



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



Estudio experimental de la funcionalidad del tráfico en carreteras convencionales en condiciones especiales. Aplicación a la carretera CV-35 (Valencia). Observaciones y análisis en condiciones diurnas y comparación con el Manual de Capacidad

Memoria

Trabajo Final de Máster

Titulación: Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Curso: 2015/16

Autora: Laura Martínez Talamantes

Tutor: Prof. Alfredo García García

Cotutores externos:

Dr. Carlos Llorca G./ Dr. Ana T. Moreno

Valencia, junio de 2016

Índice general indicando partes comunes e individuales

1. Antecedentes (Común)
2. Introducción (Común)
3. Estado del arte
 - 3.1. Estado del arte (Común)
 - 3.1.1. Manual de Capacidad de Estados Unidos (HCM 2010)
 - 3.1.2. Estudios relativos a distintas variables del tráfico
 - 3.1.3. Modelos de distribución aplicables a carreteras convencionales
 - 3.2. Resumen del estado del arte (Común)
 - 3.2.1. Conclusiones generales
 - 3.2.2. Necesidades de investigación
4. Objetivos (Común)
5. Hipótesis (Común)
 - 5.1. Hipótesis en condiciones diurnas (Individual)
6. Alcance (Común)
7. Metodología
 - 7.1. Metodología global (Común)
 - 7.1.1. Porcentaje de horas en condiciones de día, noche y lluvia
 - 7.1.2. Intensidad media diaria en el tramo de estudio
 - 7.1.3. Selección de cámaras de tráfico
 - 7.1.4. Selección de los periodos de tiempo a analizar
 - 7.1.5. Análisis de los videos y obtención de datos
 - 7.1.6. Obtención de parámetros a analizar
 - 7.1.7. Representación de datos
 - 7.2. Metodología en condiciones diurnas (Individual)
8. Análisis de la funcionalidad
 - 8.1. Análisis de la funcionalidad del tráfico en condiciones diurnas (Individual)
 - 8.2. Comparación con el Manual de Capacidad (Individual)
9. Conclusiones
 - 9.1. Conclusiones de la comparación del comportamiento de las variables para los distintos rangos de intensidad (Individual)
 - 9.2. Conclusiones de la comparación con el Manual de Capacidad Americano (HCM 2010) (Individual)
 - 9.3. Conclusiones globales en relación a todo el análisis llevado a cabo (Común)
10. Futuras líneas de investigación (Común)
11. Referencias (Común)
12. Conclusión (Individual)

Índice general

Índice de figuras	3
Índice de tablas	5
1. Antecedentes.....	7
2. Introducción	8
3. Estado del arte	11
3.1. Estado del arte.....	11
3.1.1. Manual de Capacidad de Estados Unidos (HCM 2010).....	11
3.1.2. Estudios relativos a distintas variables del tráfico	20
3.1.3. Modelos de distribución aplicables a carreteras convencionales.....	23
3.2. Resumen del estado del arte	26
3.2.1. Conclusiones generales	26
3.2.2. Necesidades de investigación.....	26
4. Objetivos.....	27
5. Hipótesis.....	28
5.1. Hipótesis en condiciones diurnas	28
6. Alcance.....	30
7. Metodología.....	31
7.1. Metodología global.....	31
7.1.1. Porcentaje de horas en condiciones de día, noche y lluvia	31
7.1.2. Intensidad media diaria en el tramo de estudio.....	35
7.1.3. Selección de cámaras de tráfico	44
7.1.4. Selección de los periodos de tiempo a analizar	47
7.1.5. Análisis de los videos y obtención de datos.....	48
7.1.6. Obtención de parámetros a analizar	52
7.1.7. Representación de datos	56
7.2. Metodología en condiciones diurnas	57
8. Análisis de la funcionalidad	62
8.1. Análisis de la funcionalidad del tráfico en condiciones diurnas	62
8.2. Comparación con el Manual de Capacidad	72
9. Conclusiones	82
9.1. Conclusiones de la comparación del comportamiento de las variables para los distintos rangos de intensidad	82

9.2. Conclusiones de la comparación con el Manual de Capacidad Americano (HCM 2010).....	83
9.3. Conclusiones globales en relación a todo el análisis llevado a cabo	84
10. Futuras líneas de investigación	86
11. Referencias	87
12. Conclusión.....	88

Índice de figuras

<i>Figura 1. Localización de la carretera CV-35 (Valencia)</i>	9
<i>Figura 2. Relaciones entre los parámetros básicos</i>	14
<i>Figura 3. Niveles de servicio de los automóviles para carreteras con doble dirección</i>	19
<i>Figura 4. Comparación del porcentaje de días al año en que se da cada una de las condiciones de estudio</i>	33
<i>Figura 5. Representatividad del porcentaje de IMD de día frente a noche para cada mes</i>	34
<i>Figura 6. Representatividad del porcentaje de IMD de lluvia frente a no lluvia para cada mes</i>	34
<i>Figura 7. Localización de la estación de aforo afín</i>	36
<i>Figura 8. Información general del tramo de estudio</i>	36
<i>Figura 9. Evolución interanual del tráfico en el tramo de estudio –IMD-</i>	37
<i>Figura 10. Gráfico de la evolución anual de intensidad diaria</i>	37
<i>Figura 11. Tabla de valores de la evolución anual de intensidad diaria</i>	38
<i>Figura 12. Información general del tramo 035080</i>	38
<i>Figura 13. Evolución interanual del tráfico en el tramo 035080 -IMD-</i>	39
<i>Figura 14. Gráfico de la evolución anual de intensidad diaria</i>	40
<i>Figura 15. Tabla de valores de la evolución anual de intensidad diaria</i>	40
<i>Figura 16. Gráfica de intensidad horaria en días laborables</i>	41
<i>Figura 17. Gráfica de intensidad horaria en sábados</i>	41
<i>Figura 18. Gráfica de intensidad horaria en domingos</i>	42
<i>Figura 19. Gráfica de intensidad horaria en días laborables</i>	43
<i>Figura 20. Gráfica de intensidad horaria en sábados</i>	44
<i>Figura 21. Gráfica de intensidad horaria en domingos</i>	44
<i>Figura 22. Localización de las cámaras de tráfico de la CV-35 (I)</i>	45
<i>Figura 23. Localización de las cámaras de tráfico de la CV-35 (II)</i>	45
<i>Figura 24. Esquema de representación de cámaras, zonas de adelantamiento permitidas o no y entradas y salidas a la CV-35</i>	46
<i>Figura 25. Programa KINOVEA cálculo de intervalo, CCTV21 dirección Interior y Valencia</i>	49
<i>Figura 26. Programa KINOVEA cálculo de la velocidad, CCTV24 dirección Interior</i> ..	50

<i>Figura 27. Programa KINOVEA cálculo de la velocidad, CCTV21 dirección Valencia en condición de lluvia</i>	50
<i>Figura 28. Esquema explicativo del vehículo 1 y 2</i>	51
<i>Figura 29. Diagrama espacio-tiempo explicativo para la obtención del intervalo corregido</i>	52
<i>Figura 30. Captura de imagen de los datos obtenidos en la Macro 3</i>	56
<i>Figura 31. Captura de imagen de la Macro 3</i>	56
<i>Figura 32. Captura de imagen de Statgraphics</i>	57
<i>Figura 33. Días de visualización de vídeos</i>	57
<i>Figura 34. Línea para medir intervalos en la CCTV21</i>	58
<i>Figura 35. Líneas para medir intervalos y velocidades en CCTV22</i>	59
<i>Figura 36. Líneas para medir intervalos y velocidades en CCTV24</i>	59
<i>Figura 37. Diagrama fundamental en condiciones diurnas para la cámara CCTV24</i> .	62
<i>Figura 38. Diagrama fundamental en condiciones diurnas para la cámara CCTV22</i> .	63
<i>Figura 39. Gráfico de dispersión y de cuantiles de intensidades en la cámara CCTV24 respectivamente</i>	64
<i>Figura 40. Gráfico de dispersión de PF vs Intensidad en dirección Valencia en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente</i>	65
<i>Figura 41. Gráfico de dispersión de PF vs Intensidad en dirección Interior en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente</i>	66
<i>Figura 42. Gráfico de dispersión de ATS vs Intensidad en dirección Valencia en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente</i>	67
<i>Figura 43. Gráfico de dispersión de ATS vs Intensidad en dirección Interior en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente</i>	68
<i>Figura 44. Gráfico de dispersión de la velocidad V85pc vs Intensidad en dirección Valencia en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente</i>	69
<i>Figura 45. Gráfico de dispersión de la velocidad V85pc vs Intensidad en dirección Interior en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente</i>	70
<i>Figura 46. Gráfico de dispersión de hueco medio libre en las cámaras CCTV21, CCTV22 y CCTV24</i>	71
<i>Figura 47. Gráfico de dispersión de hueco medio en cola en las cámaras CCTV21, CCTV22 y CCTV24</i>	71

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Precipitación media mensual.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 2. Aproximación de horas en condiciones de día y de noche para cada mes del año.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 3. Intensidades medias horarias.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 4. Resumen de parámetros a obtener de la visualización de los vídeos para cada cámara.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 5. Clasificación y umbrales de la intensidad horaria</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 6. Parámetros obtenidos en la Macro 1.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 7. Parámetros obtenidos en la Macro 2.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 8. Parámetros obtenidos en la Macro 3.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 9. Variables relacionadas con los huecos</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 10. Variables relacionadas con la velocidad</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 11. Horas de visualización de vídeos de cada día, indicando la intensidad y el reparto</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 12. Velocidades medias y porcentaje de vehículos pesados para cada cámara y sentido</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 13. Tabla resumen de velocidades medias</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 14. Errores para intensidad y ATS en la cámara CCTV24.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 15. Reparto para los diferentes rangos de intensidades en ambas cámaras siendo D el sentido directo y O el sentido opuesto</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 16. Intensidades de demanda para los diferentes rangos de intensidades</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 17. Determinación de la intensidad de demanda para velocidad media en sentido directo</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 19. Estimación de la velocidad media de recorrido (ATSd).....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 20. Determinación de las intensidades de demanda para % del tiempo en cola en sentido directo</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 21. Determinación de las intensidades de demanda para % del tiempo en cola en sentido opuesto</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 22. Estimación del porcentaje de tiempo en cola</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 23. Reparto para los diferentes rangos de intensidades en ambas cámaras siendo D el sentido directo y O el sentido opuesto</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 24. Intensidades de demanda para los diferentes rangos de intensidades</i>	<i>77</i>

<i>Tabla 25. Determinación de la intensidad de demanda para velocidad media en sentido directo</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 27. Estimación de la velocidad media de recorrido (ATSd).....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 28. Determinación de las intensidades de demanda para % del tiempo en cola en sentido directo</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 29. Determinación de las intensidades de demanda para % del tiempo en cola en sentido opuesto</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 30. Estimación del porcentaje de tiempo en cola</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 31. Niveles de servicio en el caso de estudio para el sentido directo Interior</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 32. Niveles de servicio en el caso de estudio con el HCM 2010 para el sentido directo Interior.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 33. Niveles de servicio en el caso de estudio para el sentido directo Valencia .</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 34. Niveles de servicio en el caso de estudio con el HCM 2010 para el sentido directo Valencia</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 35. Nivel de servicio final de la carretera en el caso de estudio para los diferentes rangos de intensidades.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 36. Nivel de servicio final de la carretera en el caso del HCM 2010 para los diferentes rangos de intensidades.....</i>	<i>80</i>

Capítulo 1

Antecedentes

El presente trabajo de investigación se presenta como Trabajo de Fin de Máster de la alumna Nuria Gimeno Gómez y está dirigida por el Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Prof. Alfredo García García, Catedrático de Universidad del Departamento del Transporte de la Universitat Politècnica de Valencia y el Dr. Carlos Llorca García, Profesor Ayudante en el mismo Departamento y ahora investigador en TU Múnich y la Dra. Ana Tsui Moreno Chou, investigadora en TU Múnich (Alemania). Comentar que se trata de una investigación conjunta en la que se cuenta con la colaboración Belén Asensio Mateo y Laura Martínez Talamantes.

Este trabajo ha sido realizado en colaboración directa con el Grupo de Investigación en Ingeniería de Carreteras (GIIC), perteneciente al Instituto del Transporte y Territorio.

Esta investigación está relacionada con una de las tareas del proyecto de investigación CASEFU “Estudio experimental de la funcionalidad y seguridad de las carreteras convencionales” con referencia TRA2013-42578-P. El cual ha sido subvencionado por el Ministerio de Economía y Competitividad.

Capítulo 2

Introducción

Tradicionalmente se ha sostenido, que la importancia y trascendencia del factor humano en la conducción, bien solo o en concurrencia con otro u otros factores, interviene en el 90% aproximadamente de los accidentes. Está claro que el humano es quien toma las decisiones y el único que puede equivocarse pero, hay que tener en cuenta otros factores que intervienen en el tráfico: el vehículo, la vía, su entorno, la meteorología, etc.

La mayoría de la información que se necesita para conducir se recibe a través de la vista y por tanto, mientras se conduce la visión es esencial ya que se ve obligada a adaptarse rápidamente a un entorno que por la velocidad cambia más rápido que en condiciones normales (corriendo o andando). La dificultad de una conducción segura aumenta al considerar otra serie de factores como ahora la visión nocturna.

El siguiente documento se centra en el estudio sobre cómo afectan las condiciones diurnas, nocturnas y meteorológicas o ambientales adversas en la funcionalidad del tráfico. La conducción durante el día y con buen tiempo es normalmente buena ya que el entorno se distingue con claridad, pero como se ha comentado, los problemas surgen para condiciones nocturnas y para las meteorológicas adversas, ya que influyen negativamente a la conducción y por tanto, se requerirá de mayor precaución y atención.

Conducir por la noche implica manejar el vehículo en unas condiciones que no son óptimas para la visión, de hecho la proporción de accidentes mortales aumenta de forma considerable durante la noche ya que la agudeza visual se reduce aproximadamente un 70%. Si a esto se le añade condiciones meteorológicas adversas, los problemas aumentan. Cabe destacar que esta investigación se centra en la lluvia, donde el principal efecto que se produce es la disminución de la adherencia del neumático sobre el asfalto y esto trae como consecuencia un incremento considerable de la distancia de frenado.

Como ya se ha explicado, estas condiciones afectan de forma significativa a la funcionalidad del tráfico. Las vías deben ser seguras para todos sus usuarios, pero también deben satisfacer la demanda de tráfico con un nivel de servicio aceptable. Para ello, se ha hecho un estudio sobre una carretera monitorizada en la Comunidad Valenciana, CV-35, para las tres condiciones.

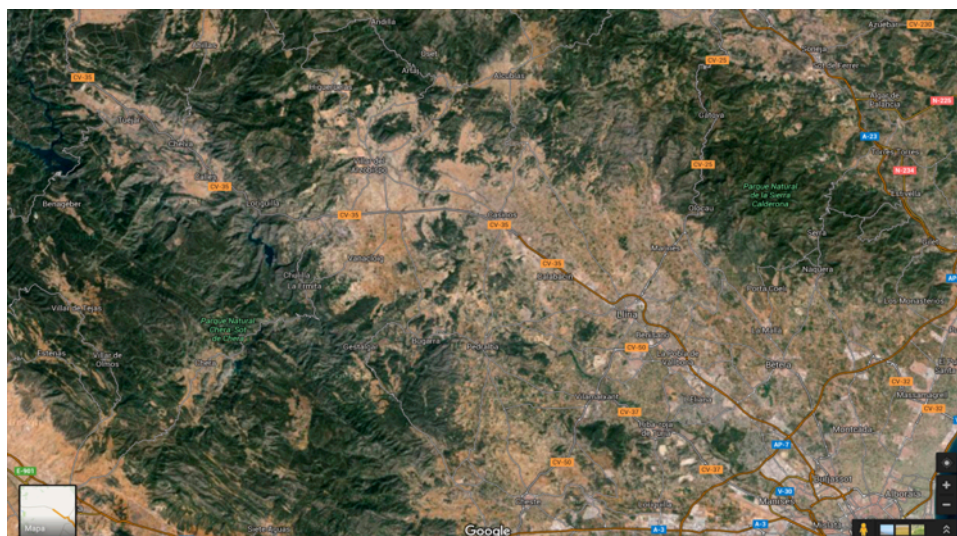
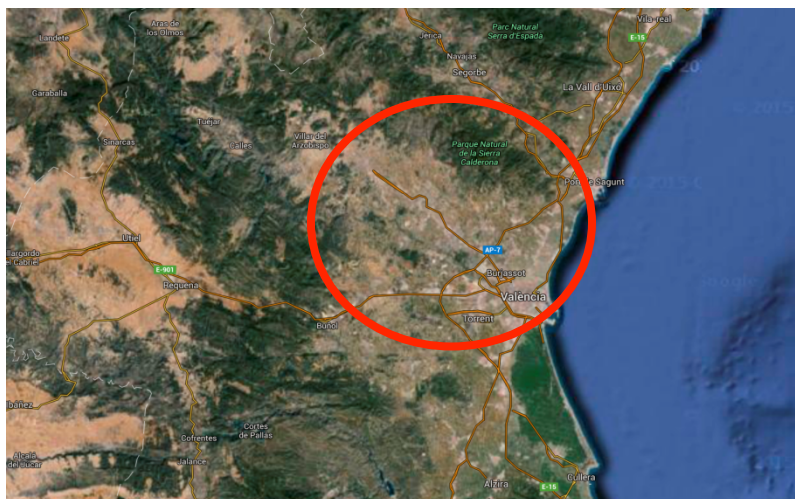


Figura 1. Localización de la carretera CV-35 (Valencia)

Los datos de las cámaras de vídeo sincronizadas que están instaladas en varias secciones de la vía, han sido proporcionados por el Centro de Gestión y Seguridad Vial (CEGESEV) de la Conselleria de Infraestructuras, continuando la colaboración del CEGESEV con el Grupo de Investigación de Carreteras (GIIC). Así pues, se procederá al visionado de estos vídeos para obtener aquellas medidas de desempeño significativas donde se observe, con mayor facilidad, la afección de la condición diurna, de noche y lluvia en la funcionalidad del tráfico en la carretera CV-35, y con ello, alcanzar unas conclusiones que determinen el impacto en la calidad de la circulación y en la capacidad de la vía en dichas condiciones. Además, tras los resultados obtenidos, estos podrían ser útiles para la mejora de modelos de simulación de tráfico o para mejorar la gestión del tráfico en situaciones especiales.

Comentar que esta carretera está clasificada como una carretera de Clase I según el Manual de Capacidad Americano, es una carretera principal interurbana y por ella se realizan rutas diarias de personas que viven fuera de la ciudad en redes de carreteras estatales o nacionales donde los conductores tienen la sensación de ir relativamente a altas velocidades, es decir, se considera una clasificación para viajes de largas distancias.

Matizar que el alcance de este proyecto se limitará a carreteras convencionales de dos carriles de circulación, con una velocidad límite de 100 km/h y sección transversal 7/10.

Por tanto, para desarrollar este Trabajo de Fin de Máster se ha decidido seguir los siguientes puntos: en primer lugar se presentarán aquellos estudios de literatura sobre cómo afectan las condiciones diurnas, nocturnas y de lluvia a la conducción, donde a partir de ellos se ha empezado a comprender los fenómenos que van a ser investigados; en segundo lugar, se desarrollarán los objetivos y las hipótesis que se quiere perseguir en el presente documento; a continuación, se explicará la metodología aplicada y el sistema de análisis de los resultados obtenidos para cada una de las tres condiciones; y finalmente, se obtendrán las conclusiones para cada condición y de forma conjunta.

Como se verá posteriormente en el apartado correspondiente al Estado del Arte, la mayoría de las investigaciones realizadas en este ámbito tratan sobre la seguridad en la conducción y ninguna trata la funcionalidad de las carreteras convencionales en estos tres aspectos (día-noche-lluvia), por lo que esta investigación se centrará en ello. Para llevar a cabo la evaluación de la funcionalidad de la carretera los aspectos considerados han sido: la velocidad media de recorrido, el porcentaje de vehículos en cola y el hueco entre vehículos.

A falta de una normativa española, para la evaluación de la funcionalidad del tráfico se emplea el Manual de Capacidad Americano (HCM 2010), basando la calidad del tráfico en dos medidas de desempeño: la velocidad media y el porcentaje de tiempo en cola, no siendo esta metodología aplicable a condiciones especiales.

Incidir en que este proyecto se ha realizado por tres personas por la cual, cada una de ellas destacará en su documento que condición ha estudiado y aquellas diferencias aportadas. Especificar que los aspectos analizados de forma individual han sido:

- Observación y análisis en condiciones diurnas y comparación con el Manual de Capacidad.
- Observación y análisis en condición nocturna y comparación con condiciones de día.
- Observación y análisis en condición de lluvia y comparación con condiciones de día.

Indicar que este documento se centra en la observación y análisis en condiciones diurnas y su comparación con el Manual de Capacidad.

Capítulo 3

Estado del arte

En el presente apartado se expone el estado del arte, que trata de la recopilación por parte del investigador de la toma previa de información y conocimiento acumulado del campo concreto de estudio, sobre la evaluación funcional en carreteras convencionales en condiciones extremas. Por tanto, en este apartado se recogerá y analizará todo el conocimiento adquirido antes de la fecha de inicio del estudio, constituyendo de este modo su punto de partida y base teórica.

El enfoque del estado del arte va dirigido hacia la funcionalidad del tráfico de la carretera convencional CV-35, teniendo en consideración tres tipos de condiciones de tráfico especiales: condición diurna, de lluvia y nocturna.

En la sección 3.1. se procederá a comentar aquella que engloba los tres casos de este estudio, a su vez en él se realizará dos subapartados. El 3.1.1. expondrá el conocimiento aportado por los Capítulos 4, 5 y 15 del Manual de Capacidad de Estados Unidos 2010 (HCM 2010 a partir de ahora), con el que se estima los niveles de servicio de las carreteras en España. Por otro lado, en el subapartado 3.1.2. se expondrá brevemente las investigaciones realizadas relacionadas con el caso a tratar y en el 3.1.3. aquellos que tratan sobre modelos de distribución aplicables a carreteras convencionales.

3.1. Estado del arte

3.1.1. Manual de Capacidad de Estados Unidos (HCM 2010)

Debido a la ausencia de normativa española para la evaluación de la funcionalidad del tráfico, se emplea el Manual de Capacidad Americano (HCM 2010), basando la calidad del tráfico en dos medidas de desempeño: la velocidad media y el porcentaje de tiempo en cola.

Para este estudio son de relevante importancia los Capítulos 4, 5 y 15 del Manual de Capacidad que tratan los temas de los conceptos de capacidad y flujo del tráfico, conceptos de calidad y nivel de servicio y carreteras de dos sentidos respectivamente.

Capítulo 4 (HCM 2010)

Respecto al Capítulo 4 en referencia a los conceptos de capacidad y flujo de tráfico, se obtiene que la relación entre volumen, velocidad y densidad son, entre otros, los fundamentales de la ingeniería del transporte.

En él también se indica que la capacidad representa la intensidad máxima horaria sostenible para el que las personas o vehículos esperados pueden atravesar un punto o una sección uniforme de un carril o una carretera durante un periodo de tiempo bajo una carretera, entorno, tráfico y condiciones de control predominantes.

La capacidad para un sistema de elementos dado es la intensidad que puede alcanzarse repetidamente para períodos de pico de suficiente demanda, en contraposición a ser la máxima intensidad que puede ser observada. En el manual también se indica que los tramos de carretera que tienen diferentes condiciones predominantes, tendrán diferentes capacidades, y la intensidad máxima observada en un elemento del sistema dado puede variar día a día.

En el HCM, se utilizan variables como el volumen, la intensidad y la velocidad como parámetros para las instalaciones de flujo interrumpido e ininterrumpido, sin embargo la densidad se aplica principalmente para los flujos ininterrumpidos. Por otro lado, algunos parámetros relacionados con la intensidad, como son el espaciamiento y el intervalo son algunos de los usados para los dos tipos de instalaciones comentadas anteriormente mientras que otros parámetros, como el flujo de saturación y el hueco son específicos para el flujo ininterrumpido.

El volumen y la intensidad son dos medidas que cuantifican el número de vehículos que pasan por un punto de una carretera durante un cierto intervalo de tiempo, siendo su distinción que el volumen es el número de vehículos observados que pasan por un punto durante un intervalo de tiempo, mientras que la intensidad representa el número de vehículos que pasa por un punto durante un cierto intervalo menor de una hora, pero expresado como un ratio equivalente horario.

Por otro lado, el volumen y la intensidad son variables que ayudan a cuantificar la demanda, que es, el número de vehículos que desean usar el sistema durante un cierto periodo de tiempo, normalmente 1h o 15 min.

Cuando las condiciones son de no saturación y no hay cuellos de botella existentes, el volumen de demanda en la localización se asume equivalente a la medida del volumen del mismo. Cuando la cola de un cuello de botella se extiende hasta pasar la próxima intersección, no es fácil determinar qué cantidad de tráfico próximo al final de la cola es realmente debido al cuello de botella.

El HCM considera el intervalo de cada 15 minutos como el más apropiado, ya que se aproxima a la variación real en el flujo durante la hora y además proporciona una buena interacción entre el diseño para volúmenes horarios y el diseño para intensidades de 5 minutos.

El HCM utiliza el factor pico horario (PHF) para convertir el volumen horario en una intensidad pico de 15 minutos, siendo obtenido dicho factor del modo siguiente:

$$PHF = \frac{\text{Volumen horario}}{\text{Pico del ratio de flujo (dentro de la hora)}}$$

Un bajo PHF significa una buena variabilidad del flujo, mientras que grandes valores significan una baja variación durante la hora. Valores de PHF sobre 0.95 suelen indicar altos volúmenes de tráfico, mientras que valores por debajo de 0.8 normalmente aparecen en lugares con grandes picos de demanda, como colegios, fábricas, etc.

La velocidad es una medida importante de la calidad del servicio del tráfico para los automovilistas ya que ello define el LOS para las carreteras convencionales y urbanas, de la que se hablará cuando se trate el capítulo 5.

En este apartado se define la velocidad como un ritmo de funcionamiento expresado como distancia por unidad de tiempo. Comentar que hay bastantes parámetros de velocidad que se aplican al flujo del tráfico, como por ejemplo, la velocidad media de viaje, la relación espacio-tiempo, la relación tiempo-velocidad, la velocidad de flujo libre y la media de velocidad en marcha. Siendo la velocidad media de viaje la longitud del recorrido dividida de la media del tiempo de viaje de los vehículos atravesando dicho recorrido, incluyendo todas las paradas y demoras; la velocidad de flujo libre la media de velocidades de los vehículos en un determinado segmento, medido bajo bajas condiciones de volumen, cuando los conductores están viajando a su velocidad deseada y no están condicionados por otros vehículos u otros condicionantes de tráfico (señales, stops, etc); y la velocidad media en marcha la longitud del tramo recorrido dividida de la media de velocidad en marcha de los vehículos que atraviesan el segmento, incluyendo el tiempo en marcha únicamente el tiempo en el que los vehículos están en movimiento.

Por otro lado, la densidad es el número de vehículos que ocupan una longitud dada de una carretera en un instante en particular. Para la obtención de la misma en el HCM, se mide sobre el tiempo y normalmente se expresa como vehículos por milla o pasajeros de coche por milla, quedando expresada mediante la siguiente fórmula:

$$D = \frac{v}{s}$$

Donde: v = intensidad (veh/h)
 S = velocidad media de viaje (mi/h)
 D = densidad (veh/mi)

La densidad es un parámetro crítico de la funcionalidad del flujo ininterrumpido ya que caracteriza la calidad de las operaciones del tráfico mediante la descripción de la proximidad entre vehículos y refleja la libertad de maniobra.

Otro parámetro frecuentemente utilizado en lugar de la densidad es la ocupación de la carretera ya que es más fácil de medir, siendo la ocupación en el espacio la proporción

de la longitud de la carretera cubierta de vehículos, mientras que la ocupación en tiempo identifica la proporción del tiempo en la sección transversal de la carretera que está ocupada por vehículos. Sin embargo, la conversión de ocupación a densidad puede llevar algún error debido a la imprecisión en la obtención de la longitud de los vehículos.

En cuanto al espacio e intervalo, este primero queda definido como la distancia entre vehículos sucesivos en un flujo de tráfico medidas desde el mismo punto de cada vehículo, mientras que el intervalo es el tiempo entre vehículos sucesivos en su paso por un mismo punto de la carretera medidos siempre desde el mismo punto en cada vehículo. Estas dos características son de carácter microscópico debido a que se refieren a parejas individuales de vehículos en un flujo de tráfico. Estos parámetros microscópicos se relacionan con los parámetros de flujo de densidad e intensidad según las siguientes expresiones:

$$Density(veh/mi) = \frac{5,280ft/mi}{spacing(ft/veh)}$$

$$Headway(s/veh) = \frac{spacing(ft/veh)}{speed(ft/s)}$$

$$Flow\ rate(veh/h) = \frac{3,600(s/h)}{headway(s/veh)}$$

En cuanto a las relaciones entre los parámetros básicos previamente comentados, se muestra lo siguiente:

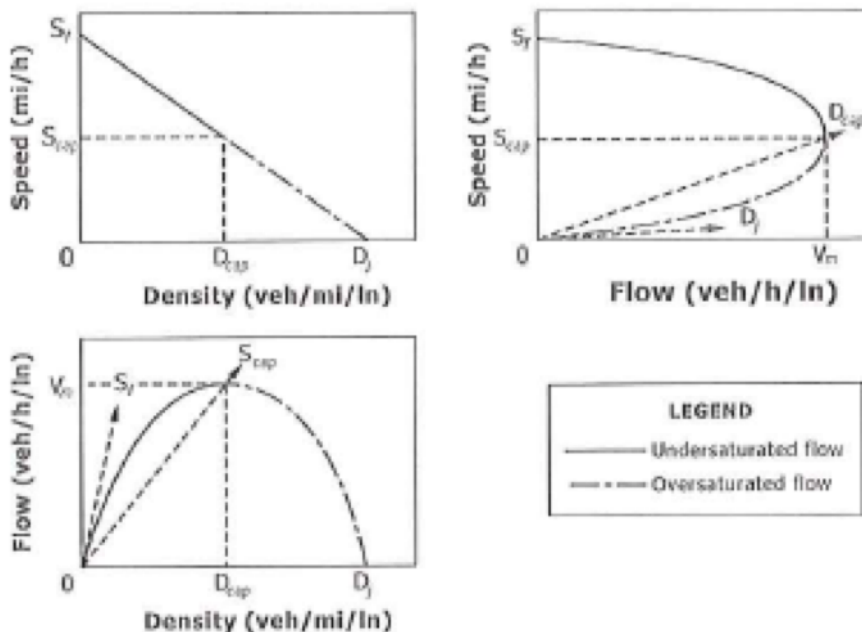


Figura 2. Relaciones entre los parámetros básicos

Las curvas mostradas anteriormente tienen dos puntos de cero, el primero aparece cuando no hay vehículos en el segmento (densidad e intensidad son igual a cero), en este punto la velocidad es teórica y puede ser escogida por el primer conductor. La segunda se da cuando la densidad es demasiado alta y todos los vehículos se paran (velocidad e intensidad son cero ya que no hay movimiento y los vehículos no pasan por el punto de la carretera).

Los niveles de servicio LOS A hasta E se definen en la parte de baja densidad y alta velocidad de las curvas. Por contraposición, el nivel de servicio LOS F que describe sobresaturación y colas en el tráfico, está representado por la parte de la curva correspondiente a alta densidad y baja velocidad.

La demora es una importante medida de actuación para el sistema de flujo ininterrumpido, siendo la más relevante para este estudio la demora debido al tráfico, siendo esta la resultante de la interacción entre vehículos, causando a los conductores una reducción de su velocidad respecto a la velocidad de flujo libre.

La cola se da cuando la demanda excede la capacidad durante un periodo de tiempo o cuando el intervalo es menor que el tiempo de servicio en un lugar determinado. Algunas medidas de colas pueden ser calculadas, incluyendo la media de la longitud de cola, la máxima cola, y la máxima probabilidad de cola.

Añadir que hay tres aproximaciones para estimar los parámetros del flujo de tráfico:

- Modelos determinísticos
- Modelos de simulación
- Observación de datos en campo

Siendo las observaciones en campo las que suelen producir una mejor aproximación de la intensidad del tráfico.

Capítulo 5 (HCM 2010)

Este capítulo trata sobre los conceptos de calidad y nivel de servicio, definiendo la calidad del servicio como la percepción de los viajantes sobre la funcionalidad del servicio.

Algunos de los factores que influyen sobre el conductor en cuanto a la calidad del servicio de la carretera son:

- Tiempo de viaje, velocidad y demora
- Número de paradas a realizar
- Tiempo de viaje esperado
- Maniobrabilidad
- Confort
- Comodidad
- Seguridad
- Disponibilidad de instalaciones y servicios

- Instalaciones estéticas
- Disponibilidad de información

Centrándose más concretamente en el tiempo de viaje, la velocidad, demoras, maniobrabilidad y el confort.

Los niveles de servicio (LOS) cuantifican las medidas de actuación o medidas que representan la calidad de servicio. El HCM 2010 define 6 niveles de servicio, del nivel A al F, siendo el nivel A la mejor condición de operación y el nivel F la peor.

Estos niveles se utilizan para trasladar resultados numéricos complejos en un sistema simple graduado de A a F. Sirven para establecer cuándo una actuación o cambio es aceptado y cuando no, en cuanto a la calidad del servicio, proporcionando una nomenclatura común para ingenieros de transporte y diseñadores a la hora de describir las condiciones de operación (funcionalidad).

En el caso LOS F, se definen las operaciones que la mayoría de usuarios consideran insatisfactorias. No obstante los diseñadores necesitan valores que indiquen como de mala es la situación estando en dicho rango, para lo que se definen las siguientes condiciones:

- Ratios de demanda de capacidad (describe la excedencia de capacidad en porcentajes).
- Duración de LOS F (define la duración de la situación)
- Medida de extensión espacial (describe las áreas afectadas por la condición de LOS F)

Las medidas del servicio son actuaciones medidas utilizadas para definir los LOS para los elementos del sistema de transporte. Estas medidas presentan las siguientes características:

- Las medidas reflejan la percepción de los conductores
- Las medidas de servicio deben ser útiles para las agencias de operación
- Las medidas de servicio deben ser directamente medibles en el campo
- Las medidas de servicio deben ser estimadas haciendo un pronóstico

Comentar que el ratio volumen-capacidad es un caso especial de medida de servicio, el cual no puede ser directamente medido en campo y tampoco es una medida de la percepción del conductor. El ratio v/c no es perceptible por los conductores hasta que la capacidad no es alcanzada. Por este motivo, el HCM solo utiliza este ratio para definir los umbrales LOS E-F pero no para definir el resto de umbrales de LOS.

Para el caso concreto de las carreteras convencionales (caso de estudio), se tiene que las operaciones de tráfico se diferencian de las demás carreteras por las interrupciones del flujo, ya que el adelantamiento es solo posible pasando al carril contrario. La demanda de adelantamientos aumenta rápidamente cuando el volumen de tráfico aumenta, y la capacidad de adelantamiento del carril opuesto decrece. Por ello en carreteras convencionales el tráfico en una dirección, influencia al flujo en la otra dirección.

Las carreteras convencionales están pensadas para una función principal de accesibilidad, por ello la velocidad no es la medida principal, siendo las demoras más relevantes como medida de la calidad del servicio.

Debido a que en una carretera se requiere seguridad y alta velocidad de operación, las medidas de servicio utilizadas son:

- Porcentaje de tiempo en seguimiento (PTSF)
- Velocidad media de viaje (ATS)
- Porcentaje de velocidad libre (PFFS)

A continuación se pasa a explicar cada una de ellas:

El porcentaje de tiempo en cola representa la libertad de maniobras y el confort y conveniencia del tráfico. Este es difícil de medir en campo, sin embargo se suele usar como medida el porcentaje de vehículos que se encuentran viajando con intervalos menores a 3 segundos en una localización determinada.

La velocidad media de viaje refleja la movilidad de las carreteras convencionales. Se define como la longitud del segmento de carretera dividido por la media del tiempo de viaje de todos los vehículos atravesando el segmento en ambas direcciones durante un intervalo determinado.

El porcentaje de velocidad de flujo libre representa la habilidad de los vehículos de viajar cerca del límite de velocidad.

Capítulo 15 (HCM 2010)

El presente capítulo muestra metodologías para el análisis, el diseño y la planificación de instalaciones de carreteras convencionales que funcionan bajo un flujo ininterrumpido (ningún tipo de pelotón), tanto en el caso de los turismos como para bicicletas.

Las carreteras convencionales tienen un carril para cada dirección y su característica principal es que las maniobras de adelantamiento tienen lugar en el carril contrario, por lo que conforme aumenta el flujo y sus restricciones, el adelantamiento decrece.

Hay que tener en cuenta que aunque las velocidades altas son beneficiosas, para el análisis es más adecuado adoptar indicadores como la demora (buen indicador de las colas) para el estudio de la calidad.

Respecto a la clasificación de las carreteras convencionales hay tres tipos dependiendo del servicio y su función: las dos primeras clases incluyen las carreteras convencionales rurales y la tercera clasificación, aquellas existentes en áreas desarrolladas.

- Clase I: son carreteras donde los conductores tienen la sensación de ir relativamente a altas velocidades. Son carreteras principales interurbanas, rutas diarias de personas que viven fuera de la ciudad en redes de carreteras estatales o nacionales, es decir, se considera una clasificación para viajes de largas distancias.
- Clase II: son carreteras donde no es necesario ir a altas velocidades. Al contrario que en la Clase I, son carreteras utilizadas para viajes cortos.
- Clase III: son carreteras que sirven moderadamente a áreas desarrolladas. Pueden ser parte tanto de la Clase I como de la Clase II que pasa por pequeñas ciudades o áreas desarrolladas recreacionales.

Como se ha comentado anteriormente, la clasificación de las carreteras también depende de la función. En su caso, las carreteras arteriales son consideradas Clase I mientras que las colectoras locales están consideradas como Clase II o III.

A continuación se habla de las condiciones base para las carreteras convencionales, que son la ausencia de restricciones geométricas de tráfico o factores ambientales, las cuales deben ser consideradas como condiciones ideales.

Dichas condiciones de base son las siguientes:

- Ancho de carril mayor o igual a 12 pies.
- Ancho de arcenes mayor o igual a 6 pies.
- Que no haya zonas de no adelantamiento.
- Todos los vehículos de pasajeros en flujo de tráfico
- Nivel de terreno
- No impedimentos en el tráfico (señales de tráfico, giro de vehículos, etc)

El tráfico puede funcionar inmejorablemente sólo si los carriles son bastante amplios para no obligar velocidades.

La longitud y frecuencia de las zonas de no adelantamiento son un resultado de la alineación de calzada. Estas zonas pueden ser marcadas por señales en una o ambas direcciones.

Sobre las carreteras de dos carriles dependiendo del flujo puede ser necesario pasar al carril contrario, esto es el único modo de realizar la maniobra de adelantamiento.

Pasando ahora a hablar de la capacidad de las carreteras convencionales, se tiene que las condiciones de base para que ocurra deben ser de 1700 vehículos ligeros por hora en una dirección con un total de 3200 vehículos ligeros por hora en el total de las dos direcciones. Teniendo que debido a la interacción entre carriles, el límite en el carril opuesto es de 1500 vehículos ligeros por hora. Añadir que pueden encontrarse valores mayores a 3400 vehículos ligeros por hora en lugares como túneles o puentes pero no se puede esperar tales valores sobre tramos muy amplios.

LOS	Class I Highways		Class II Highways	Class III Highways
	ATS (mi/h)	PTSF (%)	PTSF (%)	PFFS (%)
A	>55	≤35	≤40	>91.7
B	>50-55	>35-50	>40-55	>83.3-91.7
C	>45-50	>50-65	>55-70	>75.0-83.3
D	>40-45	>65-80	>70-85	>66.7-75.0
E	≤40	>80	>85	≤66.7

Figura 3. Niveles de servicio de los automóviles para carreteras con doble dirección

En lo relativo a los niveles de servicio (LOS) se tiene que:

En la Clase I la velocidad y las demoras son las más importantes para los conductores, por tanto, en esas carreteras los niveles de servicios vienen definidos, sobre todo, por ATS y PTSF. En el caso de Clase II, los tramos son generalmente limitados porque los conductores quieren estar cerca de la velocidad límite permitida, por tanto, en este caso los LOS se definen mediante PFFS.

Pero las expectativas del conductor y las características de operación sobre las tres categorías de carreteras de dos direcciones son bastante diferentes, es difícil de proporcionar la definición sola de condiciones de funcionamiento en cada LOS.

Las dos características que tienen un gran impacto sobre las operaciones reales y las percepciones del conductor en servicio son:

- La capacidad de adelantamiento
- La demanda de adelantamiento

Ambas están relacionadas con el ratio de flujo, ya que si el flujo en ambas direcciones aumenta aparece el problema de que la demanda de adelantamiento también aumenta mientras que la capacidad de adelantamiento disminuye.

En LOS A, los conductores perciben altas velocidades de operación en las carreteras de Clase I y baja dificultad en adelantamientos y las colas de 3 o más vehículos son poco probables. En las carreteras de Clase II, la velocidad está controlada por las condiciones de la carretera, es decir, se podría formar un pequeño número de cola. Con respecto a las carreteras de Clase III, los conductores deben mantener la velocidad de operación cerca de la velocidad libre.

En LOS B, la demanda de adelantamiento y su capacidad están en balance. En ambas clases de carreteras, I y II, el grado de cola se empieza a notar, en las de Clase I se empiezan a notar la reducción de la velocidad. En las carreteras de Clase III es difícil mantener la velocidad de flujo libre (FFS) pero la reducción de velocidad sigue siendo relativamente pequeña todavía.

En LOS C, muchos vehículos viajan en cola y las velocidades son notablemente reducidas en las tres clases de carreteras.

En LOS D, las colas se incrementan notablemente y la demanda de adelantamiento es alta en las carreteras tanto de Clase I como las de Clase II, pero la capacidad de adelantamiento es próxima a 0. Hay un alto porcentaje de coches que circulan en cola y el PTSF es bastante notable. En las carreteras de Clase III la disminución del FFS es significativa.

En LOS E, la demanda se aproxima a la capacidad, los adelantamientos en las Clases I y II son virtualmente imposibles y el PTSF es mayor al 80%. Las velocidades son seriamente menores y en las carreteras de Clase III las velocidades son menores que dos tercios del FFS. Comentar que el límite más bajo de este nivel representa la capacidad.

Finalmente, LOS F, existe cuando el flujo de la demanda en ambas direcciones excede la capacidad del tramo. En él las condiciones de operación son inestables y existen fuertes congestiones en todas las clases de carreteras convencionales. El efecto de las zonas de no adelantamiento es mejor cuando el ratio de flujo opuesto es bajo. Cuando el ratio de flujo opuesto aumenta, el efecto decrece hasta 0, hasta que las zonas de adelantamiento y no adelantamiento comienzan a ser irrelevantes cuando el ratio de flujo opuesto no permite posibilidades de adelantamiento.

3.1.2. Estudios relativos a distintas variables del tráfico

En este apartado se van a incluir aquellos estudios relacionados con las distintas variables del tráfico. Entre ellos se encuentra el estudio de Katja Vogel (2002), el cual evalúa la utilidad de algunos indicadores de seguridad, como son el intervalo y el tiempo de colisión. También se encuentra la investigación de realizada por Stanisław Gaca, Mariusz Kiec y Arkadiusz Zielinkiewicz (2011), evalúa las mismas variables que el anterior documento, añadiendo el tiempo de reacción de los conductores. Por otro lado, Ahmed Al-Kasy y Casey Durbin (2011) trata la importancia del fenómeno de cola en la determinación del comportamiento del tráfico y la seguridad en las carreteras. Finalmente, se tiene el estudio de Ahmed Al-Kaisy y Sarah Karjala (2010) el cual trata sobre la obtención de una mejor comprensión de la interacción del vehículo en carreteras rurales de dos carriles y en condiciones de flujo libre.

3.1.2.1. Katja Vogel (2002)

Katja Vogel evaluó una intersección con cuatro direcciones con señales de stop en las direcciones de menor intensidad durante un período aproximado de seis días en Suiza para evaluar la utilidad de algunos indicadores de seguridad, como son el intervalo y el tiempo de colisión (TTC). Dichos indicadores son discutidos y comparados con respecto a su utilidad en la determinación de la seguridad frente a diferentes situaciones de tráfico, como por ejemplo, diferentes localizaciones en una dirección.

Tras la investigación realizada se vio que en el caso en que los vehículos están en seguimiento, el intervalo y el TTC son independientes entre ellos, obteniéndose que el porcentaje de intervalos pequeños es relativamente constante en posiciones diferentes

de la intersección mientras que el porcentaje de tiempos hasta colisión bajos varían entre las diferentes localizaciones.

Finalmente se recomienda usar el intervalo como criterio para la aplicación de multas por parte de las autoridades, mientras que el tiempo hasta colisión debe ser usado si se quiere evaluar la seguridad real de una cierta ubicación.

3.1.2.2. Stanisław Gaca, Mariusz Kiec y Arkadiusz Zielinkiewicz (2011)

Los autores realizaron un análisis en diferentes secciones de carretera con diferentes límites de velocidad y con ubicaciones diferentes. Dicho análisis recoge diferentes parámetros, así como el intervalo, el tiempo hasta colisión (TTC) y el tiempo necesario para la reacción de los conductores (TDR). Para la realización del mismo se tomaron medidas del tiempo de aparición del vehículo, la velocidad y la longitud del vehículo durante las 24 horas del día.

El resultado del mismo consiste en la construcción de una base de datos, comprendiendo registros de parámetros de tráfico de aproximadamente 2.6 millones de vehículos que permita la evaluación de la probabilidad de ocurrencia de una colisión.

Como conclusiones obtenidas por los autores se encuentra:

- El ritmo de tiempo hasta colisión inseguro está relacionado con el volumen de tráfico y es posible representarlo mediante una curva logarítmica, dando la distribución logarítmica resultados muy similares a aquellos obtenidos mediante datos empíricos.
- El análisis prueba que el desarrollo de la carretera, caracterizado por el desarrollo de la intensidad, es un factor que afecta al ritmo de TTC inseguros. Para volúmenes de tráfico mayores a 400 veh/h/carril, el ritmo de TTC inseguro es más alto para altas intensidades y comparable con intensidades medias-altas y dispersas, las cuales pueden estar conectadas con el impacto de velocidad en TTC inseguros. En secciones con desarrollo de carreteras disperso los valores de velocidades tienden a ser más altos que en carreteras con intensos desarrollos.
- El ritmo de TTC inseguro decrece con el incremento de la velocidad media. Se observa un efecto contrario cuando se considera la presencia de vehículos pesados, ello incrementa los resultados del crecimiento de la tasa de TTC inseguro.
- En carreteras rurales con un límite de velocidad de 90km/h, los rangos de TTC en 'ligero-pesado' es relativamente bajo y no depende del ratio de los vehículos pesados. Sin embargo, en carreteras que pasan por pequeñas ciudades, con un límite de velocidad de 50km/h, el ritmo de TTC inseguro entre 'ligero-pesado' es considerablemente alto y este aumenta con el aumento de los vehículos pesados.
- En condiciones nocturnas, el ritmo de TTC inseguros es aproximadamente un 4% mayor que en condiciones diurnas, independientemente del volumen de tráfico. La diferencia se incrementa si el grado de cansancio y las condiciones físicas y psíquicas

se tienen en cuenta mediante la suposición de que en condiciones nocturnas el tiempo de reacción de los conductores se incrementa en 0.2s respecto a las condiciones de día.

3.1.2.3. Ahmed Al-Kasy y Casey Durbin (2011)

Este estudio trata sobre la importancia de los pelotones en carreteras de dos carriles en cada dirección y tiene como objetivo de estudiar el fenómeno de cola en la determinación del comportamiento del tráfico y la seguridad en las carreteras.

La obtención de datos para llevar a cabo el análisis se realiza en tres estado de Montana.

Establece que el pelotón o cola es un fenómeno importante en las carreteras convencionales de dos carriles, que tiene serias implicaciones en las operaciones del tráfico. Específicamente, la calidad del servicio en estas carreteras es directamente relacionada con el fenómeno del pelotón, y esta es estimada con las medidas de la velocidad media de viaje y con el porcentaje de tiempo en cola. El pelotón es una función de la cantidad de oportunidades de paso disponible en cada sentido de la marcha que depende en gran medida del intervalo y de la distribución de velocidades para un volumen de tráfico dado. Además, las colas son también importantes en las carreteras de dos carriles desde la perspectiva de la seguridad. También cabe destacar que los conductores que se ven limitados por los movimientos lentos de los pelotones y falta de oportunidades para adelantar pueden llegar a frustrarse, y por lo tanto tienden a aceptar los pequeños huecos del tráfico opuesto para realizar maniobras de adelantamiento arriesgadas.

Finalmente, de dicho estudio se obteniendo las siguientes conclusiones:

- La interacción entre vehículos sucesivos en el mismo carril disminuye cuando el intervalo excede de un valor entre 5-7 segundos.
- Los intervalos cortos generalmente son un indicador de qué vehículo es el líder de la cola, esta investigación confirma que intervalos muy cortos (menores de 1 segundo) están relacionados con una conducción agresiva y generalmente asociadas con velocidades más altas.
- La cantidad de impedancia en el tráfico es proporcional al tamaño de la cola como lo demuestra la relativa diferencia entre la velocidad media de varios pelotones y la velocidad media de vehículos sin obstáculos.

3.1.2.4. Ahmed Al-Kaisy y Sarah Karjala (2010)

El objetivo del presente estudio es obtener una mejor comprensión de la interacción del vehículo en carreteras rurales de dos carriles y en condiciones de flujo libre.

La investigación (realizada en el estado de Montana) utiliza la velocidad del vehículo y el intervalo entre vehículos sucesivos en la corriente de tráfico y el establecimiento de un umbral para los vehículos libres que circulan en ella. En este caso hay que tener en cuenta, que las carreteras en áreas más desarrolladas se han considerado fuera del alcance de esta investigación. Comentar que el límite de velocidad en todos los sitios de estudio es de 70 millas por hora para vehículos ligeros y de 60 millas por hora para vehículos pesados.

Los datos fueron recogidos en ambas direcciones de la carretera de dos carriles, en los que las variables medidas son el tiempo de llegada, el hueco, la velocidad del vehículo, la longitud de este y su clase.

Este artículo considera que un vehículo que circula en una carretera es libre cuando no tiene interacciones con otros vehículos en el flujo de tráfico. El seguimiento de un coche, es decir, que se cree una cola, es cuando un vehículo que va a una velocidad más rápida circula detrás de un vehículo con una velocidad más lenta y es incapaz de realizar una maniobra de adelantamiento obligando a este a ir a una velocidad menor.

En un nivel macroscópico, el porcentaje de vehículos libre que circulan por una carretera, va asociado con la calidad de servicio de dicha carretera.

Este estudio demostró que las velocidades de dos vehículos son linealmente proporcionales al intervalo para longitudes de cola hasta 6 segundos. Sin embargo, el estudio advierte que para distinguirse entre este tiempo y tiempo deseado por los conductores, la región se escoge de 2 segundos.

Las conclusiones obtenidas son: en primer lugar, se sugiere que el intervalo sea superior a 6 segundos en carreteras rurales de dos carriles; en segundo lugar, la mayoría de los conductores deciden mantener intervalos cortos detrás de un vehículo mientras circulan independientemente de las restricciones que haya; y finalmente, todas aquellas restricciones que se produzcan en este tipo de carreteras, van afectar al progreso y contribución de la formación de pelotones.

3.1.3. Modelos de distribución aplicables a carreteras convencionales

A continuación se van a mostrar la literatura existente relativa a la obtención de modelos de distribución aplicable a carreteras convencionales. Donde se tiene que los tres primeros documentos expuestos tratan sobre la modelación del intervalo, mientras que el último de ellos trata sobre la identificación de los vehículos en cola. Por tanto, el estudio Guohui Zhang y Yin Hai Wang (2013) se basa en una metodología de modelación Nucleo-Gausiana no paramétrica para caracterizar la distribución de intervalos. Otro estudio realizado es el de Duy-Hung Ha, Maurice Aron y Simon Cohen (2010), que trata sobre la modelación probabilística del intervalo. Los autores Guohui

Zhang, Yin Hai Wang, Heng Wei y Yanyan Chen (2006) presentan un estudio del comportamiento de la distribución de los intervalos en autopistas urbanas. Por último, Jerome L. Catbagan y Hideki Nakamura (2008) establecen una metodología de identificación del vehículo seguidor para analizar el flujo de seguidores en cualquier sección de carretera de dos carriles.

3.1.3.1. Guohui Zhang y Yin Hai Wang (2013)

El artículo realizado por estos autores describe una metodología de modelación Nucleo-Gausiana no paramétrica para caracterizar la distribución de intervalos; este método estadístico de distribución libre proporciona suficiente flexibilidad para una mejor caracterización e interpretación de los datos de intervalos.

Esto se ha realizado debido a que los intervalos son esenciales para el estudio de la teoría del flujo del tráfico, accidentes de carreteras y simulaciones microscópicas de tráfico. Además, los intervalos son considerados para seguir algunas distribuciones paramétricas conocidas basadas en ciertas suposiciones, sin embargo, dichas suposiciones no son universalmente aceptadas y como consecuencia, la confianza de dichos modelos de distribución de intervalos varían significativamente cuando se aplican condiciones de flujo diferentes.

Los experimentos realizados por estos autores tienen como objetivo evaluar la exactitud de los modelos de núcleo-gaussianos para modelar los intervalos en los vehículos, obteniéndose como resultado que los modelos propuestos superan a los métodos paramétricos tradicionales en un amplio rango de intensidades.

3.1.3.2. Duy-Hung Ha, Maurice Aron y Simon Cohen (2010)

El estudio trata sobre la modelación probabilística del intervalo. En él se expone que la variable intervalo es fundamental porque describe el patrón de llegada de los vehículos, empleando muestras de carreteras de Francia. Además, existen importantes aplicaciones en la ingeniería de tráfico sobre esta variable, en las que se incluye la investigación de la capacidad, la operación de simulación y el análisis de la seguridad del tráfico.

Este estudio propone tres tipos de modelos para el modelado del intervalo: modelo probabilístico, el modelo analítico de Heidemann y el modelo de autómata celular. Centrándose en el primero de estos distingue entre tres modelos: modelo simple, combinado y mixto.

Como conclusión de dicho estudio se tiene que: el modelo log-normal se confirma como el mejor modelo simple. El modelo Hyperlognormal (con o sin parámetro de localización) se examinó por primera vez y resulta mejor que el modelo Hypergamma. La distribución gamma es la mejor opción para el g-distribución del Modelo Generalizado de cola y el Modelo de Semi Poisson.

3.1.3.3. Guohui Zhang, Yinhai Wang, Heng Wei y Yanyan Chen (2006)

Este documento presenta un estudio del comportamiento de la distribución de los intervalos en autopistas urbanas. Usando el sistema Advanced Loop Event Data Analyzer (ALEDA), las observaciones y datos obtenidos han sido de 5 carreteras del área de Seattle. Estos datos de intervalos han sido usados para calibrar y examinar el comportamiento de varios modelos. La bondad de los modelos fue evaluada usando intervalos observados tanto en carreteras regulares como en HOV (carriles de alta ocupación) para diferentes periodos de tiempo dentro del día. Para evaluar el comportamiento de esos modelos se utiliza el test de Kolmogorov-Smirnov.

Los resultados de las pruebas mostraron que el modelo de distribución Exponencial de doble desplazamiento negativo proporciona el mejor resultado para los datos de intervalos de autopistas urbanas, especialmente, para HOV carreteras. La distribución lognormal también se ajusta muy bien.

Finalmente en este estudio se concluye que hay una diferencia significativa en el comportamiento del intervalo entre la carretera regular y la HOV sobre diferentes periodos de tiempo durante el día. Mientras que cada modelo posee fortalezas y debilidades en determinadas condiciones, en dicha investigación la distribución lognormal es adecuada en cuanto a intervalos de propósito general bajo la mayoría de circunstancias. Pero fue incapaz de describir las características de avanzar en los carriles HOV. El modelo distribución Exponencial de doble desplazamiento negativo (DDNED) obtiene mejores resultado para el modelado de intervalos en carreteras regulares y carreteras HOV.

3.1.3.4. Jerome L. Catbagan, Hideki Nakamura (2008)

El objetivo primordial de esta investigación es establecer una metodología de identificación del vehículo seguidor más confiable, que entonces más tarde puede ser usada para analizar el flujo de seguidores en cualquier sección de carretera dada de dos carriles. La determinación del número de seguidores en cualquier período de tiempo dado, puede establecer cómo funciona en términos de calidad el servicio.

Destacar que los datos usados en esta investigación han sido tomados en una carretera típica de dos carriles en Japón.

En él se establece como umbral para distinguir los vehículos que están en cola de los que no de 3 segundos, basándose en Manual de Capacidad de Carreteras (HCM).

Para llevarlo a cabo se hace necesario desarrollar un procedimiento de reconocimiento del seguidor, que realmente no sólo se considera su velocidad sino también el comportamiento del conductor en varias condiciones.

Por ultimo indicar que es utilizada la densidad de seguidores, definida como el número de seguidores por kilómetro por carril, como medida de servicio en carreteras de dos carriles.

3.2. Resumen del estado del arte

3.2.1. Conclusiones generales

Las investigaciones revisadas se centran en el tiempo hasta colisión y el intervalo como variables indicadoras del nivel de seguridad.

En ellas se ha llegado a que el tiempo hasta colisión (TTC) es la variable que debe ser usada para evaluar la seguridad, esta variable se encuentra además relacionada con el volumen de tráfico y con la velocidad media, siendo este más alto para altas intensidades y decreciente con el aumento de la velocidad media.

Por otro lado, el TTC en condiciones nocturnas es un 4% mayor que en condiciones diurnas.

En cuanto al intervalo, se tiene que para valores menores a 1 segundo, están relacionados con una conducción agresiva y velocidades altas.

3.2.2. Necesidades de investigación

Esta investigación junto con la colaboración de las otras dos investigaciones llevadas a cabo de forma paralela, contribuirá a una mejora en el conocimiento de la funcionalidad de las carreteras durante la conducción en condiciones especiales, ya que, como se ha visto no se dispone de suficiente información sobre ello en la actualidad.

Capítulo 4

Objetivos

En el siguiente apartado se van a describir los diversos objetivos que causan esta investigación como Trabajo Final de Máster.

En primer lugar, como objetivo general de la investigación es la caracterización funcional del tráfico en condiciones normales de circulación, en condiciones nocturnas y ante la lluvia, pero para alcanzar este objetivo se han planteado una serie de objetivos secundarios o específicos que se intentarán desarrollar con el transcurso del Trabajo. Dichos objetivos son los siguientes:

- Estudio y caracterización de la geometría, el tráfico, las zonas de adelantamiento, datos de iluminación y climáticos de la carretera convencional monitorizada estudiada, CV-35 en la Comunidad Valenciana.
- Identificación y selección de las cámaras de vigilancia de la carretera que se utilizarán para la obtención de los datos para cada una de las tres condiciones.
- Selección de los datos de los períodos de tiempo de análisis y las variables a obtener.
- Diseño de una metodología para el cálculo de los datos experimentales que permita caracterizar la funcionalidad del tráfico en las diversas condiciones.
- Caracterización del comportamiento del tráfico en dicha carretera considerando las variables de tráfico como ahora podrían ser la intensidad direccional, reparto y composición del tráfico; las medidas de desempeño como la velocidad media, porcentaje de vehículos en cola, huecos o distribución de intervalos; y las condiciones ambientales, diurna, nocturna y lluvia.
- Análisis de los resultados y comparación del desempeño del tráfico y la calidad de la circulación en función de las condiciones ambientales.

Concluir que esta investigación busca profundizar en el análisis del impacto de diversas condiciones ambientales (diurna, nocturna y lluvia) en la funcionalidad del tráfico y con ello, poder mejorar la gestión y los modelos de simulación de tráfico.

Capítulo 5

Hipótesis

En base a la revisión del estado del arte, se han establecido las hipótesis principales del estudio, que se corroborarán o rechazarán en el desarrollo del Trabajo de Fin de Máster.

A la hora de enumerar las distintas hipótesis se considera el mismo rango de intensidades de circulación para las distintas condiciones comparadas.

- Las velocidades en condiciones diurnas serán las más elevadas al ser mejores las condiciones de visibilidad y adherencia.
- Los huecos serán mayores en condiciones nocturnas y en lluvia ya que los conductores perciben un menor nivel de seguridad tanto por la falta de visibilidad como por la falta de la adherencia en el pavimento respectivamente.
- El porcentaje de los vehículos en cola será mayor en las condiciones de lluvia y noche con respecto a las condiciones diurnas debido a la menor velocidad de los vehículos y al menor número de adelantamientos realizados.

En resumen, lo que las tres hipótesis principales del estudio sugieren es que, en igualdad de intensidad de vehículos, en condiciones especiales (como la lluvia y la noche) la calidad de la circulación o funcionalidad del tráfico son peores que en condiciones normales (diurnas y con pavimento seco).

5.1. Hipótesis en condiciones diurnas

En este subapartado se recogen las hipótesis formuladas acerca de las condiciones diurnas para diferentes rangos de intensidad, entre las que se encuentran:

- En cuanto a las intensidades bajas se obtendrán velocidades mayores en los vehículos, es decir, el conductor circula libremente a una velocidad deseable sin tener restricciones que condicionen su circulación. Así pues, se tendrán mayores huecos y menor porcentaje de vehículos en cola, por tanto, el vehículo se encuentra a un tiempo mayor con el vehículo delantero.

- Por el contrario, en cuanto a las intensidades medias y altas, se obtendrán velocidades menores de vehículo además de menores huecos y mayor porcentaje de vehículos en cola, ya que, al circular una mayor cantidad de vehículos estos estarán obligados a conducir a velocidades no deseables (menores) y disminuirá considerablemente la circulación en flujo libre.
- La utilización del Manual de Capacidad (HCM 2010) de Estados Unidos para estimar las medidas de desempeño del tráfico en una carretera convencional en España, podría dar lugar a errores elevados dada la gran dependencia de las mismas en características locales de los conductores.

Capítulo 6

Alcance

En este apartado se determina el alcance del Trabajo de Fin de Máster, definiendo las limitaciones previas a la investigación y estableciendo sus límites explícitos. Las condiciones a las que se limita son las siguientes:

- Carretera convencional con dos carriles de circulación
- Velocidad límite de 100 km/h
- Sección transversal de 7/10

Por otro lado, comentar que se observarán tanto condiciones de tráfico diurnas como nocturnas y de lluvia, considerando como condiciones de lluvia aquellas en las que el pavimento se encuentre mojado. Añadir que el proyecto no considerará condiciones de viento.

En consecuencia, las conclusiones que se desprendan del Trabajo de Fin de Máster serán únicamente aplicables en carreteras que cumplan las condiciones anteriores.

Capítulo 7

Metodología

7.1. Metodología global

Como datos iniciales de partida para valorar la necesidad del presente trabajo de investigación en el que, como se ha comentado anteriormente, se estudiará cómo afecta la funcionalidad de una carretera convencional (la CV35 más concretamente) en las diferentes condiciones de día, noche y lluvia, se deberá mostrar la relevancia de estas condiciones respecto a la totalidad de los días del año en la Comunidad Valenciana, ya que es la zona donde se centra el estudio. Posteriormente, se pasará a estudiar la intensidad media diaria, IMD, de la carretera para poder ver si el tramo que se va a analizar se puede considerar como representativo del tramo total de la carretera, así como para seleccionar correctamente las cámaras de video a utilizar en el posterior análisis.

Una vez realizado estos pasos previos y seleccionadas las cámaras más representativas del tramo de carretera, se procederá a la obtención de datos para su posterior análisis mediante el programa informático *KINOVEA*, el cual se explicará posteriormente. Una vez se hayan obtenido los datos, se procederá a analizar los mismos mediante la ayuda de una hoja *EXCEL* y unas macros previamente programadas, las cuales se comentarán con más detalle en un apartado posterior. Finalmente, se representarán los datos que proporcionen mayor información sobre la funcionalidad de la carretera en los tres estudios que se llevarán a cabo de forma paralela (comparación día/lluvia, comparación día/noche, así como de las distintas intensidades en condiciones de día), en gráficas obtenidas con la ayuda del *STATGRAPHICS*.

7.1.1. Porcentaje de horas en condiciones de día, noche y lluvia

En este apartado se mostrará la relevancia de cada una de las condiciones y el proceso realizado para obtener los resultados obtenidos.

En cuanto a los días de lluvia, comentar que se ha obtenido un porcentaje de horas con lluvia del 21,1%, el cual no es muy elevado, pero teniendo en cuenta que cuando llueve en esta zona las precipitaciones se suelen producir con fuertes rachas de viento a la vez que disminuye la adherencia de los neumáticos al encontrarse el pavimento mojado, se ha considerado importante su estudio ya que se pretende ver la influencia

que puede llegar a tener la condición de lluvia sobre la funcionalidad de la vía y la seguridad de los usuarios.

Para obtener estos valores, comentar que ha sido extraída de la página web de datosclima [1] que recoge datos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) en la que se encontró una serie histórica diaria de lluvia desde el año 2002 hasta el año 2012 en la ciudad de Valencia, que se encuentra situada aproximadamente a 44 km de distancia de la zona de estudio, por lo que se asumirá que la precipitación en la zona de estudio es igual que la obtenida ya que no habrá una gran variación entre una zona y otra. Comentar que se intentaron obtener datos más actuales y próximos a la zona de estudio pero no ha sido posible.

Para obtener el grado de representatividad, se ha obtenido el porcentaje del número de días de lluvia en cada año y se ha hecho una media de los mismos, obteniéndose un porcentaje de 21,1 % de días con lluvia, como se ha citado anteriormente, obteniéndose un valor medio de precipitación anual de 47,3 l/m²/mes, siendo el mayor valor medio de dichas precipitaciones de 94,7 l/m²/mes (producido en el mes de octubre) y el mínimo valor medio de 7,7 l/m²/mes, coincidiendo este con la época estival producido en el mes de julio.

A continuación se muestra en la *Tabla 1* la precipitación media mensual a lo largo de un año, obtenido a partir de datos históricos de 10 años.

Mes	Promedio (l/m²mes)
Enero	39,3
Febrero	37,4
Marzo	55,8
Abril	43,9
Mayo	68,5
Junio	32,6
Julio	7,7
Agosto	17,4
Septiembre	80,2
Octubre	94,7
Noviembre	46,4
Diciembre	44,0

Tabla 1. Precipitación media mensual

En cuanto a los porcentajes de horas al año de día y noche, comentar que se ha realizado a través de las horas de sol para cada mes en la ciudad de Valencia debido a la proximidad de dicha ciudad con el tramo a estudiar. El conocimiento de las horas del día que se encuentran en condiciones de día o en condiciones de noche junto a las intensidades de tráfico que se producirá en dichas horas resulta relevante para el posterior análisis, ya que con ello se identificará las horas más representativas a estudiar en cada una de las dos condiciones para conseguir muestras de cada una de ellas con intensidades lo más similares posibles para poder llevar a cabo su comparación.

En la siguiente tabla se muestra una estimación de las horas de luz que se encuentran en condiciones de día y en condiciones de noche para cada mes. Comentar que se ha considerado que las horas en punto incluyen el rango de la media hora anterior y el rango de la media hora posterior, incluyendo, por ejemplo, en las 18:00 el tiempo que transcurre desde las 17:30 hasta las 18:30.

Mes	Horas de día	Horas de noche
Enero	De 8:00 a 17:00	De 18:00 a 07:00
Febrero	Hasta el día 8: de 8:00 a 17:00 A partir del día 9: de 8:00 a 18:00	Hasta el día 8: de 18:00 a 7:00 A partir del día 9: de 19:00 a 7:00
Marzo	De 7:00 a 19:00	De 20:00 a 6:00
Abril	De 7:00 a 21:00	De 21:00 a 6:00
Mayo	De 7:00 a 21:00	De 21:00 a 6:00
Junio	Hasta el día 16: de 7:00 a 21:00 A partir del día 17: de 7:00 a 22:00	Hasta el día 16: de 22:00 a 6:00 A partir del día 17: de 23:00 a 6:00
Julio	Hasta el día 13: de 7:00 a 22:00 A partir del día 14: de 7:00 a 21:00	Hasta el día 13: de 23:00 a 6:00 A partir del día 14: de 22:00 a 6:00
Agosto	De 7:00 a 21:00	De 22:00 a 06:00
Septiembre	De 8:00 a 20:00	De 21:00 a 07:00
Octubre	De 8:00 a 19:00	De 20:00 a 07:00
Noviembre	De 8:00 a 18:00	De 19:00 a 07:00
Diciembre	De 8:00 a 17:00	De 18:00 a 07:00

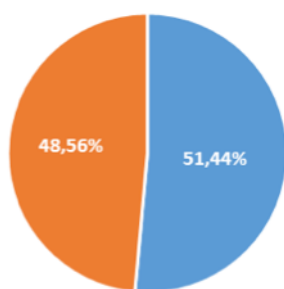
Tabla 2. Aproximación de horas en condiciones de día y de noche para cada mes del año

Comentar que también se han obtenido el porcentaje de días al año en condiciones de día y de noche, que obtienen un valor de 51,44% y 48,56% respectivamente en la zona del caso de estudio.

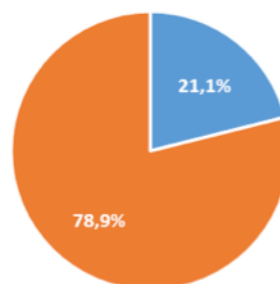
Estos porcentajes quedan representados, junto al de horas en condiciones de lluvia y no lluvia, en las gráficas siguientes para valorar la representatividad de las tres condiciones a estudiar en el presente trabajo.

% de horas al año de noche frente a día

% de horas al año de lluvia frente a no lluvia



■ DIA ■ NOCHE



■ LLUVIA ■ NO LLUVIA

Figura 4. Comparación del porcentaje de días al año en que se da cada una de las condiciones de estudio

Comentar que en el caso de lluvia, no necesariamente estará lloviendo las 24 horas del día, pero a falta de unos datos más precisos, se va a suponer que el día que llueve la vía permanecerá mojada durante todo el día, lo que será un parámetro que condicione a la funcionalidad de la carretera y a la seguridad de los usuarios.

A continuación se muestran los gráficos que representan el porcentaje de intensidad media diaria que se da en condiciones nocturnas frente a condiciones diurnas, así como en condiciones de lluvia frente a condiciones de no lluvia para cada mes del año.

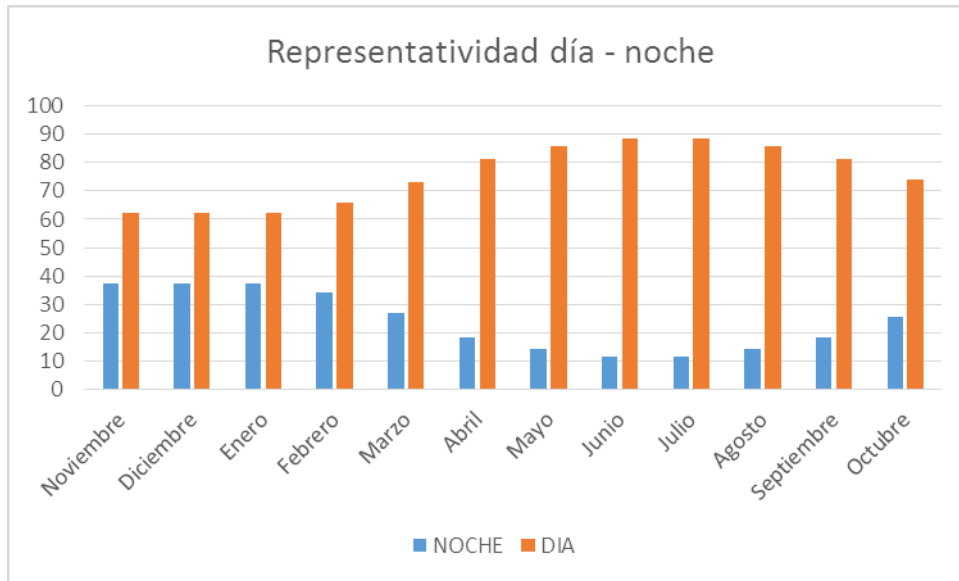


Figura 5. Representatividad del porcentaje de IMD de día frente a noche para cada mes

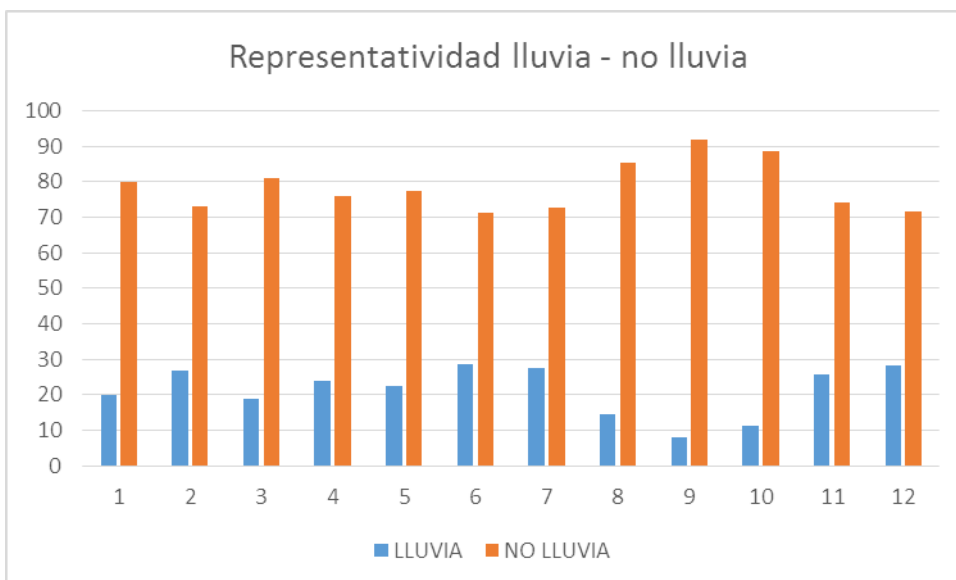


Figura 6. Representatividad del porcentaje de IMD de lluvia frente a no lluvia para cada mes

Como se puede observar la representatividad de las condiciones nocturnas y de lluvia es bastante menor a la de las condiciones diurnas, no obstante su importancia se ve incrementada en el ámbito de la seguridad, como se verá posteriormente.

Sintetizando los resultados de las gráficas anteriores se tiene un valor medio anual de representatividad de intensidades de 23,94% para condiciones nocturnas, de 76,06% para condiciones diurnas y de 21,37% para condiciones de lluvia.

7.1.2. Intensidad media diaria en el tramo de estudio

En este apartado se va a comentar el proceso realizado para obtener las intensidades medias horarias (IMH) tanto en días laborables como en sábados y domingos durante todos los meses del año, así como el porcentaje de pesados en los mismos.

Es necesario comentar que debido a que el tramo a estudiar forma parte de un peaje en sombra, estos datos no son totalmente facilitados por la administración, por lo que se ha realizado una estimación de los mismos a partir de los datos proporcionados. Dichos datos, que se mostrarán a continuación, pertenecen a un tramo de carretera próximo y con características semejantes al tramo de estudio. Junto a estos datos y los datos de esta misma carretera unos kilómetros más hacia el interior (en el que ya no se da la situación de peaje en sombra), se obtienen los parámetros mencionados.

Indicar que un peaje en sombra consiste en adjudicar la construcción de una carretera a una empresa o consorcio de empresas y en vez de pagar la construcción con una provisión de fondos o endeudándose, se establece el pago de un canon anual dependiendo del tráfico con dinero autonómico durante el tiempo que dure la concesión que suele estar entre los 20 y 30 años.

El tramo de estudio que forma parte de la CV-35 comienza en el P.K 37+00. Por tanto, los datos son obtenidos del tramo 035055 del manual de aforos de la Generalitat Valenciana (2014) [2] ya que se encuentra en el tramo de estudio.

Para este tramo, la información que facilita el aforo no está completa ya que pertenece a una zona de peaje en sombra, como se ha citado anteriormente, esto se debe a que falta información acerca de cómo se comporta el tráfico en las horas que componen el día. Por ello, se ha necesitado el apoyo de otro tramo de la carretera fuera del tramo de estudio donde se ubica una estación de aforo afín para estimar los datos, dicho tramo es el 035080 el cual es una continuación del tramo a estudiar como se muestra en la siguiente figura.



Figura 7. Localización de la estación de aforo afín

A continuación se mostrarán unas imágenes en las que se detalla la información que facilita el manual de aforos de la GV para cada uno de los tramos.

Carretera: CV-35		Tramo: 035055	
Situación	Datos del tramo	Datos Aforos 2014	
	Tipología: Estación Permanente Inicio: Casinos CV-245 Final: CV-395 PK: 40+370 Calzada: Convencional	IMD: 4.083 IMDp: 451 % Pesados: 11,0% Peor Nivel Servicio: - IH Máxima: - Velocidad: Asc Desc Total V ₅₀ : - - - V ₈₅ : - - - V ₉₉ : - - -	

Figura 8. Información general del tramo de estudio

En la figura anterior se muestran las características generales del tramo en el que se indica el inicio y el final del mismo, así como su IMD tanto en total como de vehículos pesados y el porcentaje de pesados que circula por el mismo.

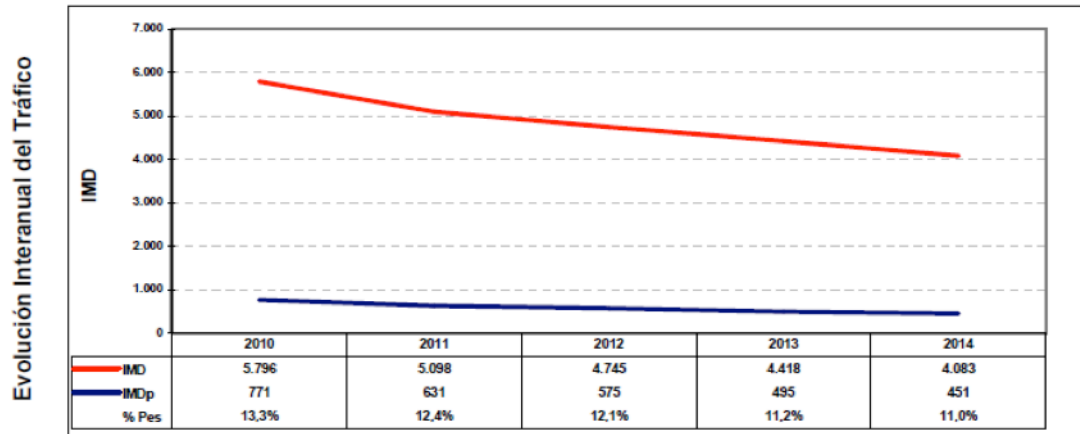


Figura 9. Evolución interanual del tráfico en el tramo de estudio –IMD-

En la Figura 9 queda representada la evolución de la intensidad del tráfico en esa zona a lo largo de los años desde el 2010 hasta el 2014 tanto en la totalidad del tráfico como en el tráfico de pesados, en la que se observa una tendencia decreciente de la intensidad media diaria en ambos casos con el transcurso de los años.

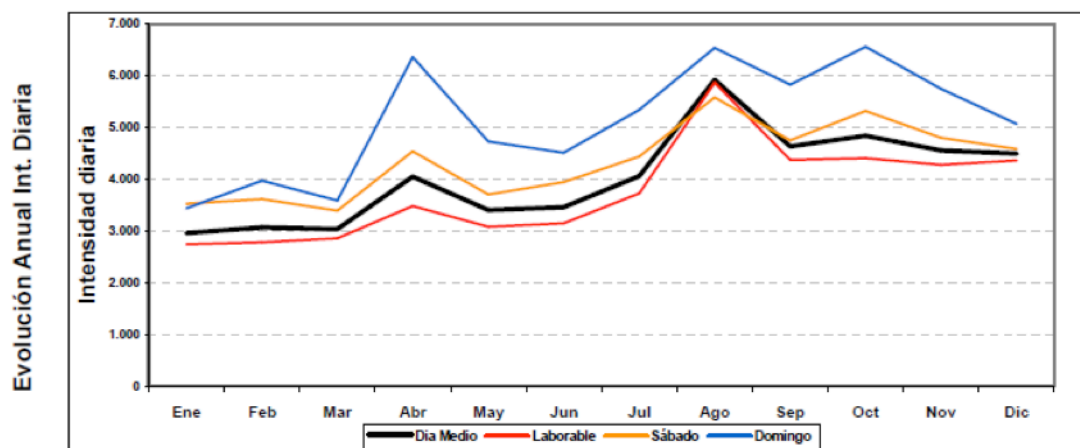


Figura 10. Gráfico de la evolución anual de intensidad diaria

En la imagen anterior se muestra la variación de la intensidad diaria a lo largo del año distinguiendo entre días laborables, sábados y domingos, con lo que se puede apreciar factores de estacionalidad, ya que se observan valores punta que se comentarán a continuación para cada caso:

- Días laborables: existen dos puntas, una en Abril y otra en Agosto, siendo esta última la más relevante.
- Sábados: se observan las puntas comentadas anteriormente a las que se añade otra pequeña punta en el mes de Octubre. Comentar que en este caso se ve más acusada la punta de Abril, mientras que la de Agosto adopta valores un poco más bajos.

- Domingos: se observan las mismas puntas ya comentadas para los sábados pero con valores punta más altos.

Mes	Día Medio			Día Laborable			Día Sábado			Día Domingo		
	Int. Total	Int. Pes.	% Pes.	Int. Total	Int. Pes.	% Pes.	Int. Total	Int. Pes.	% Pes.	Int. Total	Int. Pes.	% Pes.
Enero	2.957	335	11,3%	2.746	425	15,5%	3.532	148	4,2%	3.442	70	2,0%
Febrero	3.072	354	11,5%	2.783	456	16,4%	3.618	117	3,2%	3.971	83	2,1%
Marzo	3.038	338	11,1%	2.855	437	15,3%	3.398	117	3,4%	3.589	67	1,9%
Abril	4.049	375	9,3%	3.487	479	13,7%	4.541	132	2,9%	6.367	103	1,6%
Mayo	3.408	384	11,3%	3.084	495	16,1%	3.704	124	3,4%	4.731	91	1,9%
Junio	3.461	368	10,6%	3.154	472	15,0%	3.942	140	3,5%	4.518	77	1,7%
Julio	4.064	398	9,8%	3.732	504	13,5%	4.445	169	3,8%	5.344	95	1,8%
Agosto	5.926	524	8,8%	5.870	679	11,6%	5.584	167	3,0%	6.544	107	1,6%
Septiembre	4.634	596	12,8%	4.372	784	17,9%	4.752	153	3,2%	5.829	96	1,6%
Octubre	4.845	656	13,5%	4.407	844	19,1%	5.317	227	4,3%	6.566	146	2,2%
Noviembre	4.563	658	14,4%	4.278	853	19,9%	4.804	208	4,3%	5.750	136	2,4%
Diciembre	4.496	581	12,9%	4.363	738	16,9%	4.589	233	5,1%	5.070	145	2,9%

Figura 11. Tabla de valores de la evolución anual de intensidad diaria

En la tabla de la figura anterior se recogen los valores de intensidad en cada mes para días laborables, sábados y domingos, tanto en intensidades totales como en intensidades de vehículos pesados.

Para el estudio a realizar se necesitarán intensidades horarias, y dado que para esta carretera no son facilitados dichos datos, se recurrirá a los datos de una estación de aforo afín (tramo 035080) cuyos datos se muestran a continuación, comparándose con los del tramo a estudiar.

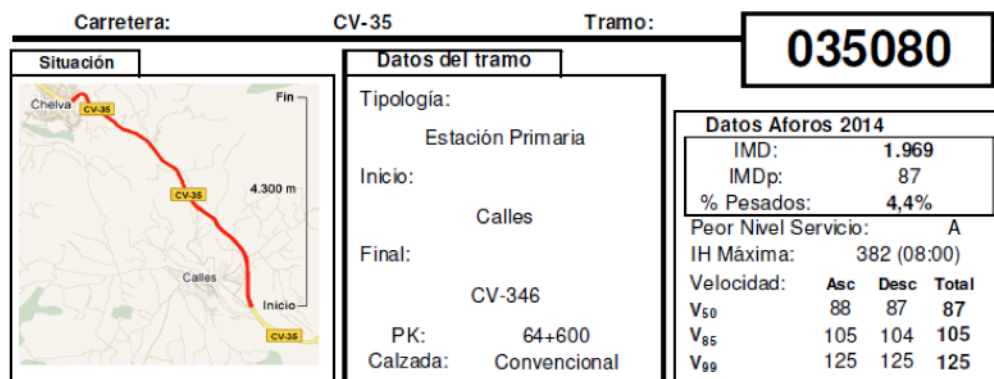


Figura 12. Información general del tramo 035080

En la Figura 12 se muestran las características generales del tramo, en el que se indica el inicio y el final del mismo; así como su IMD tanto en total como de pesados; el porcentaje de pesados que circula por el mismo; la intensidad horaria máxima que alcanza un valor de 382 vh/hora y se produce a las ocho de la mañana; y los cuantiles 50, 85 y 90 de la velocidad para cada uno de los sentidos, siendo estas prácticamente iguales.

Comparando los datos de IMD de ambos tramos de la carretera se obtiene lo siguiente:

-Tramo 035055: 4.083 vh/día

-Tramo 035080 (estación de aforo afín): 1.969 vh/día

De lo anterior se observa que la intensidad media diaria en el tramo a estudiar es del orden del doble que la del tramo escogido para realizar la estimación. Esto en principio, no tendría por qué afectar negativamente al resultado si se comportan ambos tramos de un modo similar, ya que se hará la estimación en base a los datos del tramo anterior, como se explicará más adelante.

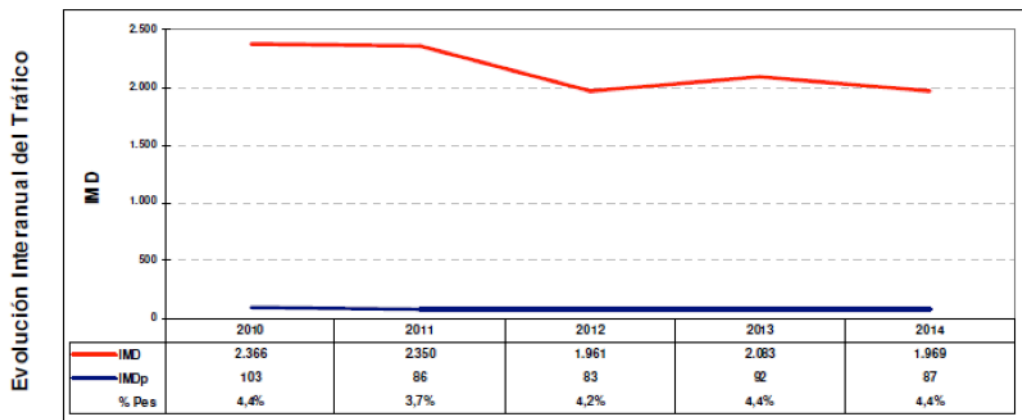


Figura 13. Evolución interanual del tráfico en el tramo 035080 -IMD-

En la *Figura 13* queda representada la evolución de la intensidad del tráfico en esa zona a lo largo de los años desde el 2010 hasta el 2014, tanto en la totalidad del tráfico como en el tráfico de pesados, en la que se observa una tendencia decreciente de la intensidad media diaria en ambos casos con el transcurso de los años, pasando la IMD total de obtener un valor cercano a los 2.400 vehículos diarios en 2010 a otro próximo a los 2.000 vehículos diarios en 2014 y siendo menos acusado el descenso en cuanto a vehículos pesados se refiere.

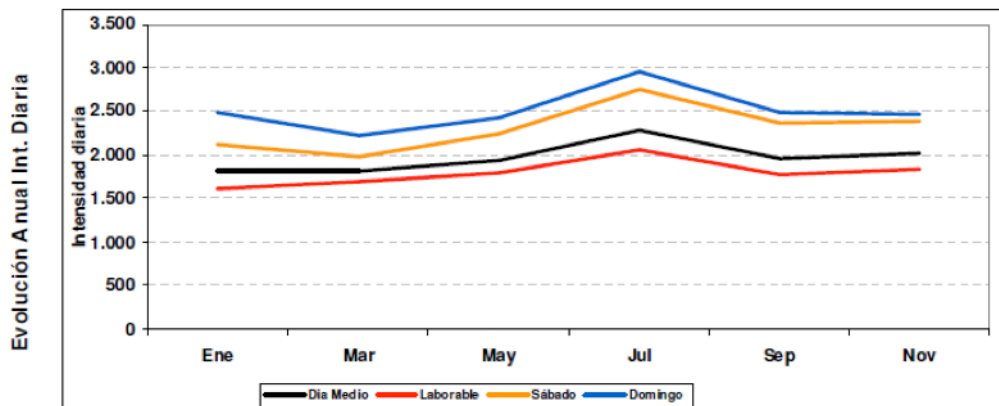


Figura 14. Gráfico de la evolución anual de intensidad diaria

En la imagen anterior se muestra la variación de la intensidad diaria a lo largo del año distinguiendo entre días laborables, sábados y domingos, con lo que se puede observar factores de estacionalidad, ya que se aprecian valores punta.

En este caso, a diferencia del tramo de estudio, únicamente se observa un valor punta correspondiente al mes de Julio, el cual se da con mayor intensidad los domingos, a lo que le sigue los sábados y finalmente los días laborables.

El comportamiento de esta estación de aforo varía un poco con respecto a la del estudio, no obstante debido a que no se tienen datos de estaciones de aforo que puedan tener una mayor afinidad, se realizará la estimación con los datos de esta estación.

Mes	Día Medio			Día Laborable			Día Sábado			Día Domingo		
	Int. Total	Int. Pes.	% Pes.	Int. Total	Int. Pes.	% Pes.	Int. Total	Int. Pes.	% Pes.	Int. Total	Int. Pes.	% Pes.
Ene	1.813	68	3,8%	1.619	81	5,0%	2.114	30	1,4%	2.479	43	1,7%
Mar	1.805	81	4,5%	1.687	94	5,5%	1.970	41	2,1%	2.233	58	2,6%
May	1.945	95	4,9%	1.791	104	5,8%	2.236	76	3,4%	2.427	68	2,8%
Jul	2.288	104	4,5%	2.061	114	5,5%	2.757	75	2,7%	2.952	83	2,8%
Sep	1.954	71	3,6%	1.767	70	4,0%	2.357	75	3,2%	2.484	70	2,8%
Nov	2.010	104	5,2%	1.843	122	6,6%	2.393	72	3,0%	2.463	50	2,0%

Figura 15. Tabla de valores de la evolución anual de intensidad diaria

En la Figura 15 se recogen los valores de intensidad en cada mes para días laborables, sábados y domingos, tanto en intensidades totales como en intensidades de vehículos pesados.

A continuación se muestra una sucesión de gráficas en las que se observa la intensidad media horaria de este tramo de carretera, lo cual es lo que se necesita para poder obtener las intensidades medias horarias en el tramo de estudio.

En primer lugar, se mostrará la gráfica correspondiente a los días laborables, en segundo lugar la correspondiente a los sábados y por último, la correspondiente a los domingos. En cada una de ellas se mostrará dicha intensidad tanto en el sentido ascendente como en el descendente.

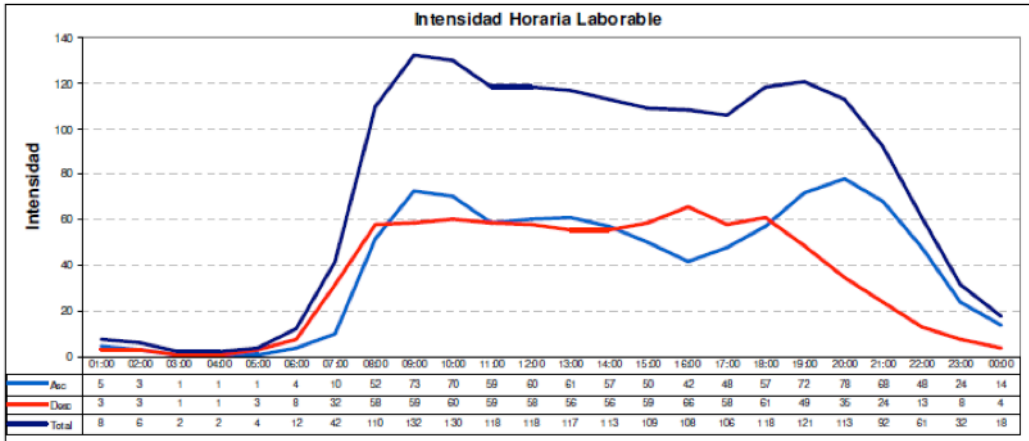


Figura 16. Gráfica de intensidad horaria en días laborables

En esta gráfica se muestra como la intensidad horaria media de los laborables tiene dos puntas correspondientes a las primeras horas de la mañana (9:00 aproximadamente) coincidiendo con la entrada de los niños al colegio y con la entrada al trabajo de los adultos, y sobre las 19:00, aunque ésta un poco menos acusada que la anterior, que coincide aproximadamente con la hora de salida de los trabajos.

Este comportamiento ocurre de forma muy similar en el sentido ascendente, mientras que en el descendente se obtienen valores de intensidad más constantes.

Señalar que el sentido ascendente se corresponde con la circulación hacia el interior, mientras que el descendente corresponde a la circulación hacia Valencia.

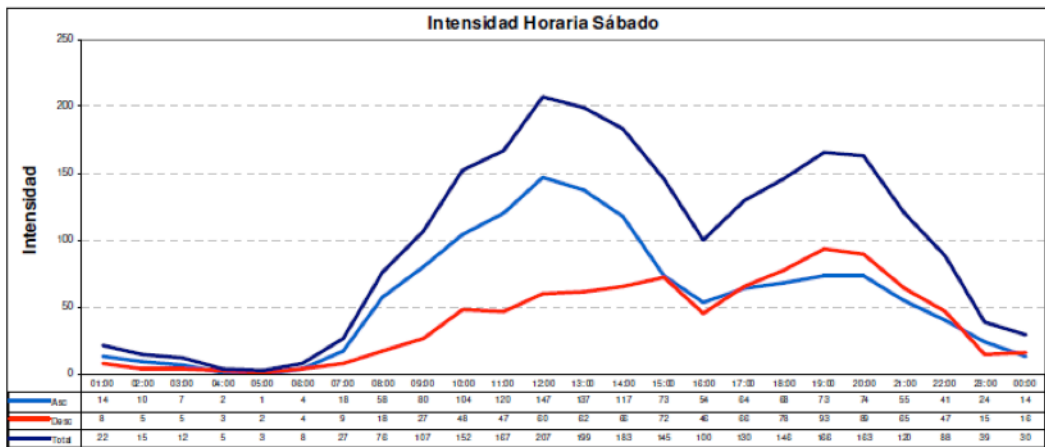


Figura 17. Gráfica de intensidad horaria en sábados

En esta gráfica se puede observar un comportamiento diferente al anterior, ya que aunque se siguen produciendo dos puntas, varía la hora en la que estas se producen. Centrándonos en la intensidad horaria media de los sábados, se puede apreciar cómo la punta que se produce por la mañana se concentra en las doce de la mañana, produciéndose un avance del tiempo en la misma con respecto a la obtenida en los días laborables, mientras que la punta que se produce por la tarde se mantiene en la misma hora. En esta gráfica también se observa un pico a las cuatro de la tarde en ambos sentidos y siendo en este caso también más constante el sentido descendente.

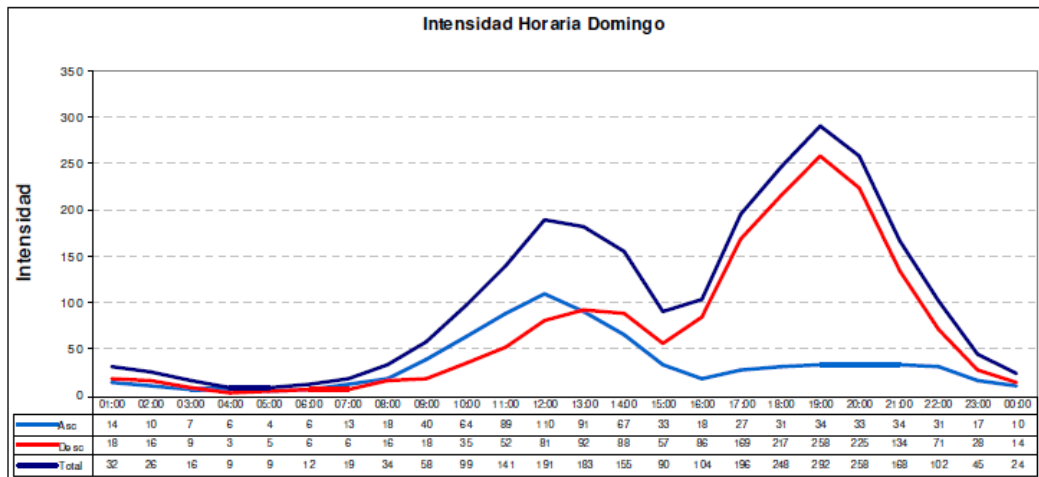


Figura 18. Gráfica de intensidad horaria en domingos

En esta gráfica se puede observar un comportamiento diferente a los anteriores, ya que aunque se siguen produciendo dos puntas, en este caso la punta de mayor intensidad se produce por la tarde, sobre las 19:00, mientras que en los casos anteriores la de mayor intensidad se producía por la mañana. No obstante, la hora a la que se producen las puntas es igual que en el caso de los sábados, es decir, la punta de la mañana se produce a las doce mientras que la punta de la tarde tiene lugar a las siete. También se puede observar cómo el sentido ascendente tiene un pico mayor a las doce de la mañana y a partir de esa hora su intensidad desciende, mientras que en el sentido descendente la punta de mayor intensidad se produce a las siete de la tarde.

A continuación, se procederá a explicar cómo se han obtenido los datos necesarios para el estudio con la información obtenida de la memoria anual de aforo previamente comentada.

Dado a que sí que se dispone de los datos de intensidades mensuales tanto en la estación de aforo como en la estación de aforo afín, y observando la diferencia de intensidades (en porcentaje) entre ellas en cada mes, se puede obtener las intensidades horarias medias para cada mes distinguiendo entre días laborables, sábados y domingos, obteniéndose los resultados que se muestran en la siguiente tabla en la que se expone la media de los días laborables, la media de los sábados y la media de los domingos.

Hora	Laborables			Sábado			Domingo		
	IMH Asc.	IMH Desc.	IMH Total	IMH Asc.	IMH Desc.	IMH Total	IMH Asc.	IMH Desc.	IMH Total
01:00	10	6	17	8	4	12	8	10	17
02:00	6	6	13	5	3	8	5	9	14
03:00	2	2	4	4	3	6	4	5	9
04:00	2	2	4	1	2	3	3	2	5
05:00	2	6	8	1	1	2	2	3	5
06:00	8	17	25	2	2	4	3	3	6
07:00	21	67	88	10	5	15	7	3	10
08:00	109	121	230	31	10	41	10	9	18
09:00	153	123	276	43	15	58	22	10	31
10:00	146	125	272	56	26	82	34	19	53
11:00	123	123	247	65	25	90	48	28	76
12:00	125	121	247	79	32	111	59	44	103
13:00	127	117	244	74	33	107	49	49	98
14:00	119	117	236	63	35	98	36	47	83
15:00	104	123	228	39	39	78	18	31	48
16:00	88	138	226	29	25	54	10	46	56
17:00	100	121	221	34	35	70	15	91	105
18:00	119	127	247	37	42	79	17	117	133
19:00	150	102	253	39	50	89	18	139	157
20:00	163	73	236	40	48	88	18	121	139
21:00	142	50	192	30	35	65	18	72	90
22:00	100	27	127	22	25	47	17	38	55
23:00	50	17	67	13	8	21	9	15	24
24:00	29	8	38	8	9	16	5	8	13

Tabla 3. Intensidades medias horarias

Para mejorar la comprensión de dichos datos y facilitar la visualización del comportamiento de las intensidades medias horarias en el transcurso del día, a continuación se muestran las gráficas en las que se representan las mismas para las tres situaciones diferentes.

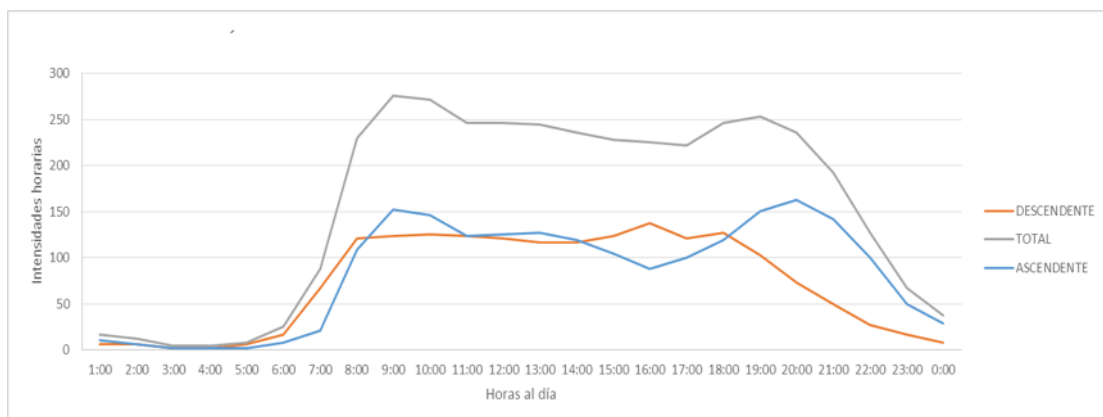


Figura 19. Gráfica de intensidad horaria en días laborables

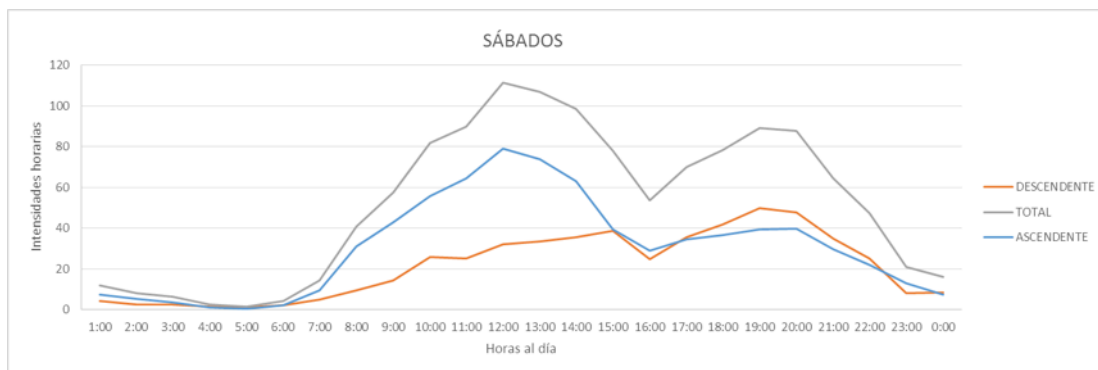


Figura 20. Gráfica de intensidad horaria en sábados

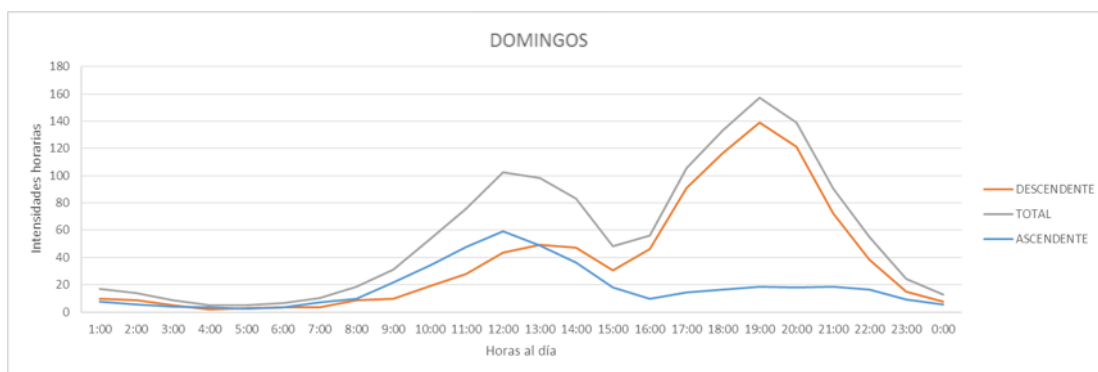


Figura 21. Gráfica de intensidad horaria en domingos

Por último comentar, que dado a que se ha seguido el patrón de comportamiento de la IMD de la estación de aforo afín (tramo 035080), las gráficas obtenidas siguen ese mismo patrón pero con los valores de la IMD correspondientes al tramo de estudio.

7.1.3. Selección de cámaras de tráfico

A lo largo del tramo de estudio de la CV-35 se ubican una serie de cámaras de tráfico con el objetivo de poder grabar la circulación de los vehículos 24 horas al día. De todas ellas se han de elegir, tras una evaluación de las mismas, cuáles de ellas son las más apropiadas para su visualización y extracción de datos y parámetros de tráfico.

En la Figura 22 se muestra la ubicación exacta de las distintas cámaras. Las marcas moradas simbolizan los puntos kilométricos (PK), comenzando por la derecha hacia la izquierda se tiene el PK-37 hasta el PK-53 (siendo el sentido ascendente hacia el Interior y el sentido descendente hacia Valencia). Los puntos representados por chinchetas indican la ubicación de cada una de las cámaras, siendo las de color rosa cámaras que no funcionan, por lo que se descartan del análisis para su posible

elección para el estudio. Dicho esto, se parte de las marcas de color amarillo para ver cuáles de ellas son las más adecuadas para la extracción de datos.



Figura 22. Localización de las cámaras de tráfico de la CV-35 (I)

A continuación, se muestra la misma imagen de forma más simplificada, indicando únicamente las cámaras que funcionan correctamente y el nombre de cada una para poder identificarlas con más facilidad. Bajo esta *Figura 23* se observa un esquema de la carretera, mostrando ambos sentidos, se colorea de verde los tramos del sentido que tiene el adelantamiento permitido, de rojo los tramos en los que no se permite el adelantamiento para ese sentido y mediante las siglas ZNA se indica los tramos en los que el adelantamiento no esta permitido para ninguno de los sentidos. En el esquema, se marcan el PK de comienzo y final, PK-37 y PK-53 respectivamente, y entre estos las cámaras mediante una línea vertical y junto a ellas las salidas y entradas de vehículos a la CV-35.



Figura 23. Localización de las cámaras de tráfico de la CV-35 (II)

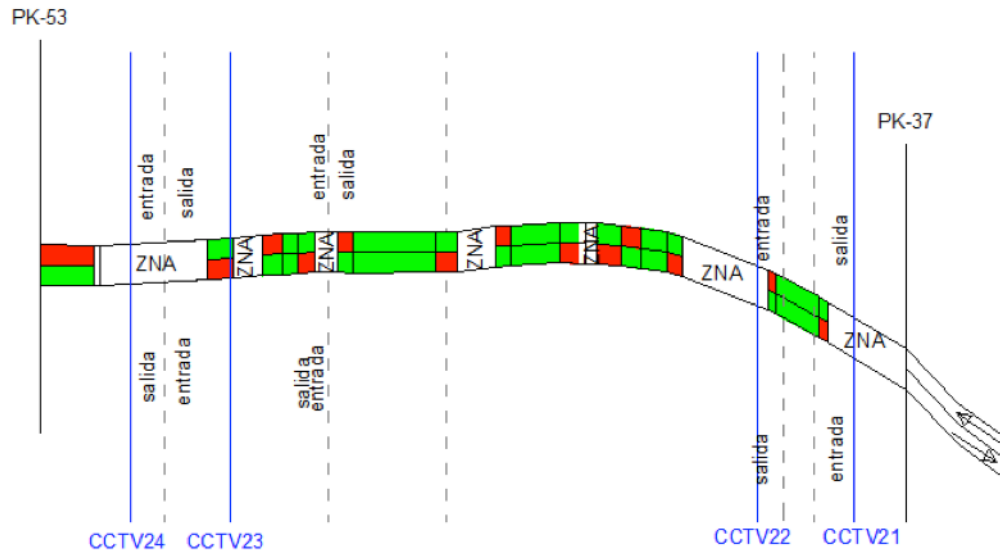


Figura 24. Esquema de representación de cámaras, zonas de adelantamiento permitidas o no y entradas y salidas a la CV-35

Tras estudiar las condiciones en las que se encuentra cada cámara, su localización y su situación respecto a las entradas y a las salidas, se pasa a la selección de estas.

Las cámaras escogidas aparecen en la *Figura 24* de color azul, en la que se indica su nombre bajo la línea, siendo la CCTV21, CCTV22, CCTV23 y CCTV24. Las líneas grises discontinuas muestran las cámaras descartadas.

En principio la CCTV21 y CCTV24 son seleccionadas porque se encuentran en los extremos permitiendo evaluar el tramo completo de estudio y por encontrarse en zona de no adelantamiento, ya que este parámetro no es objeto de estudio y de esta manera no interfiere en el resto de parámetros a obtener. En dichas cámaras se obtendrán intervalos entre vehículos y velocidades de estos. Sin embargo a la hora de la visualización de los videos, la CCTV21 en situación de lluvia no permite evaluar la velocidad, por el tramo de carretera tan pequeño que enfoca (se realizará una mejor explicación cuando se explique el procedimiento de visualización de videos). Por tanto, para que las tres investigaciones se encuentren en igualdad para poder realizar la comparación entre las distintas condiciones (día, noche y lluvia) en la CCTV21 solo se analizará el intervalo, mientras en la CCTV24 se analizará velocidad e intervalo.

En cuanto a la CCTV22, es seleccionada para medir el intervalo y poder medir la velocidad de los vehículos al principio del tramo de estudio, ya que la CCTV21 no lo ha permitido. Indicar que se encuentra también en zona de no adelantamiento, un factor clave en la decisión.

Señalar además que estas tres cámaras son de interés al encontrarse próximas cada una de ellas a una entrada y salida de la vía de vehículos, proporcionando la posibilidad de contabilizarlos y poder incluir este aspecto en el estudio a realizar. Sin embargo, posteriormente en la visualización de videos, se tiene que dichas cámaras no logran captar las entradas y salidas de la carretera, lo que hace imposible su toma de datos y por consecuencia su estudio y análisis.

Por último, la CCTV23 es elegida en principio para medir intervalo, pero vuelve a surgir un problema en situación de lluvia, para la que esta cámara no funciona, por tanto se decide descartarla de la evaluación.

El resto de cámaras que no han sido nombradas y que aparecen representadas mediante líneas discontinuas de color gris, son descartadas por no tener disponibilidad para la condición de lluvia, solo están disponibles para la condición diurna y nocturna, por ello se descartan de forma que se esté en igualdad de condiciones.

Tras lo descrito en los párrafos anteriores es fácil comprobar que la condición de meteorología adversa (lluvia) ha resultado ser muy limitante a la hora de ampliar el campo de estudio, reduciendo el número de cámaras a poder estudiar para la extracción de datos e incluso obtención de parámetros como en el caso de la cámara CCTV21.

A modo de resumen de cámaras y parámetros a obtener a partir de la visualización de videos se presenta la siguiente *Tabla 4*:

Parámetro	Cámara		
	CCTV21	CCTV22	CCTV24
INTERVALO	X	X	X
VELOCIDAD		X	X

Tabla 4. Resumen de parámetros a obtener de la visualización de los videos para cada cámara

Señalar que existe una distancia aproximada de la cámara CCTV21 a la CCTV22 de 2 km, entre la CCTV22 y CCTV24 la distancia es de unos 12 km y por tanto entre las cámaras CCTV21 y CCTV24 hay una distancia total de 14 km. Se podría decir que el tramo de carretera total analizado tiene una longitud de 14 km.

7.1.4. Selección de los periodos de tiempo a analizar

Tras la selección de las cámaras de tráfico, de las cuales se extraerán los datos para su posterior análisis, se ha de ver de qué día y mes corresponden a los videos proporcionados por el Centro de Gestión y Seguridad Vial (CEGESEV) de la Conselleria de Infraestructuras (los cuales se especificaran en la parte individual). Indicar que los videos obtenidos pertenecen al año 2015, por lo que se pueden considerar datos muy recientes de forma que se reduce el error o incertidumbre con respecto a la actualidad.

Los videos tienen una duración total de una hora. Comentar que al comienzo de cada video existen unos segundos de estabilización de este, en los que no es posible ver nada, encontrándose la pantalla sin imagen, por lo que durante ese tiempo se tiene una pérdida de datos que principalmente es insignificante.

Las horas seleccionadas para el estudio son las mismas para cada cámara, pero pueden variar para cada día. Se escogerán en base a las intensidades horarias de

cada una de ellas y su representatividad. Por tanto, se ha de obtener las intensidades horarias de una forma estimada para una previa selección. Para ello basta con elegir una cámara cualquiera (en este caso se adopta la CCTV22) y realizar un aforo de los primeros 5 minutos de cada hora de cada día, contando los vehículos que pasan por cada sentido y multiplicándolos por 12, obteniendo así la intensidad horaria para cada uno de los sentidos y sumándolas para obtener la total de ese tramo (que posteriormente, tras la visualización de los videos y la obtención de este parámetro, deberá ser corroborado). Al tener además los vehículos totales por sentido, se obtiene a la vez el reparto que puede ser compensado o descompensado. Se entiende por compensado cuando por ambos sentidos de circulación existen el mismo o semejante número de vehículos, es decir, con intensidad horaria semejante entre ellos, y se entiende por descompensado cuando esta intensidad es distinta entre ambos sentidos.

La intensidad se clasifica en baja, media y alta, cada una de estas clases está entre un umbral basado en los valores obtenidos para este parámetro. En la siguiente *Tabla 5* se muestran los intervalos aproximados para cada clase de intensidad:

Clase de Intensidad horaria	Umbral (veh/h)
Alta	$500 < I$
Media	$200 < I < 500$
Baja	$0 < I < 200$

Tabla 5. Clasificación y umbrales de la intensidad horaria

Indicar que de la totalidad de datos disponibles (24 horas por cada día y cada cámara) se escogió una sub-muestra representativa de la totalidad de los datos, abarcando distintos niveles de tráfico, y garantizando la posibilidad de comparar las condiciones diurnas con las nocturnas y con las de lluvia.

La muestra se redujo por tanto a 27 horas en condiciones de lluvia, y a 24 horas en condiciones diurnas y nocturnas.

Tras este proceso de selección de horas, se pasa a la visualización de los videos para la extracción de datos mediante el programa informático KINOVEA.

7.1.5. Análisis de los videos y obtención de datos

Para la visualización de los videos se va a emplear el programa informático *KINOVEA*, que es un programa dedicado al análisis de video. Este permite dibujar líneas, escribir e incluso recoge los datos en una hoja Excel indicando el tiempo de aparición en el video, estos datos permitirán posteriormente obtener tanto los intervalos como las velocidades.

Previamente se ha de comprobar hacia qué dirección enfoca la cámara, identificando si se dirige hacia Valencia (descendente) o se dirige hacia el Interior (ascendente). Esto debe realizarse ya que cada video será visualizado dos veces, una para cada dirección, debido a que deben estudiarse por separado. También se diferenciará entre

vehículo ligero, pesado (tomando como pesado aquel que tenga más de dos ejes) y motos.

Continuando con el procedimiento de extracción de datos, se pasa ahora a explicar qué es necesario para obtener el intervalo entre dos coches seguidos. Para este caso, se ha de dibujar una línea perpendicular al eje y aristas de la carretera de forma que cuando un vehículo alcance dicha línea se registra ese tiempo, identificando al vehículo con una letra y un número. La letra corresponderá al tipo de vehículo que es (ligero: L, pesado: P o moto: M) y el número indica el orden de paso desde que comienza el video.

Obteniendo como resultado una hoja Excel proporcionada por el programa en la que estarán registrados todos los vehículos y su tiempo de paso por la línea dibujada, calculándose mediante la resta de los tiempos de paso de dos vehículos consecutivos el intervalo entre estos.

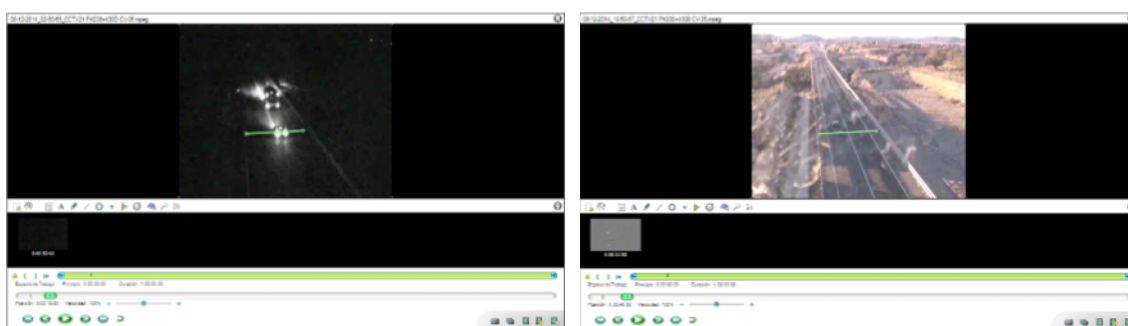


Figura 25. Programa KINOVEA cálculo de intervalo, CCTV21 dirección Interior y Valencia

En cuanto al cálculo de la velocidad, se han de dibujar dos líneas que deberán estar separadas una distancia mayor o igual a 100 m, ya que para una distancia menor no se obtendría una medida de la velocidad tan exacta (como se ha indicado antes la CCTV21 no era apta para el cálculo de la velocidad porque en la condición de lluvia la cámara enfocaba a un tramo de carretera menor a 100 m).

Para poder colocar con mayor precisión las líneas y saber a qué distancia se encuentra una de otra, es conveniente dibujarlas sobre un punto de referencia del video (como por ejemplo una marca vial o una señal de tráfico). Dicho punto debe poder ser identificado mediante cualquier programa informático que permita visualizar imágenes virtuales del globo terráqueo permitiendo ver la cartografía del terreno, como el *GOOGLE EARTH* (el cual ha sido utilizado en este caso), y justificar el cumplimiento de dicha distancia entre ambas midiendo la distancia entre elementos en los cuales hemos dibujado las líneas.

A continuación se deberá identificar de la misma forma a la anteriormente explicada, el vehículo al pasar por la primera línea y por la segunda. De este proceso se obtiene una hoja Excel en la que a cada vehículo le corresponderán dos tiempos de paso, uno por cada línea, restando ambos tiempos de paso se obtiene el tiempo que tarda de ir de una línea a otra, y como la distancia entre líneas es conocida se divide por el tiempo transcurrido y se obtiene la velocidad.

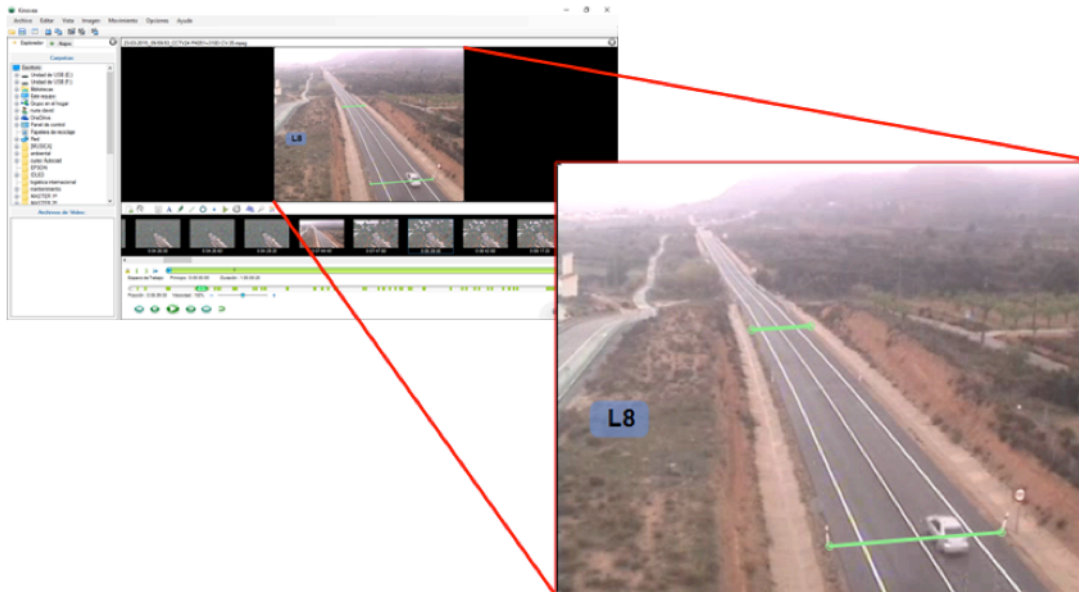


Figura 26. Programa KINOVEA cálculo de la velocidad, CCTV24 dirección Interior

En la Figura 26 se puede observar a modo de ejemplo la visualización de un video correspondiente a la cámara CCTV24 con dirección hacia el interior. En la imagen se ven las líneas de color verde, las cuales se disponen en un elemento fácil de identificar para poder medir la distancia entre ellas más fácilmente desde otra aplicación. Otro aspecto que se percibe, es que el coche debe ser identificado cuando su parte trasera toca la línea, de forma que el error al identificarlo y toma de tiempo de paso sea mínimo, ya que al alejarse de la cámara y ver mejor la parte trasera del coche se toma el dato con mayor precisión. Añadir que el recuadro de color azul con texto dentro (L8) corresponde a la identificación del vehículo.



Figura 27. Programa KINOVEA cálculo de la velocidad, CCTV21 dirección Valencia en condición de lluvia

Como anteriormente se ha indicado, en la cámara CCTV21 se descartó la posibilidad de calcular en ella la velocidad porque en condición de lluvia no era posible realizar dos líneas con una distancia mayor a 100 m. Esto se puede comprobar en la imagen

Figura 27, en la cual solo se ha dibujado una línea para obtener el intervalo y como el vehículo viene de cara se toma la parte delantera para la obtención del tiempo de paso por la línea.

Indicar que en las cámaras que hay que medir ambos parámetros (intensidad y velocidad), CCTV22 y CCTV24, se dibujarán dos líneas de forma que sirvan para medir la velocidad y se empleará una de ellas para la obtención del intervalo.

Añadir, que se establece un criterio de cuando identificar los vehículos, es decir, el sentido en el que los coches son grabados de cara, serán medidos cuando su parte delantera toque la línea, en cambio para el sentido en el que los vehículos son grabados por detrás, el coche será medido cuando su parte trasera toque la línea.

Comentar que para la obtención correcta de los intervalos entre vehículos es necesario tener en cuenta si el vehículo es ligero o pesado y aplicarles una corrección según la longitud y la velocidad de los mismos. La cual se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$\Delta t = \Delta t' - \frac{L_2}{v_2} + \frac{L_1}{v_1}$$

Donde:

Δt es el intervalo corregido entre dos vehículos

$\Delta t'$ es el intervalo obtenido restando los tiempos de paso por un mismo punto de dos vehículos consecutivos

L_2 es la longitud del vehículo 2

L_1 es la longitud del vehículo 1

V_2 es la velocidad del vehículo 2

V_1 es la velocidad del vehículo 1

A continuación se muestran dos imágenes explicativas de los parámetros de dicho cálculo:

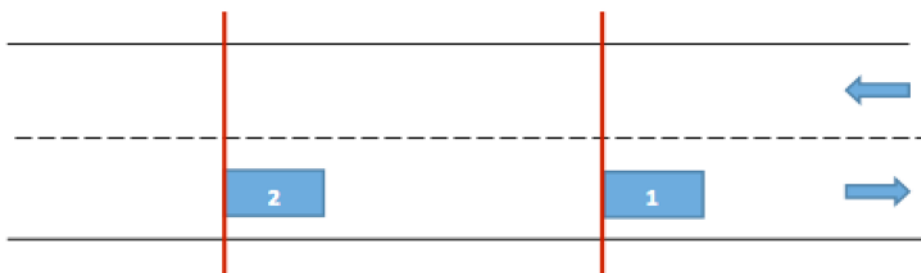


Figura 28. Esquema explicativo del vehículo 1 y 2

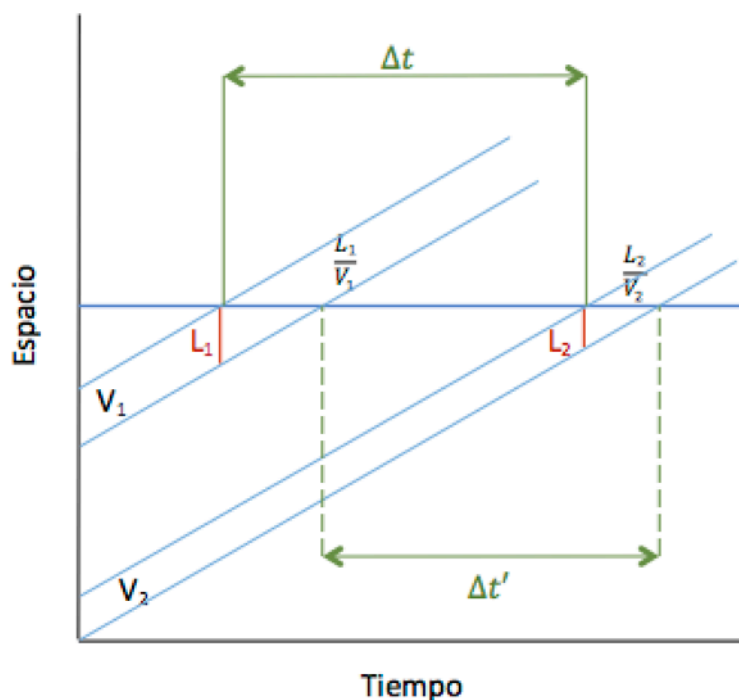


Figura 29. Diagrama espacio-tiempo explicativo para la obtención del intervalo corregido

Indicar que se toma como longitud estándar para un vehículo ligero 4,5 m y para un vehículo pesado una longitud de 16,5 m.

Señalar que debido a que en la cámara CCTV21 no se ha medido la velocidad, se tomará como valores la media de la velocidad de los pesados y ligeros en la cámara más cercana, que en este caso es la CCTV22, en las horas, sentido y día correspondientes.

Por otro lado comentar que en el caso de que el porcentaje de motos sea inferior al 5% del total de vehículos de cada hora de análisis, no se tendrán en cuenta para el estudio.

7.1.6. Obtención de parámetros a analizar

Una vez extraídos los datos de velocidad e intervalos para cada video se deben agregar todos ellos en una hoja Excel, de forma que se indica para cada uno la condición, el sentido, la cámara, el día, la hora de inicio del video, el tiempo perdido hasta que se estabiliza la imagen del vídeo para ver si es relevante o no, el tipo de vehículo, tiempo de paso, la velocidad del vehículo, el intervalo y el tiempo desde origen en segundos para tener en cuenta los casos en los que existen horas de estudio consecutivas.

Para la obtención de datos relevantes para el estudio de la funcionalidad de la carretera será necesaria la programación de tres macros diferentes mediante EXCEL.

En cada una de estas macros se obtendrán los resultados por cada cámara, sentido y hora colocando las horas consecutivas en la misma hoja. Con la primera de las macros se obtiene la longitud de cola en el sentido a estudiar, suponiendo que un vehículo se encuentra en situación de cola cuando dista del vehículo anterior un intervalo menor de tres segundos. A continuación, la siguiente macro se encarga de englobar los datos en períodos de cinco minutos y de obtener las variables que aparecen en la siguiente tabla para dichos periodos. En cuanto a la tercera macro, engloba períodos de quince minutos con un desfase entre ellos de cinco minutos para tener una mayor aproximación a posibles puntas de las variables.

En las tablas que se exponen a continuación se muestran las variables que se obtienen como resultado en cada una de las macros:

MACRO 1

Longitud de cola

Tabla 6. Parámetros obtenidos en la Macro 1

MACRO 2

Intensidad en el sentido de estudio (veh/h)

Intensidad en el sentido opuesto (veh/h)

Intensidad total

Porcentaje de vehículos pesados

Reparto

Intensidad de ligeros, pesados y motos en el sentido de estudio

Intensidad de ligeros, pesados y motos en el sentido opuesto

Tabla 7. Parámetros obtenidos en la Macro 2

MACRO 3

Intensidad en el sentido de estudio (veh/h)	Velocidad media de recorrido (km/h). ATS	Intensidad de tráfico
Intensidad opuesto (veh/h)	Velocidad media de recorrido para ligeros (km/h). ATS pc	Libertad de circulación
Intensidad total (veh/h)	Densidad	ATS líderes
Porcentaje de vehículos pesados	Desviación estándar de ATS	ATS de seguidores

Reparto	Desviación estándar de ATS pc	Porcentaje de vehículos en flujo libre
Porcentaje de vehículos en cola	Percentil 85 de la velocidad de vehículos ligeros	Hueco*
Densidad de vehículos en cola	Longitud media de cola	Percentiles de velocidad**

Tabla 8. Parámetros obtenidos en la Macro 3

*Todas las variables relacionadas con los huecos se muestran en la *Tabla 9*

**Todos los percentiles de velocidad que se muestran en la *Tabla 10*.

Huecos (segundos)	
Hueco medio	Hueco percentil 85
Hueco mínimo	Hueco líder (nº de huecos)
Hueco máximo	Hueco cola (nº de huecos)
Hueco percentil 15	Hueco medio de vehículos en cola
Hueco percentil 50	Hueco medio de vehículos líder

Tabla 9. Variables relacionadas con los huecos

Velocidad	
Percentil 15 de la velocidad	Percentil 85 de la velocidad de ligeros
Percentil 50 de la velocidad	Percentil 15 de la velocidad de pesados
Percentil 85 de la velocidad	Percentil 50 de la velocidad de pesados
Percentil 15 de la velocidad de ligeros	Percentil 85 de la velocidad de pesados
Percentil 50 de la velocidad de ligeros	-

Tabla 10. Variables relacionadas con la velocidad

A continuación se procederá a explicar cada una de las variables expuestas en las tablas anteriores:

- Vehículo ligero: se considera en el presente trabajo una longitud media de 4.5 m.
- Vehículo pesado: aquel vehículo con más de dos ejes, considerando una longitud media de este de 16.5 m.
- Longitud de cola: número de vehículos consecutivos cuyo intervalo es menor a 3 segundos.
- Vehículo líder: se denomina de esta manera al vehículo que se encuentra en primera posición de la longitud de cola.
- Vehículo seguidor: vehículos que pertenecen a la longitud de cola exceptuando al vehículo líder.

- Intensidad direccional (Vd): número de vehículos que entra en la sección.
- Reparto: porcentaje de vehículos que circula por cada sentido
- Porcentaje de vehículos en cola (PF): porcentaje de vehículos con intervalo inferior a 3 segundos.
- Densidad de vehículos en cola (FD): número de vehículos en cola por unidad de longitud. Se calcula como la multiplicación del porcentaje de vehículos en cola por la intensidad direccional, dividido por la velocidad media de recorrido.
- Velocidad media de recorrido (ATS): cociente entre la longitud de la zona y la diferencia individual de tiempo de paso al final y principio de la zona.
- Velocidad media de recorrido para ligeros (ATSpc) : cociente entre la longitud de la zona y la diferencia individual de tiempo de paso al final y principio de la zona, contabilizando únicamente vehículos ligeros.
- Percentil 85 de la velocidad: aquella velocidad que solo es superada por el 15% de los vehículos que circulan libremente. Se considera que el vehículo circula libremente cuando circula en intervalos mayores a 6 segundos.
- Densidad: número de vehículos por unidad de longitud.
- Longitud media de cola: número medio de vehículos en una cola, contabilizando el vehículo líder. Las colas se determinan con el criterio de 3 segundos del HCM 2010.
- Intensidad de tráfico: ratio entre el tiempo medio en la primera posición de la cola y el tiempo medio de llegada a la cola. Las colas se determinan con el criterio de 3 segundos establecido por el HCM 2010.
- Libertad de circulación: ratio entre el tiempo medio de circulación entre colas y el tiempo entre la llegada a la primera posición de la cola. Las colas se determinan con el criterio de 3 segundos establecido por el HCM 2010.
- Porcentaje de vehículos en flujo libre: cociente entre la velocidad media de recorrido y la velocidad en flujo libre.
- Hueco: espacio existente entre dos coches consecutivos medido en magnitud de tiempo.

A modo de ejemplo, se muestra una captura de imagen del programa *EXCEL* en la que aparecen los parámetros obtenidos como resultados de la macro de 15 min y bajo esta, una imagen gráfica en la que se muestra dicha macro.

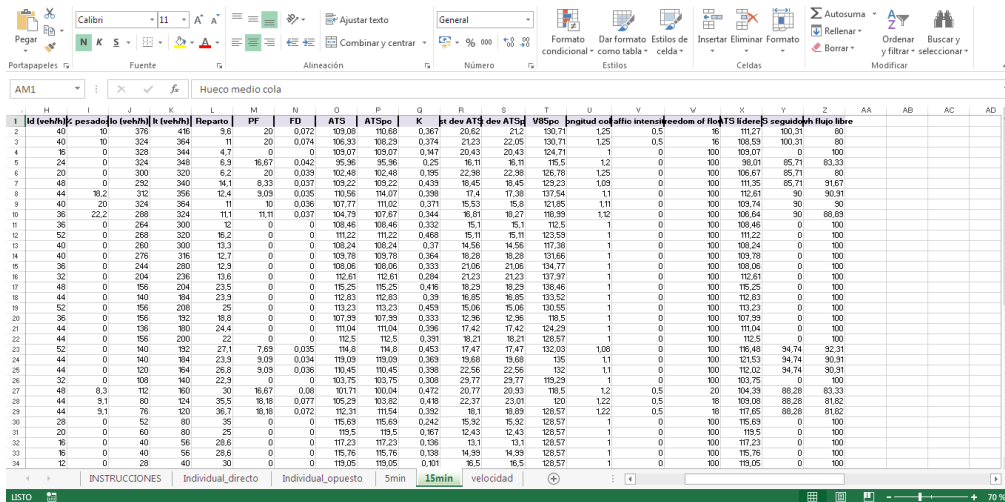


Figura 30. Captura de imagen de los datos obtenidos en la Macro 3

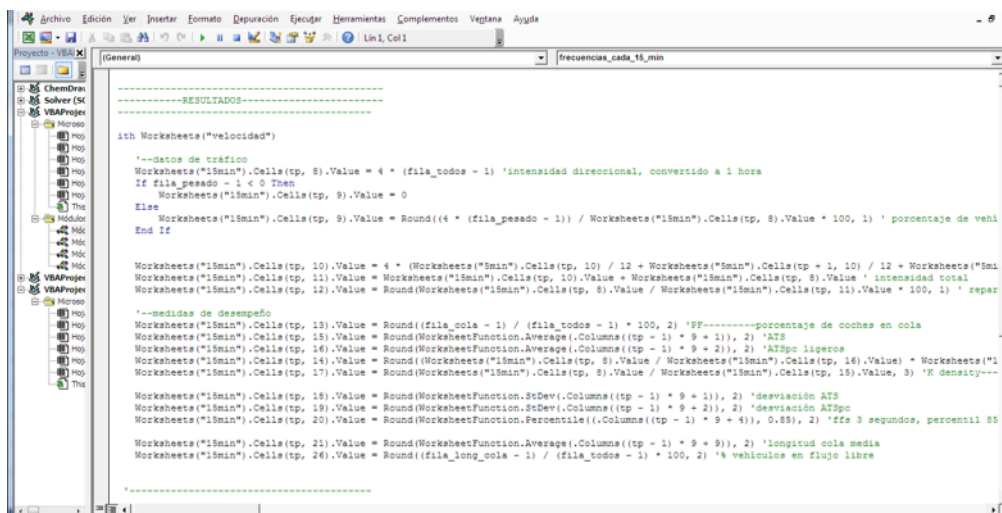


Figura 31. Captura de imagen de la Macro 3

7.1.7. Representación de datos

A la hora de la elección de las variables a analizar, se prestará mayor importancia a aquellas que presten mayor información acerca de la funcionalidad de la carretera y funcionamiento de los vehículos teniendo en cuenta que se puedan obtener a partir de los datos que se extraen de los videos. Siendo estas la velocidad media de recorrido (ATS), porcentaje de vehículos en cola (PF), percentil 85 de la velocidad de los vehículos ligeros y hueco medio en cola y libre.

Finalmente, se pasa a analizar los parámetros más representativos nombrados anteriormente, para lo que se utiliza el software *STATGRAPHICS CENTURION*, que es una herramienta de análisis estadísticos de datos. A través de este programa se han obtenido los distintos gráficos para poder llevar a cabo el análisis de las variables para cada una de las condiciones de estudio (día, noche y lluvia), las cuales se mostrarán en un apartado posterior.

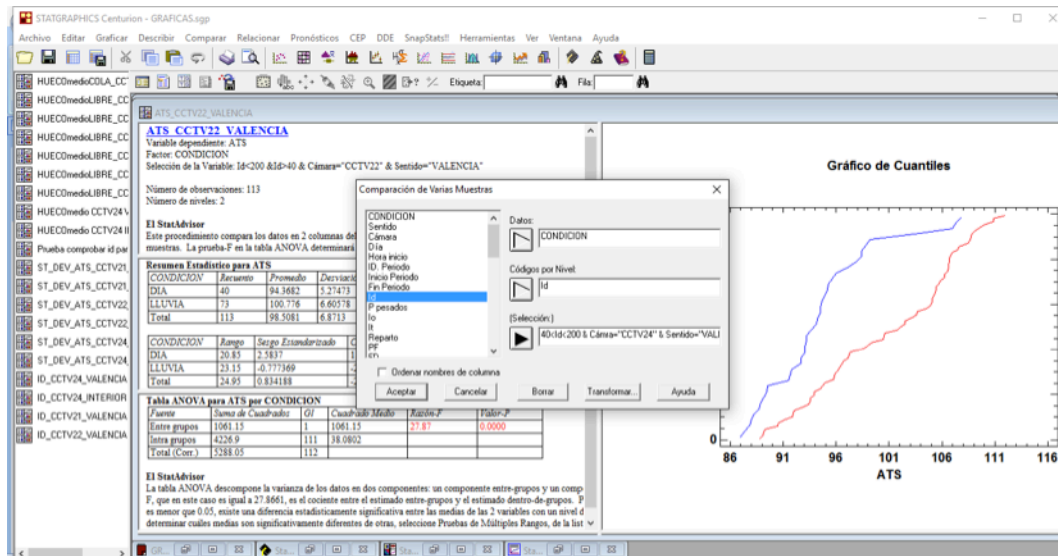


Figura 32. Captura de imagen de Statgraphics

7.2. Metodología en condiciones diurnas

En este apartado se van a señalar aspectos individuales de la investigación de la condición diurna a estudiar, que complementa el proceso ya explicado en el apartado anterior. Son detalles exclusivos del presente estudio, paralelos al proceso ya mencionado.

Los vídeos proporcionados por la CEGESEV para la situación diurna corresponde a los días 5 y 8 de Diciembre del año 2015, coincidiendo con una operación salida, por lo que se dan intensidades elevadas. Dichos vídeos presentan una duración de sesenta minutos, completando las 24 horas de cada día.

La siguiente figura presenta un calendario exclusivamente del mes de Diciembre del 2015, con el objetivo de mostrar a que días de la semana corresponden cada uno de los días.

Diciembre 2015

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

icalendario.net

Figura 33. Días de visualización de vídeos

De cada día se seleccionan las horas más representativas, las cuales se han seleccionado a partir del análisis de la CCTV22. Las horas finalmente escogidas tras el análisis se muestran en la siguiente tabla:

Día	Hora	Intensidad (vh/h)	Reparto
5 de Diciembre	08:50	336 (baja)	Compensado
	09:50	264 (baja)	Compensado
	16:50	432 (media)	Compensado
	17:50	576 (media)	Compensado
8 de Diciembre	07:50	180 (baja)	Descompensado
	08:50	132 (baja)	Descompensado
	15:50	564 (alta)	Descompensado
	16:50	780 (alta)	Descompensado

Tabla 11. Horas de visualización de videos de cada día, indicando la intensidad y el reparto

En la *Tabla 11* se expone cada hora de vídeo indicando la intensidad horaria para cada una de ellas y cómo es su reparto. También se puede observar que para el caso de día se dan intensidades horarias bajas, medias y altas.

Comentar que la totalidad de las horas de vídeo visualizadas alcanzan un total de 48 horas, con 12.026 vehículos contabilizados.

A continuación, se va a explicar el procedimiento de colocación de las líneas para la toma de datos del programa KINOVEA para cada cámara.

Comenzando por la cámara CCTV21, en la que únicamente se mide el intervalo, se ha colocado una línea como se muestra en la *Figura 34*. Indicar que el carril derecho corresponde a la dirección Interior, mientras que el carril izquierdo corresponde a la dirección hacia Valencia.



Figura 34. Línea para medir intervalos en la CCTV21

En cuanto a la CCTV22, se ha de colocar dos líneas para poder medir tanto la velocidad como intervalo entre vehículos. Estas líneas tienen una separación aproximada de 100 metros, siendo el carril de la derecha el que se dirige hacia el Interior y el de la izquierda hacia Valencia.



Figura 35. Líneas para medir intervalos y velocidades en CCTV22

Con respecto a la cámara CCTV24, al igual que en la anterior, se ha de disponer de dos líneas con la misma distancia de separación.



Figura 36. Líneas para medir intervalos y velocidades en CCTV24

Señalar que dado que en la cámara CCTV21 únicamente es posible calcular intervalos, para el análisis de la misma, se adopta la velocidad media obtenida en la cámara CCTV22 distinguiendo entre vehículos ligeros y pesados.

A continuación se muestra una tabla donde se recogen las velocidades medias de cada cámara tanto para vehículos ligeros como pesados, así como el porcentaje de vehículos pesados en cada una de ellas.

Cámara	Sentido	Día	Hora	Velocidad media ligeros	Velocidad media pesados	% Vehículos pesados
CCTV21	Valencia	5 de Diciembre	08:50	93,50	93,24	24,84
			09:50	97,41	93,61	18,35
			16:50	88,53	86,85	16,59
			17:50	89,16	82,12	11,35
CCTV22	Valencia	5 de Diciembre	08:50	93,50	93,24	24,22
			09:50	97,41	93,61	18,05
			16:50	88,53	86,85	16,04
			17:50	89,16	82,12	8,11
CCTV24	Valencia	5 de Diciembre	08:50	106,50	102,68	10,84
			09:50	105,47	96,84	5,15
			16:50	99,73	95,94	8,62
			17:50	99,60	97,65	7,55
CCTV21	Interior	5 de Diciembre	08:50	95,67	89,81	15,83
			09:50	96,09	85,34	20,20
			16:50	90,49	82,32	7,99
			17:50	86,62	82,52	2,74
CCTV22	Interior	5 de Diciembre	08:50	95,67	89,81	7,91
			09:50	96,09	85,34	13,07
			16:50	90,49	82,32	4,62
			17:50	86,62	82,52	2,10
CCTV24	Interior	5 de Diciembre	08:50	104,34	100,00	3,39
			09:50	106,02	99,92	6,48
			16:50	101,66	94,74	1,16
			17:50	103,67	96,31	2,03
CCTV21	Valencia	8 de Diciembre	07:50	94,40	89,18	18,53
			08:50	103,09	100,00	5,36
			15:50	87,22	91,58	1,02
			16:50	87,11	87,11	0,33
CCTV22	Valencia	8 de Diciembre	07:50	94,40	89,18	17,39
			08:50	103,09	100,00	4,88
			15:50	87,22	91,58	0,58
			16:50	87,11	87,11	-
CCTV24	Valencia	8 de Diciembre	07:50	100,47	100,47	-
			08:50	106,46	105,88	2,56
			15:50	94,87	105,88	0,27
			16:50	97,35	-	-
CCTV21	Interior	8 de Diciembre	07:50	91,08	76,88	8,33
			08:50	98,08	94,74	4,26
			15:50	89,27	85,71	5,63
			16:50	90,02	90,02	1,41
CCTV22	Interior	8 de Diciembre	07:50	91,08	76,88	3,00
			08:50	98,08	94,74	0,75
			15:50	89,27	85,71	3,33
			16:50	90,02	90,00	-
CCTV24	Interior	8 de Diciembre	07:50	106,85	90,00	3,28
			08:50	112,60	-	-
			15:50	98,08	100,00	2,08
			16:50	102,56	-	-

Tabla 12. Velocidades medias y porcentaje de vehículos pesados para cada cámara y sentido

Cámara	Sentido	Velocidad media de vehículos ligeros (Km/h)
CCTV21	Interior	92,17
	Valencia	92,55
CCTV22	Interior	92,17
	Valencia	92,55
CCTV24	Interior	104,47
	Valencia	101,31

Tabla 13. Tabla resumen de velocidades medias

Indicar que en este caso el porcentaje de motos observado en cada hora no supera el 5% del total de los vehículos, por lo que estas no se tendrán en cuenta para llevar a cabo el análisis.

Capítulo 8

Análisis de la funcionalidad

8.1. Análisis de la funcionalidad del tráfico en condiciones diurnas

Para el adecuado análisis de la funcionalidad del tráfico, se obtuvieron los datos de los videos de las cámaras de tráfico colocadas a lo largo de la CV-35, los cuales fueron proporcionados por la CEGESEV. Los datos tomados cubren un considerable rango de volumen de tráfico llegándose a alcanzar un total de 27.876 vehículos.

En primer lugar, se muestra el diagrama fundamental en condiciones diurnas para cada cámara de las que se obtiene valores de velocidad (CCTV22 Y CCTV24). Este diagrama muestra la relación intensidad-velocidad, el cual está relacionado con la capacidad de la carretera.

- Cámara CCTV24

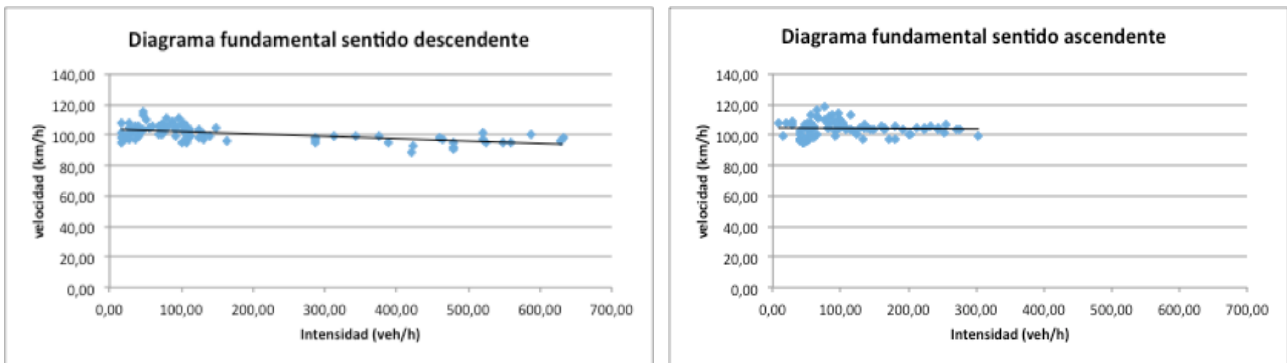


Figura 37. Diagrama fundamental en condiciones diurnas para la cámara CCTV24

- Cámara CCTV22

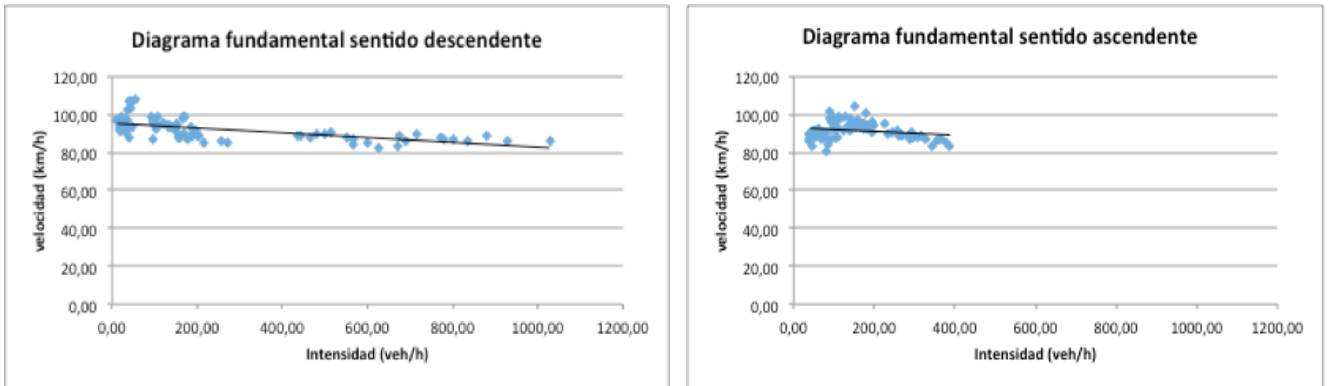


Figura 38. Diagrama fundamental en condiciones diurnas para la cámara CCTV22

Como se observa, los datos tienden a ajustarse a una recta ya que estos se encuentran en la parte superior del diagrama fundamental no llegando a la capacidad de la carretera (situación de máxima intensidad). Igualmente, se detecta que la velocidad decrece conforme aumenta la intensidad de circulación.

En segundo lugar, se va a llevar a cabo un análisis multivariable mediante gráficos de dispersión, teniendo en cuenta que este se debe realizar para cada dirección de circulación debido a la importancia que adquiere el reparto en este estudio (análisis direccional). Las variables a analizar son: la velocidad media de viaje (ATS), el porcentaje de vehículos en cola (PF), el percentil 85 de la velocidad de vehículos ligeros, el hueco medio en cola y en condición de flujo libre, respecto de la intensidad.

Para llevar a cabo este análisis, se han establecido una serie de rangos basados en la intensidad diferenciándose esta en baja, media y alta. Se debe comprobar que se trata de una muestra suficiente de datos y para ello, se obtiene el error de la intensidad y de la ATS como se mostrará a continuación.

Escogiendo como ejemplo la cámara CCTV24, ya que el flujo es similar en todas las cámaras, se obtienen los siguientes resultados de los cuales se decidirá los rangos de intensidades más representativos a estudiar:

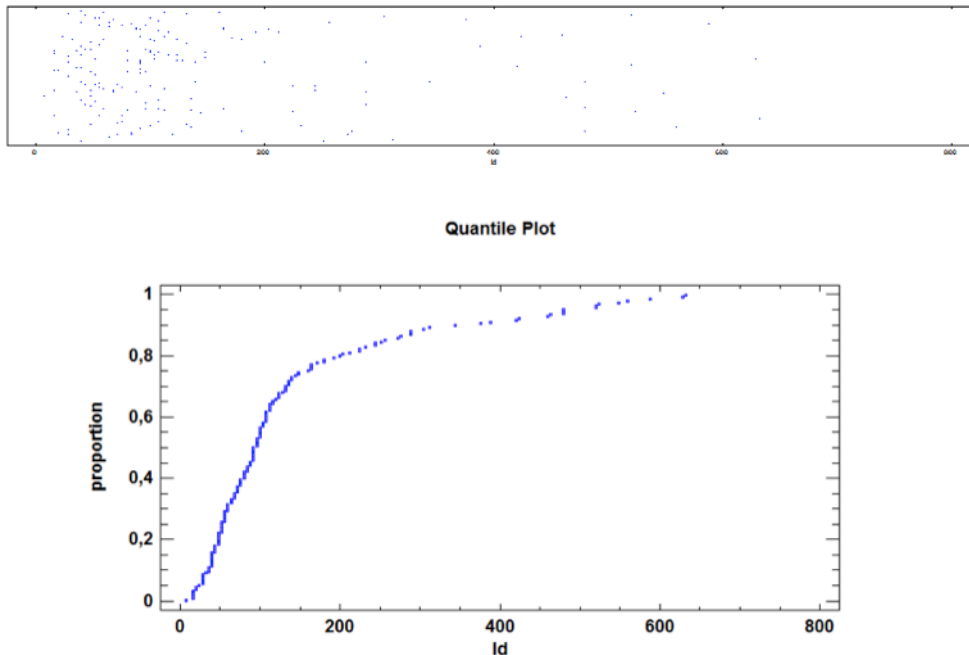


Figura 39. Gráfico de dispersión y de cuantiles de intensidades en la cámara CCTV24 respectivamente

El diagrama de cuantiles muestra la distribución acumulativa empírica para cada columna numérica de datos y el diagrama de dispersión grafica, los valores de los datos contenidos en una o más columnas numéricas de respuesta (Y) versus los datos en una columna numérica X. Se pueden especificar escalas separadas para el eje izquierdo y el derecho.

Tras este resultado se establece un rango de intensidades menores de 150 vehículos/hora para intensidades bajas, entre 150 y 320 vh/h para intensidades medias y mayores de 320 vh/h para intensidades altas.

Para completar la comprobación de que los rangos son adecuados, se debe calcular el posible error en la estimación de la media para verificar que el tamaño de la muestra es suficiente, correspondiente a la intensidad y a la ATS. A continuación se muestra la expresión utilizada para la obtención del error, así como una tabla con los resultados obtenidos:

$$N = \frac{z^2_{0,95} \cdot s^2}{e^2}$$

Donde: N es el número de datos analizados
s es la desviación estándar
e es el error

$Z_{0,95}$ es un parámetro que adopta el valor de 1,96 para una distribución normal

CCTV24						
Rango	Id<150 (vh/h)		150<Id<320 (vh/h)		Id>320 (vh/h)	
Variable	ATS (km/h)	Intensidad(vh/h)	ATS (km/h)	Intensidad(vh/h)	ATS (km/h)	Intensidad(vh/h)
Nº datos	128	128	25	25	18	18
Z	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
Desviación	5,18	35,45	3,38	48,89	3,37	82,56
Error	0,90	6,14	1,33	19,17	1,56	38,14
Media	103,88	75,03	101,86	227,84	95,90	490,89
Error/media (%)	0,86	8,19	1,30	8,41	1,62	7,77

Tabla 14. Errores para intensidad y ATS en la cámara CCTV4

Los valores obtenidos se consideran razonables, por tanto el tamaño de la muestra a analizar es suficiente.

A partir de ahora se realiza el análisis multivariable de las variables PF, ATS, el percentil 85 de la velocidad de vehículos ligeros, hueco medio y el hueco medio en situación de cola, comparándolos con la intensidad. Comenzando por el porcentaje de vehículos en cola, se van a mostrar los gráficos obtenidos para cada dirección y cámara:

- Sentido descendente (Valencia):

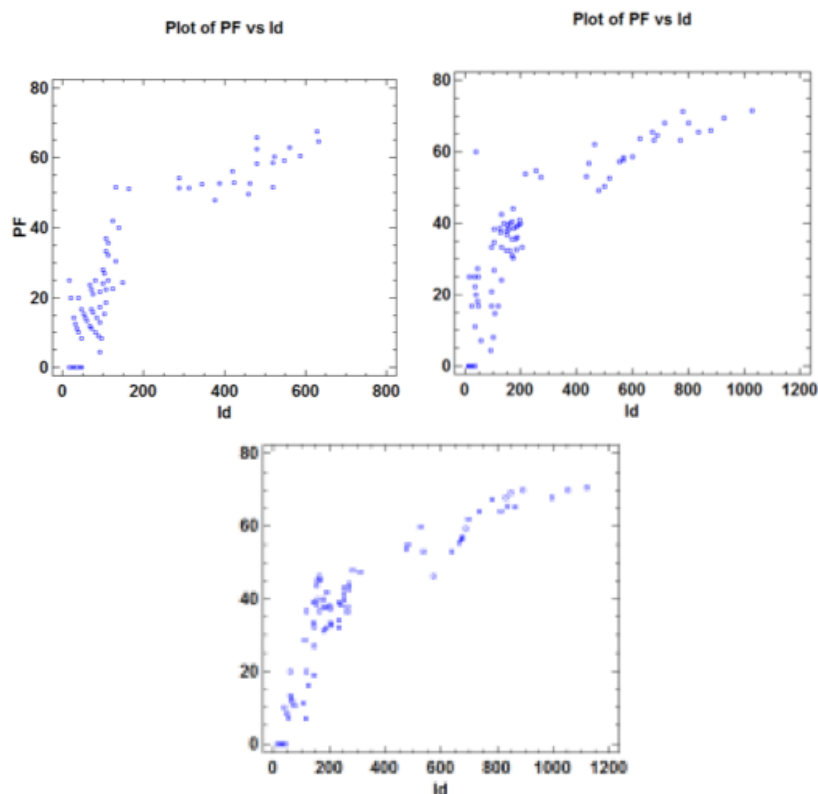


Figura 40. Gráfico de dispersión de PF vs Intensidad en dirección Valencia en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente

- Sentido ascendente (Interior):

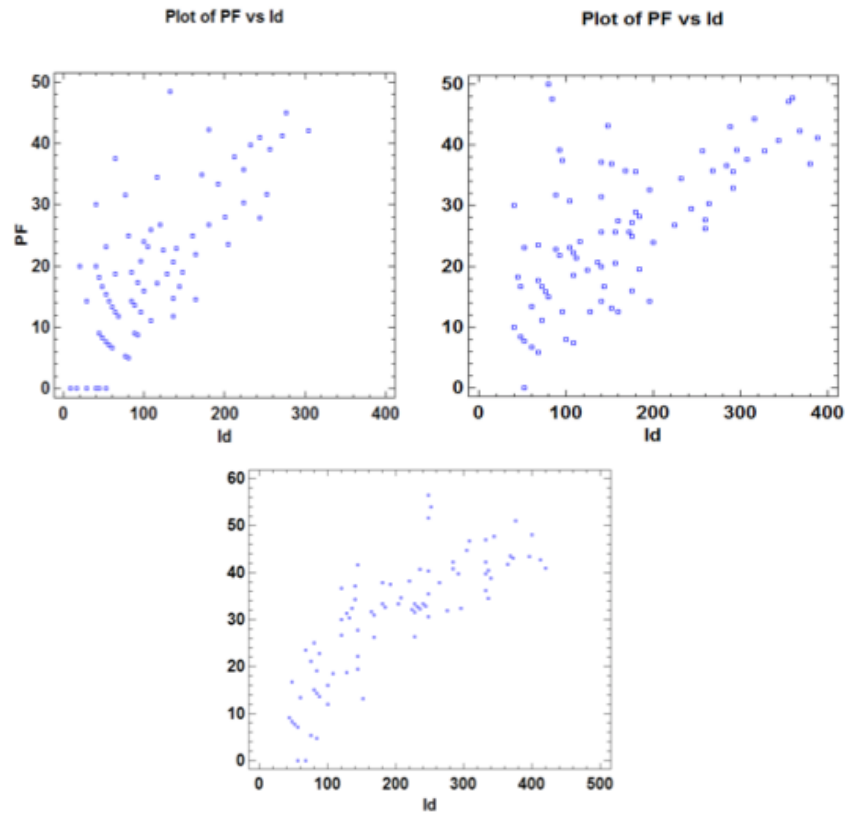


Figura 41. Gráfico de dispersión de PF vs Intensidad en dirección Interior en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente

De los gráficos anteriores se puede extraer que para todas las cámaras el porcentaje de vehículos en cola aumenta conforme aumenta la intensidad.

Comentar que en dirección Valencia se alcanzan intensidades mayores que en dirección Interior, por lo que el porcentaje de vehículos en cola también alcanza valores mayores.

Continuando con la velocidad media de recorrido se tiene:

- Sentido descendente (Valencia):

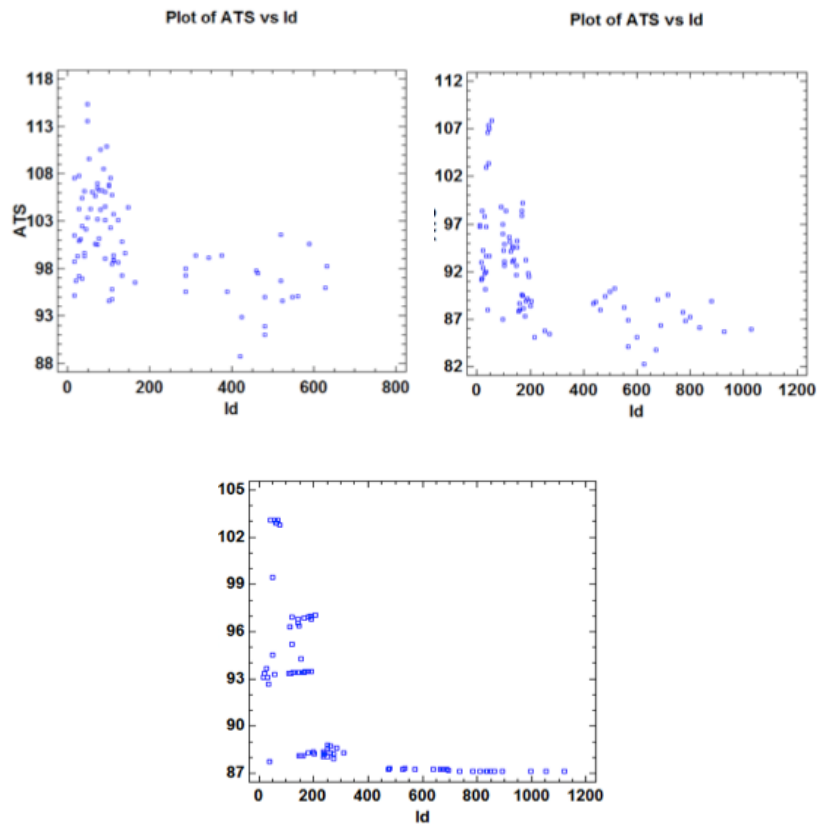


Figura 42. Gráfico de dispersión de ATS vs Intensidad en dirección Valencia en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente

- Sentido ascendente (Interior):

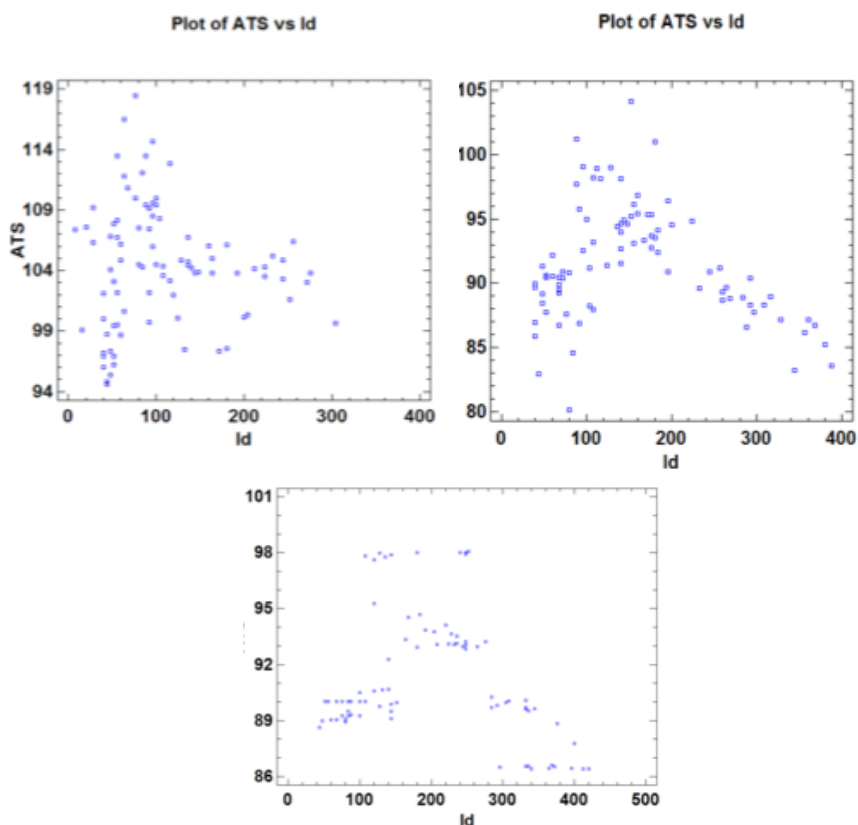


Figura 43. Gráfico de dispersión de ATS vs Intensidad en dirección Interior en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente

Generalmente se observa que para bajas intensidades la velocidad es mayor y disminuye a medida que aumenta la intensidad. Sin embargo, en dirección Interior para la cámara CCTV22 y CCTV21 se tiene que las velocidades máximas se dan en intensidades medias.

Los gráficos del percentil 85 de la velocidad de los vehículos ligeros se muestran a continuación:

- Sentido descendente (Valencia):

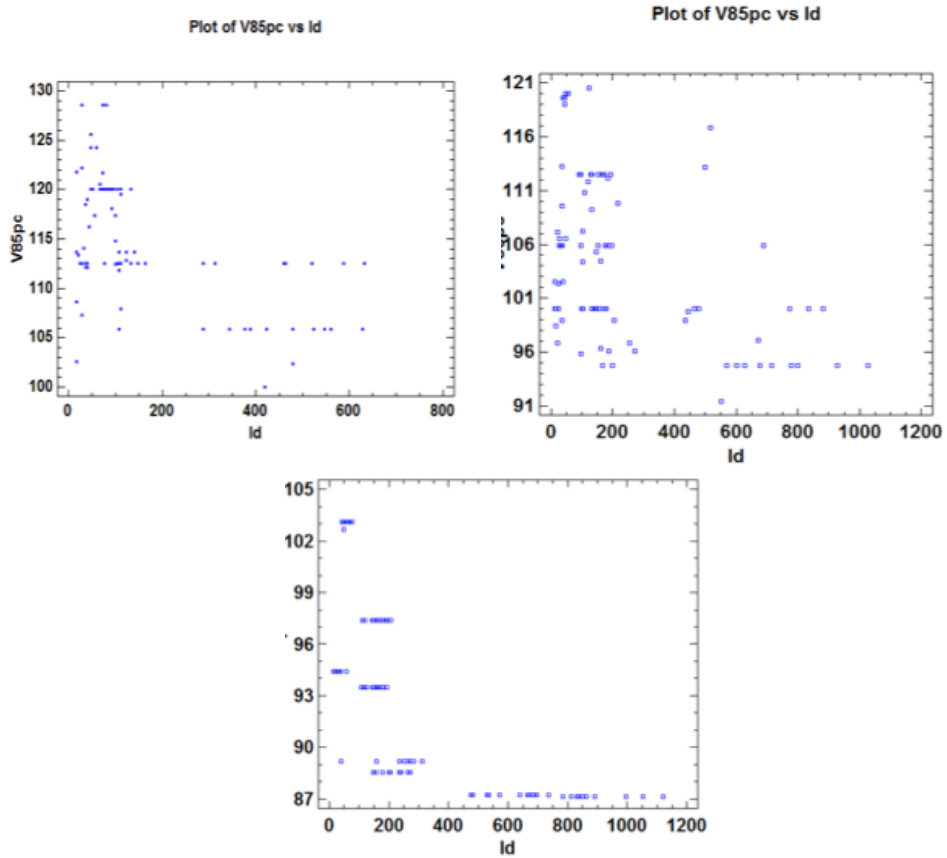


Figura 44. Gráfico de dispersión de la velocidad V85pc vs Intensidad en dirección Valencia en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente

- Sentido ascendente (Interior):

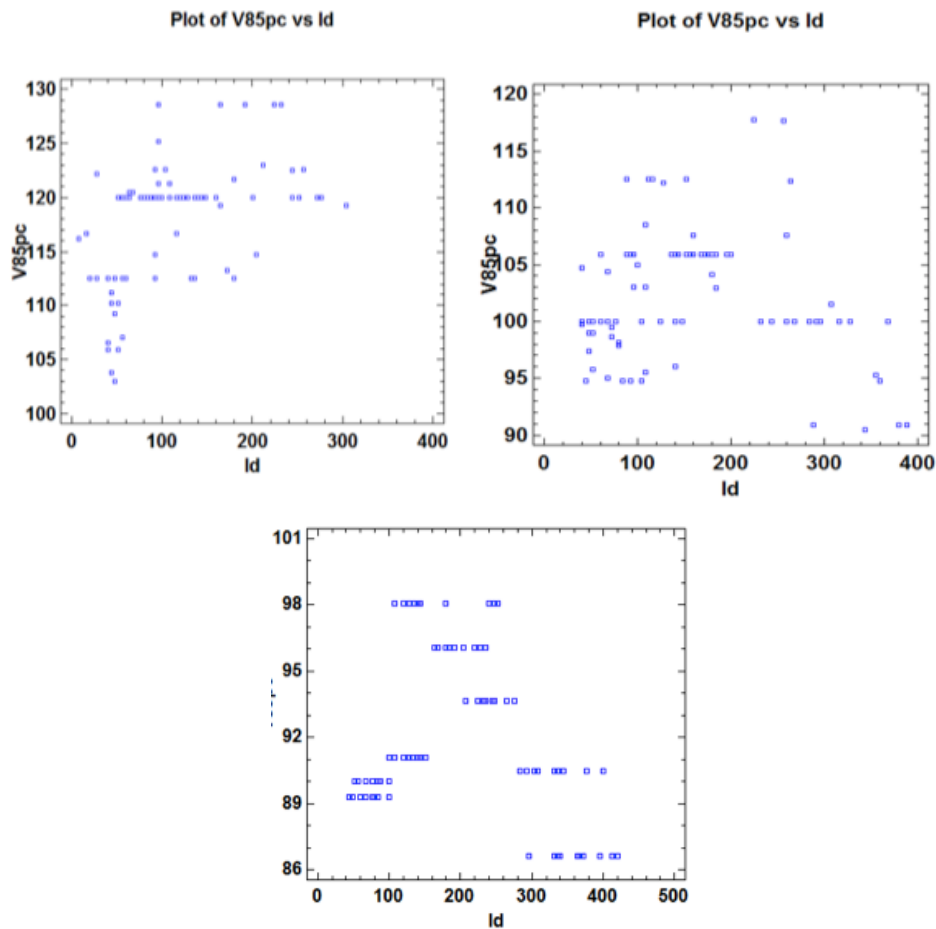


Figura 45. Gráfico de dispersión de la velocidad V85pc vs Intensidad en dirección Interior en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente

Respecto a la variable V85pc, es decir, aquella velocidad que no exceda del 85%, se observa que el tráfico que circula hacia el Interior en intensidades altas es muy bajo pero en intensidades medias aumenta considerablemente. Sin embargo, hacia Valencia tanto las intensidades medias como altas tienen un valor muy pequeño y las bajas se excede.

Siguiendo con el análisis, se procede a mostrar las gráficas obtenidas para la variable de hueco medio en la que se representa cada una de las cámaras con diferentes colores:

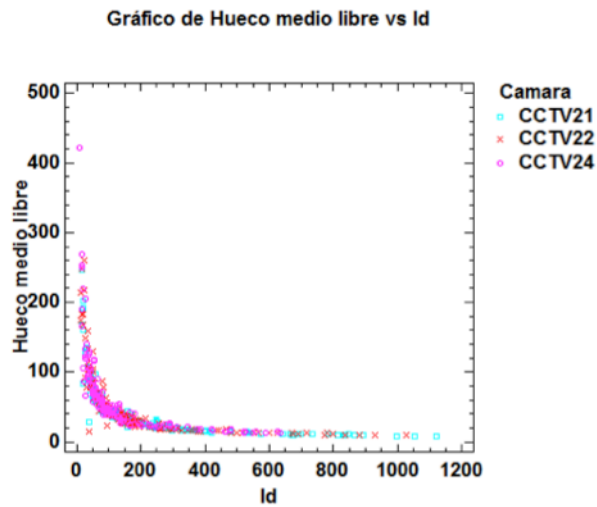


Figura 46. Gráfico de dispersión de hueco medio libre en las cámaras CCTV21, CCTV22 y CCTV24

En este gráfico se muestra como varía el hueco entre dos vehículos consecutivos en función de la intensidad, observándose que para el caso de hueco medio en flujo libre para intensidades bajas, existen huecos mayores que en intensidades altas donde se ve reducido aunque sigue siendo mayor de 6 segundos y por tanto, no se encuentran los vehículos en cola.

Con todas las cámaras se obtiene el mismo resultado aunque cabe destacar que en la cámara CCTV21 se tienen unas intensidades mayores con una distribución más constante, sin embargo, en el caso de la cámara CCTV24 hay una mayor concentración en intensidades bajas.

Respecto a la relación hueco medio en condiciones de cola e intensidad, se tiene:

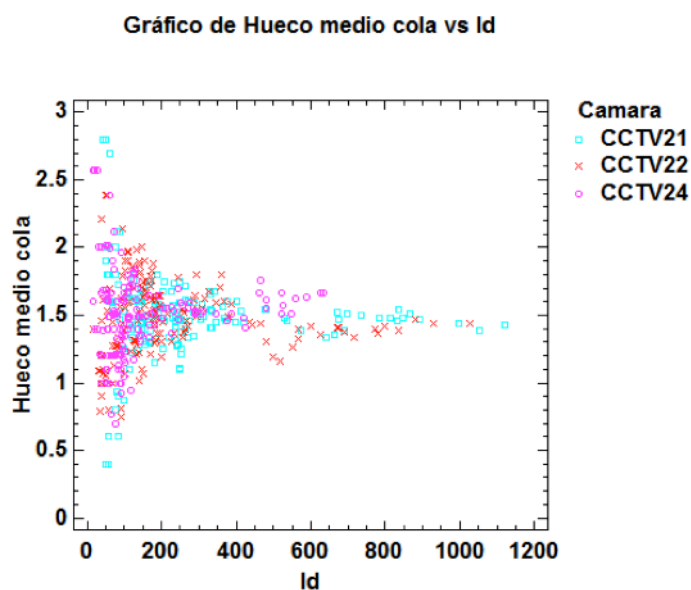


Figura 47. Gráfico de dispersión de hueco medio en cola en las cámaras CCTV21, CCTV22 y CCTV24

que para intensidades bajas existe una mayor dispersión, apareciendo en este rango de intensidades los valores máximos y mínimos. Para intensidades medias-altas el valor del hueco medio en cola se posiciona alrededor de 1,5 segundos.

Tras la comparación del comportamiento de las variables para los distintos rangos de intensidad, se da paso a la comparación de los resultados obtenidos en el análisis con los calculados con el Manual de Capacidad Americano (HCM 2010). Para ello, se ha seguido la metodología detallada en el Capítulo 15 del HCM para carreteras de dos carriles donde también desarrolla su empleo en la planificación y usos de análisis operacionales.

8.2. Comparación con el Manual de Capacidad

En primer lugar, se desarrollará la metodología del HCM y finalmente se recapitularán los resultados obtenidos que serán comparados, a posteriori, con la investigación realizada.

Para iniciar este estudio con el HCM, se debe tener en cuenta una serie de condiciones base o ideales siendo la carretera de estudio de tipo Clase I, definida por el hecho de que en ella los conductores desean circular a gran velocidad. Así pues, dichas condiciones son:

- Anchura de carril igual o superior a 3,6 metros
- Arcenes despejados con anchura igual o superior a 1,8 metros
- 0% de zona de adelantamiento no permitido
- Únicamente vehículos ligeros
- Terreno llano
- Densidad de acceso: 5 accesos/km
- Sin restricciones a la circulación (intersecciones semaforizadas, vehículos que giran, etc.)

Previamente, se ajusta la demanda para estimar la velocidad en flujo libre (FFS). Para ello, se fija un volumen de vehículos por hora dependiendo de los distintos rangos de intensidades para las cámaras CCTV22 y CCTV24.

Indicar que se parte de una situación sin datos de velocidad, por tanto, esta se estima con la velocidad límite de la carretera a la que se le suma 10 millas/hora. En este caso el límite de circulación en la carretera es de 100 km/h, siendo el total de 116 km/h, es decir, 72 millas/h.

Dado que la anchura de carril es de 3,5 m y el arcén de 1,5 m siendo más estrechos que la condiciones base, se reduce la velocidad (afección por el factor de sección transversal F_{LS}). En el caso de la densidad de acceso, es menor a 5 accesos/km, y por tanto dicho factor (F_A) no se tiene en cuenta ya que no hay afección por él. Por tanto se tiene:

$$FFS = BFFS - F_{LS} - F_A = 72 - 3 - 0 = 69 \text{ millas/hora}$$

A continuación se debe obtener la intensidad de demanda para velocidad media (directo, opuesto) a partir de la siguiente expresión:

$$v_{i,ATS} = \frac{V_i}{PHF \cdot f_{g,ATS} \cdot f_{HV,ATS}} \text{ (veh/hora)}$$

donde:

- $v_{i,ATS}$ es la intensidad de demanda para velocidad media en la dirección de análisis donde $i=D$ si es sentido directo o $i=O$ si es sentido opuesto.
- V_i es la intensidad de demanda en la dirección de análisis (veh/hora) donde $i=D$ si es sentido directo o $i=O$ si es sentido opuesto.
- PHF es el factor de hora punta
- $f_{g,ATS}$ es el factor de pendiente para velocidad media: al aumentar la pendiente, se incrementa el número de vehículos equivalentes.
- $f_{HV,ATS}$ es el factor de pesados para velocidad media: al aumentar los pesados, se incrementa el número de vehículos equivalentes.

Así pues:

- La intensidad de demanda en la dirección de análisis es la que se obtiene para los distintos rangos de intensidades.
- El factor de hora punta es de 0,95 porque se trata de una carretera suburbana.
- El factor de pendiente depende de la demanda expresada en vehículos/hora que se calcula de la siguiente forma:

$$v_{vph} = \frac{V}{PHF}$$

y además del nivel de terreno, es decir, si se trata de una carretera ondulada/llana con o sin pendiente. En este caso, la carretera a estudiar se considera de tipo ondulada sin pendiente.

Con ambos datos se introduce en una tabla, establecida en el HCM, de la cual se obtiene el factor de pendiente para velocidad media.

- El factor de pesados depende de: el porcentaje de pesados (P_T , tanto por 1), el factor de equivalencia de pesados (E_T), el porcentaje de vehículos recreativos (P_R , tanto por 1) y el factor de equivalencia de vehículos recreativos (E_R). La expresión a utilizar es la siguiente:

$$f_{HV,ATS} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

Se tendrá en cuenta que el porcentaje de pesados para el sentido descendente es del 10% y para el sentido ascendente del 5%. Además, no existen vehículos recreativos.

Posteriormente, se debe estimar la velocidad media de recorrido (ATS_d) en millas por hora, a partir de la expresión siguiente:

$$ATS_d = FFS - 0,00776 (v_{d,ATS} + v_{o,ATS}) - f_{np,ATS}$$

donde:

- $v_{i,ATS}$ es la intensidad de demanda para velocidad media en la dirección de análisis donde $i=D$ si es sentido directo o $i=O$ si es sentido opuesto.
- $f_{np,ATS}$ es el factor de ajuste por zonas con prohibición de adelantamiento (en millas/hora) que depende de la velocidad en flujo libre, la demanda de tráfico en sentido opuesto y el porcentaje de zonas donde no se permite adelantar en el segmento.

En el caso de la carretera de estudio, el porcentaje de zonas de no adelantamiento (NA) es de aproximadamente el 50%.

Así pues, para obtener $f_{np,ATS}$ se tiene en cuenta el valor obtenido para la FFS, 69 millas/hora, mayor que 65 millas/hora como indica la tabla correspondiente, y el porcentaje de zonas de NA.

Continuando con el análisis, se debe ajustar la demanda para estimar el porcentaje de tiempo en cola (PTSF) y para ello se determina las intensidades de demanda para el porcentaje de tiempo en cola (directo y opuesto). La expresión a utilizar es la siguiente:

$$v_{i,PTSF} = \frac{V_i}{PHF \cdot f_{g,PTSF} \cdot f_{HV,PTSF}}$$

De la misma forma que se calcula la intensidad de demanda para el caso de la velocidad media y utilizando las tablas proporcionadas, se obtiene el factor de pendiente y el factor de pesados para porcentaje en tiempo en cola, para finalmente conseguir la demanda correspondiente.

Luego, la estimación del porcentaje de tiempo en cola se obtiene como:

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np,PTSF} \left(\frac{v_{d,PTSF}}{v_{d,PTSF} + v_{o,PTSF}} \right)$$

donde:

$BPTSF_d$ es el porcentaje en cola de base y se calcula de la siguiente manera:

$$BPTSF_d = 100[1 - \exp(-a v_{d,PTSF}^b)]$$

Los coeficientes a y b dependen de la demanda de tráfico en sentido contrario; al aumentar la demanda en sentido opuesto, el porcentaje de tiempo en cola será mayor.

Para obtener el factor de tramos prohibidos de adelantamiento y descompensación de sentidos ($f_{np,PTSF}$) se considera una $v = v_d + v_o$ (intensidad en sentido directo y opuesto) y un 50% de zonas de no adelantamiento.

Una vez explicado el procedimiento del HCM, se mostrarán los resultados obtenidos:

Sentido directo Interior

Reparto (%)											
Baja				Media				Alta			
CCTV22		CCTV24		CCTV22		CCTV24		CCTV22		CCTV24	
D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O
44	56	45	55	61	39	74	26	80	20	-	100

Tabla 15. Reparto para los diferentes rangos de intensidades en ambas cámaras siendo D el sentido directo y O el sentido opuesto

V_i (veh/hora)											
Baja				Media				Alta			
CCTV22		CCTV24		CCTV22		CCTV24		CCTV22		CCTV24	
D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O
66	84	68	82	195	125	237	83	310	78	-	632

Tabla 16. Intensidades de demanda para los diferentes rangos de intensidades

Intensidad		V_i	PHF	V_{vph}	$F_{g,ATS}$	E_T	$F_{HV,ATS}$	$v_{d,ATS}$ (veh/hora)
Baja	CCTV22	66	0,95	70	0,670	2,70	0,92	113
	CCTV24	68	0,95	72	0,670	2,70	0,92	116
Media	CCTV22	195	0,95	205	0,754	2,29	0,94	290
	CCTV24	237	0,95	250	0,790	2,20	0,94	336
Alta	CCTV22	310	0,95	326	0,848	2,07	0,95	405
	CCTV24	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 17. Determinación de la intensidad de demanda para velocidad media en sentido directo

Intensidad		V_i	PHF	V_{vph}	$F_{g,ATS}$	E_T	$F_{HV,ATS}$	$v_{o,ATS}$ (veh/hora)
Baja	CCTV22	84	0,95	88	0,670	2,70	0,92	143
	CCTV24	82	0,95	86	0,670	2,70	0,92	140
Media	CCTV22	125	0,95	132	0,696	2,57	0,93	203
	CCTV24	83	0,95	87	0,670	2,70	0,92	142
Alta	CCTV22	78	0,95	82	0,670	2,70	0,92	133
	CCTV24	632	0,95	665	0,977	1,64	0,97	702

Tabla 18. Determinación de la intensidad de demanda para velocidad media en sentido opuesto

Intensidad		FFS	$v_{d,ATS}$	$v_{o,ATS}$	$F_{np,ATS}$	ATS_d (millas/hora)
Baja	CCTV22	69	113	143	3,0	64,01
	CCTV24	69	116	140	2,9	64,11
Media	CCTV22	69	290	203	3,6	61,57
	CCTV24	69	336	142	3,0	62,29
Alta	CCTV22	69	405	133	2,9	61,93
	CCTV24	69	-	702	1,3	62,25

Tabla 19. Estimación de la velocidad media de recorrido (ATSd)

Intensidad		V_i	PHF	V_{vph}	$F_{g,PTSF}$	E_T	$F_{HV,PTSF}$	$v_{d,PTSF}$ (veh/hora)
Baja	CCTV22	66	0,95	70	0,730	1,90	0,96	99
	CCTV24	68	0,95	72	0,730	1,90	0,96	102
Media	CCTV22	195	0,95	205	0,803	1,80	0,96	226
	CCTV24	237	0,95	250	0,825	1,75	0,96	315
Alta	CCTV22	310	0,95	326	0,863	1,67	0,97	390
	CCTV24	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 20. Determinación de las intensidades de demanda para % del tiempo en cola en sentido directo

Intensidad		V_i	PHF	V_{vph}	$F_{g,PTSF}$	E_T	$F_{HV,PTSF}$	$v_{o,PTSF}$ (veh/hora)
Baja	CCTV22	84	0,95	88	0,730	1,90	0,96	126
	CCTV24	82	0,95	86	0,730	1,90	0,96	123
Media	CCTV22	125	0,95	132	0,752	1,87	0,96	182
	CCTV24	83	0,95	87	0,730	1,90	0,96	125
Alta	CCTV22	78	0,95	82	0,730	1,90	0,96	117
	CCTV24	632	0,95	665	0,983	1,07	0,99	684

Tabla 21. Determinación de las intensidades de demanda para % del tiempo en cola en sentido opuesto

Intensidad		a	b	$BPTSF_d$	$F_{np,PTSF}$	$v_{d,PTSF}$	$v_{o,PTSF}$	$PTSF_d$ (%)
Baja	CCTV22	-0,0014	0,973	11,52	47,84	99	126	32,57
	CCTV24	-0,0014	0,973	11,84	47,84	102	123	33,53
Media	CCTV22	-0,0014	0,973	23,92	57,60	226	182	55,83
	CCTV24	-0,0014	0,973	31,45	56,42	315	125	71,84
Alta	CCTV22	-0,0014	0,973	37,17	53,94	390	117	78,66
	CCTV24	-0,0038	0,855	-	47,01	-	684	-

Tabla 22. Estimación del porcentaje de tiempo en cola

Sentido directo Valencia

Reparto (%)											
Baja				Media				Alta			
CCTV22		CCTV24		CCTV22		CCTV24		CCTV22		CCTV24	
D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O
29	71	37	63	43	57	78	22	92	8	92	8

Tabla 23. Reparto para los diferentes rangos de intensidades en ambas cámaras siendo D el sentido directo y O el sentido opuesto

V_i (veh/hora)											
Baja				Media				Alta			
CCTV22		CCTV24		CCTV22		CCTV24		CCTV22		CCTV24	
D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O
44	106	56	94	138	182	250	70	946	82	581	51

Tabla 24. Intensidades de demanda para los diferentes rangos de intensidades

Intensidad		V_i	PHF	V_{vph}	$F_{g,ATS}$	E_T	$F_{HV,ATS}$	$v_{d,ATS}$ (veh/hora)
Baja	CCTV22	44	0,95	46	0,670	2,70	0,86	80
	CCTV24	56	0,95	59	0,670	2,70	0,86	102
Media	CCTV22	138	0,95	145	0,706	2,52	0,87	237
	CCTV24	250	0,95	263	0,800	2,17	0,90	366
Alta	CCTV22	946	0,95	996	1,000	1,30	0,97	1027
	CCTV24	581	0,95	612	0,971	1,69	0,94	670

Tabla 25. Determinación de la intensidad de demanda para velocidad media en sentido directo

Intensidad		V_i	PHF	V_{vph}	$F_{g,ATS}$	E_T	$F_{HV,ATS}$	$v_{o,ATS}$ (veh/hora)
Baja	CCTV22	106	0,95	112	0,680	2,65	0,86	191
	CCTV24	94	0,95	99	0,670	2,70	0,86	172
Media	CCTV22	182	0,95	192	0,744	2,33	0,88	293
	CCTV24	70	0,95	74	0,670	2,70	0,86	128
Alta	CCTV22	82	0,95	86	0,670	2,70	0,86	150
	CCTV24	51	0,95	54	0,670	2,70	0,86	93

Tabla 26. Determinación de la intensidad de demanda para velocidad media en sentido opuesto

Intensidad		FFS	$v_{d,ATS}$	$v_{o,ATS}$	$F_{np,ATS}$	ATS_d (millas/hora)	
Baja	CCTV22	69	80	191	3,5	63,40	
	CCTV24	69	102	172	3,3	63,57	
Media	CCTV22	69	237	293	3,1	61,79	
	CCTV24	69	366	128	2,8	62,37	
Alta	CCTV22	69	1027	150	3,1	56,77	
	CCTV24	69	670	93	2,5	60,58	

Tabla 27. Estimación de la velocidad media de recorrido (ATS_d)

Intensidad		V_i	PHF	V_{vph}	$F_{g,PTSF}$	E_T	$F_{HV,PTSF}$	$v_{d,PTSF}$ (veh/hora)
Baja	CCTV22	44	0,95	46	0,730	1,90	0,92	69
	CCTV24	56	0,95	59	0,730	1,90	0,92	88
Media	CCTV22	138	0,95	145	0,762	1,86	0,92	207
	CCTV24	250	0,95	263	0,832	1,74	0,93	304
Alta	CCTV22	946	0,95	996	1,000	1,00	1,00	996
	CCTV24	581	0,95	612	0,972	1,18	0,98	642

Tabla 28. Determinación de las intensidades de demanda para % del tiempo en cola en sentido directo

Intensidad		V_i	PHF	V_{vph}	$F_{g,PTSF}$	E_T	$F_{HV,PTSF}$	$v_{o,PTSF}$ (veh/hora)
Baja	CCTV22	106	0,95	112	0,738	1,89	0,92	164
	CCTV24	94	0,95	99	0,730	1,90	0,92	147
Media	CCTV22	182	0,95	192	0,794	1,81	0,93	259
	CCTV24	70	0,95	74	0,730	1,90	0,92	110
Alta	CCTV22	82	0,95	86	0,730	1,90	0,92	129
	CCTV24	51	0,95	54	0,730	1,90	0,92	80

Tabla 29. Determinación de las intensidades de demanda para % del tiempo en cola en sentido opuesto

Intensidad		a	b	$BPTSF_d$	$F_{np,PTSF}$	$v_{d,PTSF}$	$v_{o,PTSF}$	$PTSF_d$ (%)
Baja	CCTV22	-0,0014	0,973	8,26	48,30	69	164	22,56
	CCTV24	-0,0014	0,973	10,34	48,41	88	147	28,47
Media	CCTV22	-0,0016	0,958	23,26	55,46	207	259	47,90
	CCTV24	-0,0014	0,973	30,56	57,38	304	110	72,69
Alta	CCTV22	-0,0014	0,973	68,57	32,88	996	129	97,68
	CCTV24	-0,0014	0,973	52,99	45,44	642	80	93,40

Tabla 30. Estimación del porcentaje de tiempo en cola

Intensidad		ATS _d (km/h)	Nivel de servicio	PTSF(%)	Nivel de servicio
Baja	CCTV22	91,56	A	19,57	A
	CCTV24	104,73	A	14,96	A
Media	CCTV22	92,62	A	29,33	A
	CCTV24	102,99	A	33,08	A
Alta	CCTV22	85,60	B	79,76	D
	CCTV24	-	-	-	-

Tabla 31. Niveles de servicio en el caso de estudio para el sentido directo Interior

Intensidad		ATS _d (km/h)	Nivel de servicio	PTSF(%)	Nivel de servicio
Baja	CCTV22	103,01	A	32,57	A
	CCTV24	103,18	A	33,53	A
Media	CCTV22	99,09	A	55,83	C
	CCTV24	100,25	A	71,84	D
Alta	CCTV22	99,67	A	78,66	D
	CCTV24	100,18	A	-	-

Tabla 32. Niveles de servicio en el caso de estudio con el HCM 2010 para el sentido directo Interior

Intensidad		ATS _d (km/h)	Nivel de servicio	PTSF(%)	Nivel de servicio
Baja	CCTV22	95,76	A	19,32	A
	CCTV24	102,92	A	17,26	A
Media	CCTV22	90,57	A	42,45	B
	CCTV24	97,34	A	52,45	C
Alta	CCTV22	87,22	A	61,66	C
	CCTV24	95,90	A	57,53	C

Tabla 33. Niveles de servicio en el caso de estudio para el sentido directo Valencia

Intensidad		ATS _d (km/h)	Nivel de servicio	PTSF(%)	Nivel de servicio
Baja	CCTV22	102,03	A	22,56	A
	CCTV24	102,31	A	28,47	A
Media	CCTV22	99,44	A	47,90	B
	CCTV24	100,38	A	72,69	D
Alta	CCTV22	91,36	A	97,68	E
	CCTV24	97,49	A	93,40	E

Tabla 34. Niveles de servicio en el caso de estudio con el HCM 2010 para el sentido directo Valencia

Nivel de servicio	
Baja	A
Media	C
Alta	D

Tabla 35. Nivel de servicio final de la carretera en el caso de estudio para los diferentes rangos de intensidades

Nivel de servicio	
Baja	A
Media	D
Alta	E

Tabla 36. Nivel de servicio final de la carretera en el caso del HCM 2010 para los diferentes rangos de intensidades

De los resultados obtenidos se puede observar que para el caso del HCM 2010, en situaciones de demanda reducida, se obtiene un nivel de servicio en la carretera de tipo A donde los conductores perciben altas velocidades de operación y baja dificultad en adelantamientos y las colas de 3 o más vehículos son poco probables. Para intensidades medias se obtiene un nivel de servicio tipo D donde las colas se incrementan notablemente y la demanda de adelantamiento es alta en este tipo de carreteras; y por último, para situaciones donde la demanda es muy alta, se obtiene un nivel de servicio tipo E donde las velocidades son notablemente reducidas y los adelantamientos son prácticamente imposibles.

Por otro lado, en el caso de estudio, se obtiene que para situaciones de demanda reducida también se trata de un nivel de tipo A. Sin embargo para las intensidades medias se tiene un nivel de servicio tipo C donde circulan más vehículos en cola y las velocidades se ven reducidas, y para intensidades altas se tiene un nivel de servicio tipo D donde las colas se incrementan notablemente y la demanda de adelantamiento empieza a ser mayor.

Capítulo 9

Conclusiones

En este apartado se exponen las conclusiones obtenidas tras la realización del Trabajo de Fin de Máster.

Comentar que este trabajo se ha llevado a cabo debido a la falta de investigaciones acerca de la funcionalidad de las carreteras en condiciones especiales, ya que estas en su mayoría estaban enfocadas a la seguridad vial.

A partir de los datos obtenidos de los videos de tráfico proporcionados por el CEGESEV, se realiza el análisis de las variables más relevantes para las condiciones diurna, nocturna y lluvia. Dicho análisis se realiza de la siguiente manera:

- Comparación del comportamiento de las variables para los distintos rangos de intensidad (baja, media y alta), así como su posterior comparación con el HCM 2010.
- Comparación del comportamiento de las variables para el mismo rango de intensidad en condiciones nocturnas y diurnas.
- Comparación del comportamiento de las variables para el mismo rango de intensidad en condiciones de lluvia y diurnas.

A continuación se exponen, en primer lugar, las conclusiones respecto a la primera comparación y en segundo lugar, las conclusiones globales en relación a todo el análisis llevado a cabo.

9.1. Conclusiones de la comparación del comportamiento de las variables para los distintos rangos de intensidad

Observando los gráficos mostrados en el apartado anterior se puede concluir lo siguiente:

- En primer lugar, se obtiene que para ambas cámaras la intensidad máxima en la dirección Valencia es mucho mayor que en dirección Interior. Este hecho indica que las puntas de tráfico, en general se manifiestan con flujos no compensados entre sentidos.

- Respecto al porcentaje de vehículos en cola este es mayor en la dirección de Valencia. En ambas direcciones este porcentaje aumenta conforme aumenta la intensidad confirmando la hipótesis formulada.
- Tras los resultados de las velocidades medias de recorrido, se obtiene principalmente que en las intensidades bajas las velocidades son mayores y disminuyen conforme aumenta la intensidad. Pero, en el caso de la dirección hacia el Interior, debido a que el rango de intensidades observadas es más reducido (hasta 400 veh/h) esta tendencia es más difícil de observar.
- Además, se ha observado una mayor dispersión de velocidades en el caso de rangos reducidos de intensidad horaria. .
- En cuanto a la variable del percentil 85 de la velocidad, se obtiene algo muy similar a los resultados de las velocidades medias aunque en este caso, sólo se tienen en cuenta los vehículos ligeros. Esta variable solo tiene en cuenta, además, a vehículos en flujo libre. Por ello, la hipótesis generalizada de considerar esta velocidad constante e independiente del estado de tráfico no puede asumirse. Caben dos explicaciones, según las observaciones. La primera de ellas sería que, en condiciones de tráfico elevado, la velocidad deseada por los conductores se reduce. La segunda implica que el intervalo de 6 s escogido para determinar las condiciones de flujo libre no es correcto, pues hay vehículos que habiéndose considerado en esta condición, en realidad estaban circulando a menor velocidad de la deseada, por seguir a gran distancia a otros que llevaban delante.
- En relación a la variable de hueco medio libre se puede concluir que no aporta resultados relevantes en el estudio, ya que no depende de la decisión del conductor, es decir, se circula libremente sin someterse a restricciones causadas por otros vehículos.
- Finalmente en cuanto a la relación de hueco medio en condiciones de cola e intensidad, se obtiene que en las intensidades bajas para todas las cámaras existen huecos medios en cola muy dispersos en el rango de 1 a 3 s (recordar que 3 s es el umbral que determina la situación de cola), mientras que para intensidades medias-altas, se mantiene alrededor de 1,5 segundos en todas las cámaras.

9.2. Conclusiones de la comparación con el Manual de Capacidad Americano (HCM 2010)

Se ha comprobado que tanto para la estimación del HCM como para el cálculo basado en el caso de estudio se obtiene, que para demandas reducidas ambos obtienen un nivel de servicio de tipo A, resultado razonable ya que los vehículos pueden conducir libremente a velocidades elevadas y con gran facilidad de adelantamiento. Sin embargo tanto para intensidades medias como altas, con el HCM se obtienen

resultados más desfavorables respecto del caso de estudio ya que el peor de los escenarios se obtiene en éste, con un nivel de servicio en la carretera de tipo E.

Se observa que en el caso de PTSF existe bastante diferencia en ambos casos. Esto puede ser debido a que como anteriormente se ha indicado, el HCM tiene en cuenta el porcentaje de tiempo en cola mientras que en el caso de estudio el porcentaje de vehículos en cola y por tanto, no representa lo mismo aunque el HCM indique que se puede estimar para su comparación.

Aun así, aunque el HCM de lugar a errores elevados dado también a la gran dependencia de las medidas de desempeño del tráfico en características locales de los conductores, se podría considerar que la estimación es aceptable ya que hay que tener en cuenta, que el cálculo se realiza a partir de velocidades desconocidas y condiciones base.

9.3. Conclusiones globales en relación a todo el análisis llevado a cabo

Como conclusiones globales del Trabajo de Fin de Máster tras el análisis realizado individualmente y puesta en común del mismo, se obtiene:

- En cuanto a la representatividad, en el caso de esta investigación, la condición diurna presenta una intensidad media diaria de 76,06% frente a un 23,94% en la condición nocturna. Aunque la condición diurna es mayoritaria, la condición nocturna presenta un valor significativo en el estudio debido a su relación con la seguridad.
- Por otro lado la condición de lluvia también presenta una menor representatividad de la intensidad media diaria, siendo esta de 21,37%, no obstante adquiere gran relevancia en este estudio por su importancia con respecto a la seguridad, al igual que las condiciones nocturnas
- La obtención de datos a partir de cámaras de vigilancia se ha demostrado que es factible, si bien las condiciones meteorológicas extremas han resultado ser más problemáticas debido al movimiento de las cámaras de tráfico ocasionado por la presencia de rachas de viento.
- La conducción en condición diurna podría presentar mayor seguridad que la condición nocturna o de lluvia, ya que se dan desviaciones de ATS menores, pero sin embargo los conductores mantienen huecos medios en cola menores. Esto es debido a que la condición diurna no se ve afectada de forma desfavorable ni por la visibilidad ocasionada por las condiciones nocturnas o de lluvia, ni la falta de adherencia entre el neumático y el pavimento ni posibles salpicaduras.

- Las máximas intensidades se dieron en condiciones diurnas, no llegando en ningún momento a la capacidad de la carretera, aun considerando operación salida (situación con un elevado volumen de vehículos) en el análisis. No obstante, esta conclusión no implica que las mayores puntas de tráfico pudieran ocurrir en casos de lluvia o por la noche, en cuyo caso la capacidad podría ser inferior.
- Se dan PF mayores en condiciones de día, lo que supone velocidades menores en comparación con las condiciones de noche y lluvia para un mismo rango de intensidades.
- En condiciones de día, para intensidades altas los huecos medios en cola son menores, el porcentaje de vehículos en cola es mayor y, por tanto, la velocidad disminuye con respecto a las obtenidas en intensidades bajas.
- Se ha comprobado que para el caso del HCM la carretera se encuentra en peor situación, es decir, se obtienen cálculos más desfavorables pero aun así, teniendo en cuenta que los resultados parten de condiciones bases y velocidades desconocidas, se considera un cálculo aceptable ya que los resultados tampoco se exceden mucho de lo obtenido a partir del análisis.

Con todo ello, y teniendo en cuenta los tres trabajos presentados, se puede concluir que es necesario considerar condiciones especiales a la hora de realizar la evaluación de la funcionalidad de una carretera, ya que aun siendo la representatividad de estas mucho menor que para condiciones diurnas, presentan niveles de seguridad percibidos por el conductor menores.

Los problemas relativos a la seguridad vial se pueden identificar a través de una mayor dispersión de la velocidad en las condiciones especiales frente a las condiciones diurnas.

En cuanto a la funcionalidad de la carretera, para condiciones especiales, los problemas se plasman en la menor demanda de adelantamiento y mayores huecos en cola, lo que provoca una reducción de la capacidad de la carretera.

Podría darse un problema potencial si se dieran varias situaciones conflictivas simultáneamente, como puede ser el caso de coincidir valores de máxima intensidad para una condición especial (noche, lluvia o una combinación de ambas) lo que provocaría una importante reducción de la capacidad de la carretera, siendo el nivel de inseguridad percibido por el conductor muy elevado.

Capítulo 10

Futuras líneas de investigación

En el Trabajo de Fin de Máster se ha llevado a cabo la evaluación de la funcionalidad en carreteras convencionales tanto en condiciones extremas como en día. No obstante, existen algunos campos en los que es posible profundizar en el análisis. Se establecen las siguientes futuras líneas de investigación:

- La posible utilización de los datos para validar o calibrar un modelo de simulación, con los que poder crear nuevos escenarios con el fin de estudiar y evaluar situaciones futuras. Estos modelos serán más fiables cuanto mayor sea el tamaño de la muestra.
- Estudiar el caso en el que se den intensidades altas en condiciones de lluvia o en noche, en este caso el modelo de simulación debería emplear datos propios de dichas condiciones. Dichos datos no ha sido posible obtenerlos en esta investigación, ya que únicamente se han obtenido intensidades altas en condiciones diurnas.
- Otra posible investigación se podría centrar en la evaluación de la comparación entre condiciones nocturnas y lluvia.

Capítulo 11

Referencias

Transportation Research Board (2010). *Highway Capacity Manual*. Chapter 4:Traffic flow and capacity concepts, Chapter 5:Quality and level-of-service concepts, Chapter 15: Two-lane Highways.

Al-Kaisy, A. y C. Durbin (2011). "Platooning on Two-lane Two-way Highways: An Empirical Investigation". En: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 16, págs. 329-339.

Al-Kaisy, A. y Sarah Karjala (2010). "Car-Following Interaction and the Definition of Free-Moving Vehicles on Two-Lane Rural Highways". En: *Journal of Transportation Engineering* 136, págs. 925-931.

Catbagan, J. L. y H. Nakamura (2008). "Probability-Based Follower Identification in Two-Lane Highways". En: *TRB 87th Annual Meeting Compendium of Papers. CD-ROM*.

D.H.Ha, M.Aron y S.Cohen (2010)."Time headway variable and probabilistic modeling". En: *Transportation Research Part C* 25, págs.181–201.

Stanisław Gaca, Mariusz Kiec y Arkadiusz Zielinkiewicz (2011). "Analyses of headways for assessment of risk rear- end collision".

Katja Vogel (2002). "A comparison of headway and time to collision as safety indicators". En: *Accident Analysis and Prevention* 35 , págs. 427–433.

G. Zhang y Y. Wang (2013)." A Gaussian Kernel-Based Approach for Modeling Vehicle Headway Distributions". *Transportation science*, págs. 1-11.

G. Zhang, Y. Wang, H. Wei y Y. Chen (2006). "Examining Headway Distribution Models Using Urban Freeway Loop Event Data". En: *TRB 2007 Annual Meeting CD-ROM*.

[1] *Base de datos meteorológica*.

<<http://datosclima.es/Aemehistorico/Precipisolstad.php>> [Consulta: 27 de Octubre de 2016]

[2] CONSELLERIA DE INFRAESTRUCTURAS, TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE. *Plan de aforos de la Comunidad Valenciana. Campaña de aforos (2014)*.

<<http://www.habitatge.gva.es/web/carreteras/aforos-car/informes-anuales-car>> [Consulta: 27 de Octubre de 2016]

Capítulo 12

Conclusión

Una vez realizado el presente Estudio enmarcado como Trabajo Fin de Máster, considerando que se han cumplido los objetivos establecidos y tras su revisión por parte del tutor y de los cotutores del mismo, se presenta a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universitat Politècnica de València y se eleva a su calificación por el Tribunal correspondiente al Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, a la espera de su defensa pública el día fijado a dichos efectos.

Valencia, a 17 de junio de 2016

Laura Martínez Talamantes