

Determinación experimental de la visión indirecta de los conductores y su influencia en el diseño de disposiciones viarias oblicuas



Por Alfredo García, Catedrático del Departamento de Transportes de la Universidad Politécnica de Valencia; y José R. González, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Resumen

Se plantea la influencia de las visibilidades laterales de los vehículos en el diseño geométrico de incorporaciones e intersecciones oblicuas, evaluándose también las maniobras de cambio de carril. En primer lugar se revisa la bibliografía referente a la visión de los conductores, las obstrucciones laterales y los dis-

positivos que permiten superar o mitigar estas limitaciones.

Se asume un campo de visión directa de 220° (120° obtenido por los ojos, más un giro de cuello de 50° , estimado según mediciones experimentales efectuadas al orientar la vista hacia los retrovisores); y, a partir de esta hipótesis y un vehículo de diseño basado en mediciones experimentales, se plantean los problemas en las disposiciones viarias mencionadas.

La parte experimental del estudio consistió en idear y construir un dispositivo para medir los ángulos de visión a través de los

retrovisores, empleándolo posteriormente con una muestra de 174 vehículos. A partir de estos datos, ponderados según las ventas y la proporción de las ventas de cada año en el parque nacional de turismos, se determinaron los ángulos de diseño de visibilidad lateral.

Con estos ángulos y las dimensiones del citado vehículo de diseño, se plantearon modelos para cambios de carril e incorporaciones, de modo que no pudiera existir un vehículo en el ángulo muerto para el conductor. Así, se determinaron los ángulos mínimos necesarios de visión por

los retrovisores en los cambios de carril, y el ángulo máximo entre la incorporación y la vía principal, para que las maniobras puedan llevarse a cabo con seguridad.

Palabras clave. Visibilidad, diseño geométrico, seguridad, conductor, intersecciones.

1. Introducción

La visibilidad lateral de un conductor va a estar limitada por su campo de visión, su movilidad y las obstrucciones a la visión, lo cual puede originar que exista en algún momento un vehículo en los ángulos muertos. La nueva Directiva de la UE (2002) remarca este hecho, indicando que en los camiones pesados las disposiciones actuales para los retrovisores han demostrado ser insuficientes en cuanto al campo de visión exterior en el costado y parte trasera del vehículo.

Para evaluar el estado del arte acerca de la problemática de los ángulos muertos en los vehículos, se revisó la bibliografía existente que trata sobre el campo de visión del conductor, su movilidad, las obstrucciones a la visión y los elementos auxiliares que pueden reducir o eliminar el problema de la falta de visibilidad, y las disposiciones viarias conflictivas relacionadas con la falta de visibilidad lateral. A continuación, se hace un resumen del conocimiento más relevante extraído de la bibliografía.

1.1. Factores humanos

Comenzando por la visión de los conductores, es importante citar la exigencia de la UE de 120° de campo visual mínimo, que se puede adoptar como campo visual que todo conductor debería poseer, y que no suele medirse en las revisiones médicas a los conductores. Dentro de la visión, hay que distinguir la

visión focal o central de la periférica, la cual tiene una gran importancia, porque permitirá al conductor advertir los peligros laterales que pueden ocasionarle un accidente (Canale y otros, 1988; Avallone y Wood, 1997). En este sentido, se desarrolló el Useful Field of Vision

Test (Ball y Owsley, 1993; Ball y otros, 1993; Owsley, 1994; Pauzié y Gabaude, 1995) que está basado en unas condiciones de atención dividida, obteniéndose correlaciones entre sus resultados desfavorables y la tasa de accidentes, así como entre éstos y el campo visual reducido.

Las obstrucciones que puede sufrir un conductor pueden estar originadas por la carrocería del vehículo; lo cual ya se está tomando en cuenta para el diseño de los nuevos coches, ofreciendo la carrocería una mayor transparencia, o por elementos externos al vehículo, que pueden ser plantaciones, edificios u otros. En este sentido, la UE (2002) admite obstrucciones a los campos de visión exigibles por los retrovisores homologados, como máximo del 10 % en retrovisores exteriores y del 15 % en interiores. Estos obstáculos visuales son tratados en el análisis de distancias de visibilidad en los llamados triángulos de visibilidad de las intersecciones e incorporaciones, que aparecen en las normas de trazado.



En la sociedad actual de los países más avanzados hay cada vez más conductores mayores, que presentan limitaciones de agudeza visual y ven reducido su campo visual, además de sufrir problemas en cuanto a la velocidad de reacción y movilidad de sus extremidades, incluido el cuello (Zegeer y Council, 1993; Troutbeck y Wood, 1992). La consecuencia de estas limitaciones es el aumento de los accidentes sufridos por estos conductores (Jonson y Keltner, 1983; Szlyk y otros, 1993; Fishman y otros, 1981; Elkington y McKean, 1982) y sobre todo en circunstancias complejas, como las intersecciones o la conducción con escasa visibilidad; por lo que es recomendable que estos sujetos eviten estas situaciones peligrosas, y que los diseñadores de carreteras adecuen las infraestructuras a las capacidades disminuidas que presentan (Straight y Jackson, 1999; Mestre, 2002). Este objetivo puede conseguirse en parte con las recomendaciones que aquí se presentan.

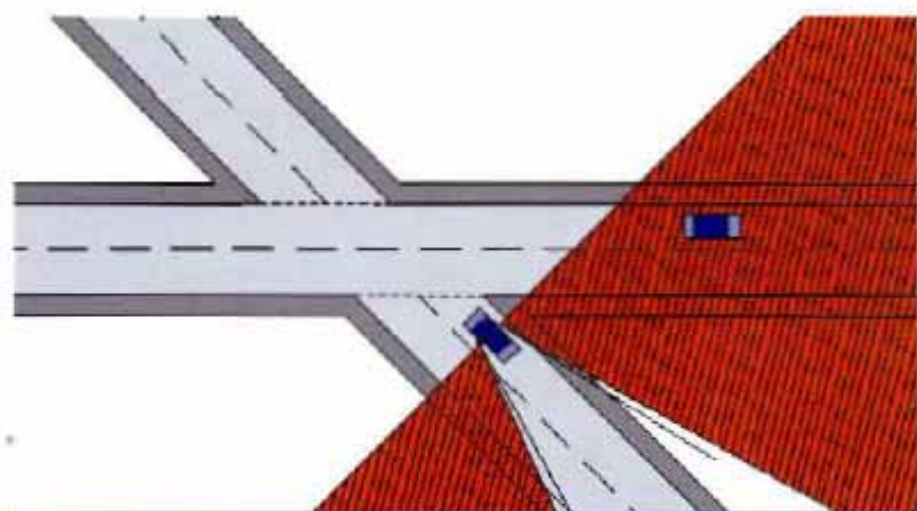


Figura 1: Problemática en las intersecciones oblicuas.

1.2. Elementos auxiliares de conducción

Existen unos elementos llamados sistemas de visión indirecta que pueden paliar las obstrucciones visuales del conductor. Según la UE (2002), estos dispositivos pueden ser:

- Sistemas de tipo retrovisor para visión indirecta, que a su vez están divididos en:

- Retrovisores interiores, que, al aumentar su convexidad, pueden ampliar el campo de visión del conductor, a costa de reducir su capacidad de localización relativa de los vehículos próximos. La nueva Directiva exige un ángulo de visión mínimo de $9,5^\circ$ a cada lado del eje.

- Retrovisores exteriores, que pueden recolocarse hacia el lateral exterior para obtener un mejor aprovechamiento, o incorporar una zona convexa que aumente el campo de visión del conductor, con las repercusiones negativas comentadas acerca de la convexidad de los retrovisores. Se exigen ángulos mínimos de hasta 11° .

- Retrovisores exteriores de gran angular, obligatorios para los vehículos con peso máximo superior a 3500 kg y opcionales para el resto, ofreciendo al menos un ángulo de visión de unos 60° .

- Retrovisores exteriores de aproximación, obligatorios en los mismos casos que los de gran

angular, para cubrir la zona lateral de la cabina en camiones de gran altura.

- Retrovisores frontales, obligatorios en los mismos casos anteriores, y que cubren la zona ubicada justo delante de la cabina, que puede no ser visible dada la altura de estos vehículos.

- Sistemas de visión tipo cámara-monitor que incorporan cámaras de video laterales o traseras, y permiten al conductor unos puntos de vista que pueden evitar un accidente; aunque también es cierto que pueden complicar la conducción, al perderse las referencias especulares que le dan la posición relativa de los obstáculos o vehículos y aumentar los focos de atención precisos. La Directiva de la UE especifica que la dirección de visualización del monitor deberá ser aproximadamente la misma que la del retrovisor exterior principal, haciendo especial énfasis en la luminancia mínima y máxima del monitor, su tamaño mínimo y la corrección de reflejos. Hoy en día sólo se emplean comercialmente como ayuda para el aparcamiento, o en maniobras de marcha atrás (Lexus RX300, Nissan Primera, etc.).

- Otra posibilidad serían los nuevos dispositivos de detección de obstáculos o sistemas alternativos de visión indirecta, que

están basados en tres componentes: el sensor, que puede estar basado en muchas tecnologías (infrarrojos, ultrasonidos, radar, etc.), colocado en la periferia del vehículo para detectar un posible obstáculo; esta información es transmitida a un procesador que la trata, y decide si el obstáculo supone un peligro para el vehículo en función de la cinemática relativa; este procesador decide si avisar al conductor de una alerta o un peligro a través de un "display", quedando advertido el conductor de la posible o inmediata colisión y así poder tomar las decisiones oportunas.

1.3. Disposiciones viarias conflictivas

Las necesidades de unas mayores visibilidades laterales se ponen de manifiesto en las intersecciones oblicuas, las incorporaciones y las maniobras de cambio de carril.

En las intersecciones oblicuas a izquierdas (también hay intersecciones oblicuas a derechas donde el ángulo agudo se encuentra a la izquierda del conductor que accede a la intersección) la visión a través de los retrovisores no influye y, en función del campo visual directo del conductor (obtenido mediante el campo visual ocular y un pequeño giro del cuello) y el ángulo de oblicuidad de la intersección, es posible que exista un vehículo en el ángulo muerto del conductor (figura 1).

Acerca de las intersecciones oblicuas, las normas y recomendaciones de diversos países admiten desviaciones de hasta 30° respecto de la perpendicular (AASHTO, 2001); y, según la opinión de varios autores (Neuman y otros, 1985), se debe exigir unas oblicuidades de 20° o 30° como máximo.

Es muy interesante un estudio

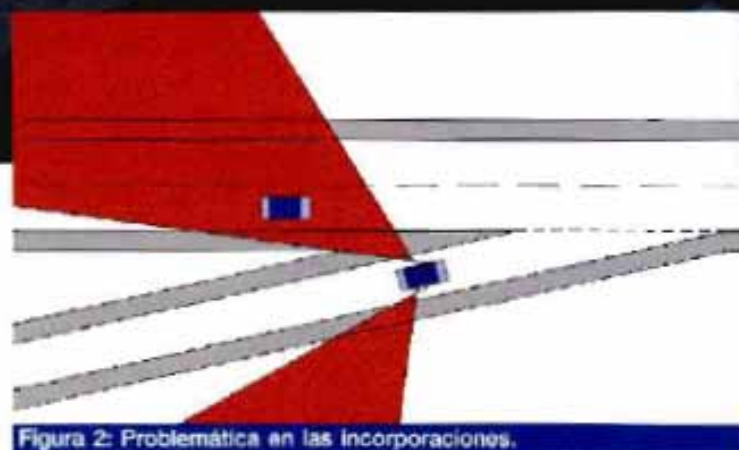


Figura 2: Problemática en las incorporaciones.

llevado a cabo por Gattis y Low (1997), en el cual se analizaba la visibilidad por el lateral derecho de vehículos con la carrocería lateral opaca. Para medir el ángulo de visión lateral, posicionaron los vehículos tipo y, trazando triángulos auxiliares en el pavimento, midieron los ángulos. Se emplearon dos posiciones extremas del conductor para tomar las medidas: una con la espalda pegada al asiento y otra con el cuerpo pegado al volante, acotando así el intervalo de posiciones del conductor. Se movía un jalón a lo largo de una línea auxiliar hasta que el conductor dejaba de verlo y se dejaban marcas en el suelo para obtener los triángulos deseados. Una vez obtenidos los ángulos de visión para las dos posiciones, se planteaba geométricamente una intersección oblicua. En función de este ángulo, de la posición del vehículo antes de entrar en la intersección y del ángulo de oblicuidad de la intersección, se obtuvieron unas distancias de visibilidad, que se igualaban a dis-

tancias de parada, obteniendo así la velocidad de diseño de la vía principal. Analizando estas velocidades de diseño, se concluyó que se necesitaban ángulos de oblicuidad máximos de unos 15° para que estos vehículos no sufran peligro de colisión.

Un estudio posterior de Son y otros (2002) evalúa la visibilidad lateral derecha y su influencia en las intersecciones oblicuas a izquierdas para vehículos de turismo y camiones; pero en su análisis tienen en cuenta la distancia de cruce, en lugar de la distancia de parada como realizaban Gattis y Low. Además, la obstrucción en los turismos es debida al montante central de la carrocería. Así, evaluando el campo de visión de 15 vehículos tipo y realizando un

análisis similar al de Gattis y Low, se compara la distancia de visibilidad con la distancia de cruce para intersecciones con ángulos entre 55° y 75° , llegando a la conclusión de que estas oblicuidades son excesivas para los camiones, que se encuentran en una situación clara de riesgo para este rango de ángulos de oblicuidad; y que, para los turismos, se alcanza un grado de seguridad adecuado para ángulos de oblicuidad máxima de 20° .

En las incorporaciones oblicuas, en función del campo de visión directa, el ángulo de visión a través de los retrovisores y el ángulo de la incorporación, puede existir un vehículo en el ángulo muerto del conductor (figura 2). Las "Recomendaciones

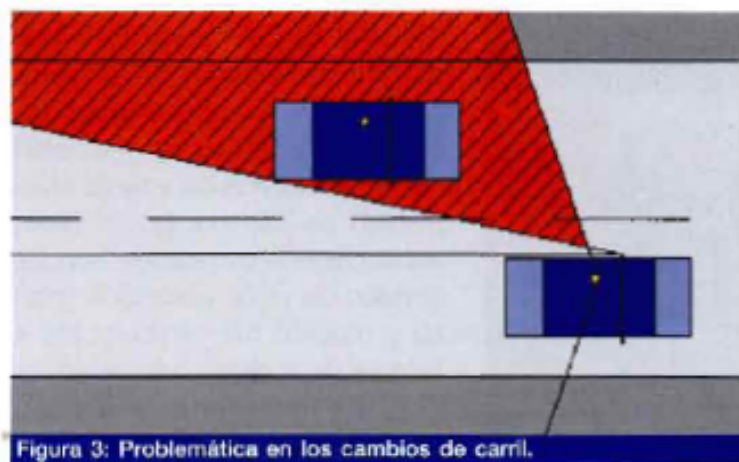


Figura 3: Problemática en los cambios de carril.

para el Proyecto de Intersecciones" (MOP, 1968) se limitan a recomendar ángulos de incorporación de entre 10° y 15°; mientras que Neuman y otros (1985) advierten que se obtiene una mayor seguridad en las incorporaciones si éstas se diseñan con ángulos pequeños respecto al trazado de la vía principal.

En la figura 3 se puede ver la problemática que aparece en las maniobras de cambios de carril, y se repite de un modo similar en confluencias de calzadas. En este caso, el hecho de que pueda haber un vehículo en el ángulo muerto del conductor va a depender del campo de visión directa del conductor y del ángulo de visión a través del retrovisor del lado hacia el cual se desplaza el vehículo.

2. Estudio experimental

El objetivo experimental era la obtención de los ángulos de visión efectivos a través de los retrovisores del parque nacional circulante de turismos.

La primera labor fue idear y construir un dispositivo de medida que fuera sencillo, económico, ligero y funcional. Así, basándose en las ideas de los estudios de Gattis y Low (1997) y Ortega y García (2000), se planteó el esquema de medida de la figura 4, en el cual hay una base rígida, apoyada horizontalmente en el terreno, de longitud

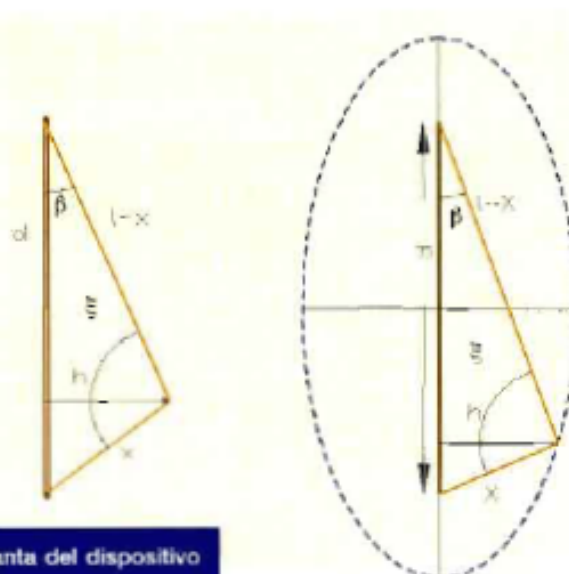


Figura 4: Geometría en planta del dispositivo de medida.

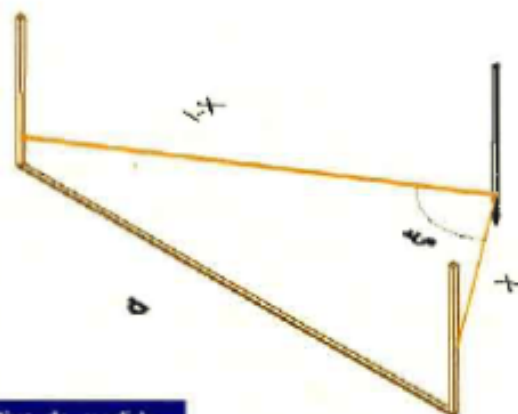


Figura 5: Aspecto del dispositivo de medida.

d y paralela al lateral del turismo, y cuyos extremos están unidos por una cinta métrica de longitud l. Se forma un triángulo, y en su vértice derecho se sitúa un jalón vertical que se puede desplazar hasta que el conductor lo pierde de vista a través de su retrovisor. El jalón divide la cinta en dos segmentos de longitudes x y l-x. Otras dimensiones que aparecen en la figura son el ángulo β o ángulo de visión a través del retrovisor, h o distancia lateral necesaria para realizar las mediciones y ξ o ángulo que aparece en el vértice originado por el jalón.

El procedimiento para realizar las mediciones sería colocar el dispositivo paralelo al eje del vehículo y colocar el jalón vertical en una zona dentro del campo de visión a través del retrovisor, para posteriormente adelantar la

posición del jalón hasta que el conductor lo pierda de vista. En ese momento se anotaría el valor de x que proporciona la cinta métrica, y empleando la ecuación 1 se podría obtener directamente el ángulo de visión β a través del retrovisor.

$$2 \cdot (l - x) \cdot d \cdot \cos \beta = (l - x)^2 + d^2 - x^2 \quad (1)$$

Teniendo en cuenta los condicionantes mencionados, se decidió adoptar una base de madera, una cinta métrica de fibra de vidrio y un jalón constituido por un perfil de aluminio. Se necesitó también una regla metálica, de una longitud de 3 m, para conseguir el paralelismo de la base del dispositivo al vehículo. Estos elementos pueden verse en la figura 5, donde aparece en 3 dimensiones el dispositivo de



Figura 6: Proceso de medida.

medida; y en la figura 6, que es una fotografía tomada durante el proceso.

Los lugares ideales donde realizar las medidas eran los aparcamientos de estaciones de servicio, universidades y centros comerciales, ya que existen grandes espacios y multitud de vehículos que podrían participar voluntariamente en las mediciones. Sin embargo, eso obligaba a que el dispositivo fuera fácilmente transportable y no necesitara un excesivo espacio lateral para las mediciones. Así, el dispositivo debía ser suficientemente pequeño para resolver estos problemas, pero no tanto como para originar grandes errores de medida. Por tanto, se realizaron algunos cálculos para elegir las dimensiones adecuadas según estos condicionantes. Se eligió una longitud $d = 2,28$ m y $l = 3$ m, que llevaban consigo un error menor que $0,5^\circ$ y un h menor que 1 m para el rango habitual de ángulos.

Además del error cometido por el propio dispositivo de medida al medir centímetros y emplear la ecuación 1, se estimó la presencia de otros errores, como la inclinación del pavimento, la desviación en la apreciación de la verticalidad del jalón, las diferencias en las anchuras de las vías delanteras y traseras por su

incidencia en la falta de paralelismo del dispositivo, así como la propia apreciación del conductor al pensar que ha dejado de ver el jalón. Del análisis de todos ellos se determinó un error máximo de 2° .

Evaluated todos los aspectos de las mediciones de los ángulos, se realizó una implementación para perfeccionar el dispositivo de medida y el procedimiento de llevarlas a cabo, y se procedió a la toma de datos. Los primeros datos se recogieron en los aparcamientos de la Universidad Politécnica de Valencia, de la Universidad de Valencia y de dos centros comerciales, que permitieron la obtención de los ángulos de visión en un total de 174 vehículos.

Además de los valores de x que permitirían obtener los ángulos de visión β de los dos retrovisores de un vehículo, se añadieron otros parámetros de interés en el trabajo de campo, por si mostraban alguna correlación con los ángulos de visión obtenidos: marca y modelo del vehículo; los 4 valores de x para cada vehículo, para los dos retrovisores y suponiendo dos posiciones del conductor: una de ellas con la espalda pegada al asiento y otra con el conductor inclinado hacia el volante, para delimitar las posiciones extremas del conductor; convexidad de los espejos; anchura de la carcasa de los retrovisores, así como distancia longitudinal entre el eje delantero y el retrovisor; sexo, edad y altura del conductor, y posición del asiento.

2.1. Resultados experimentales

Una vez tomados y tratados los datos, se disponía de una base de datos de ángulos de visión a través de los retrovisores derechos e izquierdos y para las posiciones del conductor adelantada y retrasada sobre una muestra de 174 vehículos. En la figura 7 se puede ver la distribución por segmentos de la muestra, de la cual se puede extraer

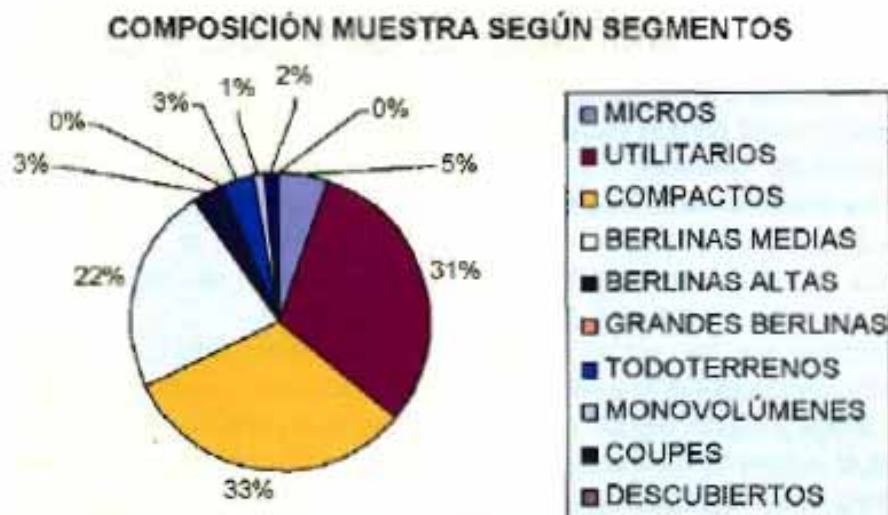


Figura 7: Distribución de la población analizada por segmentos.

que los resultados solamente son representativos para los segmentos utilitarios, compactos y berlinas medias, aunque ciertamente son los preponderantes en el parque circulante.

Al analizar los ángulos de visión y separar los resultados según las variables estudiadas, solamente se pudo concluir que la única variable que resultó significativa fue la convexidad de los espejos, aumentando éstos el campo de visión en unos 8° ó 9°.

Posteriormente, se ponderaron los ángulos obtenidos para poder representar al parque circulante de turismos en España. Para ello, se emplearon 3 fuentes de información: la lista de matriculaciones de vehículos desde 1993 hasta 2001 que proporcionó ANFAC; la lista de la influencia de las matriculaciones de los años 1993 a 2001 en el parque circulante de turismos español, que se extrajo del anuario estadístico general 2001 de la DGT; y los ángulos de visión obtenidos al tratar los datos de campo agrupados por modelos (se emplearon los datos de los 19 modelos más influyentes). De este modo se obtuvieron unos ángulos de visión máximos, medios, percentiles del 10% y mínimos, que se pueden observar en la figura 8. En ella aparecen los resultados para las dos posiciones del conductor (adelantada y retrasada) y para los dos retrovisores (izquierdo y derecho). También se puede comprobar, a partir de los resultados, que casi todos los retrovisores exteriores obligatorios en los turismos cumplen las exigencias establecidas por la UE (2002).

Como ángulos de diseño para la visión a través de los retrovisores, se establecieron los percentiles del 10%; pero no se tuvo en cuenta la posición adelantada y retrasada, sino la retrasada y una intermedia confor-

ÁNGULOS DE VISIÓN PROPORCIONADOS POR LOS RETROVISORES

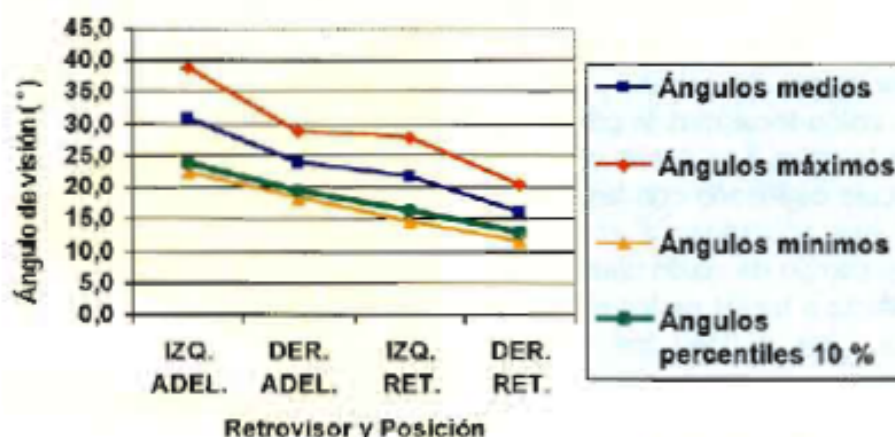


Figura 8: Ángulos de visión ponderados.

table (obtenida como la media entre la adelantada y la retrasada, reflejando mejor las posiciones habituales de conducción). Dichos ángulos de diseño son: 16° para el retrovisor izquierdo y la posición retrasada y 20° para la intermedia; 13° para el retrovisor derecho y la posición retrasada y 16° para la posición intermedia.

Una vez obtenidos los ángulos de visión de diseño, había que plantear un vehículo de diseño. Para ello, se emplearon las medidas realizadas en los vehículos ya citados; pero, además, se visitaron múltiples concesio-

narios para extraer información de las dimensiones de los vehículos más vendidos y adoptar unos estimadores según los modelos de disposiciones viarias conflictivas, y siempre quedándonos del lado de la seguridad, es decir: adoptando las dimensiones más desfavorables, correspondientes a percentiles del 10%, o valores medios si su efecto estaba compensado.

La UE exige un campo de visión de 120°, y se admitió que todo conductor debe ser capaz de girar su cabeza hasta orientarla con el retrovisor izquierdo. Así, se realizaron algunas medi-

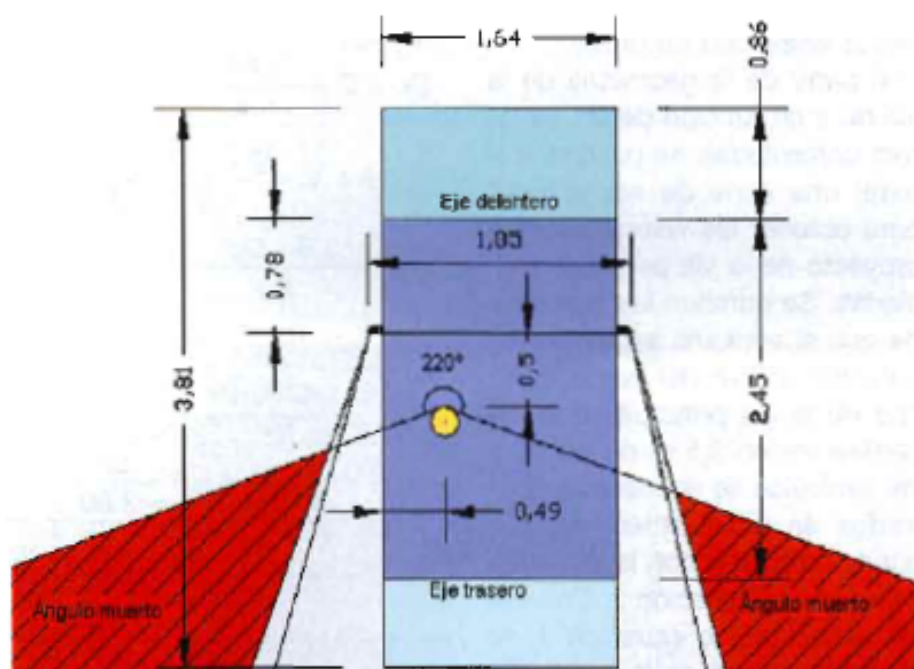


Figura 9: Vehículo de diseño.

ciones estimando este giro en unos 50°: así que se supuso un campo de visión directa del conductor de 110° a cada lado (50° por el giro de cabeza y 60° por la visión focal más la periférica). En la figura 9 se puede ver el vehículo de diseño con las dimensiones adoptadas, y el alcance del campo de visión directo e indirecto a través de los retrovisores, que definen los ángulos muertos del conductor.

3. Aplicaciones en disposiciones viarias conflictivas

Seguidamente se aplican los valores de diseño del vehículo tipo y de los ángulos experimentalmente obtenidos a las tres disposiciones viarias más sensibles a las limitaciones de visibilidades laterales.

3.1. Intersecciones oblicuas

En una intersección oblicua a derechas (figura 10), encontrándose un vehículo dispuesto a cruzar la intersección, en función del vehículo de diseño, del campo de visión directa del conductor (2λ) y el ángulo de la intersección (ϕ), hay que evaluar si existe visibilidad de cruce.

A partir de la geometría de la figura, y en función de las variables comentadas, se pueden emplear una serie de ecuaciones para obtener las velocidades de proyecto de la vía principal asociadas. Se admiten las hipótesis de que el vehículo se encuentra detenido a 3 m del borde derecho de la vía principal, que los carriles miden 3,5 m de ancho y los vehículos se encuentran centrados en los carriles. Así, se puede calcular n con la ecuación 2 y w con la ecuación 3. Con estas variables y la ecuación 4, se obtiene el valor de b . Mediante la ecuación 5 se calcula D y em-

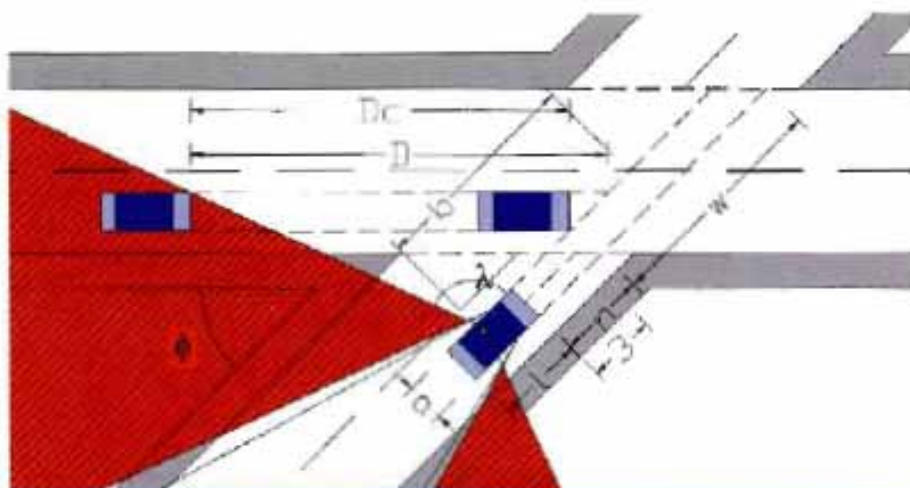


Figura 10: Modelización de las intersecciones oblicuas a derechas.

pleando la ecuación 6 se consigue el valor de la distancia de cruce D_c . Utilizando las ecuaciones 7 y 8 de la distancia de cruce de la Instrucción de Trazado 3.1 IC (MFOM, 1999), se pueden obtener las velocidades de proyecto de la vía principal al variar ϕ y λ .

Las velocidades de proyecto (km/h) de la vía principal obteni-

das se pueden consultar en la tabla 1, de las cuales se pueden extraer las conclusiones siguientes:

- Según las hipótesis establecidas del vehículo de diseño y visión directa del conductor, son aceptables las intersecciones oblicuas con desviaciones menores a 20° respecto de la perpendicular.

$$n = 3 + \frac{1,64}{2 \cdot \tan \phi} \quad (2)$$

$$w = \frac{2 \cdot 3,5}{\sin \phi} \quad (3)$$

$$b = 0,86 + 0,78 + 0,5 + 0,49 \cdot \tan (\lambda - 90) + n + \frac{w}{2} - \frac{1,64}{\tan \phi} \quad (4)$$

$$D = b \cdot \frac{\sin(\lambda)}{\sin(180 - \lambda - \phi)} \quad (5)$$

$$D_c = D - \frac{1,64}{\tan \phi} \quad (6)$$

$$t_c = 2 + \sqrt{\frac{2 \cdot (l + n + w)}{9,8 \cdot 0,15}} \quad (7)$$

$$V = \frac{3,6 \cdot D_c}{t_c} \quad (8)$$

VÍA PRINCIPAL VELOCIDAD DE PROYECTO	ϕ				
λ	55°	60°	65°	70°	75°
60°	3,80	4,10	4,45	4,89	5,44
75°	5,32	5,90	6,64	7,59	8,88
90°	7,71	9,02	10,86	13,64	18,30
110°	17,09	25,82	52,07	∞	∞
120°	48,70	∞	∞	∞	∞

Tabla 1: Velocidades de proyecto de la vía principal en intersecciones oblicuas.

• En las intersecciones oblicuas a izquierdas analizadas por Gattis y Low y por Son y otros, deben seguir rigiendo las recomendaciones de estos autores por resultar más restrictivas para camiones o vehículos con carrocería lateral opaca.

3.2. Cambios de carril

Se plantea el modelo de cambio de carril que se muestra en la figura 11. En función del vehículo de diseño, del campo de visión directa del conductor ($2^\circ\delta$) y del ángulo de visión a través del retrovisor (β), hay que evaluar los casos en los que puede haber un vehículo en el ángulo muerto del conductor que realiza el cambio de carril.

A partir de la geometría de la figura, y empleando las ecuaciones 9 y 10, se puede extraer el valor de a y c al variar β y δ , siendo n el ancho del vehículo de diseño y r el ancho del retrovisor. Así, si $a-c$ es mayor que la longitud del vehículo de diseño (3,81 m), podrá haber un vehículo en el ángulo muerto del conductor; pero existe una corrección, porque el conductor ve en primer lugar la esquina opuesta del otro vehículo, por lo que se define la variable L mediante la ecuación 11, de modo que, si L es mayor que 3,81 m, podrá haber un vehículo en el ángulo muerto.

$$a = 3 + \frac{(3,5 - n - r)}{\tan \beta} \quad (9)$$

$$c = 0,5 + (1,15 + 3,5 - n) \cdot \tan (\delta - 90) \quad (10)$$

$$L = a - c - n \cdot \tan (\delta - 90) \quad (11)$$

Los resultados obtenidos de la variable L para un cambio de carril a la izquierda se pueden consultar en la tabla 2 y existe otro análisis equivalente para los cambios de carril a la derecha. De

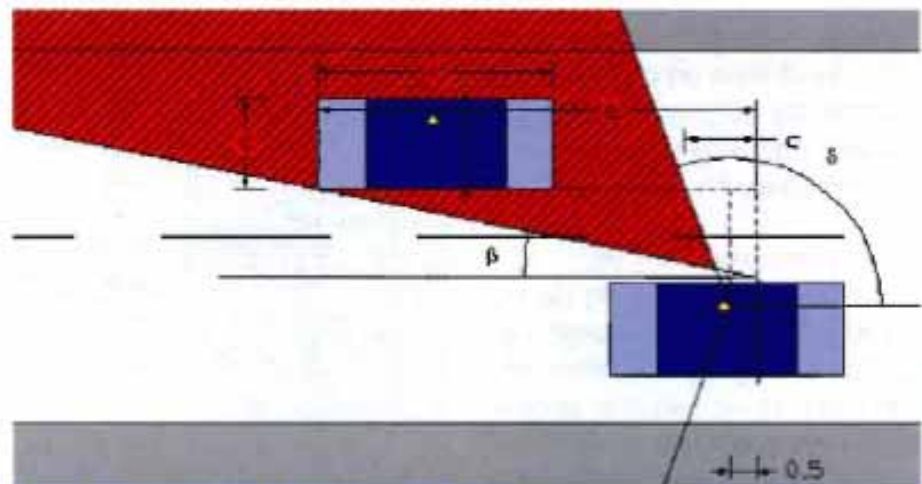


Figura 11: Modelización de los cambios de carril.

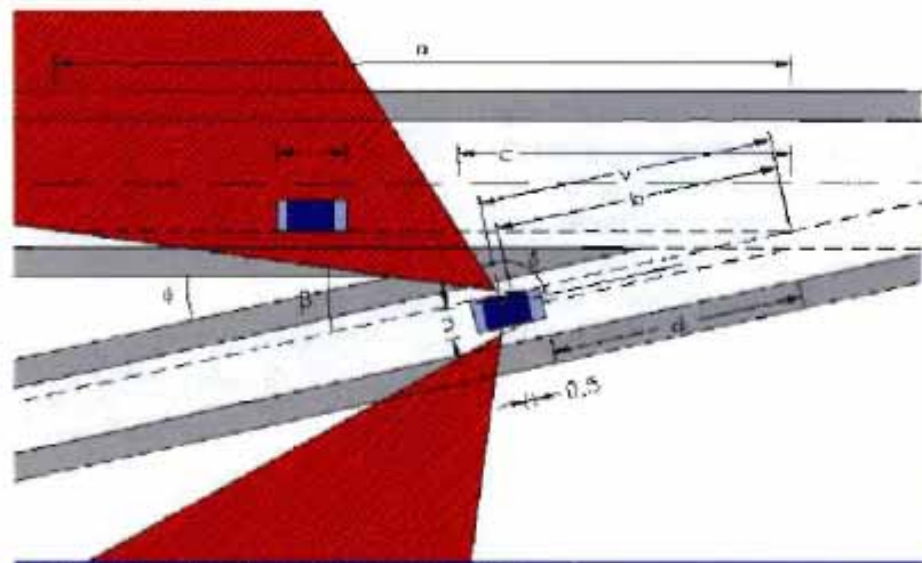


Figura 12: Modelización de las incorporaciones.

estos dos análisis se pueden extraer las conclusiones siguientes:

- En cambios de carril a la izquierda no habría peligro para un valor de δ de 120° , mientras que para 110° dependería de la posición del conductor.
- Si se busca el mínimo ángulo de visión a través del retrovisor izquierdo que evite una colisión en un cambio de carril a la izquierda, se obtiene que este ángulo es de 17° , estando dentro de los ángulos de diseño experimentales.

En un cambio de carril a la derecha, para un semángulo de visión directa de 120° , la colisión dependería de la posición del conductor, mientras que para un semángulo de 110° , el ángulo de visión necesario está fuera de los ángulos de diseño.

- Si se busca el ángulo necesario para un cambio de carril a la izquierda, se obtiene que este ángulo es de 17° , estando dentro de los ángulos de diseño experimentales.

L	δ				
β	60°	75°	90°	110°	120°
16°	7,92	6,69	5,62	4,17	3,32
20°	6,63	5,39	4,32	2,87	2,02

Tabla 2: Valores de la variable L en un cambio de carril a la izquierda.

sario de seguridad para un δ de 110° , se obtiene un ángulo de algo más de 16° , que supera los ángulos efectivos verificados experimentalmente.

3.3. Incorporaciones

Se plantea el modelo de incorporaciones que se muestra en la figura 12 (pág. anterior), encontrándose un vehículo detenido o circulando a una velocidad reducida en la incorporación a una distancia d de la vía principal; y en ese momento decide si completar o no esa incorporación, de modo que en función del vehículo de diseño, de la distancia d , del campo de visión directa del conductor ($2^\circ\delta$), del ángulo de visión a través del retrovisor izquierdo (β) y del ángulo de la incorporación (ϕ), hay que evaluar los casos en los que puede haber un vehículo en el ángulo muerto del conductor que realiza la incorporación.

A partir de la geometría de la figura, se pueden plantear las ecuaciones 12, 13, 14 y 15, de las cuales se extraen nuevamente los valores de a y c ; pero en este caso estarán en función de los parámetros β , δ , d y ϕ . El valor de L se calcula con la ecuación 16 y se pueden construir las tablas 3 y 4 con los resultados obtenidos. Recordemos que existirá seguridad en los casos de incorporaciones con un valor de L menor que 3,81 m.

Los resultados obtenidos permiten extraer las conclusiones siguientes:

- Para un semiángulo de visión directa de 110° , son necesarios ángulos de incorporación no superiores a 7° .

- Un aumento del ángulo de la incorporación de 2° o 3° implicaría un campo de visión mucho mayor del disponible para obtener condiciones de seguridad similares, es decir, un giro excesivo de la cabeza y tronco,

L ($\delta = 60^\circ$; $\beta = 16^\circ$)		d					
ϕ		0,0	1,5	3,0	4,4	5,4	10,0
2°		1,00	1,24	1,48	1,70	1,86	2,59
5°		1,47	2,20	2,93	3,62	4,11	6,36
7°		1,98	3,21	4,44	5,59	6,41	10,19
10°		3,45	6,03	8,60	11,00	12,72	20,61
15°		26,59	48,98	71,36	92,26	107,18	175,83
L ($\delta = 75^\circ$; $\beta = 16^\circ$)		d					
ϕ		0,0	1,5	3,0	4,4	5,4	10,0
2°		0,31	0,53	0,75	0,96	1,11	1,79
5°		0,76	1,46	2,15	2,80	3,27	5,40
7°		1,27	2,44	3,62	4,73	5,51	9,13
10°		2,73	5,23	7,73	10,07	11,73	19,40
15°		26,08	48,32	70,56	91,32	106,15	174,36
L ($\delta = 90^\circ$; $\beta = 16^\circ$)		d					
ϕ		0,0	1,5	3,0	4,4	5,4	10,0
2°		-0,31	-0,10	-0,11	0,30	0,44	1,08
5°		0,12	0,78	1,44	2,06	2,50	4,53
7°		0,61	1,74	2,87	3,93	4,68	8,15
10°		2,04	4,47	6,90	9,18	10,80	18,26
15°		25,33	47,47	69,60	90,27	105,02	172,91
L ($\delta = 110^\circ$; $\beta = 16^\circ$)		d					
ϕ		0,0	1,5	3,0	4,4	5,4	10,0
2°		-1,16	-0,97	-0,78	-0,61	-0,48	0,10
5°		-0,80	-0,19	0,42	0,99	1,40	3,28
7°		-0,36	0,70	1,76	2,75	3,46	6,71
10°		0,99	3,32	5,65	7,82	9,37	16,51
15°		24,12	46,09	68,06	88,56	103,21	170,58
L ($\delta = 120^\circ$; $\beta = 16^\circ$)		d					
ϕ		0,0	1,5	3,0	4,4	5,4	10,0
2°		-1,67	-1,50	-1,32	-1,15	-1,04	-0,49
5°		-1,37	-0,79	-0,20	0,34	0,72	2,51
7°		-0,97	0,04	1,06	2,01	2,69	5,80
10°		0,31	2,57	4,83	6,93	8,44	15,37
15°		23,28	45,13	66,98	87,38	101,95	168,96

Tabla 3: Valores de L en incorporaciones para $\beta = 16^\circ$

$$b = 0,87 + 0,97 + d \frac{r + n/2}{\text{tg } \phi} + \frac{3,5 - n}{2 \cdot \text{sen } \phi} \quad (12)$$

$$v = b + 0,5 + (0,49 + r) \cdot \text{tg } (\delta - 90) \quad (13)$$

$$a = b \cdot \frac{\text{sen}(180 - \beta)}{\text{sen}(\beta - \phi)} \quad (14)$$

$$c = v \cdot \frac{\text{sen } \delta}{\text{sen}(180 - \delta - \phi)} \quad (15)$$

$$L = a - c - \frac{n}{\text{tg}(180 - \delta - \phi)} \quad (16)$$

inabordable para muchos conductores.

De todos modos, se asume que estos modelos son meras aproximaciones de un modelo cinemático que podría representar más fielmente la realidad del proceso de una incorporación, te-

niendo en cuenta la geometría de las vías, la cinemática relativa de los vehículos, el movimiento de los triángulos de visión y las posibles colisiones. En este modelo cinemático más aproximado a la realidad del fenómeno, habría que tener en cuenta las curvatu-

L ($\delta = 60^\circ$; $\beta = 20^\circ$)		d					
ϕ		0,0	1,5	3,0	4,4	5,4	10,0
2°		0,95	1,13	1,32	1,50	1,63	2,20
5°		1,25	1,80	2,35	2,86	3,23	4,91
7°		1,56	2,43	3,29	4,11	4,69	7,35
10°		2,29	3,86	5,43	6,90	7,95	12,77
15°		5,45	10,03	14,61	18,89	21,95	36,00
L ($\delta = 75^\circ$; $\beta = 20^\circ$)		d					
ϕ		0,0	1,5	3,0	4,4	5,4	10,0
2°		0,25	0,42	0,60	0,76	0,87	1,40
5°		0,55	1,06	1,57	2,05	2,39	3,95
7°		0,85	1,66	2,48	3,24	3,79	6,30
10°		1,56	3,06	4,56	5,96	6,96	11,56
15°		4,94	9,38	13,82	17,96	20,91	34,52
L ($\delta = 90^\circ$; $\beta = 20^\circ$)		d					
ϕ		0,0	1,5	3,0	4,4	5,4	10,0
2°		-0,37	-0,21	-0,05	0,10	0,21	0,70
5°		-0,09	0,38	0,86	1,30	1,62	3,08
7°		0,19	0,96	1,72	2,44	2,96	5,32
10°		0,87	2,30	3,74	5,07	6,03	10,41
15°		4,19	8,52	12,86	16,90	19,79	33,08
L ($\delta = 110^\circ$; $\beta = 20^\circ$)		d					
ϕ		0,0	1,5	3,0	4,4	5,4	10,0
2°		-1,22	-1,08	-0,94	-0,81	-0,72	-0,29
5°		-1,01	-0,59	-0,16	0,24	0,52	1,83
7°		-0,78	-0,08	0,62	1,27	1,73	3,88
10°		-0,18	1,15	2,48	3,72	4,60	8,67
15°		2,98	7,14	11,31	15,20	17,97	30,75
L ($\delta = 120^\circ$; $\beta = 20^\circ$)		d					
ϕ		0,0	1,5	3,0	4,4	5,4	10,0
2°		-1,73	-1,60	-1,48	-1,36	-1,27	-0,88
5°		-1,58	-1,18	-0,79	-0,42	-0,15	1,06
7°		-1,39	-0,74	-0,08	0,53	0,96	2,97
10°		-0,86	0,40	1,68	2,83	3,67	7,53
15°		2,13	6,18	10,23	14,01	16,71	29,13

Tabla 4: Valores de L en incorporaciones para $\beta = 20^\circ$.

ras relativas entre la incorporación y la vía principal, especialmente cuando la incorporación presenta un giro horario y la vía principal uno contrario.

4. Conclusiones

En la figura 13 se representan las conclusiones que se han obtenido para las diversas disposiciones viarias conflictivas, teniendo en cuenta las hipótesis comentadas, intentando reunir las en un único esquema resumen.

Así, en la parte superior se puede ver la recomendación de desviación máxima admisible de 20° en intersecciones oblicuas. En las zonas laterales derecha e izquierda se pueden ver los ángulos de visión exigibles para

maniobras de cambio de carril a los retrovisores izquierdos (17°) y derechos (16°), respectivamente.

Por último, en la zona inferior derecha aparece la recomendación de ángulos menores que 7° para el diseño de incorporaciones. Por tanto, a la hora de diseñar una incorporación tenemos

dos alternativas: o se plantea su diseño con un ángulo menor que 7° , o se establece con un ángulo mínimo de 70° . Evidentemente, la primera disposición permitiría, con el carril de incorporación correspondiente en cuña, facilitar cierto nivel de aceleración que posibilitara una entrada a la vía principal en mejores condiciones de funcionalidad y seguridad. En cambio, la segunda disposición, aunque pueda seguir estando regulada por una señal de "ceda el paso", obligaría a una entrada de los vehículos en la calzada principal a velocidades reducidas. Siendo así, la primera opción será mejor para incorporaciones a vías de cierta importancia y velocidades elevadas, mientras que la segunda convendrá en incorporaciones a vías con velocidades de circulación reducidas.

Referencias bibliográficas

- AASHTO (2001). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington DC.
- Avallone, D.; Wood, P. C. (1997). *Vision Standard Literature Review*, 3 January 1997. US DOT Federal Highway Administration, FHWA.
- Ball, K.; Owsley, C. (1993). *The useful field of view test: a new technique for evaluating age-related declines in visual function*. J. Am. Optom. Ass. 64, pp. 71-80.



Figura 13: Esquema resumen de las conclusiones.

Ball, K. et al. (1993). *Visual attention problems as a predictor of vehicle crashes in the older driver*. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 34, 3110-3123.

Canale, S.; Torrisi, S.; Nicosia, F.; Leonardi, S. (1988). *Adeguamento delle Corsie di Uscita Autostradali Mediante Informazioni Ricavate dai Rilievi Sperimentali*. Università degli Studi di Catania.

Elkington, A. R.; McKean, J. M. (1980). *Glaucoma and Driving*. Br. Med. J. 285, pp. 777-778.

Fishman, G. A.; Anderson, R. J.; Stinson, L.; Haque, A. (1981). *Driving Performance of Retinitis Pigmentosa patients*. Br. J. Ophthalmol. 65, pp. 122-126.



Otras instantáneas del proceso de medida.



Instrucción de Carreteras Norma 3.1-IC: Trazado. Madrid.

MOP (1968). *Recomendaciones para el Proyecto de Intersecciones*. Madrid.

Neuman, T. R.; Leisch, J. E. (1985). *Intersection Channelization design guide*. National Cooperative Highway Research Program Report 279, TRB, Washington DC.

Ortega, V. J.; García, A. (2000). *Estudio de los Factores Relacionados con el Vehículo que influyen en las Visibilidades en Redes Varias*. IV Congreso de Ingeniería del Transporte, Universidad Politécnica de Valencia.

Owsley, C. (1994). *Vision and driving in the elderly*. Optom. Vis. Sci. 71, pp. 727-735.

Pauzié, A.; Gabaude, C. (1995). *Effect of a dynamic central task on useful field of view: Investigation of visual and attentional abilities of elderly drivers*. Vision in Vehicles VI, 13-16 September 1995.

Son, Y. et al. (2002). *Methodology to Calculate Sight Distance Available to Drivers at Skewed Intersections*. Transportation Research Record 1796, TRB, Washington DC.

hington DC.

Straight, A.; Jackson, A. M. (1999). *The Importance of Driving*. Public Policy Institute, AARP, Washington.

Szlyk, J.P.; Brigell, M.; Seiple, W. (1993). *Effects of age and hemianopic visual field loss on driving*. Optometry and Visual Science, 70, 1031-1037.

Troutbeck, R.; Wood, J. M. (1992). *Effect of Restriction of Vision on Driving Performance*. Journal of Transportation Engineering, Sept./Oct..

UE (2002). *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the approximation of the laws of the Member States relating to the type-approval of mirrors and supplementary systems for indirect vision and of vehicles equipped with these devices and amending Directive 70/156/EEC; 2002/C 126 E/02*.

Zegeer, C.; Council, F. M. (1993). *Highway Design, Highway Safety and Human Factors*. Transportation Research Circular 414: Human Factors Research in Highway Safety, Hall J. W.; Dudek C. L., eds., Transportation Research Board, Washington DC. ■

Gattis, J. L.; Low, S. T. (1997). *Intersection Angle Geometry and the Driver's Field of View*. Transportation Research Record 1612, TRB, Washington DC.

Johnson, C. A.; Keltner, J. L. (1983). *Incidence of Visual Field Loss in 20000 Eyes and its Relationship to Driving Performance*. Arch. Ophthalmol. 101, pp. 371-375.

Mestre, D. R. (2002). *Visual Factors in Driving*. In: Fuller, R.; Santos, J. A. ed. *Human Factors for Highway Engineers*. Pergamon, pp. 99-114.

Ministerio de Fomento (1999).