



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

CANALES Y PUERTOS

Estudio y mejora de la funcionalidad de la intersección semaforizada de Av. Juan XXIII con la Av. Hermanos Machado en la ciudad de Valencia.

TRABAJO DE FIN DE MASTER

MÁSTER EN TRANSPORTE, TERRITORIO Y URBANISMO

Autor: Esteban Montelongo Morales

Curso: 2018/2019

Fecha: Septiembre 2019

Tutor: Javier Soriano Ferriol

Contenido

1. Antecedentes	10
2. Introducción	11
2.1. Glorietas	11
2.2. Intersecciones semaforizadas	12
Conflictividad en intersecciones semaforizadas	14
3. Objeto del estudio	15
4. Estado del arte	16
4.1. Semáforos	16
4.2. Tipos de movimientos	19
4.3. Capacidad de las intersecciones semaforizadas	20
4.3.1. Concepto	20
4.3.2. Factores	20
4.4. Nivel de servicio	24
4.5. Método de determinación de la capacidad y nivel de servicio en una intersección semaforizada	
26	
1. Determinación del grupo de movimientos y grupo de carriles	27
2. Determinación de la intensidad por grupo de movimientos	28
3. Determinación de la intensidad por grupo de carriles	28
4. Determinación del ajuste de la intensidad de saturación	29
5. Determinación de la duración de fase de semáforo	36
6. Determinación de la capacidad y la proporción volumen-capacidad	37
7. Determinación de la demora	38

8.	Determinación del Nivel de Servicio	41
5.	Caracterización de la intersección semaforizada	43
5.1.	Características de la intersección semaforizada	43
5.1.1.	Características del tramo	43
5.1.2.	Caracterización del transporte urbano	47
5.1.3.	Caracterización de la intersección semaforizada	48
5.2.	Toma de información	48
5.2.1.	Volumen y composición vehicular.....	49
5.2.2.	Volúmenes peatones y ciclistas.....	51
5.3.	Problemática de la intersección semaforizada de Av. Hermanos Machado y Av. Joan XXIII....	51
6.	Análisis de la capacidad con el HCM 2010 de la intersección semaforizada en Av. Hermanos Machado y Av. Joan XXIII	52
6.1.	Parámetros de entrada.....	52
6.2.	Desarrollo de la metodología del HCM 2010.....	53
1.	Determinación del grupo de movimientos y grupo de carriles	53
2.	Determinación de la intensidad por grupo de carriles	54
3.	Determinación del ajuste de la intensidad de saturación	54
4.	Determinación de la duración de fases de semáforo.....	54
5.	Determinación de la capacidad y proporción volumen-capacidad	55
6.	Determinación de la demora	56
7.	Determinación del Nivel de Servicio.....	58
6.3.	Intersección semaforizada entre la Avenida Hermanos Machado y Camino Moncada.....	59
6.3.1.	Determinación de los datos iniciales para el cálculo de la capacidad y nivel de servicio	60

6.3.2.	Determinación de la intensidad de saturación.....	63
6.3.3.	Determinación de la capacidad y proporción volumen-capacidad.....	63
6.3.4.	Determinación de la demora	64
6.3.5.	Comprobación de la afección aguas arriba de la intersección semaforizada de la Avenida Hermanos Machado y Camino Moncada.	66
7.	Presentación y elección de propuestas	69
7.1.	Introducción.....	69
7.2.	Eliminación de semáforo, mejora de la coordinación semafórica, aprovechamiento del carril bus-taxi y puesta en servicio de semáforos actuacodos en Camino Moncada	70
7.3.	Paso inferior.....	73
	Paso inferior entre Avenida Hermanos Machado	73
	Paso inferior entre Avenida Hermanos Machado y Avenida Joan XXIII.....	74
7.4.	Mejora de la movilidad y sostenibilidad del transporte.....	75
7.5.	Análisis y selección de las propuestas descritas	76
8.	Análisis de la capacidad de la propuesta elegida	78
1.	Determinación de la intensidad por grupo de movimientos	78
2.	Determinación de la intensidad por grupo de carriles	79
3.	Determinación del ajuste de la intensidad de saturación	79
4.	Determinación de la duración de fases de semáforo.....	79
5.	Determinación de la capacidad y proporción volumen-capacidad	80
6.	Determinación de la demora	80
7.	Determinación del nivel de servicio	81

8. Comparativa de los resultados. Intersección semaforizada en la actualidad y tras la ejecución de las propuestas.....	82
9. Resultados	89
10. Conclusiones	91
Futuras líneas de investigación	92
Bibliografía	94
Anexo I: Volumen de peatones y ciclistas	96
Intersección semaforizada entre Av. Hermanos Machado y Av. Joan XXIII.....	96
Intersección semaforizada entre Av. Hermanos Machado y Camino Moncada	97
Anexo II: Tiempo semafórico	98
Intersección semaforizada entre Av. Hermanos Machado y Av. Joan XXIII.....	98
Intersección semaforizada entre Av. Hermanos Machado y Camino Moncada	99
Anexo III: Cálculos del nivel de servicio de la intersección semaforizada entre la Av. Hermanos Machado y la Av. Joan XXIII.....	100
Anexo IV: Cálculo del nivel de servicio de la intersección semaforizada entre la Av. Hermanos Machado y Camino Moncada.	102
Anexo V: Cálculo de los niveles de servicio de la intersección semaforizada entre la Av. Hermanos Machado y la Av. Joan XXIII tras la propuesta.....	104

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Tipo de glorietas doble. (Fuente: Recomendaciones sobre Glorietas. MOPU 1989).	12
Ilustración 2: Tipos de giro en una intersección. (Fuente: elaboración propia).	19
Ilustración 3: Grupo de carriles para el análisis. (Fuente: HCM 2010).	28
Ilustración 4: Localización de la intersección en estudio. (Fuente: Google Map).	43
Ilustración 5 Existencia de semáforos en la intersección en estudio. (Fuente: IDEE GVA).	44
Ilustración 6: Distintas vistas de la Avenida Hermanos Machado. (Fuente: Google Map)s.	45
Ilustración 7: Distintas vistas de la Avenida Joan XXIII. (Fuente: Google Maps).	46
Ilustración 8; Líneas de autobuses cerca de la zona de estudio. (Fuente: EMT Valencia.)	47
Ilustración 9: Movimientos. (Fuente: IDEE GVA).	48
Ilustración 10: Vista aérea desde la cámara de tráfico. A la izquierda, visual hacia la Av. Hermanos Machado. A la derecha, visual hacia la Av. Joan XXIII. (Fuente: Centro de Control de Tráfico).	49
Ilustración 11: Grupo de carriles y grupo de movimientos en la intersección entre Hermanos Machado y Joan XXIII. (Fuente: Google Maps).	53
Ilustración 12: Existencia de cola inicial. (Fuente: elaboración propia)	57
Ilustración 13: Niveles de servicio en la actualidad. (Fuente: elaboración propia)	58
Ilustración 14: Situación de la intersección Calle Moncada. (Fuente: IDEE GVA).	60
Ilustración 15: Grupo de carriles y grupo de movimientos. (Fuente: Google Maps).	61
Ilustración 16: Ubicación de los pasos de peatones. En horizontal, paso de peatones de “Camino Moncada Salida”. En vertical, paso de peatones “Hermanos Machado”. (Fuente: elaboración propia)	62
Ilustración 17: Representación gráfica de los valores del factor de ajuste de progresión. (Fuente: elaboración propia).	65
Ilustración 18: Proyección del factor de ajuste de progresión basada en los valores del HCM 2010. (Fuente: elaboración propia).	65

Ilustración 19:Distancia entre ambas intersecciones. (Fuente: Google Earth).	67
Ilustración 20: Representación del estacionamiento de vehículos que no son capaces de pasar en verde. (Fuente:elaboración propia)	70
Ilustración 21:Aprovechamiento del carril bus-taxi y eliminación de la mediana. (Fuente: Google Maps)	71
Ilustración 22:Existencia de mediana separadora y carril bus-taxi. (Fuente: IDEE GVA).....	72
Ilustración 23:Eliminación del semáforo y existencia de los otros semáforos. (Fuente: IDEE GVA).	72
Ilustración 24:En azul, la entrada del paso inferior. En rojo, la salida del paso inferior.(Fuente: IDEE GVA).....	73
Ilustración 25:Valores de la IMD en la CV-30.(Fuente: Generalitat Valenciana).....	74
Ilustración 26:En azul, la entrada del paso inferior. En rojo, la salida del paso inferior.(Fuente: IDEE GVA).....	74
Ilustración 27;Inversión estimada de las distintas actuaciones del PMUS de Valencia.(Fuente: Ayuntamiento de Valencia.).....	75
Ilustración 28:Valores del PF coordinado (Fuente: elaboración propia)..	93

Índice de tablas

Tabla 1: Recomendaciones de implementación de semáforos en intersecciones semaforizadas.(Fuente: Rojas,2011).	17
Tabla 2: Niveles de servicio en intersecciones reguladas por semáforos.(Fuente: Deducida de la tabla 18-5 del HCM 2010)	25
Tabla 3: Valores factor de ajuste por ancho de carril. (Fuente: HCM 2010).	30
Tabla 4: Valores para el factr de ajuste de progresión PF. (Fuente: HCM 2010).	39
Tabla 5:Parámetros de entrada.(Fuente:elaboración propia)	52
Tabla 6: Intensidad de saturación de los grupo de carriles. (Fuente: elaboración propia).	54
Tabla 7:Valores de la capacidad del grupo de carriles de la intersección en estudio.(Fuente: elaboración propia).	55
Tabla 8:Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección en estudio. (Fuente: elaboración propia).	55
Tabla 9:Cálculo de demoras por grupo de carriles. (Fuente: elaboración propia).	57
Tabla 10:Niveles de servicio para intersecciones semaforizadas según HCM 2010.(Fuente: HCM 2010).	58
Tabla 11Grupo de carriles de la intersección semaforizada entre Avenida Hermanos Machado y Camino Moncada. (Fuente: elaboración propia).	61
Tabla 12:Flujo de peatones y ciclistas en la intersección entre la Avenida Hermanos Machado y Camino Moncada. (Fuente: elaboración propia.)	62
Tabla 13:Duración del ciclo de semáforos de la intersección semaforizada entre la Avenida Hermanos Machado y Camino Moncada. (Fuente: IDEE GVA)	62
Tabla 14: Intensidad de saturación de los grupos de carriles de la intersección semaforizada entre la Av. Hermanos Machado y Camino Moncada. (Fuente: elaboración propia).	63
Tabla 15:Capacidad y proporción volumen-capacidad de la intersección semaforizada entre Av. Hermanos Machado y Camino Moncada. (Fuente: elaboración propia)	63

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

Tabla 16:Factor por ajuste de progresión. (Fuente: deducido del HCM 2010)	64
Tabla 17:Nivel de servicio del grupo de carriles de la intersección semaforizada entre Av. Hermanos Machado y Joan XXIII. (Fuente: elaboración propia).	66
Tabla 18:Intensidad de saturación tras la propuesta de la intersección en estudio. (Fuente: elaboración propia)	79
Tabla 19: Capacidad del grupo de carriles de la intersección en estudio. (Fuente: elaboración propia). ...	80
Tabla 20:Proporción volumen-capacidad del grupo de carriles de la intersección en estudio. (Fuente: elaboración propia).....	80
Tabla 21:Demoras del grupo de carriles de la intersección en estudio. (Fuente: elaboración propia).....	81
Tabla 22:Nivel de servicio de los grupos de carriles de la intersección en estudio tras la propuesta (Fuente:elaboración propia)	81
Tabla 23:Comparativa intensidad de saturación de la intersección semaforizada en estudio. Comparación entre la actualidad y tras las propuestas escogidas. (Fuente: elaboración propia.).....	83
Tabla 24:Comparativa ciclo semafórico. Comparativa actualidad y tras la propuesta.(Fuente: elaboración propia)	85
Tabla 25:Comparativa entre capacidad y proporción volumen-capacidad. (Fuente:elaboración propia.)....	86
Tabla 26:Comparativa demoras media. (Fuente: elaboración propia.)	87
Tabla 27:Comparativa niveles de servicio de la intersección en estudio.(Fuente:elaboración propia)	88

1. Antecedentes

El presente estudio se presenta como Trabajo Final de Máster, realizado por el alumno Esteban Montelongo Morales, siendo tutelado por Javier Soriano Ferriol, Profesor del Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.

El siguiente Trabajo Final de Máster tiene por título “Estudio y mejora de la capacidad y funcionalidad de la intersección semaforizada de Av. Juan XXIII y Av. Hermanos Machado mediante la aplicación del Highway Capacity Manual 2010.”

Finalmente, el actual Trabajo Final de Máster se engloba dentro del tipo II, dado su definición como estudio de investigación.

2. Introducción

El presente Trabajo Final de Máster tiene por estudio la intersección semaforizada de la Avenida Hermanos Machado con Juan XXIII.

Una intersección semaforizada es aquella que está regulada permanentemente o mayoritariamente mediante sistema de luces que establecen las prioridades de paso por la intersección. (Madrid, 2000)

Dichas intersecciones tienen por objeto principal la disminución de la congestión vial, con la mejora de la seguridad vial de los usuarios e, incluso promover y mejorar el uso de otros medios de transporte propios de las ciudades, ya sea a través de otros transportes públicos o el fomento del uso de la bicicleta, la apuesta por los peatones, etc.

Más concretamente, las intersecciones semaforizadas son interesantes en el ámbito urbano, pues tiene unas reglas de circulación que las hace universales y fáciles de entender para los distintos usuarios que se ven afectados por la misma, encontrando una premisa básica en todas ellas: la selección de la jerarquización de la misma, es decir, a qué vial se le va a dar la prioridad, ya sea a la circulación anular, o por el contrario, a todas o algunas de las entradas con sistemas de prioridad.

2.1. Glorietas

Las glorietas o intersección giratoria se basan en la circulación de todos los vehículos por una calzada anular, canalizando los diferentes vehículos en un único sentido de la circulación y donde confluyen dos o más vías. Las trayectorias de los vehículos convergen y divergen, de modo que nunca llegan a cruzarse.

Esta característica propia de las glorietas se basa en el funcionamiento de las mismas, donde la prioridad de paso es fundamental para su correcto funcionamiento, donde los vehículos de la calza anular tienen prioridad sobre los vehículos que pretenden entrar en ella. Es la característica de la prioridad de la calzada anular la que le da la capacidad a este tipo de nudo viario, puesto que aunque parezca contradictorio, los usuarios de la glorieta acceden a la misma en función del “hueco” que vean entre dos vehículos consecutivos, haciendo que la distancia entre una entrada y la salida siguiente, junto con la anchura de la calzada anular, tengan poca relevancia en el funcionamiento de las mismas.

Además de las entradas y salidas propias de una glorieta, existe otro elemento que ayuda a diferenciar las distintas tipos de glorieta: la isleta central. En función de dicha isleta, existen las glorieta normales, las miniglorietas y la glorieta doble, siendo esta última donde se encuentra la intersección semaforizada, estudio del actual Trabajo Final de Máster.

Las glorietas normales son aquellas que tienen numerosas entradas abocinadas y con una isleta central con un diámetro igual o superior a los 4 metros, contando por lo general, con un encintado de bordillos en su exterior y estando a la misma cota que la calzada anular. Por el contrario, las miniglorietas son inferiores a los 4 metros de diámetro y pueden estar o no con encintado de bordillos y teniendo una rasante superior a la de la calzada anular.

Por otro lado, se encuentran las glorietas dobles, siendo una intersección compuesta por dos glorietas normales o miniglorietas, contiguas o conectadas por un tramo de unión o por una isleta alargada materializada por un bordillo. (MOPU, 1989). Este tipo de intersecciones son especiales para unir dos vías paralelas separadas por un obstáculo; para acondicionar intersecciones existentes separando giros a la izquierda opuestos con una ordenación “indonesia”; en intersecciones asimétricas o de planta muy desviada; y en glorietas normales congestionadas.

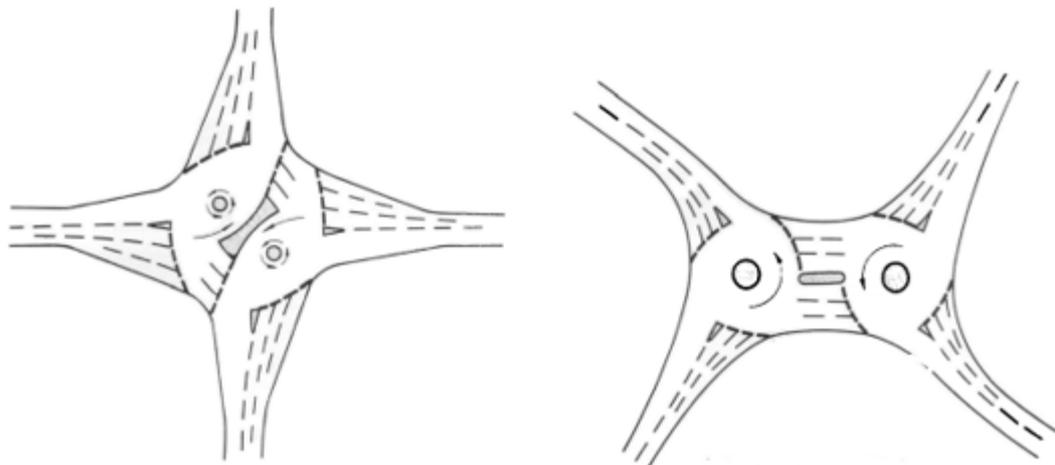


Ilustración 1: Tipo de glorietas doble. (Fuente: Recomendaciones sobre Glorietas. MOPU 1989).

2.2. Intersecciones semaforizadas

Como se ha mencionado con anterioridad, las intersecciones semaforizadas pueden ser una herramienta muy eficaz para la mejora de la seguridad o para reducir la congestión, siendo de gran interés en las zonas urbanas.

Son en estas zonas donde se producen los mayores conflictos entre los distintos usuarios de las vías, donde ya no sólo existe el alto número de vehículos privados, sino donde ya entran en juego distintos tipos de usuarios, desde los viandantes hasta otros modos de transporte, tal y como son tranvías, cercanías, autobuses, etc.

Al añadir este conjunto de usuarios a un punto de por sí conflictivo, se ve la importancia que tiene la regulación y semaforización en estas zonas. Junto con el conjunto de usuario de las intersecciones

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

semaforizadas, cabe destacar uno de los grandes factores que inciden en estos puntos de conflicto: las maniobras de los conductores.

Dichas maniobras pueden generar rutas o trayectorias no previstas en los distintos movimientos direccionales que se dan dentro de una intersección, siendo muy habitual en los distintos tipos de intersecciones que no se encuentran semaforizadas.

Estos movimientos poco predecibles por parte de los conductores se debe a que cada conductor tiene que encontrar el momento adecuado y preciso, en función de su conducta, experiencia, etc., para poder ejecutar así su movimiento deseado, es decir, su tiempo de reacción y decisión.

Es necesario mencionar que las intersecciones semaforizadas están diseñadas de modo que su regulación se vea afectada por los semáforos, siendo los responsables la alternancia de los movimientos en diferentes sentidos dentro de la propia intersección.

Es por ello, que utilizando o diseñando intersecciones semaforizadas, se reducen los conflictos propios de estos nudos viarios, a través de la reducción de dichos puntos conflictivos o separándolos mediante la semaforización.

Es aquí como las intersecciones semaforizadas separan con respecto al tiempo los movimientos de cruces por medio de ciclos de espera para la luz verde. (Ding, 2010)

Estos movimientos que regulan los semáforos obedecen a distintos factores como son la cantidad y distribución del tráfico, la composición del tráfico, diseño geométrico de la propia intersección, etc., siendo la intensidad del tráfico, el relevante para acometer una semaforización en una intersección.

La intensidad de tráfico para que se recomiende el paso a una intersección semaforizada está en torno a los 300 vehículos por hora en las vías confluyentes o una intensidad de tráfico superior a los 500 vehículos en la calzada principal y 100 en la secundaria. (Gerencia Municipal de Urbanismo, 2000).

Sin embargo, este tipo de nudo puede llegar a sufrir periodos pico y valle, en función de la distribución del tráfico de la propia zona. Además, este tipo de problemas se ven reforzadas en una única dirección, cuando el flujo vehicular responde a las necesidades de transporte de los usuarios, ya sea por la operación salida o entrada a las horas punta de las ciudades. Este flujo de gran relevancia en comparación con el resto de entradas o salidas a la intersección, crean un desequilibrio en la propia regulación de la intersección.

La elección de semaforizar este tipo de nudo es la reducción de la problemática generada por las altas cargas de tráfico que se dan en las ciudades, junto con la existencia de un abundante flujo peatonal.

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

A pesar de las distintas ventajas que puede tener este tipo de intersecciones, se ha asegurado que el sistema cumple adecuadamente con su función, estableciendo una regulación adecuada, pues puede crearse demoras injustificadas, incrementos de accidentes, pérdidas de tiempos, etc. Este es el caso de la intersección en estudio, pues padece de una mala regulación conllevando problemas de congestión en ciertas franjas horarias.

Conflictividad en intersecciones semaforizadas

En las intersecciones semaforizadas, como en el resto de elementos viarios, su capacidad dependen de numeros factores, como es el diseño geométrico de la propia intersección, el comportamiento de los conductores, interacción con otros usuarios (peatones, ciclistas, transporte público), y las propias características del tráfico (horas punta o valle, tipología de vehículos, etc).

Además, dentro de la conducción existen una serie de interacciones con todos los elementos constituyentes de la vía, donde tanto la propia infraestructura como el vehículos tienen dimensiones limitadas, siendo la existencia de un conductor el que determina el propio comportamiento del vehículo, encontrando así numerosos conflictos que se derivan del propio comportamiento humano (conducta y características físicas), diferenciando tres tipos de conflictos según la teoría de flujo vehicular:

- Conflictos concurrenciales: Son aquellos producidos entre vehículos que circulan por la misma vía e igual sentido pero con distintas velocidades.
- Conflictos direccionales: Se producen cuando la trayectoria de dos vehículos se cruzan, ya sea en la misma vía o en vías diferentes, siendo una de las principales causas los giros a izquierda.
- Conflictos funcionales: Este tipo de conflicto ocurren cuando dos vehículos hacen uso de la misma vía de forma opuesta, es decir, movimiento de un vehículo y reposo de otro vehículo.

Dentro de los conflictos direccionales, cada vez se opta más por reducir los giros a izquierda y reduciendo el número de fases en las intersecciones. Con esto se consigue que no llegue a saturarse la intersección y se aumente así su capacidad y su nivel de servicio.

En el caso de este estudio, la intersección semaforizada corresponde a una glorieta semaforizada, y más exactamente a una glorieta doble. Es por ello, que se ha considerado como una intersección de calzada circular con regulación semafórica permanente.

3. Objeto del estudio

El actual estudio tiene por objeto el análisis de la capacidad de una intersección semaforizada mediante la aplicación del Highway Capacity Manual , del año 2010, para poder obtener así unos resultados con los que poder dar una mejor y mayor respuesta a los problemas de capacidad y funcionalidad que se dan en la intersección de la Av. Juan XXIII con la Av. Hermanos Machado.

Las distintas alternativas que se proponen en el actual estudio, están basadas en la recopilación de información clave para el estudio de la capacidad de dicha intersección. Este proceso se basa en obtener todos aquellos factores que se consideran necesarios en la aplicación del HCM 2010 a través de métodos analíticos descritos en el manual anteriormente mencionado. (Transportatio Research Board, 2010)

Además, para poder analizar los distintos factores y variables que se tienen en cuenta en el procedimiento del cálculo de la capacidad, es necesario caracterizar la intersección en estudio, de modo que toda aquella información relevante quede plasmada y siguiendo pautas y recomendaciones escritas por la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte. (AASHTO, s.f.)

Junto con la información de la intersección semaforizada y la metodología a emplear, también se describirán cómo se han tomado los datos para las obtención de los distintos cálculos para finalmente, una vez estudiados los valores obtenidos, proyectar la mejor solución posible en la intersección semaforizada a través de un estudio comparativo de las mismas que busque la reducción de las demoras y el aumento de la seguridad vial.

4. Estado del arte

La actual intersección semaforizada que se estudia en el presente proyecto, se presenta dentro de las glorietas dobles que se han definido con anterioridad.

Este tipo de intersecciones cuentan con la peculiaridad de que se encuentran semaforizadas, regulando así las prioridades de paso en las intersecciones que se ubican en esta glorieta, ya sea de forma permanente o mediante semáforos.

Estos dispositivos son los que se encargan de regular los distintos tiempos que se dan dentro de una intersección semaforizada para evitar o reducir lo máximo posible los distintos conflictos que puedan generarse en todos aquellos movimientos que estén permitidos dentro de la propia intersección. El objetivo fundamental es dar la mayor capacidad a este nudo viario, de manera que se de el mejor nivel de servicio y se reduzcan las posibles congestiones ocasionadas, y más en horas pico.

4.1. Semáforos

Los semáforos son sistemas de control que se utilizan para advertir, regular o guiar el tráfico en calles y carreteras, con el fin de reducir los tiempos de demora, disminuir la gravedad de los puntos de conflicto, etc.

Estos dispositivos se basan en una serie de acciones que repercuten directamente sobre la vía, de modo que el estudio de su plan de fases, el tiempo en verde y la duración de los distintos ciclos, son de vital importancia para hacer que la semaforización de este tipo de intersecciones tengan el mejor resultado posible.

Por otro lado, no siempre es recomendable establecer un semáforo, puesto que un mal uso del mismo puede generar gastos injustificados, reacciones desfavorables de los usuarios, demoras injustificadas, entre otros. Es por eso, que se tienen que dar una serie de requisitos para el establecimiento de un semáforo, mostrando a continuación una serie de valores representativos (Rojas, 2011)

- En función del volumen de vehículos:

Se analizan el número de vías o calles que existen en la intersección junto con el número de vehículos por hora en las mismas, tanto de la vía principal como de la segunda calle con mayor número de vehículos que quieran acceder.

Nº de carriles de circulación por acceso en ambos accesos		Vehículos/ hora en la vía principal	Vehículos/hora en el acceso de mayor volumen de la vía secundaria
Vía principal	Vía secundaria		
1	1	500	150
2 o más	1	600	150
2 o más	2 o más	600	200
2 o más	2 o más	500	200

Tabla 1: Recomendaciones de implementación de semáforos en intersecciones semaforizadas. (Fuente: Rojas, 2011).

- En función del volumen mínimo de peatones:

Para establecerse este criterio, se debe corroborar que se cumple durante cada una de ocho horas de un día representativo en la calle principal los siguientes valores:

- o Si entran 60 vehículos o más a la intersección o más de 1000 si acceden por la vía principal.
- o Si durante las 8 horas, cruzan 50 peatones o más por hora en el cruce de mayor volumen correspondiente a la vía principal.

Estos valores peatonales son interesantes para las posibles soluciones y alternativas con el fin de mejorar la capacidad de la intersección en estudio. Además, junto con el estudio del número de peatones en la zona, se han de estudiar las distintas operaciones, siendo su definición la siguiente:

- Ciclo: Es el tiempo necesario para una secuencia completa de las distintas indicaciones de señal de un semáforo, es decir, los tiempos totales que está el semáforo en ámbar, verde y rojo.
- Intervalo: Período en el que las distintas divisiones del ciclo son iguales, es decir, la señal del semáforo no cambia.
- Fase: Tiempo en el que no hay cambio de color en el semáforo.
- Intervalo de despeje o tiempo entre verdes: Tiempo entre el final de la luz verde de una fase y el inicio del verde de la siguiente fase.
- Intervalo todo rojo: Tiempo transcurrido en el que no se permite la circulación, algún movimiento específico o un grupo de movimientos.

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

- Desfase (offset): Sincronización de semáforos entre el inicio de la fase verde en una intersección y el inicio en verde de la siguiente intersección.

Definidos ya los distintos conceptos básicos en cuestión semafórica, cabe destacar que el HCM 2010 establece dos tipos de operaciones de control de los semáforos: el control prefijado o el control actuado o accionado.

El control prefijado establece una secuencia fija de las distintas fases de un semáforo, repitiéndose las mismas en un orden ya establecido. Su duración ya está predefinida pero con la salvedad de que la fase semafórica en verde en ciertos días puntuales o en ciertos momentos de interés, puede ser cambiada para mejorar así la fluidez del tráfico. Esta operación ha de ser estudiada y aplicada específicamente a cada intersección, pues cada una de ellas tiene unas características propias junto con las características del entorno que la hacen singular (horas punta de entrada y salida en las horas de trabajo, eventos deportivos, manifestaciones, etc).

El control actuado o accionado tiene la ventaja de definir o presentar cada fase en función del propio tráfico y de sus movimientos, el cual recibe la información a través de un detector. La peculiaridad de este control es que la fase semafórica en verde puede variar en función de los intereses del tráfico, siendo descrito de tres maneras diferentes:

- Semáforos actuados: Este tipo de semáforos tienen la peculiaridad de que las fases del semáforo no son fijas, es decir, varían todas ellas en función del detector y de las características del tráfico en un momento determinado. No existe un ciclo fijo por lo que la duración del ciclo y de los tiempos en verde son variables.
- Semáforos semiactuados: En este tipo de control se le da prioridad a los mayores movimientos producidos en la intersección, de modo que aquellos flujos con mayores movimientos estén operados mediante fases no actuadas. Cuando por las calles o vías secundarias se produzcan mayores movimientos o un aumento del flujo vehicular, se le dará paso a estas calles, siempre respetando la prioridad y la constancia de la fase verde de la vía principal, y teniendo por ende un control no asociado a un ciclo constante, sino dependiente de las fluctuaciones del tráfico, y que a su vez influye en la secuencia y duración de las fases.
- Semáforos coordinados-actuados: El control de este tipo de semáforos son parecidos al anterior y asocia la fase coordinada con los movimientos menores en la intersección donde se encuentran ubicados.

4.2. Tipos de movimientos

A la hora de diseñar y calcular la capacidad de una intersección semaforizada, hay que tener en cuenta, no solo se debe tener en cuenta el tiempo asignado a la fase en verde, sino que cobra especial importancia la disposición de los movimientos de giro dentro de cada una de las fases de la intersección semaforizada.

Es por ello, que hay que destacar los siguientes tipos de movimientos que se pueden dar dentro de este tipo de nudos viarios:

- Giros de paso: En este tipo de movimientos, el vehículo que se incorpora a la intersección continúa con su movimiento inicial, de modo que atraviesa dicha intersección sin generar mayores conflictos.
- Giros permitidos: Una vez el vehículo se incorpora a la intersección, éste debe atravesar una corriente o flujo vehicular en sentido contrario, como es el ejemplo de los giros a izquierda que están permitidos; o, por el contrario, los giros a derecha, donde el vehículo tiene que cruzar un flujo peatonal. Ambos movimientos implicar un mayor tiempo en verde para poder atravesar dichos flujos vehiculares o peatonales.
- Giros protegidos: Al igual que en el caso anterior, los vehículos atraviesan un flujo vehicular en sentido opuesto o peatonal. La diferencia reside en que en este tipo de movimientos, el vehículo tiene total libertad para atravesar el flujo, ya sea mediante fases exclusivas para ellos, en los giros a izquierda; a existencia de una flecha en verde adicional en los semáforos; o una prohibición de cruce en los pasos de peatones para aquellos vehículos que realizan un giro a derecha.
- Giros sin oposición: En este tipo de movimientos no hace falta una regulación específica para proteger a los vehículos pues la propia geometría o característica de la intersección impide que existan conflictos con el resto de flujos vehiculares. Ejemplo de ello son intersecciones en T operadas con fases independientes para cada dirección o para calles o vías de un único sentido de circulación.

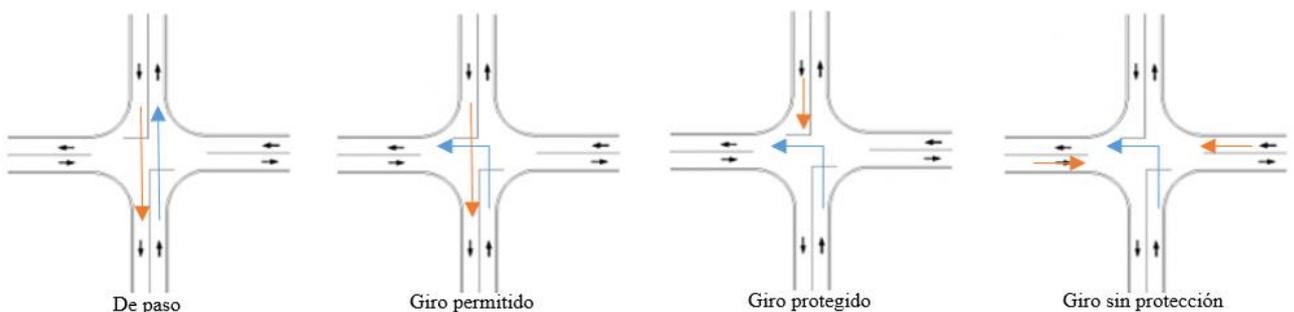


Ilustración 2: Tipos de giro en una intersección. (Fuente: elaboración propia).

Por otro lado, cada uno de estos movimientos generan una serie de conflictos dentro de cada intersección, generando los conocidos puntos de conflicto. Este tipo de puntos son el resultado de los cruces de los distintos flujos vehiculares, ocasionando el riesgo de accidentes en las intersecciones.

Los diferentes conflictos que se dan dependen del número de accesos, los movimientos de giro permitidos y el tipo de control de tránsito. En función de los distintos tipos de movimiento generados dentro de la intersección, se generan diferentes maniobras, de modo que hay puntos de convergencia (dos trayectorias se unen en para dar una en común), maniobras de divergencia (dos trayectorias se separan para dar dos independientes), y las maniobras de cruce (dos trayectorias ocupan el mismo lugar).

Como consecuencia de estos puntos de conflicto, se han de estudiar diferentes soluciones, de modo que si se pretende solucionar conflictos del tipo de convergencia y divergencia, se ha de buscar que los puntos de conflicto tengan bajo un ángulo reducido o igualar las velocidades. Por otro lado, si el conflicto es por los cruces, se puede optar por reducir los tiempos de las maniobras o por adoptar una ordenación de la circulación, mediante el establecimiento de una prioridad fija, semáforos, cruces a distinto nivel, etc.

4.3.Capacidad de las intersecciones semaforizadas

4.3.1. Concepto

La capacidad de una intersección semaforizada se define como número máximo de vehículos que pueden cruzarla durante un periodo de tiempo determinado, bajo los condicionantes propios de la misma: tipos de conflictos existentes, regulación de ellos, características del flujo vehicular y las características del tramo de vía y los factores ambientales.

El cálculo de la capacidad de uan intersección o de cualquier tipo de vía tiene por objeto determinar, de manera cuantitativa, el grado de eficiencia de una infraestructura viaria, en relación con el flujo vehicular. Hallados dichos parámetros, y en función del grado de capacidad y por ende, el nivel de servicio, se podrá optar por soluciones basadas en valores cuantitativos y añadirle calidad en función de los niveles de servicio preestablecidos.

4.3.2. Factores

A la hora de calcular la capacidad de una intersección, el Highway Capacity Model establece una serie de factores que se tienen que tener en cuenta para poder hallar así la capacidad de la vía. Estos factores son determinantes en el comportamiento de la intersección, encontrando tan variados como factores de tipo geométrico o en función de la circunstancia exacta de cada intersección, como puede ser el número de peatones, maniobras de los vehículos, etc.

Factores relacionados con la geometría de la vía

Los factores que están relacionados con la geometría de la vía, siendo en este caso, la geometría de la intersección, son de gran importancia para el estudio de la capacidad. En especial, corre gran importancia el ancho de la calle y el entorno de la misma, pues no solo depende del propio ancho del carril, sino de la disposición de las marcas viales, la existencia o no de isletas centrales, etc.

Además, cabe destacar que no solo hay que centrarse en las propias características de la vía, pues la capacidad viene influenciada por el entorno de la misma, de modo que la velocidad de proyecto, el despeje lateral, el número de carriles, la inclinación de la rasante, entre otros, afectan de modo directo en la capacidad. Por otro lado, también hay que estudiar el entorno cercano de este tipo de vías, pues la existencia o no de espacio suficiente para la espera en los tiempos en rojos determinará la capacidad de la misma.

Seguidamente, cabe mencionar que también hay que estudiar el número real de filas que se genera dentro de una intersección, pues está comprobado que la delimitación de carriles dentro de una intersección o glorieta no implica que los propios usuarios vayan a respetar dichas marcas viales. Es por ello, que hay que estudiar el número de filas que se generan en la realidad para ver así el número de vehículos dentro de ese tipo de intersección, y más en horas punta, donde la afluencia de vehículos es mayor en comparación con otros momentos del día.

Factores relacionados con el tráfico

Junto con los factores geométricos de la vía, los relacionados con la composición del tráfico son de gran importancia, pues la IMD_P (Intensidad Media Diaria de Pesados) influye en la capacidad de la intersección. Esto es debido a que por la propia morfología de los vehículos pesados, reduce el espacio existente debido a su mayor volumen con comparación con el resto de vehículos y a su velocidad más reducida, disminuyendo así la posibilidad de accesos a la intersección de los otros usuarios a de la vía.

A su vez, cabe destacar el radio de giro de los vehículos pesados, desarrollando un mayor recorrido y por ende disminuyendo la capacidad de la intersección. Cabe destacar, que en las intersecciones urbanas, el paso de vehículos pesados se reduce a franjas horarias nocturnas, donde no suelen darse casos de problemas relacionados con la capacidad.

Sin embargo, cabe mencionar un tipo de vehículo pesado que se da con bastante abundancia en entornos urbanos: el transporte público, y en especial, los autobuses. Estos vehículos tienen una gran repercusión en la capacidad de las intersecciones pues el comportamiento de las mismas y la existencia

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

de paradas de autobuses cercana a la intersección, modifican la capacidad debido a la subida y bajadas de los usuarios que utilizan este tipo de transporte público.

Factores relacionados con la maniobra de giro

Dentro de toda intersección semaforizada, todo conductor tiene una serie de maniobras posibles para realizar su recorrido. Esta decisión se complica cuando, en función del tipo de intersección semaforizada, el conductor desea realizar giros a derecha o izquierda. Además, la distinta regulación de los semáforos existentes, mejoraran o reducirán la capacidad de la intersección.

Además, al realizar los giros permitidos en las intersecciones, se tiene que tener en cuenta la prioridad que se tiene en los paso de peatones, pues esta circunstancia reduce la posibilidad de salida de los vehículos de la intersección, y por ende, reduciendo su capacidad. Es por ello, que hay que estudiar detenidamente las distintas trayectorias o movimientos que se dan dentro de una intersección semaforizada y decidir proteger ciertos giros para dotar a los vehículos de una fase exclusiva , dando así una clara situación de salida de los mismos.

Factores relacionados con el estacionamiento

A la hora de estudiar los factores que afectan a la capacidad de uan intersección, es importante comprobar la existencia de zonas colindantes a la intersección donde los vehículos puedan parar, detenerse o estacionarse. Esto es debido que los mismos reducen el ancho eficaz de los accesos a la intersección y la fluidez de la circulación, disminuyendo así su capacidad.

Como solución, es adecuado destinar zonas de aparcamiento cercana a los accesos y salidas de las intersecciones, pues está comprobado que se reducen los tiempos de maniobra de estacionamiento o por parada y dando así mejoras en la circulación y fluidez de las intersecciones.

Factor relacionado cn la hora punta

Toda vía de circulación sufre los comportamientos de tipo hora punta, donde la mayoría de la población concentra su movimiento en ciertas horas del día (horas próximas a la entrada de la jornada laboral o salida, horarios de entrada y salida de los colegios, eventos deportivos o de ocio, etc).

Estas horas punta son decisivas en el estudio de la capacidad de una intersección, pues así se refleja en el método que se utiliza para calcular la capacidad de una intersección semaforizada. Este modelo, desarrollado en el Highway Capacity Manual 2010 está basado en el factor de hora punta (FHP),

el cual es el resultado del “cociente entre la intensidad de la hora punta y cuatro veces la intensidad de los quince minutos más cargados.”

$$FHP = \frac{I_{60}}{4 \cdot I_{15}}$$

Por otro lado, según el Highway Capacity Manual, el factor de hora punta es de aplicación cuando se afore, dentro de intersecciones, la intensidad de la hora punta (IHP) y no la máxima de los 15 minutos más cargados (I_{15}), dado los criterios recogidos en dicho manual para el cálculo de los niveles de servicios en intersecciones.

Como valores estándar, el HCM establece en zonas urbanas, un factor de hora punta comprendido entre 0,75 y 0,90, siendo el valor más habitual para el cálculo de la capacidad en intersecciones semaforizadas de 0,85.

Factor relacionado con la situación de la intersección

La situación de la intersección en estudio dentro de la ciudad es de importancia pues influye en la fluidez del tráfico, dado que en no todas las zonas de la ciudad son iguales a efectos del tráfico. Es por ello que se pueden distinguir cuatro grandes zonas que influenciarán la capacidad de la intersección:

- Zona centro de la ciudad: En esta zona de la ciudad, la característica principal es la alta demanda de estacionamiento y la alta rotación. Además, la actividad comercial y mercantil, junto con la de negocios, son las grandes actividades que se desarrollan en esta área, dando lugar a un gran número de viandantes y a una frecuencia de vehículos de carga y descarga elevada.
- Zona intermedia: El área intermedia se encuentra contigua a la zona centro de la ciudad. Se caracteriza por ser una zona de no origen ni destino, siendo esta zona el área comprendida entre la periferia y el centro de la ciudad. Con ello, la actividad mercantil y comercial coexiste con áreas residenciales de alta densidad donde el número de peatones es moderado.
- Zona de centro periférico: Posee características similares a la zona centro de la ciudad pero de menor intensidad, siendo la diferencia con el mismo en el comportamiento del tráfico (coexisten un tráfico de paso con el propio de esta área.)
- Zona residencial: Esta zona se caracteriza por tener un uso residencial mayoritario, donde la densidad de peatones es reducida y la rotación y estacionamiento de vehículos es baja en comparación con el resto.

4.4. Nivel de servicio

Se puede definir el nivel de servicio como una medida o determinación del funcionamiento o calidad de operación de una carretera, la cual depende de numerosos factores, tales como tiempo de trayecto, velocidad de operación, demoras en el tráfico, maniobras permitidas, seguridad, etc. Este término indica, en función de las condiciones de tráfico, los diferentes horizontes que puede tener un carril o una calzada con distintas intensidad de tráfico. Como resultado, se selecciona de una lista de niveles de servicio, valorados según criterios y cada uno entre unos rangos y en función de valores límites de los factores que llegan a influenciar en el correcto funcionamiento de una carretera. (Ministerio de Obras Públicas, 1968)

De los factores anteriormente mencionados, cabe destacar que se distinguen dos grandes grupos: los internos, tales como la velocidad, composición del tráfico o el volumen de tráfico; y por otro lado, los factores externos, como pueden ser la inclinación de la rasante, el ancho de los carriles, etc.

Por otro lado, el volumen de tráfico correspondiente a los factores internos, ayuda a entender el comportamiento vehicular dentro de toda vía, en especial en una intersección, pero no es suficiente para valorar la capacidad de una vía y mucho menos el funcionamiento de la misma.

Es por ello, que el Transportation Research Board de los Estados Unidos de América ha desarrollado el Highway Capacity Manual (HCM), donde define los niveles de servicio en función de numerosos parámetros que pueden medirse y reflejen el comportamiento o naturaleza de la circulación de cualquier tipo de vía.

En dicho manual se establecen seis niveles de servicio, los cuales van desde la A hasta la F, siendo el nivel de servicio A el más óptimo y el F el más desfavorable para la circulación, siendo continua en el primer caso y nula en el último. Estos niveles de servicio varían en función del tramo en estudio, donde los cálculos son diferentes para glorietas, tramos de trenzado, autopistas, carreteras convencionales o en intersecciones.

Para intersecciones semaforizadas, el cálculo de los niveles de servicio está basado en el tiempo medio de demoras. La demora en intersecciones se define, dentro del HCM, como la suma de un conjunto de demoras, siendo la definición como la diferencia entre el tiempo de viaje experimentado y un tiempo de viaje referencial, obtenido de la operación en condiciones base de tráfico, geometría, etc. (Fuenzalida, 2012). Entre ese conjunto de demoras, se distinguen:

- Demora por tráfico: Producida por la interacción entre los usuarios de la vía, de modo que se reduce la velocidad del flujo libre.

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

- Demora por control: Resultado de comparar las intersección en ausencia de cualquier tipo de control.
- Demora por incidentes: Tiempo de más debido a la existencia de algún incidente en la zona de la intersección.
- Demora geométrica: Debido a las propias características geométricas de la intersección, la cual reduce la velocidad de los vehículos.

Como consecuencia de estas demoras, se pueden obtener diferentes niveles de servicio dentro de las intersecciones semaforizadas, de modo que los tres primeros niveles (A,B y C) indican condiciones de tráfico estables, dado que los vehículos no tienen grandes demoras en las horas pico. Sin embargo, los niveles D, E y F muestran demoras importante en la circulación y un retroceso en la capacidad de la intersección, llegando hasta el punto final (nivel de servicio F) en el que la demanda vehicular supera a la propia capacidad de la intersección.

Nivel de servicio en intersecciones reguladas por semáforos	
Nivel de servicio	Demora media (s/veh.)
A	≤ 10
B	>10-20
C	>20-30
D	>35-55
E	>55-80
F	>80 Demanda excede la capacidad

Tabla 2: Niveles de servicio en intersecciones reguladas por semáforos.(Fuente: Deducida de la tabla 18-5 del HCM 2010)

4.5. Método de determinación de la capacidad y nivel de servicio en una intersección semaforizada

El nivel óptimo de toda intersección semaforizada se calcula a través del Highway Capacity Manual 2010, y más exactamente en su capítulo de intersecciones semaforizadas (capítulo 18 del volumen 3). En él, se describe la metodología para el cálculo de la capacidad, donde además, se incluye una serie de medidas que describen el funcionamiento de las intersecciones y los viajes múltiples que se pueden dar en la misma. Estas medidas son la base para identificar la problemática que se da en las intersecciones, dando así la información necesaria para crear mejoras.

Por otro lado, cuando hablamos de la metodología empleada en el análisis de la capacidad, en esta metodología se describen tres tipos de análisis distintos, donde encontramos el operacional, siendo éste de aplicación más detallada y con la necesidad de información variada, tal y como son las condiciones geométricas de la intersección, las características del tráfico y la propia señalización presente.

Otra visión del análisis para la determinación de la capacidad es el enfoque desde el diseño, donde también es necesario la información respecto al tráfico, los niveles de servicio, etc, con el fin último de hallar unos valores de capacidad para esas situaciones no previstas en el diseño.

A parte de los dos análisis mencionado anteriormente, cabe mencionar el enfoque de la planificación y de la ingeniería preliminar, siendo necesario información del tipo analista y con valores por defecto suministrado por la manual.

Seguidamente, se ha de estudiar el período de estudio, donde éste se define como el intervalo de tiempo representativo para evaluar la actuación, el cual se compone de uno o varios períodos de análisis consecutivos, es decir, un periodo de análisis es el intervalo de tiempo que se evalúa para una sola aplicación de la metodología descrita.

Esta metodología está basada en la idea de que el tráfico y sus condiciones son iguales durante el período de análisis, y teniendo la consecuencia de que el cambio sistemático en el tiempo es despreciable. Es por ello, que el período de análisis va desde 0,25 hasta 1 hora, no pudiendo alargar dicho período de análisis mucho más de la hora, pues los períodos superiores tienen la problemática de no describir unas condiciones de circulación estable, dado que las mismas varían en largos períodos de tiempo.

Siguiendo con el período de tiempo mínimo de 0,25 horas, cabe destacar que usualmente el número de vehículos para la evaluación de la metodología suelen ser de 15 minutos más cargados del período de estudio. Es por ello, que se describe el factor de hora punta como la relación entre la intensidad horaria de la hora punta y cuatro veces la intensidad del cuarto de hora más cargado de dicha hora punta.

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

Para finalizar, el Highway Capacity Manual 2010 establece, dentro de la metodología para el cálculo de la capacidad y niveles de servicio en intersecciones semaforizadas un orden de los cálculos, necesario para hallar medidas de actuación oportunas. A continuación se describen dichos cálculos:

1. Determinación del grupo de movimientos y grupo de carriles

Para comenzar el análisis de la capacidad de una intersección semaforizada es necesario determinar el grupo de movimientos posibles y el grupo de carriles. El grupo de movimientos es útil para hallar los datos de entrada para los distintos cálculos. El grupo de carriles aporta información y describe los cálculos asociados con la metodología a emplear.

El grupo de movimientos dentro de una intersección se basa en una serie de reglas que se describen a continuación:

- Se describe como grupo de maniobras de giro al conjunto de movimientos permitidos desde uno o varios carriles exclusivos y carriles no compartidos.
- A parte de este grupo de maniobras de giro, existe otro grupo de maniobras que forman parte del conjunto de carriles sin asignación al grupo anterior.

Por otro lado, el grupo de carriles aporta información válida cuando un carril compartido está presente en un enfoque desde dos o más carriles. Para poder determinar el grupo de carriles en una intersección, existen las siguientes premisas:

- Los carriles compartidos deben ser identificados como un grupo de carriles separados.
- Los carriles exclusivos de giro a izquierda son designados como un grupo de carriles separado.
- Los carriles exclusivos de giro a derecha son designados como un grupo de carriles separado.
- Los carriles que no sean carriles de giro exclusivo, tanto a izquierda como a derecha, o carriles compartidos, deben combinarse en un único grupo de carriles.

Estas premisas surgen del resultado de asignar de una o más de las siguientes posibilidades de grupo de carriles en una intersección:

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

- Carril compartido de giro a la derecha, movimiento de frente y giro a la izquierda.

Es por ello que la metodología que se describe en el HCM puede aplicarse a cualquier posible combinación lógica de los grupos de carriles que se han mencionado con anterioridad. Los posibles grupos de movimiento y de carriles más habituales que se usan en el análisis se muestran a continuación:

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

Ilustración 3: Grupo de carriles para el análisis. (Fuente: HCM 2010).

2. Determinación de la intensidad por grupo de movimientos

La intensidad para cada grupo de movimientos ha de ser calculada de modo que si el movimiento de giro es atendido por uno o varios carriles exclusivos o no compartidos, la intensidad de los movimientos se asigna un grupo de movimientos.

Ya sea el giro a la derecha en un carril compartido o en un carril exclusivo, la intensidad de giros a la derecha en rojo son obtenidos de la intensidad de giros a la derecha. Estos giros a derecha cuando el semáforo está en rojo, se determina en campo, de modo que hay que observar previamente la intersección semaforizada en estudio.

3. Determinación de la intensidad por grupo de carriles

A la hora de averiguar la intensidad por grupo de carriles, hay que fijarse en los carriles compartidos, es decir, si no existen carriles compartidos dentro de la intersección o si sólo tiene un carril, la intensidad del grupo por carriles y la intensidad por grupo de movimientos serán iguales, al igual que el grupo de carriles y de movimientos.

Por otro lado, si existen uno o más carriles compartidos dentro de la actuación y dos o más carriles, la intensidad por grupo de carriles recae en el deseo de cada conductor. Esto quiere decir que los propios conductores eligen el carril que reduzca su tiempo de conducción o servicio dentro de la propia intersección. Es aquí donde se utiliza la intensidad de saturación para poder estimar las diferencias relativas en un momento exacto de entre los diferentes carriles existentes.

4. Determinación del ajuste de la intensidad de saturación

Para poder calcular la intensidad de saturación base (s_0) para cada carril de cada grupo, se ha de ajustar la misma a una ecuación, la cual está basada por numerosos factores. Estos factores condicionan a la intensidad de saturación base de modo específico en función de las características propias de cada intersección. Con ello, la siguiente ecuación es utilizada para hallar la intensidad de saturación base en carriles exclusivos con modo protegido sin interacción de ciclistas y/o peatones.

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

Donde,

s_0 = intensidad de saturación base (1900 veh/hora/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)

La intensidad de saturación base muestra el valor medio de intensidad para un tráfico con unas condiciones evaluadas de 1 para cada valor de ajuste. Este valor de ajuste da 1.900 vehículos por hora y por carril.

Factor de ajuste por ancho de carril (f_w)

Este factor tiene en cuenta el impacto que tiene el ancho de carril en la intensidad de saturación, disminuyendo la intensidad de saturación si la intersección cuenta con carriles estrechos, o por el contrario, aumentará la intensidad si la misma cuenta con carriles amplios.

Normalmente, el ancho estándar es de 3,65 metros aproximadamente, dándole el valor único a este factor según el HCM. Por otro lado, si el ancho del carril es superior a los 4,8 metros, se debe analizar como dos carriles de ancho estrecho, implicando siempre una mayor intensidad de saturación que un único carril. Además, si el ancho del carril está por debajo de 2,4 metros, este factor queda relegado y su cálculo es innecesario.

Los valores que se otorgan a este factor quedan recogidos en el HCM, quedando los mismos de la siguiente manera:

Ancho de carril (m)	Factor de ajuste por ancho de carril (f_w)
$\leq 3,0$	0,96
3,0 – 3,92	1
$\geq 3,92$	1,04

Tabla 3: Valores factor de ajuste por ancho de carril. (Fuente: HCM 2010).

Factor de ajuste por vehículos pesados (f_{HV})

Este factor de ajuste por vehículos pesados tiene en cuenta el espacio que ocupan de más este tipo de vehículos, junto con las paradas que acometen en su recorrido en comparación con el resto de vehículos dentro de la intersección:

Su cálculo se averigua a través de la siguiente fórmula:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_{HV} \cdot (E_t - 1)}$$

Donde,

P_{HV} = Porcentaje de vehículos pesados correspondiente a los grupos de movimientos.

E_t = Equivalente en vehículos ligeros por cada vehículos pesados (igual a 2).

Factor de ajuste por inclinación del acceso (f_g)

El factor de ajuste por inclinación del acceso se basa en la inclinación de cualquier operación de los vehículos, donde su fórmula es la siguiente:

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200}$$

donde,

P_g = Efecto de la inclinación para un grupo de movimiento correspondiente (valor en %). Este valor está comprendido entre -6,0% a + 10,0%.

Factor de ajuste por existencia de carril de estacionamiento (f_p)

La existencia de estacionamiento cerca de la intersección en estudio afecta de manera notable al flujo vehicular, tanto en los accesos como en la salida, y los posibles bloqueos existentes. Es por ello, que el factor de ajuste por existencia de estacionamiento tiene en cuenta esa afección el grupo de carriles, siendo de valor 1 en el caso más favorable siempre y cuando no existan aparcamientos. En el caso de presentar aparcamientos, destacar el tiempo medio en las maniobras de aparcamiento, valoradas en 18 segundos. Con ello, el factor de ajuste por carril de estacionamiento se calcula de la siguiente manera:

$$f_p = \frac{N - 0,1 - (18 \cdot \frac{N_m}{3600})}{N} \geq 0,050$$

En donde,

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

N = número de carriles por grupo de carril.

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

Este factor reduce la capacidad de la intersección siempre y cuando existan paradas de autobuses cercana a la zona de estudio, dado que los mismos, al realizar las maniobras de recogida y descarga de pasajeros en la zona aguas arriba o aguas abajo de la intersección, ralentizan el flujo de los vehículos. Esta afección de autobuses se tiene que distanciar hasta unos 75 metros de la intersección en busca de alguna parada de autobus.

Para poder hallar dicho factor, se tiene la siguiente ecuación:

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{14,4 \cdot N_b}{3600}}{N} \geq 0,050$$

Donde,

N= número de carriles en un grupo de carriles.

N_b = número de paradas (autobuses/hora) en 75 metros aguas arriba o aguas abajo, con un límite máximo de 250 autobuses/hora. En el caso de superar este número, se ajusta el mismo a un límite práctico, asumiendo un tiempo medio de bloqueo de 14,4 segundo durante la fase en verde.

Factor de ajuste por tipo de área (f_a)

El factor de ajuste por tipo de área se basa en la idea de la problemática generada en intersecciones que se den en zonas comerciales, donde la congestión general por el tipo de entorno de estas zonas complican la circulación de los vehículos en comparación con otro tipo de zonas. En general, si la intersección se encuentra en una zona comercial, el valor de dicho factor es equivalente a 0,90.

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

Este factor estima la intensidad de saturación para un grupo de carriles con más de un carril exclusivo, dando como valor, para grupo de carriles compartidos o un carril exclusivo, el valor de la unidad (1).

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

El factor de ajuste por giros a la izquierda en un grupo de carriles muestra la geometría de la intersección y su efecto dentro de la intensidad de saturación, hallándose el mismo a través de la siguiente ecuación:

$$f_{LT} = \frac{1}{E_L}$$

En donde,

E_L = equivalente de vehículos que giran de modo protegido a izquierda. Este valor es igual a 1,05; para carriles compartido o único, su valor es de 0,85;y para carriles doble su valor es igual a 0,75.

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

El factor de ajuste por giros a la derecha en un grupo de carriles muestra la geometría de la intersección y su efecto dentro de la intensidad de saturación, hallándose el mismo a través de la siguiente ecuación:

$$f_{RT} = \frac{1}{E_R}$$

En donde,

E_R = equivalente de vehículos que giran de modo protegido a derecha. Este valor es igual a 1,18; para carriles compartido o único, su valor es de 0,95;y para carriles doble su valor es igual a 0,92.

Por otro lado, si se desea averiguar su valor en calles con intersección en T, el valor de E_R es igual a 0,85 para un carril y 0,75 para dos carriles.

Factor de ajuste para peatones y ciclistas (f_{Lpb} , f_{Rpb})

Para poder hallar los factores relacionados con los peatones y ciclistas que pueden llegar a afectar a la capacidad de una intersección, el HCM establece que para poder hallarlo se tiene que determinar el promedio de ocupación por los peatones y ciclistas; la ocupación de la zona en conflicto de ambos grupos de usuarios; y finalmente, mediante una ecuación, hallar el factor de ajuste.

Debido a la ocupación y el número de carriles de giro que se pueden dar en una intersección, la proporción de tiempo en verde de esta zona será como consecuencia de estos dos factores.

Para poder calcular el factor de ajuste, se establece el siguiente procedimiento:

- Determinación de la ocupación promedio de los peatones

La ecuación que determina el número de peatones durante el tiempo de servicio, se calcula de la siguiente manera:

$$V_{pedg} = V_{ped} \cdot \left(\frac{c}{g_p}\right) \leq 5.000$$

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, medido en p/h)

c = ciclo (segundos)

g_{ped} = tiempo de servicio de peatones (segundos)

En el caso en el que el flujo de peatones sea inferior a 1.000 p/h, la ocupación de peatones se determina mediante la siguiente fórmula:

$$OCC_{pedg} = \frac{V_{pedg}}{2000}$$

En donde OCC_{pedg} es la ocupación de peatones (p/h).

Por el contrario, en el caso de que el flujo de peatones sobrepase los 1.000 p/h, la ocupación peatonal se halla de la siguiente manera:

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

- Determinación de la ocupación promedio de ciclistas

Al igual que la determinación de la ocupación promedio con los peatones, el proceso para el cálculo de la ocupación promedio de ciclistas en la fase en verde se determina de la siguiente manera:

$$V_{bicg} = V_{bic} \cdot \frac{c}{g} \leq 1.900$$

Siendo,

V_{bicg} = flujo de ciclistas durante la fase en verde (ciclistas/hora).

V_{bic} = flujo de ciclistas (ciclistas/hora).

c = ciclo (segundos).

g = tiempo efectivo de verde (segundos).

Determinado el flujo de ciclistas/hora, se puede calcular el promedio de ocupación de ciclistas mediante la siguiente ecuación:

$$OCC_{bicg} = 0,02 + \frac{V_{bicg}}{2700}$$

En donde OCC_{bicg} es la ocupación de ciclistas (ciclistas/hora).

- Determinación de las zonas de conflicto ocupacional relevantes

Para poder determinar las zonas de conflicto ocupacional relevantes para movimientos de giros a derecha sin interferencia de ciclistas o para movimiento de giro a izquierda para una calle de un sentido, es necesario el previo cálculo de la zona de conflicto ocupacional relevante.

Por un lado, la OCC_T tiene como base que el cruce de peatones se realiza durante el período de tiempo asociado a g_{ped} y que los peatones no cruzan durante el período de fase verde $g-g_{ped}$ cuando exista este período de tiempo. Esta zona de conflicto ocupacional relevante (OCC_T) se calcula de la siguiente manera:

$$OCC_T = \frac{g_{ped}}{g} \cdot OCC_{pedg}$$

En cuanto a los movimientos de giro a la derecha, la zona de conflicto ocupacional relevante tiene en cuenta los movimientos de peatones y ciclistas, donde se muestra su ecuación a continuación:

$$OCC_T = \left(\frac{g_{ped}}{g} \cdot OCC_{pedg} \right) + OCC_{pedg} - \left(\frac{g_{ped}}{g} \cdot OCC_{pedg} \cdot OCC_{bicg} \right)$$

- Determinación del factor de ajuste

Para finalizar, los factores de ajuste f_{Lpb} y f_{Rpb} de giros a izquierda como a derecha respectivamente, se ha de hallar los factores de ajuste para movimientos de giro que estén permitidos tanto para peatones como para ciclistas durante la fase verde de los mismos (A_{pbT}).

Por otro lado, se debe estudiar en la intersección en estudio, mediante observación en campo, el número de carriles de cruce (N_{turn}) y el número de carriles receptores (N_{rec}), pues cabe la posibilidad de que ciertos vehículos realicen giros que no están permitidos desde un carril exterior o por la existencia de algún obstáculo, como el estacionamiento de vehículos en doble fila, que dificultan los giros permitidos.

Como consecuencia, se tienen las dos siguientes condiciones base:

- En el caso de que el número de carriles receptores sea igual que el número de carriles de giro, los vehículos que realicen un giro tienen la capacidad para maniobrar esquivando a peatones y ciclistas. Es por ello, que el factor de ajuste es la proporción del tiempo que la zona de conflicto está libre:

$$A_{pbT} = 1 - OCC_T$$

- Si el número de carriles receptores es mayor al número de carriles de giro, los vehículos que deseen realizar un giro pueden maniobrar para evitar así a peatones y ciclistas, disminuyendo los efectos de la intensidad de saturación de los mismos. El factor de ajuste se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$A_{pbT} = 1 - 0,6 \cdot OCC_T$$

Tras el cálculo de estos dos factores de ajuste, hay que tener en cuenta que los factores de ajuste se basan en los efectos de los peatones y ciclistas en la intensidad de saturación de vehículos que giran, dependiendo a su vez de las características del tráfico que gira y de su proporción en la fase protegida.

Para el cálculo de operaciones de giro a derecha que están permitidos en un carril exclusivo, se contempla la siguiente ecuación para el cálculo del factor de ajuste para movimiento a la derecha de peatones como de ciclistas:

$$f_{Rpb} = A_{pbT}$$

Este factor de ajuste se utiliza en operaciones protegidas y permitidas en carriles exclusivos, usado a su vez para ajustar la intensidad de saturación durante el período permitido para ello. Este factor tiene el valor de la unidad (1,0), siempre que se desee calcular el ajuste de intensidad de saturación durante el período permitido.

Finalmente, si se pretende calcular el factor de ajuste para operaciones de giros a izquierda de peatones en calle de un único carril, la siguiente fórmula establece:

$$f_{Lpb} = A_{pbT}$$

5. Determinación de la duración de fase de semáforo

En función del tipo de control que se tenga dentro de la intersección semaforizada, la duración de la fase de semáforo variará. Si por ejemplo, la intersección semaforizada posee un control prefijado, la duración de fase de la misma es una entrada, omitiendo este paso. Por el contrario, en el caso de que la

fase sea desconocida, el procedimiento para hallar la duración de la fase prefijada, se determina en base a la siguiente ecuación:

$$D_p = l_l + g_s + g_e + Y + R_c$$

En donde,

D_p = duración de fase (segundos).

l_l = tiempo perdido de puesta en marcha (2 segundos).

g_s = tiempo de servicio de cola (segundos).

g_e = tiempo de prolongación de verde (segundos).

Y = intervalo de cambio a ámbar (segundos).

R_c = intervalo de holgura de rojo (segundos).

Como se ha mostrado, la duración en fase es la suma de diferentes períodos de tiempo. El primer período, l_l corresponde al tiempo perdido mientras la cola de vehículos reacciona al cambio de fase a verde. El período de tiempo g_s muestra el tiempo que se necesita para despejar la cola de vehículos. El período g_e corresponde el tiempo de verde extendido a la llegada de vehículos, finalizado cuando existe un hueco en el tráfico o el verde se prolonga hasta un tiempo máximo. El cuarto período, Y , determina el tiempo de cambio a ámbar. Finalmente, R_c muestra el despeje a rojo o el intervalo de holgura.

6. Determinación de la capacidad y la proporción volumen-capacidad

La intensidad de saturación es clave en la capacidad de las intersecciones, al igual que la proporción de verde efectivo del grupo de carriles y el propio número de carriles. Dicha capacidad es función del grupo de carriles de un movimiento de tráfico y viene recogida en la siguiente ecuación:

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

Siendo,

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.

Además, la proporción de volumen/capacidad (v/c) para un grupo de carriles se define como la proporción del volumen de carriles y la capacidad de los mismos, determinándose mediante la siguiente ecuación:

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

Donde,

X = proporción volumen/capacidad

v = flujo de demanda (veh/h).

c = capacidad (veh/h).

7. Determinación de la demora

La demora, como se ha definido anteriormente, es a grandes rangos, como la suma de los diferentes tiempos que les toma a los vehículos cruzar una intersección. (Fuenzalida, 2012). Esta demora es de difícil cálculo pues depende de una serie de valores, tales como la propia duración del ciclo, la relación verde y la intensidad-capacidad para el grupo de carriles, etc.

Esta suma de diferentes tiempo que les toma a los vehículos cruzar, se pueden resumir en tres grandes tiempos de demora: demora uniforme (d_1), demora incremental (d_2) y demora por cola inicial (d_3), de donde se obtiene la siguiente ecuación:

$$d = d_1 \cdot PF + d_2 + d_3$$

Siendo,

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).

Por otro lado, la demora uniforme d_1 se determina con la idea de llegadas uniformes distribuidas a lo largo del tiempo del ciclo. En el caso de que la intersección se encuentre en capacidad, la demora media es igual a la mitad del tiempo en rojo.

Por el contrario, si las llegadas fuesen únicamente en el tiempo en verde, la demora es nula, efecto que busca el factor de progresión, y cuya influencia dentro de la ecuación tiene un gran peso en comparación con la demora uniforme.

En el caso de que la progresión sea buena, llegarán a la intersección en verde un número considerable de vehículo y por ende, la demora uniforme tiene poca influencia en la demora total. Si la progresión es deficiente, una cantidad importante de vehículos llegarán en rojo, conllevando así una demora uniforme elevada.

Este factor de progresión se obtiene de la siguiente tabla:

El factor de ajuste de progresión PF como una función de la proporción en verde						
Tipo de llegada	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
No coordinado	1					
Coordinado*	0,92	0,86	0,78	0,67	0,5	0,22
$* PF = \frac{(1 - (1,33 \cdot \frac{g}{c}))}{1 - \frac{g}{c}}$						

Tabla 4: Valores para el factor de ajuste de progresión PF. (Fuente: HCM 2010).

La tabla 4 muestra los valores que el HCM 2010 sugiere para identificar el tipo de llegada se basan en el espaciamiento entre los semáforos, teniendo una serie de consideraciones que no pueden ser correctas para ciertos casos particulares.

Continuando con el concepto de demora uniforme, se tiene la siguiente ecuación:

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

En donde,

d_1 = demora uniforme (s/veh).

C = duración del ciclo en señales preestablecidas o el promedio de duración de ciclo en controles autojustables (segundos).

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

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

X = relación v/c del grupo de carriles.

Por otro lado, la demanda incremental d_2 considera las llegadas no uniformes, fallos temporales de ciclo y las causadas por períodos de sobresaturación. Dicho factor depende de la relación v/c del grupo de carriles X , de la duración del período de análisis T y de la propia capacidad del grupo de vías c . Dichos valores quedan reflejados en la siguiente ecuación:

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

Siendo,

d_2 = demora incremental (s/veh).

T = duración del ciclo (h).

X = relación v/c del grupo de carriles.

c = capacidad (veh/h).

Destacar que el término de demora incremental d_2 es válido para todos los valores de X , donde además se incluyen las sobresaturaciones altas en los grupos de carriles.

Para finalizar, la demora por cola inicial d_3 muestra la demora que experimentan los vehículos que llegan durante el período de análisis, donde se incluye la demora de los períodos de tiempo posteriores, siendo necesario incluir estas demoras en caso de colas iniciales.

Como consecuencia, la ecuación para el cálculo de la demora por cola inicial es la siguiente:

$$d_3 = \frac{1.800 \cdot Q_b \cdot (1 + u) \cdot t}{c \cdot T}$$

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.

Para la demora por cola inicial, debe analizarse el número de vehículos que son incapaces de atravesar el semáforo. En el cálculo de la misma, debe diferenciarse el caso en el que se encuentra la intersección en estudio, donde se pueden encontrar los siguientes casos:

- Caso I: En el período de estudio no tiene colas iniciales de modo que no se satura el carril, dando un valor de $Q_b = 0$, obteniendo así una demora por cola inicial nula.
- Caso II: El periodo en estudio se sobreesatura pero sin obtener cola inicial, dando una demora por cola inicial igual a 0.
- Caso III: En el periodo de estudio existe una cola inicial Q_b pero se disipa durante el periodo T . Para que se de este caso, debe cumplirse que $Q_b + q_T < cT$, donde q_T es la demanda total en el periodo de estudio T , y cT la capacidad disponible en T .
- Caso IV: Sucede cuando hay una demanda insatisfecha al final de T , pero de modo decreciente, donde se cumple que $q_T < cT$.
- Caso V: En el período T la demanda excede a la capacidad de la vía en estudio. La demanda insatisfecha se ve incrementada al finalizar T , donde se cumple que $q_T > cT$.

Por otro lado, si la demora por cola inicial d_3 se encuentra en los casos III, IV o V, debe analizarse lo siguiente:

$$t = 0 \text{ si } Q_b = 0$$

Si esta condición no se da, el cálculo de la duración insatisfecha en T , es la siguiente:

$$t = \min \left\{ T \cdot \frac{Q_b}{c \cdot [1 - \min(1, X)]} \right\}$$

A continuación se averigua el parámetro de demora u , donde:

$$u = 0 \text{ si } t < T$$

En el caso contrario, el parámetro de demora u equivale a:

$$u = 1 \cdot cT \cdot \left[\frac{1 - \min(1, X)}{Q_b} \right]$$

8. Determinación del Nivel de Servicio

El nivel de servicio se define como la medida del funcionamiento o de calidad de operación de una carretera, mostrando diferentes condiciones de la misma y en función del tiempo de demora en intersecciones semaforizadas.

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

Dichos niveles de servicio se pueden encontrar en la Tabla 2 anteriormente descritas, donde se encuentran seis situaciones(

- Nivel de servicio A: Representa la circulación en flujo libre, donde los usuarios, de forma individual, están exentos de los efectos de la presencia de otros vehículos, siendo por ende la circulación excelente.
- Nivel de servicio B: Continúa en el rango de flujo libre, proporcionando aún libertad a los individuos sin verse afectados por las velocidades de los otros usuarios.
- Nivel de servicio C: El flujo de vehículos es estable pero comienza a haber interacciones entre los distintos usuarios.
- Nivel de servicio D: Existe ya una densidad elevada aunque estable, teniendo una velocidad y libertad de maniobra restringido.
- Nivel de servicio E: El funcionamiento está al borde del límite de circulación.
- Nivel de servicio F: El flujo de vehículos se encuentra forzado dado que la cantidad de vehículos en un punto sobrepasa a la capacidad de la vía.

5. Caracterización de la intersección semaforizada

5.1. Características de la intersección semaforizada

5.1.1. Características del tramo

El tramo en estudio se encuentra al norte de la ciudad de Valencia, entre los barrios de Benicalap y Torrefiel, situándose en la conocida Ronda Norte de Valencia, y comunmente denominada “la rotonda del 8” por su forma geométrica.

Dicha glorieta tiene varios accesos, siendo la CV-30 una de sus principales entradas, situándose al norte con una IMD en el año 2.018 de 81.629 vehículos día, según valores de la Generalitat Valenciana. Por otro lado, a este nudo, llegan las avenidas de Levante, Hermanos Machado y Joan XXIII, principalmente, siendo estas dos la intersección en estudio del actual proyecto.

Por otro lado, la importancia de este nudo viario en la ciudad de Valencia es de gran importancia, pues la Ronda Norte es una de las principales vías de acceso y salida de la ciudad. Como consecuencia, se tiene que este nudo viario es la rotonda con mayor número de accidentes de toda la ciudad, siendo la mayoría alcances. Dichos problemas vienen recogidos en numerosos periódicos y revistas locales, donde se da el valor de 242 casos desde el el año 2.012 hasta el primer semestre del 2.018. (Moreno, 2018). Como consecuencia, el Ayuntamiento de Valencia ha desarrollado un Plan Director de Seguridad Vial para intentar mitigar esta gran lacra en parte de sus carreteras.

La actual intersección en estudio, ubicada en la Ronda Norte, está formada por la la Avenida Joan XXIII y la Avenida Hermanos Machado, mostrándose una ortofoto de las mismas.



Ilustración 4: Localización de la intersección en estudio.(Fuente: Google Map).

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

El principal problema de este nudo viario, es que durante las horas pico del día dicha glorieta llega a máxima capacidad, puesto que por aquí circula una gran cantidad de vehículos en la operación salida y llegada del trabajo. Como consecuencia, se tiene que durante las horas de 7:00 a 9:00 de la mañana, junto con las horas de la tarde de 18:00 a 20:00, se tiene un nivel de servicio bajo y una gran cantidad de incidentes y percances anteriormente nombrados.

Por otro lado, la Ronda Norte es el límite que tiene la ciudad, en su zona norte, en torno a su crecimiento, donde más allá de la misma, el suelo corresponde a suelo de huerta o suelo rural protegido. Sin embargo, se le ha dotado a esta zona de semáforos para que todos aquellos viandantes puedan realizar su actividad de paseo, siendo éste el principal problema de capacidad de esta intersección.

Como consecuencia de la existencia de estos semáforos, mostrados más adelante, se genera una demora en exceso y el flujo de vehículos queda interrumpido por el paso de viandantes, siendo éstos escasos o nulos.

Por otra parte, y continuando con la problemática de los semáforos en esta intersección, avanzando por la Avenida Hermanos Machado, sentido ascendente en los pk.s, se tiene un acceso a la misma, teniendo por ende un semáforo para permitir el acceso a esta avenida desde el denominado Camino Moncada, donde existe regulación semafórica para también un número escaso de vehículos.

Debido a estos semáforos que regulan tanto el paso de viandantes como de vehículos que quieren acceder a la Avenida Hermanos Machado, el flujo de vehículos queda interrumpido para una vía con mayor capacidad y arrastrando los problemas de capacidad aguas arriba, hacia la propia "Rotonda del ocho".



Ilustración 5 Existencia de semáforos en la intersección en estudio. (Fuente: IDEE GVA).

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

En la intersección de estudio, los vehículos proceden en su mayoría de la Avenida Hermanos Machado a primera hora de la mañana, y durante la salida de horario laboral, a final de la tarde, se invierte, dando en su mayoría, la llegada procedente de la CV-30.

La Avenida Hermanos Machado, proporciona servicio tanto a vehículos, como carril emt-taxi, viandantes y ciclistas mediante carril bici. Dispone de 4 carriles para acceder a la intersección semaforizada en estudio, de ancho de carril de 3,5 metros, donde justo a la entrada de la glorieta donde se ubica la intersección, la vía se ensancha, ocupando 6 carriles de acceso de un ancho aproximado de 3,5 metros. Antes de acceder a la glorieta, existe un semáforo y un cruce de peatones, de modo que el flujo vehicular se ve interrumpido en la fase verde de dicho semáforo. Esta avenida, sin estacionamiento colindante, cuenta con una longitud de 2350 metros aproximadamente hasta la “Glorieta del Mirador”, donde se acaba la jurisprudencia de la Generalitat para pasar a manos del Ayuntamiento. Además, esta avenida cuenta con numerosos pasos de peatones y semáforos, permitiendo así el cruce entre la denominada “huerta de Valencia” y los barrios que divide esta vía.

Por otro lado, la Avenida Hermanos Machado en su otro sentido, cuenta con tres carriles de salida de la “Rotonda del ocho”, de un ancho de carril de 3 metros, siendo separada ambas avenidas por una isletas central prolongada y con arboleda existente. Además, cuenta con un carril EMT-TAXI de 3,5 metros de ancho y separado de la avenida principal mediante isleta central durante 168 metros. Tras esta isleta, existen señalización horizontal para que aquellos vehículos que deseen acceder el Camino Moncada, puedan hacerlo. También, dicha vía cuenta, en su inicio, con un semáforo para la regulación del tráfico y controlando así el paso de viandantes y vehículos.



Ilustración 6: Distintas vistas de la Avenida Hermanos Machado. (Fuente: Google Map)s.

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

La Avenida Levante a su vez, da acceso a la “Rotonda del ocho” por el suroeste, conectando la “Ronda Norte” con el estadio de fútbol del Levante UD. En días de partido en dicho estadio, la afluencia de vehículos es masiva, por lo que la capacidad de dicha zona se ve saturada.

Continuando con las características de esta glorieta, y motivo de estudio, la Avenida Joan XXIII, ambos sentidos tienen tres carriles de circulación, de un ancho aproximado de 2,67 metros cada uno, dando un ancho de calzada de 8 metros. A su vez, cuentan con un carril EMT-TAXI, de un ancho de 3,2 metros aproximadamente. Ambos sentidos están separados por una isleta central. Dicha avenida cuenta con una longitud aproximada de 790 metros, contando con numerosos cruces, paso de peatones y paradas de autobús cercana a la zona de estudio, las cuales se estudiarán más detalladamente en los siguientes apartados.

A continuación se muestra imágenes de la Avenida Joan XXIII, a la altura de la zona de la “Rotonda del ocho”.



Ilustración 7: Distintas vistas de la Avenida Joan XXIII. (Fuente: Google Maps).

Finalmente, para tener en cuenta todos los aspectos de la zona de estudio, mencionar las características en planta de esta glorieta, la cual está dividida por dos islas centrales. Además, entre la Avenida Hermanos Machado y la Avenida Joan XXIII, existe una calle (Camino Viejo de Godella), que da acceso a una estación de servicio a un restaurante de comida rápida, siendo su IMD muy residual.

5.1.2. Caracterización del transporte urbano

Una vez conocidas las principales características del tramo, tanto sus características geométricas como principales aspectos, es de importancia conocer el transporte urbano de la zona, y más exactamente en la zona de influencia de esta glorieta, y en especial, en la intersección entre Avenida Hermanos Machado y Avenida Joan XXIII. Esta información es importante pues muestra los principales movimientos que pueden producirse en los centros receptores o de atracción, tales como centros comerciales, estaciones intermodales, etc.

Como principales centros de recepción o de atracción de la zona de estudio, mencionar el Estadio del Levante UD, pero sobretodo, la Ronda Norte es una de las principales vías de la ciudad de Valencia para salir y acceder a la ciudad por su ala norte.

En la actualidad, no existen numerosas líneas de autobús que influyan en la intersección en estudio, encontrando únicamente la línea 64 como posible afección al flujo de vehículos. Por otro lado, la línea 26 afecta a la zona del Camino Moncada, alejada de la zona de estudio. A continuación se muestra una imagen donde se aprecia el recorrido de ambas líneas por la zona:

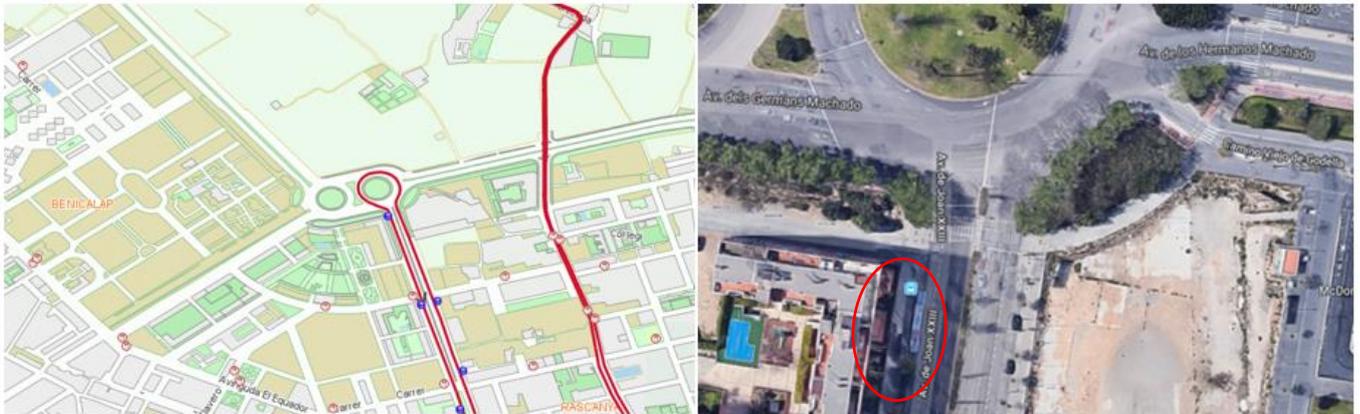


Ilustración 8; Líneas de autobuses cerca de la zona de estudio. (Fuente: EMT Valencia.)

La línea 64 recorre la Avenida Joan XXIII, llegando desde el centro de la ciudad para dar finalmente la vuelta en la glorieta y continuar su recorrido. Tal y como se muestra, existe una parada de autobús justo al inicio de dicha avenida y cerca de la glorieta donde se realiza el actual estudio.

5.1.3. Caracterización de la intersección semaforizada

Con el objetivo de estudiar la capacidad de la intersección semaforizada entre la Avenida Hermanos Machado y la Avenida Joan XXIII, se ha identificado los distintos tipos de giros permitidos, quedándose reflejado en la siguiente imagen:



Ilustración 9: Movimientos. (Fuente: IDEE GVA).

En la imagen mostrada, se analizan los distintos movimientos que se pueden analizar dentro de la intersección semaforizada entre la Avenida Hermanos Machado y la Avenida Joan XXIII. Se ha optado por el estudio de la capacidad de estas dos intersecciones dado que la actual zona solo cuenta problemas de capacidad en dicho cruce.

5.2. Toma de información

Con el fin de estudiar la problemática en una de las principales vías de la ciudad de Valencia y analizar la capacidad en la intersección en estudio, es necesario la toma de información de la actual situación, y poder dar así soluciones a los problemas que tienen estas dos intersecciones. La toma de datos recoge toda aquella información relevante, tal y como son los datos del tráfico, peatones, ciclistas y los propios datos del sistema de semaforización de la zona.

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

La información relativa al número de vehículos de la zona, junto con sus movimientos, se ha realizado mediante aforo manual, estudiándose en diferentes zonas de la glorieta y ver así los movimientos específicos de las intersecciones en estudio.

A su vez, se ha tomado la información del número de semáforos y de la información relativa de los mismos, para comprobar todos los aspectos relevantes en el estudio de la capacidad.

La toma de datos de este tipo de información es interesante dado que la ciudad de Valencia cuenta con un sistema de cámaras de videograbación repartidas por las principales vías de la ciudad. Además, el Sistema de Control de Tráfico permite regular los tiempos semafóricos, en tiempo real, con el objeto de adaptar las fases de los mismos a la demanda del tráfico en una zona y evitar así la generación de demoras y posibles problemas ocasionados por las mismas. A continuación se muestra una imagen tomada de la videocámara perteneciente al Sistema de Control de Tráfico de la ciudad de Valencia, situada en la “Rotonda del ocho”.



Ilustración 10: Vista aérea desde la cámara de tráfico. A la izquierda, visual hacia la Av. Hermanos Machado. A la derecha, visual hacia la Av. Joan XXIII. (Fuente: Centro de Control de Tráfico).

5.2.1. Volumen y composición vehicular

Para poder realizar un correcto estudio de la capacidad y nivel de servicio de la intersección en estudio, es necesario establecer una serie de datos de entrada, siendo uno de los más importantes los correspondientes al volumen vehicular, obtenidos mediante aforos, en los cuales se han obtenido los siguientes datos:

- La clasificación de los vehículos.
- Los movimientos y direcciones en la intersección semaforizada.
- La dirección de los recorridos.
- El uso de carriles.

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

Dichos aforos se han realizado los días laborales de martes, miércoles y jueves, descartando el resto de días dado que el comportamiento vehicular puede sufrir variaciones dado el comportamiento de los usuarios de los mismos. Además, se han realizado aforos para peatones y ciclistas en la zona de estudio.

Estos aforos se han realizado durante la última hora de la tarde, de modo que se han contabilizado vehículos de 18:00 a 19:30, donde se encuentra la mayor problemática en la zona.

En la intersección semaforizada entre la Avenida Hermanos Machado y la Avenida Joan XXIII, se han contabilizado un total de 2.801 vehículo/hora, siendo éste flujo el proveniente de la Ronda Norte por la CV-30.

Los vehículos que provienen de la Avenida Joan XXIII y se incorporan a la Avenida Hermanos Machado, tiene un valor de 319 vehículos/hora, siendo un valor bastante reducido cuando el valor de la intensidad de una hora en dicha avenida es de 533 vehículos/hora que tiene por dirección la incorporación a la glorieta del ocho para continuar con su recorrido. Finalmente, se tiene que por la Avenida Hermanos Machado, a la altura de la salida del Camino de Moncada, se tiene un flujo de 3.498 vehículos/hora.

Por otro lado, los vehículos que acceden al Camino Viejo de Godella equivale a 140 vehículo/hora, mientras que el flujo que accede a la Avenida Hermanos Machadoa través del Camino Moncada se eleva a 80 vehículos /hora.

Puede comprobarse que el mayor flujo de vehículos que acceden a la Avenida Hermanos Machado lo hace a través de la Ronda Norte, siendo el flujo que va desde la Avenida Joan XXIII hacia la Avenida Hermanos Machado escaso y sin influenciar a la capacidad de dicha intersección. Además, no existen grandes flujos de vehículos pesados al tratarse de zona urbana, y como se ha comentado con anterioridad, por la zona no acceden un gran número de autobuses pues por la zona solo existe una única parada de autobús.

Como consecuencia, y siguiendo el aforo manual realizado en las horas anteriormente mencionadas, se tiene que el porcentaje de vehículos pesado en la zona representa en torno al 2-3% en la hora punta. Estos valores son los más representativos en el estudio de la capacidad, puesto que en horas nocturnas, la capacidad de ambas intersecciones es adecuada y se da la circunstancia de que puedan haber más vehículos pesados por el movimientos de camiones para repostar carga en comercios y/o supermercados.

5.2.2. Volúmenes peatones y ciclistas

Junto con el flujo vehicular de la zona de estudio, también es importante los volúmenes peatones y de ciclistas que hay en la zona, pues las diferentes soluciones que se darán más adelante pueden influir en este sector de manera notoria. Además, es importante su estudio, pues cabe recordar que la Avenida Hermanos Machado y Joan XXIII se encuentran en zona urbana y por ellas transitan un grado de personas que las usan como forma de vida saludable.

Al igual que el flujo vehicular, los volúmenes de peatones son necesarios para determinar el grado de capacidad de la intersección y valorar posibles soluciones, donde se ha contabilizado un número total de 64 peatones/hora en la hora punta de estudio, los cuales han cruzado la Avenida Hermanos Machado, y por otro lado, en cuanto a la Avenida Joan XXIII, el número de peatones por hora han sido de 156.

5.3. Problemática de la intersección semaforizada de Av. Hermanos Machado y Av. Joan XXIII

El actual proyecto tiene como objeto analizar la capacidad y la funcionalidad de la intersección semaforizada entre las Avenidas Hermanos Machado y la Avenida Joan XXIII, dos grandes vías de la ciudad de Valencia. Una vez analizada dicha capacidad y la problemática de la misma, se tiene que dar mejora a la misma, analizando previamente los problemas de congestión que tienen en la actualidad.

Estos problemas de congestión se reducen a ciertas horas puntuales del día, las llamadas horas punta u horas pico, las cuales van desde las 7:30 a 9:00 de la mañana, pero sobretodo entre los 18:00 a 20:00 de la tarde, las cuales coinciden con las horas previas o posteriores a la jornada laboral, incrementándose el problema al observar que esta vía es cada vez más usada para salir y entrar a la ciudad. Es en estas horas, cuando las intersecciones en estudio, sin analizar previamente la capacidad mediante el uso del HCM llegan a límites de la congestión, quedando bloqueados ciertos carriles por el exceso de vehículos que hay en la zona a estas horas.

Para ser más exactos, la actual intersección cuenta con la problemática relacionada con la semaforización de la misma, dado que se le ha optado por proveer una secuencia en verde al reducido grupo de viandantes que pasa por la zona, y justo a la entrada y salida de las glorietas, generando colas por la existencia de dicho semáforo y arrastrando la congestión aguas arriba, impidiendo así el libre flujo del resto de vehículos que desean realizar otro recorrido e interrumpiendo así el flujo dentro de la glorieta.

6. Análisis de la capacidad con el HCM 2010 de la intersección semeforizada en Av. Hermanos Machado y Av. Joan XXIII

En el actual apartado se analiza el desarrollo del cálculo de la capacidad y el nivel de servicio en la actualidad de la intersección semaforizada, determinándose a través de la metodología descrita en apartados anteriores.

6.1. Parámetros de entrada

Con el fin de analizar los datos relacionados con el cálculo de la capacidad de la intersección semaforizada, se necesitan una serie de parámetros de entrada, los cuales se describen a continuación:

Condiciones geométricas	Número de carriles (N)
	Ancho de carril (W)
Condiciones de tráfico	Volumen (veh/h)
	FHP
	Nº de autobuses (bus/h)
Condiciones de señalización	Nº de aparcamientos (maniobras/hora)
	Volumen de peatones (Vped/h)
	Volumen de ciclistas (Vbic/h)
	Tiempo del ciclo (s)
	Tiempo efectivo de verde (s)
	Tiempo mínimo de peatones (s)

Tabla 5: Parámetros de entrada. (Fuente: elaboración propia)

Los parámetros de entrada mostrados se han obtenido en las horas punta descritas en capítulos anteriores, donde dicha horas coinciden con la salida de la jornada laboral y el tráfico existente pasa por la dicha intersección semaforizada de 18:00 a 19:30, acumulándose los mayores flujos vehiculares en estas horas, igual que las horas iniciales de la mañana.

Los parámetros de entradas requeridos para el cálculo de la capacidad y de la intersección semaforizada se describen a continuación:

- Condiciones geométricas:
 - o Avenida Hermanos Machado: Cuenta con 6 carriles de un ancho de 3,5 metros.
 - o Carril anular de la glorieta: Un único carril de 3,5 metros.
 - o Avenida Joan XXIII: 3 carriles de 2,67 metros aproximadamente cada uno.
- Condiciones de tráfico:
 - o Grupo de carriles 1: 533 vehículos/hora y 6 pesados/hora.
 - o Grupo de carriles 2: 319 vehículos/hora y 8 pesados/hora.
 - o Grupo de carriles 3: 721 vehículos/hora y 6 pesados/hora.

- Grupo de carriles 4: 2.801 vehículos/hora y 36 pesados/hora.
- Condiciones de señalización:
 - Volumen de peatones y de ciclistas:
En el Anexo 1 se contemplan los volúmenes de peatones y de ciclistas que concurren por la zona de estudio en las horas punta indicadas con anterioridad. Como dato aclaratorio, los usuarios que se identifican con patinetes eléctricos se han agrupado dentro del grupo de ciclistas al tener comportamientos similares en velocidad.
 - Tiempo de ciclo, tiempo efectivo en verde y tiempo mínimo de peatones:
En el Anexo 2 se detalla los tiempos de cada fase de los distintos semáforos que se encuentran en la intersección. Por otro lado, se describe el tiempo mínimo de verde para el cruce de los peatones.

6.2.Desarrollo de la metodología del HCM 2010

1. Determinación del grupo de movimientos y grupo de carriles

La determinación del grupo de movimientos, como el grupo de carriles, se han seguido las pautas establecidas en los apartados anteriores, obteniéndose así, para la intersección en estudio, una serie de grupo de carriles junto con un grupo de movimientos. El grupo de carriles y el grupo de movimientos se han obtenido de modo que se han identificado en función del comportamiento de los conductores en la zona de estudio, viendo las trayectorias de los mismos y no de la señalización horizontal existente en la intersección semaforizada.

A continuación se muestran los grupos de movimientos y los grupos de carriles que se han identificado:



Ilustración 11: Grupo de carriles y grupo de movimientos en la intersección entra Hermanos Machado y Joan XXIII. (Fuente: Google Maps).

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

Para el cálculo de la intensidad por grupo de movimientos se han establecido el cálculo en las horas punta, de 18:00 a 19:30, cuando se dan los principales problemas en esta zona. A continuación se muestran los valores de la intensidad por grupo de movimientos en la intersección en estudio:

- Grupo de movimiento 1: 852 vehículos/hora y 14 pesados/hora.
- Grupo de movimiento 2: 2.801 vehículos/hora y 36 pesados/hora.
- Grupo de movimiento 3: 721 vehículos/hora y 6 pesados/hora.

2. Determinación de la intensidad por grupo de carriles

Una vez establecido la intensidad por grupo de movimientos, se determina la intensidad por grupo de carriles de la intersección en estudio:

- Grupo de carriles 1: 533 vehículos/hora y 6 pesados/hora.
- Grupo de carriles 2: 319 vehículos/hora y 8 pesados/hora.
- Grupo de carriles 3: 721 vehículos/hora y 6 pesados/hora.
- Grupo de carriles 4: 2.801 vehículos/hora y 36 pesados/hora.

3. Determinación del ajuste de la intensidad de saturación

Tras determinar el grupo de movimientos y el grupo de carriles, junto con su intensidad, se procede a ajustar la intensidad de saturación mediante la siguiente ecuación ya descrita en apartados anteriores. Esta intensidad se ve afectada por numerosos factores que reducen la intensidad de saturación base (s_0), teniendo un valor de 1.900 vehículos/hora/carril.

$$s = s_0 \cdot f_W \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_{bb} \cdot f_a \cdot f_{LU} \cdot f_{LT} \cdot f_{RT} \cdot f_{Lpb} \cdot f_{Rpb}$$

Con ello, se tiene que para cada grupo de carril existirá una intensidad de saturación individual

Intersección de saturación (s) en veh/h	GC 1	GC 2	GC 3	GC 4
	1824	1059	1809	1496

Tabla 6: Intensidad de saturación de los grupo de carriles. (Fuente: elaboración propia).

Los cálculos para la determinación de la intensidad de saturación se ven reflejados en el Anexo 3, donde se sigue el procedimiento descrito en apartados anteriores.

4. Determinación de la duración de fases de semáforo

La duración de cada fase viene determinada en función del tipo de control en el que cuente el propio semáforo de la intersección. Esto se debe a que el tipo de control establecerá la duración de cada fase en

función del control establecido, dando un valor de entrada para cada fase. Por el contrario, si la duración de cada fase se desconoce, se ha de estimar la duración de fase prefijada de la misma según procedimiento de cálculos establecidos.

En el caso de la intersección en estudio, los semáforos tienen un control prefijado por lo que el cálculo del mismo se omite.

5. Determinación de la capacidad y proporción volumen-capacidad

Para el cálculo de la capacidad de las intersecciones semaforizadas, es necesario determinar la intensidad de saturación, la proporción de verde efectivo de los distintos grupos de carriles y su número. Hallados estos valores, se calcula la capacidad de cada grupo de carriles de la siguiente manera, ya explicado en apartados anteriores:

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

Como resultado, se han obtenido los siguientes valores:

		GC 1	GC 2	GC 3	GC 4
N	Número carriles	2	1	3	4
s	intensidad saturación (veh/h)	1823,8	1059,3	1809,4	1496,5
g/C	proporción verde efectivo	0,75	0,75	0,75	0,9
C	Capacidad (veh/h)	2736	794	4071	5387

Tabla 7: Valores de la capacidad del grupo de carriles de la intersección en estudio. (Fuente: elaboración propia).

Tras haberse determinado la capacidad de la intersección, se procede a calcular la proporción volumen-capacidad de los diferentes grupo de carriles, mediante la siguiente ecuación ya explicada con anterioridad:

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

Finalmente, se tiene:

		GC 1	GC 2	GC 3	GC 4
C	Capacidad (veh/h)	2736	794	4071	5387
v	flujo de demanda (veh/h)	539	327	727	2837
X	Proporción volumen- capacidad	0,197025101	0,41158573	0,178576263	0,526604034

Tabla 8: Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección en estudio. (Fuente: elaboración propia).

6. Determinación de la demora

Tal y como se ha mencionado con anterioridad, el cálculo de la demora abarca tres conceptos diferentes, donde se encuentran la demora uniforme d_1 , la demora incremental d_2 y la demora por cola inicial d_3 .

Por otro lado, la demora uniforme d_1 se ve afectada por un factor de ajuste de la progresión, de modo que que la demora que pueda existir en la intersección queda de la siguiente manera:

$$d = d_1 \cdot PF \cdot + d_2 + d_3$$

La demora uniforme d_1 se basa en la llegada uniforme y distribuida del flujo de vehículos a lo largo del periodo del ciclo en estudio. En función de la duración del ciclo, junto con el tiempo efectivo en verde y la proporción de volumen-capacidad, se tiene la demanda uniforme, la cual se obtiene de la siguiente manera:

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

Por otro lado, la demanda incremental d_2 se calcula en función de las llegadas no uniforme, a los posibles fallos temporales del ciclo y los fallos producidos por los períodos de sobresaturación. Esta demora incremental se basa en la duración del ciclo (en horas), a la proporción volumen-capacidad y a la propia capacidad de los grupos de carriles de la intersección semaforizada. Dicha demora incremental se calcula mediante la ecuación mostrada a continuación:

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

Para finalizar, la demora por cola inicial d_3 muestra los tiempos de más que se tiene por la existencia de vehículos que llegan durante el período de análisis y no son capaces de realizar su recorrido en tiempo. Es por ello, que esta demora o tiempo debe agregarse en caso de existencia de colas, tal y como se muestra en la siguiente imagen:



Ilustración 12: Existencia de cola inicial. (Fuente: elaboración propia)

En la imagen mostrada, puede verse como el flujo de vehículos que viene de la glorieta, son incapaces, durante su fase en verde, de realizar el cruce completo, quedando estacionados en la glorieta. Esta cola inicial, repercute en el flujo de vehículos que vienen de la Avenida Joan XXIII, ubicados a la izquierda de la imagen.

Dicha demora por cola inicial se calcula mediante la siguiente ecuación, teniendo en cuenta el factor de demora y la cantidad de vehículos que no son capaces de realizar su recorrido a tiempo durante la duración del ciclo.

$$d_3 = \frac{1.800 \cdot Q_b \cdot (1 + u) \cdot t}{c \cdot T}$$

Tras haberse calculado las distintas demoras (demora uniforme, demora incremental y demora por cola inicial), se muestra a continuación el cálculo de la demora por cada grupo de carriles de la intersección:

	GC 1	GC 2	GC 3	GC 4
d1 (s/veh)	100,3136	35,9140	146,8956	51,2051
d2 (s/veh)	0,1614	1,5754	0,09615	0,3710
PF	1	1	1	1
d3 (s/veh)	0	1,090427862	0	0
d (s/veh)	100,475	38,580	146,992	51,576

Tabla 9: Cálculo de demoras por grupo de carriles. (Fuente: elaboración propia).

7. Determinación del Nivel de Servicio

Una vez calculado la demora de los distintos grupos de carriles de la intersección semaforizada, se puede determinar el nivel de servicio de cada grupo de carril, de modo que es ésta, la demora, la que determina el nivel de servicio.

Por otro lado, el manual HCM 2010 utiliza para la designación de los distintos niveles de servicios en intersecciones semaforizadas:

NIVEL DE SERVICIO	DEMORA MEDIA (s/veh)
A	$d \leq 10$
B	$10 < d \leq 20$
C	$20 < d \leq 35$
D	$35 < d \leq 55$
E	$55 < d \leq 80$
F	$d > 80$

Tabla 10: Niveles de servicio para intersecciones semaforizadas según HCM 2010. (Fuente: HCM 2010).

Finalmente, se muestra el nivel de servicio de cada grupo de carril de la intersección semaforizada entre la Avenida Hermanos Machado y la Avenida Joan XXIII:

	GC 1	GC 2	GC 3	GC 4
d (s/veh)	100,475	38,580	106,380	51,576
NIVEL DE SERVICIO	F	D	F	D

Ilustración 13: Niveles de servicio en la actualidad. (Fuente: elaboración propia)

Analizando los resultados de la intersección en estudio, puede verse como los principales flujos de la zona, los pertenecientes a los grupos de carriles 1, 3 y 4 son los que cuentan con los principales problemas. Esto se debe a que la existencia del semáforo en la entrada de la Avenida Hermanos Machado, sentido ascendente de los pk.s, impide que se desaguen el principal flujo de vehículos que se incorporan por la CV-30, por lo que los flujos de los grupos de carriles 1 y 2 ven impedidos su marcha normal debido a la existencia de colas y demoras excesivas.

Por otro lado, el único grupo de carriles que cuenta con un mejor nivel de servicio adecuado es el carril que va desde la Avenida Joan XXIII hacia Hermanos Machado, dada la facilidad de giro del propio carril, teniendo un nivel de servicio D.

En cuanto a la principal problemática de la intersección semaforizada, cabe destacar que los distintos grupos de carriles 1, 3 y 4 respectivamente, cuentan con la capacidad adecuada para poder compensar la gran cantidad de vehículos en las horas punta. El problema radica en la falta de

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

almacenamiento provocado por la falta de coordinación de los semáforos presentes en la zona y por la propia existencia del semáforo al inicio de la Avenida Hermanos Machado nada más salir de la glorieta, impidiendo el correcto desagüe de los vehículos para poder dar servicio a un grupo de viandantes y ciclistas, en comparación, intrascendentes en cuanto al número de los mismos.

Este semáforo, por ende, provoca que la intersección que todavía no está despejada se vea cada vez más saturada de los vehículos que vienen del grupo de carriles 3 y 4 que no han tenido el tiempo suficiente para cruzar la glorieta como de los vehículos que vienen del grupo de carriles 4, imposibilitando que los vehículos que vienen de la Avenida Joan XXIII, del grupo de carriles 3 y que quieren salir de la glorieta en sentido norte hacia la CV-30, vean imposibilitados su recorrido. Este problema es puntual, reducido a la franja horaria comprendida entre las 18:00 y las 20:00 y que a medida que el flujo de vehículos va disminuyendo, el problema de almacenamiento de la intersección semaforizada se resuelve por si misma.

A su vez, hay que analizar la intersección semaforizada que se encuentra aguas debajo de la intersección de estudio, y más concretamente, la intersección semaforizada entre la Avenida Hermanos Machado y la Calle Camino Moncada, ubicándose a 250 metros de la intersección en estudio, pero debido a su cercanía, junto el tráfico existente en la zona, puede generar retenciones y demoras que puedan influir aguas arriba de dicha intersección.

A continuación se resume la información relativa a dicha intersección y que se ha mencionado en capítulos anteriores.

6.3. Intersección semaforizada entre la Avenida Hermanos Machado y Camino Moncada

Como se ha comentado con anterioridad, la Avenida Hermanos Machado cuenta con una segunda intersección semaforizada, donde interseca con la calle Camino Moncada, donde la existencia de semáforos para regular el tráfico puede afectar aguas arriba a la intersección en estudio del actual proyecto.

Esta intersección cuenta con tres carriles y un cuarto carril bus-taxi, donde aquellos vehículos pueden realizar un giro a derecha o continuar su trayectoria por la Avenida Hermanos Machado. Esta intersección, está distanciada en torno a unos 255 metros, distancia que ha de estudiarse por si los semáforos de esta intersección afectan a la anterior.



Ilustración 14: Situación de la intersección Calle Moncada. (Fuente: IDEE GVA).

El cálculo de la demora servirá así para comprobarse la afección o no y decidir así si es necesario realizar algún tipo de actuación para mejorar la funcionalidad y capacidad de la zona.

A continuación se muestran los cálculos de forma resumida del estudio de la capacidad de la intersección semafORIZADA entre la Avenida Hermanos Machado y la calle Camino Moncada. Estos cálculos han seguido el mismo procedimiento establecido con el HCM 2010 y explicado en apartados anteriores.

El estudio del tráfico de la zona se ha realizado en las horas punta como ha sido en el estudio de la Avenida Hermanos Machado y la Avenida Joan XXIII, es decir, de 18:00 a 19:30, donde se concentra la problemática de este lugar.

6.3.1. Determinación de los datos iniciales para el cálculo de la capacidad y nivel de servicio

En cuanto al grupo de carriles existentes, se ha establecido, para la Avenida Hermanos Machado, dos grupos de carriles, omitiendo el carril bus-taxi.

El primero grupo de carriles, donde existen dos carriles, el ancho es de 3 metros, mientras que el tercer carril derecho de la Avenida Hermanos Machado, el ancho es de 3,5 metros. Por otro lado, el grupo de carriles 3, es un carril de incorporación proveniente del Camino Moncada, siendo el ancho del mismo de 3 metros.

Por otro lado, el flujo de intensidad de estos grupo de carriles 1 y 2 coincide con el flujo saliente de la intersección semafORIZADA Avenida Hermanos Machado con la Avenida Joan XXIII. En cuanto al número de vehículos que salen de Hermanos Machado para incorporarse al Camino Moncada, destacar que es un número reducido en comparación, ascendiendo esta cifra a 225veh/h, de los cuales, solo 4 son vehículos

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

pesados. Estos 225 veh/h, en comparación con los 3.498 veh/h que circulan por la Avenida Hermanos Machado, realizan un giro a derecha en un semáforo que se encuentra constantemente en ámbar, permitiendo así su salida sin mayores complicaciones, salvo la existencia de peatones o ciclistas que cruzan por la zona.

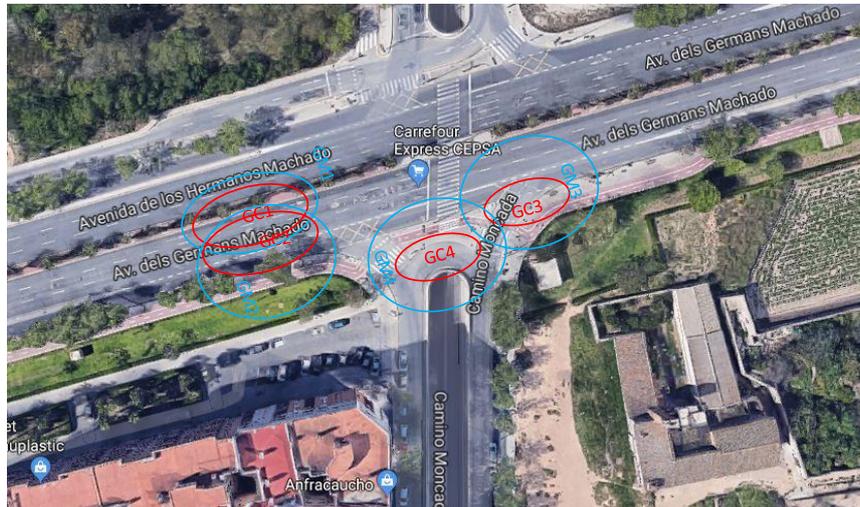


Ilustración 15: Grupo de carriles y grupo de movimientos. (Fuente: Google Maps).

En cuanto al tráfico que se ha contabilizado, se muestra a continuación de forma reducida el número de vehículos de la zona, donde a su vez se expone el número de vehículos que se incorporan desde el Camino Moncada hacia la Avenida Hermanos Machado y los que realizan el giro:

				%pesados
GRUPO DE CARRILES	Grupo de carriles 1	2.518	veh/h	1,11%
		28	pesado/h	
	Grupo de carriles 2	948	veh/h	0,42%
		4	pesado/h	
	Grupo de carriles 3	76	veh/h	5,26%
		4	pesado/h	
	Grupo de carriles 4	80	veh/h	0,00%
		0	pesado/h	

Tabla 11 Grupo de carriles de la intersección semaforizada entre Avenida Hermanos Machado y Camino Moncada. (Fuente: elaboración propia).

Además, es necesario calcular el número de peatones y ciclistas que circulan por la zona, dado que estos influyen directamente en el cálculo de la capacidad de esta intersección semaforizada. A su vez, se pretende mostrar el número de usuarios de la zona para poder así tener una idea de la afluencia de viandantes y dar soluciones a los problemas de capacidad de la intersección en estudio, justificando así posibles medidas correctoras.

	FLUJO DE PEATONES Y CICLISTAS EN EL CRUCE	
	Vped(peaton/hora)	Vbic (bici/hora)
C/Moncada Salida	224	56
Hermanos Machado	68	16

Tabla 12: Flujo de peatones y ciclistas en la intersección entre la Avenida Hermanos Machado y Camino Moncada. (Fuente: elaboración propia.)

A continuación se muestra una ortofoto ubicando los semáforos en estudio, donde se ha contabilizado tanto el número de peatones como el de ciclistas:



Ilustración 16: Ubicación de los paso de peatones. En horizontal, paso de peatones de "Camino Moncada Salida". En vertical, paso de peatones "Hermanos Machado". (Fuente: elaboración propia)

En cuanto a la duración de las distintas fases semafóricas de esta intersección semaforizada, destacar la existencia de actuadores en los mismos y de la fase en ámbar del semáforo que regula la salida de los vehículos de la Avenida Hermanos Machado hacia Camino Moncada. A continuación se muestra de la duración actual de los mismos:

Vía	CICLO SEMÁFORO PEATONES		
	Verde peatones gp (seg)	Rojo peatones (seg)	CICLO C (seg)
C/Moncada Salida	120	0	120
Hermanos Machado	35	110	145

Tabla 13: Duración del ciclo de semáforos de la intersección semaforizada entre la Avenida Hermanos Machado y Camino Moncada. (Fuente: IDEE GVA)

Una vez analizada toda la toma de información y las principales características, se ha procedido a calcular, mediante la aplicación del HCM 2010, la capacidad de esta intersección semafórica, para poder determinar así la posible influencia de la misma aguas arriba, objeto del presente estudio.

6.3.2. Determinación de la intensidad de saturación

Tal y como se ha mostrado en capítulos anteriores, el cálculo de la intensidad de saturación depende de numerosos factores, tales como el factor por ancho de carril, efecto de autobuses, tipo de área, efecto de los giros a izquierda y derecha, etc.

Tras haberse calculado estos factores y mostrado en el Anexo IV más en detalle, se muestra a continuación la intensidad de saturación de los grupos de carriles 1 y 2, los grupos de carriles que pueden afectar a la intersección en estudio:

Intensidad de saturación (veh/h)	S	GC 1	GC 2
		1899,8	1432,7

Tabla 14: Intensidad de saturación de los grupos de carriles de la intersección semaforizada entre la Av. Hermanos Machado y Camino Moncada. (Fuente: elaboración propia).

Puede comprobarse como la intensidad de saturación del grupo de carriles 1 es casi la ideal dado que no cuentan con los distintos factores reductores que pueden reducir su intensidad de saturación. El grupo de carriles 2 y si intensidad de saturación se ve reducida principalmente por la existencia de vehículos que desean realizar los giros a derecha.

6.3.3. Determinación de la capacidad y proporción volumen-capacidad

Partiendo de los valores de la intensidad de saturación, junto con la información relativa al número de carriles y la proporción de verde efectivo, se puede determinar la capacidad de ambos grupos de carriles, de modo que sus valores son los siguientes:

		GC 1	GC 2
N	Número carriles	2	1
s	intensidad saturación (veh/h)	1899,8	1432,7
g/C	proporción verde efectivo	0,75862069	0,75862069
C	Capacidad (veh/h)	2882,44	1086,84

v	flujo de demanda (veh/h)	2546	952
X	Proporción volumen- capacidad	0,883280027	0,875931426

Tabla 15: Capacidad y proporción volumen-capacidad de la intersección semaforizada entre Av. Hermanos Machado y Camino Moncada. (Fuente: elaboración propia)

Puede verse como la proporción volumen-capacidad de los dos grupos de carriles es elevada, junto con la proporción de verde efectivo con los que cuenta la intersección semaforizada. Es éste último el que determinará el factor por progresión y que influenciará la demora de ambos grupos de carriles.

6.3.4. Determinación de la demora

Finalmente, se procede a calcular las demoras de la intersección semaforizada, de modo que se puede hallar así el nivel de servicio de la misma.

Para el cálculo de las demoras, y en especial, para la determinación de la demora uniforme dI es necesario calcular la proporción de verde efectivo g/C . Este factor muestra la relación existente entre el tiempo en verde que tienen los vehículos para cruzar el semáforo en comparación con el tiempo del ciclo. Es por ello, que en la intersección actual, que cuenta con un tiempo en verde para los vehículos de 110 segundos y con un ciclo total de 145 segundos, dicha proporción es elevada. Es por ello, que la demora uniforme dI tiene un valor tan elevado, cuando en la realidad, no existen dichas demoras.

Por otro lado, para el cálculo de la demora, es necesario determinar si los semáforos se encuentran coordinados o no, para poder hallar así el factor por progresión PF. Este factor va en función de la proporción en verde efectivo, la cual, el HCM establece la siguiente tabla de valores, ya mostrada con anterioridad:

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

Tabla 16: Factor por ajuste de progresión. (Fuente: deducido del HCM 2010)

Sin embargo, la actual intersección tiene un tipo de llegada coordinado y una proporción en verde superior al mostrado en la tabla anterior, y cuyos valores se han obtenido del HCM 2010. Como consecuencia, se ha procedido a representar gráficamente dichos valores para calcular así una función matemática que relacione los valores y se permita hacer una regresión de la misma:

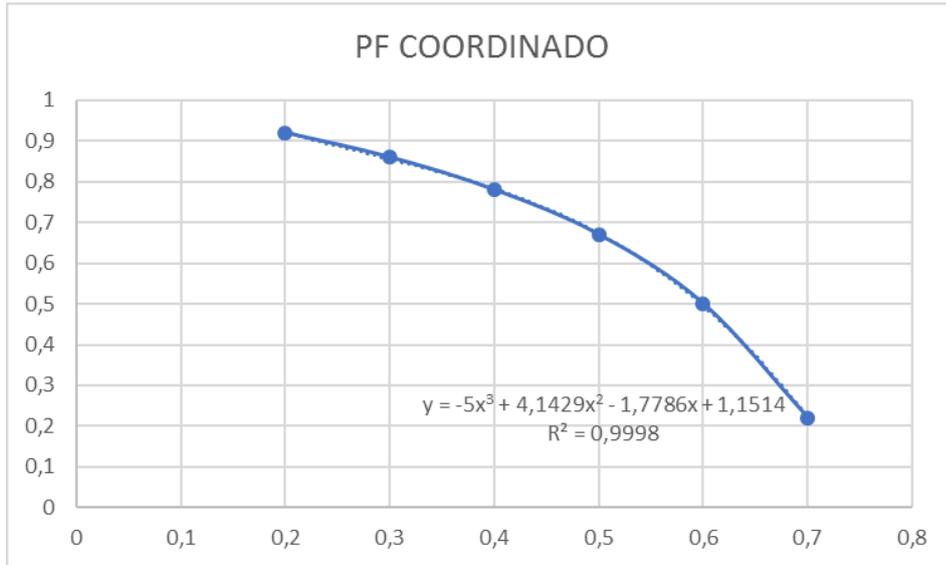


Ilustración 17: Representación gráfica de los valores del factor de ajuste de progresión. (Fuente: elaboración propia).

Una vez visto los valores del HCM 2010, se obtiene la siguiente ecuación que relaciona el valor del factor de ajuste de progresión PF con la proporción de verde:

$$PF = -5 \left(\frac{g}{C}\right)^3 + 4,1429 \left(\frac{g}{C}\right)^2 - 1,7786 \left(\frac{g}{C}\right) + 1,1514$$

Tras haberse calculado la expresión que muestra la tendencia de dichos valores, con un error cuadrático casi nulo (0,9998), se realiza el cálculo de los valores de la proporción de verde fuera de los valores establecidos por el HCM 2010, de modo que para un valor de la proporción de verde de 0,75862069, se tienen los siguientes valores:

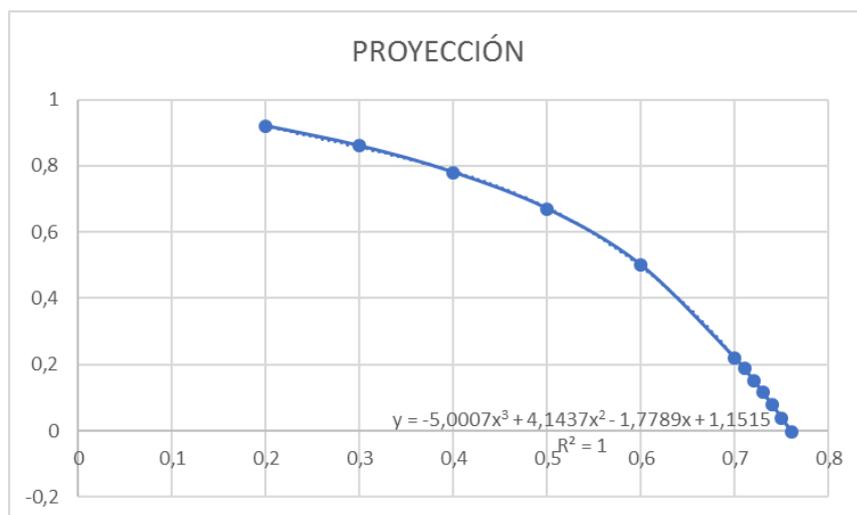


Ilustración 18: Proyección del factor de ajuste de progresión basada en los valores del HCM 2010. (Fuente: elaboración propia).

Finalmente, se tiene la siguiente expresión con un error cuadrático nulo:

$$PF = -5,0007 \left(\frac{g}{C}\right)^3 + 4,1437 \left(\frac{g}{C}\right)^2 - 1,7789 \left(\frac{g}{C}\right) + 1,1515$$

Tras haberse calculado la expresión, se puede determinar el valor del factor de ajuste de progresión PF que se muestra más adelante.

A continuación se muestra el cálculo de las distintas demoras que afectan a la zona, donde al no existir vehículos que no son capaces de sobrepasar el semáforo, la demora por cola inicial d_3 es nula:

	GC 1	GC 2
d1 (s/veh)	254,5155	94,3722
d2 (s/veh)	4,3632	9,9274
PF	0,003427029	0,003427029
d3 (s/veh)	0	0
d (s/veh)	5,235	10,251
NIVEL DE SERVICIO	A	B

Tabla 17: Nivel de servicio del grupo de carriles de la intersección semaforizada entre Av. Hermanos Machado y Joan XXIII. (Fuente: elaboración propia).

Una vez obtenido los resultados, puede comprobarse que la actual intersección semaforizada cuenta con un nivel de servicio A y B respectivamente, mostrando unas condiciones de tráfico idóneas para toda intersección semaforizada.

6.3.5. Comprobación de la afección aguas arriba de la intersección semaforizada de la Avenida Hermanos Machado y Camino Moncada.

Por otro lado, una vez determinado la demora existente en la zona, se debe comprobar que las demoras existentes no repercuten aguas arriba de la misma, de modo que durante dichas demoras y el flujo de vehículos existentes, no se propaguen hacia la intersección semaforizada entre la Avenida Hermanos Machado y Joan XXIII.

Con el objeto de comprobar si existe algún tipo de influencia con respecto a las demoras calculadas se ha procedido a determinar si es suficiente la distancia comprendida entre ambas intersecciones, de modo que no exista un problema de almacenamiento en las horas punta de la Avenida Hermanos Machado.

Para empezar, se determina la distancia entre ambas intersecciones, siendo la misma de 255 metros aproximadamente.



Ilustración 19: Distancia entre ambas intersecciones. (Fuente: Google Earth).

Hallada la distancia, recordar los tres carriles con los que cuenta dicha avenida, para así determinar la capacidad de este grupo de carriles en función de la demora calculada con anterioridad.

Tras haber analizado la capacidad de esta intersección, se ha comprobado como en momentos puntuales, las retenciones y paradas realizadas en esta intersección, son capaces de trasladarse arriba de la intersección, afectando a la intersección entre la Avenida Joan XXIII y la Avenida Hermanos Machado.

Estas retenciones, aunque no se puedan comprobar a través del cálculo de la capacidad de la intersección, son un grave problema en la zona, resultado de una serie de combinaciones muy concretas y en determinados minutos dentro de las hora pico estudiadas.

En concreto, para que se puedan estudiar estas afecciones, se tienen que tener en cuenta que la variabilidad del flujo vehicular es muy alta, donde la cantidad de vehículo que llega a esta zona varía dentro de una misma hora, pudiéndose concentrar una gran cantidad de vehículos en unos pocos minutos y el resto de la hora tener un flujo bajo. Es por ello, que los cálculos mostrados a continuación consiste en un procedimiento meramente teórico.

Como se ha visto, la longitud existente entre la intersección del Camino Moncada y la intersección entre Joan XXIII y Hermanos Machado es de 255 metros. En esta distancia, al encontrarse los vehículos en la fase roja, hay una capacidad máxima de estacionamiento de los mismos de 51

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

vehículos, tomando como longitud media de un vehículos igual a 5 metros. Si se tiene en cuenta que el grupo de carriles cuenta, en el peor de los casos con 2.546 vehículos/hora, junto con las demoras existentes, no cabe de extrañar que en un momento dado, cuando la fase semafórica sea roja, exista un pico de flujo vehicular que coincida con dicha fase roja, haciendo que las paradas, durante los 35 segundos que dura la fase roja en esta intersección, creen una cola que se proyecte aguas arriba, afectando a la intersección en estudio. Esta circunstancia, se ha medido en campo y se ha comprobado la existencia de la misma.

Es por ello, que además de realizar medidas que vayan encaminadas a resolver las deficiencias en la intersección entre Joan XXIII y Hermanos Machado, también se deben ejecutar medidas correctoras en la intersección del Camino Moncada.

7. Presentación y elección de propuestas

7.1.Introducción

Como se ha mencionado con anterioridad, toda intersección semaforizada tiene por objeto proteger ciertos movimientos o permitir que la circulación sea lo más cómoda y segura posible. Esta comodidad y seguridad, viene acompañada de la mejora de la fluidez, dado que regula al tráfico y a sus usuarios, tanto a vehículos como a viandantes, permitiendo un lugar y un tiempo suficiente para que éste grupo más vulnerable sea capaz de realizar los movimientos que desee en un lugar especificado para ello.

Sin embargo, estas intersecciones semaforizadas o nudos cuentan con una problemática, dado que se generan unos puntos de conflictos debido a la cantidad de posibles movimientos en ellas, pudiéndose llegar a tener numerosos alcances, tal y como es el caso de la intersección en estudio en la actualidad, siendo la misma, la mayor en número de alcances de la ciudad de Valencia.

Esta intersección semaforizada, la de la Avenida Hermanos Machado con la Avenida Joan XXIII, cuenta con la principal problemática en cuanto a su almacenamiento, la escasa coordinación de los semáforos de la zona, la gran IMD que cuentan las vías colindantes, generando en horas punta, una serie de retenciones que impiden la correcta fluidez de esta intersección. En cuanto a los movimientos que tienen mayor problema, son los generados por el flujo de vehículos que vienen de la Avenida Joan XXIII y los provenientes de la CV-30, que desean realizar su trayecto hacia la Avenida Hermanos Machado, sin poder cruzar el semáforo a tiempo, generando así una cola que impide a los vehículos provenientes de Joan XXIII ejecutar su trayectoria hacia la CV-30, principal vía de salida y entrada en la zona norte de la ciudad.

Por otro lado, y estudiada la intersección semaforizada entre Hermanos Machado y Camino Moncada, se ha visto como en ciertos momentos puntuales, dentro de la hora de mayor problemática, el semáforo de esta intersección acumula una cantidad de vehículos que se propagan aguas arriba, de modo que tiene una afección importante en la intersección en estudio.

Una vez ya se ha identificado la principal problemática de la zona, junto con el estudio de la capacidad y los distintos niveles de servicio, se realiza un estudio con distintas opciones para poder mejorar la capacidad de esta intersección semaforizada e impedir así que los vehículos provenientes de la CV-30 tengan el tiempo suficiente para cruzar el semáforo y no imposibilitar así la trayectoria de los vehículos de Joan XXIII.

Finalmente, con el objeto de evitar este problema de capacidad, se ha procedido a establecer diferentes propuestas, realizando un breve análisis de las mismas, donde aparezcan las principales ventajas e inconvenientes en el caso de su ejecución.

7.2. Eliminación de semáforo, mejora de la coordinación semafórica, aprovechamiento del carril bus-taxi y puesta en servicio de semáforos actuados en Camino Moncada

La primera de las propuestas consiste en la eliminación de todos aquellos elementos de la zona que reducen la capacidad de esta intersección semaforizada, de modo que no se tengan que ejecutar grandes obras para la mejora de la misma.

Entre las distintas medidas que se plantean dentro de esta propuesta esta la eliminación del semáforo existente en la entrada de la Avenida Hermanos Machado para poder así desaguar el flujo vehicular procedente de la CV-30. Con ello, dejarían de existir demoras relacionadas con este semáforo, que es incapaz de desaguar todos los vehículos, generando así retenciones que dificultan el paso del resto de vehículos y como se ha mencionado con anterioridad. Al eliminar el semáforo, se deberá eliminar a su vez el paso de peatones existente, proyectándolo en una nueva zona más acorde a la nueva situación de esta glorieta.



Ilustración 20: Representación del estacionamiento de vehículos que no son capaces de pasar en verde. (Fuente: elaboración propia)

Por otro lado, la búsqueda de la mejora de la coordinación semafórica en la zona, de modo que todos aquellos semáforos que existan estén interconectado para mejorar la fluidez de esta intersección. Con

ello, se reduciría los valores de la demora incremental y por consiguiente, la reducción de la demora total y la consecuente mejora del nivel de servicio de esta intersección.

En cuanto a la existencia del carril bus-taxi que se ubica en la Avenida Hermanos Machado, cabe destacar y como se ha visto en el apartado del transporte público en la zona, destacar que por este carril reservado, al no existir líneas de autobuses regulares, su aprovechamiento es exclusivo del sector del taxi. Como propuesta, se plantea la eliminación de la mediana de hormigón que separa los otros tres carriles de este carril reservado para su eliminación, dado su inutilización.



Ilustración 21: Aprovechamiento del carril bus-taxi y eliminación de la mediana. (Fuente: Google Maps)

Con ello, se aumentaría la capacidad de los grupos de carriles de la Avenida Hermanos Machado y se reduciría la posibilidad de que las posibles demoras acaecidas en la intersección de esta avenida con el Camino Moncada se proyecte aguas arriba, facilitando a su vez un mejor desague dado que la glorieta del ocho, en su camino desde la CV-30 cuenta con 6 carriles, para reducirse a la Avenida Hermanos Machado a solamente 3, creando un efecto embudo que perjudica la fluidez.



Ilustración 22: Existencia de mediana separadora y carril bus-taxi. (Fuente: IDEE GVA).

Finalmente, con el objeto de eliminar la posibilidad de que se generen las retenciones en el Camino Moncada, se proyecta la sustitución de los actuales semáforos por unos de la tipología actuada. Con estos semáforos, se busca que en aquellas franjas horarias en las que no haya una demanda de viandantes o ciclistas, el semáforo siempre se encuentre en fase verde para los vehículos, permitiendo así una mejora de la fluidez. A su vez, estos semáforos permiten que se respeten unos tiempos mínimos para la fase verde, de modo que se buscaría una mejora de la coordinación de los semáforos junto con la premisa de darle prioridad a los mismos en las horas punta de esta zona.

En cuanto al paso de peatones que se proyecta eliminar, localizado a la entrada de la “Glorieta del 8”, se prevé que no existan grandes inconvenientes por los usuarios de esta zona, que principalmente es utilizado por grupo de personas que tiene por objeto realizar deporte. Con su eliminación, los usuarios tendrán que realizar otro trayecto que no implica grandes distancias para los mismos, existiendo dos pasos de peatones más allá de esta zona que permita el cruce de los mismos sin variar su itinerario inicial.



Ilustración 23: Eliminación del semáforo y existencia de los otros semáforos. (Fuente: IDEE GVA).

Con todas estas medidas que no implican grandes presupuestos de ejecución, se espera que se reduzca el tiempo de congestión de la zona, eliminando el problema principal que es la existencia del semáforo que crea las retenciones entre la Avenida Hermanos Machado y la Avenida Joan XXIII.

7.3.Paso inferior

Se contemplan dos posibles pasos inferiores que permitan la mejora de la fluidez de la zona, reduciendo así un número considerable de vehículos que accedan a la glorieta en estudio. Las dos propuestas de paso inferior con únicas y son las siguientes:

Paso inferior entre Avenida Hermanos Machado

Esta propuesta consiste en la realización de un paso inferior desde la Avenida Hermanos Machado a la altura de la finalización de la CV-30 hasta la Avenida Hermanos Machado, evitando así que los vehículos que procedan de esta principal vía tengan que realizar su trayectoria dentro de la “Glorieta del 8”, tal y como se muestra a continuación:



Ilustración 24: En azul, la entrada del paso inferior. En rojo, la salida del paso inferior. (Fuente: IDEE GVA)

Esta propuesta de paso inferior reduciría drásticamente el número de vehículos que entran a la glorieta, dado que el mayor flujo vehicular que se ha utilizado en los cálculos provienen del grupo de carriles 3, que son los provenientes de la CV-30.

La CV-30, como se ha explicado, es una de las principales vías de acceso y de salida de la ciudad de Valencia en su zona norte, pertenecientes a la red de carreteras de la Generalitat. Como datos, en su último p.k. localizado a la entrada de la Avenida Hermanos Machado y próxima a la entrada del paso

								INTENSIDAD MEDIA DIARIA / INTENSITAT MITJANA DIÀRIA								
CV	Tramo	Pk Ini	Pk Fin	Fin	Calzada	Pk Est	2013	%P	2014	%P	2015	%p	2016	%p	2017	%p
CV-30	030040	3+800	4+900	Accés Burjassot	Aut.	3+900	76.132	2,8%	79.832	2,4%	79.075	1,7%	75.832	2,6%	79.420	2,1%

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

inferior proyectado, se tiene como datos los siguientes valores, con los que se puede comprobar la carga de vehículos con los que cuenta la zona:

GENERALITAT VALENCIANA CONSELLERIA D'HABITATGE, OBRES PÚBLIQUES I VERTEBRACIÓ DEL TERRITORI								INTENSIDAD MEDIA DIARIA / INTENSITAT MITJANA DIÀRIA IMD 2014-2018									
CV	Tramo	Pk Ini	Inicio	Pk Fin	Fin	Calzada	Pk Est	2014	%P	2015	%p	2016	%p	2017	%p	2018	%p
CV-30	030040	3+800	CV-35	4+900	Accés Burjassot	Aut.	3+900	79.832	2,4%	79.075	1,7%	75.832	2,6%	79.420	2,1%	81.629	2,5%

Ilustración 25: Valores de la IMD en la CV-30. (Fuente: Generalitat Valenciana).

Puede verse como la IMD en el último año de estudio, en el año 2017, fue de unos 79.420 vehículos al día.

Paso inferior entre Avenida Hermanos Machado y Avenida Joan XXIII

Esta propuesta de paso inferior tiene la ventaja de que todos aquellos vehículos que provienen de la Avenida Joan XXIII y que quieran realizar su recorrido hacia las afueras de la ciudad, con destino a la CV-30, no tiene que acceder a la glorieta. Este flujo vehicular es el principal que se da en esta avenida por lo que los problemas relacionados con las demoras se reducirían al mínimo en esta intersección de estudio.



Ilustración 26: En azul, la entrada del paso inferior. En rojo, la salida del paso inferior. (Fuente: IDEE GVA)

Las principales ventajas de los pasos inferiores proyectados es la reducción considerable del número de vehículos que acceden a la glorieta, y por ende, reduciendo las demoras y los tiempos relacionados con las retenciones y los alcances de esta zona, que cabe recordar que es la principal zona de la ciudad donde mayor es el número de este tipo de incidentes que se dan.

Las posibles consecuencias de esta propuesta es el elevado coste que tiene su ejecución, junto con el impacto que tendrá durante la realización de la misma las obras que afectarán de manera importante tráfico y a los distintos usuarios de la zona.

7.4. Mejora de la movilidad y sostenibilidad del transporte

Esta propuesta no tiene ninguna medida en concreto para esta zona de la ciudad, sino que busca la reducción del número de vehículos privado que se tiene actualmente en la sociedad. Existen numerosas maneras de reducir el uso del vehículo privado pero conlleva un gran esfuerzo de todas las partes afectadas por el problema de la circulación, pasando desde los propios usuarios de los vehículos a grandes administraciones, ya sea el propio ayuntamiento, la Generalitat o el Estado.

Esta grave situación del transporte actual viene del pensamiento y la conducta de los usuarios privados, donde la mayoría utilizar el coche como modo predominante del transporte. Esto se debe que la utilización del transporte público como alternativa no es viable a los ojos de los usuarios. Es por ello, que los esfuerzos deben estar centrados en mejorar el mismo y hacer que esta opción sea cada vez más interesantes a los usuarios de los vehículos.

Las distintas opciones que se tienen para mejorar la movilidad dentro de las ciudades vienen recogidas en el Plan de Movilidad Urbana Sostenible, desarrollado por el Ayuntamiento de Valencia y aprobado en diciembre de 2013. Este documento recoge los principales problemas que tiene la ciudad y las distintas opciones que se tienen para mejorar los problemas relacionados con el transporte.

Programa	Acción	Inversión estimada (€)	
Programas de intervención peatonal	1.1	Creación de 6 grandes Itinerarios de preferencia peatonal principales y 2 Itinerarios complementarios	31.900.000 €
	1.2	Plan Centro de mejoras peatonales	8.800.000 €
	1.3	Actuaciones puntuales estratégicas	2.900.000 €
	2.1	Identificación y potenciación de las centralidades de barrio	4.500.000 €
	2.2	Definición de ejes multifuncionales y estructuración de "supermanzanas"	300.000 €
	2.3	Intervenciones en Ciutat Vella	53.700.000 €
	3.1	Incremento de los niveles de seguridad en los desplazamientos a pie	1.100.000 €
	3.2	Implantación de los caminos escolares	2.700.000 €
		SUBTOTAL	105.300.000 €
Programas de fomento de uso de la bicicleta	4.1	Continuación con el desarrollo de la red de vías ciclistas	25.500.000 €
	4.2	Mantenimiento y mejora de la red existente	8.500.000 €
	4.3	Favorecer intermodalidad con la bicicleta	500.000 €
	5.1	Actuaciones contra el robo de bicicleta	200.000 €
	SUBTOTAL	34.700.000 €	
Programas de mejora del transporte público	6.1	Priorización de la circulación del transporte en superficie en la ciudad	28.900.000 €
	7.1	Reordenación y nuevo diseño de la red de autobuses de EMT Valencia	14.500.000 €
	7.2	Mejora de los niveles de accesibilidad de la red de autobuses	1.900.000 €
	7.3	Mejora de la información y conocimiento sobre la red de autobuses	1.500.000 €
	8.2	Integración efectiva de Metrobús en la ciudad	500.000 €
	SUBTOTAL	48.400.000 €	
Programas de regulación del tráfico privado	9.1	Jerarquización y reordenación del tráfico	700.000 €
	9.2	Plan Centro de circulación	500.000 €
	10.1	Calmado del tráfico en los barrios de la ciudad	500.000 €
	11.1	Reorganización del espacio de estacionamiento	600.000 €
	12.1	Actuación en puntos de déficit de plazas de carga y descarga	500.000 €
	SUBTOTAL	2.800.000 €	
Programas y propuestas horizontales	13.1	Profundizar los aspectos de la gestión de la movilidad con la ayuda de las nuevas tecnologías de la información	5.000.000 €
	15	Comunicar y promover la movilidad sostenible	3.000.000 €
	16	Descarbonizar el sistema de transportes	10.982.400 €
	SUBTOTAL	18.982.400 €	
INVERSIÓN TOTAL PMUS VALENCIA		210.182.400 €	

Ilustración 27; Inversión estimada de las distintas actuaciones del PMUS de Valencia. (Fuente: Ayuntamiento de Valencia.)

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

Proyecta numerosas alternativas desde todos los ámbitos y niveles, tales como la reordenación de la planta urbana, mejora del transporte público con la incorporación de nuevas líneas de transporte, bonificaciones al transporte, mejora de la movilidad para las personas de movilidad reducida (PMR), el tráfico de mercancías dentro de la ciudad, planes para ir al trabajo y compartir vehículos, etc. Todo ello con el fin último de hacer que las ciudades sean cada vez más respetuosas con el medio ambiente en torno al transporte.

Con ello, si se consiguiese que todas estas medidas, encaminadas a mejorar el transporte de las ciudades y a reducir la utilización del vehículo privado, los problemas relacionados con las demoras y las retenciones se reducirían considerablemente, pero para ello, y como se ha mencionado, se necesita un gran esfuerzo por parte de todos.

7.5. Análisis y selección de las propuestas descritas

Una vez propuesto tres alternativas totalmente distintas, cuyo objetivo común es reducir al máximo el número de vehículos existentes en la intersección semaforizada entre la Avenida Hermanos Machado y la Avenida Joan XXIII para poder así disminuir los problemas relacionados con las retenciones ocasionadas y aumentar el nivel de servicio de la misma.

Las distintas propuestas cumplen con el objetivo marcado pero se han de analizar las distintas variables que las pueden hacer lo más viable posible acorde a la realidad actual.

En primer lugar, los pasos inferiores resolverían los problemas relacionados con los conflictos que se generan en los grupos de movimientos que se generan en la intersección semaforizada, reduciendo así el número de vehículos de la zona y por ende, pudiéndose desaguar el flujo de vehículos con los semáforos existentes. Sin embargo, las dos alternativas de pasos inferiores implicarían un excesivo coste económico para dar solución a un problema que sólo se da durante una serie de horas al día, los coincidentes con la hora pico, relacionada con la operación salida del trabajo de los usuarios, junto con los inconvenientes generados relacionados con la ejecución de la obra civil de dichos pasos inferiores.

Por otro lado, las actuaciones relacionadas con la propuesta que busca la mejora de la movilidad y sostenibilidad del transporte, es una alternativa a largo plazo, dado que implica a numerosos colectivos y administraciones. Las distintas propuestas que pueden llevarse a cabo en materia de mejora del transporte no se focalizan en la intersección en estudio, sino en el comportamiento de la sociedad y de los distintos agentes implicados. Esta propuesta busca la reducción del uso del vehículo privado en toda la ciudad de Valencia, siendo éste el problema origen de la intersección semaforizada. Sin embargo, las distintas opciones que se pretende realizar dentro del PMUS, distingue un escenario a corto plazo o a largo plazo,

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

donde este último se puede prolongar hasta dentro de 10 años. Además, las distintas alternativas y propuestas que se llevan a cabo dentro del PMUS tiene un valor estimado, para todas las propuestas de más de 200 millones de euror, un presupuesto bastante elevado para actuaciones relacionadas con el transporte dentro de una ciudad.

Finalmente, la primera de las opciones, que se centra en solucionar los problemas directos de esta intersección, se plantea como la más económica de las distintas propuestas, junto con la más directa de implementar, sin llevar a cabo grandes inconvenientes para los distintos usuarios de la zona y sin repercutir de forma negativo en el tráfico de la zona.

8. Análisis de la capacidad de la propuesta elegida

En este apartado se analizará la capacidad y nivel de servicio que presentará la intersección semaforizada entre las Avenida Hermanos Machado y la Avenidad Joan XXIII una vez se hayan ejecutado las distintas propuestas para la mejora de su capacidad y funcionalidad que se han mostrado en el apartado anterior.

Estas medidas que se proyectan no modifican ni los grupos de carriles ni los grupos de movimientos, por lo que se proyectará de forma teórica el reparto de los vehículos. Cabe destacar que estos cálculos son teóricos y servirán como estimación para el cálculo de la capacidad, puesto que el comportamiento de los usuarios puede cambiar en función del cambio realizado, ya sea por ejemplo con la utilización de otro grupo de carriles o el cambio de los movimientos de los mismos.

Para empezar, se analizará la intersección en estudio con la misma metodología descrita con anterioridad, estableciendo el mismo procedimiento que se ha llevado con el HCM 2010, para evaluar así la mejora de la capacidad y de la funcionalidad en el mismo periodo de análisis y los problemas provenientes con las hora pico de esta zona.

Por otro lado, en cuanto a las condiciones geométricas de la intersección, la única variable a añadir es la ampliación de un cuarto carril para la mejora del desagüe de la glorieta, aprovechando los 3 metros del carril bus-taxi y el espacio de la mediana que separa los tres carriles de la Avenida Hermanos Machado con este carril exclusivo, aumentando por ende la capacidad de esta avenida.

Una vez establecido todos los cambios acaecidos con la propuesta seleccionada (eliminación del carril bus-taxi, eliminación del semáforo existente en la entrada de la Avenida Hermanos Machado y la mejor coordinación de los semáforo de la zona), se estima la capacidad y niveles de servicio siguiendo el siguiente procedimiento:

1. Determinación de la intensidad por grupo de movimientos

En cuanto a la intensidad por grupo de movimientos, destacar que tanto el grupo de movimientos como la intensidad del grupo de carriles es igual al establecido en la situación actual, de modo que:

- Grupo de movimiento 1: 852 vehículos/hora y 14 pesados/hora.
- Grupo de movimiento 2: 2.801 vehículos/hora y 36 pesados/hora.
- Grupo de movimiento 3: 721 vehículos/hora y 6 pesados/hora.

2. Determinación de la intensidad por grupo de carriles

Una vez establecido la intensidad por grupo de movimientos, se determina la intensidad por grupo de carriles de la intersección en estudio:

- Grupo de carriles 1: 533 vehículos/hora y 6 pesados/hora.
- Grupo de carriles 2: 319 vehículos/hora y 8 pesados/hora.
- Grupo de carriles 3: 721 vehículos/hora y 6 pesados/hora.
- Grupo de carriles 4: 2.801 vehículos/hora y 36 pesados/hora.

Tras haberse analizado la intensidad por grupo de carriles, se procede a calcular, según el HCM 2010, las distintas variables que determinarán el nivel de servicio de la intersección en estudio.

3. Determinación del ajuste de la intensidad de saturación

El ajuste de la intensidad de saturación de la intersección en estudio, se ve influenciado por los distintos factores que se han explicado en el cálculo de la intensidad de saturación de la intersección en la actualidad. Los distintos factores que reducen la intensidad de saturación permanecen prácticamente igual, salvo los correspondientes a los giros de la derecha del grupo de carriles 4. Al desaparecer el semáforo existente en la Avenida Hermanos Machado, los vehículos no tendrían que realizar una parada, por lo que su fluidez es absoluta. Por ello, la intensidad de saturación es la siguiente:

Intersección de saturación (s) en veh/h	GC 1	GC 2	GC 3	GC 4
	1824	1079	1809	1900

Tabla 18: Intensidad de saturación tras la propuesta de la intersección en estudio. (Fuente: elaboración propia)

Puede comprobarse, que la intensidad de saturación de los grupos de carriles 1 y 2 es prácticamente igual, pero la intensidad de saturación correspondiente a los grupos de carriles 3 que son los afectados por el semáforo eliminado, aumenta la capacidad de los carriles considerablemente, aumentando en torno a unos 400 vehículos/hora, dada la desaparición del factor por movimientos a derecha.

Los distintos cálculos quedan reflejado en el Anejo V, donde se refleja la actualización de los factores de ajuste para los grupos de carriles estudiados.

4. Determinación de la duración de fases de semáforo

La duración de las fases de los distintos semáforos no se ven afectados por el tipo de control, dado que las características de los mismos no van a variar.

La única salvedad en torno a los semáforos es la eliminación de uno de ellos, tal y como se ha detallado en la propuesta, no teniendo que realizar cálculo alguno dado el tipo de control prefijado que hay.

5. Determinación de la capacidad y proporción volumen-capacidad

La capacidad de los grupos de carriles de la intersección en estudio se calcula de igual forma que en apartados anteriores de la siguiente manera:

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

Con ello, se tienen los siguientes resultados:

		GC 1	GC 2	GC 3	GC 4
N	Número carriles	2	1	3	4
s	intensidad saturación (veh/h)	1823,8	1079,3	1809,4	1899,8
g/C	proporción verde efectivo	0,708	0,708	0,708	1
C	Capacidad (veh/h)	2584	765	3845	7599

Tabla 19: Capacidad del grupo de carriles de la intersección en estudio. (Fuente: elaboración propia).

Una vez determinado la capacidad de los distintos grupo de carriles, se procede a calcular la proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles intersección en estudio:

		GC 1	GC 2	GC 3	GC 4
C	Capacidad (veh/h)	2584	765	3845	7599
v	flujo de demanda (veh/h)	539	327	727	2837
X	Proporción volumen- capacidad	0,208614812	0,427682572	0,189080749	0,373337451

Tabla 20: Proporción volumen-capacidad del grupo de carriles de la intersección en estudio. (Fuente: elaboración propia)

Puede verse como la proporción en verde efectivo del grupo de carriles 1, 2 Y 3 es modificado dado el cambio que se le dará al ciclo del semáforo existente en la Avenida Joan XXIII, de modo que su proporción sea 0,7, disminuyendo en comparación con el caso anterior.

6. Determinación de la demora

A continuación, se procede a determinar las distintas demoras existentes en la zona siguiendo lo indicado en el HCM 2010, mediante la siguiente fórmula:

$$d = d_1 \cdot PF \cdot + d_2 + d_3$$

En al actualidad, y tal y como se ha explicado con anterioridad, existen retenciones debido a que la fase semafórica en verde es insuficiente como para desaguar la alta cantidad de vehículos que circulan

por la zona, generando una serie de retenciones que se corresponden al valor d_3 o lo que es lo mismo, a la demora por cola inicial. Tras realizar las distintas propuestas, dichas retenciones desaparecen

Además, el ciclo actual del semáforo que regula el tráfico en la Avenida Joan XXIII, es de 30 segundos para la circulación de los viandantes y 90 segundos para la circulación de los vehículos, siendo el ciclo total de 120 segundos. Tras la actual propuesta, el ciclo pasaría a ser de 35 segundos para los viandantes y de 85 segundos para los vehículos, teniendo un ciclo igual al caso anterior. Esta opción se debe a la necesidad de buscar la mayor semejanza en torno al factor de ajuste PF, y la necesidad de coordinar los semáforos de la zona. A su vez, esta opción se prolonga hasta el semáforo que regula el tráfico que va desde Joan XXIII hacia el norte (dirección CV-30).

Finalmente, la demora total de la intersección en estudio quedaría de la siguiente manera:

	GC 1	GC 2	GC3	GC4
d1 (s/veh)	128,9525	46,6553	188,8334	0,0000
d2 (s/veh)	0,1836	1,7474	0,1091	0,1410
PF	0,22	0,22	0,22	1
d3 (s/veh)	0	0	0	0
d (s/veh)	28,553	12,012	41,652	0,141

Tabla 21: Demoras del grupo de carriles de la intersección en estudio. (Fuente: elaboración propia)

Como puede observarse, las demoras disminuyen considerablemente tras haberse eliminado el semáforo que repercutía directamente en la capacidad de la intersección. Además, con la correcta coordinación de los semáforos, el factor por corrección disminuye, mejorando así la demora total de los distintos grupos de carriles, dado que en el caso anterior, en los grupos de carriles 1 y 2, el factor por coordinación era equivalente a 1 por la mala coordinación de los mismos.

7. Determinación del nivel de servicio

Para finalizar con el análisis de la propuesta elegida, se procede a mostrar los distintos niveles de servicio de la intersección en estudio según los valores hallados y en función de los valores del HCM 2010:

	GC 1	GC 2	GC3	GC4
d (s/veh)	28,553	12,012	41,652	0,141
Nivel de servicio	C	B	D	A

Tabla 22: Nivel de servicio de los grupos de carriles de la intersección en estudio tras la propuesta (Fuente: elaboración propia)

Una vez ejecutado todas las mejoras respecto a la intersección en estudio, puede comprobarse como mejora considerablemente el nivel de servicio de los grupo de carriles, teniendo como nivel de servicio más desfavorable un nivel D.

8. Comparativa de los resultados. Intersección semaforizada en la actualidad y tras la ejecución de las propuestas.

A continuación y para poder comparar las mejoras obtenidas, se muestra una tabla resumen donde aparezca la información relevante que muestre la mejora comparativa de la intersección en estudio sin las medidas a aplicar y tras las mejoras ejecutadas de los distintos cálculos seguidos para la obtención del nivel de servicio según la metodología del HCM 2010:

Factores de ajuste	Datos	GC 1		GC 2		GC 3		GC 4	
		Actualidad	Propuesta	Actualidad	Propuesta	Actualidad	Propuesta	Actualidad	Propuesta
Intensidad de saturación base (veh/h)	S0	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Factor de ajuste por ancho de carril	Fw	0,96	0,96	0,96	0,96	1	1	1	1
Factor de ajuste por vehículos pesados	Fhv	0,999887442	0,99988744	0,99974928	0,99974928	0,99991679	0,99991679	0,99987149	0,99987149
Factor de ajuste por inclinación del acceso	Fg	1	1	1	1	1	1	1	1
Factor de ajuste por haber carril de estacionamiento	Fp	1	1	0,825	0,825	1	1	1	1
Factor por efecto de autobuses	Fbb	1	1	1	1	1	1	1	1
Factor de ajuste por tipo de área	Fa	1	1	1	1	1	1	1	1
Factor de ajuste por utilización de carril	Flu	1	1	1	1	1	1	1	1
Factor por giros a izquierda en grupo de carriles	Flt	1	1	1	1	0,95238095	0,95238095	1	1
Factor por giros a derecha en grupo de carriles	Frt	1	1	0,84745763	0,84745763	1	1	1	1
Factor por movimientos a la izquierda de peatones y ciclistas	Flpb	1	1	1	1	1	1	1	1
	Apbht	1	1	1	1	1	1	1	1
	OCCr	1	1	1	1	1	1	1	1
Factor por movimientos a la derecha de peatones y ciclistas	Frbp	1	1	0,83088	0,84664363	1	1	0,787725432	1
	Apbt	1	1	0,83088	0,84664363	1	1	0,787725432	1
	OCCT	1	1	0,28186667	0,25559395	1	1	0,353790947	1
Intensidad de saturación (veh/h)	S	1823,794695	1823,79469	1059,31758	1079,41518	1809,37324	1809,37324	1496,5	1899,75583

Tabla 23: Comparativa intensidad de saturación de la intersección semafORIZADA en estudio. Comparación entre la actualidad y tras las propuestas escogidas. (Fuente: elaboración propia.)

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

Puede verse como los grupo de carriles 1 y 3 permanecen prácticamente igual, dado que las medidas no influyen directamente sobre los mismos. El grupo de carril 2 aumenta su intensidad de saturación en 20 vehículos, un aumento del 2% con respecto a la actualidad. Esto se debe al cambio del ciclo del semáforo, dado que se le ha otorgado 5 segundos más a la fase en verde para los peatones y ciclistas y se le ha reducido esos 5 segundos a la fase para los vehículos. Como consecuencia, se tiene una disminución del factor relacionado con la zona de conflicto ocupacional, haciendo así que el factor por movimientos a la derecha de peatones y ciclistas sea más elevado y no se reduzca la intensidad inicial del grupo de carriles 2.

En cuanto al grupo de carriles 4, se puede comprobar que es el principal afectado por las mejoras realizadas, dado que la intensidad de saturación ha aumentado un 27% debido a la eliminación del semáforo de la Avenida Hermanos Machado, cuyo factor reducía considerablemente la intensidad de saturación inicial de este grupo de carriles. Esta eliminación, a su vez reduce el tiempo de demoras por cola inicial que se verá reflejado más adelante.

Por otro lado, y como se ha comentado, el cambio de los ciclos semafóricos de la zona afecta directamente a los distintos procedimientos para el cálculo del nivel de servicio, tanto para determinar la intensidad de saturación en su factor por giros a derecha e izquierda de peatones y ciclistas, como para el cálculo de la proporción en verde efectivo y las consecuentes demoras y el factor por progresión que establece una relación del mismo con el tiempo en verde efectivo, según se recoge en el HCM 2010.

A continuación se muestra la comparación de los ciclos semafóricos en la actualidad y tras las medidas adoptadas según la propuesta 1:

Avenida	CICLO SEMÁFORO PEATONES					
	Verde peatones gp (s)		Rojo peatones (s)		Ciclo C (s)	
	Actualidad	Propuesta	Actualidad	Propuesta	Actualidad	Propuesta
Hermanos Machado	15	0	135	150	150	150
Joan XXIII	30	35	90	85	120	120
Interior glorieta	30	35	90	85	120	120

Tabla 24: Comparativa ciclo semafórico. Comparativa actualidad y tras la propuesta. (Fuente: elaboración propia)

Puede verse en la tabla como el único cambio sustancial y unido con la eliminación del semáforo de la Avenida Hermanos Machado es la fase en verde del semáforo, el cual se le ha dado un valor de 0 por la eliminación del mismo. El valor del ciclo se mantiene igual para poder seguir con el procedimiento que establece el HCM 2010.

Tras haber calculado la intensidad de saturación, con sus respectivos factores de ajuste y la información relativa a los semáforos, se muestra a continuación los valores relacionados con la capacidad y la proporción verde efectivo de la intersección:

	Datos	N	s	g/C	C	v	X
		Número carriles	intensidad saturación (veh/h)	proporción verde efectivo	Capacidad (veh/h)	flujo de demanda (veh/h)	Proporción volumen-capacidad
GC 1	Actualidad	2	1823,795	0,75	2735,69	539	0,1970251
	Propuesta	2	1823,795	0,708	2583,71	539	0,2086148
GC 2	Actualidad	1	1059,318	0,75	794,49	327	0,4115857
	Propuesta	1	1079,415	0,708	764,59	327	0,4276826
GC 3	Actualidad	3	1809,373	0,75	4071,08	727	0,178576263
	Propuesta	3	1809,373	0,708	3844,91	727	0,189080749
GC 4	Actualidad	4	1496,486	0,9	5387,34	2837	0,526604034
	Propuesta	4	1899,756	1	7599,02	2837	0,373337451

Tabla 25: Comparativa entre capacidad y proporción volumen-capacidad. (Fuente: elaboración propia.)

En cuanto a los valores que cambian, son el número de carriles de la intersección junto con el flujo de demanda que tienen los distintos grupos de carriles de la zona. Por el contrario, la intensidad de saturación, la capacidad, la proporción verde-efectivo y por ende, la proporción volumen-capacidad son los valores que se modifican tras la propuesta escogida.

La proporción en verde tiene en cuenta la cantidad de segundos que tienen los vehículos para poder realizar sus movimientos dentro del ciclo total del semáforo. Puede verse como, tras la propuesta, el grupo de carriles 4 cuentan con una proporción en verde efectivo total dado que el semáforo desaparece.

La capacidad de los distintos grupo de carriles se ve modificada, ya sea por el cambio en torno a la intensidad de saturación o por la proporción de verde efectivo. Los grupos de carriles 1, 2 y 3 ven disminuido la capacidad de sus carriles, en torno a 6%, 4% y 6% respectivamente. Esto se debe a la disminución de tiempo de verde efectivo que se le proporcionan a los vehículos para poder realizar sus movimientos. Por el contrario, los grupo de carriles 4 ven aumentado considerablemente su capacidad, con un aumento de la capacidad de un 41%. Esto se debe por la eliminación del semáforo, que repercute directamente en la proporción del valor de verde efectivo que tiene los vehículos para realizar sus movimientos, no encontrando problema alguno para realizar los mismos.

Por otro lado, la proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles 1, 2 y 3 se intensifica debido al aumento de la capacidad del grupo de carriles, mientras que el flujo de demanda permanece prácticamente igual, con un aumento del 6%, 4% y 6% respectivamente. Por el contrario, los grupo de

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

carriles 4 ven disminuido su proporción de volumen-capacidad en torno a un 29% , debido a que la capacidad de los mismos se han reducido, tal y como se ha explicado anteriormente.

Para finalizar, y tras haber calculado la proporción de verde efectivo y de volumen-capacidad, se pretende comparar las demoras medias calculadas siguiendo el procedimiento del HCM 2010:

Datos	Demoras							
	GC 1		GC 2		GC3		GC4	
	Actualidad	Propuesta	Actualidad	Propuesta	Actualidad	Propuesta	Actualidad	Propuesta
d1 (s/veh)	100,31	128,95	35,91	46,66	146,89	188,83	51,20	0
d2 (s/veh)	0,16	0,18	1,58	1,75	0,096	0,109	0,371	0,141
d3 (s/veh)	0,00	0,00	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

d (s/veh)	100,475	28,553	38,580	12,012	146,9917	41,652	51,576	0,141
------------------	---------	--------	--------	--------	----------	--------	--------	-------

Tabla 26: Comparativa demoras media. (Fuente: elaboración propia.)

Puede verse como la demora media de los grupos de carriles se reduce considerablemente. En cuanto a los grupos de carriles 1, 2 y 3 destacar que su reducción se debe a la coordinación de los semáforos, de modo que su factor por progresión, con valor igual a 0,22, reduce la demora uniforme. A su vez, se ve como la demora incremental aumenta debido a los cambios producidos en el cambio del ciclo del semáforo, cambio que no repercute en la demora final, viéndose como se reduce la misma un 72% y un 69% respectivamente. También, la eliminación del semáforo implica la desaparición de la demora por cola inicial, que actualmente se tiene en la zona, debido a la imposibilidad que tienen ciertos vehículos de realizar todo el movimiento por la falta de tiempo que tienen. Por otro lado, el grupo de carriles 4 ve reducido la demora uniforme, dado que como se ha explicado al principio del marco teórico de este proyecto, si las llegadas solamente se dan cuando la fase está en verde, el valor de dicha demora sería nula.

A su vez, destacar que los cambios acaecidos aguas debajo de la intersección en estudio, y más concretamente en la Avenida Moncada, reducen la posibilidad y el riesgo de generar colas iniciales, que implican una demora añadida a la intersección en estudio.

Finalmente, y tras haber hallado las distintas demoras, se tienen los siguientes niveles de servicio tras ejecutar las distintas actuaciones:

Datos	Niveles de servicio							
	GC 1		GC 2		GC3		GC4	
	Actualidad	Propuesta	Actualidad	Propuesta	Actualidad	Propuesta	Actualidad	Propuesta
d (s/veh)	100,475	28,553	38,580	12,012	146,992	41,652	51,576	0,141
NIVEL DE SERVICIO	F	C	D	B	F	D	D	A

Tabla 27: Comparativa niveles de servicio de la intersección en estudio. (Fuente: elaboración propia)

Como puede verse, hay una mejora notable de los distintos grupos de carriles que tiene actualmente la intersección semaforizada entre la Avenida Hermanos Machado y la Avenida Joan XXIII, con la realización de las distintas actuaciones, junto con la correcta coordinación de los semáforos de la zona, clave principal para el éxito de la propuesta. El grupo de carriles 1 ve disminuido su demora total en un 71%, al igual que el grupo de carriles 3. Este grupo de carriles, el cual tiene la dirección del flujo hacia la salida de la ciudad de Valencia, dirección CV-30 cuenta con una alta intensidad y un corto espacio para el almacenamiento del mismo, principal problema de este grupo de carriles.

En cuanto al grupo de carriles 2 y 4, los que tiene sentido hacia la Avenida Hermanos Machado, son los principales beneficiados de las propuestas, pues ven mejorado su demora media, reducida considerablemente en el caso del grupo de carriles 4, dado la desaparición del semáforo que impedía que todo el tráfico pudiese realizar su recorrido.

9. Resultados

Una vez se haya adecuado la intersección en estudio y se realicen las propuestas planteadas, el volumen de peatones y ciclistas que cruzaban la Avenida Hermanos Machado a la altura de la intersección en estudio tendrán que realizar un nuevo itinerario, con un recorrido inferior a los 5 minutos añadidos en comparación con la actualidad. Destacar a su vez, que el usuario recurrente, tanto de ciclistas como de viandantes, es un usuario que transita por la zona con el objetivo deportivo, a diferencia de los viandantes del centro de la ciudad que van a pie para desplazarse hacia su destino y que una eliminación del semáforo, junto con la reorganización de su itinerario habitual, conllevaría una serie de quejas y molestias de los mismos.

Por otro lado, el grupo de carriles que realiza giros a izquierda dentro de la intersección se corresponde con el grupo de carriles 3, donde se tiene el carril interno de la glorieta, junto con los carriles que los usuarios destinan para incorporarse a la glorieta y poder realizar su recorrido rumbo a la CV-30. Este grupo de carriles representa un alto porcentaje de entre los vehículos aforados.

Analizando los resultados obtenidos con los niveles de servicio de los distintos grupos de carriles de la intersección en estudio, puede comprobarse como los niveles de servicio obtenidos concuerdan con la realidad dentro de las horas picos de la zona, las cuales coinciden con la hora de llegada de los trabajadores y la salida de su puesto de trabajo.

Para el análisis de los resultados se ha seguido la metodología descrita en el HCM 2010, de modo que el procedimiento llevado a cabo sigue las indicaciones del mismo. La única salvedad en torno al procedimiento seguido es la información relativa a los valores del factor de ajuste de progresión, el cual llega hasta un valor, según el HCM 2010, hasta el 0,7 en semáforos coordinados. Para aquellos valores superiores se ha seguido la fórmula descrita en el propio manual.

Establecido los niveles de servicio de la intersección en estudio, se ha procedido a calcular los niveles de servicio de la intersección entre la Avenida Hermanos Machado y el Camino Moncada, dado que en la actualidad, las retenciones acumuladas en horas punta y en un determinado momento, se proyectan aguas arriba de la misma, influenciando en la intersección del actual estudio.

Tras el análisis de la demora y de los niveles de servicio, se ha propuesto una serie de medidas para poder resolver los problemas de congestión y almacenamiento en las horas punta de la intersección entre la Avenida Hermanos Machado y Joan XXIII. Entre las distintas medidas propuestas se plantea la eliminación del semáforo que da entrada a la Avenida Hermanos Machado. Con su eliminación, se resuelve el problema de almacenamiento de la glorieta y de aquellos vehículos que no pueden cruzar la

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

intersección por la falta de tiempo, generando retenciones e impidiendo así que los vehículos procedentes de la Avenida Joan XXIII vean dificultado su paso. A su vez, se ha modificado el valor de los ciclos semafóricos, junto con la búsqueda de la coordinación de la zona, para poder así disminuir la demora uniforme. Con estas soluciones, el problema queda resuelto en las peores horas de congestión.

Además, con el objetivo de reducir la posibilidad de generar retenciones en la intersección entre la Avenida Hermanos Machado y Camino Moncada, se ha propuesto eliminar el carril bus-taxi de la zona, dado que no se utiliza al no existir líneas regulares que operen en la zona. Con esta medida se aumenta la capacidad de la Avenida Hermanos Machado y se genera un carril más, evitando un efecto de embudo, dado que el grupo de carriles 4 que cuenta con la actualidad con 6 carriles, se ve reducido a 3 carriles en la Avenida Hermanos Machado.

Las distintas soluciones planteadas, y como se ha mencionado anteriormente, tendrá un impacto positivo en la conocida “Glorieta del ocho”, la glorieta que actualmente tiene mayor número de alcances y accidentes en la ciudad de Valencia. Junto con la propuesta planteada, se proponen otras dos alternativas, donde la opción de los pasos inferiores que reducirían considerablemente el número de vehículos que llegan a la intersección, queda descartada por el elevado coste que conllevaría ejecutarlos.

10. Conclusiones

Con el fin de hallar los niveles de servicio de los distintos grupos de carriles, se ha seguido la metodología descrita en el HCM 2010. Sin embargo, para el cálculo de uno de los grupo de carrles, los relativos a giros a izquierda, el manual no evalúa adecuadamente dichos giros, y más concretamente, el factor que analiza lo giros a izquierda de los vehículos.

Este factor, utilizado para determinar la intensidad de saturación al inicio de la metodología para calcular los niveles de servicio en intersecciones semaforizadas, no tiene en cuenta esta peculiaridad en el giro a izquierdas, y más concretamente, en el caso de los vehículos que realizan un giro a izaquierda y llegan a una fase semafórica en rojo. Como consecuencia, se debe realizar un análisis diferente al planteado, de modo que se estudie el almacenamiento de los vehículos que se llega a producir en la duración de un ciclo, los cuales generan una serie de retenciones que originan problemas de congestión y dificultan la correcta fluidez de la intersección en estudio.

Por otro lado, a la hora de proceder a realizar la metodología descrita en el HCM 2010, es necesario averiguar el grupo de carriles junto con el grupo de movimientos dentro de la propia intersección. Esta determinación es complicada de por sí, dado que se fundamenta en el carácter de los conductores y en una glorieta donde los usuarios no obedecen las marcas viales representativas de los carriles, sino bajo su criterio personal.

El actuala estudio, donde se contempla la problemática actual de la intersección en estudio, está realizado en la peor hora pico del día, donde coincide con la hora de salida del trabajo, generando problemas de retenciones en la intersección semaforizada entre la Avenida Hermanos Machado y la Avenida Joan XXIII. Como solución a los problemas de retenciones, se ha propuesto numerosas alternativas, donde la desarrollada no conlleva grandes gastos de ejecución para la administración afectada, siendo en este caso del Ayuntamiento de Valencia.

La alternativa planteada elimina el semáforo que genera las retenciones, dado el escaso tiempo que tiene actualmente para la fase verde. A consecuencia, se ha decidido su eliminación a coste de los posibles viandantes y ciclistas de la zona que verán afectado su recorrido. Este recorrido, y como alternativa al mismo, se ubica a 5 minutos caminando, no implicando mayores inconvenientes a los mismos.

Con esta decisión sería aconsejable preguntarle a todos los grupos afectados de la zona, tanto a vecinos como a los viandantes y ciclistas que rondan esta zona habitualmente, explicando la situación

actual y su problemática, para poder dar un valor añadido a las futuras medidas y contemplar nuevas ideas a través de la participación ciudadana.

En cuanto a los problemas generados aguas abajo y que generan momentos de puntuales de retenciones, que producen una afección a la intersección en estudio, se plantea una serie de medidas para reducir su posibilidad. Estos problemas, generados en la intersección semaforizada entre la Avenida Hermanos Machado y Camino Moncada, se dan muy puntualmente en las horas pico, de modo que al existir un gran número de vehículos que circulen por la Avenida Hermanos Machado y se encuentre la fase roja de esta intersección, generen una serie de retenciones, que debido al escaso almacenamiento, se proyecten aguas arriba, afectando a la intersección entre la Avenida Hermanos Machado y la Avenida Joan XXIII. Como solución al problema se ha propuesto la utilización del actual carril bus-taxi, el cual no es utilizado por líneas regulares de bus. Con esto, la capacidad de la vía aumenta y los posibles inconvenientes generados por la falta de almacenamiento, se solventan.

Futuras líneas de investigación

Tras haber visto los resultados y las conclusiones, se puede analizar la necesidad de mejorar la metodología del HCM 2010, y más concretamente, lo relativo a los giros a izquierda en las intersecciones semaforizadas, desarrollando numerosos casos que se puedan contemplar y la adecuación del factor de giro a izquierda y obtener así uno más detallado y específico para cada caso. Con esta línea, se podría ser más específico en el cálculo de la intensidad de saturación de los distintos grupos de carriles.

Por otro lado, acometer otra línea de investigación en referencia al factor de ajuste de progresión PF, pues los valores que marca el HCM 2010 llegan, para los casos de semáforos coordinados, hasta el 0,7. Tras pasarse esta relación en llegadas coordinadas, el HCM establece la siguiente ecuación:

$$* PF = \frac{(1 - (1,33 \cdot \frac{g}{c}))}{1 - \frac{g}{c}}$$

Sin embargo y tal y como se ha explicado con anterioridad, si se proyecta los valores que muestra en HCM 2010 con una ecuación que represente los valores, puede verse como la ecuación que representa dichos valores quede de la siguiente manera:

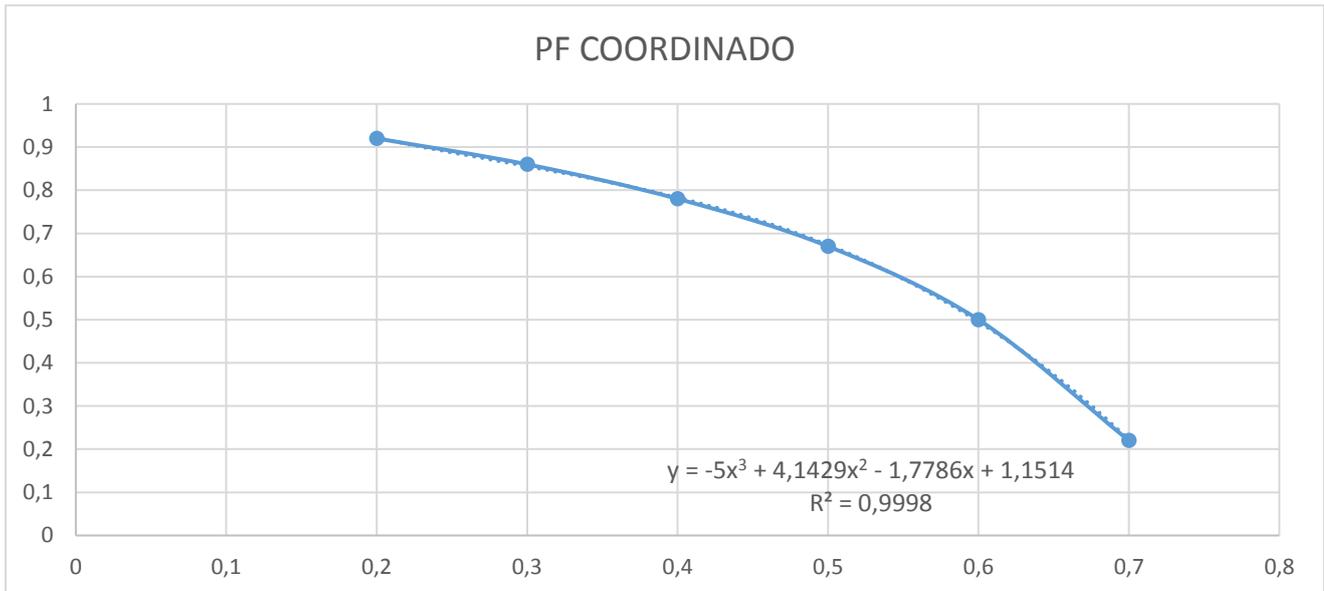


Ilustración 28: Valores del PF coordinado (Fuente: elaboración propia)..

Puede verse como la ecuación mostrada tiene un error cuadrático casi nulo, siendo bastante representativo de los valores mostrados por el HCM 2010. Es de interés revisar la ecuación que presta el manual para el cálculo del factor de ajuste de progresión y que se ajuste lo máximo posible a sus valores mostrados.

Por otro lado, y gracias a los avances tecnológicos cada vez mayores, apostar por semáforos cada vez más inteligentes, y que tengan la tecnología adecuada y suficiente para analizar el comportamiento del tráfico en la ciudad, de modo que se busque una sinergia entre el flujo vehicular, compuesto por cada vehículo individual, y una serie de tecnología que sean capaces de interpretar esa información y la modelen a la regulación del tráfico de cada zona.

Finalmente, a la hora de realizar los distintos cálculos para poder terminar el factor de giros a derecha de peatones y ciclistas, sería interesante estudiar el comportamiento de aquellos nuevos vehículos de movilidad personal (VMP) y su afección al tráfico en las intersecciones semaforizadas, pues el HCM 2010 establece la distinción entre peatones y ciclistas pero aún no contempla este nuevo modelo de transporte en la ciudad.

Bibliografía

- AASHTO. (s.f.). *American Association of State Highway and Transportation Officials*. Obtenido de <https://www.transportation.org/>
- Ding, Z.-J. (2010). Traffic flow at a signal controlled T-shaped intersection.
- Fuenzalida, T. I. (2012). *Análisis de modelos de capacidad y demora en intersecciones prioritarias*. Santiago de Chile.
- Gerencia Municipal de Urbanismo, A. d. (2000). Instrucción para el Diseño de la Vía Pública.
- Madrid, A. d. (2000). *Instrucción de Vía Pública*. Madrid.
- Ministerio de Obras Públicas. (1968). *Recomendaciones para el proyecto de enlaces*.
- MOPU. (1989). *Recomendaciones sobre Glorietas*.
- Moreno, P. (26 de Junio de 2018). *Las Provincias*. Obtenido de <https://www.lasprovincias.es/valencia-ciudad/rotonda-peligrosa-valencia-20180626004732-ntvo.html>
- Rojas, J. A. (2011). *Diseño de Intersecciones*. Piura.
- Saez, J. (2016). *diseño de glorietas*. madrid: caa.
- Transportatio Research Board, N. R. (2010). *Highway Capacity Manual*. Washington DC.

Anexos

Anexo I: Volumen de peatones y ciclistas

Intersección semaforizada entre Av. Hermanos Machado y Av. Joan XXIII



Datos	Av. Joan XXIII	Av. Hermanos Machado
Volumen de peatones (peatón/hora)	108	64
Volumen de ciclistas (ciclistas/hora)	44	8

Intersección semaforizada entre Av. Hermanos Machado y Camino Moncada



Datos	Camino Moncada	Av. Hermanos Machado
Volumen de peatones (peatón/hora)	224	56
Volumen de ciclistas (ciclistas/hora)	68	16

Anexo II: Tiempo semafórico

Intersección semaforizada entre Av. Hermanos Machado y Av. Joan XXIII



Datos	1	2	3	4
Tiempo efectivo en verde (s)	90	80	90	135
Tiempo verde para peatones / Fase roja vehículos (s)	30	40	30	15
Ciclo (s)	120	120	120	150

Intersecció semaforizada entre Av. Hermanos Machado y Camino Moncada



Datos	1	2
Tiempo efectivo en verde (s)	110	Ámbar
Tiempo verde para peatones / Fase roja vehículos (s)	35	Ámbar
Ciclo (s)	145	-

Anexo III: Cálculos del nivel de servicio de la intersección semaforizada entre la Av. Hermanos Machado y la Av. Joan XXIII.

	Datos	GC 1	GC 2	GC 3	GC 4
Intensidad de saturación base (veh/h)	S0	1900	1900	1900	1900
Factor de ajuste por ancho de carril	Fw	0,96	0,96	1	1
Factor de ajuste por vehículos pesados	Fhv	0,999887442	0,999749279	0,999916789	0,999871491
Factor de ajuste por inclinación del acceso	Fg	1	1	1	1
Factor de ajuste por haber carril de estacionamiento	Fp	1	0,825	1	1
Factor por efecto de autobuses	Fbb	1	1	1	1
Factor de ajuste por tipo de área	Fa	1	1	1	1
Factor de ajuste por utilización de carril	Flu	1	1	1	1
Factor por giros a izquierda en grupo de carriles	Flt	1	1	0,952380952	1
Factor por giros a derecha en grupo de carriles	Frt	1	0,847457627	1	1
Factor por movimientos a la izquierda de peatones y ciclis	Flpb	1	1	1	1
	Apbht	1	1	1	1
	OCCr	1	1	1	1
Factor por movimientos a la derecha de peatones y ciclis	Frbp	1	0,83088	1	0,787725432
	Apbt	1	0,83088	1	0,787725432
	OCCT	1	0,281866667	1	0,353790947
Intensidad de saturación (veh/h)	S	1823,8	1059,3	1809,4	1496,5

Avenida	FLUJO PEATONES Y CICLISTAS DURANTE SERVICIO	
	Vpedg(peaton/hora)	Vbicg (bici/hora)
Hermanos Machado	640	80
Joan XXIII	432	176
Rotonda	0	0

Avenida	OCUPACIÓN DE PEATONES Y CICLISTAS OCC	
	OCCpedg(peaton/hora)	OCCbicg (bici/hora)
Hermanos Machado	0,32	0,04962963
Joan XXIII	0,216	0,085185185
Rotonda	0	0,02

OCCT Joan XXIII	0,281866667
ApbT Joan XXIII	0,83088
OCCT Hermanos Machado	0,353790947
ApbT Hermanos Machado	0,787725432
OCCT Rotonda	0
ApbT Rotonda	1

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

N	Número carriles	2	1	3	4
s	intensidad saturación (veh/h)	1823,8	1059,3	1809,4	1496,5
g/C	proporción verde efectivo	0,75	0,75	0,75	0,9
C	Capacidad (veh/h)	2736	794	4071	5387
v	flujo de demanda (veh/h)	539	327	727	2837
X	Proporción volumen- capacidad	0,197025101	0,41158573	0,178576263	0,526604034

	GC 1	GC 2	GC 3	GC 4
d1 (s/veh)	100,3136	35,9140	146,8956	51,2051
d2 (s/veh)	0,1614	1,5754	0,0961	0,3710
PF	1	1	1	1
t(h)	0	0,008021593	0	0
Qb(veh)	0	15	0	0
u	0	0	0	0
d3 (s/veh)	0	1,090427862	0	0
d (s/veh)	100,475	38,580	146,992	51,576

Anexo IV: Cálculo del nivel de servicio de la intersección semaforizada entre la Av. Hermanos Machado y Camino Moncada.

	Datos	GC 1	GC 2
Intensidad de saturación base (veh/h)	S0	1900	1900
Factor de ajuste por ancho de carril	Fw	1	1
Factor de ajuste por vehículos pesados	Fhv	0,999888813	0,999957808
Factor de ajuste por inclinación del acceso	Fg	1	1
Factor de ajuste por haber carril de estacionamiento	Fp	1	1
Factor por efecto de autobuses	Fbb	1	1
Factor de ajuste por tipo de área	Fa	1	1
Factor de ajuste por utilización de carril	Flu	1	1
Factor por giros a izquierda en grupo de carriles	Flt	1	1
Factor por giros a derecha en grupo de carriles	Frt	1	0,847457627
Factor por movimientos a la izquierda de peatones y ciclis	Flpb	1	1
	Apbht	1	1
	OCCr	1	1
Factor por movimientos a la derecha de peatones y ciclis	Frbp	1	0,889792802
	Apbt	1	0,889792802
	OCCT	1	0,281866667

Intensidad de saturación (veh/h)	S	1899,8	1432,7
----------------------------------	---	--------	--------

	FLUJO DE PEATONES Y CICLISTAS EN EL CRUCE	
	Vped(peaton/hora)	Vbic (bici/hora)
C/Moncada Salida	224	56
HermanosMachado	68	16

Vía	CICLO SEMÁFORO PEATONES			T (horas)
	Verde peatones gp (seg)	Rojo peatones (seg)	CICLO C (seg)	
C/Moncada Salida	120	0	120	0,25
HermanosMachado	35	110	145	0,25

Avenida	FLUJO PEATONES Y CICLISTAS DURANTE SERVICIO	
	Vpedg(peaton/hora)	Vbicg (bici/hora)
C/Moncada Salida	224	56
HermanosMachado	281,7142857	66,28571429

Avenida	OCUPACIÓN DE PEATONES Y CICLISTAS OCC	
	OCCpedg(peaton/hora)	OCCbicg (bici/hora)
C/Moncada Salida	0,112	0,040740741
HermanosMachado	0,140857143	0,044550265

OCCT Hermanos Machado	0,183678663
ApbT Hermanos Machado	0,889792802

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

		GC 1	GC 2
N	Número carriles	2	1
s	intensidad saturación (veh/h)	1899,8	1432,7
g/C	proporción verde efectivo	0,75862069	0,75862069
C	Capacidad (veh/h)	2882,44	1086,84

v	flujo de demanda (veh/h)	2546	952
X	Proporción volumen- capacidad	0,883280027	0,875931426

	GC 1	GC 2
d1 (s/veh)	254,5155	94,3722
d2 (s/veh)	4,3632	9,9274
PF	0,003427029	0,003427029
d3 (s/veh)	0	0

d (s/veh)	5,235	10,251
------------------	-------	--------

Anexo V: Cálculo de los niveles de servicio de la intersección semaforizada entre la Av. Hermanos Machado y la Av. Joan XXIII tras la propuesta

	Datos	GC 1	GC 2	GC 3	GC 4
Intensidad de saturación base (veh/h)	S0	1900	1900	1900	1900
Factor de ajuste por ancho de carril	Fw	0,96	0,96	1	1
Factor de ajuste por vehículos pesados	Fhv	0,999887442	0,999749279	0,999916789	0,999871491
Factor de ajuste por inclinación del acceso	Fg	1	1	1	1
Factor de ajuste por haber carril de estacionamiento	Fp	1	0,825	1	1
Factor por efecto de autobuses	Fbb	1	1	1	1
Factor de ajuste por tipo de área	Fa	1	1	1	1
Factor de ajuste por utilización de carril	Flu	1	1	1	1
Factor por giros a izquierda en grupo de carriles	Flt	1	1	0,952380952	1
Factor por giros a derecha en grupo de carriles	Frt	1	0,847457627	1	1
Factor por movimientos a la izquierda de peatones y ciclis	Flpb	1	1	1	1
	Apbht	1	1	1	1
	OCCr	1	1	1	1
Factor por movimientos a la derecha de peatones y ciclis	Frbp	1	0,84664363	1	1
	Apbt	1	0,84664363	1	1
	OCCT	1	0,25559395	1	1
Intensidad de saturación (veh/h)	S	1823,8	1079,4	1809,4	1899,8

	FLUJO DE PEATONES Y CICLISTAS EN EL CRUCE	
	Vped(peaton/hora)	Vbic (bici/hora)
Hermanos Machado	64	8
Joan XXIII	108	44

Avenida	CICLO SEMÁFORO PEATONES			
	Verde peatones gp (seg)	Rojo peatones (seg)	CICLO C (seg)	T (horas)
Hermanos Machado	0	150	150	0,25
Joan XXIII	35	85	120	0,25

Avenida	FLUJO PEATONES Y CICLISTAS DURANTE SERVICIO	
	Vpedg(peaton/hora)	Vbicg (bici/hora)
Hermanos Machado	-	-
Joan XXIII	370,2857143	150,8571429

Avenida	OCUPACIÓN DE PEATONES Y CICLISTAS OCC	
	OCCpedg(peaton/hora)	OCCbicg (bici/hora)
Hermanos Machado	-	-
Joan XXIII	0,185142857	0,075873016

OCCT Joan XXIII	0,25559395
ApbT Joan XXIII	0,84664363

Master en Transporte, Territorio y Urbanismo

		GC 1	GC 2	GC 3	GC 4
N	Número carriles	2	1	3	4
s	intensidad saturación (veh/h)	1823,8	1079,4	1809,4	1899,8
g/C	proporción verde efectivo	0,708333333	0,708333333	0,708333333	1
C	Capacidad (veh/h)	2584	765	3845	7599
v	flujo de demanda (veh/h)	539	327	727	2837
X	Proporción volumen- capacidad	0,208614812	0,427682572	0,189080749	0,373337451

	GC 1	GC 2	GC3	GC4
d1 (s/veh)	128,9525	46,6553	188,8334	0,0000
d2 (s/veh)	0,1836	1,7474	0,1091	0,1410
PF	0,22	0,22	0,22	1
t(h)	0	0	0	0
Qb(veh)	0	15	0	0
u	0	0	0	0
d3 (s/veh)	0	0	0	0
d (s/veh)	28,553	12,012	41,652	0,141