



Universidad Politécnica de Valencia

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
de Caminos, Canales y Puertos



Estudio y mejora de la funcionalidad del tráfico de la intersección de la Avenida Pío Baroja- C/ Manuel de Falla (Valencia)

TRABAJO FINAL DE MÁSTER: Máster Universitario en Transporte,
Territorio y Urbanismo.



Autora: Moragón Palacios, Ana

Tutor: Soriano Ferriol, Javier

Curso: 2017/2018

Septiembre, 2018

Índice

1.	ANTECEDENTES	8
2.	INTRODUCCIÓN	9
	2.1 Glorietas	9
	2.2 Intersecciones	10
	2.2.1 Intersecciones semaforizadas	10
	2.3 Problemática de congestión en intersecciones semaforizadas	11
3.	OBJETO DE ESTUDIO.....	11
4.	ESTADO DEL ARTE	12
	4.1 Semáforos.....	12
	4.2 Tipos de movimientos	14
	4.3 Capacidad de las intersecciones semaforizadas	14
	4.3.1 Definición	14
	4.3.2 Factores	15
	4.4 Nivel de Servicio	17
	4.5 Método de determinación de la capacidad y nivel de servicio en una intersección semaforizada	18
	4.5.1 Introducción	18
	4.5.2 Determinación de la capacidad y el nivel de servicio	18
5.	CARACTERIZACIÓN DE LA INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA	31
	5.1 Características de la intersección semaforizada	31
	5.1.1 Caracterización del tramo	31
	5.1.2 Caracterización del transporte urbano	39
	5.1.3 Caracterización de las intersecciones estudiadas	40
	5.2 Toma de información	44
	5.2.1 Volumen y composición vehicular	45
	5.3 Problemática de la intersección	46
6.	ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD CON EL HCM 2010 DE LA de la INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA	53
	6.1 Parámetros de entrada	53
	6.2 Aplicación metodología HCM 2010.....	55



7.	PRESENTACIÓN Y ELECCIÓN DE PROPUESTAS	73
7.1	Introducción	73
7.2	Propuestas.....	73
7.2.1	Marcas Viales	73
7.2.2	Paso inferior que conecte Mislata con Paseo de la Pechina.....	74
7.2.3	Paso inferior del río que enlaza Manuel de Falla con Avenida del Cid	75
7.2.4	Puente que conecte Manuel de Falla con la Avenida del Cid frente a la C/ Rincón de Ademuz.	77
7.3	Análisis y selección de propuestas	79
8.	ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LAS PROPUESTAS.....	80
8.1	Análisis de los resultados	95
9.	CONCLUSIONES	96
10.	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	98
11	BIBLIOGRAFÍA	99
	ANEJOS.....	100
	ANEJO 1: Tiempo de cada fase semafórica en la zona de estudio.....	101
	ANEJO 2: Ajuste de la Intensidad de saturación en la intersección semafórica existente.....	104



Índice de Figuras

Figura 1. Definición de glorieta.....	9
Figura 2: Tipos de movimientos en una intersección.	14
Figura 3: Grupo de carriles para el análisis.....	20
Figura 4: Localización de la intersección objeto de estudio.....	31
Figura 5: Vista satélite de la intersección objeto de estudio.....	32
Figura 6: Vista satélite de cada intersección de estudio.....	31
Figura 7: Intersecciones 1,2,3 y 4.....	34
Figura 8: Intersección 5.....	34
Figura 9: Fotografías intersección 1	35
Figura 10: Fotografías intersección 2.....	36
Figura 11: Fotografías intersección 3.....	36
Figura 12: Fotografías intersección 4.....	37
Figura 13: Fotografías intersección 5.....	38
Figura 14: Vista satélite de las intersecciones 1,2,3 y 4 en AutoCad.....	39
Figura 15: Vista satélite de la intersección 5 en AutoCad.....	39
Figura 16: Líneas de autobuses intersección.....	40
Figura 17: Descripción de la intersección 1.....	41
Figura 18: Descripción de la intersección 2.....	41
Figura 19: Descripción de la intersección 3.....	42
Figura 20: Descripción de la intersección 4.....	43
Figura 21: Descripción de la intersección 5.....	43
Figura 22: Control de tráfico.....	45
Figura 23: Situación de los semáforos 1,2,3 y 4.....	47
Figura 24: Situación de los semáforos 5.....	47
Figura 25: Congestión en el Puente del Nueve de Octubre	48
Figura 26: Congestión en el Puente del Nueve de Octubre.....	49
Figura 27: Almacenamiento de vehículos.....	49
Figura 28: Almacenamiento de vehículos.....	50
Figura 29: Almacenamiento de vehículos.....	50
Figura 30: Vehículos que viene de Manuel de Falla que se juntan con los vehículos de Avenida Pío Baroja.....	51



Figura 31: Fotografías del funcionamiento de la intersección 4.....	51
Figura 32: Grupo de carriles y movimientos de la Intersección 1.....	56
Figura 33: Grupo de carriles y movimientos de la Intersección 2.....	56
Figura 34: Grupo de carriles y movimientos de la Intersección 3.....	57
Figura 35: Grupo de carriles y movimientos de la Intersección 4.....	57
Figura 36: Grupo de carriles y movimientos de la Intersección 5.....	58
Figura 37: Grupo de carriles de la Intersección 1.....	59
Figura 38: Grupo de carriles de la Intersección 2.....	60
Figura 39: Grupo de carriles de la Intersección 3.....	60
Figura 40: Grupo de carriles de la Intersección 4.....	61
Figura 41: Grupo de carriles de la Intersección 5.....	61
Figura 42: Giro dirección puente.....	70
Figura 43: Almacenamiento de vehículos.....	70
Figura 44: Funcionamiento intersección 4.....	71
Figura 45: Entrada al puente.....	71
Figura 46: Propuesta Marcas Viales.....	74
Figura 75: Vista Satélite de la entrada y salida del paso inferior Propuesta 2.....	75
Figura 76: Vista Satélite de la entrada y salida del paso inferior Propuesta 3.....	76
Figura 77: Propuesta 4.....	78
Figura 78: Vista satélite de las intersecciones 1,2,3 y 4.....	80
Figura 79: Vista satélite de las intersecciones 6.....	81
Figura 80: Grupo de carriles y de movimientos de la Intersección 6.....	82
Imagen 81: Movimiento Intersección 5	84



Índice de Tablas

Tabla 1: Demora de tráfico según el nivel de servicio.....	17
Tabla 2: Valores del factor de ajuste por ancho.....	22
Tabla 3: Valores para el factor de ajuste de progresión.....	28
Tabla 4: Demora de tráfico según el nivel de servicio.....	30
Tabla 5: Parámetros requeridos para el análisis operacional.....	53
Tabla 6: Vehículos ordinarios y pesado por hora en la intersección 1.....	54
Tabla 7: Vehículos ordinarios y pesado por hora en la intersección 2.....	54
Tabla 8: Vehículos ordinarios y pesado por hora en la intersección 3.....	54
Tabla 9: Vehículos ordinarios y pesado por hora en la intersección 4.....	55
Tabla10: Vehículos ordinarios y pesado por hora en la intersección 5.....	55
Tabla 11: Intensidad de grupos de carriles de la intersección 1.....	59
Tabla 12: Intensidad de grupos de carriles de la intersección 2.....	60
Tabla 13: Intensidad de grupos de carriles de la intersección 3.....	61
Tabla 14: Intensidad de grupos de carriles de la intersección 4.....	61
Tabla 15: Intensidad de grupos de carriles de la intersección 5.....	62
Tabla 16: Capacidad de grupos de carriles de la Intersección 1.....	63
Tabla 17: Capacidad de grupos de carriles de la Intersección 2.....	63
Tabla 18: Capacidad de grupos de carriles de la Intersección 3.....	63
Tabla 19: Capacidad de grupos de carriles de la Intersección 4.....	64
Tabla 20: Capacidad de grupos de carriles de la Intersección 5.....	64
Tabla 21: Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 1.	65
Tabla 22: Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 2.....	65
Tabla 23: Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 3.....	65
Tabla 24: Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 4.....	65
Tabla 25: Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 5.....	65
Tabla 26: Demora de los grupos de carril de la intersección 1.	66
Tabla 27: Demora de los grupos de carril de la intersección 2.	67
Tabla 28: Demora de los grupos de carril de la intersección 3.	67



Tabla 29: Demora de los grupos de carril de la intersección 4.....	67
Tabla 30: Demora de los grupos de carril de la intersección 5.....	67
Tabla 31: Demora del tráfico según el nivel de servicio.....	68
Tabla 32: Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 1.	68
Tabla 33: Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 2.....	68
Tabla 34: Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 3.....	68
Tabla 35: Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 4.....	69
Tabla 36: Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 5.....	69
Tabla 37: Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 1.....	81
Tabla 38: Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 2.....	81
Tabla 39: Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 3.....	82
Tabla 40: Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 4.....	82
Tabla 41: Intensidad de grupos de carriles de la intersección 6.....	83
Tabla 42: Capacidad de grupos de carriles de la Intersección 6.....	83
Tabla 43: Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 6.....	83
Tabla 44: Demora de los grupos de carril de la intersección 6.....	84
Tabla 45: Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 6.....	84
Tabla 46: Propuesta. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 1.....	85
Tabla 47: Propuesta. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 2.....	85
Tabla 48: Propuesta. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 3.....	85
Tabla 49: Propuesta. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 4.....	85
Tabla 50: Propuesta. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 5.....	86
Tabla 51: Intensidad de grupos de carril de la intersección 1.....	86
Tabla 52: Intensidad de grupos de carril de la intersección 2.....	86
Tabla 53: Intensidad de grupos de carril de la intersección 3.....	86
Tabla 54: Intensidad de grupos de carril de la intersección 4.	86
Tabla 55: Intensidad de grupos de carril de la intersección 5.	87
Tabla 56: Propuesta. Capacidad de la Intersección 1.....	87
Tabla 57: Propuesta. Capacidad de la Intersección 2.....	87
Tabla 58: Propuesta. Capacidad de la Intersección 3.....	87
Tabla 59: Propuesta. Capacidad de la Intersección 4.....	88



Tabla 60: Propuesta. Capacidad de la Intersección 5.....	88
Tabla 61: Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la I.1.....	88
Tabla 62: Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la I.2.....	89
Tabla 63: Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la I.3.....	89
Tabla 64: Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la I.4.....	89
Tabla 65: Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la I. 3.....	89
Tabla 66: Propuesta. Demora de los grupos de carril de la I.1.....	89
Tabla 67: Propuesta. Demora de los grupos de carril de la I.2.....	90
Tabla 68: Propuesta. Demora de los grupos de carril de la I.3.....	90
Tabla 69: Propuesta. Demora de los grupos de carril de la I.4.....	90
Tabla 70: Propuesta. Demora de los grupos de carril de la I.5.....	90
Tabla 71: Nivel de servicio de la intersección 1.....	91
Tabla 72: Nivel de servicio de la intersección 2.....	91
Tabla 73: Nivel de servicio de la intersección 3.....	91
Tabla 74: Nivel de servicio de la intersección 4.....	91
Tabla 75: Nivel de servicio de la intersección 5.....	91
Tabla 76: Nivel de servicio de la intersección 1.....	92
Tabla 77: Nivel de servicio de la intersección 2.....	92
Tabla 78: Nivel de servicio de la intersección 3.....	92
Tabla 79: Nivel de servicio de la intersección 4.....	92
Tabla 80: Nivel de servicio de la intersección 5.....	93
Tabla 81: Comparativa de los niveles de Servicio.....	94



1. Antecedentes

El siguiente estudio se presenta como Trabajo Fin de Máster de la alumna Ana Moragón Palacios, tutelado por Javier Soriano Ferriol, Profesor del Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

El título de este Trabajo Fin de Máster es: “Estudio y mejora de la funcionalidad de la intersección de la Avenida Pio Baroja - C/ Manuel de Falla (Valencia).

Al tratarse de un estudio de investigación este Trabajo Fin de Máster se clasifica como tipo II.



2. Introducción

Este estudio se centrará en el análisis de una intersección semaforizada situada en la ciudad de Valencia, como se ha comentado anteriormente.

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

Hay dos tipos fundamentales de intersecciones giratorias:

1. Las intersecciones con prioridad a la circulación anular.
2. Y el resto, bien sean con prioridad a todas o algunas de las entradas o con sistemas diferentes de prioridad.

2.1 Glorietas

Las glorietas son intersecciones de dos o más vías que están compuestas por una calzada anular con un único sentido de circulación que tiene prioridad sobre el tráfico entrante a la misma, el cual está controlado por señales de Ceda el Paso.

La circulación en la glorieta se realiza dejando la isleta central a la mano izquierda del conductor, y una vez dentro de la glorieta, los vehículos sólo pueden hacer giros a derechas, para dirigirse a una de las salidas.

Las trayectorias de los vehículos no se cruzan, sino que convergen y divergen, por ello, el número de puntos de conflicto es más reducido que en otros tipos de nudo.

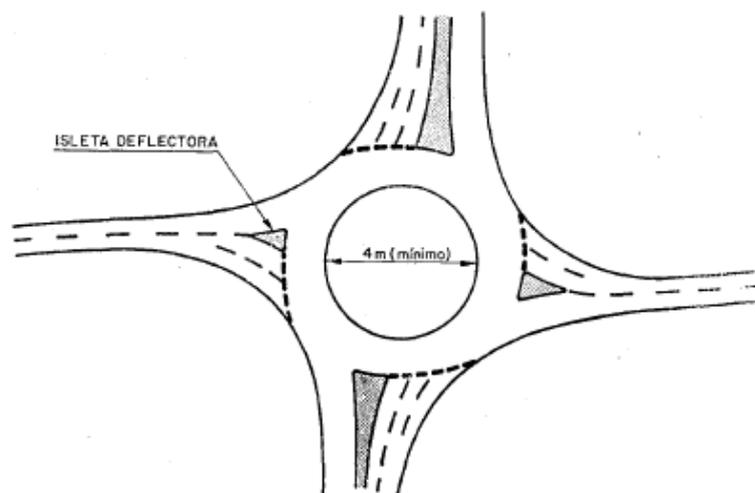


Figura 1: Definición de glorieta

No son glorietas propiamente dichas, las intersecciones conocidas vulgarmente como glorietas partidas, en las que dos tramos, generalmente opuestos, se conectan directamente a través de la isleta central, por lo que el tráfico que pasa de uno a otro no la rodea



2.2 Intersecciones

Se define como intersección la zona en la que confluyen dos o más vías. Los tramos de carreteras que confluyen en la intersección se denominan ramales.

Las intersecciones constituyen una parte esencial de la red viaria, ya que son los puntos en los que se puede cambiar de vía para seguir el itinerario deseado. En ellas los vehículos pueden seguir distintas trayectorias, y es necesario ordenarlas para reducir los conflictos entre los distintos movimientos.

Por otra parte y especialmente en zonas urbanas, las intersecciones son puntos críticos desde el punto de vista de la capacidad. Producen también una disminución sensible del nivel de servicio, porque es necesario reducir la velocidad, y si la intensidad de tráfico es elevada, puede ser preciso esperar durante algún tiempo antes de poder atravesar una intersección.

2.2.1 Intersecciones semaforizadas

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

Entre las funciones principales de la semaforización de intersecciones se encuentran:

- La reducción de la congestión.
- La mejora de la seguridad.
- Y apoyar diferentes estrategias de transporte (fortalecer el transporte público, reforzamiento de la jerarquía viaria, potenciación de peatones y ciclistas, etc).

Las intersecciones semaforizadas son el tipo de intersección más característico de las áreas urbanas, al proporcionar unas reglas de paso simples y universales. Se recomiendan a partir de ciertos niveles de intensidad de tráfico, por encima de los cuales las intersecciones convencionales se muestran incapaces de funcionar sin regulación. Como referencia indicativa, la semaforización debe tenerse en cuenta cuando las intensidades de las vías confluyentes son del orden de los 300 vehículos por hora en cada uno, o 500 en la vía principal.

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

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

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



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

2.3 Problemática de congestión en intersecciones semaforizadas

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

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

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

3. Objeto de Estudio

En el presente trabajo se procede a analizar la intersección semaforizada de la Avenida/Pío Baroja y C/Manuel de Falla, situada en la ciudad de Valencia, con el fin de realizar un estudio sobre su capacidad y nivel de servicio.

Una vez realizado estos análisis y analizado los resultados, se establecerá una serie de alternativas para mejorar la funcionalidad de esta intersección realizando un estudio comparativo entre éstas.

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

La metodología que se empleará en todo el estudio se regirá en la definida en el HCM 2010, Highway Capacity Manual 2010. Siguiendo los procedimientos que se explican en el volumen 3 "Interrupted Flow", capítulo 18 del HCM 2010.



4. Estado del arte

Las intersecciones semaforizadas, como bien se ha visto anteriormente, son aquellas intersecciones que están reguladas permanente o mayoritariamente mediante sistema de luces que establecen las prioridades de paso por la intersección.

Estas intersecciones, están establecidas por una variedad de condiciones que afectan la circulación del tráfico rodado.

Están creadas de acuerdo a las circunstancias del tráfico, es decir, de acuerdo a unos tiempos específicos que son dados para mantener un nivel de servicio óptimo y evitar posibles congestiones.

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

4.1 Semáforos

En toda intersección semaforizada, los semáforos son los elementos más importantes para la regulación del tráfico.

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

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

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



funcionamiento el tiempo de “verde”, el tiempo de “verde” efectivo, y el tiempo de “rojo” efectivo.

- **Tiempo de “verde”:** es el tiempo durante el cual la intersección no está utilizada por ningún movimiento. Estos tiempos ocurren durante el intervalo de cambio y al principio de cada fase cuando los primeros vehículos sufren retrasos en el arranque.
- **Tiempo de “verde” efectivo:** es el tiempo de verde más el intervalo de cambio menos el tiempo perdido de fase, expresado en segundos.
- **Tiempo de rojo “efectivo”:** es el tiempo durante el cual no se permite la circulación, algún movimiento específico o un conjunto de movimientos. Es la duración del ciclo menos el tiempo de verde efectivo para una fase específica, expresado en segundos.

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

- La operación prefijada es una acción que consiste en una secuencia de fases fijas, que están en un orden repetitivo, la duración de cada fase es precisa siempre con los mismos tiempos, es decir, todos los intervalos de cambio están prefijados, pero el intervalo de verde puede cambiar ya sea por el día de la semana o se acomoda a unas horas determinadas.
- La operación accionada se define como la fase de la secuencia en que la presentación de cada fase depende o está asociada a los movimientos del tráfico. Este tipo de operación se puede describir como: actuado, semi actuado y coordinado-actuado.

Semáforos actuados: se da cuando las fases están actuadas y todos los movimientos de tráfico de la intersección están controladas por detectores. Este tipo de control no está asociado con un ciclo constante y así las duraciones del ciclo y los tiempos de verde pueden variar según la demanda que se tenga.

Semáforos semi actuados: se trata de un tipo de control que utiliza las fases actuadas para servir los menores movimientos (calles secundarias) de una intersección mientras que los mayores movimientos que se producen en la intersección están operados con fases no actuadas, tratando de estar siempre en fase verde, así cuando las calles secundarias detecten un flujo vehicular, se les dará paso con un intervalo determinado. La secuencia y duración de cada fase actuada está determinada por la demanda de tráfico. Este tipo de control no está asociado a un ciclo constante.

Semáforos coordinados-actuados: este tipo de control es similar al anterior y asocia la fase coordinada aquellos movimientos menores en la intersección.



4.2 Tipos de movimientos

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

Se pueden diferenciar cuatro tipos de movimientos:

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

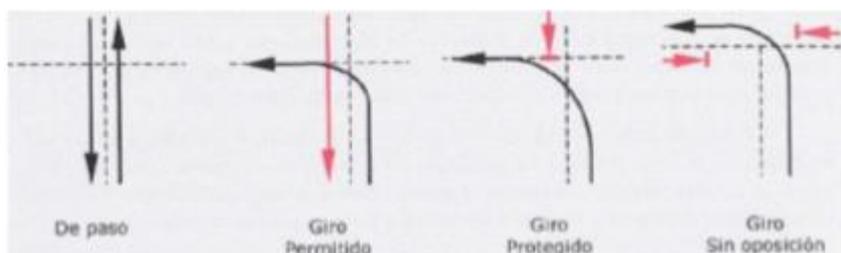


Figura 2: Tipos de movimientos en una intersección

4.3 Capacidad de las intersecciones semaforizadas

4.3.1 Definición

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



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

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

4.3.2 Factores

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

Condiciones de la vía:

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

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

El número de filas en que se dispone el tráfico, además de ser las delineadas por la señalización, varían en función de las horas punta, ya que los vehículos se sitúan formando más filas que las definidas por las marcas viales. Sin embargo, una buena demarcación de los carriles contribuye normalmente a aumentar la capacidad de la intersección.

Condiciones del tráfico:

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

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

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



Estacionamiento:

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

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

Maniobras de giro:

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

Factor de hora punta:

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

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

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

Situación de la intersección:

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

- Zona centro: es la zona en la que el uso predominante del suelo es la actividad mercantil y de negocios. Se caracteriza por el gran número de peatones, por la frecuencia de vehículos que cargan y descargan mercancías, por la alta demanda de estacionamiento y por la alta rotación del mismo.
- Zona intermedia: es la zona contigua al centro, donde se mezcla la actividad mercantil con suelo residencial de alta densidad. La mayor parte del tráfico no tiene su origen ni su destino dentro de la zona, caracterizada por la presencia de un número moderado de peatones.



- Zona del centro periférico: es una zona con menor trascendencia que el centro, aunque con unas características similares, con la diferencia de que se observa una mezcla de tráfico de paso con el existente dentro de la propia zona.
- Zona residencial: es la zona en la que predomina el uso residencial, y se caracteriza por tener una baja densidad peatonal y una renovación de estacionamiento muy baja.

4.4 Nivel de Servicio

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

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

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

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

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

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

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

Tabla 1: Demora de tráfico según el nivel de servicio



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

4.5.1 Introducción

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

Tanto la capacidad como el nivel de servicio son análisis que se realizan por separado, a partir de un proceso que se inicia con la recaudación de la información (aforos), a partir de los cuales se realiza un análisis para obtener la capacidad y por consiguiente, el nivel de servicio en el que se encuentra.

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

4.5.2 Determinación de la capacidad y el nivel de servicio

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

NIVEL DE ANÁLISIS

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

- Nivel operacional; es la aplicación más detallada y requiere información sobre el tráfico, tanto condiciones geométricas como de señalización.
- Nivel en base al diseño; también requiere información detallada sobre las condiciones de tráfico y niveles de servicio, así como sobre las condiciones geométricas y de señalización. Este análisis busca determinar unos valores razonables para las condiciones no previstas.



- Nivel analítico en base a la planificación e ingeniería preliminar; requiere solamente de información proporcionada por el analista. Para los otros datos de entrada se toman unos valores por defecto.

PERÍODO DE ESTUDIO

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

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

Uno de los enfoques que más se utilizan se basa en la evaluación del número de vehículos en los 15 minutos más cargados del período de estudio. El período de análisis es de 0,25 h. Por tanto, describiremos como el factor de hora punta a la relación entre la intensidad horaria de la hora punta y cuatro veces la intensidad del cuarto de hora más cargado de esa hora punta.

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

1. Determinar grupos de movimientos y grupos de carriles

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

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

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

El concepto de grupo de carriles es útil cuando un carril compartido está presente en un enfoque que tiene dos o más carriles.

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

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

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



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

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

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

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

Figura 3: Grupo de carriles para el análisis

2. Determinar la intensidad por grupo de movimientos

En este paso se determina la intensidad para cada grupo de movimientos. Si el movimiento de giro es atendido por uno o más carriles exclusivos o no compartidos, entonces la intensidad de los movimientos es asignada a un grupo de movimientos.

La intensidad de giros a la derecha en rojo es sustraída de la intensidad de giros a la derecha, independientemente si el giro a la derecha ocurre de un carril compartido o exclusivo.

En una intersección existente, el número de giros a la derecha en rojo debe ser determinado mediante observación en campo.



3. Determinar la intensidad por grupo de carriles

En este paso se determina la intensidad por grupo de carriles.

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

Si hay uno o más carriles compartidos en la actuación y dos o más carriles, entonces la intensidad por grupo de carriles se basa en el deseo que asumen los conductores al elegir el carril que minimice su tiempo de servicio en la intersección, donde la intensidad de saturación es utilizada para estimar las diferencias relativas en ese momento entre los diferentes carriles.

4. Determinar el ajuste de la intensidad de saturación

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

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

En donde:

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

f_w =factor de ajuste por ancho de carril.

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

f_g =factor de ajuste por inclinación del acceso.

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

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

f_a =factor de ajuste por tipo de área.

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

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

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

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

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

Intensidad de saturación base (s_0)

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

Factor de ajuste por ancho de carril (f_w)



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

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

Tabla 2: Valores del factor de ajuste por ancho

Factor por vehículos pesados (f_{hv})

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

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

En donde:

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

$E_t = 2$ (Para caminos y autobuses)

Factor de ajuste por inclinación del acceso (f_g)

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

$$f_g = 1 - P_g \cdot 20$$

En donde:

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

Factor de ajuste por maniobras de estacionamiento (f_p)

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

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



En donde:

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

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

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

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

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

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

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

En donde:

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

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

$f_{bb} \geq 0,05$

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

Factor de ajuste por tipo de área (f_a)

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

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

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

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

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

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



En donde:

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

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

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

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

En donde:

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

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

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

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

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

En donde:

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

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

c = ciclo (seg)

g_p = tiempo de servicio de peatones (seg)

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

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

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



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

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

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

En donde:

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

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

c = Ciclo (seg)

g = tiempo efectivo de verde (seg)

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

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

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

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

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

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

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

- Factor de ajuste

Por último, para determinar el factor de ajuste ($fLpb$ y $fRpb$), tanto para el movimiento de giro a la derecha como para el giro a la izquierda, se ha de determinar



previamente los factores de ajuste para movimientos de giro en la fase permitida de peatones y ciclistas (A_{pbT}).

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

- Si el número de carriles receptores es igual al número de carriles de giro, los vehículos que giren tendrán la posibilidad de maniobrar esquivando ciclistas y peatones; el factor de ajuste entonces es la proporción del tiempo que la zona de conflicto está desocupada. Esto se muestra en la ecuación:

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

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

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

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

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

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

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

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

5. Determinar la duración de fase de semáforo

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



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

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

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

En donde:

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

N=número de carriles

s= intensidad de saturación (veh/h)

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

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

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

En donde:

X= proporción volumen-capacidad

V= flujo de demanda (veh/h)

c= capacidad (veh/h)

7. Determinar la demora

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

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

$$d = d1(PF) + d2 + d3$$

En donde:

d= demora de control (s/veh)

d1= demora uniforme (s/veh)

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



d_2 = demora incremental (s/veh)

d_3 = demora por cola inicial (s/veh)

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

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

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

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

Tipo de Llegada	El factor de ajuste de progresión PF como una función de la proporción de verde					
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
No coordinado	1	1	1	1	1	1
Coordinado* *PF=(1-[1,33·g/C])/(1g/C)	0,92	0,86	0,78	0,67	0,5	0,22

Tabla 3: Valores para el factor de ajuste de progresión

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

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

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

En donde:

d_1 = demora uniforme (s/veh)

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

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

X= relación v/c del grupo de carriles

En referente a la demanda incremental (d_2), se estima por las llegadas no uniformes y los fallos temporales de ciclo así como las causadas por períodos de sobresaturación. Esto depende de la relación v/c del grupo de carriles (X), de la duración del período de análisis (T) y



la capacidad del grupo de vías (c). La siguiente ecuación asume que no hay demanda sin servicio causada por filas residuales en el comienzo del período de análisis (T).

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

En donde:

d_2 = demora incremental (s/veh)

T= duración del ciclo (h)

X= relación v/c del grupo del carriles

c= capacidad (veh/h)

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

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

En donde:

d_3 = demora por cola inicial (s/veh)

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

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

T= duración del período de análisis (h)

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

u= parámetro de demora

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

8. Determinar el nivel de servicio

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

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



NIVEL DE SERVICIO	DEMORA MEDIA [s/vh]
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 4: Demora de tráfico según el nivel de servicio

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

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

Nivel de servicio C: comprende las operaciones con una demora entre 20 y 35 segundos por vehículo y una relación entre el volumen y la capacidad no mayor que 1,0. Normalmente, este nivel se asigna cuando la progresión es favorable o la duración del ciclo es moderada. Por otro lado, el número de vehículos que se detienen es significativo, aunque muchos de ellos siguen pasando a través de la intersección sin parar.

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

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

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



5. Caracterización de la intersección semaforizada

5.1 Características de la intersección semaforizada

5.1.1 Caracterización del tramo

El tramo de estudio seleccionado se localiza en el distrito de Campanar, en el barrio de Sant Pau.

Próxima a la CV-30 y a la A-3.

La intersección de estudio, está formada por la Avenida Pío Baroja con la calle Manuel de Falla.

En la avenida Pío Baroja se encuentran elementos que hacen que esta intersección adquiera gran importancia en la ciudad de Valencia, como por ejemplo el Bioparc y el Parque de Cabecera.



Figura 4: Localización de la intersección objeto de estudio

Al analizar el comportamiento de la intersección, el problema principal que se presenta, es que se quedan cruzados los vehículos que vienen del norte (desde el Bioparc), cuando salen del semáforo, con lo que vienen por la marginal.

Tras analizar, se observa que el semáforo de salida del puente hacia el 9 de Octubre, influye en el almacenamiento que se produce.



La calle Manuel de Falla, también tiene próxima lugares importantes y visitados como por ejemplo el Nuevo Centro, el Expo Hotel, el antiguo Hospital la Fe, el Instituto Valenciano de Oncología...

En la siguiente figura, se muestra una vista completa de la intersección, que como se puede observar, encontramos tanto paso de peatones como carril bici.

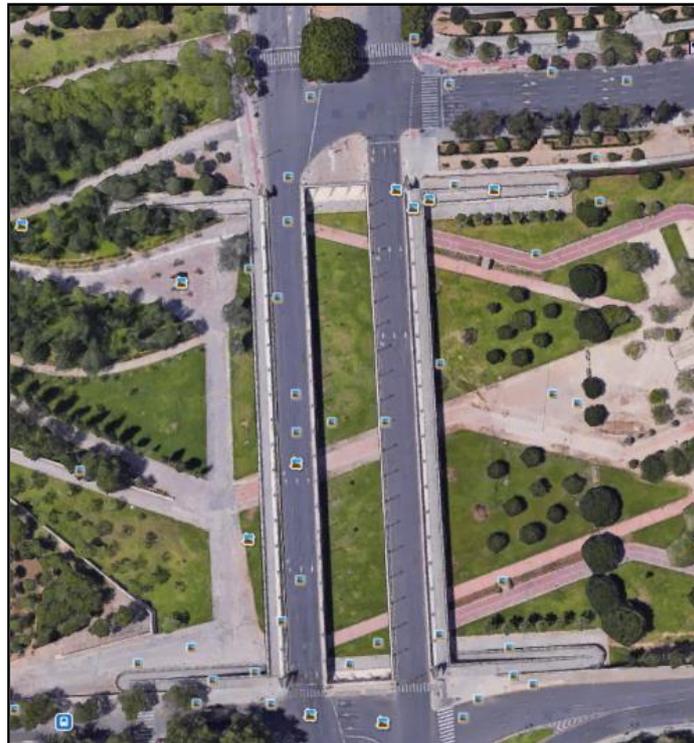


Figura 5: Vista satélite de la intersección objeto de estudio

En la figura número 6, que se muestra a continuación, están marcadas cada una de las intersecciones objetos de estudio.



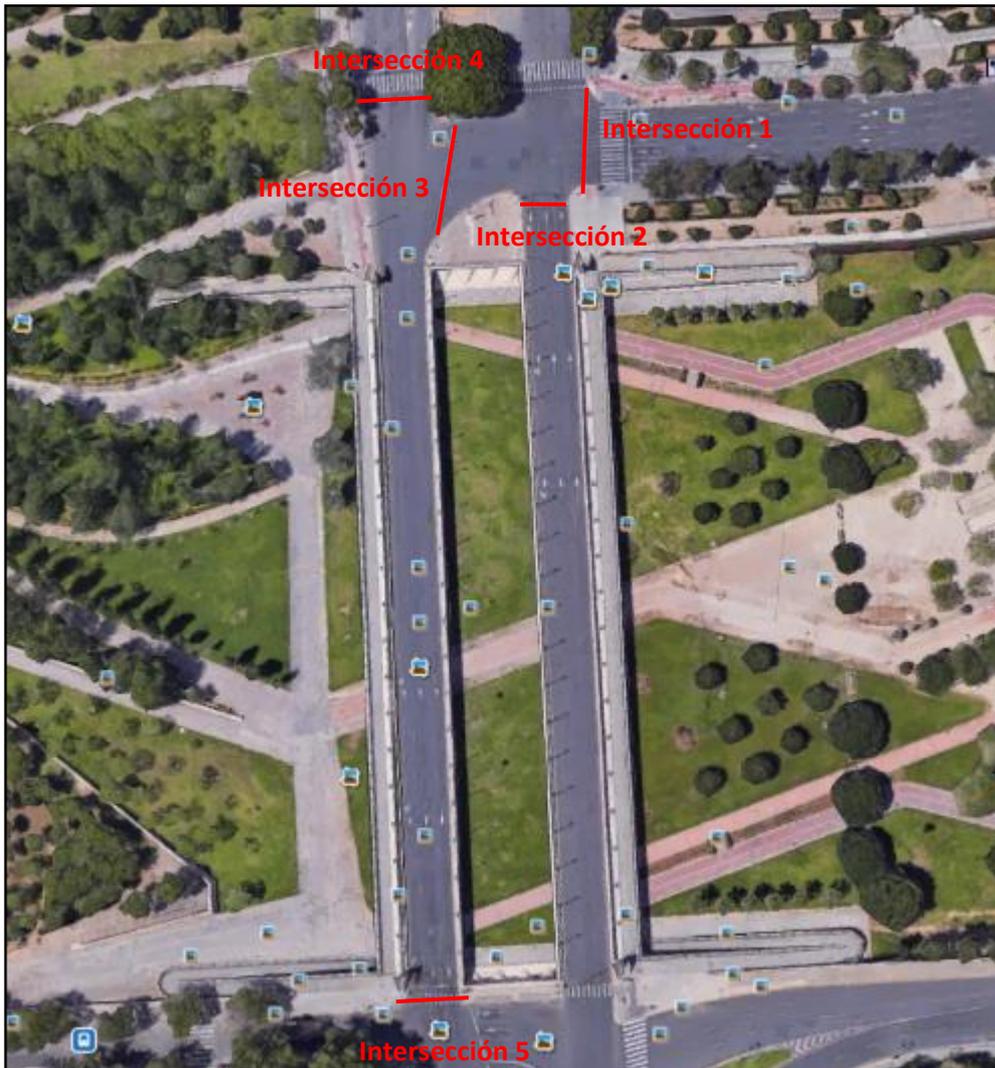


Figura 6: Vista satélite de cada intersección de estudio

En la siguiente imagen se puede observar las intersecciones 1,2,3 y 4, de manera más detallada.



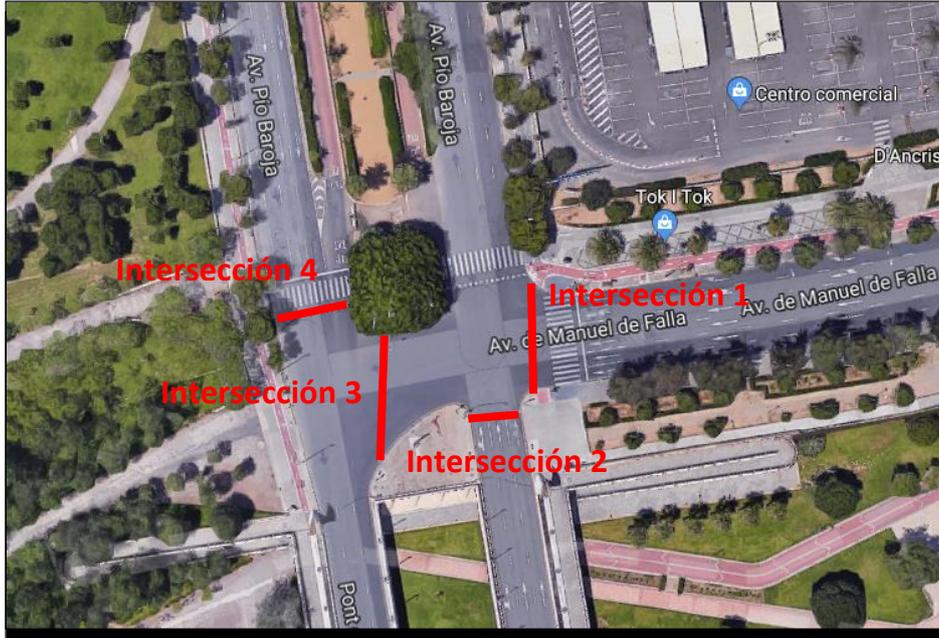


Figura 7: Intersecciones 1,2,3 y 4

Y en la siguiente imagen la intersección 5,



Figura 8: Intersección 5



Intersección 1:

En esta intersección los vehículos proceden de la Avenida de Manuel de Falla.

Dispone de seis carriles, 2.7 metros cada carril, de los cuales, 4 de ellos obligan a seguir la trayectoria, el quinto carril también permite desde ahí el giro a la derecha y el último carril es para realizar el giro a derechas obligatoriamente.

Encontramos una marca vial horizontal, concretamente la señalización M-7.10, denominada comúnmente como “Cuadrícula” de color amarillo, según lo establecido en la Norma 8.2-IC-“Marcas Viales”.

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

A lo largo de la Avenida Manuel de Falla, encontramos carril bici, por lo que en el giro a derechas se intercepta con peatones y biciletas, hay que tener especialmente cuidado porque cuando el semáforo de Manuel de Falla está verde, el semáforo para realizar el giro a derechas está en ámbar parpadeando con prioridad a peatones y bicicletas.



Figura 9: Fotografías intersección 1

Intersección 2:

En la intersección 2, los coches circulan por el Pont del Nou d’Octubre dirección Avenida Pio Baroja.

Está formado por 3 carriles, de 3 metros cada uno, de los cuales, dos son en sentido para continuar la dirección Avenida Pio Baroja y el tercer carril permite el giro a izquierdas.

En las siguientes fotografías, se puede ver esta intersección:





Figura 10: Fotografía intersección 2

Intersección 3:

Los vehículos llegan principalmente de la Avenida Manuel de Falla, para coger la Avenida Pio Baroja, dirección Calle Nueve de Octubre.

También llegan los vehículos que vienen desde el puerto Nou d' Octubre, para hacer un cambio de dirección.



Figura 11: Fotografía intersección 3

Intersección 4:

La intersección 4, une la Avenida Pio Baroja con el Port del Nou d' Octubre. Está formado por 5 carriles (4 para vehículos de 3 metros cada uno y un carril Bus) Es la intersección más problemática y donde más congestión se produce. Ahí llegan vehículos procedentes de la Calle Manuel de Falla y de la Avenida Pio Baroja.

A horas punta los vehículos que circulan por la calle Manuel de Falla, dirección Puente de Octubre colapsan la intersección y cuando el semáforo de la Avenida Pio Baroja se pone verde la intersección todavía está ocupada.

Además, después de comprar como se comportan los vehículos en la intersección de estudio, hay que destacar que los vehículos parados en el semáforo de la Avenida Pio Baroja, salen cuando todavía la luz del semáforo es rojo, impidiendo que la intersección quede despejada.

Provocando todavía más congestión, cuando hay un autobús público, ya que el autobús sale por la izquierda e intenta colocarse nada más arrancar lo más a la derecha posible en el Port del Nou d' Octubre.

Haciendo frenar a los coches que ya han salido y quedando el cruce congestionado.



Figura 12: Fotografía intersección 4

Intersección 5

Está situada al final del puente Nueve de Octubre y une con la calle Nueve de Octubre. El tiempo de verde de este semáforo influye en el comportamiento y congestión aguas arriba de este cruce, justo antes de la entrada del puente.



Figura 13: Fotografía intersección 5

En las siguientes figuras, se presenta en Autocad cada una de las intersecciones en las que hemos dividido nuestra zona de estudio, para poder observar los movimientos que puede hacer los vehículos en cada uno de los carriles.





Figura 14: Vista satélite de las intersecciones 1,2,3 y 4 en AutoCad



Figura 15: Vista satélite de la intersección 5 en AutoCad

5.1.2 Caracterización del transporte urbano

Para el conocimiento completo del transporte urbano que se maneja sobre las intersecciones, se debe obtener información sobre los movimientos que se producen en los centros atractores y receptores cerca de las intersecciones. En este caso, las intersecciones objeto de estudio, están próxima a la salida de Valencia dirección A-3. Estando también próximo lugares de afluencia como Carrefour, el Centro Comercial Nuevo Centro, el antiguo Hospital La Fe, Hospital Nueve de Octubre...





Figura 17: Descripción de la intersección 1

La intersección 2 cuenta con 3 carriles de 3 metros de ancho, los cuales operan de Sur-Norte. El carril más situado al oeste permite también el giro a la izquierda, dirección puente Nueve de Octubre.



Figura 18: Descripción de la intersección 2



La intersección 3; ahí se almacenen los vehículos que van dirección al Puente Nou d'Octubre.

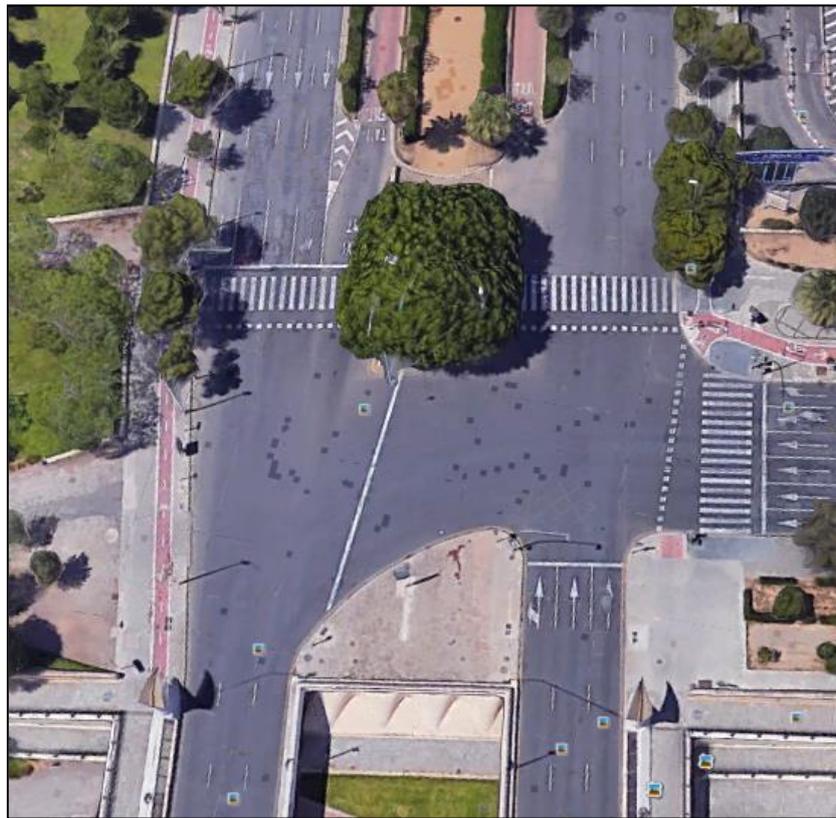


Figura 19: Descripción de la intersección 3

Por otro lado, tenemos la intersección 4; Avenida Pio Baroja, dirección Pont del Nou d' Octubre, que está formado por 4 carriles de 3 metros de ancho cada uno dirección Norte-Sur y un carril exclusivo para EMT, separado de los anteriores. Todos los carriles el movimiento que permiten es continuar con la trayectoria.





Figura 20: Descripción de la intersección 4

Y por último la intersección 5, une el puente Nueve de Octubre con la calle Nueve de Octubre. Está formado por 3 carriles, de 3 metros cada uno, de los cuales, dos te obligan a continuar la trayectoria hacia La Calle Nueve de Octubre y el otro también permite el giro a derechas para continuar por el paseo de la Petxina.

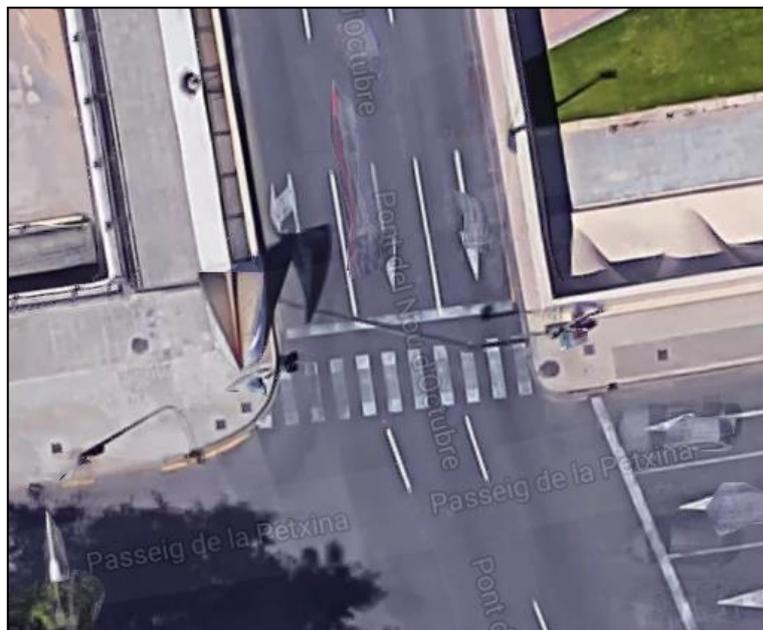


Figura 21: Descripción de la intersección 5



5.2 Toma de información

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

Esta información se ha obtenido mediante aforos distribuidos en diferentes zonas con el fin de poder abarcar todo el ámbito de estudio. Los datos obtenidos se han corroborado con los datos del Ayuntamiento de Valencia.

Valencia dispone de un sistema centralizado de Control del Tráfico que permite regular en tiempo real los semáforos para adecuarlos a las condiciones del tráfico. Mediante dicho sistema es posible modificar el tiempo de verde de cada acceso, el ciclo semafórico y la sincronización entre diferentes cruces para evitar que se generen colas en unas vías mientras sobra tiempo en otras, consiguiendo con ello reducir la demora y aumentar la velocidad de circulación.

En la intersección de estudio, hay 4 cámaras situadas próximas a nuestra intersección.

1. Pio Baroja-Manuel de Falla
2. Puente Nueve de Octubre dirección Avenida del Cid.
3. Manuel de Falla dirección Tirso de Molina
4. Pio Baroja dirección General Avilés.



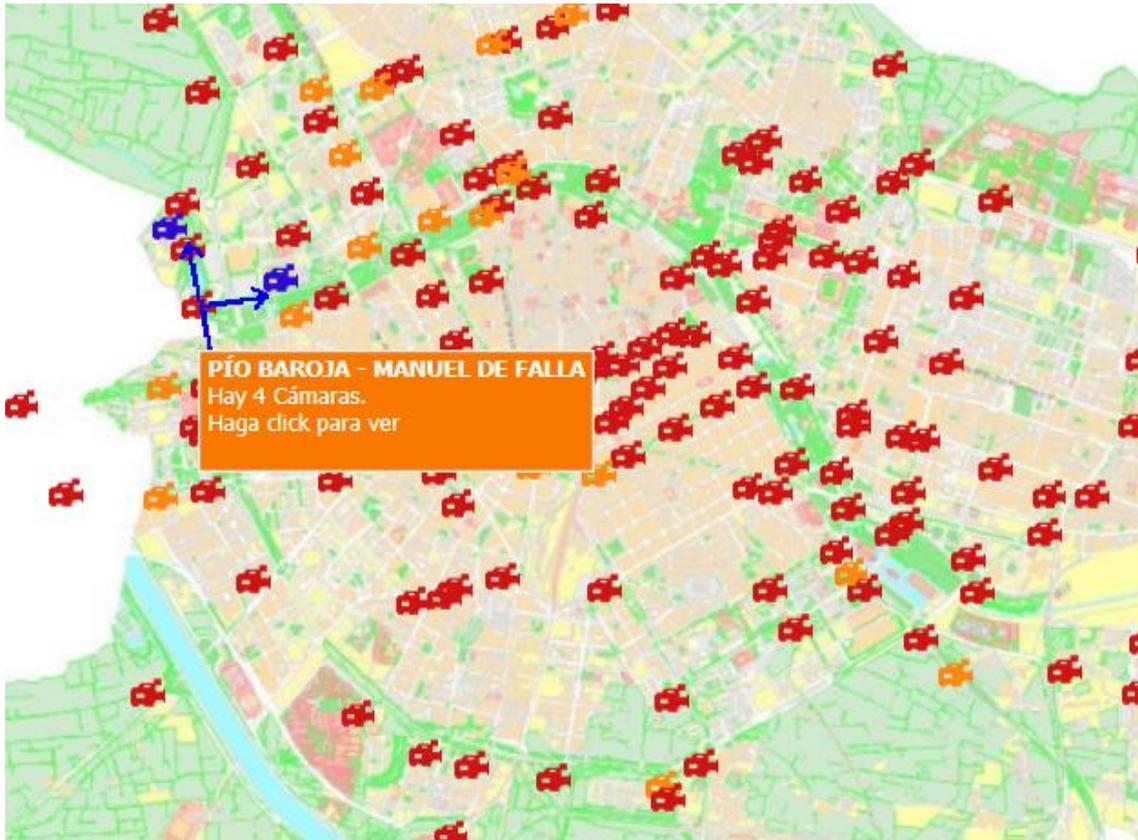


Figura 22: Control de tráfico

5.2.1 Volumen y composición vehicular

Los datos de los volúmenes vehiculares se obtienen con el fin de poder realizar un análisis de la capacidad y el nivel de servicio de la intersección en la actualidad.

Con estos aforos se obtiene:

- Clasificación vehicular
- Movimientos direccionales en las intersecciones semaforizadas
- Dirección de recorrido
- Uso de carriles

Los aforos se realizaron en días hábiles, concretamente martes, miércoles y jueves, tanto para vehículos como para peatones y ciclistas. Los días lunes, viernes se descartan porque el comportamiento en estos días es variable respecto a los mencionados anteriormente.

En cuanto al volumen vehicular de cada intersección en particular,

- En la intersección 1, provienen los vehículos de la avenida Manuel de Falla, alrededor de 1.380 veh/hora, de los cuales el 16% giran hacia la derecha, dirección Avenida Pío Baroja.



- En la intersección 2, los vehículos vienen del Puente del Nueve de Octubre dirección Avenida Pío Baroja, estos vehículos son sobre 2100 veh/hora, realizando el giro a izquierda muy poco porcentaje de vehículos.
- En la intersección 4, circulan alrededor de unos 2490 veh/hora.
- Y por último, en la intersección 5, circulan alrededor de unos 2400 veh/hora. Los vehículos vienen por el Puente de octubre dirección Nueve de Octubre y otros vehículos se incorporan a la avenida de la Petxina.

La composición vehicular de la intersección se caracteriza por tener un bajo volumen de vehículos pesados, ya que, al tratarse de una intersección situada en zona urbana, el acceso al transporte público y autobuses dirección a la A-3, ya que la intersección de estudio está próxima a la estación de autobuses.

5.3 Problemática de la intersección

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

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

Sin conocer todavía el nivel de servicio de las distintas intersecciones del estudio, se percibe que concretamente que entre la intersección 4 y la intersección 3, se produce un atasco, provocando bloqueo en los carriles del Puente de Octubre dirección Avenida del Cid.

El problema se empieza a crear cuando el semáforo 1, 3 y 5 están rojos.



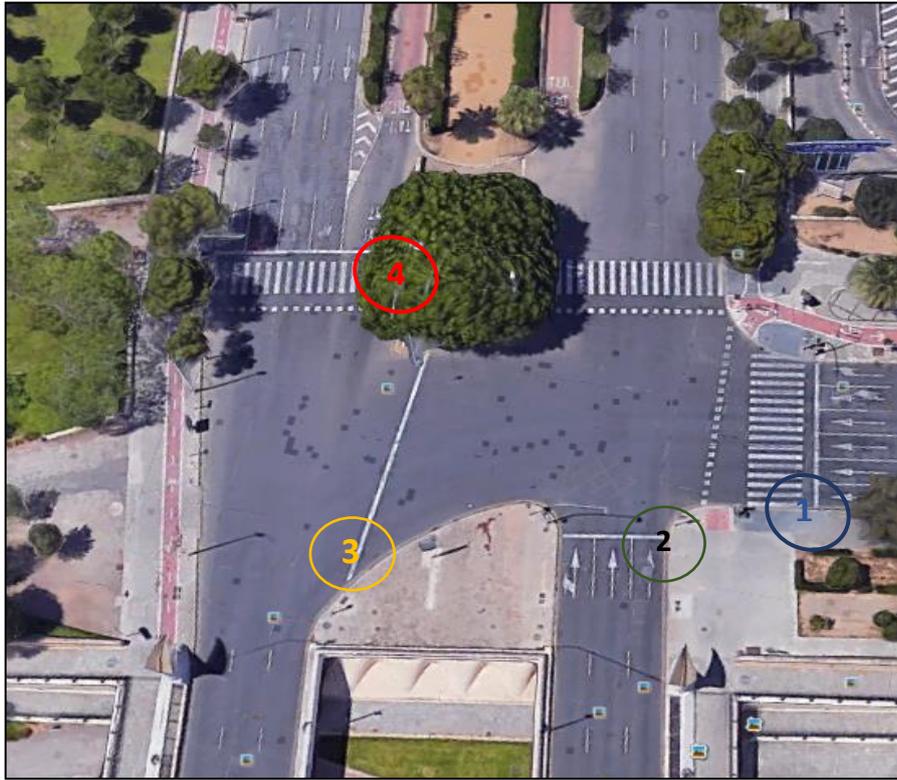


Figura 23: Situación de los semáforos 1,2,3 y 4

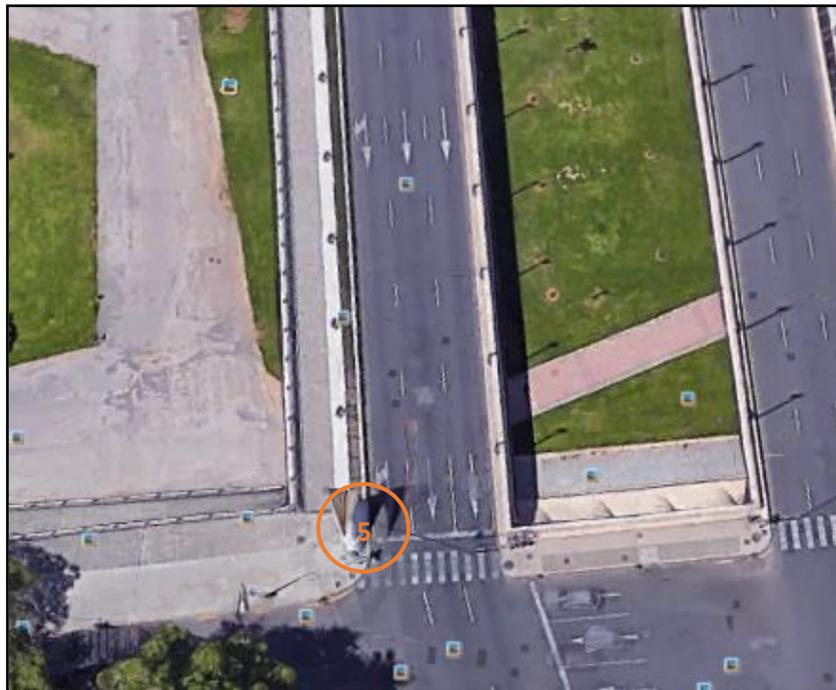


Figura 24: Situación de los semáforos 5



El semáforo 4 todavía está verde, permitiendo el paso a los vehículos desde la Avenida Pío Baroja hacia el puente del Nueve de Octubre, congestionándose el puente como se puede observar en la siguiente imagen:

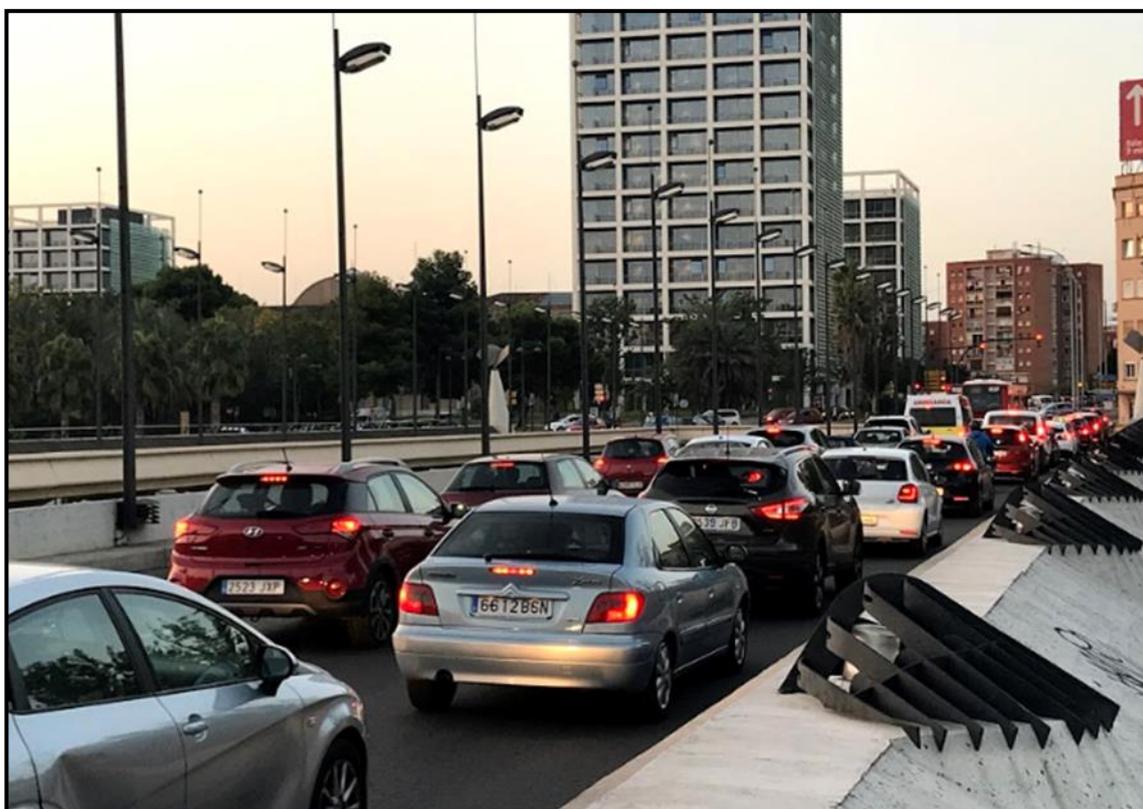


Figura 25: Congestión en el Puente del Nueve de Octubre

Entonces cuando los semáforos 1 y 5 se ponen verde, los vehículos que viene por la calle Manuel de Falla dirección hacía el puente, se juntan con los vehículos que aún no han podido salir del puente, provocándose el almacenamiento de los vehículos en la intersección como se muestra en las siguientes imágenes:





Figura 26: Congestión en el Puente del Nueve de Octubre



Figura 27: Almacenamiento de vehículos





Figura 28: Almacenamiento de vehículos



Figura 29: Almacenamiento de vehículos



También hay que destacar que cuando, los vehículos que circulan desde la calle Manuel de Falla dirección al Puente del Nueve de Octubre y los vehículos que están en la intersección 4 están parados en el semáforo, en el momento que el semáforo de peatones de la intersección 4 empieza a parpadear, los vehículos que se encuentran parados en esa intersección también empiezan a salir.

Por tanto, se juntan a la entrada del puente con los que todavía están cruzando, acumulándose los vehículos, bloqueándose y quedando muchos coches totalmente parados.



Figura 30: Vehículos que viene de Manuel de Falla que se juntan con los vehículos de Avenida Pio Baroja

En la figura 23 se muestra un esquema de lo que sucede en la realidad. De manera más concreta, cuando los semáforos 2 y 4 se encuentran en fase roja, el 1 y 5 en fase verde y el 3 en fase ámbar. En este momento, cuando el semáforo de peatones de la intersección 4, empieza a parpadear, se acumulan los vehículos en la entrada del Puente del Nueve de Octubre.



Figura 31: Fotografías del funcionamiento de la intersección 4

Además, hay que añadir, que en la Avenida Pío Barajo hay un carril exclusivo para los autobuses de la EMT, que cuando terminan esta Avenida y en cuento termina el carril exclusivo, intentan meterse los más a la derecha posible para comenzar el Puente en el carril de la derecha. Puesto que son vehículos más largos y pesados con peor maniobrabilidad, al cruzarse todos los carriles provocan el bloquean los coches que se quedan detrás.

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



6. Análisis de capacidad con el HCM 2010 de la intersección semaforizada

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

6.1 Parámetros de entrada

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

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

Tabla 5: Parámetros requeridos para el análisis operacional

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

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

Condiciones geométricas:

Intersección 1:

Intersección semaforizada: 6 carriles de 2.7m de ancho.

Intersección 2:

Intersección semaforizada: 3 carriles de 3m de ancho cada carril.



Intersección 3:

Intersección semaforizada: en esta intersección no están delimitados los carriles, en la que tomaremos como referencia, 1 carril cada 3,5 metros para poder delimitarla. Por tanto serían 6 carriles de 3,5 metros de ancho.

Intersección 4:

Intersección semaforizada: 4 carriles de 3 metros de ancho y carril exclusivo para autobuses de la EMT de 4 metros.

Intersección 5:

Intersección semaforizada: 3 carriles con 3 m de ancho cada carril.

Condiciones de tráfico:

Los volúmenes de cada una de las intersecciones son:

Intersección 1		
	Veh/h	Veh. Pesados
GC-1	228	6
GC-2	1152	16

Tabla 6: Vehículos ordinarios y pesado por hora en la intersección 1

Intersección 2		
	Veh/h	Veh. Pesados
GC-1	752	0
GC-2	1472	36

Tabla 7: Vehículos ordinarios y pesado por hora en la intersección 2

Intersección 3		
	Veh/h	Veh. Pesados
GC-1	1340	24

Tabla 8: Vehículos ordinarios y pesado por hora en la intersección 3



Intersección 4		
	Veh/h	Veh. Pesados
GC-1	2380	20

Tabla 9: Vehículos ordinarios y pesado por hora en la intersección 4

Intersección 5		
	Veh/h	Veh. Pesados
GC-1	660	12
GC-2	1392	56

Tabla10: Vehículos ordinarios y pesado por hora en la intersección 5

Condiciones de señalización:

- Volumen de peatones y volumen de ciclistas:

Al encontrarse la intersección en un punto concurrido por los ciudadanos, se tendrá en cuenta en los posteriores cálculos, el volumen de peatones y ciclistas que intervienen en ella en la hora punta.

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

6.2 Aplicación metodología HCM 2010

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

Para definir los grupos de movimientos y grupos de carriles utilizaremos las bases establecidas en apartados anteriores.

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



- La determinación de los grupos de movimientos y carriles de la Intersección 1 sería; ya que tras analizar la intersección, se observa que el carril que permite seguir al frente y girar a la derecha, solo es utilizado para seguir al frente, los que quieren girar a la derecha se colocan en el carril derecho.



Figura 32: Grupo de carriles y movimientos de la Intersección 1

- En la intersección 2:



Figura 33: Grupo de carriles y movimientos de la Intersección 2

- Los grupos de carriles y movimientos de la Intersección 3:

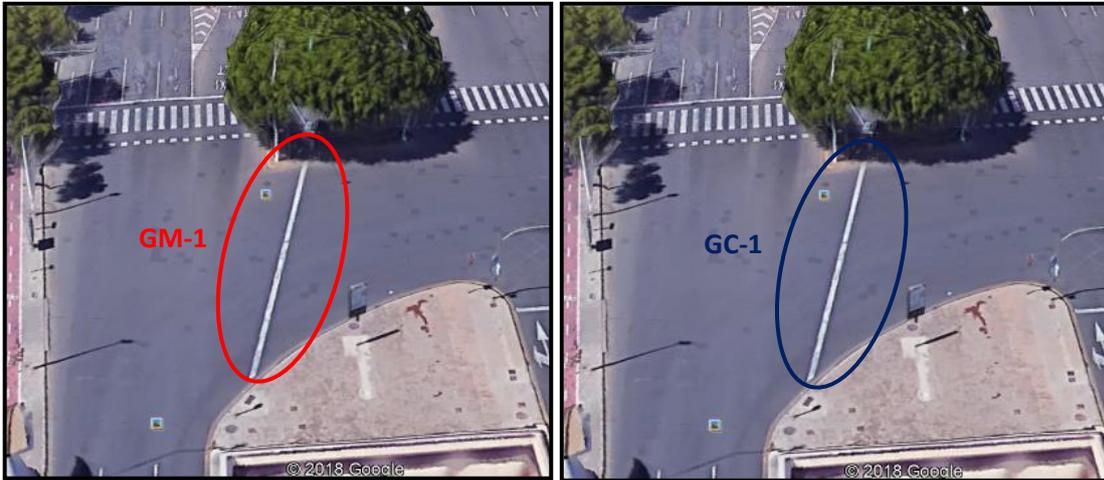


Figura 34: Grupo de carriles y movimientos de la Intersección 3

- En la Intersección 4;

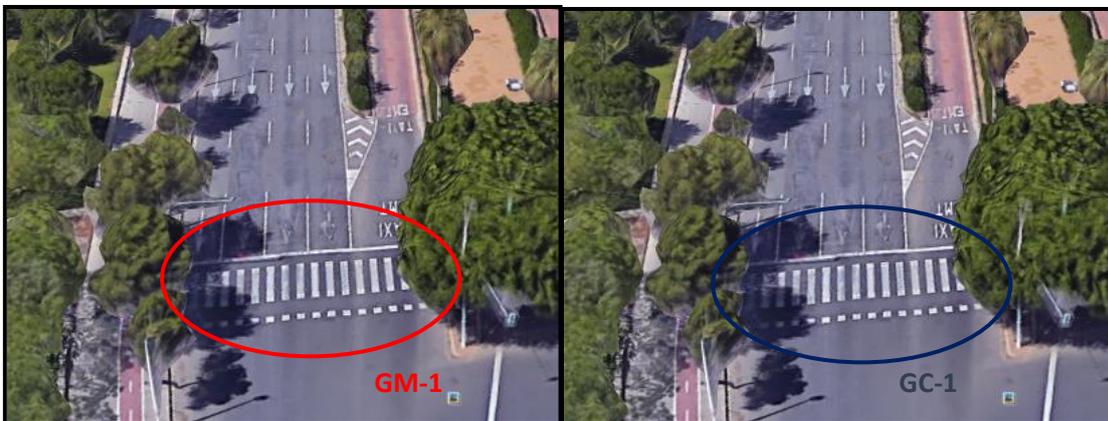


Figura 35: Grupo de carriles y movimientos de la Intersección 4



- Y, por último, en la intersección 5 los grupos de carriles y de movimiento, son;



Figura 36: Grupo de carriles y movimientos de la Intersección 5

2. Determinar la intensidad por grupo de carriles

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

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

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

Intersección 1

- Grupo de carril 1: 228 veh/hora
- Grupo de carril 2: 1152 veh/hora

Intersección 2

- Grupo de carril 1: 752 veh/hora
- Grupo de carril 2: 1472 veh/hora

Intersección 3

- Grupo de carril 1: 1340 veh/hora

Intersección 4

- Grupo de carril 1: 2380 veh/hora

Intersección 5

- Grupo de carril 1: 325 veh/hora
- Grupo de carril 2: 2132 veh/hora

3. Determinar el ajuste de la intensidad de saturación

Para realizar el cálculo de la intensidad de saturación se utilizará la expresión que se muestra a continuación, descrita en apartados anteriores. Esta intensidad se ve afectada por varios factores que se ajustan a la intensidad de saturación base, s_0 , a la cual se le atribuye el valor de 1900 veh/h/carril.

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

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

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

Intersección 1



Figura 37: Grupo de carriles de la Intersección 1

Intersección 1		
	GC-1	GC2
Intersección de Saturación (s)	1461,435	1620,533

Tabla 11: Intensidad de grupos de carriles de la intersección 1



Intersección 2



Figura 38: Grupo de carriles de la Intersección 2

Intersección 2		
	GC-1	GC2
Intersección de Saturación (s)	1737,177	1772,394

Tabla 12: Intensidad de grupos de carriles de la intersección 2

Intersección 3



Figura 39: Grupo de carriles de la Intersección 3

	Intersección 3
	GC-1
Intersección de Saturación (s)	1777,564

Tabla 13: Intensidad de grupos de carriles de la intersección 3

Intersección 4



Figura 40: Grupo de carriles de la Intersección 4

	Intersección 4
	GC-1
Intersección de Saturación (s)	1692,902

Tabla 14: Intensidad de grupos de carriles de la intersección 4

Intersección 5



Figura 41: Grupo de carriles de la Intersección 5



		Intersección 5	
		GC-1	GC2
Intersección de Saturación (s)		1540,297	1434,804

Tabla 15: Intensidad de grupos de carriles de la intersección 5

4. Determinación de la duración de fase de semáforo

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

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

5. Determinar la capacidad y la proporción volumen-capacidad

La capacidad de las intersecciones está basada en el concepto de intensidad de saturación, proporción de verde efectivo del grupo de carriles y número de carriles.

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

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

En donde:

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

N=número de carriles

s= intensidad de saturación (veh/h)

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

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



Intersección 1:

	Intersección 1	
	GC1	GC2
N	1,000	5,000
s	1461,435	1620,533
g	58,000	58,000
C	120,000	120,000
g/C	0,483	0,483
Capacidad	706,360	3916,288

Tabla 16: Capacidad de grupos de carriles de la Intersección 1

Intersección 2:

	Intersección 2	
	GC1	GC2
N	1	2
s	1737,18	1772,39
g	83	83
C	120	120
g/C	0,69	0,69
Capacidad	1201,55	2451,81

Tabla 17: Capacidad de grupos de carriles de la Intersección 2

Intersección 3

	Intersección 3
	GC1
N	6
s	1777,56
g	75
C	120
g/C	0,38
Capacidad	3999,52

Tabla 18: Capacidad de grupos de carriles de la Intersección 3



Intersección 4

		Intersección 4	
		GC1	
N		5,000	
s		1692,902	
g		63,000	
C		120,000	
g/C		0,525	
Capacidad		4443,867	

Tabla 19: Capacidad de grupos de carriles de la Intersección 4

Intersección 5

			Intersección 5	
			GC1	GC2
N		1	2	
s		1540,297	1434,804	
g		29	29	
C		120	120	
g/C		0,242	0,242	
Capacidad		372,238	693,489	

Tabla 20: Capacidad de grupos de carriles de la Intersección 5

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

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

En donde:

X= proporción volumen-capacidad

V= flujo de demanda (veh/h)

c= capacidad (veh/h)



Intersección 1		
	GC1	GC2
Capacidad	706,360	3916,288
Vi (Veh/h)	228,000	1152,000
X=Vi/Ci	0,323	0,294

Tabla 21: Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 1.

Intersección 2		
	GC1	GC2
Capacidad	1201,548	2451,812
Vi (Veh/h)	752,000	1472,000
X=Vi/Ci	0,626	0,600

Tabla 22: Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 2

Intersección 3	
	GC1
Capacidad	3999,519
Vi (Veh/h)	1340
X=Vi/Ci	0,335

Tabla 23: Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 3

Intersección 4	
	GC1
Capacidad	4443,867
Vi (Veh/h)	2380
X=Vi/Ci	0,536

Tabla 24: Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 4

Intersección 5		
	GC1	GC2
Capacidad	372,238	693,4886
Vi (Veh/h)	660	1392
X=Vi/Ci	1,773	2,07

Tabla 25: Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 5



6. Determinar la demora

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

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

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

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

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

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

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

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

	Intersección 1	
	GC1	GC2
d1	18,977	18,671
PF	0,691	0,691
d2	1,177	0,191
Demora	14,296	13,098

Tabla 26: Demora de los grupos de carril de la intersección 1.



Intersección 2		
	GC1	GC2
d1	10,058	9,755
PF	0,260	0,260
d2	2,254	1,052
Demora	4,867	3,585

Tabla 27: Demora de los grupos de carril de la intersección 2.

Intersección 3	
	GC1
d1	26,865
PF	0,802
d2	0,225
Demora	21,723

Tabla 28: Demora de los grupos de carril de la intersección 3.

Intersección 4	
	GC1
d1	18,833
PF	0,635
d2	0,459
Demora	12,422

Tabla 29: Demora de los grupos de carril de la intersección 4

Intersección 5		
	GC1	GC2
d1	45,5	45,5
PF	0,895	0,895
d2	50,82	59,148
Demora	91,565	99,863

Tabla 30: Demora de los grupos de carril de la intersección 5



7. Determinar el Nivel de Servicio

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

NIVEL DE SERVICIO	DEMORA MEDIA [s/vh]
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 31: Demora del tráfico según el nivel de servicio

Intersección 1

Intersección 1		
	GC1	GC2
Demora (s/veh)	14,296	13,098
Nivel de Servicio	B	B

Tabla 32: Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 1.

Intersección 2

Intersección 2		
	GC1	GC2
Demora (s/veh)	4,867	3,585
Nivel de Servicio	A	A

Tabla 33: Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 2

Intersección 3

Intersección 3	
	GC1
Demora (s/veh)	21,723
Nivel de Servicio	C

Tabla 34: Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 3



Intersección 4

Intersección 4	
GC1	
Demora (s/veh)	12,422
Nivel de Servicio	C

Tabla 35: Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 4

Intersección 5

Intersección 5		
	GC1	GC2
Demora (s/veh)	91,565	99,863
Nivel de Servicio	F	F

Tabla 36: Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 5

Una vez obtenidos todos los resultados, se puede apreciar que en las intersecciones 1,2,3 y 4 el nivel de servicio se encuentra entre los niveles A, B, C. Esto representa unas condiciones de tráfico en las que los vehículos no tienen demoras significativas en los períodos punta de demanda.

Sin embargo, lo que ocurre en la realidad en las horas puntas, es todo lo contrario. En especial, por la mañana de 07:00 a 08:00, provocándose congestión, causándose demoras y necesitando la actuación de la Policía Local para dirigir el tráfico.

Por lo que no es un problema de capacidad, sino un problema de almacenamiento.

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

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

Por tanto, en la intersección 2, el grupo de carril que realiza el giro a izquierdas, no puede calcularse con precisión.

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

Los vehículos que proceden de la intersección 3, dirección Puente del Nueve de Octubre se quedan bloqueados ya que se produce una reducción de carriles pasando de 6 carriles de la intersección 1 a 3 carriles del Puente del Nueve de Octubre.



Además, los vehículos de la intersección 3, en especial los carriles de la izquierda ven dificultado el giro porque el ángulo es muy cerrado, provocando que algunos vehículos se queden parados porque no tiene suficiente espacio para realizar el giro y bloqueando al resto de vehículos.



Figura 42: Giro dirección puente

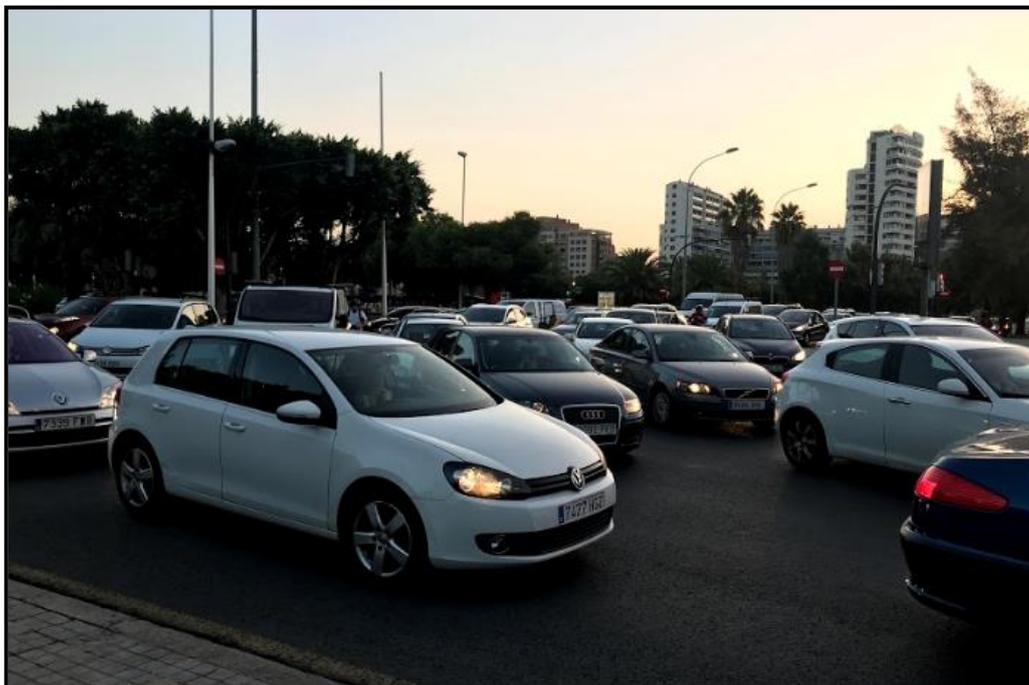


Figura 43: Almacenamiento de vehículos



La intersección todavía no está despejada cuando los vehículos que salen de la Intersección 4, que como se puede ver en la imagen salen con antelación a que el semáforo esté en verde saliendo en cuanto el semáforo de peatones empieza a parpadear, se acumulan con los vehículos de que proceden de la intersección 3 y que están girando hacia el puente del Nueve de Octubre.



Figura 44: Funcionamiento intersección 4



Figura 45: Entrada al puente



El problema está en el tiempo de verde del semáforo de la intersección 5, el cual se debería ampliar para conseguir que se despeje totalmente la intersección, antes que los vehículos de la intersección 4 salgan.

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



7. Presentación y elección de propuestas

7.1 Introducción

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

El movimiento que produce mayor conflicto es el giro a izquierda en las intersecciones.

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

En este caso se proponen alternativas, se analizan sus ventajas e inconvenientes, y se comprueba si son adecuadas para su implementación en la intersección, con el objetivo de reducir la congestión que se produce entre la intersección 3 y 4.

7.2 Propuestas

Entre las intersecciones analizadas con anterioridad, la denominada con los números 3 y 4, son la que presentan más congestión y problemas.

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

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

Las diferentes alternativas que se proponen en esta intersección, son:

7.2.1 Propuesta 1: Marcas Viales

El diseño de esta propuesta tiene como principal objetivo reducir la zona de conflicto situada entre la intersección 3 y 4.

La zona de conflicto mencionada es una superficie pavimentada de grandes dimensiones que invita a los vehículos a realizar movimientos desordenados, aumentando el número de accidentes y disminuyendo la capacidad de la intersección.

Por lo que se plantea la aplicación de una marca vial horizontal, concretamente la señalización M-7.10 denominada comúnmente como "Cuadrícula" de color amarillo, según lo establecido en la Norma 8.2-IC-"Marcas Viales".



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

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

Esta señal se pintaría en la intersección 3 -4 y ya está pintada en la intersección 1-2.

Con esta alternativa si los vehículos la respetaran se podría reducir un poco el bloque de vehículos entre intersecciones, pero no se resolvería el problema de almacenamiento en la intersección 5,

Pero tiene el inconveniente que puede dar lugar, a la acumulación de los vehículos en la calle Manuel de Falla o Avenida Pio Baroja.



Figura 46: Propuesta Marcas Viales

7.2.2 Propuesta 2: Paso inferior que conecte Mislata con Paseo de la Pechina.

Esta alternativa, consiste en la ejecución de un paso inferior que comunique Mislata con el Paseo de la Pechina, con el objetivo de conseguir ampliar el tiempo de verde del semáforo del puente del Nueve de Octubre.



Por medio de esta alternativa, los vehículos procedentes de Mislata tendrían una circulación más fluida evitando semáforos.

Tiene el inconveniente de que su ejecución es muy costosa, causando un impacto sustancial en el tráfico de vehículos durante la construcción, afectando además a peatones y ciclistas

En la siguiente imagen, encontramos una representación de las zonas que comunicaría el paso inferior y de la entrada y salida de dicho paso.

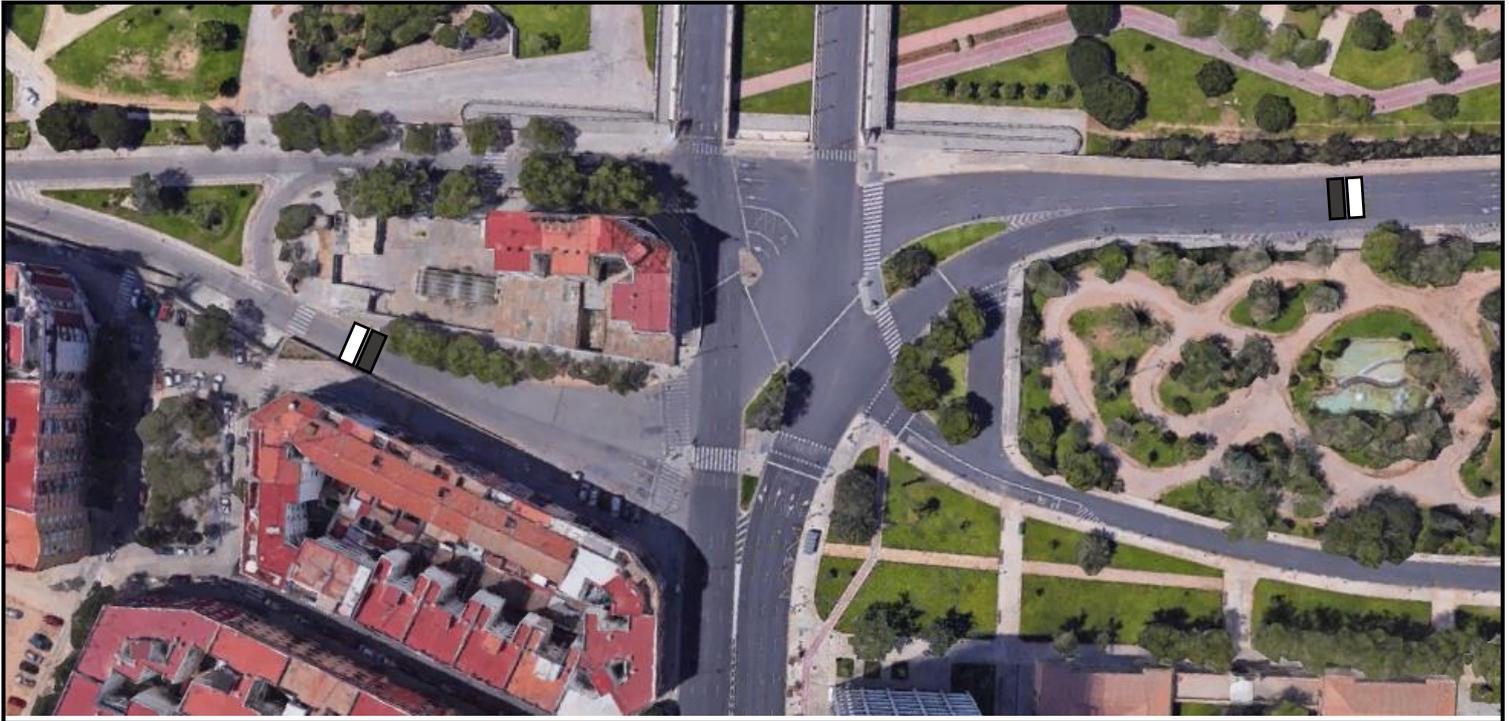
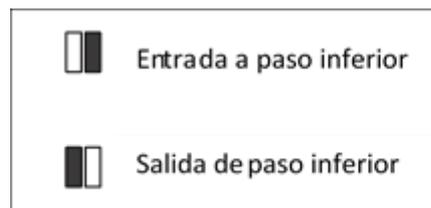


Figura 75: Vista Satélite de la entrada y salida del paso inferior.



7.2.3 Propuesta 3: Paso inferior del río que enlaza Manuel de Falla con Avenida del Cid

Esta alternativa, al igual que el anterior consiste en la ejecución de un paso inferior, pero en este caso que enlace Manuel de Falla con Avenida del Cid.

De esta manera, los vehículos que vayan a la Avenida de Cid, tendrán un tráfico mas fluido sin tener que pasar por la intersección de estudio y evitándose semáforos.

Quedándose la intersección de estudio, mucho más despejada y con mejor funcionamiento.

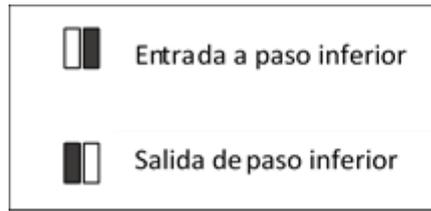
Como en la alternativa anterior, la construcción de este paso inferior es muy costos afectando a el trafico (vehículos, peatones, bicicletas) durante la ejecución.





Figura 76: Vista satélite de la entrada y salida del paso inferior de la Propuesta 3





En la figura anterior, se representa la entrada y salida del paso inferior.

7.2.4 Propuesta 4: Puente que conecte Manuel de Falla con la Avenida del Cid frente a la C/ Rincón de Ademuz.

Y la última alternativa, consiste en la construcción de un nuevo puente que conecte la Calle Manuel de Falla con Avenida del Cid, por la Calle Rincón de Ademuz.

Para el funcionamiento de este puente, se prohibiera el aparcamiento en esta calle.

De esta manera, se realizaría un puente con características similares al Puente del Nueve de Octubre, dando continuidad por la Calle Rincón de Ademuz hasta la Avenida del Cid.

Esto quitaría mucho tráfico a la intersección de estudio, pero no hay que olvidarse del elevado coste de la construcción de este puente.

La figura que se muestra a continuación, representa donde estará situado el puente que comunicará con la Calle Rincón de Ademuz.





Figura 77: Propuesta 4



7.3 Análisis y selección de propuestas

Se ha mostrado varias propuestas para disminuir el atasco de vehículos en la intersección, mejorando el nivel de servicio y evitando situaciones de bloqueo.

Todas las alternativas planteadas son viables en cuanto a su implementación se refiere.

En los apartados anteriores realizaremos un análisis de cada una de estas propuestas.

En primer lugar, como ya se ha comentado anteriormente, la alternativa de la marca vial aunque es la solución más económica, no resolverá el problema de almacenamiento en la intersección 5, o el respetar la señalización puede causar acumulación de los vehículos en la calle Manuel de Falla o Avenida Pio Baroja.

A continuación, analizaremos y calcularemos el nivel de servicio de la intersección que obtendríamos al ejecutar las diferentes alternativas:

- Paso inferior que conecte Mislata con Paseo de la Pechina.
- Paso inferior del río que enlaza Manuel de Falla con Avenida del Cid.
- Puente que conecte Manuel de Falla con la Avenida del Cid frente a la C/ Rincón de Ademuz.

El principal inconveniente del paso inferior y del túnel es que las obras de construcción del mismo supondrían un gran impacto en la circulación del tráfico y un alto coste económico. Sin embargo, supondrían la eliminación total del problema de almacenamiento



8. Análisis de capacidad de las propuestas

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

Propuesta 2: Paso inferior que conecte Mislata con Paseo de la Pechina.

Con la construcción de este paso inferior, conseguiríamos 100% verde en la intersección 5, eliminando con esto el almacenamiento de los vehículos entre la intersección 1 y 4.

A continuación, procedemos a calcular el nivel de servicio que obtendríamos tras implantar esta propuesta.

Las intersecciones de estudio son:

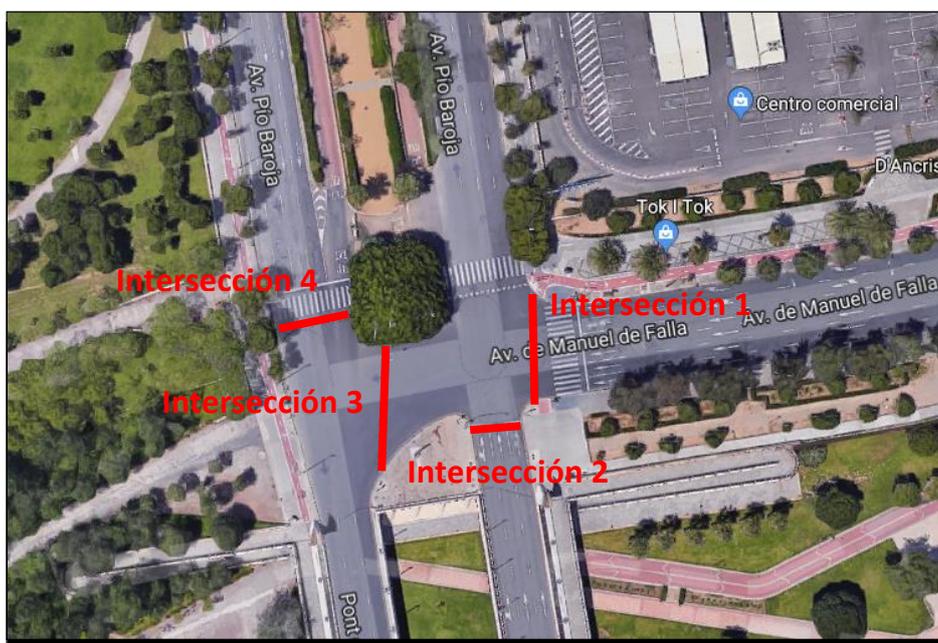


Figura 78: Vista satélite de las intersecciones 1,2,3 y 4

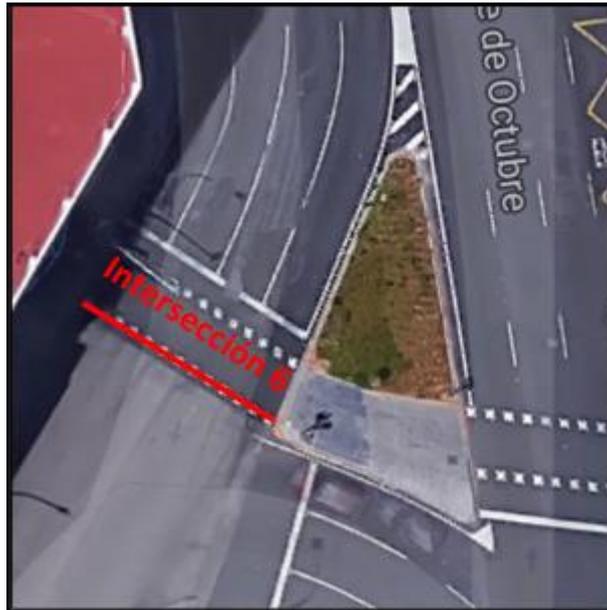


Figura 79: Vista satélite de las intersecciones 6

Los datos de la Intersección 1, 2, 3 y 4 son los mismos resultados obtenido en el análisis anterior.

Más abajo se indica a modo resumen el nivel de servicio de cada una de estas intersecciones y el análisis detallado del Nivel de servicio de la Intersección 6.

Intersección 1

		Intersección 1	
		GC1	GC2
Nivel de Servicio		B	B

Tabla 37: Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 1.

Intersección 2

		Intersección 2	
		GC1	GC2
Nivel de Servicio		A	A

Tabla 38: Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 2



Intersección 3

	Intersección 3
	GC1
Nivel de Servicio	C

Tabla 39: Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 3

Intersección 4

	Intersección 4
	GC1
Nivel de Servicio	C

Tabla 40: Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 4

Intersección 6

Para la Intersección 6, se utilizará el mismo procedimiento que anteriormente.

Primero determinaremos el grupo de carriles y el grupo de movimientos, quedando de la siguiente manera:

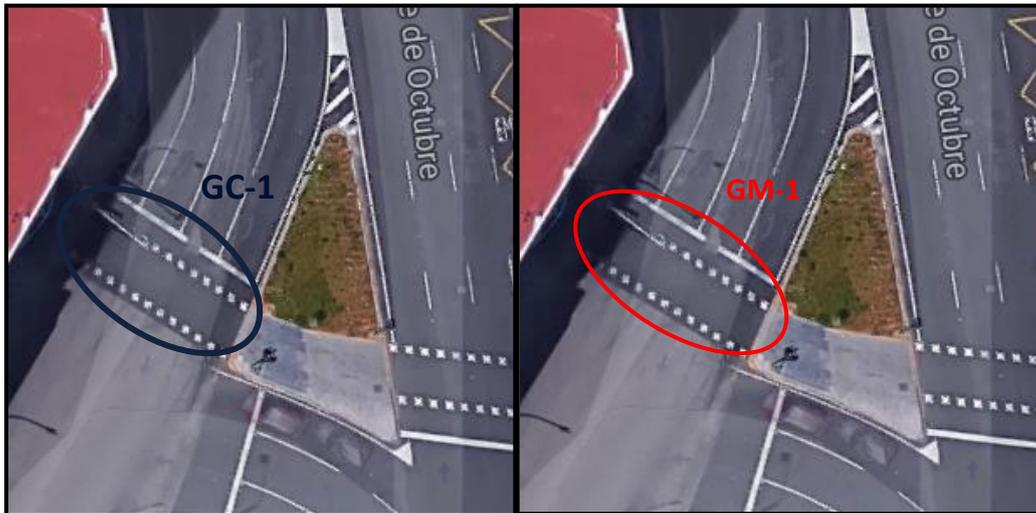


Figura 80: Grupo de carriles y de movimientos de la Intersección 6

La intensidad de este grupo de carriles es de 2972 veh/hora

Seguidamente, calculamos la intensidad de saturación, utilizándose la siguiente expresión:

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

	Intersección 6
	GC1
Intensidad de saturación (s)	1789,747321

Tabla 41: Intensidad de grupos de carriles de la intersección 6

La capacidad de las intersecciones está basada en el concepto de intensidad de saturación, proporción de verde efectivo del grupo de carriles y número de carriles.

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

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

	Intersección 6
	GC1
N	4
s	1789,747
g	51
C	120
g/C	0,425
Capacidad	3042,570

Tabla 42: Capacidad de grupos de carriles de la Intersección 6

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

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

	Intersección 6
	GC1
Capacidad	3042,570
Vi (Veh/h)	2792,000
X=Vi/Ci	0,918

Tabla 43: Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 6

Una vez calculadas la capacidad y la proporción volumen-capacidad se procede a determinar la demora.



Intersección 6	
GC1	
d1	32,520
PF	0,756086957
d2	3,630
Demora	28,218

Tabla 44: Demora de los grupos de carril de la intersección 6

Por último, determinaremos el nivel de servicio:

Intersección 6	
GC1	
28,218	
Nivel de Servicio	C

Tabla 45: Niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección 6

Tras los cálculos, nivel obtenido es el C, Esto representa unas condiciones de tráfico en las que los vehículos no tienen demoras significativas en los períodos punta de demanda

Propuesta 3: Paso inferior del río que enlaza Manuel de Falla con Avenida del Cid

Con esta propuesta se consigue reducir los vehículos que llegan a la intersección de estudio desde la Avenida Manuel de Falla dirección a Avenida del Cid.

Llegarán únicamente a la intersección de estudio los vehículos que circulen por la Avenida Manuel de Falla y que en la Intersección 5 (Puente Nueve de Octubre-Paseo de la Pechina), quieran girar para la izquierda, es decir que vayan a realizar este movimiento:

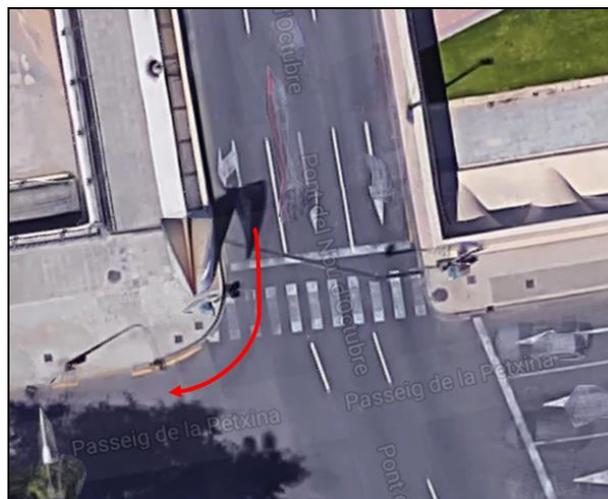


Imagen 81: Movimiento Intersección 5

La actuación afecta a la intersección de estudio reduciendo el número de vehículos que llegan por Manuel de Falla un 80%, ya que como comentado anteriormente, solo llegarán a la intersección por la Avenida Manuel de Falla, los vehículos que en la intersección 5, realicen el giro a izquierdas.

Por tanto, los grupos de carriles no han sufrido modificaciones.

En primer lugar, se analizarán las diferentes intersecciones con el procedimiento descrito en el HCM 2010, y se comprobará si al implantar esta solución existe una mejora en la capacidad y en el nivel de servicio.

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

Intersección 1		
	Veh/h	Veh. Pesados
GC-1	228	6
GC-2	231	4

Tabla 46: Propuesta. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 1

Intersección 2		
	Veh/h	Veh. Pesados
GC-1	752	0
GC-2	1472	36

Tabla 47: Propuesta. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 2

Intersección 3		
	Veh/h	Veh. Pesados
GC-1	268	5

Tabla 48: Propuesta. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 3

Intersección 4		
	Veh/h	Veh. Pesados
GC-1	2380	20

Tabla 49: Propuesta. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 4



Intersección 5		
	Veh/h	Veh. Pesados
GC-1	132	3
GC-2	279	12

Tabla 50: Propuesta. Vehículos ordinarios y pesados por hora en la intersección 5

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

- **Intersección 1**

Intersección 1		
	GC-1	GC2
Intersección de Saturación (s)	1461,435	1620,533

Tabla 51: Intensidad de grupos de carril de la intersección 1.

- **Intersección 2**

Intersección 2		
	GC-1	GC2
Intersección de Saturación (s)	1737,177	1772,394

Tabla 52: Intensidad de grupos de carril de la intersección 2.

- **Intersección 3**

Intersección 3	
	GC-1
Intersección de Saturación (s)	1777,564

Tabla 53: Intensidad de grupos de carril de la intersección 3.

- **Intersección 4**

Intersección 4	
	GC-1
Intersección de Saturación (s)	1692,902

Tabla 54: Intensidad de grupos de carril de la intersección 4.



- **Intersección 5**

	Intersección 5	
	GC-1	GC2
Intersección de Saturación (s)	1540,297	1434,804

Tabla 55: Intensidad de grupos de carril de la intersección 5.

A continuación, se procede a determinar la capacidad y la proporción volumen-capacidad, en las cuales se notarán los cambios introducidos de cada una de las intersecciones:

	Intersección 1	
	GC1	GC2
N	1,000	5,000
s	1461,435	1620,533
g	58,000	58,000
C	120,000	120,000
g/C	0,483	0,483
Capacidad	706,360	3916,288

Tabla 56: Propuesta. Capacidad de la Intersección 1

	Intersección 2	
	GC1	GC2
N	1	2
s	1737,18	1772,39
g	83	83
C	120	120
g/C	0,69	0,69
Capacidad	1201,55	2451,81

Tabla 57: Propuesta. Capacidad de la Intersección 2

	Intersección 3
	GC1
N	6
s	1777,56
g	75
C	120
g/C	0,38
Capacidad	3999,52

Tabla 58: Propuesta. Capacidad de la Intersección 3



Intersección 4	
GC1	
N	5,000
s	1692,902
g	63,000
C	120,000
g/C	0,525
Capacidad	4443,867

Tabla 59: Propuesta. Capacidad de la Intersección 4

Intersección 5		
	GC1	GC2
N	1	2
s	1540,297	1434,804
g	29	29
C	120	120
g/C	0,242	0,242
Capacidad	372,238	693,489

Tabla 60: Propuesta. Capacidad de la Intersección 5

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

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

- **Intersección 1**

Capacidad	706,360	3916,288
Vi (Veh/h)	228,000	231,000
X=Vi/Ci	0,323	0,059

Tabla 61: Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 1.



- **Intersección 2**

Capacidad	1201,55	2451,81
Vi (Veh/h)	752	1472
X=Vi/Ci	0,626	0,600

Tabla 62: Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 2.

- **Intersección 3**

Capacidad	3999,52
Vi (Veh/h)	268
X=Vi/Ci	0,067

Tabla 63: Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 3.

- **Intersección 4**

Capacidad	4443,867
Vi (Veh/h)	2380,000
X=Vi/Ci	0,536

Tabla 64: Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 4.

- **Intersección 5**

Capacidad	372,238	693,489
Vi (Veh/h)	132,000	278,400
X=Vi/Ci	0,355	0,401

Tabla 65: Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril de la intersección 5.

A continuación, se calcula la demora según la fórmula:

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

	Intersección 1	
	GC1	GC2
d1	16,533	16,485
PF	0,691	0,691
d2	0,175	0,029
Demora(s/veh)	11,604	11,425

Tabla 66: Propuesta. Demora de los grupos de carril de la Intersección 1



Intersección 2		
	GC1	GC2
d1	10,058	9,755
PF	0,260	0,260
d2	2,254	1,052
Demora(s/veh)	4,867	3,585

Tabla 67: Propuesta. Demora de los grupos de carril de la Intersección 2

Intersección 3	
	GC1
d1	24,042
PF	0,802
d2	0,032
Demora(s/veh)	19,314

Tabla 68: Propuesta. Demora de los grupos de carril de la Intersección 3

Intersección 4	
	GC1
d1	18,833
PF	0,635
d2	0,459
Demora(s/veh)	12,422

Tabla 69: Propuesta. Demora de los grupos de carril de la Intersección 4

Intersección 5		
	GC1	GC2
d1	37,738	38,211
PF	0,895	0,895
d2	2,480	1,656
Demora (s/veh)	36,250	35,849

Tabla 70: Propuesta. Demora de los grupos de carril de la Intersección 5

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



Intersección 1		
	GC1	GC2
Demora(s/veh)	11,604	11,425
Nivel de Servicio	B	B

Tabla 71: Nivel de servicio de la intersección 1.

Intersección 2		
	GC1	GC2
Demora(s/veh)	4,867	3,585
Nivel de Servicio	A	A

Tabla 72: Nivel de servicio de la intersección 2.

Intersección 3	
	GC1
Demora(s/veh)	19,314
Nivel de Servicio	B

Tabla 73: Nivel de servicio de la intersección 3.

Intersección 4	
	GC1
Demora(s/veh)	12,422
Nivel de Servicio	B

Tabla 74: Nivel de servicio de la intersección 4.

Intersección 5		
	GC1	GC2
Demora(s/veh)	36,250	35,849
Nivel de Servicio	D (Casi C)	D(Casi C)

Tabla 75: Nivel de servicio de la intersección 5.

La construcción de este puente, y como se puede comprobar en los resultados obtenidos, solucionará el problema de almacenamiento de la intersección evitando que sea necesario, principalmente en las horas punta, la presencia de Policía Local para dirigir el tráfico.



Con esto entre otras ventajas, se consigue reducir el tiempo de traslado al incrementar la velocidad promedio y también se disminuye la contaminación, así como el ahorro de combustible.

Propuesta 4: Puente que conecte Manuel de Falla con la Avenida del Cid frente a la C/ Rincón de Ademuz.

Esta alternativa consiste en un Puente similar al puente del Nueve de Octubre.

Implantando esta propuesta se obtendría el mismo Nivel de Servicio y resultados que en la propuesta 3, pero la diferencia más importante entre ambas propuestas, es que la construcción de este puente sería más económica que la construcción del paso inferior que enlaza Manuel de Falla con Avenida del Cid.

Como en la propuesta anterior, el nivel de servicio obtenido en cada intersección es:

Intersección 1		
	GC1	GC2
Demora(s/veh)	11,604	11,425
Nivel de Servicio	B	B

Tabla 76: Nivel de servicio de la intersección 1.

Intersección 2		
	GC1	GC2
Demora(s/veh)	4,867	3,585
Nivel de Servicio	A	A

Tabla 77: Nivel de servicio de la intersección 2.

Intersección 3	
	GC1
Demora(s/veh)	19,314
Nivel de Servicio	B

Tabla 78: Nivel de servicio de la intersección 3.

Intersección 4	
	GC1
Demora(s/veh)	12,422
Nivel de Servicio	B

Tabla 79: Nivel de servicio de la intersección 4.



Intersección 5		
	GC1	GC2
Demora(s/veh)	36,250	35,849
Nivel de Servicio	D (Casi C)	D(Casi C)

Tabla 80: Nivel de servicio de la intersección 5

Tras haber determinado los niveles de servicio de la intersección semaforizada con las nuevas actuaciones se presenta un cuadro comparativo de las demoras y niveles de servicio entre la intersección actual y cada una de las propuestas.



	Situación Actual		Propuesta 2		Propuesta 3		Propuesta 4	
	Demora (s/veh)	Nivel de Servicio	Demora (s/veh)	Nivel de Servicio	Demora (s/veh)	Nivel de Servicio	Demora (s/veh)	Nivel de Servicio
Intersección 1								
GC-1	14,296	B	14,296	B	11,604	B	11,604	B
GC-2	13,098	B	13,098	B	11,425	B	11,425	B
Intersección 2								
GC-1	4,867	A	4,867	A	4,867	A	4,867	A
GC-2	3,585	A	3,585	A	3,585	A	3,585	A
Intersección 3								
GC-1	21,723	C	21,723	C	19,314	B	19,314	B
Intersección 4								
GC-1	12,422	C	12,422	C	12,422	B	12,422	B
Intersección 5								
GC-1	91,565	F	-	-	36,25	D (Casi C)	36,25	D (Casi C)
GC-2	99,863	F	-	-	35,849	D (Casi C)	35,849	D (Casi C)
Intersección 6								
GC-1			28,218	C	-	-	-	-

Tabla 81: Comparativa de los niveles de Servicio



8.1 Análisis de los resultados

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

En la propuesta número 2; *Paso inferior que conecte Mislata con Paseo de la Pechina, al final del puente no habría semáforo* y se conseguiría el 100% de verde y por tanto se elimina el problema de almacenamiento.

El principal inconveniente de esta solución es el elevado coste.

Los resultados obtenidos en la Propuestas 3; *Paso inferior del río que enlaza Manuel de Falla con Avenida del Cid*; y la propuesta 4; *Puente que conecte Manuel de Falla con la Avenida del Cid frente a la C/ Rincón de Ademuz*, los resultados son iguales encontrando la principal diferencia en el coste, ya que el paso inferior tiene un coste mas elevado.

Tras la comparativa, se observa que la Propuesta 2, es la solución con mejores resultados, pero en los tres casos se ha obtenido una capacidad suficiente y unos buenos niveles de servicio, los cuales no producirían demora a los conductores.



9. Conclusiones

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

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

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

- Las modificaciones del manual HCM 2010, respecto al HCM 200, interfieren en las intersecciones semaforizadas, ya que producen variaciones en los resultados obtenidos en la intensidad de saturación, concretamente el factor de ajuste por giro a la izquierda. Dichos puntos son los que afectan a los resultados de capacidad y por tanto al nivel de servicio. Así pues, los cálculos no representan una alta relación con lo que ocurre en la realidad.
- Las intersecciones 1,2, 3 y 4 garantizan unas buenas condiciones de tráfico y seguridad vial, pero al analizar el nivel de servicio de la Intersección 5 observamos que es malo

Esto es debido al almacenamiento de vehículos que se produce, especialmente en determinadas horas punta, siendo necesario la presencia de Policía Local para tener que dirigir la circulación y por tanto, provocando que no se siga las indicaciones de los semáforo.

- Se proponen diferentes alternativas posibles para reducir el problema de almacenamiento existente, siendo las propuestas 2, 3 y 4 las idóneas para solucionar el problema.

Pero hay que destacar que el principal inconveniente de estas propuestas es el elevado coste económico de la ejecución de las obras y el problema que se causará en el tránsito de los vehículos durante la construcción, siendo esta intersección un punto muy transitado próximo a la salida de Valencia.

- Y por último añadir, que sería interesante y aconsejable que se plantease una consulta ciudadana, siendo ésta un instrumento de participación promovido por la Concejalía de Participación Ciudadana del Ayuntamiento de Valencia, para conocer la opinión de las vecinas y vecinos de la ciudad.

Conociendo la opinión y defectos que ven a esta intersección los ciudadanos se podría elegir la solución más idónea, ya que son los ciudadanos los que diariamente, se enfrentan a este problema.



Una vez realizado el presente Estudio enmarcado como Trabajo Final de Máster, se presenta en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Valencia.

Valencia, a 7 de septiembre de 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ana Moragón Palacios', written in a cursive style.

Ana Moragón Palacios



10. Futuras líneas de investigación

Como futuras líneas de investigación, podría ser el análisis de contaminación y ahorro de combustible que se conseguiría aplicando las propuestas al conseguir una circulación fluida.

Pero la principal línea, debería ser el estudio sobre los distintos casos que podemos encontrar en los giros a la izquierda en una intersección semaforizada, y con ello, obtener una formulación eficaz para cada caso que facilite la determinación del factor de ajuste de giro a la izquierda y poder obtener resultados más exactos; ya que en el manual HCM 2010, no se contemplan todos los casos posibles de las intersecciones semaforizadas.



11. Bibliografía

- [1] Transportation Research Board (2000), Highway Capacity Manual 2000, National Research Council, Washington D.C.
- [2] Transportation Research Board (2010), Highway Capacity Manual 2010, National Research Council, Washington D.C.
- [3] Luttinen, R., y Nevala, R (2002), Capacity and Level of Service of Finnish Signalized Intersections, Finnra Repots 25/2002.
- [4] Ministerio de Fomento, Noma de carreteras 8.2-IC Marcas Viales, Gobierno de España. Orden de 16 de Julio de 1987.
- [5] American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO.
- [6] Stevens, C. Signals and Meters at Roundabouts. Texas Transpotation Institute. Proceedings of the 2005 Mid-Continent Transportation Research Symposium, Aes, Iowa, August, 2005.
- [7] Bared, J., Edara, P. Simulated Capacity of Roundabouts and Impact or Roundabout Within a Progressed signalized Road. Transportation Research Board, National Research Council, 2010.
- [8] Darder Gallardo, V., Herce Vallejo, M. Funciones de las rotondas urbanas y requerimientos urbanísticos de organización. Universitat Politècnica de Catalunya. Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio, abril 2005.
- [9] Hummer, J.E (1998). Unconventional left-turn alternatives for urban and suburban arterials – part one. ITE Journal (Institute of Transportaton Engineers).
- [10] Wang, X., y Abdel-Aty, M (2008). Modeling left-turn crash occurrence at signalized intersections by conflicting patterns. Accident Analysis and Prevention. 40(1). 76-88.
- [11] Xuan Y., DAganzo, C.F y Cassidy, M.J (2011). Increasing the capacity of signalized intersections with separate left turn phases. Transportation research Part B: Methodological.

