



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 nocturnas y comparación con condiciones diurnas

Memoria

Trabajo Final de Máster

Titulación: Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Curso: 2015/16

Autora: Belén Asensio Mateo

Tutor: Prof. Alfredo García García

Cotutores externos:

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

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. Estado del arte en condiciones nocturnas (Individual)
 - 3.2.1. Estudios de la evaluación de la seguridad y funcionalidad del tráfico
 - 3.2.2. Comparación entre conducción en condiciones diurnas y nocturnas
 - 3.3. Resumen del estado del arte
 - 3.3.1. Conclusiones generales (Común)
 - 3.3.2. Conclusiones de la condición nocturna (Individual)
 - 3.3.3. Necesidades de investigación (Común e individual)
4. Objetivos (Común)
5. Hipótesis (Común)
 - 5.1. Hipótesis en condiciones nocturnas en comparación con 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 nocturnas (Individual)
8. Análisis de la funcionalidad (Individual)
9. Conclusiones
 - 9.1. Conclusiones de la comparación de las condiciones nocturnas y diurnas (Individual)
 - 9.2. Conclusiones globales en relación a todo el análisis llevado a cabo (Común)
10. Futuras líneas de investigación (Común)
11. Referencias (Común e individual)
12. Conclusión (Individual)
- ANEXO A (Individual)

Índice general

Índice de figuras	3
Índice de tablas.....	6
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 Estado del arte en condiciones nocturnas	26
3.2.1. Estudios de la evaluación de la seguridad y funcionalidad del tráfico.....	26
3.2.2. Comparación entre conducción en condiciones diurnas y nocturnas	28
3.3. Resumen del estado del arte.....	31
3.3.1. Conclusiones generales.....	31
3.3.2. Conclusiones de la condición nocturna	31
3.3.3. Necesidad de investigación	32
4. Objetivos.....	33
5. Hipótesis.....	34
5.1. Hipótesis en condiciones nocturnas en comparación con condiciones diurnas	34
6. Alcance.....	36
7. Metodología	37
7.1. Metodología global	37
7.1.1.- Porcentaje de horas en condiciones de día, noche y lluvia	37
7.1.2.- Intensidad media diaria en el tramo de estudio	41
7.1.3.- Selección de cámaras de tráfico	49
7.1.4 -Selección de los periodos de tiempo a analizar	52

7.1.5- Análisis de los videos y obtención de datos	53
7.1.6.- Obtención de parámetros a analizar	56
7.1.7.- Representación de datos	60
7.2. Metodología en condiciones nocturnas	61
8. Análisis de la funcionalidad	66
Análisis de la funcionalidad del tráfico en condiciones nocturnas y comparación con condiciones diurnas.....	66
9. Conclusiones	82
9.1. Conclusiones de la comparación de las condiciones nocturnas y diurnas	82
9.2. Conclusiones globales en relación a todo el análisis llevado a cabo	83
10. Futuras líneas de investigación.....	86
11. Referencias.....	87

Índice de figuras

Figura 1. Localización de la carretera CV-35 (Valencia)	9
Figura 2. Relaciones entre los parámetros básicos.....	14
Figura 3. Niveles de servicio de los automóviles para carreteras con doble dirección. 19	
Figura 4. Comparación del porcentaje de días al año en que se da cada una de las condiciones de estudio	39
Figura 5. Representatividad del porcentaje de IMD de día frente a noche para cada mes	40
Figura 6. Representatividad del porcentaje de IMD de lluvia frente a no lluvia para cada mes.....	40
Figura 7. Localización de la estación de aforo afín	41
Figura 8. Información general del tramo de estudio	42
Figura 9. Evolución interanual de tráfico en el tramo de estudio (IMD)	42
Figura 10. Gráfico de la evolución anual de intensidad diaria	42
Figura 11. Tabla de valores de la evolución anual de intensidad diaria.....	43
Figura 12. Información general del tramo 035080.....	43
Figura 13. Evolución interanual del tráfico en el tramo 035080 (IMD)	44
Figura 14. Gráfico de la evolución anual de intensidad diaria	44
Figura 15. Tabla de valores de la evolución anual de intensidad diaria.....	45
Figura 16. Gráfica de intensidad horaria en días laborables	45
Figura 17. Gráfica de intensidad horaria en sábados.....	46
Figura 18. Gráfica de intensidad horaria en domingos.....	46
Figura 19. Gráfica de intensidad horaria en días laborables	48
Figura 20. Gráfica de intensidad horaria en sábados.....	48
Figura 21. Gráfica de Intensidad horaria en domingos.....	48
Figura 22. Localización de las cámaras de tráfico de la CV-35 (I).....	49
Figura 23. Localización de las cámaras de tráfico de la CV-35 (II).....	50
Figura 24. Esquema de representación de cámaras, zonas de adelantamiento permitido o no y entradas y salidas a la CV-35.....	50
Figura 25. Programa KINOVEA cálculo de intervalo, CCTV21 dirección interior y Valencia.....	53
Figura 26. Programa KINOVEA cálculo de la velocidad, CCTV24 dirección interior ...	54
Figura 27. Programa KINOVEA cálculo de la velocidad, CCTV21 dirección Valencia, condición de lluvia	54
Figura 28. Esquema explicativo del vehículo 1 y 2.....	55

Figura 29. Diagrama espacio-tiempo explicativo para la obtención del intervalo corregido	56
Figura 30. Captura de imagen de datos obtenidos en la Macro 3	60
Figura 31. Captura de imagen de la Macro 3	60
Figura 32. Captura de imagen de STATGRAPHICS	61
Figura 33. Días de visualización de videos	61
Figura 34. Línea para medir intervalos en la CCTV21.....	62
Figura 35. Líneas para medir intervalos y velocidad en CCTV22.....	63
Figura 36. Líneas para medir intervalos y velocidad en CCTV24.....	63
Figura 37. Diagrama fundamental en condiciones de noche para la cámara CCTV24	66
Figura 38. Diagrama fundamental en condiciones de noche para la cámara CCTV22	67
Figura 39. Diagrama fundamental en condiciones de noche frente a día para la cámara CCTV24.....	67
Figura 40. Diagrama fundamental en condiciones de noche frente a día para la cámara CCTV22.....	67
Figura 41. Gráfico de cuantiles de intensidades día-noche en cámara CCTV24.....	69
Figura 42. Gráfico de cuantiles de intensidad (izquierda) y reparto (derecha) en intensidades bajas en la cámara CCTV24	69
Figura 43. Gráfico de cuantiles de intensidad (izquierda) y reparto (derecha) en intensidades medias-altas	70
Figura 44. Gráficos de cuantiles de PF en dirección Valencia para intensidades bajas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo)	71
Figura 45. Gráficos de cuantiles de PF en dirección Valencia para intensidades bajas en la cámara CCTV22	71
Figura 46. Gráficos de cuantiles de PF en dirección Valencia para intensidades bajas en la cámara CCTV21	71
Figura 47. Gráficos de cuantiles de PF en dirección interior para intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo)....	73
Figura 48. Gráficos de cuantiles de PF en dirección Interior para intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente.....	73
Figura 49. Gráficos de cuantiles de ATS en dirección Valencia para intensidades bajas en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente	73
Figura 50. Gráficos de cuantiles de ATS en dirección Valencia para intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente	74
Figura 51. Gráficos de cuantiles de ATS en dirección Interior para intensidades bajas en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente	74

Figura 52. Gráficos de cuantiles de ATS en dirección Interior para intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente	75
Figura 53. Gráficos de cuantiles de v85pc en dirección Valencia para intensidades bajas en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente	75
Figura 54. Gráficos de cuantiles de v85pc en dirección Valencia para intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente	76
Figura 55. Gráficos de cuantiles de v85pc en dirección Valencia para intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente	76
Figura 56. Gráficos de cuantiles de v85pc en dirección Interior para intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente	77
Figura 57. Gráfica de medias de intensidad direccional en intensidades bajas en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 en dirección Valencia	77
Figura 58. Gráfica de medias de la desviación de intensidad direccional en intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 en dirección Valencia.....	78
Figura 59. Gráfica de medias de la desviación de la ATS en intensidades bajas las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21.....	78
Figura 60. Gráfica de medias de la desviación de la ATS en intensidad medias-altas en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21	79
Figura 61. Gráficos de cuantiles de hueco medio en cola en dirección Valencia para intensidades bajas en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21	79
Figura 62. Gráficos de cuantiles de hueco medio en cola en dirección Valencia para intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente	80
Figura 63. Gráficos de cuantiles de hueco medio en cola en dirección Interior para intensidades bajas en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente ...	80
Figura 64. Gráficos de cuantiles de hueco medio en cola en dirección Interior para intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24, CCTV22 y CCTV21 respectivamente	81

Índice de tablas

Tabla 1. Precipitación media mensual	38
Tabla 2. Aproximación de horas en condiciones de día y de noche para cada mes del año	39
Tabla 3. Intensidades medias horarias	47
Tabla 4. Resumen de parámetros a obtener de la visualización de los videos para cada cámara.....	51
Tabla 5. Clasificación y umbrales de la intensidad horaria	52
Tabla 6. Parámetros obtenidos en la Macro 1	57
Tabla 7. Parámetros obtenidos en la Macro 2.....	57
Tabla 8. Parámetros obtenidos en la Macro 3.....	57
Tabla 9. Variables relacionadas con los huecos	58
Tabla 10. Variables relacionadas con la velocidad.....	58
Tabla 11. Horas de visualización de videos de cada día indicando intensidad y reparto	62
Tabla 12. Tabla resumen de velocidades medias y porcentaje de pesados.....	64
Tabla 13. Tabla resumen de velocidades medias	65
Tabla 14. Errores para intensidad y ATS en la cámara CCTV24	71

Capítulo 1

Antecedentes

El presente trabajo de investigación se presenta como Trabajo de Fin de Máster de la alumna Belén Asensio Mateo 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, el Dr. Carlos Llorca García, Profesor Ayudante del mismo Departamento y ahora investigador en TU Múnich, y la Dra. Ana Tsui Moreno Chou, investigadora en TU Múnich. Comentar que se trata de una investigación conjunta en la que se cuenta con la colaboración Nuria Gimeno Gómez 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.

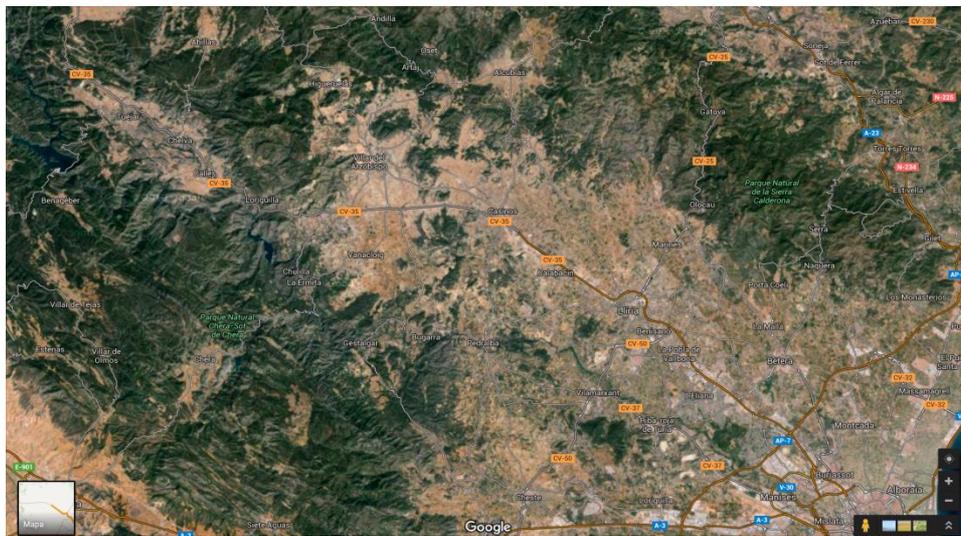
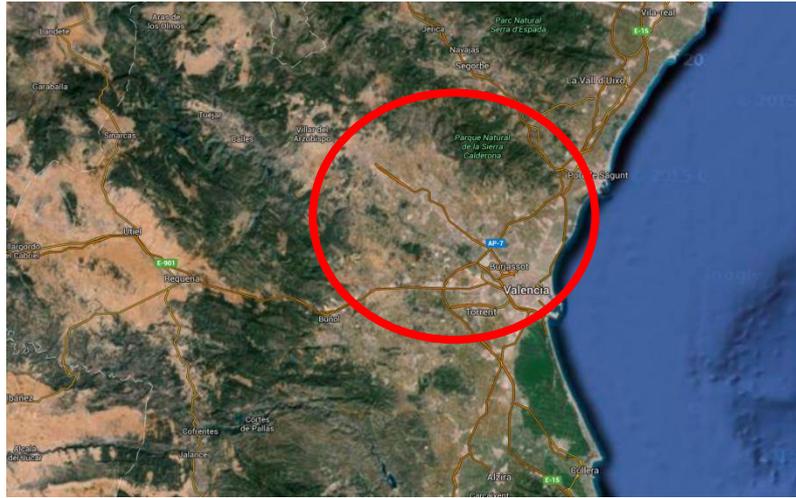


Figura 1. Localización de la carretera CV-35 (Valencia)

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 condición nocturna y comparación con condiciones de día.

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.

Finalmente, la sección 3.2 recogerá la información existente en condiciones nocturnas, a su vez en él se realizará otro dos subapartados. El 3.2.1 mostrará brevemente los estudios sobre la evaluación de la seguridad del tráfico en condiciones nocturnas, mientras que el 3.2.2 mostrará investigaciones existentes en las que se realiza la comparación de la conducción en condiciones diurnas y nocturnas.

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 para este estudio 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 periodos 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:

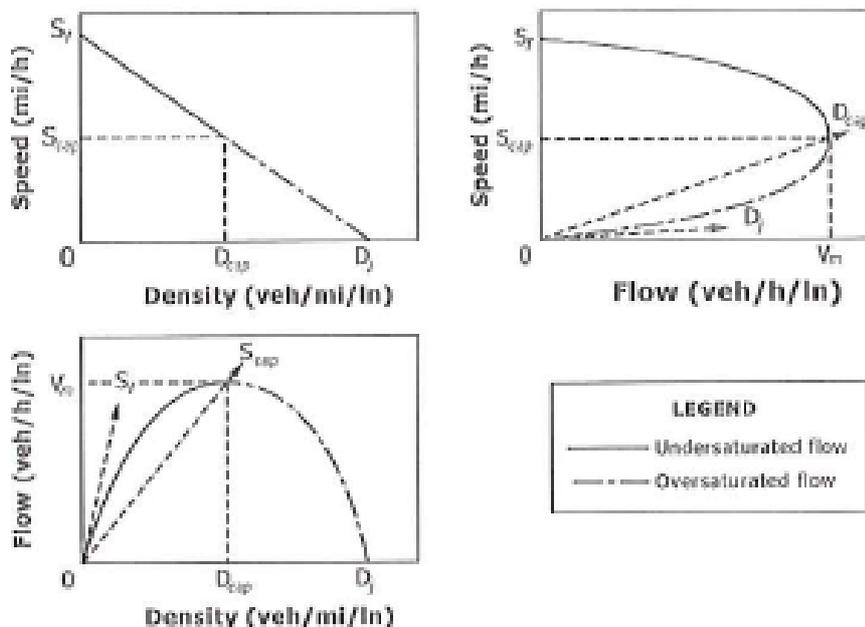


Figura 2. Relaciones entre los parámetros básicos

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.

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

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 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 realizada por Stanisław Gaca, 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 la 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 sobre la obtención de una mejor compresión 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 los modelos de distribución aplicables 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 de Guohui Zhang y Yinhai Wang (2013) se basa en una metodología de modelación Nucleo-Gausiana no paramétrica para caracterizar la distribución de intervalos. Otro estudio realizado por Duy-Hung Ha, Maurice Aron y Simon Cohen (2010) trata sobre la modelación probabilística del intervalo. Los autores Guohui Zhang, Yinhai 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 Yinhai 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 autómatas celulares. 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 y 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 Estado del arte en condiciones nocturnas

En este subapartado se van a incluir aquellos estudios relacionados con la conducción en condiciones nocturnas. Dicha condición presenta gran importancia debido a su relación con la seguridad, produciéndose una gran parte de los accidentes en esta condición.

Este subapartado se divide a su vez en el punto 3.2.1, donde se tratará algunos estudios relacionados con la evaluación de la seguridad del tráfico en conducción nocturna y en el punto 3.2.2, donde se mostrará aquellos que tratan la comparación entre conducción en condiciones diurnas y nocturnas.

3.2.1. Estudios de la evaluación de la seguridad y funcionalidad del tráfico

En esta sección perteneciente al estado del arte se va a mostrar la literatura existente relativa a la seguridad y funcionalidad del tráfico en condiciones nocturnas. En cuanto a los estudios que evalúan la seguridad se encuentra el realizado por Michael D. Keall, William J. Frith y Tui L. Patterson (2005) que trata sobre la influencia del consumo de alcohol, la conducción en condiciones nocturnas y la edad de los conductores sobre el riesgo de accidente. Por otro lado, T. M. Rice, C. Peek-Asa y J. F. Kraus (2003) tienen como objetivo de su estudio el estimar los efectos de la conducción nocturna y el transporte de pasajeros con el ritmo de accidentes.

En cuanto a los estudios que evalúan la funcionalidad del tráfico la investigación realizada por Brandon P. Stodart y Eric T. Donnell (2008) trata de investigar la velocidad y la posición lateral del vehículo para poder determinar si existe alguna relación entre ellos, mientras que Wen Hu y Eric T. Donnell (2010) realizan una estimación de las aceleraciones y deceleraciones de los conductores cuando se aproximan o salen de curvas a lo largo de carreteras rurales con trazados complicados bajo condiciones nocturnas de conducción. Finalmente, Ben-Edigbe Johnnie y Kurnia Yuli Astrid (2013) estiman el impacto de la iluminación de las carreteras sobre las características del flujo de tráfico.

3.2.1.1. Michael D. Keall, William J. Frith y Tui L. Patterson (2005)

Estos autores llevan a cabo un estudio sobre la influencia del consumo de alcohol, la conducción en condiciones nocturnas y la edad de los conductores, sobre el riesgo de accidente basándose en una muestra representativa de los conductores de Nueva Zelanda.

Las conclusiones que obtienen de dicho estudio son las siguientes:

- El riesgo del conductor producido por el consumo de alcohol tiende a disminuir con el aumento de la edad.
- El efecto del alcohol en las noches del fin de semana en carreteras de bajo volumen de tráfico representa el 50% de los casos analizados en conductores menores de 40 años.

- El riesgo de conducción en condiciones nocturnas en comparación con las condiciones diurnas, excluyendo el riesgo asociado al consumo de bebidas alcohólicas durante la conducción, tiende a disminuir con la edad.
- Las carreteras iluminadas por la noche son más seguras que las carreteras sin iluminación, obteniéndose que el riesgo en condiciones nocturnas en ellas es similar al riesgo en condiciones diurnas.

3.2.1.2. T. M. Rice, C. Peek-Asa y J. F. Kraus (2003)

El objetivo de este estudio es estimar los efectos de la conducción nocturna y el transporte de pasajeros con el ritmo de accidentes. Para ello se analizaron datos de accidentes en los que se incluían conductores entre 16 y 17 años en California durante el periodo de 5,5 años antes de implementar el sistema licencias graduadas, en las que se restringen ciertas actividades en la conducción de conductores jóvenes.

La falta de supervisión por un adulto, la presencia de pasajeros jóvenes y la conducción en condiciones nocturnas, están fuertemente asociadas con el incremento de accidentes en conductores jóvenes. Por otro lado, las restricciones a la conducción que comienzan a las 10 pm pueden ser más efectivas que las que comienzan más tarde, ya que el riesgo de accidente se incrementa con el paso de las horas.

3.2.1.3. Ben-Edigbe Johnnie y Kurnia Yuli Astrid (2013)

El estudio realizado por estos investigadores está dirigido a estimar el impacto de la iluminación de las carreteras sobre las características del flujo de tráfico. Para ello miden intensidad, velocidad, densidad e intervalos en un flujo de tráfico ininterrumpido disponiendo de contadores automáticos de tráfico durante las 24 horas instaladas en dos localizaciones en Skudai durante 8 semanas.

El estudio concluye que las carreteras iluminadas no afectan a las características del flujo ya que no hay diferencias significantes entre las características del flujo de tráfico bajo condiciones diurnas y carreteras iluminadas y no se produce una pérdida de capacidad en las carreteras iluminadas.

3.2.1.4. Wen Hu y Eric T. Donnell (2010)

La investigación llevada a cabo por estos autores está dirigida principalmente a la estimación de las aceleraciones y deceleraciones de los conductores cuando se aproximan o salen de curvas a lo largo de carreteras rurales con trazados complicados bajo condiciones nocturnas de conducción.

Este estudio considera las condiciones geométricas complejas en una sección de carretera de tres millas de longitud, donde los participantes de la investigación viajan en ambas direcciones durante dos noches distintas.

Los resultados obtenidos en este estudio pueden ser utilizados como punto de partida para el desarrollo de modelos de aceleración-desaceleración en trazados complejos, los cuales pueden servir para complementar modelos existentes de carreteras rurales de dos carriles. Estos resultados también pueden ser utilizados como referencia en el desarrollo y revisión de las políticas de diseño geométrico.

En consideración al diseño de trazados complejos, se ha observado algunos temas que pueden ser considerados en las políticas de diseño, entre ellos se incluye:

- Deben evitarse grandes diferencias de longitudes entre curvas, ya que esto puede permitir grandes cambios en las deceleraciones y aceleraciones cuando los vehículos se aproximan o salen de las curvas.
- Radios pequeños de las curvas permiten grandes aceleraciones cuando los vehículos salen de las curvas y grandes deceleraciones cuando los vehículos se aproximan a las curvas.
- Grandes diferencias entre los radios de curvas sucesivas permite aumentar la deceleración mientras los conductores se aproximan a la curva.

Los resultados del estudio indican que un seguimiento continuo de los vehículos en una carretera compleja produce asociaciones estadísticas entre el comportamiento del conductor y la geometría.

3.2.1.5. Brandon P. Stodart y Eric T. Donnell (2008)

La investigación llevada a cabo por estos autores trata sobre un estudio nocturno controlado a lo largo de una carretera convencional en Pensilvania. En él se ha tratado de investigar la velocidad y la posición lateral del vehículo para poder determinar si existe alguna relación entre ellos.

La metodología empleada se ha basado en una variedad de ecuaciones y sistemas para estimar los modelos de velocidad y la posición lateral del vehículo.

Estos métodos se han utilizado para determinar si hay alguna relación entre la velocidad y la posición del vehículo lateral, obteniéndose como resultado que no existe relación entre ambos.

3.2.2. Comparación entre conducción en condiciones diurnas y nocturnas

En este subapartado, que forma parte del estado de arte en condiciones nocturnas, se va a tratar todas aquellas investigaciones previas a la del presente estudio que tengan como objetivo la comparación entre la conducción en condiciones diurnas y nocturnas.

La investigación llevada a cabo por Francesco Bella y Alessandro Calvi (2011) muestra los resultados de un estudio destinado a la verificación de si las medidas de diseño basadas en el perfil de velocidades del conductor pueden proporcionar evaluaciones diferentes para la carretera durante el día y la noche. Por otro lado, Marco Bassani y Guglielmina Mutani (2011) tienen como objetivo de su estudio analizar la velocidad escogida por los conductores bajo diferentes condiciones de luminosidad (en condiciones diurnas y nocturnas). Continuando con el efecto de la luminosidad, Carlos Llorca et al., (2014) estudian el efecto que presenta la misma sobre la velocidad, los

vehículos en seguimiento y las maniobras de adelantamiento en carreteras rurales de dos carriles.

3.2.2.1. Francesco Bella and Alessandro Calvi (2011)

La investigación llevada a cabo por estos autores muestra los resultados de un estudio destinado a la verificación de si las medidas de diseño basadas en el perfil de velocidades del conductor pueden proporcionar evaluaciones diferentes para la carretera durante el día y la noche.

Mediante la utilización de un simulador interactivo de la conducción fue llevado a cabo un estudio experimental para:

- Evaluar la velocidad diferencial durante la conducción nocturna para la identificación de situaciones críticas en las carreteras en las que el análisis basado en la velocidad durante el día no es capaz de revelar.
- Identificar las medidas de seguridad más eficientes, lo que contribuye a incrementar la seguridad en la conducción nocturna.

Para ello fue implementada una carretera rural con un alto ratio de accidentalidad en un simulador de conducción y el comportamiento de una gran muestra de participantes fue grabado en condiciones diurnas y nocturnas.

Basándose en un registro de 39 curvas, se obtuvo como resultado que para bastantes transiciones en configuraciones de curvas, el análisis de la velocidad diferencial basada en la velocidad durante la conducción diurna no es capaz de identificar situaciones críticas dadas durante la conducción nocturna, lo que demuestra la necesidad del desarrollo de evaluaciones no solo durante la conducción diurna sino también bajo condiciones nocturnas.

Además han sido propuestas medidas de seguridad para reducir la velocidad diferencial de situaciones críticas identificadas durante simulaciones nocturnas, mediante la reducción de la velocidad en la aproximación de la tangente e incrementando la visibilidad del conductor y la percepción del tramo en curva.

3.2.2.2. Marco Bassani y Guglielmina Mutani (2011)

El objetivo del estudio realizado por estos autores es analizar, en particular, la velocidad escogida por los conductores bajo diferentes condiciones de luminosidad, en condiciones diurnas y nocturnas.

Para ello han sido seleccionadas seis carreteras para la observación y medidas de las velocidades, así como la iluminación sobre el pavimento. Comentar que las carreteras seleccionadas son carreteras urbanas arteriales localizadas en Turín (Italia).

Para la obtención de los resultados se han basado en el percentil 85 de la velocidad, el cual representa la velocidad en flujo libre de los vehículos, obteniéndose como resultado que la iluminación junto a otros factores como la posición del carril, el ancho de la calzada y la velocidad límite deben ser consideradas como variables que influyen sobre la velocidad escogida por el conductor.

3.2.2.3. Carlos Llorca et al., (2014)

Este documento estudia el efecto que presenta la luminosidad sobre la velocidad, los vehículos en seguimiento y las maniobras de adelantamiento en carreteras rurales de dos carriles. Para ello se ha analizado la velocidad, el intervalo y las maniobras de adelantamiento a lo largo de un segmento de 7 km de carretera, mediante la observación y caracterización de un total de 316 vehículos (200 en condiciones diurnas y 116 en condiciones nocturnas) gracias a 6 cámaras de video presentes en dicho tramo.

El análisis muestra que no hay diferencias relevantes entre condiciones diurnas y nocturnas en lo que a las velocidades en condiciones de flujo libre se refiere. El intervalo en condiciones diurnas entre vehículos en cola decrece a lo largo de las zonas de no adelantamiento, teniendo un 15% de los vehículos un intervalo por debajo de un segundo con el vehículo líder al final de la zona de no adelantamiento. Sin embargo, durante la noche, esta proporción se ve reducida a la mitad y los intervalos no decrecen de forma significativa.

Durante condiciones diurnas, se observa cómo el intervalo aumenta en las zonas de adelantamiento, mostrando el efecto de las maniobras de adelantamiento en la reducción de las colas. Por otro lado, los intervalos en condiciones nocturnas decrecen y el porcentaje de vehículos en cola aumenta. Este resultado se complementa con una baja frecuencia de adelantamientos observada durante la noche en las zonas de adelantamiento.

Los resultados obtenidos indican que la densidad del tráfico en carreteras convencionales con altos volúmenes de tráfico puede ser menor durante la noche debido al alto espaciamiento entre vehículos en cola y al ser más conservadora la decisión de realizar maniobras de adelantamientos. Esto puede causar una reducción en la capacidad o niveles de servicio.

3.3. Resumen del estado del arte

3.3.1. 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 de 1 segundo, están relacionados con una conducción agresiva y velocidades altas.

3.3.2. Conclusiones de la condición nocturna

Las investigaciones revisadas se centran, por un lado, tanto en la seguridad como en la funcionalidad de las carreteras y por otro lado, en la comparación entre la conducción en condiciones nocturnas y diurnas.

Comenzando por las investigaciones relativas a la seguridad de las carreteras, se ha llegado a que el riesgo de conducción en condiciones nocturnas en comparación con las condiciones diurnas tiende a disminuir con la edad, por otro lado se tiene que, las carreteras iluminadas por la noche son más seguras que las carreteras sin iluminación, obteniéndose que el riesgo en condiciones nocturnas en ellas es similar al riesgo en condiciones diurnas.

En cuanto a la funcionalidad de las carreteras, se obtiene que en condiciones nocturnas no existe ninguna relación entre la velocidad y la posición lateral del vehículo y que existe una cierta relación entre el comportamiento del conductor y la geometría de la vía.

Por otro lado, en cuanto a la comparación entre la conducción en condiciones diurnas y nocturnas se obtiene que el análisis de la velocidad diferencial basada en la velocidad durante la conducción diurna no es capaz de identificar situaciones críticas dadas durante la conducción nocturna, lo que demuestra la necesidad del desarrollo de evaluaciones no solo durante la conducción diurna sino también bajo condiciones nocturnas. Además, se demuestra la importancia de la iluminación como variable que influye sobre la velocidad escogida por el conductor. Para finalizar, también se obtiene que la densidad del tráfico en carreteras convencionales con altos volúmenes de tráfico puede ser menor durante la noche debido al alto espaciamiento entre vehículos en cola y al ser más conservadora la decisión de realizar maniobras de adelantamientos, lo que puede causar una reducción en la capacidad o niveles de servicio.

3.3.3. Necesidad de investigación

Es debido a la relevancia de la conducción en condiciones nocturnas con respecto a la seguridad vial, así como a la necesidad del desarrollo de evaluaciones durante la conducción nocturna por lo que se lleva a cabo la presente investigación. Esta, con la colaboración de las otras dos investigaciones llevadas a cabo de forma paralela, además 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 nocturnas en comparación con condiciones diurnas

En este subapartado se recogen las hipótesis formuladas acerca de las condiciones nocturnas en comparación con las condiciones diurnas en iguales rangos de intensidades de modo que se esté en igualdad de condiciones. Las hipótesis son las siguientes:

- El porcentaje de vehículos en cola es mayor en condiciones nocturnas que en condiciones diurnas. Esto puede asociarse al menor deseo de adelantamiento al percibir el conductor un menor grado de seguridad.
- En cuanto a la velocidad media de recorrido, en condición de día será mayor que en condición de noche. Esto se debe a que en condiciones nocturnas se dan condiciones de visibilidad peores por lo que los conductores perciben un menor grado de seguridad, lo que conlleva a velocidades menores.

- Los huecos entre vehículos consecutivos (en cola) serán mayores en condiciones nocturnas. Esto se debe a que el conductor percibe un menor grado de seguridad debido a las malas condiciones de visibilidad, por lo que deja un mayor hueco con el vehículo delantero como medida de seguridad. Esto también se relaciona con el menor deseo de adelantamiento en dichas condiciones.

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 al año, 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/m²/mes)
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

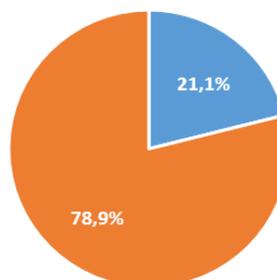
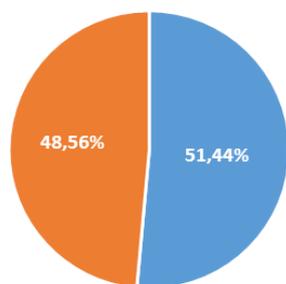
Tabla 2. Aproximación de horas en condiciones de día y de noche para cada mes del año

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 llueva 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.

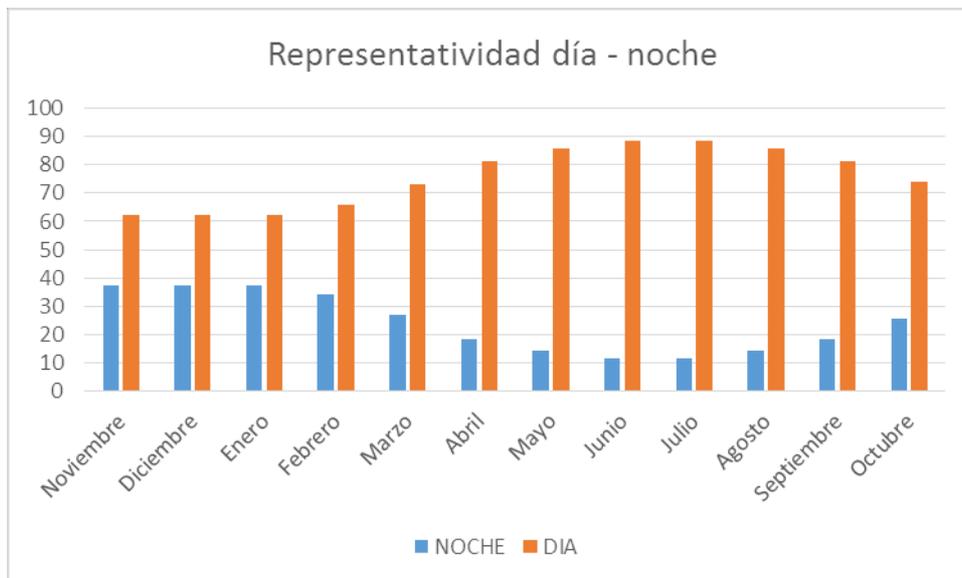


Figura 5. Representatividad del porcentaje de IMD de día frente a noche para cada mes

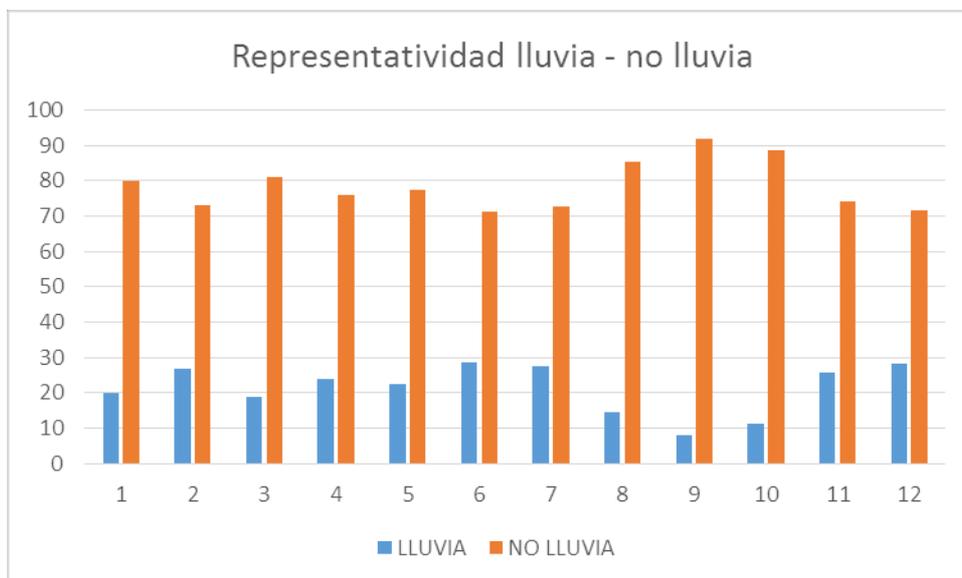


Figura 6. Representatividad del porcentaje de IMD de lluvia frente a no lluvia para cada mes

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 mostraran 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 esa 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.

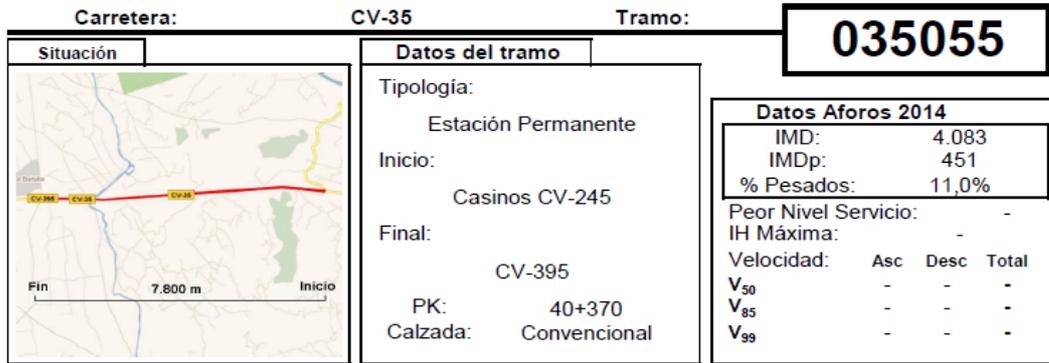


Figura 8. Información general del tramo de estudio

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.

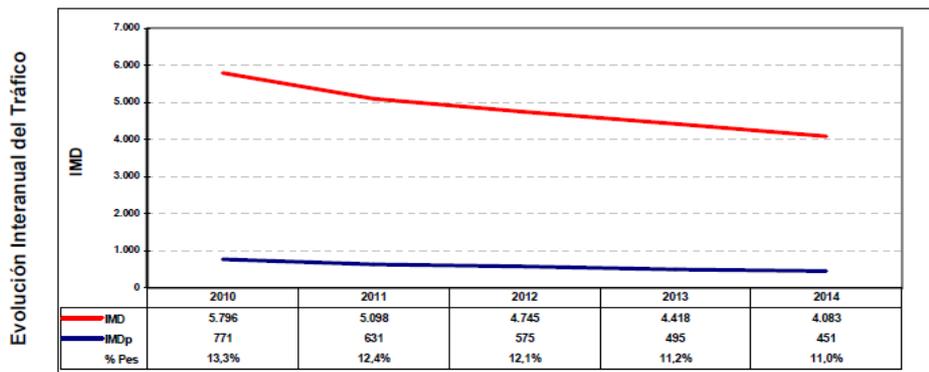


Figura 9. Evolución interanual de tráfico en el tramo de estudio (IMD)

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.

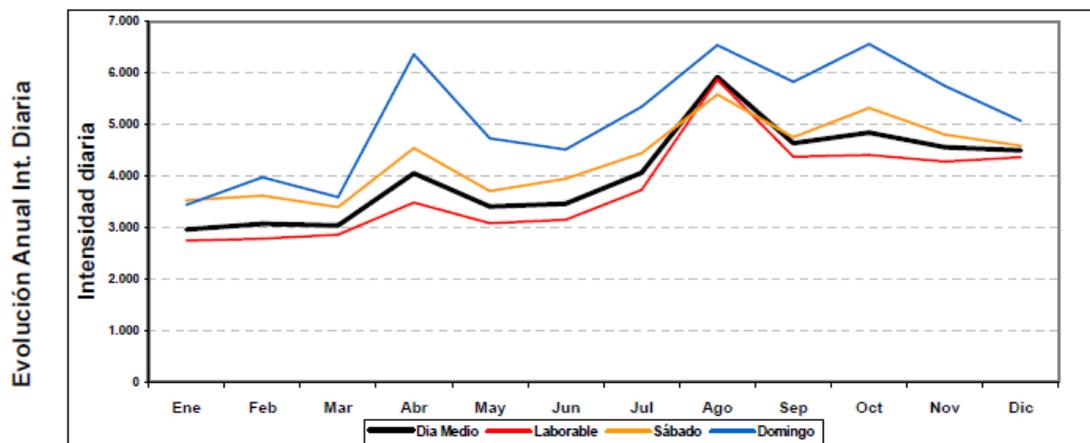


Figura 10. Gráfico de la evolución anual de intensidad diaria

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 afin (tramo 035080) cuyos datos se muestran a continuación, comparándose con los del tramo a estudiar.

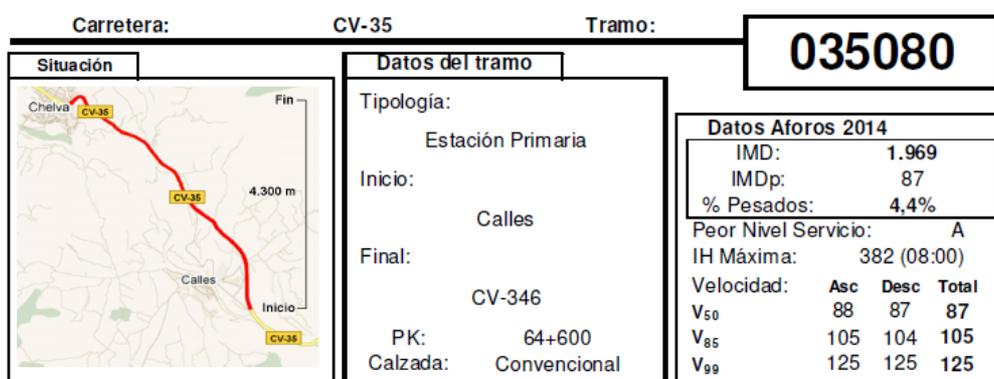


Figura 12. Información general del tramo 035080

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.

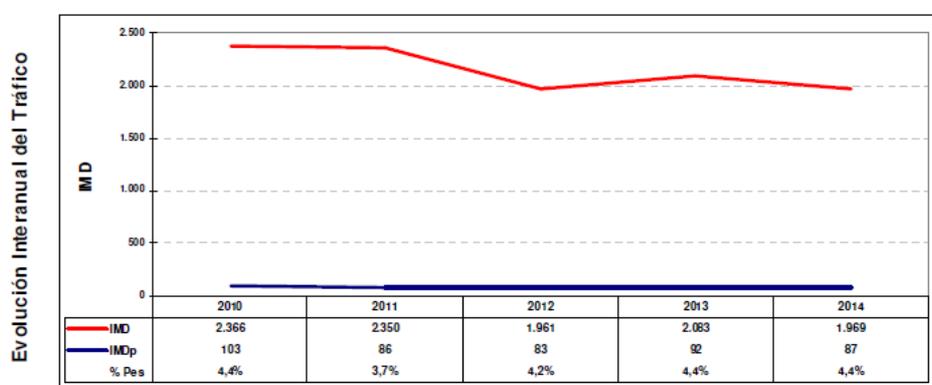


Figura 13. Evolución interanual del tráfico en el tramo 035080 (IMD)

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.

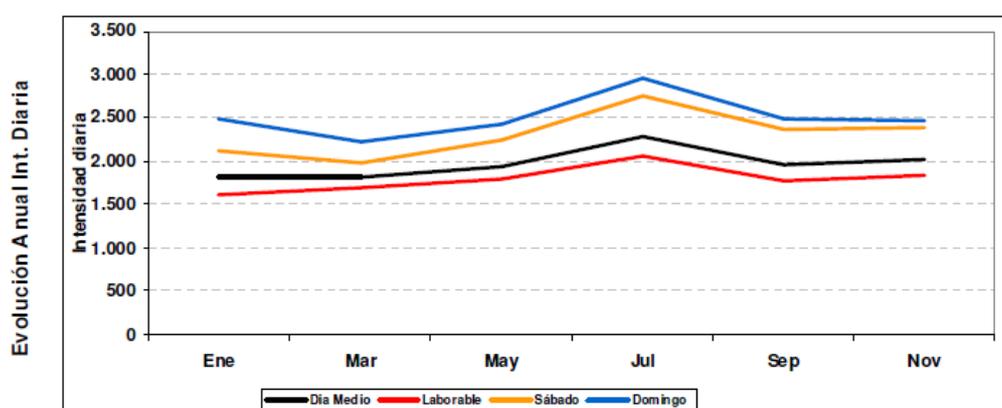


Figura 14. Gráfico de la evolución anual de intensidad diaria

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.

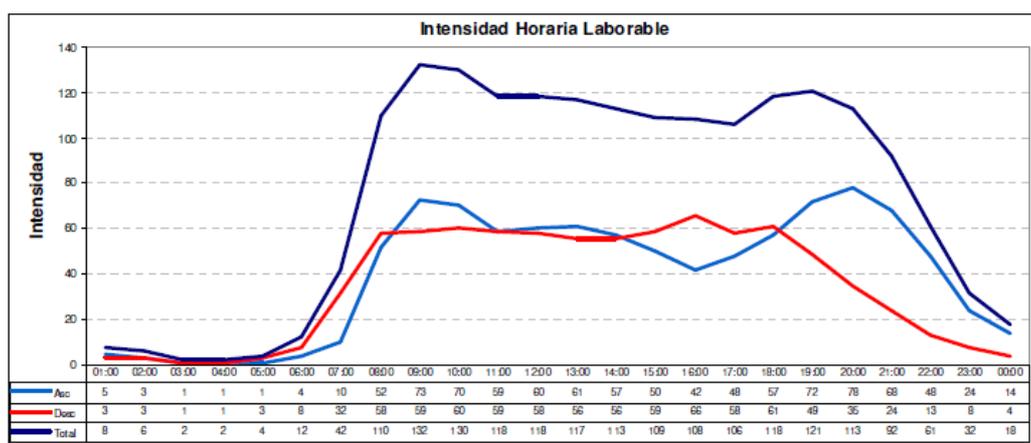


Figura 16. Gráfica de intensidad horaria en días laborables

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.

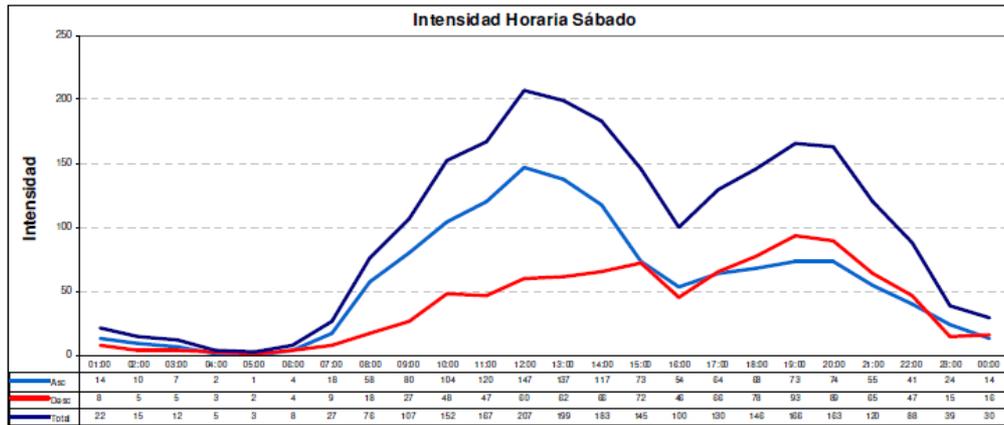


Figura 17. Gráfica de intensidad horaria en sábados

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.

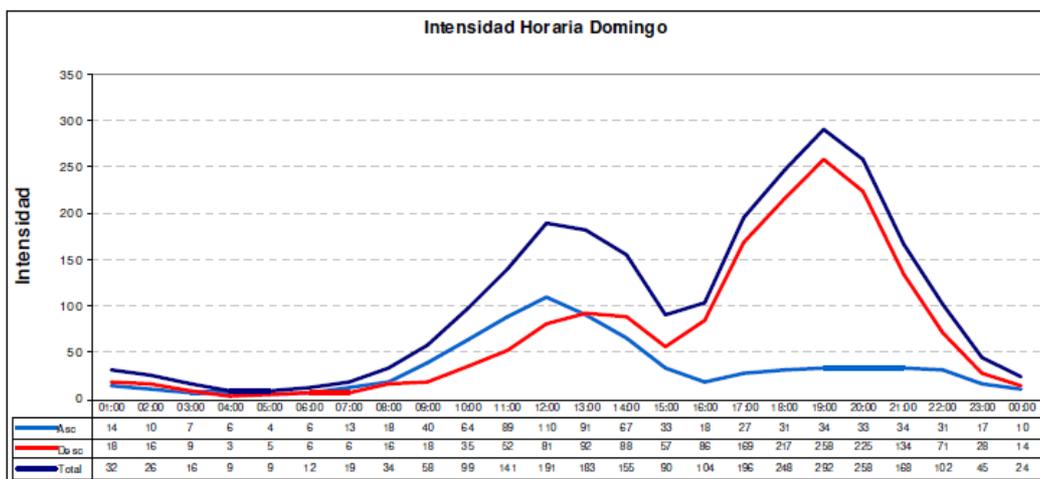


Figura 18. Gráfica de intensidad horaria en domingos

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.

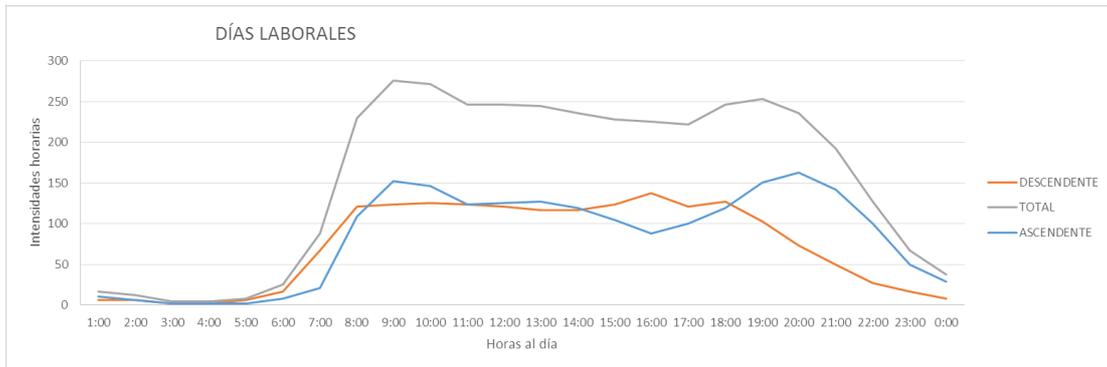


Figura 19. Gráfica de intensidad horaria en días laborales

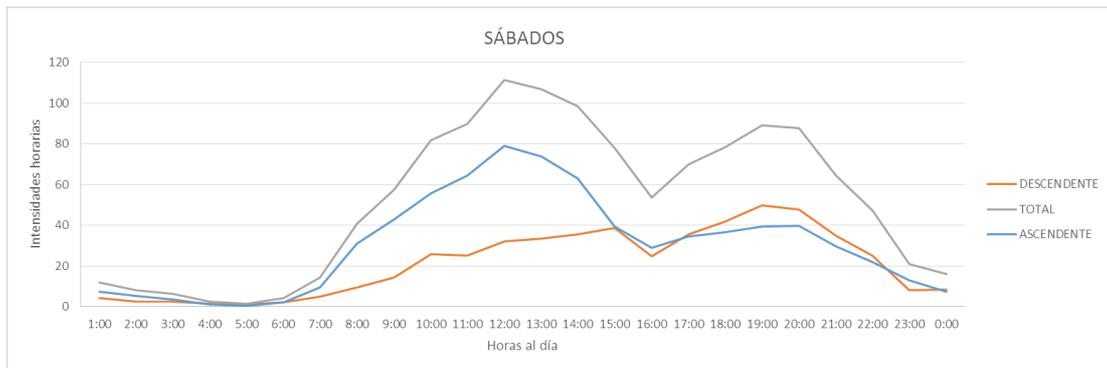


Figura 20. Gráfica de intensidad horaria en sábados

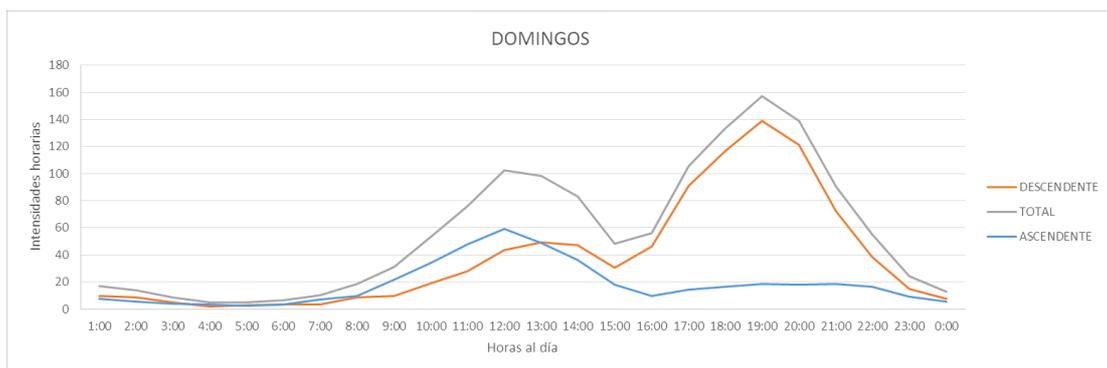


Figura 21. Gráfica de Intensidad horaria en domingos

Por último comentar, que dado a que se ha seguido el patrón de comportamiento de la IMD de la estación de aforo afín (tramo 03508), 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 la dirección ascendente hacia el interior y la dirección 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 está 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.

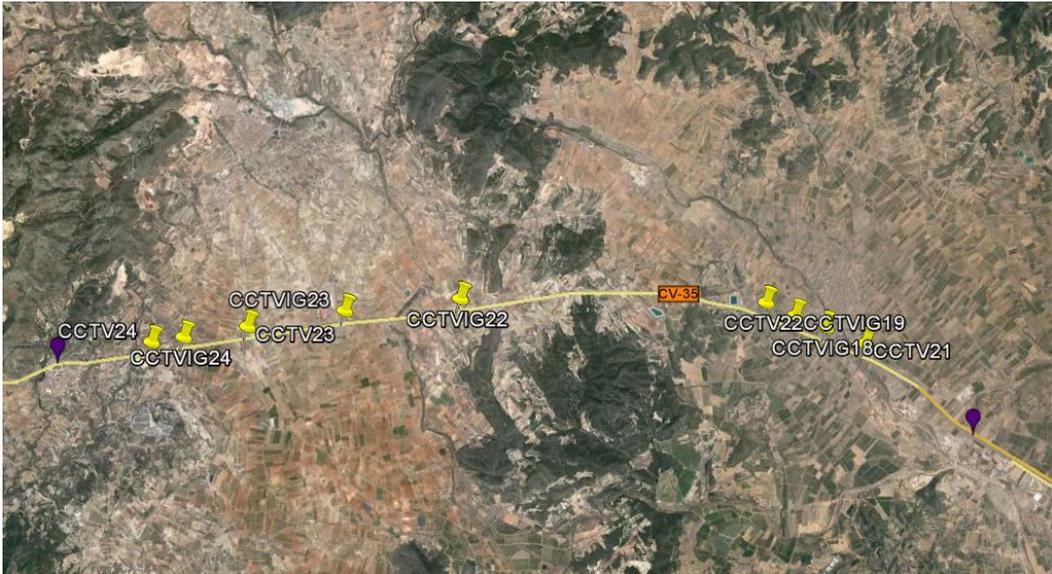


Figura 23. Localización de las cámaras de tráfico de la CV-35 (II)

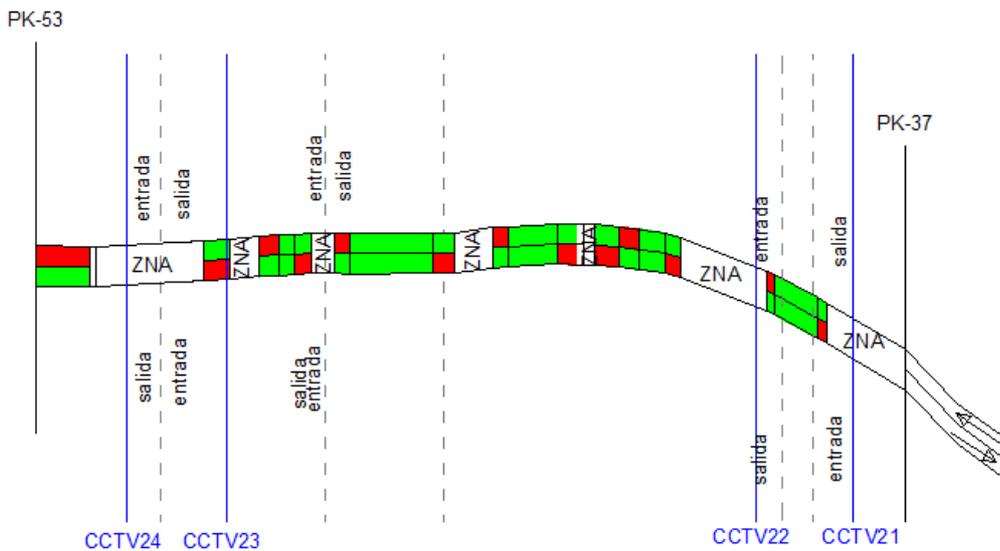


Figura 24. Esquema de representación de cámaras, zonas de adelantamiento permitido o no y entradas y salidas a la CV-35.

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
VALOCIDAD		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 (VH/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 videos. 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 si 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.

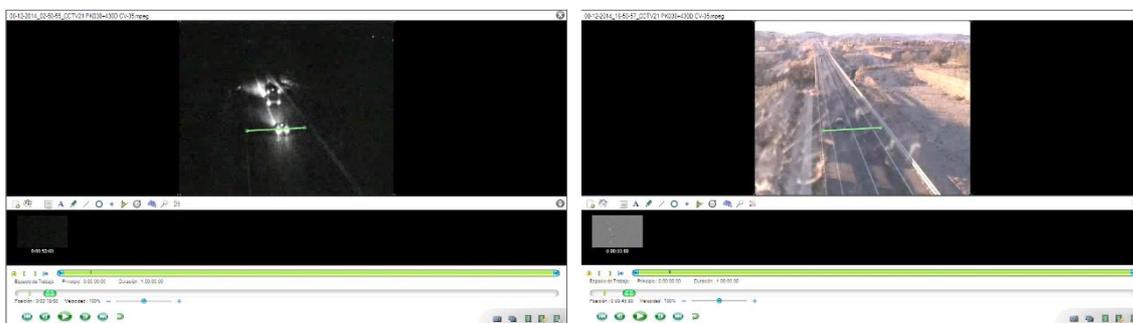


Figura 25. Programa KINOVEA cálculo de intervalo, CCTV21 dirección interior y Valencia

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.

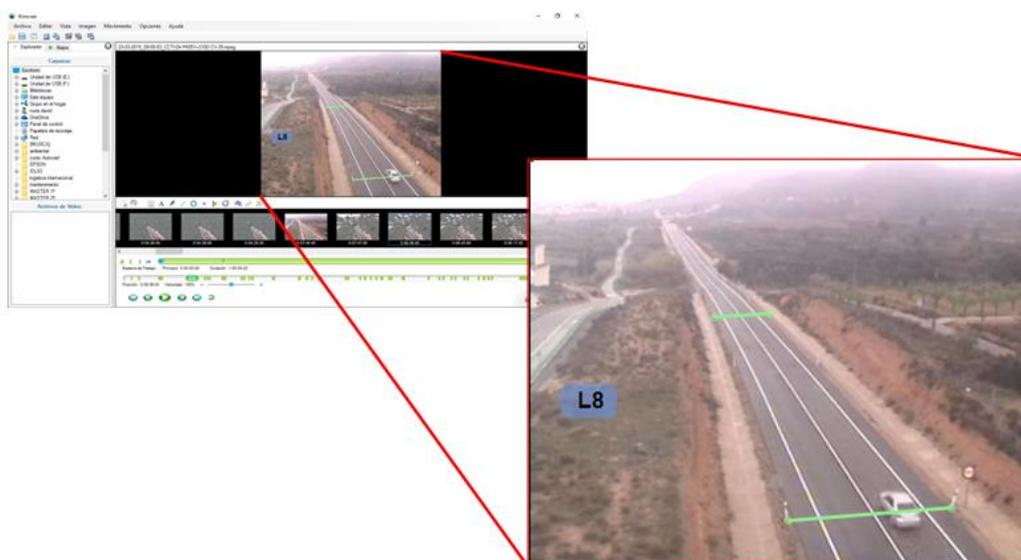


Figura 26. Programa KINOVEA cálculo de la velocidad, CCTV24 dirección interior

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, 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

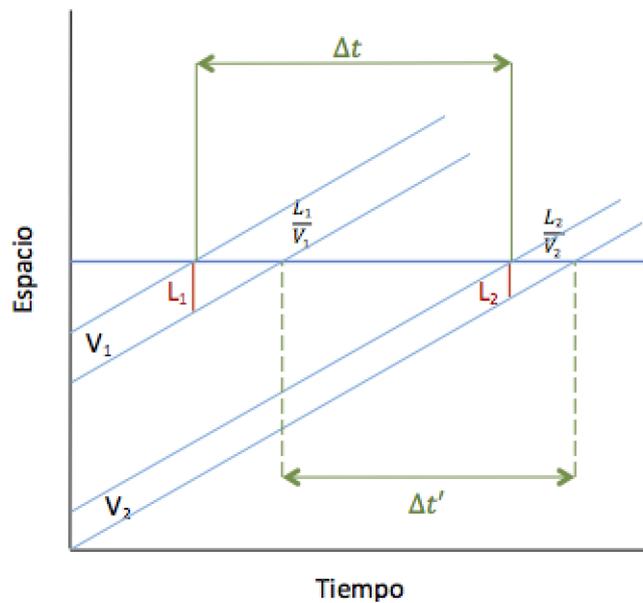


Figura 29. Diagrama espacio-tiempo explicativo para la obtención del intervalo corregido

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

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 4.5m.
- Vehículo pesado: aquel vehículo con más de dos ejes, considerando una longitud media de este de 16.5m.
- 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.
- 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.
- Velocidad en flujo libre: se considera el percentil 85 de la velocidad media de recorrido, suponiendo que se da para intervalos mayores a 6 segundos.
- 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.

	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	
1	id	vehículo	pasado	vehículo	h	vehículo	Repaso	PF	FD	ATS	ATSpq	K	des	ATSpq	des	V85	longitud	cola	media	desviación	std	desviación	std	
2	40	0	324	364	11	20	0.074	10.25	108.23	0.374	21.23	22.05	100.71	1.25	0.5	0	100	112.21	100.31	80				
3	40	0	328	344	4.7	0	0	103.07	103.07	0.147	20.43	20.43	124.71	1	0	0	100	103.07	0	100				
4	24	0	324	348	6.3	6.67	0.042	95.96	95.96	0.25	16.11	16.11	116.5	1.2	0	0	100	98.01	85.71	83.33				
5	20	0	300	320	8.2	20	0.039	102.48	102.48	0.195	22.38	22.38	128.70	1.25	0	0	100	106.67	85.71	86				
6	48	0	292	340	18.1	0.33	0.037	103.22	103.22	0.439	18.45	18.45	133.23	1.09	0	0	100	111.36	85.71	81.67				
7	44	18.2	312	356	15.4	9.05	0.035	103.56	104.07	0.399	17.4	17.36	137.54	1.1	0	0	100	112.81	90	80.39				
8	40	28	324	364	11	0	0.036	107.77	110.02	0.371	15.53	15.53	120.65	1.11	0	0	100	105.74	90	80				
9	36	22.2	288	324	11.1	11.1	0.037	104.79	107.67	0.344	16.81	16.27	118.39	1.12	0	0	100	106.64	90	80.89				
10	36	0	294	300	12	0	0	108.46	108.46	0.332	15.1	15.1	112.5	1	0	0	100	106.46	0	100				
11	52	0	248	300	16.2	0	0	111.22	111.22	0.468	15.11	15.11	113.59	1	0	0	100	111.22	0	100				
12	40	0	280	300	10.3	0	0	103.24	108.24	0.37	14.56	14.56	117.39	1	0	0	100	108.24	0	100				
13	40	0	276	316	12.7	0	0	103.76	103.76	0.344	16.28	16.28	116.66	1	0	0	100	103.76	0	100				
14	36	0	244	280	12.3	0	0	103.06	108.06	0.333	21.06	21.06	134.77	1	0	0	100	108.06	0	100				
15	52	0	204	236	13.6	0	0	112.61	112.61	0.284	21.23	21.23	137.97	1	0	0	100	112.61	0	100				
16	48	0	156	204	23.5	0	0	115.25	115.25	0.418	18.23	18.23	116.48	1	0	0	100	115.25	0	100				
17	48	0	140	184	23.9	0	0	112.83	112.83	0.39	16.95	16.95	113.52	1	0	0	100	112.83	0	100				
18	52	0	156	208	25	0	0	113.23	113.23	0.429	15.96	15.96	110.25	1	0	0	100	113.23	0	100				
19	36	0	156	182	18.8	0	0	117.99	117.99	0.333	12.36	12.36	118.5	1	0	0	100	117.99	0	100				
20	44	0	188	180	14.4	0	0	111.04	111.04	0.396	17.42	17.42	114.23	1	0	0	100	111.04	0	100				
21	44	0	156	200	22	0	0	112.5	112.5	0.391	18.21	18.21	118.57	1	0	0	100	112.5	0	100				
22	52	0	140	192	27.1	7.83	0.036	114.8	114.8	0.453	17.47	17.47	112.03	1.08	0	0	100	116.48	94.74	92.31				
23	44	0	140	164	23.9	3.03	0.034	110.03	110.03	0.363	18.68	18.68	116	1.1	0	0	100	110.03	94.74	90.39				
24	44	0	120	164	28.9	9.03	0.036	110.45	110.45	0.398	22.56	22.56	132	1.1	0	0	100	110.45	94.74	90.39				
25	32	0	168	140	22.9	0	0	113.76	113.76	0.39	29.77	29.77	118.29	1	0	0	100	113.76	0	100				
26	48	8.3	112	160	30	6.67	0.08	111.71	110.04	0.472	20.77	20.83	118.5	1.2	0.5	20	104.39	88.28	83.33					
27	44	5.1	160	188	18	16	0.077	105.29	110.62	0.418	22.37	22.01	120	1.22	0.5	18	103.88	88.28	81.62					
28	44	5.1	76	120	36.7	18.18	0.072	112.31	111.54	0.382	16.1	16.03	118.57	1.22	0.5	16	117.05	88.28	81.62					
29	28	0	80	80	35	0	0	115.69	115.69	0.242	15.32	15.32	118.57	1	0	0	100	115.69	0	100				
30	40	0	60	80	29	0	0	118.8	118.8	0.187	12.43	12.43	118.57	1	0	0	100	118.8	0	100				
31	40	0	56	28.6	0	0	0	117.23	117.23	0.196	13.1	13.1	118.57	1	0	0	100	117.23	0	100				
32	36	0	48	56	28.6	0	0	115.76	115.76	0.198	14.39	14.39	118.57	1	0	0	100	115.76	0	100				
33	36	0	28	40	30	0	0	119.05	119.05	0.191	16.5	16.5	118.57	1	0	0	100	119.05	0	100				
34	32	0	28	40	30	0	0	119.05	119.05	0.191	16.5	16.5	118.57	1	0	0	100	119.05	0	100				

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

```

-----RESULTADOS-----
ith Workshets("Velocidad")
'--datos de tráfico
Workshets("15min").Cells(tp, 8).Value = 4 * (fila_todo - 1) 'intensidad direccional, convertido a 1 hora
If fila_pasado = 1 < 0 Then
Workshets("15min").Cells(tp, 9).Value = 0
Else
Workshets("15min").Cells(tp, 9).Value = Round((4 * (fila_pasado - 1)) / Workshets("15min").Cells(tp, 8).Value * 100, 1) 'porcentaje de vehi
End If
Workshets("15min").Cells(tp, 10).Value = 4 * (Workshets("5min").Cells(tp, 10) / 12 + Workshets("5min").Cells(tp + 1, 10) / 12 + Workshets("5m
Workshets("15min").Cells(tp, 11).Value = Workshets("15min").Cells(tp, 10).Value + Workshets("15min").Cells(tp, 8).Value * intensidad total
Workshets("15min").Cells(tp, 12).Value = Round(Workshets("15min").Cells(tp, 8).Value / Workshets("15min").Cells(tp, 11).Value * 100, 1) 'separ
'--medidas de desempeño
Workshets("15min").Cells(tp, 13).Value = Round((fila_cola - 1) / (fila_todo - 1) * 100, 2) 'PF-----porcentaje de coches en cola
Workshets("15min").Cells(tp, 14).Value = Round(WorkshetsFunction.Average(.Columns((tp - 1) + 9 + 1), 2) 'ATS
Workshets("15min").Cells(tp, 15).Value = Round(WorkshetsFunction.Average(.Columns((tp - 1) + 9 + 2), 2) 'ATSpq ligeros
Workshets("15min").Cells(tp, 16).Value = Round(Workshets("15min").Cells(tp, 8).Value / Workshets("15min").Cells(tp, 15).Value) * Workshets("1
Workshets("15min").Cells(tp, 17).Value = Round(Workshets("15min").Cells(tp, 8).Value / Workshets("15min").Cells(tp, 15).Value) * Workshets("1
Workshets("15min").Cells(tp, 18).Value = Round(WorkshetsFunction.StDev(.Columns((tp - 1) + 9 + 1), 2) 'desviación ATS
Workshets("15min").Cells(tp, 19).Value = Round(WorkshetsFunction.StDev(.Columns((tp - 1) + 9 + 2), 2) 'desviación ATSpq
Workshets("15min").Cells(tp, 20).Value = Round(WorkshetsFunction.Percentile(.Columns((tp - 1) + 9 + 4), 0.85), 2) 'fff 3 segundos, percentil 85
Workshets("15min").Cells(tp, 21).Value = Round(WorkshetsFunction.Average(.Columns((tp - 1) + 9 + 9), 2) 'longitud cola media
Workshets("15min").Cells(tp, 26).Value = Round((fila_long_cola - 1) / (fila_todo - 1) * 100, 2) '4 vehiculos en flujo libre

```

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.

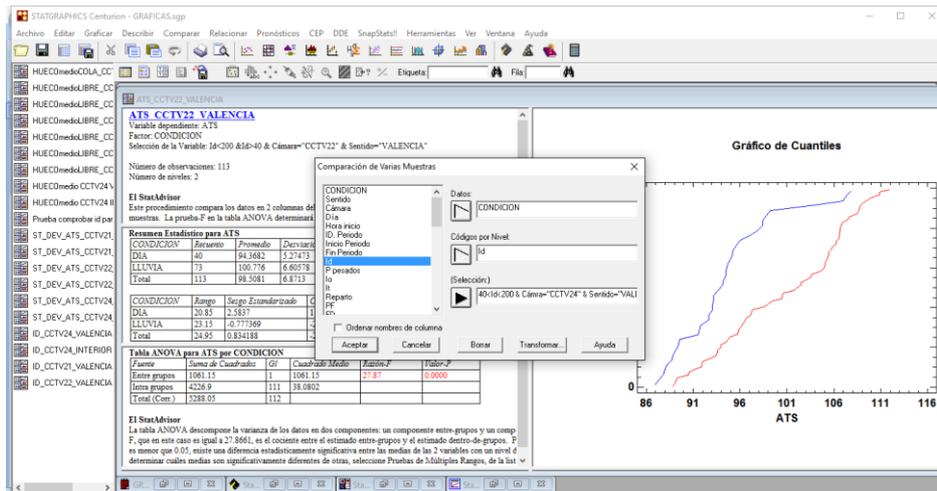


Figura 32. Captura de imagen de STATGRAPHICS

7.2. Metodología en condiciones nocturnas

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

Se definen como condiciones nocturnas las que tiene lugar en oscuridad total, pudiendo asegurar que la única iluminación es la generada por los faros de vehículos. No se observan farolas en el entorno de la carretera ni se detecta luz solar en ningún caso.

Los videos proporcionados por la CEGESEV, para la situación nocturna corresponden a los días 5 y 8 de Diciembre del año 2015, coincidiendo con una operación salida, por lo que se dan intensidades elevadas. Los datos originales se componen de 48 videos (para cada cámara) con una duración de sesenta minutos, completando las 24 h de cada día.

La Figura 33 presenta un calendario exclusivamente del mes de Diciembre del año 2015, con el objetivo de mostrar a qué 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			

Figura 33. Días de visualización de videos

De cada día se seleccionan las horas más representativas de la totalidad de los datos que abarquen los distintos niveles de tráfico, garantizando de este modo la posibilidad de comparar las condiciones nocturnas y diurnas. Las horas finalmente escogidas para el análisis se muestran en la siguiente tabla:

Día	Hora	Intensidad (Vh/h)	Reparto
5 de Diciembre	18:50	492 (media)	Compensado
	19:50	576 (media)	Compensado
	20:50	300 (baja)	Descompensado
	21:50	228 (baja)	Descompensado
8 de Diciembre	18:50	696 (alta)	Descompensado
	19:50	612 (alta)	Descompensado
	20:50	204 (baja)	Descompensado
	21:50	144 (baja)	Compensado

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

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

Comentar que la totalidad de horas de video visualizadas alcanzan un total de 48 horas, con 8.854 vehículos contabilizados.

A continuación, se va a explicar el procedimiento de colocación de las líneas para la toma de datos en el 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 dirección hacia el 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 han de colocar dos líneas para poder medir tanto la velocidad como el intervalo entre vehículos. Estas líneas tienen una separación aproximada de 100 m, 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 velocidad 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, teniendo el carril derecho la dirección hacia el Interior mientras que el carril izquierdo la dirección hacia Valencia.

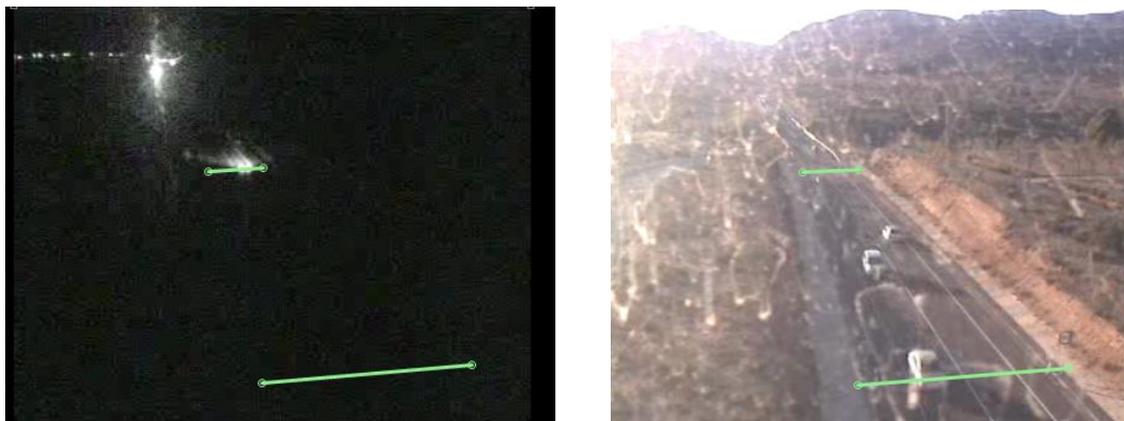


Figura 36. Líneas para medir intervalos y velocidad en CCTV24

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 para tanto como para vehículos ligeros como pesados, así como el porcentaje de vehículos pesados en cada una de ellas.

Cámara	Sentido	Día	Hora	% Vehículos pesados	Velocidad media ligeros (km/h)	Velocidad media pesados (km/h)
CCTV21	Valencia	5/12/2015	18:50	6,5	87,07	77,75
			19:50	4,17	90,56	73,5
			20:50	10,35	95,56	82,65
			21:50	4,17	94,42	77,97
	Interior	5/12/2015	18:50	2,28	85,35	77,86
			19:50	1,562	86,44	78,38
			20:50	2,03	88,38	71,22
			21:50	3,05	87,99	72
CCTV22	Valencia	5/12/2015	18:50	5,31	87,07	77,75
			19:50	3,26	90,56	73,5
			20:50	11,12	95,56	82,65
			21:50	0	94,42	-
	Interior	5/12/2015	18:50	2,58	85,35	77,86
			19:50	1,19	86,44	78,38
			20:50	1,99	88,38	71,22
			21:50	0,72	87,99	72
CCTV24	Valencia	5/12/2015	18:50	1,23	100,94	94,74
			19:50	3,57	106,07	75
			20:50	6,67	112,97	100,31
			21:50	0	109,08	-
	Interior	5/12/2015	18:50	2,92	107,25	93,05
			19:50	0,40	107,19	100
			20:50	1,71	108,28	103,16
			21:50	0	113,13	-
CCTV21	Valencia	8/12/2015	18:50	0,54	84,74	80,04
			19:50	0,96	88,88	69,23
			20:50	1,54	91,81	80,36
			21:50	2,86	94,52	83,77
	Interior	8/12/2015	18:50	4,69	89,36	78,86
			19:50	2,56	92,33	81,82
			20:50	3,51	90,96	86,49
			21:50	0	92,50	-
CCTV22	Valencia	8/12/2015	18:50	0,42	84,74	80,04
			19:50	0,36	88,88	69,23
			20:50	1,83	91,81	80,36
			21:50	3,33	94,52	83,77
	Interior	8/12/2015	18:50	4,08	89,36	78,86
			19:50	3,17	92,33	81,82
			20:50	4,35	90,96	86,49
			21:50	0	92,50	-
CCTV24	Valencia	8/12/2015	18:50	0,64	101,25	92,86
			19:50	1,10	105,28	97,94
			20:50	1,58	111,46	90
			21:50	2,78	114,78	100
	Interior	8/12/2015	18:50	8,33	108,32	94,74
			19:50	0	112,39	-
			20:50	3,57	109,95	94,74
			21:50	0	109,51	-

Tabla 12. Tabla resumen de velocidades medias y porcentaje de pesados

Cámara	Sentido	Velocidad media de vehículos ligeros (km/h)
CCTV21	Valencia	91,32
	Interior	88,91
CCTV22	Valencia	91,32
	Interior	89,91
CCTV24	Valencia	107,73
	Interior	109,50

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 observados, por lo que estas no se tendrán en cuenta para llevar a cabo el análisis.

Capítulo 8

Análisis de la funcionalidad

Análisis de la funcionalidad del tráfico en condiciones nocturnas y comparación con 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 llegando a alcanzar un total de 27.876 vehículos.

En primer lugar, se muestra el diagrama fundamental en condiciones nocturnas 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

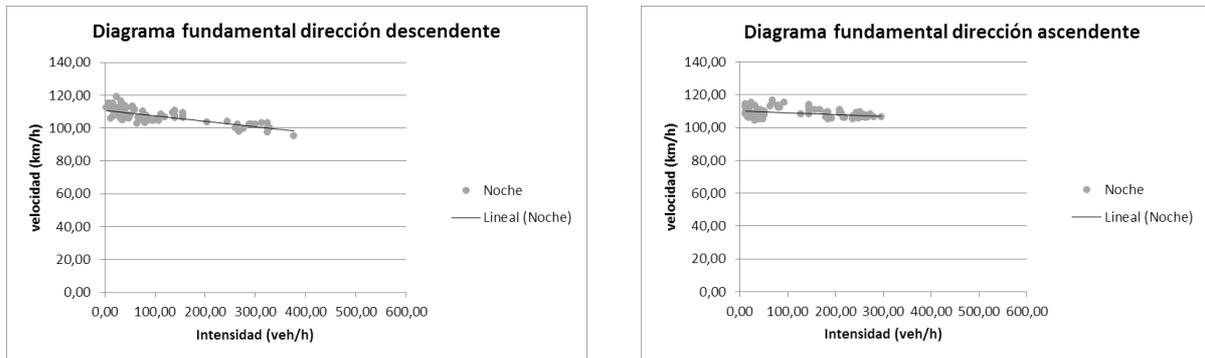


Figura 37. Diagrama fundamental en condiciones de noche para la cámara CCTV24

- Cámara CCTV22

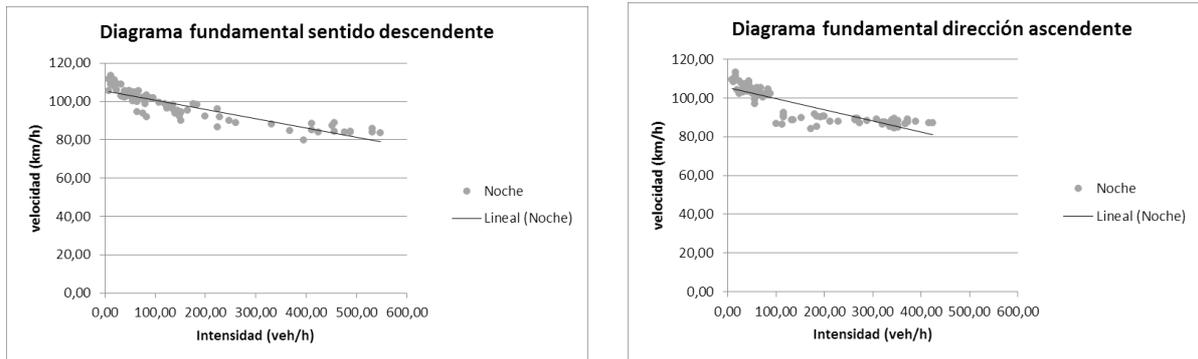


Figura 38. Diagrama fundamental en condiciones de noche para la cámara CCTV22

En segundo lugar se muestra el diagrama fundamental en el cual se compara las variables en condiciones diurnas y nocturnas:

- Cámara CCTV24

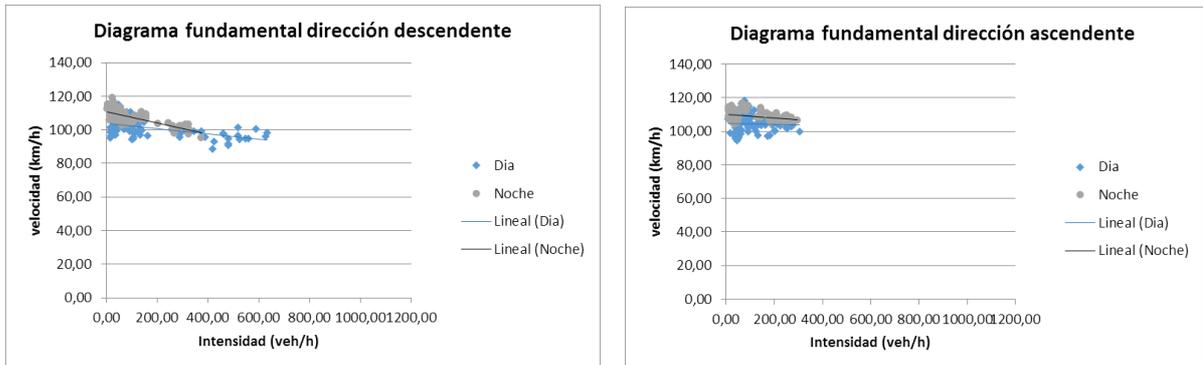


Figura39. Diagrama fundamental en condiciones de noche frente a día para la cámara CCTV24

- Cámara CCTV22

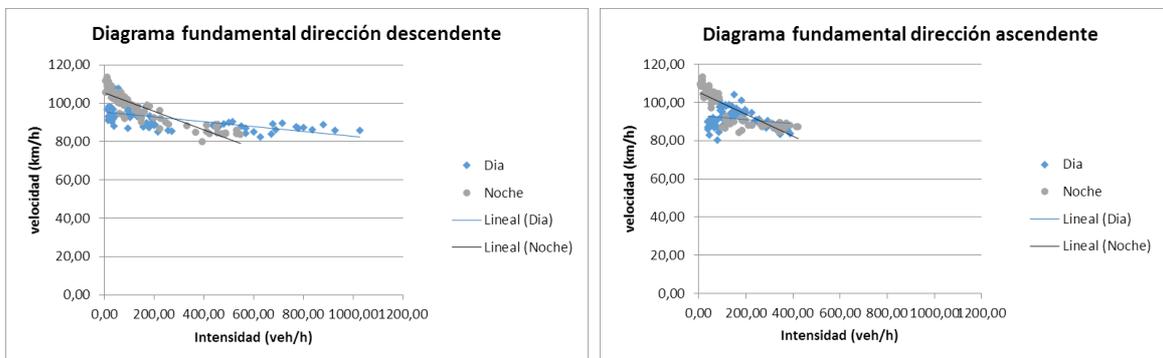


Figura 410. Diagrama fundamental en condiciones de noche frente a día para la cámara CCTV22

Como se observa los datos tienden a ajustarse a una recta lineal porque se encuentra en la parte superior del diagrama fundamental no llegando a la capacidad de la carretera

(situación de máxima intensidad). La comparación entre los diagramas fundamentales de las condiciones diurnas y nocturnas muestra que, para volúmenes de tráfico reducidos, la velocidad es mayor en el caso de las condiciones nocturnas; esta diferencia no se aprecia para mayores volúmenes de tráfico.

Por otro lado, para llevar a cabo el análisis univariable se van a plasmar los datos en los siguientes gráficos:

- Gráficos de cuantiles: muestra la distribución acumulativa empírica para cada columna numérica de datos.
- Diagrama de caja y bigotes: crea un gráfico diseñado para ilustrar características importantes de una columna de datos numéricos. La gráfica de caja-y-bigotes resume una muestra de datos a través de 5 estadísticas: mínimo, cuartil, mediana, cuartil superior y máximo. Este diagrama puede también indicar la presencia de datos atípicos.
- Gráfico de medias: crea gráficos de control para una sola variable numérica donde los datos se han recolectado en subgrupos.

Este análisis se efectúa teniendo en cuenta que se debe realizar para cada dirección de circulación debido a la importancia que adquiere el reparto (análisis direccional). Las variables a analizar son la velocidad media de recorrido (ATS), el porcentaje de vehículos en cola (PF), el percentil 85 de la velocidad de vehículos ligeros, el hueco medio y el hueco medio en cola y en condición de flujo libre.

Inicialmente para llevar a cabo el análisis de los datos recogidos y poder comparar la condición diurna con la condición nocturna se han de establecer unos rangos basados en la intensidad de modo que se esté en igualdad de condiciones en cuanto a esta. Este rango de valores escogido se deberá de corroborar con el reparto así como comprobar que se tiene una muestra suficiente de datos a analizar, mediante la obtención del error de la intensidad y de la ATS, como se muestra a continuación.

Indicar que para el resto de variables su evaluación se llevará a cabo dentro de dicho rango de intensidades.

Se analizan las condiciones de día y noche en una cámara cualquiera (siendo en este caso la 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 en la posterior comparación:

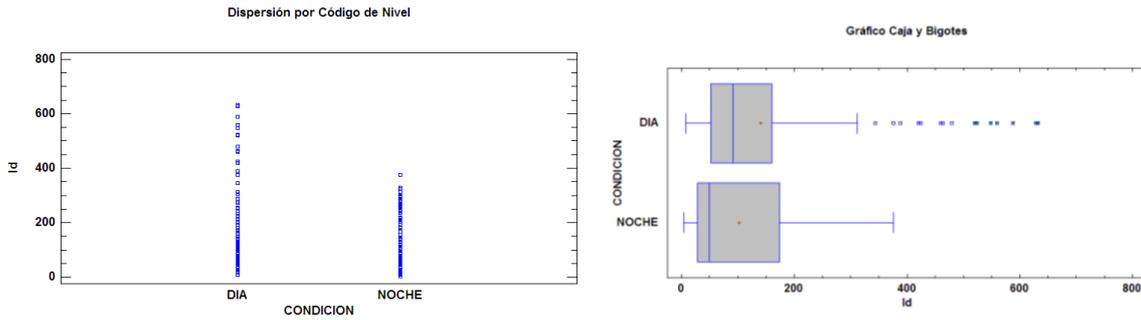


Figura 41. Gráfico de dispersión y de caja y bigotes de intensidades día-noche en cámara CCTV24 respectivamente

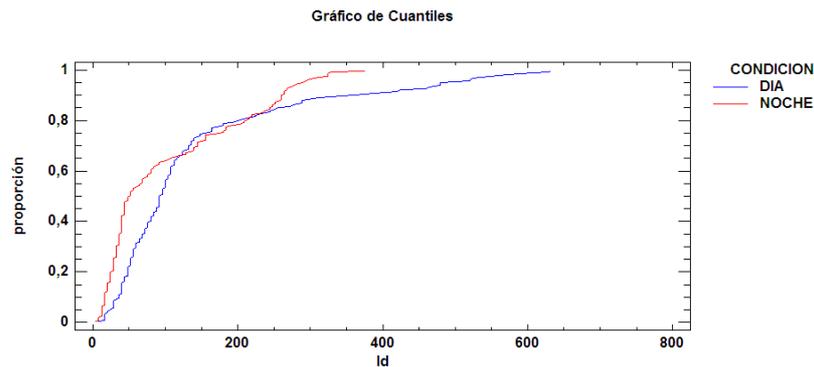


Figura 42. Gráfico de cuantiles de intensidades día-noche en cámara CCTV24

En vista del resultado mostrado en las gráficas anteriores se establecen dos rangos de intensidades, uno relativo a intensidades bajas en el que se representan entre 50 y 200 vh/h y otro relativo a intensidades medias-altas en el que se representan entre 200 y 375 vh/h, estos rangos de valores presenta comportamientos similares tanto en condiciones diurnas como en nocturnas. Se representan las gráficas para cada rango de intensidades:

- Intensidad baja

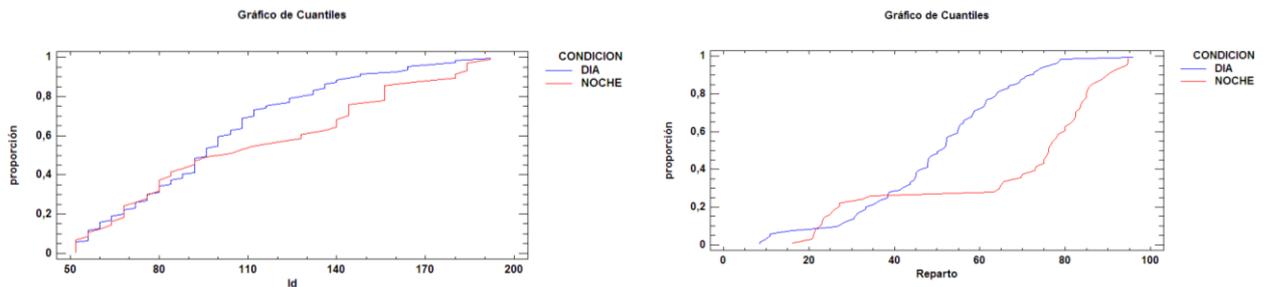


Figura 43. Gráfico de cuantiles de intensidad (izquierda) y reparto (derecha) en intensidades bajas en la cámara CCTV24

A pesar de que el reparto no corrobora que el rango escogido es el adecuado al estar más descompensado en condiciones nocturnas que en condiciones diurnas, se opta por tomar este rango de intensidades en el estudio ya que como se muestra en la Figura 43 presenta un comportamiento bastante similar en ambas condiciones.

Comentar que el volumen de muestra representada en este caso es de 150 observaciones.

- Intensidad media-alta

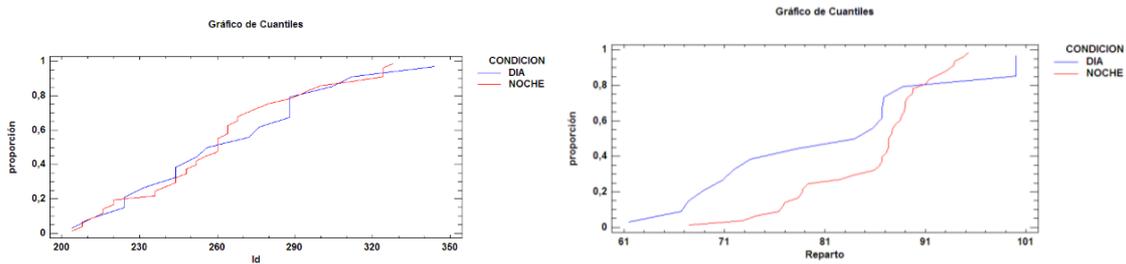


Figura 44. Gráfico de cuantiles de intensidad (izquierda) y reparto (derecha) en intensidades medias-altas

Para el caso de intensidades medias-altas ocurre de igual manera que para intensidades bajas que a pesar de que el reparto no corrobora que el rango escogido es el adecuado al estar más descompensado en condiciones nocturnas que en condiciones diurnas, se opta por tomar este rango de intensidades en el estudio ya que como se muestra en la *Figura 44* presenta un comportamiento bastante similar en ambas condiciones. Siendo en este caso el volumen de muestra representada de 56 observaciones.

Para completar la comprobación de que los rangos son adecuados, se debe calcular el error en la estimación de la media para verificar el tamaño muestral, 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:

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

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	50<Id<200 (vh/h)		200<Id<375 (vh/h)	
Variable	ATS (km/h)	Intensidad(vh/h)	ATS (km/h)	Intensidad(vh/h)
Nº datos	52	52	39	39
Z	1,96	1,96	1,96	1,96
Desviación	6,97	44,01	7,01	34,68
Error	1,89	11,96	2,20	10,89
Media	108,75	110,46	260,10	260,10
Error/media(%)	1,74	10,83	0,84	4,185

Tabla 14. Errores para intensidad y ATS en la cámara CCTV24

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 univariable de las variables PF (porcentaje de vehículos en cola), ATS (velocidad media de recorrido), el percentil 85 de la velocidad de vehículos ligero (esta velocidad es considerada como la velocidad de los vehículos ligeros en flujo libre), hueco medio y el hueco medio en situación de cola. En dicho análisis se llevará a cabo la comparación entre las condiciones nocturnas y diurnas para cada uno de los rangos previamente establecidos.

Comenzando por el porcentaje de vehículos en cola, se van a mostrar los gráficos obtenidos para cada sentido y cámara distinguiendo entre rangos de intensidades:

- **Sentido descendente (Valencia):**

Intensidades bajas

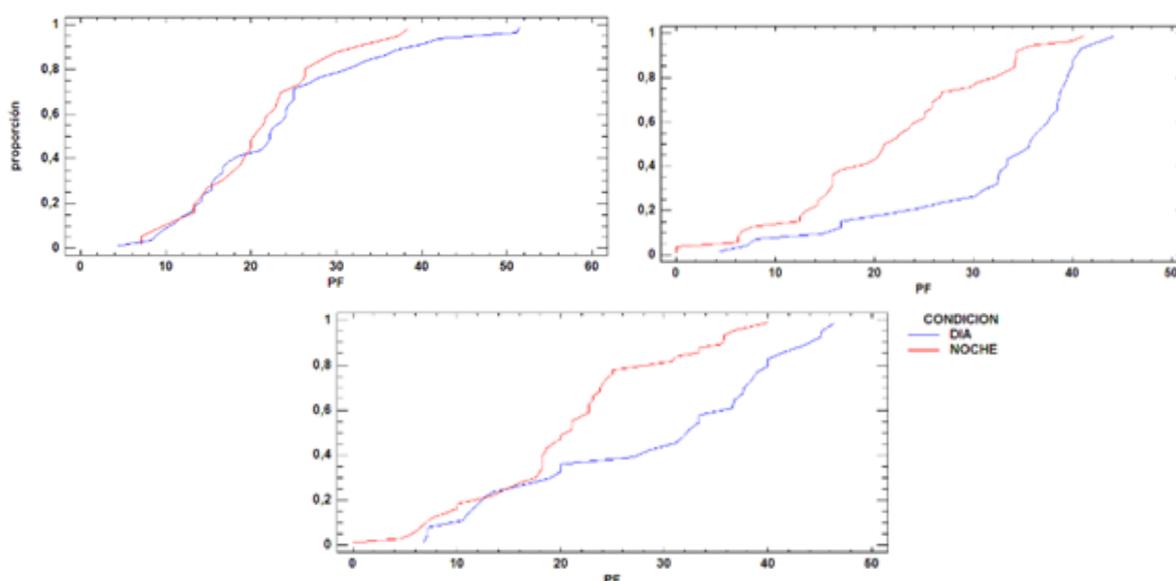


Figura 45. Gráficos de cuantiles de PF en dirección Valencia para intensidades bajas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo)

Intensidades altas

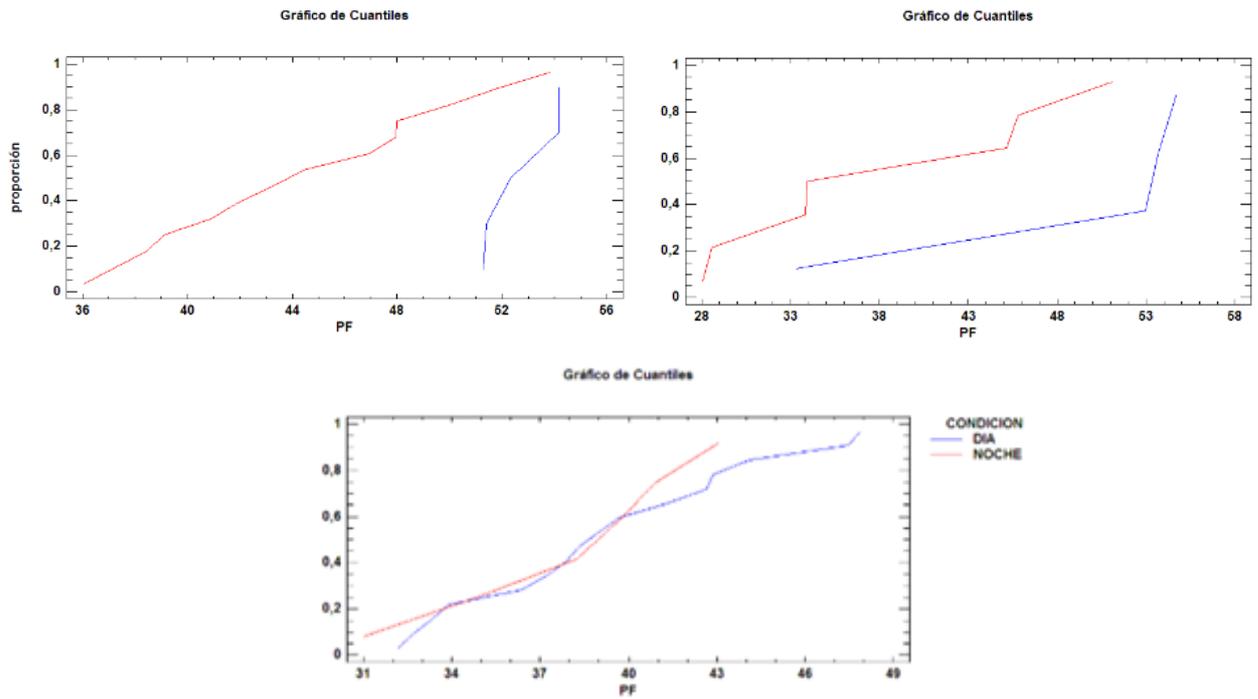


Figura 46. Gráfico de cuantiles de PF en dirección Valencia para intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo)

- Sentido ascendente (Interior):

Intensidades bajas

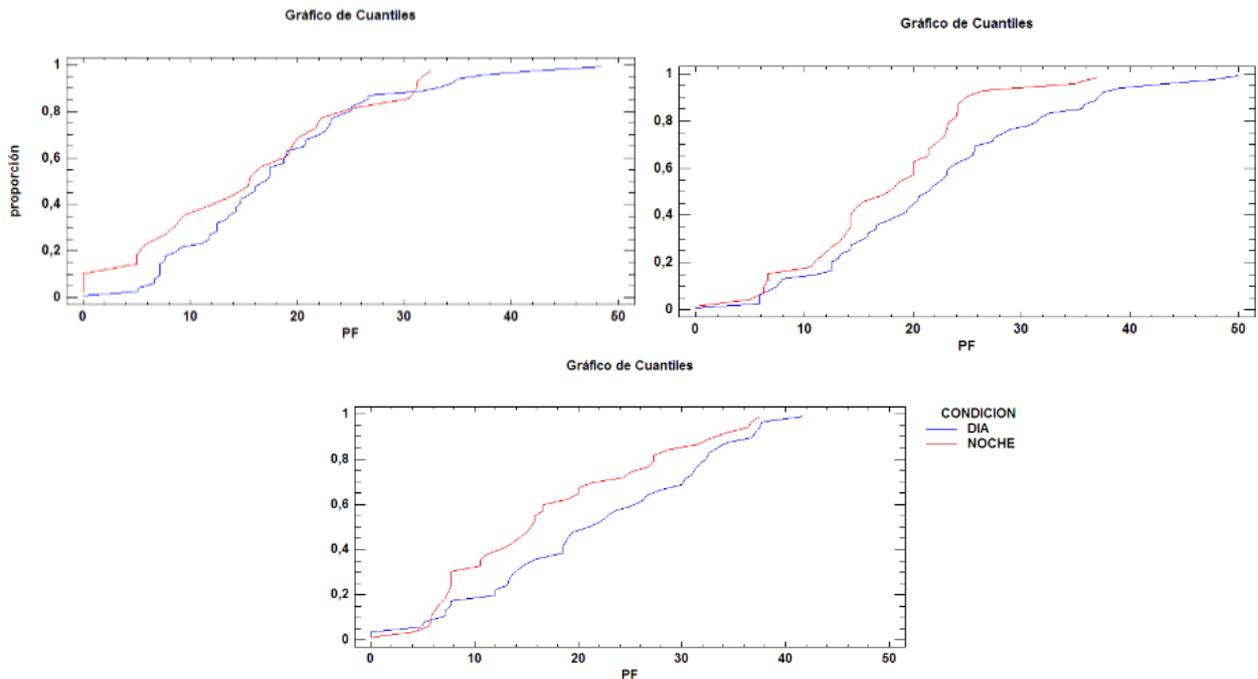


Figura 47. Gráficos de cuantiles de PF en dirección interior para intensidades bajas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo)

Intensidades medias-altas

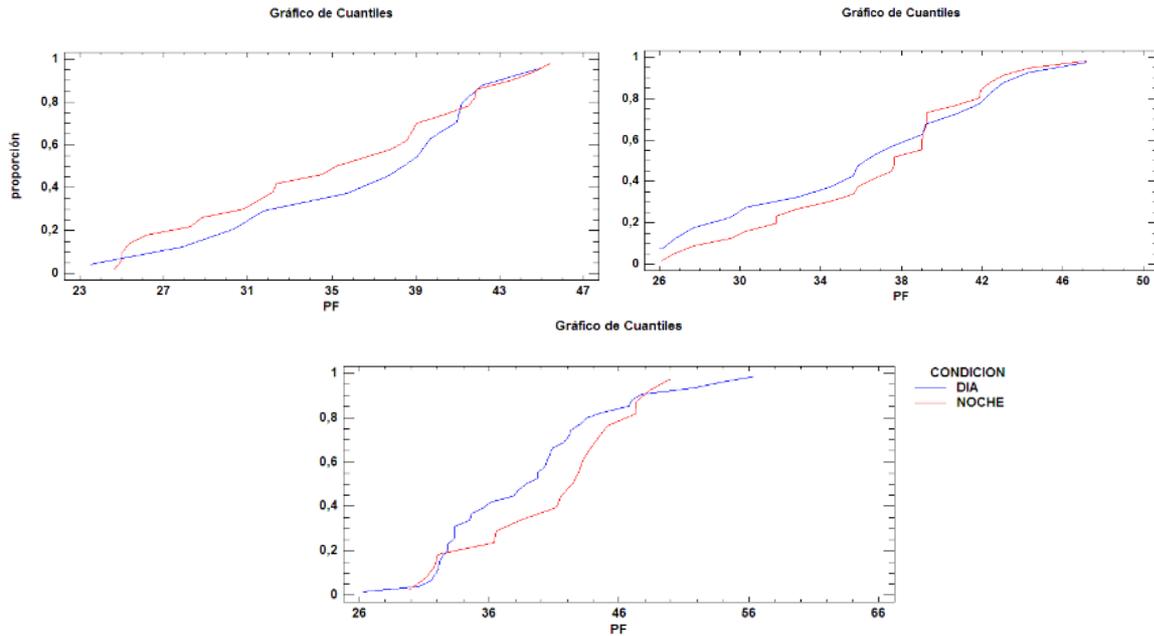


Figura 48. Gráficos de cuantiles de PF en dirección interior para intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo)

Observando los gráficos anteriores se puede comentar que en general el porcentaje de vehículos en cola es mayor en condiciones diurnas que nocturnas, siguiendo el comportamiento en ambas condiciones un patrón similar. Sin embargo se aprecia en la dirección interior en intensidades medias-altas este comportamiento se invierte estando muy próximos los porcentajes de vehículos en cola en ambas condiciones.

Continuando con la velocidad media de recorrido se tiene:

- **Sentido descendente (Valencia):**

Intensidades bajas

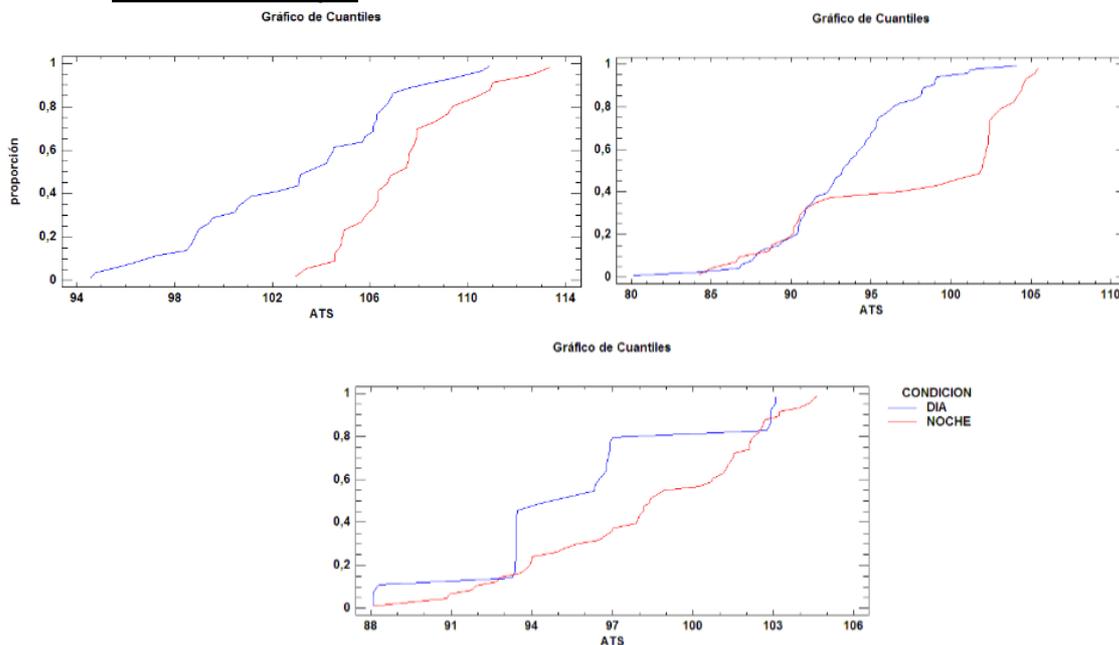


Figura 49. Gráficos de cuantiles de ATS en dirección Valencia para intensidades bajas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo)

Intensidades medias-altas

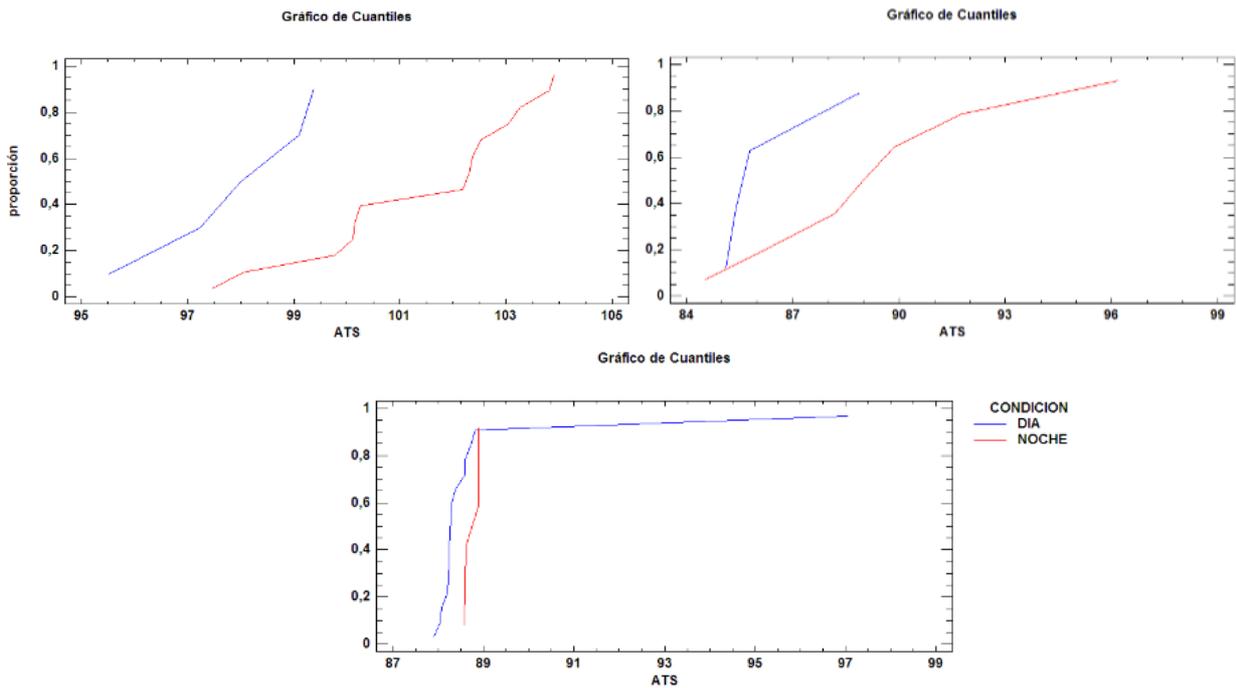


Figura 50. Gráficos de cuantiles de ATS en dirección Valencia para intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo)

- Sentido ascendente (Interior):

Intensidades bajas

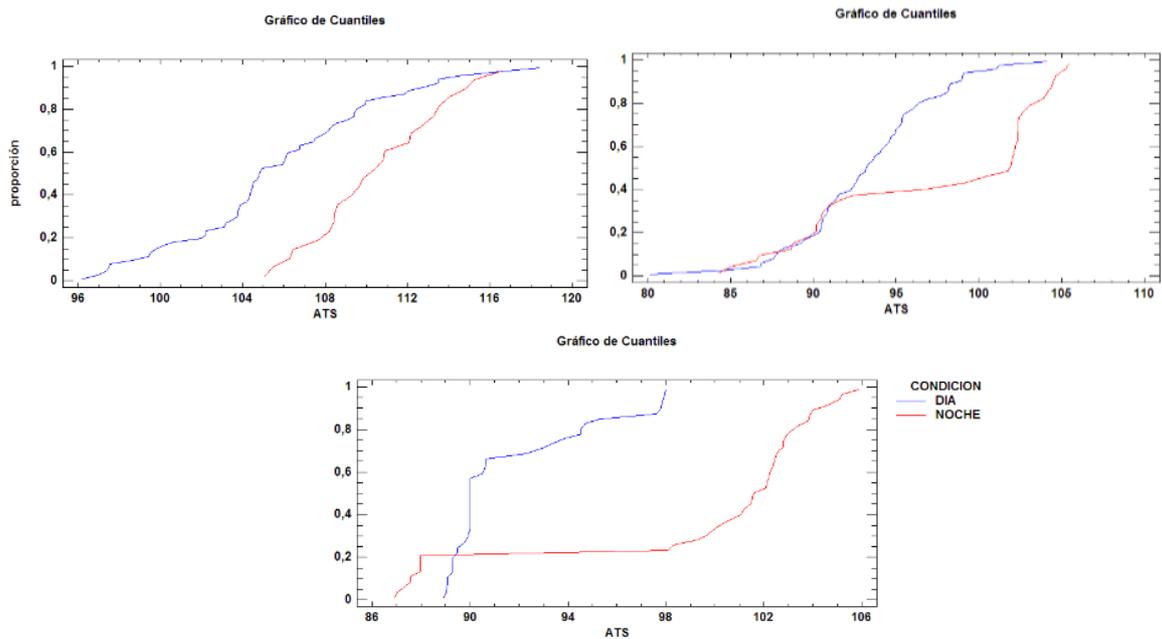


Figura 51. Gráficos de cuantiles de ATS en dirección interior para intensidades bajas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo)

Intensidades medias-altas

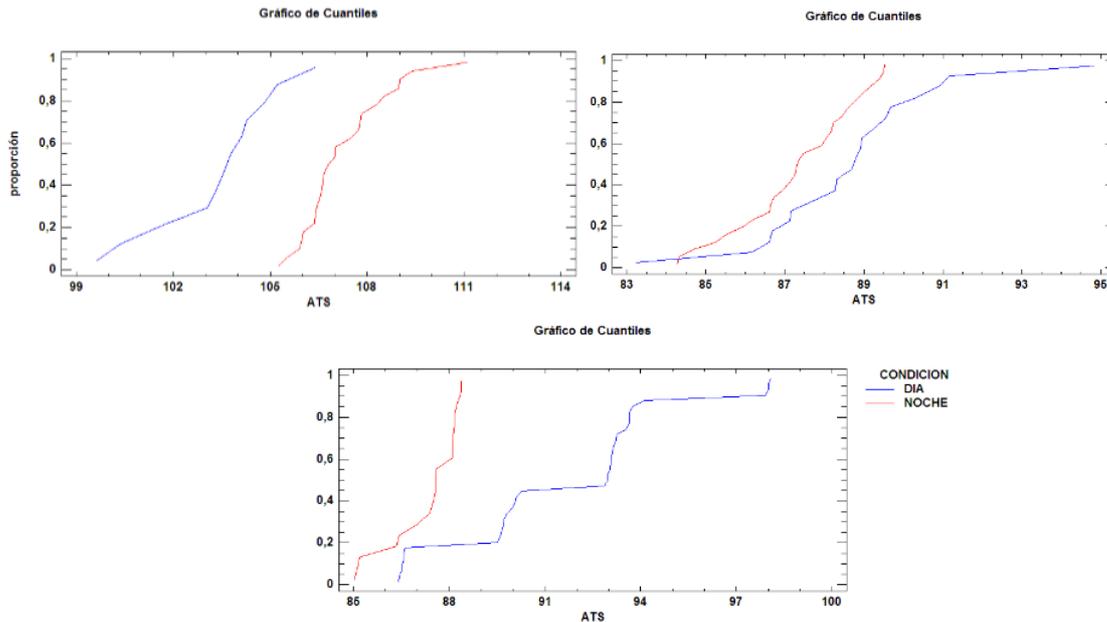


Figura 52. Gráficos de cuantiles de ATS en dirección interior para intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo)

Observando los gráficos anteriores se puede comentar que en general la velocidad media de recorrido es mayor en condiciones de noche.

Nombrar que para las cámaras CCTV22 y CCTV21 en dirección Interior el comportamiento se invierte en el caso de intensidades medias-altas, obteniéndose una mayor velocidad en condiciones diurnas.

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

- **Sentido descendente (Valencia):**

Intensidades bajas

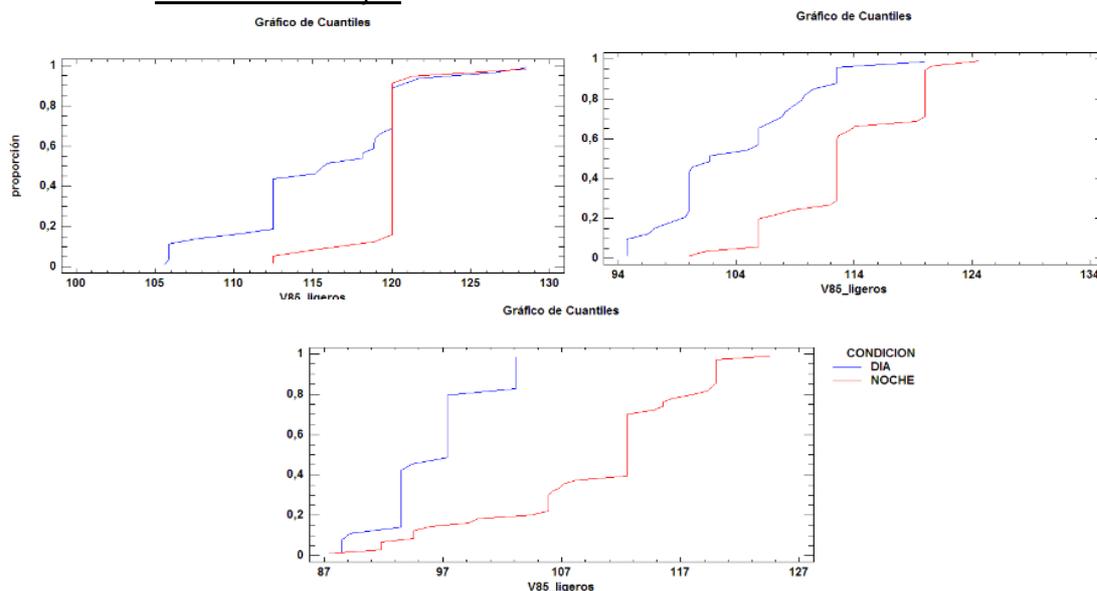


Figura 53. Gráficos de cuantiles v85pc en dirección Valencia para intensidades bajas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo)

Intensidades medias-altas

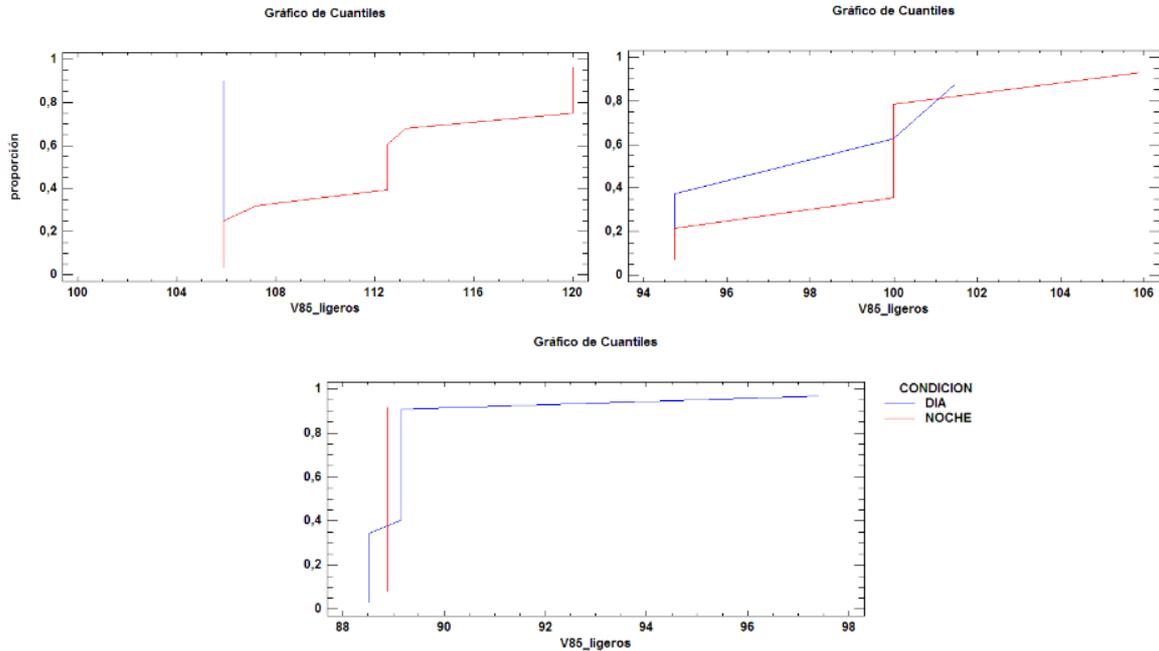


Figura 54. Gráficos de cuantiles de V85pc en dirección Valencia para intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo)

- Sentido ascendente (Interior):

Intensidades bajas

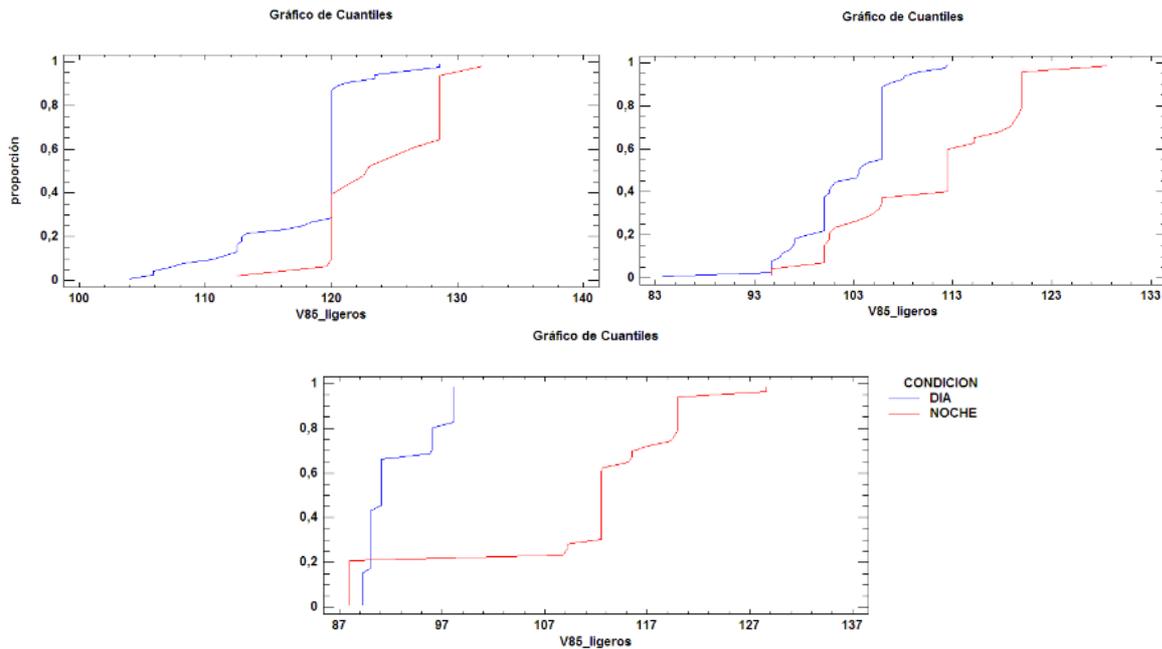


Figura 55. Gráficos de cuantiles de V85pc en dirección Valencia para intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo)

Intensidades medias-altas

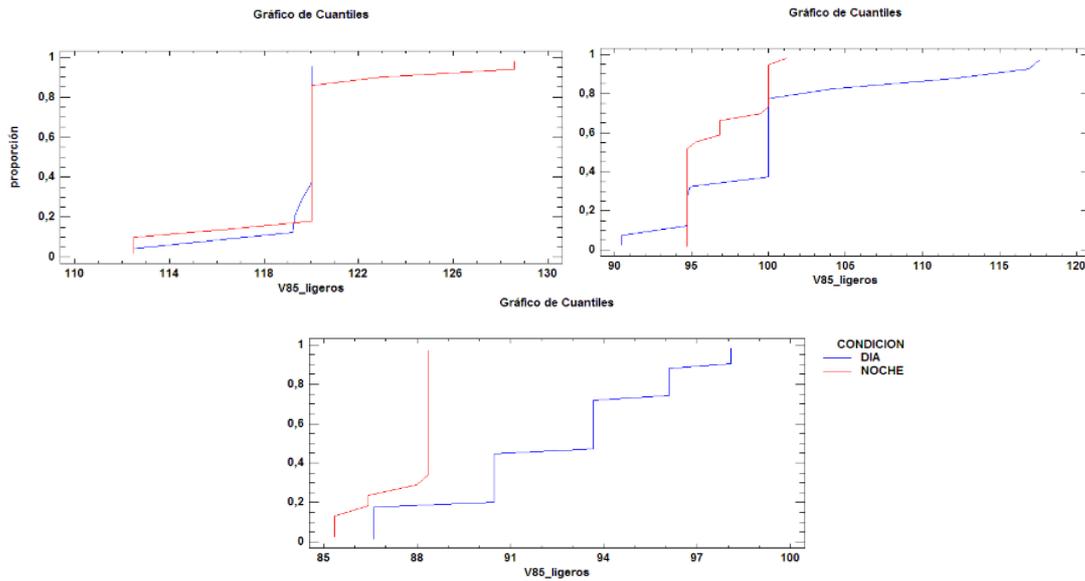


Figura 56. Gráficos de cuantiles de V85pc en dirección interior para intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo)

Observando los gráficos anteriores se puede comentar que en general el percentil 85 de los vehículos ligeros es mayor en condiciones nocturnas. No obstante, señalar que en la cámara CCTV24 en intensidades medias-altas para ambas direcciones y en la CCTV 22 en intensidades medias-altas en dirección interior se invierte el comportamiento siendo la dicha velocidad mayor en condiciones diurnas.

A continuación se muestra la variable de desviación de la velocidad media de recorrido mediante el gráfico de medias:

- Sentido descendente (Valencia):

Intensidades bajas

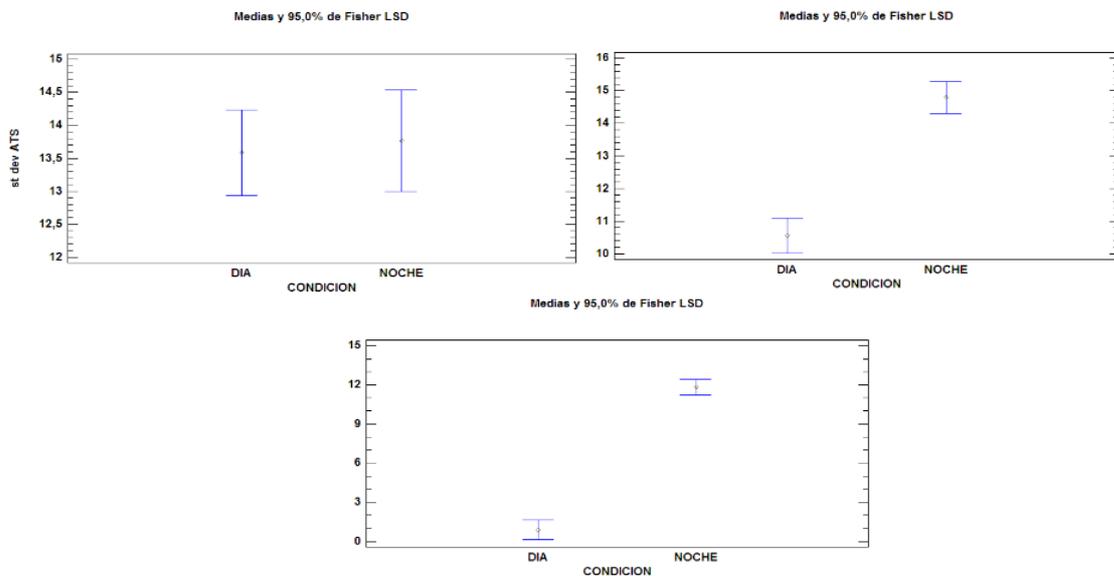


Figura 57. Gráficas de medias de intensidad direccional en intensidades bajas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo) en dirección Valencia

Intensidades medias-altas

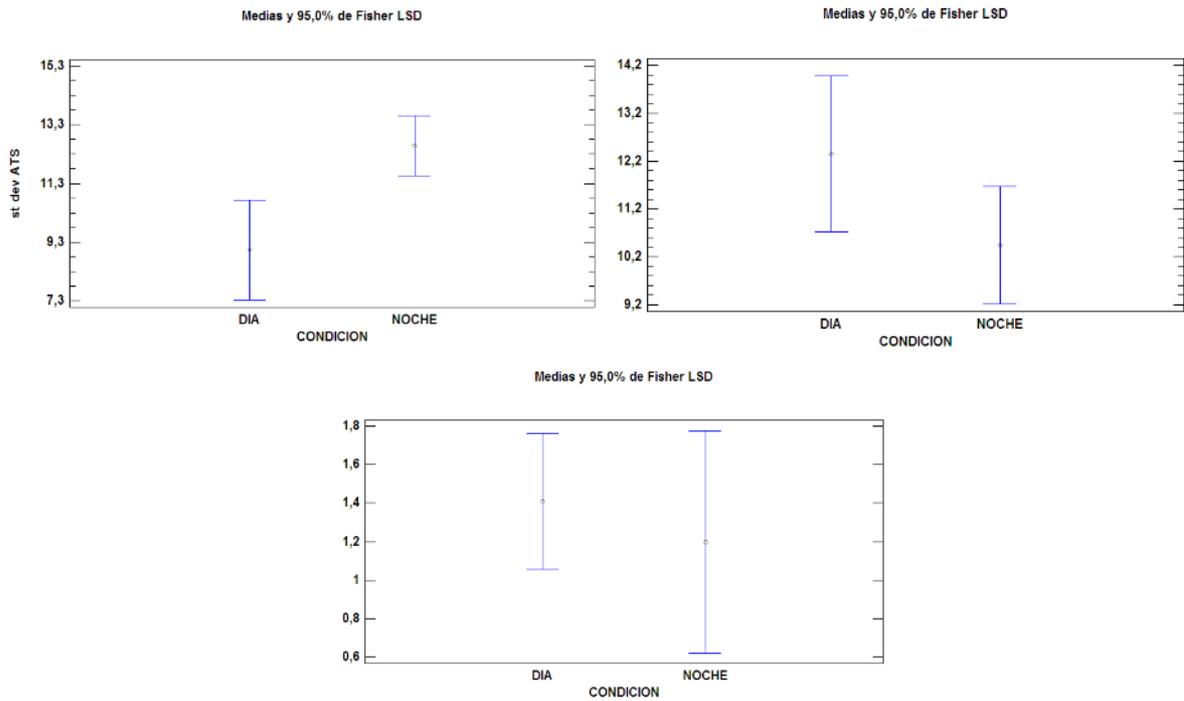


Figura 58. Gráfica de medias de la desviación de intensidad direccional en intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo) en dirección Valencia

- **Sentido ascendente (Interior):**

Intensidades bajas

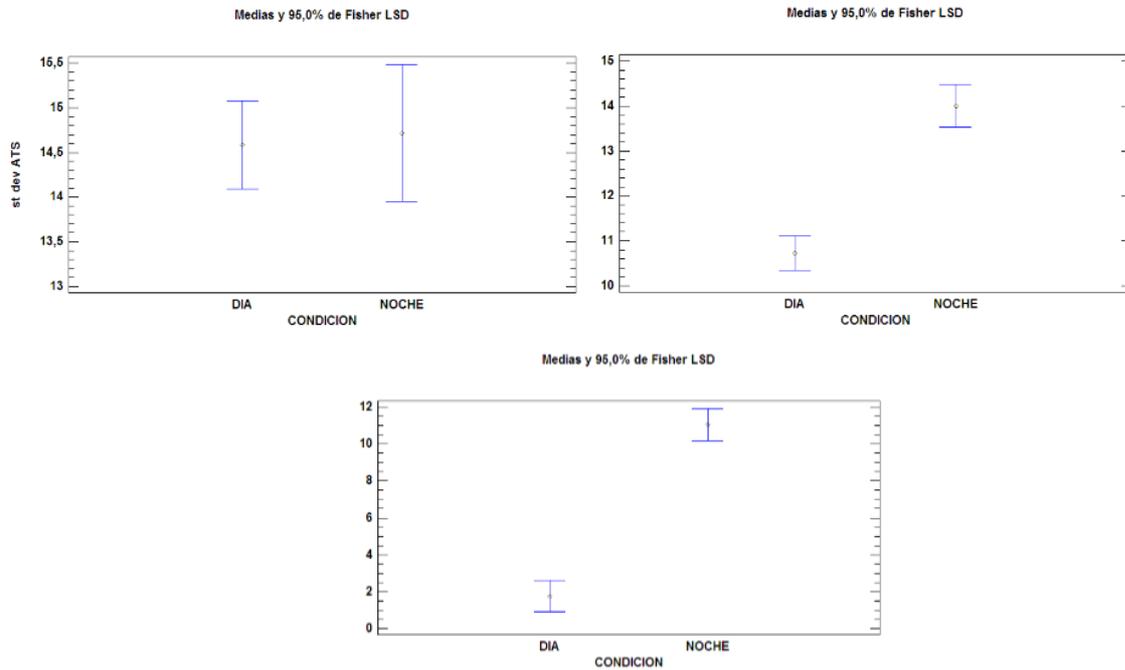


Figura 59. Gráfica de medias de la desviación de la ATS en intensidades bajas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo)

Intensidades medias-altas

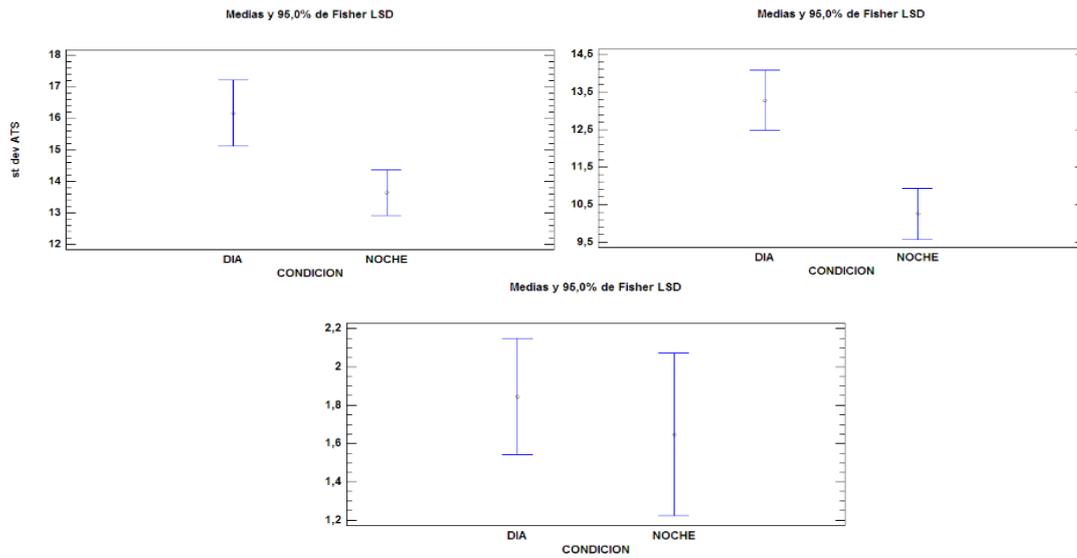


Figura 60. Gráfica de medias de la desviación de la ATS en intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo)

Se puede observar de las gráficas anteriores que para el caso de intensidades bajas en ambas direcciones hay una mayor dispersión en condiciones nocturnas, mientras que en el caso de intensidades medias-altas este comportamiento se igual, teniendo dispersiones similares en ambas condiciones.

Siguiendo con el análisis, se procede a mostrar las gráficas obtenidas para la variable de hueco medio en situación de cola:

- Sentido descendente (Valencia):

Intensidades bajas

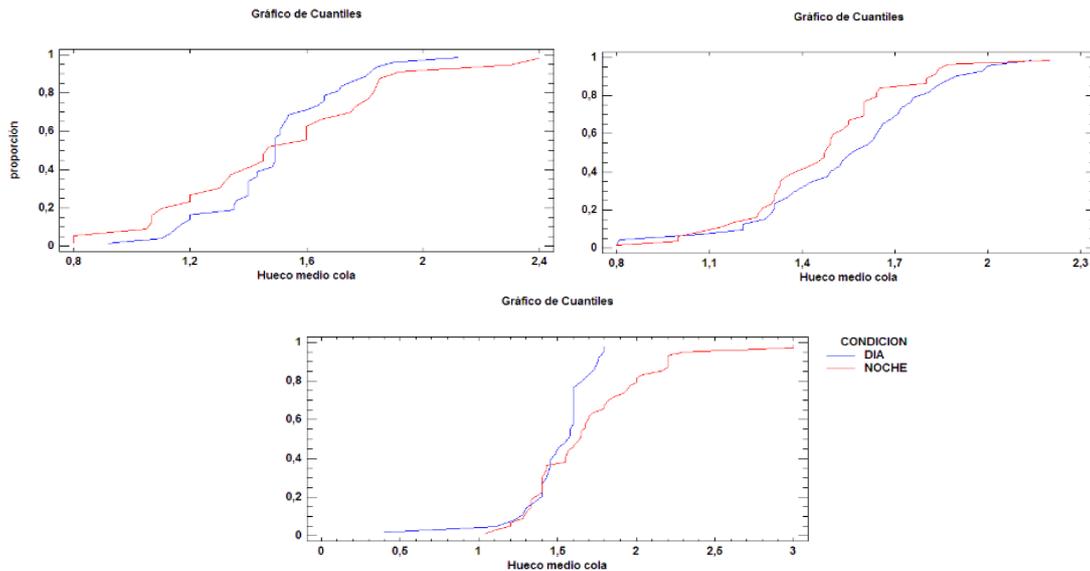


Figura 61. Gráficos de cuantiles de hueco medio en cola en dirección Valencia para intensidades bajas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo)

Intensidades medias-altas

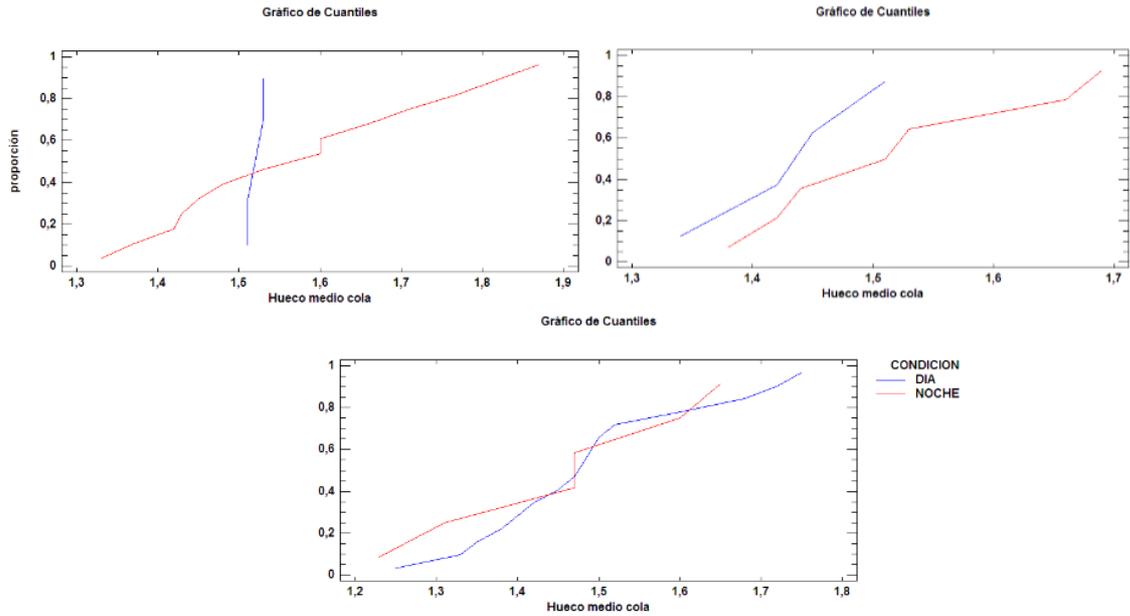


Figura 62. Gráficos de cuantiles de hueco medio en cola en dirección Valencia para intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo)

- Sentido ascendente (Interior):

Intensidades bajas

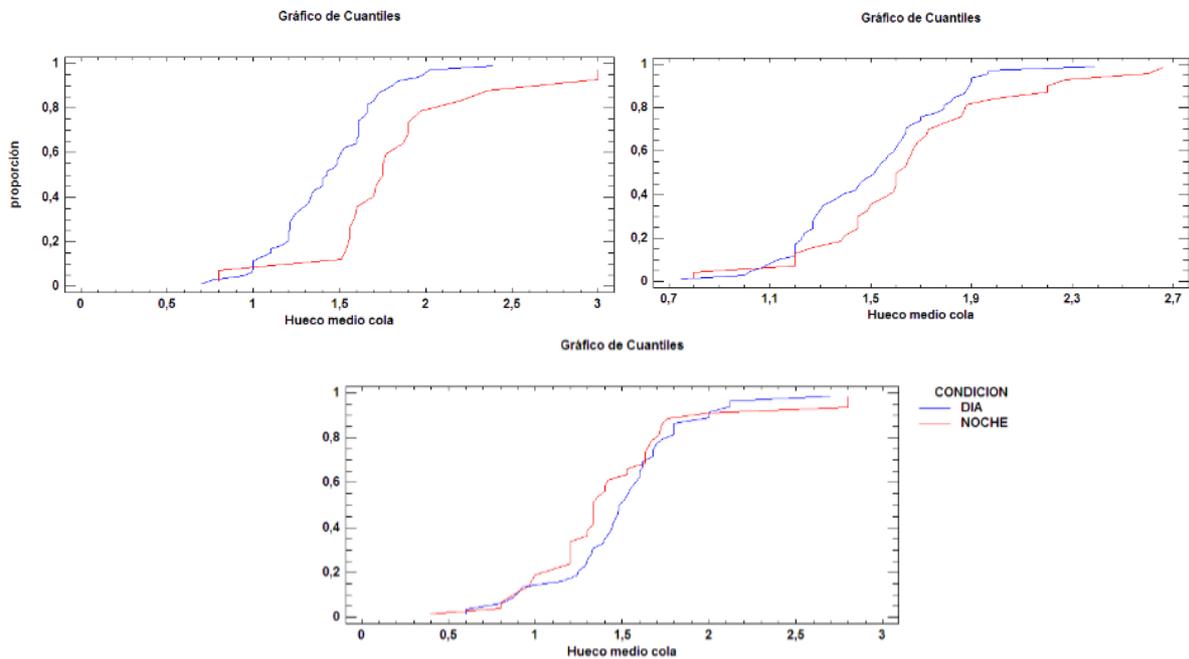


Figura 63. Gráficos de cuantiles de hueco medio en cola en dirección interior para intensidades bajas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo)

Intensidades medias-altas

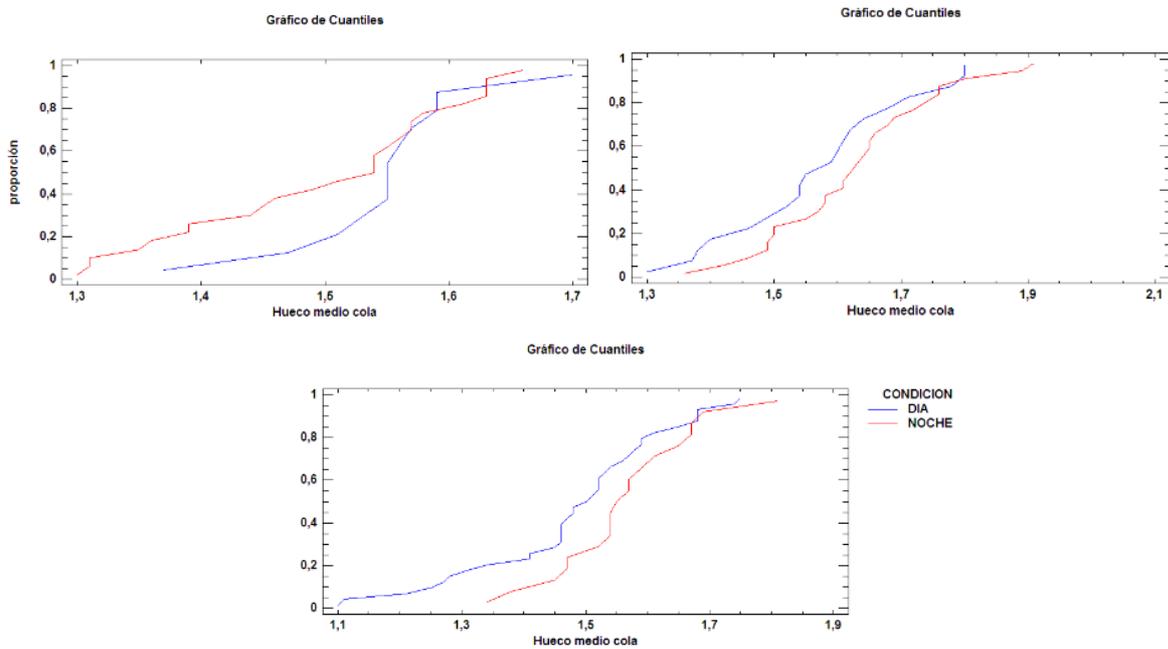


Figura 64. Gráficos de cuantiles de hueco medio en cola en dirección interior para intensidades medias-altas en las cámaras CCTV24 (izquierda), CCTV22 (derecha) y CCTV21 (debajo)

Observando los gráficos anteriores se puede comentar que en general el hueco medio en cola sigue patrones de comportamiento similares en ambas condiciones, pudiendo añadir que en la mayoría de los casos el hueco medio en cola en condiciones nocturnas es mayor que en condiciones diurnas.

Añadir que en el Anejo A, se incluyen parte del análisis de variables que ha servido de apoyo a la investigación, entre las que se incluyen la intensidad direccional, el hueco medio y el hueco medio libre.

Capítulo 9

Conclusiones

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

Comentar que este Trabajo de Fin de Máster 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 están 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 segunda comparación y en segundo lugar, las conclusiones globales en relación a todo el análisis llevado a cabo.

9.1. Conclusiones de la comparación de las condiciones nocturnas y diurnas

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

- En cuanto al porcentaje de vehículos en cola (PF) se tiene que en general en condiciones diurnas es mayor que en condiciones nocturnas. Esta conclusión no verifica la hipótesis inicial en este sentido, y este hecho podría estar relacionado con una menor demanda de adelantamiento.

- Al representar el diagrama intensidad-velocidad (diagrama fundamental) se observa que en volúmenes de tráfico reducidos la velocidad media es superior en el caso de condiciones nocturnas.
- Respecto a la velocidad media de recorrido (ATS) se tiene que en general esta presenta valores mayores en condiciones nocturnas que en diurnas (aproximadamente 5 km/h), lo cual también obliga a refutar la hipótesis inicial.
- En lo relativo a la desviación estándar de la velocidad media de recorrido, en condiciones nocturnas para intensidades bajas se obtiene una mayor dispersión que en condiciones diurnas, lo que está fuertemente relacionado con la seguridad vial, habiendo menor seguridad cuanto mayor sea la dispersión. Sin embargo, para intensidades medias-altas la dispersión se iguala en ambas condiciones, lo que puede ser debido a que al encontrarse los vehículos en cola, los vehículos tienden a ir a la misma velocidad y por tanto la dispersión se ve reducida y ya no depende del comportamiento del conductor frente a la carretera sino en su interacción con otros vehículos.
- En cuando a la variable de hueco medio en condición de cola se tiene que en la mayoría de los casos es mayor en condiciones nocturnas que en condiciones diurnas. Esto está relacionado con la percepción de menor seguridad por parte de los conductores, e igualmente con la menor demanda de adelantamiento, por lo que se aumenta dicho hueco.
- En relación a la variable de hueco medio libre se puede concluir que no aporta resultados de importancia relevante en el estudio, ya que no depende de la decisión del conductor ni de la condición extrema, es decir, se circula libremente sin someterse a restricciones causadas por otros vehículos.

9.2. 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 por ello 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 exceden mucho del 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 conducto 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 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.

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.

Marco Bassani y Guglielmina Mutani (2011). "Effects of environmental lighting conditions on operating speeds on urban arterials". En: *91st TRB Annual Meeting*.

Francesco Bella y Alessandro Calvi (2011). "Night vs Day Driving: a new Approach to Design Consistency using Driving Simulation". En: *TRB Annual Meeting and TRB's Journal*.

Ben-Edigbe Johnnie and Kurnia Yuli Astrid (2013). "Determining road lighting impact on traffic stream characteristics". En: *American Journal of Applied Sciences* 10 (7), págs. 746-750.

Brandon P. Stodart y Eric T. Donnell (2007). "Speed and Lateral Vehicle Position Models from Controlled Nighttime Driving Experiment". En: *Journal of Transportation Engineering, Vol. 134*.

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.

Michael D. Keall, William J. Frith, Tui L. Patterson (2005). "The contribution of alcohol to night time crash risk and other risks of night driving". En: *Accident Analysis and Prevention* 37, págs. 816–824.

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

Wen Hu y Eric T. Donnell (2010). "Models of acceleration and deceleration rates on a complex two-lane rural highway: Results from a nighttime driving experiment". En: *Transportation Research Part F* 13, págs.397-408.

Carlos Llorca, Ana Tsui Moreno, Victor Gabriel Garcia Alaix, Alfredo García (2014). "Daytime and nighttime following behavior on a monitored 1 two-lane rural road". En: *TRB 93rd Annual Meeting*.

T. M. Rice, C. Peek-Asa y J. F. Kraus (2003). "Nighttime driving, passenger transport, and injury crash rates of young drivers". En: *Injury Prevention*, págs. 245-250.

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

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

[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

Belén Asensio Mateo