementación de las propuestas 1,2 y 3 y la ejecución del paso inferior y la glorieta.



• Cuadro comparativo

	Intersección Actual		Propuesta 1,2 y 3		Paso inferior + Glorieta	
	Demora (s/veh)	Nivel de Servicio	Demora (s/veh)	Nivel de	Demora (s/veh)	Nivel de Servicio
Intersección 1						
GC1	23,450	C	23,450	C	23,674	C
GC2	43,079	D	38,134	D	19,568	B
GC3	34,259	C	32,833	C	15,8	B
GC4	-	-	-	-	17,024	B
Intersección 2						
GC1	43,524	D	39,163	D	17,346	B
GC2	44,57	D	38,891	D	15,868	B
GC3	22,929	C	21,038	C	31,343	C
GC4	23,443	C	23,443	C	33,271	C
Intersección 3						
GC1	8,103	A	8,103	A	21,763	C
GC2	12,443	B	12,443	B	19,137	B
GC3	44,57	D	38,892	D	23,615	C
GC4	31,846	C	31,367	C	24,25	C
Intersección 4						
GC1	42,694	D	42,694	D	16,886	B
GC2	37,365	D	35,002	C	16,092	B
GC3	12,443	B	12,443	B	31,218	C
GC4	-	-	-	-	32,65	C

Tabla 77. Cuadro comparativo de demoras y niveles de servicio entre la intersección modificada y la existente.

8.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el cuadro mostrado se puede destacar que tras aplicar las modificaciones propuestas, se produce una mejora en las demoras, y por tanto, en el nivel de servicio de cada intersección.

8.3.1 Alternativa 1, 2 y 3.

Como se comentó en apartados anteriores, la metodología que se define en el HCM 2010, no analiza correctamente los grupos de carriles que realizan movimientos a la izquierda en fase rojo, por lo que el nivel de servicio en dichos carriles no se acerca del todo a la realidad. Por lo tanto, se propone un análisis alternativo que estudie el almacenamiento para evaluar las intersecciones más conflictivas.

Las modificaciones afectan directamente a todos los grupos de carriles causantes del bloqueo en las intersecciones, es decir, en la intersección 2 los grupos de carriles “GC1”, “GC2” y “GC3” y en la intersección 4 los grupos de carriles “GC2” y “GC3”, ya que reduce el volumen de vehículos.



Los datos de entrada para el análisis de almacenamiento serán los mismo que los utilizados previamente, tomando como vehículo estándar un vehículo con una longitud de 5 metros y una anchura de 2 metros. Se adopta también una distancia entre vehículos de 1 metro.

Intersección 2

En esta intersección, los grupos de carriles “GC1”, “GC2” y “GC3” presentan una duración de ciclo de 120 segundos con un tiempo efectivo de 30 segundos. En total se había mostrado que eran 28 vehículos en el caso más desfavorable.

Estos vehículos proceden en su mayoría del vial secundario del Av. Pío XII, de la C/ Vall de la Ballestera y de la Avenida Campanar.

Las modificaciones aplicadas afectan a todos los carriles, pero el objetivo de este análisis es que los giros a izquierdas se vean reducidos.

En la tabla siguiente se muestra la dirección de los grupos de carriles y el volumen aproximado de vehículos que albergan durante el ciclo.

GC1	Av. Pío XII	-	4 veh	-
GC2, GC3	Giro a izquierdas	Av. Campanar 60%	25 veh	40% reducción
		Vial Secundario		
		C/ Vall de la Ballestera		

Tabla 78. Reparto de los vehículos en los carriles GC1, GC2 y GC3 de la intersección 2.

Ahora bien, tras las modificaciones aplicadas, en las que se eliminan los vehículos procedentes de la Avenida Campanar y del vial secundario, se tiene una reducción aproximada del 40% de los vehículos que circulan por los grupos de carriles “GC2” y “GC3”. Aunque no se pueda garantizar, que los vehículos del vial secundario sigan la nueva propuesta, se adopta que 9 de cada 22 vehículos sí que utilizará las modificaciones. Por tanto un total de 13 vehículos serán los que accederán a la intersección.

Como se planteó en apartados anteriores, si el total de vehículos que realizaban el movimiento a la izquierda era superior a 13, la intersección se vería saturada, y por tanto, se llegaría al atasco. Sin embargo, con la propuesta elegida, el número de vehículos se ha reducido a 13, por debajo del número de vehículos que conllevan atasco.

Además cabe destacar, que al no proceder los vehículos de la Avenida Campanar, el resto tendrán más carriles para distribuirse de una forma más homogénea.



Intersección 4

En esta intersección, los grupos de carriles “GC2” y “GC3” presentan una duración de ciclo de 120 segundos con un tiempo efectivo de verde de 30 segundos. Como se mencionó previamente, durante el tiempo efectivo de verde, el total de vehículos que circulan por los carriles “GC2” y “GC3” es de 25 vehículos en el caso más desfavorable, lo que provoca la congestión de la zona.

GC1	Av. Pío XII	-	13 veh	-
GC2, GC3	Giro a izquierdas	Av. Campanar	25 veh	40% reducción
		C/Joaquín Ballester		

Tabla 79. Reparto de los vehículos en los carriles GC1, GC2 y GC3 de la intersección 4.

Los vehículos que producen el giro a izquierdas en la zona de conflicto proceden principalmente de la Avenida Campanar y de la Calle Joaquín Ballester, distribuyéndose aproximadamente en un 40% y 60% respectivamente.

Si se aplica la medida propuesta, el número de conductores procedentes de la Avenida Campanar se reduciría drásticamente. Por lo que con esta información, se podría afirmar que de los 25 vehículos totales que realizan el giro a izquierdas, se pasaría a tener un volumen de 15 vehículos.

Así nos encontramos ante un flujo menor a 18 vehículos que producirían el problema de almacenamiento en la zona de estudio.

Por lo tanto, de los análisis mostrados se puede esquematizar lo siguiente:

1. Los niveles de servicio obtenidos con el HCM 2010 determinan que todas las intersecciones se encuentran entre un nivel de servicio de B, C y D, siendo mayoritario el nivel de servicio C. Esta variabilidad nos lleva a pensar que la intersección no presenta grandes demoras en general.
2. Al realizar un análisis distinto al planteado en el HCM 2010, concretamente, el análisis del almacenamiento de vehículos que se produce durante un ciclo en los carriles de cada intersección, el nivel de servicio que presentan los grupos de carriles GC2 y GC3 de las intersecciones 2 y 4 difiere del hallado mediante el HCM 2010. En base a este análisis, en estas intersecciones se producen congestiones en las horas punta dificultando el movimiento de seguir recto de algunos vehículos.
3. La propuesta elegida para solucionar los problemas mencionados es la implementación de las alternativas 1, 2 y 3, en las que se reduce un 25 % el volumen de vehículos que acceden a la intersección. Además se impide que los vehículos procedentes del vial secundario de la Avenida Pío XII queden bloqueados en la intersección 2.



8.3.2 Alternativa Paso inferior y glorieta

En esta propuesta se reduce en un 62% el número de vehículos que circulan por la intersección. Como se ha mencionado, esta propuesta modifica el diseño completo de la intersección dando lugar a una glorieta y a un paso inferior. De esta manera se pretende que los carriles con mayor demanda no crucen la intersección y se disminuye el número de ramales que convergen en la misma.

Ante esta situación es factible la ejecución de una glorieta ya que:

- La importancia de los tramos que acceden a la intersección es similar, teniendo intensidades de tráfico compensadas.
- Se ha disminuido el número de ramales que interceden en la zona objeto de estudio.

Tras haber estudiado este nuevo diseño se ha obtenido una capacidad suficiente y unos buenos niveles de servicio los cuales no producirían apenas demora a los conductores.



9. CONCLUSIONES

- La determinación de los niveles de servicio de determinados grupos de carriles de las intersecciones de estudio no es precisa calcularla mediante la metodología definida en el HCM 2010. Esto se debe, a que uno de los factores para el ajuste de la intensidad de saturación no puede analizarse correctamente, ya que el caso concreto de estos grupos de carriles no viene contemplado para poder analizarlo.

Se trata del factor de ajuste por giros a la izquierda. Dicho factor, contempla una serie de casos especiales para realizar su cálculo, pero en las intersecciones que nos encontramos, cuando los vehículos realizan el giro a la izquierda y se encuentran con una fase en rojo no se contempla.

Por lo tanto, se ha de utilizar un procedimiento distinto, que sea más fiable y se acerque más a la realidad. Este procedimiento consiste en analizar el almacenamiento de vehículos que se llega a producir durante un ciclo en estos carriles y si estos producen una congestión tal que dificultan el movimiento de seguir en recto de los restantes vehículos.

- Se presenta una dificultad a la hora de identificar los grupos de movimientos y los grupos de carriles. Es debido a que los vehículos no se ciñen a las marcas viales que se representan en los carriles, sino que presentan un comportamiento diferente. Por este motivo, se debe observar dichos comportamientos y no obedecer únicamente a lo indicado en dicha señalización.
- Las intersecciones presentan unos niveles de servicios variados, teniendo las intersecciones 1 y 3 garantizan unas buenas condiciones de tráfico y seguridad vial. Por otro lado las intersecciones 2 y 4 presentan un nivel de servicio que en determinadas horas punta producen congestión.
- Se proponen dos alternativas posibles para reducir la congestión existente en la intersección. La propuesta que engloba las alternativas 1,2 y 3 disminuye la demanda de vehículos en las intersecciones 2 y 4, las más conflictivas y donde se ocasiona bloqueo a los conductores. Esta propuesta plantea la modificación de la dirección de la Avenida Campanar, el desvío del vial secundario de la Avenida Pío XII en su tramo norte y la ejecución de una señal horizontal en el vial de la intersección 2. La segunda alternativa se basa en la ejecución de un paso inferior en la Avenida Pío XII y la ejecución de una glorieta.



- Tras hallar los niveles de servicio, se concluye que la alternativa que engloba las opciones 1, 2 y 3, disminuye la situación del bloqueo sin la necesidad de altos costes de ejecución ni perjudicar gravemente el tránsito de los conductores por la intersección. Por otro lado, la segunda alternativa resuelve completamente los conflictos de demora y atascos, si bien, requiere de la ejecución de un paso inferior y la construcción de una glorieta lo cual incrementa en gran medida los costes y supondría un inconveniente para los usuarios.
- Se propone que se plantee una consulta ciudadana, siendo ésta un instrumento de participación promovido por la Concejalía de Participación Ciudadana del Ayuntamiento de Valencia, para conocer la opinión de las vecinas y vecinos de la ciudad y que ese elija la más apoyada.
- Por último concluir que las modificaciones del manual HCM 2010, respecto al HCM 200, interfieren en las intersecciones semaforizadas, ya que producen variaciones en los resultados obtenidos en la intensidad de saturación, concretamente el factor de ajuste por giro a la izquierda. Dichos puntos son los que afectan a los resultados de capacidad y por tanto al nivel de servicio. Así pues los cálculos no representan una alta relación con lo que ocurre en la realidad.

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A través de las conclusiones obtenidas se puede prever las posibles líneas de investigación. El principal objetivo en un futuro debería ser el estudio sobre los distintos caso que podemos encontrar en los giros a la izquierda en una intersección semaforizada, y con ello, obtener una formulación eficaz para cada caso que facilite la determinación del factor de ajuste de giro a la izquierda; ya que en el manual HCM 2010, no se contemplan todos los casos posibles de las intersecciones semaforizadas.



10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Transportation Research Board (2000), *Highway Capacity Manual 2000*, National Research Council, Washington D.C.
- [2] Transportation Research Board (2010), *Highway Capacity Manual 2010*, National Research Council, Washington D.C.
- [3] Luttinen, R., y Nevala, R (2002), *Capacity and Level of Service of Finnish Signalized Intersections*, Finnra Repots 25/2002.
- [4] Bared, J., Edara, P. *Simulated Capacity of Roundabouts and Impact or Roundabout Within a Progressed signalized Road*. Transportation Research Board, National Research Council, 2010.
- [5] Galarraga J., M. Herz, L. Albrieu, V. Depiante (2001): *El Manual de Capacidad 200 y la estimación de capacidad y nivel de servicio en intersecciones semaforizadas para condiciones argentinas*. XIII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, C1-180, Buenos Aires.
- [6] Hummer, J.E (1998). *Unconventional left-turn alternatives for urban and suburban arterials – part one*. ITE Journal (Institute of Transportation Engineers).
- [7] Wang, X., y Abdel-Aty, M (2008). *Modeling left-turn crash occurrence at signalized intersections by conflicting patterns*. Accident Analysis and Prevention. 40(1). 76-88.
- [8] Bañón Blázquez, L., Beviá García, J.F. Manual de Carreteras. Volumen I: elemento y proyecto Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A, 2000.
- [9] Ministerio de Fomento, *Noma de carreteras 8.2-IC Marcas Viales*, Gobierno de España. Orden de 16 de Julio de 1987.
- [10] Xuan Y., DAganzo, C.F y Cassidy, M.J (2011). Increasing the capacity of signalized intersections with separate left turn phases. *Transportation research Part B: Methodological*.
- [11] American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO.
- [12] Stevens, C. Signals and Meters at Roundabouts. Texas Transportation Institute. Proceedings of the 2005 Mid-Continent Transportation Research Symposium, Aes, Iowa, August, 2005.



Anexos

ANEXO 1. Volumen de peatones y ciclistas en cada tramo y tiempos de cada fase semafórica en la zona de estudio.

MEDICIONES DE AFORO	I.1	I.2	I.3	I.4
Volumen de peatones (Pd/h)	690	-	300	-
Longitud cruce peatonal (m)	17	-	15	-
Ancho paso de peatones (m)	5	-	4	-
Volumen de ciclistas (bc/h)	74	-	70	-

MEDICIONES DE AFORO	Semáforos afectados los cálculos				
	1	3	5	7	3'
Tiempo de ciclo (seg)	120	120	120	120	120
Tiempo efectivo de verde (seg)	30	45	45	70	30
Tiempo mínimo de peatones (seg)	0	65	65	50	0



Semáforos presentes en la Intersección 1 y 4.



Semáforos presentes en la Intersección 2 y 3.



Anexo 2. Ajuste de la intensidad de saturación en la intersección semafórica existente.

INTERSECCIÓN 1.

	Intersección 1		
	GC1	GC2	GC3
So (veh/h/carril)	1900,000	1900,000	1900,000
Fw	1,000	1,000	1,000
Fhv	0,971	0,971	0,990
Fg	1,000	1,000	1,000
Fp	1,000	1,000	1,000
Fbb	0,999	1,000	1,000
Fa	0,900	0,900	0,900
Flu	1,000	1,000	1,000
FLT	1,000	1,000	0,952
FRT	1,000	1,000	1,000
FLpb	1,000	1,000	1,000
Apbt	1,000	1,000	1,000
OCCr	1,000	1,000	1,000
FRpb	1,000	1,000	1,000
Apbt	1,000	1,000	1,000
OCCr	1,000	1,000	1,000
Intensidad de saturación (s)	1658,534	1660,194	1612,447



INTERSECCIÓN 2.

	Intersección 2			
	GC1	GC2	GC3	GC4
So (veh/h/carril)	1900,000	1900,000	1900,000	1900,000
Fw	1,000	1,000	1,000	1,000
Fhv	0,990	0,971	0,990	0,971
Fg	1,000	1,000	1,000	1,000
Fp	1,000	1,000	1,000	1,000
Fbb	1,000	1,000	1,000	1,000
Fa	0,900	0,900	0,900	0,900
Flu	1,000	1,000	1,000	1,000
FLT	1,000	0,952	1,000	1,000
FRT	1,000	1,000	0,847	1,000
FLpb	1,000	1,000	1,000	1,000
Apbt	1,000	1,000	1,000	1,000
OCCr	1,000	1,000	1,000	1,000
FRpb	0,494	1,000	1,000	1,000
Apbt	0,494	1,000	1,000	1,000
OCCr	0,843	1,000	1,000	1,000
Intensidad de saturación (s)	836,965	1581,137	1434,804	1660,194

Peatones	
Vpedg	690
C	120
gped	50
Vpedg	1656
OCCped,g	0,828

Ciclistas	
Vbic	74
C	120
g	50
Vbicg	177,6
OCCbic,g	0,086

OCCr	0,843
ApbT	0,494



INTERSECCIÓN 3.

	Intersección 3			
	GC1	GC2	GC3	GC4
So (veh/h/carril)	1900,000	1900,000	1900,000	1900,000
Fw	1,000	1,000	1,000	1,000
Fhv	0,943	0,962	0,971	0,990
Fg	1,000	1,000	1,000	1,000
Fp	1,000	1,000	1,000	1,000
Fbb	1,000	1,000	1,000	1,000
Fa	0,900	0,900	0,900	0,900
Flu	1,000	1,000	1,000	1,000
FLT	1,000	1,000	1,000	0,952
FRT	0,847	1,000	1,000	1,000
FLpb	1,000	1,000	1,000	1,000
Apbt	1,000	1,000	1,000	1,000
OCCr	1,000	1,000	1,000	1,000
FRpb	1,000	1,000	1,000	1,000
Apbt	1,000	1,000	1,000	1,000
OCCr	1,000	1,000	1,000	1,000
Intensidad de saturación (s)	1367,125	1644,231	1581,137	1434,804



INTERSECCIÓN 4.

	Intersección 4		
	GC1	GC2	GC3
So (veh/h/carril)	1900,000	1900,000	1900,000
Fw	1,000	1,000	1,000
Fhv	0,990	0,971	0,962
Fg	1,000	1,000	1,000
Fp	1,000	1,000	1,000
Fbb	1,000	1,000	1,000
Fa	0,900	0,900	0,900
Flu	1,000	1,000	1,000
FLT	1,000	1,000	1,000
FRT	0,847	1,000	1,000
FLpb	1,000	1,000	1,000
Apbt	1,000	1,000	1,000
OCCr	1,000	1,000	1,000
FRpb	0,756	1,000	1,000
Apbt	0,756	1,000	1,000
OCCr	0,407	1,000	1,000
Intensidad de saturación (s)	1084,483	1660,194	1644,231

Peatones	
Vped	300
C	120
gped	65
Vpedg	553,846
OCCped,g	0,277

Ciclistas	
Vbic	60
C	120
g	50
Vbicg	144
OCCbic,g	0,0733

OCCr	0,407
ApbT	0,756



Anexo 3. Ajuste de la intensidad de saturación en la glorieta sobre paso inferior.

INTERSECCIÓN 1

	Intersección 1			
	GC1	GC2	GC3	GC4
(veh/h/car)	1900,000	1900,000	1900,000	1900,000
Fw	1,000	1,000	1,000	1,000
Fhv	0,980	0,990	0,990	0,971
Fg	1,000	1,000	1,000	1,000
Fp	1,000	1,000	1,000	1,000
Fbb	1,000	1,000	1,000	1,000
Fa	0,900	0,900	0,900	0,900
Flu	1,000	1,000	1,000	1,000
FLT	1,000	1,000	1,000	0,952
FRT	0,847	1,000	1,000	1,000
FLpb	1,000	1,000	1,000	1,000
Apbt	1,000	1,000	1,000	1,000
OCCr	1,000	1,000	1,000	1,000
FRpb	0,494	1,000	1,000	1,000
Apbt	0,494	1,000	1,000	1,000
OCCr	0,843	1,000	1,000	1,000
ad de satur	702,339	1693,069	1693,069	1581,137

Peatones	
Vped	690
C	120
gped	50
Vpedg	1656
OCCped,g	0,828

Ciclistas	
Vbic	74
C	120
g	50
Vbicg	177,6
OCCbic,g	0,086
OCCr	0,843
ApbT	0,494



INTERSECCIÓN 2

	Intersección 2			
	GC1	GC2	GC3	GC4
Q (veh/h/carril)	1900,000	1900,000	1900,000	1900,000
Fw	1,000	1,000	1,000	1,000
Fhv	0,980	0,990	0,990	0,971
Fg	1,000	1,000	1,000	1,000
Fp	1,000	1,000	1,000	1,000
Fbb	1,000	1,000	1,000	1,000
Fa	0,900	0,900	0,900	0,900
Flu	1,000	1,000	1,000	1,000
FLT	1,000	1,000	1,000	0,952
FRT	0,847	1,000	1,000	1,000
FLpb	1,000	1,000	1,000	1,000
Apbt	1,000	1,000	1,000	1,000
OCCr	1,000	1,000	1,000	1,000
FRpb	0,804	1,000	1,000	1,000
Apbt	0,804	1,000	1,000	1,000
OCCr	0,327	1,000	1,000	1,000
Ad de saturación	1141,876	1693,069	1693,069	1581,137

Peatones	
Vped	220
C	120
gped	50
Vpedg	528
OCCped,g	0,264

Ciclistas	
Vbic	74
C	120
g	50
Vbicg	177,6
OCCbic,g	0,085777778

OCCr	0,327
ApbT	0,804



INTERSECCIÓN 3

	Intersección 3			
	GC1	GC2	GC3	GC4
o (veh/h/carri)	1900,000	1900,000	1900,000	1900,000
Fw	1,000	1,000	1,000	1,000
Fhv	0,971	0,990	0,990	0,980
Fg	1,000	1,000	1,000	1,000
Fp	1,000	1,000	1,000	1,000
Fbb	1,000	1,000	1,000	1,000
Fa	0,900	0,900	0,900	0,900
Flu	1,000	1,000	1,000	1,000
FLT	1,000	1,000	1,000	0,952
FRT	0,847	1,000	1,000	1,000
FLpb	1,000	1,000	1,000	1,000
Apbt	1,000	1,000	1,000	1,000
OCCr	1,000	1,000	1,000	1,000
FRpb	0,751	1,000	1,000	1,000
Apbt	0,751	1,000	1,000	1,000
OCCr	0,415	1,000	1,000	1,000
dad de satura	1056,701	1693,069	1693,069	1596,639

Peatones	
Vped	300
C	120
gped	50
Vpedg	720
OCCped,g	0,360

Ciclistas	
Vbic	74
C	120
g	50
Vbicg	177,6
OCCbic,g	0,086

OCCr	0,415
ApbT	0,751



INTERSECCIÓN 4

	Intersección 4			
	GC1	GC2	GC3	GC4
Capacidad (veh/h/carril)	1900,000	1900,000	1900,000	1900,000
Fw	1,000	1,000	1,000	1,000
Fhv	0,990	0,971	0,990	0,971
Fg	1,000	1,000	1,000	1,000
Fp	1,000	1,000	1,000	1,000
Fbb	1,000	1,000	1,000	1,000
Fa	0,900	0,900	0,900	0,900
Flu	1,000	1,000	1,000	1,000
FLT	1,000	1,000	1,000	0,952
FRT	0,847	1,000	1,000	1,000
FLpb	1,000	1,000	1,000	1,000
Apbt	1,000	1,000	1,000	1,000
OCCr	1,000	1,000	1,000	1,000
FRpb	0,784	1,000	1,000	1,000
Apbt	0,784	1,000	1,000	1,000
OCCr	0,360	1,000	1,000	1,000
Capacidad de saturación	1124,848	1660,194	1693,069	1581,137

Peatones	
Vped	250
C	120
gped	50
Vpedg	600
OCCped,g	0,300

Ciclistas	
Vbic	74
C	120
g	50
Vbicg	177,6
OCCbic,g	0,086

OCCr	0,360
ApbT	0,784