



VNIVERSITAT D VALÈNCIA

**“EFICACIA DE LAS MARCAS VIALES TRANSVERSALES
TIPO CHEVRON EN LA REDUCCIÓN DE VELOCIDAD DE
VEHÍCULOS LIGEROS EN INTERSECCIÓN”.**

Programa de doctorado:

3035: Investigación en Psicología

Doctoranda:

M^a Josefa Sospedra Baeza

Director:

Dr. Francisco Toledo Castillo

A mi infatigable compañero de viaje, Pepe.

A mi hija Clara

A mis padres

A Fina.

*Tras la tempestad llega la calma.
Detrás de toda acción hay una protesta,
porque todo hacer significa salir de para llegar a,
o mover algo para que esté aquí y no allá, ... ,
es decir que en todo acto está la admisión de una carencia,
de algo no hecho todavía y que es posible hacer...*

Rayuela, Julio Cortazar

*Tingues sempre al cor la idea d'Ítaca.
Has d'arribar-hi, és el teu destí,
però no forcis gens la travessia.
És preferible que duri molts anys,
que siguis vell quan fondegis l'illa,
ric de tot el que hauràs guanyat fent el camí.*

Viatge a Itaca, Lluís Llach

AGRADECIMIENTOS

Larga ha sido la travesía hasta llegar a puerto y nada exenta de dificultades, en muchas ocasiones mi nave ha estado a punto de zozobrar.

Muchas han sido las ocasiones en las que el desanimo y la desesperanza casi logran que abandonara. Sin las personas que han estado inflando las velas de mi nave para llegar a buen puerto probablemente hubiera naufragado.

Qué bien me vino en los momentos más duros, el *levante* fresco, seguido de una *brisa tranquila* que me relajaba y calmaba mis malos augurios.

En los momentos de calma chicha, cuando estaba a punto de abandonar la travesía, empezaba a soplar la *tramontana* que lograba activarme de nuevo, aunque fuera para luchar contra ella.

Y que hubiera hecho sin el *Xaloc* que me proporcionó cálida compañía en gran parte de esta travesía.

Muchos más vientos han contribuido en mayor o menor medida a que mi nave llegará a buen puerto, algunos soplaron desde Catalunya, otros desde Baleares. A todos ellos gracias.

Mis vientos:

Levante: María

Brisa tranquila: Gabi

Tramontana: Miguel

Xaloc: Carmen

Por último, agradecerle al Dr. Francisco Toledo Castillo la dirección, comprensión, apoyo y ayuda que me ha proporcionado en el último tramo de mi viaje.

Este trabajo ha contado con la colaboración y apoyo de la Dirección General de Tráfico (DGT), (los datos registrados antes e inmediatamente después de la intervención fueron analizados como parte de un estudio realizado para la DGT), del Centre de Gestió i Seguretat Viària (CEGESEV) de Valencia y del Servei de Seguretat Viària de la Conselleria d'Infraestructures i Transport de la Generalitat Valenciana que instalaron los radares y pintaron las marcas viales en la carretera.

Agradecer a todos ellos la colaboración prestada para el desarrollo de este trabajo, sin la que hubiera sido difícil poder llevarlo a cabo.

Los análisis, resultados y conclusiones presentados en esta tesis son originales, porque de hecho se incluyen dos momentos de registro posteriores a la adición de las marcas en la carretera (tres y seis meses, que no se incluyeron anteriormente), y los datos también han sido sometidos a un proceso de depuración que no se realizó para el informe presentando a la DGT.

ÍNDICE

1. Introducción general	1
1.1. Relación entre velocidad y siniestralidad vial	6
1.2. Medidas sobre el entorno para la reducción de la velocidad de los vehículos	9
1.3. Medidas de control pasivo de velocidad (PCM)	11
1.3.1. Tipo de medidas de control pasivo de la velocidad en pavimento	14
1.3.2. Marcas transversales en pavimento	16
1.4. Estudios con marcas transversales en pavimento en simulación y entorno real	18
1.5. Estudios con marcas transversales tipo chevron en entorno real	27
1.6. Conclusiones	33
2. Metodología	39
2.1. Objetivos	41
2.1.1. Objetivo general	41
2.1.2. Objetivos específicos	41
2.2. Hipótesis	42
2.3. Muestra	48
2.4. Diseño	49
2.5. Variables	50
2.6. Instrumentos	51
2.6.1. Aforador de gomas neumáticas	51

2.6.2. Aforador tipo radar	52
2.7. Registro y depuración de datos	54
2.8. Procedimiento	59
2.8.1. Determinación del tramo	59
2.8.1.1. Características del tramo	60
2.8.2. Diseño de las marcas transversales	64
2.8.2.1. Parámetros de diseño	65
2.8.2.2. Instalación de las marcas transversales	67
3. Resultados y desarrollo argumental	71
3.1. Análisis descriptivos	74
3.1.1. Pk 10+550. Punto de entrada a la zona de chevrons	74
3.1.2. Pk 10+850. Punto de salida de la zona de chevrons	83
3.1.3. Diferencias entre la velocidades del pk 10+550 y del pk 10+850	91
3.1.4. Diferencias entre los cuatro momentos temporales en el pk 10+850	96
3.1.4.1. Diferencias en función de entre semana/fin de semana	99
3.1.4.2. Diferencias en función de la visibilidad: día vs noche	103
3.1.4.3. Análisis de diferencias durante el día	105
3.1.4.4. Diferencias de día en función de	

entre semana/fin de semana	107
3.2. Análisis inferenciales	111
3.3. Relación entre la reducción de la velocidad y la accidentalidad	116
4. Conclusiones finales	119
4.1. Conclusiones	121
4.2. Limitaciones y propuestas de mejora	132
5. Referencias bibliográficas	135

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Los accidentes de tráfico constituyen un problema de salud pública de primera magnitud, de hecho “la OMS prevé que los traumatismos por accidentes de tráfico aumentarán para pasar a ser la quinta causa principal de mortalidad en 2030” (Organización Mundial de la Salud, 2009). “Cada año mueren más de 1,2 millones de personas en las carreteras del mundo entero y entre 20 y 50 millones padecen traumatismos no mortales” (OMS, 2009).

Durante los últimos 50 años se ha desarrollado la seguridad vial como ciencia, modificando el paradigma anterior que consideraba los accidentes de tráfico como una consecuencia inevitable del transporte, y se ha generado un cuerpo teórico acerca de las causas y estrategias eficaces para reducir y prevenir los accidentes de tráfico desde una perspectiva sistémica e integral, que considera los elementos que componen el sistema de tráfico: el conductor, el vehículo y la vía y su entorno y la relación entre ellos.

Haddon fue pionero en el estudio del tráfico por carretera desde esta perspectiva, desarrollando en 1972 una matriz en que las filas se corresponden con las tres fases que tienen

como resultado pérdidas por daños a personas y bienes (previa al accidente, accidente y posterior al accidente) y, las columnas con los tres grupos de factores que pueden intervenir en cada una de las tres fases (humano, vehículo y equipamiento y ambiente). En una segunda matriz, Haddon incluye subdivisiones en los tres grupos de factores (tabla 1).

Matriz de Haddon (1972)										
Fases	Factores									
	Persona					Vehículo y equipo			Entorno	
	Conductor	Pasajeros	Peatones	Motociclistas	Ciclistas	Otros	Características físicas	Movimiento y ubicación	Físico	Socio-cultural
Antes										
Accidente										
Después										

Tabla1. Matriz de Haddon. Adaptada al castellano de la figura 12 de la página 206 de Haddon (1972)

La matriz de Haddon proporciona un medio para: i) identificar los recursos necesarios y su eficacia; ii) valorar la pertinencia de la investigación realizada y las necesidades futuras y, iii) priorizar las medidas a aplicar, en función de sus costes y efectos (Haddon, 1972, 1980).

A partir de los estudios de Haddon se han desarrollado numerosas investigaciones con el objetivo de determinar los factores humanos, de la vía y del vehículo que influyen en el número y gravedad de los accidentes de tráfico y, las estrategias más eficaces para disminuir la exposición al riesgo, prevenir los accidentes, reducir la gravedad de los traumatismos en caso de accidente y atenuar sus consecuencias mejorando la atención posterior al accidente (Organización Panamericana de la Salud, 2004).

Nilsson (2004), basándose en la matriz de Haddon, clasifica las medidas que pueden afectar a la seguridad vial en función de tres dimensiones de seguridad del tráfico: exposición, riesgo y consecuencias del accidente (tabla 2) y de los componentes del sistema (usuario de la vía, vehículo y entorno) que coinciden con los factores de clasificación de Haddon: persona, vehículo/equipo y entorno.

Clasificación de Nilsson (2004)			
Dimensión de la seguridad	Sistema vial afectado		
	Usuario de la vía	Vehículo	Entorno
Exposición	Medidas de intervención para la mejora de la movilidad. Clasificación de los tipos de usuarios.	Medidas de intervención para la mejora del transporte público y regulación del tráfico.	Señales viales para la información y regulación del tráfico.
Riesgo	Mejorar la información, formación y el comportamiento de los usuarios en relación con las normas de tráfico.	Limitadores de velocidad. Armonización del equipamiento de los vehículos.	Control de velocidad, límites de velocidad, iluminación, mantenimiento de la vía.
Consecuencia del accidente	Dispositivos y equipos de protección (cinturón de seguridad y casco). Formación en primeros auxilios.	Protección del vehículo en colisiones, dispositivos de seguridad pasiva y limitadores de velocidad.	Barreras de protección, límites de velocidad. Armonización de autopistas y autovías.

Tabla 2. Clasificación de Nilsson. Adaptada de la tabla 18 de la página 49 de Nilsson (2004)

En el desencadenamiento del accidente concurren diversos factores: factores humanos tales como la falta de atención, descuidos, negligencias, imprudencias (Reason, 2000), fallos en la búsqueda visual o en la acción evasiva (McKnight & McKnight, 2003), factores de la vía y del entorno como firme en mal estado, mala o deficiente señalización, condiciones climatológicas adversas y, del vehículo como el mal

mantenimiento; es decir, que los accidentes son el resultado de deficiencias y fallos inherentes a los sistemas complejos (Kohn, Corrigan, & Donaldson, 2000; Reason, 1990; Reason, 2000), y aunque las relaciones causales entre ellos son difíciles de determinar (af Wahlberg, 2003) existe acuerdo en considerar la velocidad como un factor determinante en los accidentes de tráfico (Aarts & van Schagen, 2006; Aberg & Wallen, 2008; Elvik, Høye, Vaa, & Sørensen, 2009; Elvik & Vaa, 2004).

La velocidad es uno de los factores concurrentes más relevantes tanto en la génesis como en la gravedad de las consecuencias de los accidentes de tráfico (Nilsson, 2004). El riesgo de colisiones aumenta con la velocidad, sobre todo en las intersecciones y en adelantamientos, cuando los conductores subestiman la velocidad y sobreestiman la distancia de un coche que se acerca (OPS, 2004). La velocidad se relaciona entre un 30 y un 60% con los accidentes de tráfico (Aarts & van Schagen, 2006; Krahe & Fenske, 2002; Laberge-Nadeau, Maag, & Bourbeau, 1992; Vassallo, Smart, Sanson, Harrison, Harris, Cockfield, & McIntyre, 2007; Westerman & Haigney, 2000), por tanto, la reducción de la velocidad implicará una mejora de la seguridad (Elvik, Christensen, & Amundsen, 2004; Nilsson, 1990).

En España, “la velocidad inadecuada está presente en el 13% de los accidentes con víctimas ocurridos en 2010 y este porcentaje se eleva al 20% cuando el accidente con víctimas sucede en carretera (un punto menos que en 2009). En el caso de los accidentes mortales en un 27% de ellos se apreció que la velocidad fue un factor concurrente en el accidente” (Dirección General de Tráfico, 2011b, p. 41).

En el año 2010, en España se registraron 85.503 accidentes con víctimas, el 46% en carretera. Del total de fallecidos (a treinta días) en accidente de tráfico durante 2010 (2.478), el 78% se produjeron en carretera y el 20% de ellos por

velocidad inadecuada. Del total de fallecidos en carretera, el 13% fallecieron en accidentes en intersección y de ellos, el 20% tuvieron como factor concurrente la velocidad inadecuada.

Entre los accidentes con víctimas registrados en carretera, el 22,5% tuvieron lugar en una intersección, y en el 11% de ellos la velocidad inadecuada fue el factor concurrente.

En cuanto al número de heridos, el 23% fueron en intersecciones y el 11% de ellos por velocidad inadecuada.

En el año 2010 (tabla 3) hubo 2,9 fallecidos por cada 100 accidentes con víctimas.

	Carretera				Urbana	Total
	Total	Velocidad inadecuada ¹	Intersección ¹	Intersección por velocidad inadecuada ¹		
Accidentes con víctimas	39174	7960	8804	999	46329	85503
Fallecidos	1928	517	255	52	550	2478
Heridos	59889	11891	13712	1508	60456	120645
Fallecidos por cada 100 accidentes con víctimas	4,9	6,5	2,9	5,2	1,2	2,9

Tabla 3. Accidentes con víctimas, fallecidos y heridos en intersección por velocidad inadecuada (2010)

En carretera este valor asciende hasta 4,9 fallecidos por cada 100 accidentes con víctimas. El número de fallecidos por velocidad inadecuada en carretera en 2010 fue de 6,49 por cada 100 accidentes con víctimas. En intersecciones se registraron 2,9 fallecidos por cada 100 accidentes con víctimas. 5,21 fallecidos por cada 100 accidentes con víctimas en intersección estuvieron relacionados con la velocidad inadecuada.

¹ Datos proporcionados por el Observatorio Nacional de Seguridad Vial (DGT).

1.1 Relación entre velocidad y siniestralidad vial

Gorän Nilsson en 1981 desarrolló uno de los modelos más relevantes sobre la relación entre velocidad y gravedad de los accidentes: el “Power Model” (Modelo Potencial). Este modelo considera tres dimensiones en la seguridad del tráfico: la exposición, el riesgo y las consecuencias del accidente, y relaciona el número de accidentes, de muertos y heridos con las variaciones de la velocidad media. El objetivo fundamental de este modelo es describir el efecto que el cambio en la velocidad media de los vehículos tiene sobre el número de accidentes y las consecuencias de los mismos en una red de carreteras determinada y durante un período de tiempo definido (Nilsson, 2004).

Las relaciones entre los cambios en la velocidad media de los vehículos y la gravedad del accidente tienen una relación potencial, de manera que el número de accidentes con resultado de muerte se relaciona con los cambios de la velocidad media a la cuarta potencia, el número de accidentes con resultado de heridos graves se relaciona con los cambios de la velocidad media al cubo y el número de accidentes con resultado de heridos se relaciona con los cambios de la velocidad media al cuadrado (Nilsson, 2004).

Según este modelo, un aumento de un km/h en la velocidad media (de 90 a 91 km/h), implica un aumento del 4,5% en el número de accidentes mortales, del 5,3% en el número de víctimas mortales y del 2,5% en el número de heridos (sin contabilizar las muertes); una disminución en la velocidad media de 105 a 94 km/h (10,5%), implica una reducción del 36% de accidentes mortales, un 28% los accidentes con heridos graves y muertos y un 20% los accidentes con heridos.

Elvik, Christensen & Amundsen (2004) y Cameron & Elvik (2010) validan el modelo de Nilsson. Los resultados de la validación son consistentes con los del modelo de Nilsson en carreteras convencionales, autovías y autopistas, pero no son directamente aplicables a los cambios en la velocidad media en zonas urbanas. Indican que el uso de un solo parámetro, como la velocidad media, no es suficiente para describir las complejas relaciones entre la velocidad y los accidentes, especialmente en vías urbanas (Cameron & Elvik, 2010; Taylor, Lynam & Baruya, 2000). Para aprehender las complejas relaciones entre la velocidad y los accidentes se deben considerar tres aspectos de la velocidad: i) un estimador de tendencia central, ii) el coeficiente de variación como medida de dispersión y, iii) una medida de las velocidades extremas como el porcentaje de vehículos que sobrepasan un límite determinado de velocidad (Taylor et al., 2000).

En una reciente publicación del Observatorio Nacional de Seguridad Vial de la Dirección General de Tráfico del Ministerio del Interior (Dirección General de Tráfico, 2011a), se comparan las variaciones de las estimaciones del número de accidentes mortales en función de la variación de la velocidad media obtenidas con el modelo de Nilsson y la validación realizada por Elvik et al., (2004). Para una velocidad media inicial de 80 km/h, ambas estimaciones son coincidentes, el aumento de la velocidad media de 1, 4 y 8 km/h se corresponden con aumentos del 5, 22 y 46-48% del número de accidentes mortales respectivamente. Disminuciones de 1, 4 y 8 km/h, se corresponden con disminuciones del 5, 19 y 34-35% en el número de accidentes mortales, respectivamente.

Existe una amplia evidencia internacional que sugiere que incluso pequeñas reducciones en la velocidad media implican reducciones significativas en los accidentes (Woolley, 2005). Diversos estudios han detectado una reducción de los

accidentes al reducir los límites de velocidad (Engel, 1992; Newstead & Mullan, 1996; Nilsson, 1990; Parker, 1997): una reducción de la velocidad media de 1 km/h supone reducir entre un 2 y 3% el número de accidentes con algún herido (Finch, Kompfner, Lockwood, & Maycock, 1994), una reducción de la velocidad media de 2 a 5 km/h podría reducir entre un 10 y un 30% la gravedad de las lesiones de los accidentes (Molin & Brookhuis, 2007) y en más de un 30% la gravedad de los accidentes (Martens, Comte & Kaptein, 1997 citan a Salusjärvi, 1981; Nilsson, 2004). Kloeden, McLean, Moore & Ponte (1997), comparando las velocidades estimadas de los vehículos justo antes de tener un accidente mediante un programa de reconstrucción de accidentes, con la distribución de las velocidades de vehículos no accidentados que circulaban por la misma zona, concluyeron que en zonas urbanas el riesgo de tener un accidente con víctimas se duplica por cada 5 km/h que aumenta la velocidad por encima de los 60 km/h.

1.2 Medidas sobre el entorno para la reducción de la velocidad de los vehículos

El exceso de velocidad es un problema generalizado en la seguridad vial y de difícil solución por diferentes motivos. En primer lugar, muchos conductores no consideran que el exceso de velocidad sea realmente un problema de seguridad vial, ya que únicamente perciben las ventajas inmediatas que supone ir a una mayor velocidad sin considerar el riesgo de accidente o la situación del entorno; el riesgo de accidente solo se percibe como un concepto teórico hasta que no se materializa en forma de accidente. En segundo lugar, la mayoría de conductores consideran que eligen bien la velocidad a la que circulan cuando en realidad dicha estimación suele ser errónea. Finalmente existe un conflicto social entre la opinión de los conductores y la opinión de la sociedad a la hora de establecer los límites de velocidad permitidos en carretera (Elvik et al., 2009, Elvik, 2010).

Para controlar el exceso de velocidad existen principalmente tres tipos de medidas que se pueden utilizar. La primera de ellas es la definición, aplicación y supervisión del marco normativo y sancionador que regule los límites de velocidad en carretera (Armour, 1984; Barnes, 1984; Bjørnskau & Elvik, 1992; Galizio, Jackson & Steele, 1979; Hauer, Ahlin & Bowser, 1982; Vaa, 1997). La segunda medida es la aplicación de los principios de la ingeniería de tráfico en el diseño y modificación del trazado de las carreteras (tipos de materiales, anchos de carril, glorietas, badenes, chicanes, ...) (Davies, 1988; Engel & Thomsen, 1992; Herrstedt, 1992; Hungerford & Rockwell, 1980; Lynam, 1987; Martens, Comte & Kaptein, 1997; Parker & Tsuchiyana, 1985; Pau & Angius, 2001; Russam, 1979; Silcock & Walker, 1982; Schnüll & Lange, 1992; Vey & Ferreri, 1968; Webster & Layfield, 1993; Wright & Boyle, 1987; Yagar & Van Aerde, 1983). Y en tercer lugar, la aplicación de

medidas de control pasivo de velocidad (PCM), que se definen como acciones no intrusivas para la reducción de la velocidad mediante la manipulación del entorno visual del conductor, que afectan a la percepción de velocidad del conductor, de modo que la velocidad percibida es mayor que la velocidad real de circulación (Denton, 1971, 1980; Fildes & Jarvis, 1994; Fildes & Lee, 1993; Godley, Triggs & Fildes, 2000, 2004; Helliard-Symons, 1981; Herrstedt & Greibe, 2001; Horberry, Anderson, & Regan, 2006; Jamson, Lai, & Jamson, 2010; Khan, 2010; Lum, 1984; Malaterre, 1977; Meyer, 2001; Richards & Dudek, 1986; Rockwell, Malecki & Shinar, 1975).

1.3 Medidas de control pasivo de velocidad (PCM)

Generalmente se utiliza el término percepción para referirse a los procesos sensoriales relativamente automáticos de una interacción individual con su entorno. En este sentido, es la primera etapa del proceso psicológico que se produce entre un ser humano que está recibiendo estimulación y su respuesta. La percepción sensorial determina desde el principio que información está disponible a un operador humano en una situación de estímulo en particular. Teniendo en cuenta que la percepción sensorial es la base para la respuesta del ser humano en su medio ambiente, la manipulación de las señales visuales que intervienen en la percepción sensorial en la carretera pueden influir en el comportamiento de los conductores. (Campbell, Richard, Brown, Lichy, Graham & O’Laughlin, 2010; Fildes & Lee, 1993).

La percepción del movimiento depende de la retina central (flujo radial) y de la retina periférica (flujo lamelar). “Cada vez que se pone en marcha un vehículo se proyectan en las retinas de los conductores una serie de desplazamientos y transformaciones en las imágenes proyectadas que reciben el nombre de “flujo óptico” y juegan un papel esencial en el control perceptivo de la locomoción” (Lillo, 1996, p. 39).

El término flujo óptico, fue acuñado por Gibson en 1950, y hace referencia al movimiento aparente de los elementos de una escena (objetos, superficies y bordes) causados por el movimiento relativo entre el observador y la escena. Gibson lo definió como el gradiente de deformación de la imagen a lo largo del movimiento del observador (Lillo, 1995).

El flujo óptico tiene un papel fundamental en la percepción del movimiento de los conductores. “La velocidad experimentada tiende a reducirse con la exposición continuada

al flujo, lo que se debe en gran medida a la fatiga de mecanismos de carácter central” (Lillo, 1995, p. 110).

Denton (1966, 1976) investigó las variables psico-físicas relacionadas con la adaptación a la velocidad y aplicó los principios de la influencia del flujo óptico sobre la reducción de velocidad en dos investigaciones (la primera en simulación y la segunda en entorno real) bajo la hipótesis que la distorsión deliberada de la geometría espacial del campo visual contrarrestaría los efectos de la adaptación sensorial a la velocidad (Denton, 1980).

Para lograr la distorsión espacial del campo visual del conductor, diseño marcas viales transversales de color blanco (bien contrastadas con el firme), perpendiculares al sentido de la marcha y paralelas entre sí y reduciéndose entre ellas la distancia de manera exponencial, “de este modo, (1) el buen contraste asegura la respuesta de los mecanismos sensibles al flujo óptico, (2) la perpendicularidad al sentido de la marcha produciría un flujo notorio en la retina (las proyecciones se desplazarían por gran parte de ella) y (3) la reducción en las distancias interfranjas haría que fuese cada vez menor el tiempo transcurrido entre el paso de cada una de ellas y la siguiente por una parte de la retina (algo parecido a incrementar la frecuencia espacial), lo que aumentaría la sensación de velocidad” (Lillo, 1995, p. 110).

Considerando la relación entre los diferentes entornos de conducción y la elección de la velocidad del conductor (Manser & Hancock, 1996; Manser, Hancock, Kinney, & Diaz 1997), en el ámbito de la psicología del tráfico se han realizado diversos estudios en entornos reales para mejorar el tráfico y la seguridad en las carreteras, actuando principalmente sobre la percepción de la velocidad en el diseño de las carreteras (Fambro, Koppa, Picha, & Fitzpatrick, 1998; Fitzpatrick, Lienau, & Fambro, 1998; Krammes, Fitzpatrick, Blaschke, & Fambro,

1996). Un diseño vial adecuado debe comunicarle al conductor la necesidad de respetar los límites de velocidad e indicarle las zonas de la carretera donde son necesarios los cambios de velocidad (Stamatiadis, Bailey, Grossardt, Ripy & Strombotne, 2006). En esta misma línea, debido a que la percepción visual es una fuente significativa de información para el conductor (Sivak, 1996) y que influye en la conducción (Fildes, Fletcher, & Corrigan, 1987, 1989; Schiff, W. & Arnone, W. 1995), es de esperar que modificaciones directas del entorno que influyen en la percepción visual se asocien con cambios en la conducción para mantener la velocidad, siendo además intervenciones que tienen un coste relativamente bajo para lograr un cambio en la forma que se percibe el entorno de conducción en comparación con las intervenciones para modificar la infraestructura vial, como por ejemplo un patrón de señales pintadas sobre la calzada para inducir la ilusión de que el conductor del vehículo circula a mayor velocidad de la real (Godley, Fildes, Triggs & Brown, 1999).

Bajo el supuesto que las medidas de control pasivo de velocidad incrementan la sensación de velocidad de los conductores, provocándoles una mayor sensación de peligro y por tanto una disminución de la velocidad (Allpress y Leland, 2010; Charlton, 2007; Fildes y Lee, 1993), se han realizado estudios tanto de simulación como en entorno real, modificando el entorno de conducción con el objetivo de influir en la percepción visual del conductor mediante la introducción de marcas viales horizontales (en pavimento) o verticales (señales verticales o marcas en paredes de túneles) (Agent, 1980; Carlson, Park, & Andersen, 2009; Carlson, Rose, Chrysler & Bischoff, 2004; Carmody, 1997; Comte, 1998; Cottrell, 1986, 1988; DeLuca, 1986; Drakopoulos, & Vergou, 2003; Fildes, Fletcher & Corrigan, 1987, 1989; Fildes, Godley, Triggs, & Jarvis, 1997; Griffin & Reinhardt, 1996; Hall, 1987; Hunter,

Boonsiripant, Guin, Rodgers, Jared, & Park, 2010; Ito, 1995; Liebel & Bowron, 1984; Zaidel, Hakkert, & Barkan, 1986), obteniéndose como resultado una reducción de la velocidad y la accidentalidad vial (figura 1). También se han realizado metaanálisis y revisiones de estudios que han aplicado las medidas de control pasivo de la velocidad con el objetivo de comparar la eficacia de las diferentes medidas analizadas (Aarts, 2006; Armour, 1984; Charlton & Baas, 2006; Comte, Várhelyi, & Santos, 1997; Daniels, Vanrie, Dreesen, & Brijs, 2010; Fildes & Jarvis, 1994; Fildes & Lee, 1993, 1994; Griffin & Reinhardt, 1996; Liu, Zhu, Wang & Xia, 2008; Martens, Comte & Kaptein, 1997; Meyer, 2000; Rosey, Auberlet, Bertrand, & Plainchault, 2008; Van Driel, Davidse, & Van Maarseveen, 2004; Wright & Boyle, 1987).

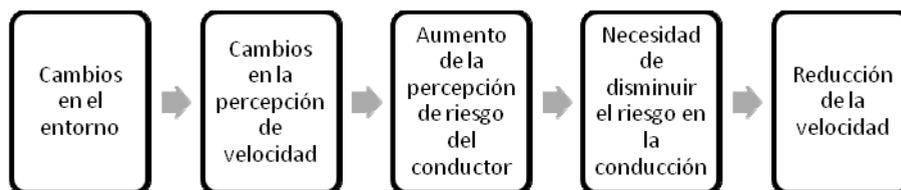


Figura 1. Proceso del control pasivo de velocidad mediante manipulación del entorno. Adaptado de Liu, Zhu, Wang & Xia (2008), p. 342

1.3.1 Tipos de medidas de control pasivo de la velocidad en pavimento.

Desde finales de los años 70 y principio de los 80, a partir de los resultados obtenidos por Denton, se han desarrollado diversas investigaciones experimentando con diversos tipos de marcas en pavimento como una solución económica para modificar el comportamiento del conductor mediante la reducción de la velocidad, es decir, como medidas de control pasivo de velocidad. Estas marcas han sido diseñadas para crear un efecto visual u óptico en los conductores para reducir la velocidad, ya sea mediante una ilusión óptica de aceleración

(Denton, 1980; Griffin & Reinhardt, 1996; Martens, Comte & Kaptein, 1997) o la ilusión de estrechamiento de carril (Pyne, Dougherty, Carsten & Tight, 1995; Pyne, Hodgson, Carsten & Tight, 1995; Shinar, Rockwell & Malecki, 1980).

Las ubicaciones seleccionadas para aplicar este tipo de medidas eran tramos donde era necesario controlar la velocidad por la existencia de una zona de peligro: intersecciones, glorietas, curvas, puentes, zonas de obras, tramos de acceso a entorno urbano y carriles de salida de autovías (Gates, Qin & Noyce, 2008; Griffin & Reinhardt, 1996; Toledo-Castillo, Sospedra-Baeza, Figueres-Esteban & Lloret-Catalá, 2011).

Se ha experimentado con diferentes patrones de marcas en pavimento como medidas pasivas de control de velocidad, variando la forma y dimensión de las marcas, el espaciado entre las marcas, la distancia entre la última marca y el punto de peligro, la longitud del tramo (ligada a la velocidad objetivo y tasa de deceleración del vehículo) y el contraste de color en el pavimento (Martindale & Ulrich, 2010). En función de estas características se pueden distinguir dos grandes grupos de marcas en pavimento, las longitudinales y las transversales. Las marcas longitudinales son aquellas que afectan a las líneas centrales y bordes del carril mientras que las transversales son aquellas marcas perpendiculares a la dirección de movimiento (Katz, 2007). Dentro de las marcas transversales se distinguen principalmente dos tipos, las marcas periféricas, en los extremos del carril, y las marcas transversales completas, que cruzan todo el carril (Arnold & Lantz, 2007; Denton, 1980; Ray, Kittelson, Knudsen, Nevers, Ryus, Sylvester, Potts, Harwood, Gilmore, Torbic, Hanscom, McGill, & Stewart, 2008).

Las marcas longitudinales se han utilizado fundamentalmente para provocar el estrechamiento del carril o ayudar al conductor ofreciéndole información de cómo trazar la

trayectoria durante la circulación por el tramo (Charlton, 2007; Godley, Triggs, & Fildes, 2004; Retting, McGee & Farmer, 2000; Rothenberg, Benavente & Swift, 2004;). Las marcas transversales se han utilizado para provocar tanto el efecto ilusorio de aceleración como de estrechamiento de carril (Denton, 1971, 1980; Griffin & Reinhardt, 1996; Helliard-Symons, 1981; Martens, Comte & Kaptein, 1997; Pyne, Dougherty et al., 1995; Pyne, Hodgson et al., 1995; Rutley, 1975; Shinar, Rockwell & Malecki, 1980).

1.3.2 Marcas transversales en pavimento

El tipo de medida de control pasivo de velocidad más utilizada para lograr la reducción de la velocidad son las marcas transversales en pavimento (Fildes & Jarvis, 1994; Katz, 2007; Martindale & Ulrich, 2010; Rothenberg, et al., 2004; Turner, 2009). Estas marcas transversales generalmente se configuran a partir de líneas transversales (parciales o completas) o formas tipo chevrons (individuales o en conjunto). En función de estos tipos de formas y su espaciado, podemos distinguir los siguientes tipos de marcas (tabla 4).

1		<p><i>Líneas transversales (LT) equidistantes</i> Líneas transversales equidistantes que cruzan de extremo a extremo el carril.</p>
2		<p><i>LT progresivas</i> Líneas transversales cuya distancia disminuye progresivamente y cruzan de extremo a extremo el carril.</p>
3		<p><i>LT periféricas equidistantes</i> Líneas transversales equidistantes periféricas a los bordes del carril.</p>

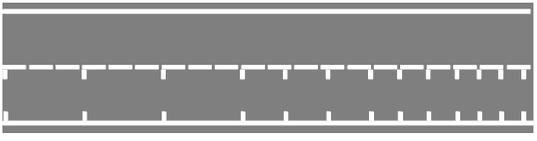
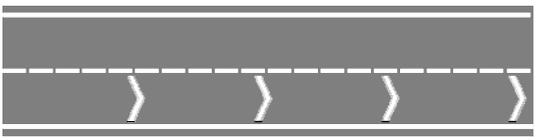
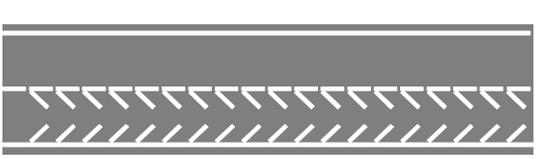
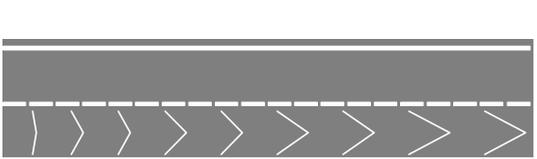
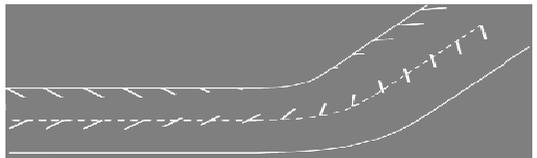
4		<p><i>LT perifericas progresivas</i> Líneas transversales cuya distancia disminuye progresivamente y perifericas a los bordes del carril</p>
5		<p><i>Marcas transversales (MT) "diente de dragón"</i> Marcas transversales equidistantes a los bordes del carril tipo "dientes de dragón".</p>
6		<p><i>MT chevron equidistantes</i> Marcas transversales equidistantes tipo chevron.</p>
7		<p><i>LT perifericas oblicuas equidistantes</i> Líneas perifericas equidistantes oblicuas al borde del carril (chevrons incompletos).</p>
8		<p><i>MT chevron equidistantes. Efecto Wundt</i> Marcas transversales equidistantes tipo chevron. Diminución progresiva de los ángulos de los chevrons (efecto Wundt).</p>
9		<p><i>MT chevron progresiva</i> Marcas transversales tipo chevron, disminución progresiva de la separación entre los conjuntos (bloques) de chevrons.</p>
10		<p><i>MT "espiga"</i> Marcas transversales perifericas equidistantes tipo "espiga" (herringbones lane marking) a los bordes del carril en tramo curvo.</p>

Tabla 4. Tipos de marcas transversales en pavimento

1.4 Estudios con marcas transversales en pavimento en simulación y entorno real.

Se han realizado numerosos estudios de investigación en diferentes países (Reino Unido, Estados Unidos, Australia, Nueva Zelanda, Canadá y Japón) con marcas viales transversales tanto en entorno real como en simulación, aunque a día de hoy aun existe el debate de cómo exactamente las marcas influyen o interactúan sobre el conductor para reducir la velocidad en la conducción (Martindale & Ulrich, 2010).

Se han probado diferentes tipos de configuraciones en varios tipos de entornos con zonas de peligro (intersecciones, glorietas, curvas, puentes, tramos de acceso a entorno urbano, zonas de obras y carriles de salida de autovías), tanto por entidades nacionales de transporte como por centros de investigación.

La heterogeneidad de objetivos y de metodologías utilizadas para el análisis de la efectividad de las marcas transversales en pavimento, ha generado numerosa literatura gris (informes técnicos, recomendaciones técnicas, publicaciones oficiales, comunicaciones a congresos,...) de relevancia científica y técnica, resultando difícil realizar una integración del conjunto de resultados obtenidos hasta la fecha.

El Departamento de Transporte de Reino Unido (2003) fue el primero en incluir como recomendación técnica, el estándar TD6/79 de 1986 donde se describe el uso y las especificaciones técnicas de las marcas transversales (Martindale & Ulrich, 2010).

Los primeros estudios realizados con marcas transversales en pavimento se desarrollan en Reino Unido en la década de los 70, Denton en 1971 realiza las primeras pruebas de simulación bajo la hipótesis que las líneas transversales

espaciadas de forma logarítmica decreciente (tabla 4, fila 2) modifican el campo visual del conductor provocando en él un efecto de aceleración (Denton, 1971). En 1973 Denton instala líneas transversales en la aproximación de una glorieta de Midlothian (Escocia), obteniendo, inmediatamente después de la instalación, una reducción significativa de la velocidad del percentil 85 y la velocidad media del 29,80% y 22,6% respectivamente y, del 8% sobre la velocidad media un año después. También registró el número de accidentes, se contabilizaron dos accidentes durante los siguientes dieciséis meses frente los catorce que habían ocurrido durante los doce meses anteriores a la instalación de la marcas (Denton, 1980; Fildes & Jarvis, 1994).

En 1980, Agent instala líneas transversales espaciadas de forma decreciente (tabla 4, fila 2) en un tramo curvo de una autovía de Kentucky (EEUU), con elevada accidentalidad debido a la velocidad. Detecta una reducción de la velocidad media del 19% inmediatamente después de la instalación y de un 16% seis meses después. Aunque observa una disminución de la accidentalidad y la estima en un 61%, los periodos de comparación no son equivalentes y por tanto dicha estimación no es precisa. Informa también de una mayor duración del efecto durante el día y de una reducción del 50% del número de vehículos que circulaban a mayor velocidad de la permitida.

En 1981, Helliard-Symons instala en aproximaciones a glorietas de Reino Unido, líneas transversales con espaciado decreciente (tabla 4, fila 2) con el objetivo de realizar un estudio de la accidentalidad durante un período de cuatro años, obteniendo una reducción del 57%. Concluye que estas marcas son más efectivas en la reducción de accidentes con víctimas mortales y graves y más efectivas durante el día que la noche. Los resultados sobre la reducción de accidentes, en las zonas

en las que se pudo registrar, se mantuvieron hasta cuatro años después de la intervención.

En 1982, Liebel & Bowron introducen líneas transversales con espaciado de forma decreciente (tabla 4, fila 2) en el carril de salida de una autovía de Alberta (Canadá). Tras analizar los registros obtenidos durante los veinte días siguientes a la instalación, detectaron una reducción de la velocidad media de un 3,3% y una disminución del 1,4% de los vehículos que excedían el límite de velocidad (Liebel and Bowron, 1984).

En 1987 Maroney & Dewar implementan líneas transversales espaciadas de forma decreciente (tabla 4, fila 2) en carriles de salida de autovías, analizando inmediatamente después, a la semana, a las dos y a las tres semanas después, las diferencias en la velocidad media y el porcentaje de vehículos que circulaban a 30 km/h por encima de la velocidad permitida. Observó una reducción de la velocidad de un 4,6%, un 1,4% del número de vehículos que excedían en 30 km/h la velocidad permitida y un 18,8% de reducción en la variabilidad de las velocidades.

En 1989 Jarvis instala antes de una intersección un tramo de líneas transversales equidistantes (tabla 4, fila 1), y aunque a los doce meses detecta una reducción de la velocidad, observa que estas reducciones no se deben únicamente al efecto visual de las marcas. Al analizar la accidentalidad a los doce meses, indica que es necesario considerar un periodo de tiempo mayor al del estudio (Jarvis & Jordan 1990). En 1990, Jarvis & Jordan instalan en otra intersección líneas transversales consiguiendo una reducción de la velocidad de 3 a 5 km/h.

En la década de los 90 se realizan fundamentalmente estudios de simulación en diferentes entornos, implementando diversas configuraciones de marcas transversales, longitudinales y verticales. En 1995, Pyne, Dougherty et al.,

simulan zonas urbanas, curvas y tramos rectos de carretera con el objetivo de evaluar el efecto de diversas medidas de control pasivo de velocidad de manera individual y combinada. Para las marcas transversales se obtuvo una reducción de la velocidad media y de la velocidad del percentil 85 en los tres escenarios de entre 6,5 y 11 km/h y, 9,6 y 11 km/h respectivamente (Charlton & Baas, 2006).

Godley et al., (1997, 1999), realizan dos estudios de simulación. En el primero simulan una intersección de carretera convencional con tres patrones de marcas trasversales: líneas transversales equidistantes (tabla 4, fila 1), líneas transversales con espaciado decreciente (tabla 4, fila 2) y marcas periféricas con distancia de separación decreciente (tabla 4, fila 4). Los resultados del estudio indicaron que todas las medidas reducían la velocidad media en aproximadamente 8 km/h, sin encontrar diferencias entre ellas. En el segundo estudio, de nuevo en una intersección, prueban el efecto de varios patrones de marcas transversales: marcas tipo chevron para provocar el estrechamiento de carril (tabla 4, fila 8), líneas transversales (tabla 4, filas 1 y 2), líneas periféricas (tabla 4, fila 3 y 4) y líneas periféricas oblicuas al borde del carril (tabla 4, fila 7). Concluyeron que las líneas transversales eran las más eficaces para lograr la reducción de velocidad, obteniendo una reducción de 11 km/h y las que más efecto mantienen a largo plazo, también indican que es irrelevante que la distancia de separación sea equidistante o disminuya progresivamente entre las líneas.

En 1999, Jamson, Pyne & Carsten (en Katz, 2007) simulan un tramo curvo y un tramo de acceso a entorno urbano para analizar diferentes tipos de medidas de control pasivo de velocidad. Del total de medidas analizadas, dos eran patrones de líneas y marcas transversales en pavimento: MT chevron equidistantes. Efecto Wundt, diseñadas para provocar el efecto

de estrechamiento de carril (tabla 4, fila 8) y LT progresivas para provocar la ilusión de aceleración (tabla 4, fila 2). Con el patrón de LT progresivas, en ambos escenarios, se obtuvo una reducción de la velocidad media y de la V85 de entre 5 y 6 km/h y, 5 y 10 km/h, respectivamente. Con el patrón de MT chevrons equidistantes. Efecto Wundt las velocidades se redujeron en menor medida.

En el año 2000, Meyer introduce en Kansas (EEUU) líneas transversales en un tramo en obras utilizando tres patrones de forma consecutiva. Antes de llegar al tramo, incluyó líneas transversales equidistantes que alertaban al conductor de la llegada a una zona de obras (tabla 4, fila 1). A continuación líneas transversales a diferentes distancias (tabla 4, fila 2) y con diferentes anchos que servían de guía hacia la zona de obras. Finalmente, en el propio tramo de obras, situó cuatro sets equidistantes de líneas transversales (tabla 4, fila 1). Los resultados del estudio mostraron una reducción significativa en la velocidad media, aunque de baja magnitud.

Charlton realiza diversos estudios para analizar los efectos que la atención y la percepción tiene sobre la elección de la velocidad en simulación (Charlton, 2003, 2004, 2007). En 2003, realiza un estudio de simulación para comparar la eficacia de señales explícitas (señales de velocidad máxima) y señales implícitas (PCM), utiliza un patrón de LT periféricas oblicuas equidistantes (tabla 4, fila 7) antes de una intersección y concluye que las PCM consiguen una reducción de la velocidad media. En 2004 compara la reducción de la velocidad en aproximaciones a curva de diferentes tipos de señales, concluyendo que las advertencias que contienen componentes perceptivos tienen el mayor efecto de desaceleración.

En el año 2004, Macaulay, Gunatillake, Tziotis, Fildes, Corben & Newstead implementan en seis intersecciones y seis tramos de curva de Melbourne y Sydney (Australia) diferentes

tipos de medidas de control pasivo de velocidad. Aplican un patrón de líneas periféricas equidistantes (tabla 4, fila 3), obteniendo a los dos y doce meses una reducción significativa de la velocidad. En el mismo año, Katz implementa el mismo tipo de marcas transversales en Nueva York, Mississippi y Texas, obteniendo a los cuatro meses después de la instalación de las marcas una reducción de la velocidad media de 6,3 y 0,5 km/h respectivamente.

Charlton & Baas (2006), realizan un metaanálisis con el objetivo de identificar los resultados de las investigaciones realizadas para gestionar la velocidad en Nueva Zelanda, y concluyen que los tratamientos realizados para gestionar la velocidad logran reducir la velocidad de los vehículos de manera significativa y estable hasta en un 27%, reducen el número de accidentes con heridos, en promedio, un 15% y la gravedad de las lesiones en promedio, en un 11%. Además concluyen que con las velocidades más elevadas las PCM obtienen según la opinión de los expertos las calificaciones más altas como medidas de gestión de la velocidad.

En el 2007, Charlton & de Pont, realizan un estudio de simulación en aproximaciones a curvas con marcas transversales tipo “espiga” (tabla 4, fila 10). Los resultados del estudio indicaron que aunque no hubo una reducción de la velocidad de los vehículos en el tramo de la curva, si se detectaron cambios significativos en las posición del vehículo en el carril.

En el año 2007, Arnold & Lantz eligen vías de Virginia (EEUU) con intersecciones y elevada tasa de accidentalidad con el objetivo de instalar patrones de líneas transversales (tabla 4, fila 2) y de líneas periféricas (tabla 4, fila 4) con un espaciado decreciente. A los 90 días después de la instalación

en varios tramos, se obtiene una reducción de la velocidad media de entre el 5,5% y el 16,8%.

En el 2008, Gates, Qin, & Noyce implementan en un tramo curvo de una autovía de Milwaukee un patrón de líneas transversales periféricas equidistantes (tabla 4, fila 3), obteniendo una reducción de aproximadamente 6 km/h seis meses después de su instalación. En el mismo año, Ray et al, implementan en diferentes sitios de Oregón, Washington y Texas diferentes tipos de medidas de control pasivo de velocidad. En las intersecciones, instalan líneas transversales (tabla 4, fila 1) y líneas periféricas (tabla 4, fila 3) con una separación equidistante, obteniendo una reducción de la velocidad media de 1 km/h.

Turner (2009), hace una revisión de diferentes medidas aplicadas en carreteras convencionales de siete estados de Australia y Nueva Zelanda para gestionar la velocidad. Analiza la robustez de la metodología utilizada en los estudios, el número de estudios sobre el tema, la consistencia de los resultados y el país donde se desarrolló la investigación. Los resultados indican que las medidas perceptivas en intersecciones de carreta convencional reducen entre un 15% y un 60% los accidentes, entre 2 y 9 km/h la velocidad media y entre 9 y 11 km/h la velocidad del percentil 85. Es de destacar la falta de información proporcionada en la mayoría de los estudios revisados por Turner.

En 2009, Toledo et al., realizan un estudio en simulación para determinar la eficacia de tres diseños de marcas viales transversales tipo chevrons en dos escenarios diferentes: entrada a entorno urbano desde travesía recta de gran longitud y con buena visibilidad y entrada a entorno urbano a través de túnel. Se implementaron tres diseños de chevrons en cada uno de los dos escenarios: i) patrón de chevrons de 120° de ángulo con disminución progresiva de la distancia entre los bloques

(tabla 4, fila 9); ii) patrón de chevrons de 60° de ángulo con disminución progresiva de la distancia entre los bloques (tabla 4, fila 9) y, iii) patrón de chevrons equidistantes (tabla 4, fila 6).

Se determinaron seis puntos de medición de la velocidad de los vehículos; el primero en el punto de entrada a la zona de chevrons y los cinco siguientes bajo la hipótesis de una reducción progresiva de la velocidad desde los 100 km/h hasta alcanzar la velocidad objetivo establecida en 50 km/h, al final del tramo de las marcas viales transversales.

La longitud total del tramo fue de 304 metros, y se incluyeron en él 32 bloques de cinco chevrons cada uno. La muestra la constituyeron 36 sujetos que participaron de manera voluntaria en el estudio. Se utilizó la técnica de doble ciego para evitar el sesgo tanto del instructor de simulación como de los participantes en el estudio. Cada sujeto fue sometido a una fase previa de entrenamiento para familiarizarse con los mandos del simulador conduciendo por un escenario de entorno urbano totalmente distinto a los escenarios de experimentación.

Cada sujeto fue sometido a cuatro variaciones de cada escenario, los efectos de fatiga y de orden de presentación se controlaron mediante la técnica del contrabalanceo parcial.

Los datos se analizaron con un análisis multivariado de varianza (MANOVA) y se realizaron comparaciones múltiples a posteriori, ajustando el error tipo I mediante la prueba de Bonferroni. Para el escenario de entrada a entorno urbano desde autovía mediante travesía recta de gran longitud y buena visibilidad, los chevrons de 60° lograron una reducción de la velocidad media estadísticamente significativa frente al resto de diseños y una reducción de la velocidad media de 5,86% frente al mismo escenario sin las marcas transversales tipo chevron.

En el 2010, Martindale & Ulrich seleccionan tramos rectos de elevado riesgo debido a su tasa de accidentalidad por velocidad y la aproximación a punto de peligro, donde no se hubiera realizado ningún tipo de intervención previa. En una intersección y tramo de puente instalan una variación de las marcas estudiadas por Charlton en el 2003, siendo del tipo líneas periféricas oblicuas (tabla 4, fila 7). Tras evaluar las marcas a los dos semanas de instalación y a los seis meses, concluyen que se da un mejor comportamiento de la marcas a largo que a corto plazo, reduciéndose la velocidad media entre 2,7 y 12,2 km/h.

En el 2010, Jamson, et al., realizan un estudio de simulación con un mayor número de escenarios y combinación de medidas de control pasivo de velocidad que el realizado por Jamson et al., (1999), obteniendo con el patrón de líneas transversales equidistantes (tabla 4, fila 1) ubicadas en intersección una reducción de la velocidad media del 5% y con los patrones de líneas transversales equidistantes (tabla 4, fila 1) y “dientes de dragón” (tabla 4, fila 5) en tramos de acceso a entorno urbano reducciones del 28% al 33%

1.5 Estudios con marcas transversales tipo chevron en entorno real.

Las marcas transversales tipo chevron (tabla 4, filas 6 y 9) en entorno real se han utilizado con dos objetivos: mantener la distancia de seguridad entre los vehículos (Greibe, 2010; Helliar-Symons, Webster, & Skinner, 1995; Webster, Skinner, & Helliar-Symons, 1992;) y reducir la velocidad (Drakopoulos & Vergou, 2003; Hunter et al., 2010; Toledo-Castillo et al., 2011; Voigt & Kuchangi, 2008).

Las investigaciones para comprobar el efecto de las marcas transversales tipo chevron sobre la reducción de velocidad son relativamente novedosas, y son pocos los países y estudios que hasta la fecha han comprobado su efecto en entorno real; únicamente Japón y EEUU han incorporado estas marcas viales en pavimento.

Los primeros estudios referenciados vienen de Japón, donde se implementaron chevrons en diferentes puentes con alto índice de accidentalidad, el más documentado de estos estudios es el del puente de Yodogawa en Osaka (imagen 1) en 1995 (Katz, 2007; Rothenberg, et al., 2004).



Imagen 1. Marcas chevron en el puente de Yodogawa en Osaka, Japón. Tomado de Rothenberg (2004)

Los resultados obtenidos se han presentado en Congresos realizados en Japón. La única información en un idioma distinto al japonés son los resúmenes de las comunicaciones y las referencias que en otros estudios se hace de ellos (Drakopoulos & Vergou, 2003; Rothenberg et al., 2004, Katz, 2007).

En EEUU, se han desarrollado tres investigaciones con marcas viales transversales tipo chevron en entorno real. Una en carriles de salida de autovía (imagen 2) y dos en curvas de autovía (imagen 3).



Imagen 2. Marcas chevron instaladas en Milwaukee, Wisconsin. Tomada de Drakopoulos & Vergou, 2003)



Imagen 3. Marcas chevron implantadas en la aproximación al conector US54 con IH10 en El Paso, Texas. Tomada de Voigt et al. (2008)

En el año 2003, Drakopoulos & Vergou, analizan la eficacia de las marcas viales transversales tipo chevron en dos carriles de salida de la carretera interestatal 94 en Milwaukee, incluyendo el patrón de chevrons en un tramo de salida y como control eligen otro tramo de salida con características geométricas e Intensidad Media Diaria (IMD) similares (tabla 5). Registran cada cinco minutos la intensidad de tráfico y las velocidades. Obtienen reducciones en la velocidad media en el tramo de intervención a los cuatro meses del 14,03% y en la velocidad del percentil 85 del 11,67%. En relación al número de accidentes, a los dos años de haber instalado las marcas viales, informan de una reducción del 42,86%.

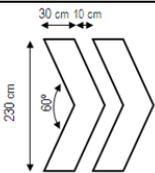
Drakopoulos, A. & Vergou, G. (2003). Milwaukee, Wisconsin (EEUU)						
Dos carriles de salida de la Interestatal 94 hacia la Interestatal 894 (Mitchell Interchange) en Milwaukee, Wisconsin. IMD: 39010 vehículos (1999) y 42800 (2000) Limite de velocidad del tramo de 80,45 km/h (50 mph).						
Diseño	Longitud del tramo	Tipo	Medidas chevron 	Posición de los sets (m)		Parámetros de diseño
	Patrón: 186,05 m Tramo: 195,2 m	16 sets de chevrons de 10 chevrons cada set. Color blanco		1 188,49 9 89,06 2 175,68 10 77,47 3 162,87 11 65,88 4 150,06 12 54,90 5 137,25 13 43,92 6 125,05 14 32,94 7 112,85 15 22,57 8 100,65 16 12,20	Deceleración 1m/s ² Sets por seg. 2,2 Entrada 104,59 km/h Salida 80,45 km/h	
Variables	Velocidad y número de accidentes.					
Metodología	Comparación del tramo de intervención con tramo de control de características geométricas e IMD's similares. Aforadores en la entrada y salida de ambos tramos. Miden el volumen de tráfico y velocidad media ofreciendo registros de datos cada cinco minutos (no de forma individual por vehículo). Periodo antes y después para el análisis de accidentalidad de dos años. Periodo antes y después para el análisis de velocidad de cuatro meses.					
Análisis	Comparación antes y después de instalación de las marcas de la velocidad media y percentil 85. No indica información sobre la aplicación de significación estadística.					
Resultados	Frecuencia accidentes		Velocidad media		Percentil 85 de velocidad	
Tramo intervención	-6 accidentes (42,86%)		-12,87 km/h (14,03 %)		-7 km/h (11,67%)	
Tramo control	-14 accidentes (19,18%)		-1,609 km/h (2,04%)		0	
Coste	Instalación inicial	40.000 \$		Repintar	38.000 \$	

Tabla 5. Estudio chevrons instalados en Milwaukee (Wisconsin)

Informan de un coste de inicial de instalación de las marcas viales transversales tipo chevron de 40.000\$ y de un coste de repintarlas a los 24 meses de 38.000\$.

Voigt & Kuchangi en 2008 (tabla 6), introducen las marcas tipo chevron en dos carriles de una curva de enlace de la autovía US 54 a la autovía IH10 en El Paso (Texas). Registran datos en cuatro puntos (antes de entrar al tramo, en la entrada del tramo, al inicio de la curva y en el punto medio de la curva). Registran datos cuatro meses antes de la instalación y tres y seis meses después. En cada período temporal se registraron datos durante tres o cinco días.

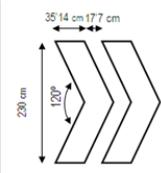
Voigt, A.P., Kuchangi, S.P. (2008). El Paso, Texas (EEUU)						
Dos carriles en curva de enlace de la autovía US 54 a la autovía IH 10 en El Paso, Texas. IMD: 18000 (2007) Límite de velocidad del tramo de 96,54 km/h (60 mph).						
Diseño	Longitud del tramo	Tipo	Medidas chevron	Espaciado entre los sets (m)		Parámetros de diseño
	No indica		36 sets de chevrons de 5 chevrons cada set. Color blanco		Set 1 a 5	7,625
				Set 6 a 11	9,15	
				Set 12 a 17	10,675	V _{salida} 48,27 km/h
				Set 18 a 20	12,2	
				Set 21 a 23	13,725	
				Set 24 a 26	15,25	
				Set 27 a 29	16,775	
				Set 30 a 33	18,3	
				Set 34 a 36	19,825	
Variables	Velocidad, día, hora, número de ejes, espaciado entre ejes y distancia entre vehículos.					
Metodología	Diseño antes – después con seguimiento. Registro de datos en cuatro puntos del tramo mediante aforadores de tubo: antes de la entrada, en el tramo, al principio de la curva y en el punto medio de la curva. El punto de peligro a estudiar la velocidad al inicio de la curva. Períodos antes y después: Medición antes de la instalación en Octubre 2006, instalación el 15-17 Febrero, Medición en abril/mayo 2007 y medición en Agosto 2007. Aproximadamente cuatro meses antes de instalación y tres y seis meses después de la instalación. Se registraron datos durante tres o cinco días por punto.					
Análisis	Estadísticos descriptivos (velocidad media y percentil 85) ANOVA: velocidad en función de período, tipo de vehículo, puntos de medición y día/noche (p<0,0001 para todos los efectos). Comparación de la velocidad media antes-después para dos muestras independientes (Z) sin ajustar el error tipo I.					
Resultados	Para todos los vehículos obtiene reducciones significativas en la velocidad media entre todos los momentos temporales. Las marcas chevrons son efectivas a corto y largo plazo con una reducción de la velocidad media entre 0,22 km/h y 0,72 km/h. Reduce el número de conductores que circulan 24,13 km/h (15 mph) por encima de la velocidad recomendada al principio de la curva.					
Coste	No indica					

Tabla 6. Estudio chevrons instalados en El Paso (Texas)

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza para muestras independientes, se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre las velocidades medias para los factores período, tipo de vehículo, punto de medición y día/noche. Comparan las diferencias de la velocidad media

(antes-después) mediante la prueba de significación Z como prueba a posteriori, sin ajustar el error tipo I. Concluyen que las marcas chevron son efectivas a corto y largo plazo, reduciendo la velocidad media entre 0,22 km/h y 0,72 km/h.

Hunter et al., en 2010 (tabla 7) prueban la eficacia de los chevrons en una curva de enlace de la interestatal 75/85 y la interestatal 75/285 en Atlanta (Georgia), utilizando la misma metodología del estudio de Drakopoulos & Vergou (2003).

Hunter, A., Boonsiripant, S., Guin, A., Rodgers, M.O. & Jared, D. (2010). Atlanta, Georgia (EEUU)					
Dos camiles en curva de enlace de la interestatal 75/85 y la interestatal 75/285 Atlanta, Georgia. IMD 175/85: 18000 entre semana, 14000 en fin de semana. IMD 175/285: 18600 entre semana, 16700 en fin de semana.					
Diseño	Longitud del tramo	Tipo	Medidas chevron	Espaciado de los sets	Parámetros de diseño
	Tramo 1 248,58 m	22 y 23 sets de chevrons de 10 chevrons cada set.	Longitud del set de chevrons 6,1 m.	Reducción progresiva entre los sets desde 6,405 m. hasta 3,05 m.	No se indica información
	Tramo 2: 228, 75 m	Color blanco			
Variables	Velocidad, número de accidentes, hora, número de camil, tipo de vehículo, velocidad, longitud del vehículo, tiempo con el vehículo precedente y distancia entre ejes				
Metodología	Comparación del tramo de intervención con tramo de control de características geométricas e IMD's similares. Aforadores en la entrada y salida de ambos tramos. Miden el volumen de tráfico y velocidad ofreciendo registros de datos por vehículo y en rangos de velocidad cada cinco minutos. Periodo antes y después: antes de la instalación (aforación de cinco semanas), después de la instalación (una semana); al mes (una semana); a los tres meses (dos semanas); a los seis meses (una semana) y a los nueve meses (una semana). Registro de número de accidentes: periodo antes de la instalación (cuatro años) y durante el periodo de estudio. Considera en el análisis el efecto de congestión del tráfico (elimina registros de vehículos cuya distancia con el precedente menor o igual a cinco segundos).				
Análisis	Distribuciones acumuladas de la velocidad (media y percentil 85) en cada momento temporal. Muestras aleatorias mediante Monte Carlo. Comparación de medias.				
Resultados	Reducción de la velocidad media entre 0,8 km/h y 3,22 km/h a largo plazo. Observa reducciones en todos los momentos temporales desde la velocidad del percentil 5 hasta la velocidad del percentil 99 tras la intervención.				
Coste	No indica				

Tabla 7. Estudio chevrons instalados en Atlanta (Georgia)

Sitúan aforadores a la entrada y la salida del tramo, y registran datos en seis momentos temporales distintos (antes, después, al mes, a los tres meses, a los seis y a los nueve meses).

Controlan el efecto de congestión de tráfico eliminando los registros de vehículos cuya distancia con el vehículo precedente es menor o igual a cinco segundos. Los datos son analizados comparando las distribuciones acumuladas de la velocidad y las velocidades medias. Obtienen reducciones en todos los momentos temporales tras la intervención desde la velocidad del percentil 5 hasta la del percentil 99, e informan de reducciones en la velocidad media entre 0,8 km/h y 3,22 km/h a largo plazo.

1.6 Conclusiones

Diferentes tipos de marcas de control pasivo de velocidad se han diseñado para crear un efecto óptico en los conductores que provoque una reducción de la velocidad bajo dos hipótesis: crear la ilusión óptica de aceleración y crear la ilusión óptica de estrechamiento de carril.

Las marcas longitudinales se han diseñado bajo la hipótesis de crear la ilusión de estrechamiento de carril, mientras que las marcas transversales se han diseñado bajo ambas hipótesis.

Numerosos patrones de marcas viales transversales en pavimento han sido probados, tanto en entorno real como en simulación, con el objetivo de lograr disminuciones de la velocidad en aproximaciones a zonas de peligro (curvas, zonas de obras, intersecciones, carriles de desaceleración de autovías, puentes,...). Debido a la falta de legislación y/o directrices para el diseño e implementación de las marcas viales transversales, los diseños y la metodología utilizada para probar su efecto sobre la reducción de la velocidad han sido muy variados (Vest & Stamatiadis, 2005).

El diseño concreto de las marcas viales transversales en pavimento, ha variado en función del objetivo del estudio y del país. Los diseños utilizados han variado en el color (amarillo o blanco), espaciado entre las líneas (equidistante o decreciente), la distancia entre el final de la zona de marcas y la zona de peligro (desde 35 m hasta 110 m) y la zona del carril que ocupan las marcas (periféricas o a través de todo el carril).

La efectividad de las marcas transversales en pavimento como medida de control pasivo de velocidad han sido objeto de estudio de numerosas investigaciones, a pesar de ello, a día de hoy no se puede concluir cuál es la principal causa de la

reducción de la velocidad (Martindale & Ulrich, 2010). No obstante, independientemente de este hecho, en prácticamente todas las investigaciones y revisiones de estudios realizados, se ha concluido que se consiguen reducciones de la velocidad, a corto, medio y largo plazo después de instalar este tipo de dispositivo de control pasivo de velocidad (Agent, 1980; Arnold & Lantz, 2007; Burney, 1977; Charlton, 2003; Charlton & Baas, 2006; Denton, 1971, 1980; Drakopoulos & Vergou, 2003; Fildes & Jarvis, 1994; Gates, Qin, & Noyce, 2008; Godley, et al., 1997, 1999; Hamilton & Kennedy, 2005; Haynes, Copley, Farmer, & Helliard-Symons, 1993; Helliard-Symons, 1981; Hunter, Boonsiripant, Guin, Rodgers & Jared, 2010; Jamson, Lai & Jamson, 2010; Jarvis, 1989; Jarvis & Jordan, 1990; ; Katz, 2004, 2007; Liebel & Bowron, 1984; Macaulay, Gunatillake, Tziotis, Fildes, Corben & Newstead, 2004; Maroney & Dewar, 1987; Martindale & Ulrich, 2010; Meyer, 2000; Pyne, Hodgson, Carsten & Tight, 1995; Ray et al , 2008; Rothenberg, et al., 2004; Stokes, Rys, Russell, Robinson & Budke, 2000; Turner, 2009; Voigt, & Kuchangi, 2010; Zaidel, Hakkert & Barkan, 1986).

El principal objetivo de las marcas transversales es provocar un efecto de aceleración mediante el adecuado espaciado de las marcas, modificando la percepción del conductor y haciendo que éste cruce un mayor número de marcas por segundo, percibiendo que circula a mayor velocidad de la real y por tanto reduzca la velocidad.

De los resultados de las diferentes investigaciones se desprende que son varios los posibles efectos y/o características del tramo los que pueden influir en la reducción de la velocidad (figura 2).

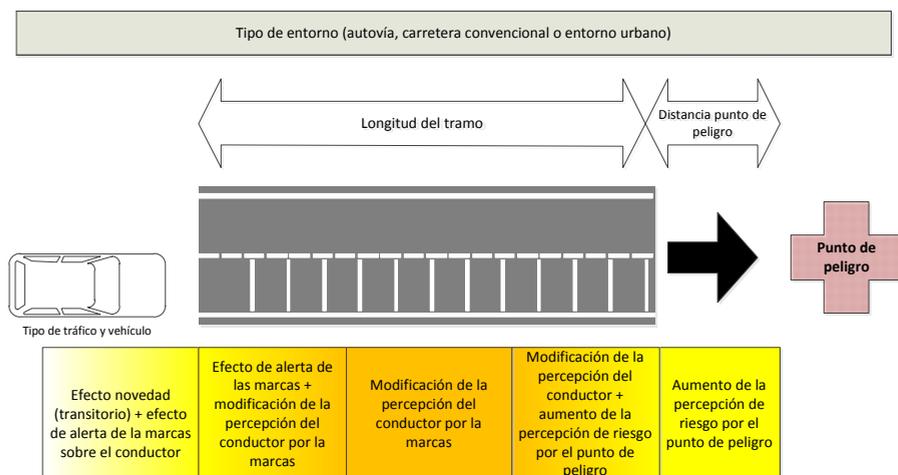


Figura 2. Efecto de las medidas de control pasivo de velocidad sobre el conductor

Además del propio efecto de ilusión óptica que provocan las marcas, aparecen nuevos efectos a considerar en la valoración de este tipo de medida:

- Efecto novedad en entorno real (Burney. 1977; Denton, 1980; Fildes & Gates, 1994; Gates, 2007; Rutley, 1975; Katz, 2004;), las reducciones de velocidad han sido mucho más elevadas en el período inmediatamente posterior a la instalación de las marcas que después del período de adaptación o “aprendizaje”. Esta tendencia se atribuye al efecto novedad que pueden provocar las marcas viales y está en función de la frecuencia o regularidad con la que los conductores circulan por la zona, de tal forma que la efectividad de las marcas puede ser menor o mayor en el tiempo según las características de tráfico. Aunque el grado de familiaridad con la carretera influye directamente sobre el efecto de las marcas, sin embargo se han obtenido resultados

contradictorios, perdurando a largo plazo el efecto en zonas de carreteras convencional de acceso a entorno urbano con tráfico local, lo que indica que independientemente del efecto novedad, los conductores ajustan la velocidad debido a un efecto de alerta que perdura (Katz, 2004).

- Efecto de alerta (Godley, et al., 1999; Jarvis & Jordan, 1990; Zaidel et al., 1986), las marcas transversales actúan como un gran dispositivo de alerta que no se puede ignorar, captan la atención del conductor sobre la vía (Jarvis & Jordan 1990; Shinar et al., 1980) y lo alientan a reducir la velocidad por precaución (Burney, 1977).
- Tipo de entorno, la zona de peligro influye en la reducción de la velocidad. Cuando el conductor percibe el peligro reduce la velocidad por la aproximación al mismo, este efecto influye en la reducción de velocidad en el tramo final de la zona de intervención, por ello, tal vez en los últimos metros del tramo sea innecesario introducir la señalización (Godley, et al., 1997, 1999); de hecho, existe mucha dispersión en la distancia entre el final del tramo de marcas y la zona de peligro dependiendo de las características del punto de peligro (curva, zona de obras, glorieta, intersección,...). Varía entre 35 m (Jarvis & Jordan, 1990) hasta 110 m (Charlton, 2003).
- Longitud del tramo de intervención, la longitud del tramo en el que incluir las marcas en pavimento, depende fundamentalmente de la velocidad de entrada y la velocidad objetivo. En algunas ocasiones, debido a las características de la zona en la que se han incluido las marcas (curvas y carriles de salida de autovía y autopistas), no se ha podido instalar en entorno real el diseño teórico y se ha modificado el

diseño; a pesar de ello, se han obtenido reducciones de la velocidad, aunque probablemente menores de las que se hubieran obtenido si se hubiera incorporado el diseño teórico.

Los resultados obtenidos han sido igualmente diversos, en función de la zona de peligro, del patrón utilizado y del tiempo de registro de datos. En general, se obtienen reducciones en la velocidad media, en la velocidad del percentil 85, en la variabilidad de las velocidades, en el porcentaje de vehículos que superan la velocidad permitida, el número de accidentes y en la posición de los vehículos en el carril.

En entorno real, los estudios que han aplicado las marcas viales transversales en aproximación a intersección de carretera convencional, han logrado reducciones de la velocidad media entre 2,7 km/h y 12,2 km/h y, entre un 5,5% y un 16,8% a medio (tres meses) y largo plazo (seis y doce meses), reducciones entre un 15% y un 60% de los accidentes y, entre 9 km/h y 11 km/h la velocidad del percentil 85.

En aproximaciones a glorieta, se han conseguido reducciones en la velocidad media, inmediatamente después de la intervención, del 22,6%, y en la V85 del 29,6%. A largo plazo (doce meses) la reducción en la velocidad media fue del 8% y se mantuvo la reducción en el número de accidentes.

En carriles de desaceleración de autovía, a las tres semanas desde la intervención, se obtienen reducciones de la velocidad media entre un 3,3% y un 4,6%; en el porcentaje de vehículos que exceden el límite de velocidad de un 1,4% y en la variabilidad de las velocidades de un 18,8%.

En curva de autovía, se registran disminuciones en la velocidad media del 19% y a los seis meses del 16% y, de 0,22 km/h a 0,72 km/h.

En carriles de enlace de autovía se logran reducciones del 14,03% en la velocidad media, del 11,67% en la V85, del 42,86% en el número de accidentes y, disminuciones de la velocidad media entre 0,8 km/h y 3,22 km/h a largo plazo.

En simulación, se obtienen reducciones en escenarios con curva entre 5 km/h y 11 km/h de la velocidad media y de la velocidad del percentil 85. En escenarios de tramo recto de carretera convencional con intersección se registran disminuciones en la velocidad media entre 8 km/h y 11 km/h.

En algunos de los estudios, se obtuvieron mayores reducciones a largo que a corto plazo y de día más que de noche.

En conclusión, aunque no se ha comprobado cuál es la causa que provoca el cambio en el conductor e independientemente de ella, los estudios de investigación han indicado que las marcas transversales en pavimento pueden causar una reducción de la velocidad de los vehículos en la mayoría de las ocasiones. Esta tendencia se ha encontrado tanto en la velocidad media como en la velocidad del percentil 85.

2 METODOLOGÍA

La investigación realizada para determinar la eficacia de las marcas viales transversales tipo chevron en intersección de carretera convencional, surge como continuación de un estudio realizado mediante simulación durante el año 2009 para la Dirección General de Tráfico (DGT). En este estudio se comprobó la eficacia de las marcas viales transversales tipo chevron sobre la reducción de la velocidad y se determinó qué diseño de marcas, entre los utilizados en estudios precedentes, era con el que se lograba una mayor disminución de la velocidad.

Uno de los escenarios diseñados (Toledo-Castillo, et al., 2011) era una entrada a entorno urbano desde autovía mediante travesía recta y con buena visibilidad. El patrón de marcas transversales tipo chevron se diseñó aplicando la metodología utilizada en el estudio de Milwaukee y Texas (Drakopoulos & Vergou, 2003; Voigt & Kuchangi, 2008), considerando una velocidad inicial de entrada de 100 km/h y una velocidad de salida del tramo de 50 Km/h. La longitud total

del tramo en el que se incluyeron las marcas viales transversales tipo chevron fue de 304 metros.

En el escenario se incluyeron tres variaciones diferentes de marcas transversales tipo chevron siguiendo las recomendaciones de los estudios realizados en EEUU (Drakopoulos & Vergou, 2003; Voigt & Kuchangi, 2008), en Japón (Drakopoulos & Vergou, 2003; Katz, 2007; Rothenberg et al., 2004) y en Reino Unido (Helliard-Symons, et al., 1995). La diferencia entre los chevrons implantados en EEUU y Japón está en función del ángulo de cada chevron: 120 grados en EEUU y 60 grados en Japón. La tercera variación se ajustó a las características de los chevrons implementados en Gran Bretaña en relación a la distancia entre los bloques (aunque el objetivo inicial era mantener la distancia de seguridad, también se observó una reducción de la velocidad), que consistió en mantener equidistante la distancia entre los bloques de chevrons de 120 grados.

Se determinaron cinco puntos de registro de la velocidad considerando una reducción progresiva, desde una velocidad de entrada al tramo de chevrons de 100 km/h a una velocidad objetivo de salida del tramo de 50 km/h.

Se obtuvieron reducciones de la velocidad media de los vehículos ligeros para las tres variaciones de chevrons en comparación con la velocidad media en los cinco puntos de registro en el mismo escenario sin incluir las marcas viales transversales tipo chevron. De los tres diseños utilizados, las mayores reducciones de velocidad se lograron con los chevrons de 60 grados de ángulo.

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

Analizar la eficacia de las marcas viales transversales tipo chevron a corto y largo plazo sobre la velocidad de los vehículos ligeros en intersección de carretera convencional.

2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar si las marcas transversales tipo chevron logran reducir significativamente la velocidad media de los vehículos ligeros en intersección de carretera convencional.
- Establecer si las marcas transversales tipo chevron logran reducir las velocidades más elevadas (velocidad del percentil 85 y velocidades máximas) de los vehículos ligeros en intersección de carretera convencional.
- Comprobar si las marcas transversales tipo chevron logran reducir la variabilidad de las velocidades de los vehículos ligeros en intersección de carretera convencional.
- Determinar si las marcas trasversales tipo chevrons influyen de manera diferencial en la velocidad de los vehículos de día y de noche, en intersección de carretera convencional.
- Establecer si las marcas viales transversales tipo chevron influyen de manera diferencial en la velocidad de los vehículos ligeros entre semana y en fin de semana en intersección de carretera convencional.
- Comprobar si el efecto de las marcas viales transversales tipo chevron sobre la reducción de la velocidad de los vehículos en intersección de carretera convencional permanece a medio y largo plazo.

2.2 Hipótesis

- La distribución del número de vehículos ligeros por hora será similar entre los cuatro momentos temporales (antes, inmediatamente después, a los tres meses y a los seis meses) de registro de datos en el pk 10+550.
- La distribución de la velocidad de los vehículos ligeros será similar entre los cuatro momentos temporales (antes, inmediatamente después, a los tres meses y a los seis meses) de registro de datos en el pk 10+550.
- La distribución del número de vehículos ligeros por hora será similar entre los cuatro momentos temporales (antes, inmediatamente después, a los tres meses y a los seis meses) de registro de datos en el pk 10+850.
- La distribución de la velocidad de los vehículos ligeros será similar entre los cuatro momentos temporales (antes, inmediatamente después, a los tres meses y a los seis meses) de registro de datos en el pk 10+850.
- La distribución del número de vehículos ligeros por hora será similar en el pk10+550 y el pk10+850, para los cuatro momentos temporales (antes, inmediatamente después, a los tres meses y a los seis meses) de datos.
- La distribución de la velocidad de los vehículos ligeros será similar en el pk10+550 y el pk10+850, para los cuatro momentos temporales (antes, inmediatamente después, a los tres meses y a los seis meses) de registro de datos.
- La distribución de intensidad de vehículos ligeros por hora en el pk10+550 y en el pk10+850, mostrará una curva característica de intensidad en zonas con influencia de entorno urbano, en los cuatro momentos temporales (antes, inmediatamente después, a los tres meses y a los seis meses) de registro de datos.

- La velocidad media en km/h de los vehículos ligeros será menor inmediatamente después de la intervención en el pk 10+550, debido al efecto novedad.
- La velocidad del percentil 85 en km/h de los vehículos ligeros será menor inmediatamente después de la intervención en el pk 10+550, debido al efecto novedad.
- La velocidad del percentil 50 en km/h de los vehículos ligeros será menor inmediatamente después de la intervención en el pk 10+550, debido al efecto novedad.
- La velocidad máxima en km/h de los vehículos ligeros será menor inmediatamente después de la intervención en el pk 10+550, debido al efecto novedad.
- La variabilidad de las velocidades en km/h de los vehículos ligeros será menor inmediatamente después de la intervención en el pk 10+550, debido al efecto novedad.
- La diferencia entre la velocidad media en km/h de los vehículos ligeros entre el pk 10+550 y el pk 10+850 será menor inmediatamente después de la intervención debido al efecto novedad.
- La diferencia entre la velocidad media en km/h de los vehículos ligeros entre el pk 10+550 y el pk 10+850 se detectará durante las horas de día.
- La diferencia entre la velocidad del percentil 85 en km/h de los vehículos ligeros entre el pk 10+550 y el pk 10+850 será menor inmediatamente después de la intervención debido al efecto novedad.
- La diferencia entre la velocidad del percentil 50 en km/h de los vehículos ligeros entre el pk 10+550 y el pk 10+850 será menor inmediatamente después de la intervención debido al efecto novedad.
- La diferencia entre la variabilidad de las velocidades en km/h de los vehículos ligeros entre el pk 10+550 y el pk

- 10+850 será menor inmediatamente después de la intervención debido al efecto novedad.
- La velocidad media en km/h de los vehículos ligeros será menor inmediatamente después, a los tres meses y a los seis meses que antes de la intervención en el pk 10+850.
 - La velocidad del percentil 85 en km/h de los vehículos ligeros será menor inmediatamente después, a los tres meses y a los seis meses que antes de la intervención en el pk 10+850.
 - La velocidad del percentil 50 en km/h de los vehículos ligeros será menor inmediatamente después, a los tres meses y a los seis meses que antes de la intervención en el pk 10+850.
 - La velocidad máxima en km/h de los vehículos ligeros será menor inmediatamente después, a los tres meses y a los seis meses que antes de la intervención en el pk 10+850.
 - La variabilidad de las velocidades en km/h de los vehículos ligeros será menor inmediatamente después, a los tres meses y a los seis meses que antes de la intervención en el pk 10+850.
 - La diferencia en la velocidad media en km/h de los vehículos ligeros, antes y después de la intervención será mayor que la diferencia entre antes y a los tres meses y, que la diferencia entre antes y a los seis meses en el pk 10+850.
 - La diferencia en la velocidad media en km/h de los vehículos ligeros, antes y a los tres meses de la intervención, será mayor que la diferencia entre antes y a los seis meses en el pk 10+850.
 - La diferencia en la velocidad del percentil 85 en km/h de los vehículos ligeros, antes y después de la intervención, será mayor que la diferencia entre antes y

- a los tres meses y, que la diferencia entre antes y a los seis meses en el pk 10+850.
- La diferencia en la velocidad del percentil 85 en km/h de los vehículos ligeros, antes y a los tres meses de la intervención, será mayor que la diferencia entre antes y a los seis meses en el pk 10+850.
 - La diferencia en la velocidad del percentil 50 en km/h de los vehículos ligeros, antes y después de la intervención, será mayor que la diferencia entre antes y a los tres meses y, que la diferencia entre antes y a los seis meses en el pk 10+850.
 - La diferencia en la velocidad del percentil 50 en km/h de los vehículos ligeros, antes y a los tres meses de la intervención, será mayor que la diferencia entre antes y a los seis meses en el pk 10+850.
 - La diferencia en la velocidad máxima en km/h de los vehículos ligeros, antes y después de la intervención, será mayor que la diferencia entre antes y a los tres meses y, que la diferencia entre antes y a los seis meses en el pk 10+850.
 - La diferencia en la velocidad máxima en km/h de los vehículos ligeros, antes y a los tres meses de la intervención, será mayor que la diferencia entre antes y a los seis meses en el pk 10+850.
 - La diferencia en la variabilidad de las velocidades en km/h de los vehículos ligeros, antes y después de la intervención, será mayor que la diferencia entre antes y a los tres meses y, que la diferencia entre antes y a los seis meses en el pk 10+850.
 - La diferencia en la variabilidad de las velocidades en km/h de los vehículos ligeros, antes y a los tres meses de la intervención, será mayor que la diferencia entre antes y a los seis meses en el pk 10+850.

- La reducción de la velocidad media en km/h de los vehículos ligeros, inmediatamente después, a los tres meses y a los seis meses de la intervención, será mayor durante el día que durante la noche en el pk 10+850.
- La reducción de la velocidad del percentil 85 en km/h de los vehículos ligeros, inmediatamente después, a los tres meses y a los seis meses de la intervención, será mayor durante el día que durante la noche en el pk 10+850.
- La reducción de la velocidad del percentil 50 en km/h de los vehículos ligeros, inmediatamente después, a los tres meses y a los seis meses de la intervención, será mayor durante el día que durante la noche en el pk 10+850.
- La reducción de la velocidad máxima en km/h de los vehículos ligeros, inmediatamente después, a los tres meses y a los seis meses de la intervención, será mayor durante el día que durante la noche en el pk 10+850.
- La reducción de variabilidad de las velocidades en km/h de los vehículos ligeros, inmediatamente después, a los tres meses y a los seis meses de la intervención, será mayor durante el día que durante la noche en el pk 10+850.
- La reducción de la velocidad media en km/h de los vehículos ligeros será mayor cuanto menor es la intensidad de tráfico en el pk 10+850.
- La reducción de la velocidad del percentil 85 en km/h de los vehículos ligeros será mayor cuanto menor es la intensidad de tráfico en el pk 10+850.
- La reducción de la velocidad del percentil 50 en km/h de los vehículos ligeros será mayor cuanto menor es la intensidad de tráfico en el pk 10+850.

- La reducción de la variabilidad de las velocidades en km/h de los vehículos ligeros será mayor cuanto menor es la intensidad de tráfico en el pk 10+850.

2.3 Muestra

La muestra de estudio la constituyeron 178.158 registros de vehículos ligeros obtenidos, en dos puntos kilométricos (pk) de la CV-50 de la Comunidad Valenciana en el término municipal de Alzira (Valencia), mediante un aforador portátil tipo radar. De éstos, 90.496 se registraron en el pk 10+550 (punto de entrada a la zona de implementación de los chevrons) y 87.662 en el pk 10+850 (punto de salida), en dirección Tavernes de la Vallidigna-Alzira.

Por momentos temporales, se obtuvieron 41.775 registros válidos antes de la implantación de los chevrons, 50.962 inmediatamente después, 40.381 a los tres meses y 45.040 a los seis meses.

2.4 Diseño

En la presente investigación se utilizó un diseño de tipo selectivo longitudinal de poblaciones con muestras independientes sucesivas. Se registraron datos de los vehículos de manera ininterrumpida durante catorce días en cada uno de los siguientes períodos temporales: antes de implantar los chevrons en la carretera (intervención), inmediatamente después, a los tres meses y a los seis meses (figura 3).

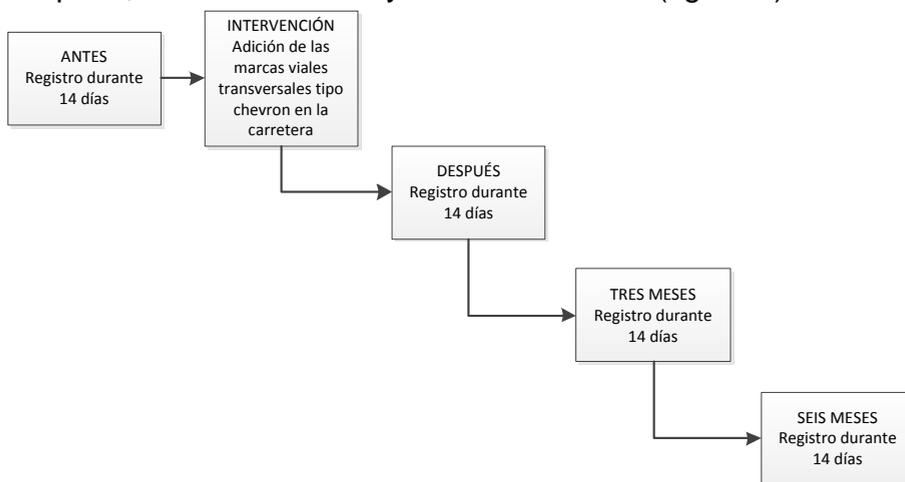


Figura 3. Diseño utilizado en el estudio

El estudio es la aplicación en entorno real de un estudio previo realizado mediante simulación (Toledo-Castillo et al., 2011). A partir de los resultados obtenidos en dicho estudio piloto y la revisión realizada de estudios similares (Greibe, 2010; Drakopoulos & Vergou, 2003; Hunter et al., 2010; Katz, 2007; Rothenberg, et al., 2004; Voigt & Kuchangi, 2008), se han establecido hipótesis acerca del efecto esperado para la intervención llevada a cabo -la implantación de chevrons en la carretera-.

2.5 Variables

Para conseguir los objetivos de estudios, se consideraron las siguientes variables:

- Fecha. El aforador registraba de manera automática la fecha de cada registro en formato dd/mm/yyyy.
- Hora. El aforador registraba de manera automática la hora de cada registro en formato hh:mm:ss.
- Velocidad. El aforador registraba de manera automática la velocidad de cada vehículo en kilómetros/hora.
- Tipo de vehículo. El aforador clasificaba los vehículos en cuatro categorías: ligeros, motocicletas, pesados y semipesados.
- Separación con el vehículo precedente, el aforador registraba el tiempo entre el paso de un vehículo y el registro anterior en segundos.
- Intensidad de tráfico. Se obtuvo de los datos registrados con el aforador como el número de vehículos que circulaban en un período de tiempo.
- Punto de registro. Hace referencia a los dos puntos concretos del tramo en los que se ubicaron los aforadores: 1) pk 10+550: entrada a la zona de intervención y 2) pk10+850: salida de la zona de intervención.
- Momento temporal. Para comprobar el efecto a corto, medio y largo plazo, las variables de interés se registraron en cuatro momentos: antes de la intervención, inmediatamente después, a los tres y a los seis meses de la intervención.
- Visibilidad. Se consideró la hora de puesta y salida del sol de cada día para categorizar la variable visibilidad en día y noche.
- Entre semana-fin de semana. Se categorizó entre semana (lunes a viernes) y fin de semana (sábado y domingo).

2.6 Instrumentos

Para el registro de datos se utilizaron dos tipos de unidades de estación de aforos portátiles: aforador de gomas neumáticas y aforador tipo radar. Cada uno de ellos se instaló en un carril de los tramos a aforar en la CV-50.

2.6.1 Aforador de gomas neumáticas

Este aparato dispone de un contador y de un sistema de gomas neumáticas (imagen 4). La goma se ubica de un lado a otro de la carretera. Las gomas transmiten el impulso de aire que hay en su interior y que se produce al pasar un vehículo por encima de ella hasta el extremo en el que se ha conectado el interruptor del contador.

La ventaja fundamental de este aparato es su facilidad de instalación, pero tiene la desventaja de ser una intrusión en la carretera, dado que la captación de datos se realiza en el mismo lugar por donde pasan los vehículos a través de la goma extendida sobre el pavimento.



Imagen 4. Aforador de gomas neumáticas

Este sistema de aforo tiene un margen de error de hasta un 20%, debido fundamentalmente, a la detención de vehículos sobre la goma, el paso de vehículos a velocidades muy reducidas, las altas intensidades de tráfico y rotura de las gomas.

2.6.2 Aforador tipo radar

El aforador tipo radar se basa en el efecto Doppler (cambio de frecuencia de una onda producido por el movimiento de la fuente respecto al observador). Este efecto es el que miden los radares para determinar el paso, la longitud y la velocidad de los vehículos (imagen 5).

La ventaja fundamental de este sistema es que no es intrusivo, ni su instalación ni su funcionamiento interfieren en el tráfico de la carretera y es muy preciso para registrar el tráfico de un solo carril.



Imagen 5. Aforador tipo radar

El sistema emplea un radar direccional permitiendo reconocer la dirección del movimiento de los vehículos. La

antena recibe información sobre los distintos vehículos que se encuentran dentro de su alcance y es transmitida a la unidad de cómputo, que interpreta los datos facilitados, los clasifica y almacena. Captura velocidades desde 8 hasta 256 km/h, con una exactitud de ± 3 Km/h.

La memoria de la unidad de cómputo permite guardar 419.700 registros. Cada registro incluye: fecha, hora exacta, velocidad del vehículo, sentido de la marcha, tamaño del vehículo en decímetros y la distancia en segundos con el vehículo precedente.

2.7 Registro y depuración de datos

2.7.1 Registro de datos

Se ubicaron dos aforadores de gomas neumáticas en el sentido Alzira-Tavernes de la Valldigna, uno en el punto kilométrico (Pk) 11+000 y otro en el Pk 11+250 de la CV-50.

Los dos aforados tipo radar se colocaron en el sentido Tavernes de la Valldigna- Alzira, uno en el Pk 10+550 y otro el Pk 10+850.

Los datos se tomaron durante catorce-quince días en semanas modelo, que no incluían ningún festivo especial; se aforo durante 24 horas ininterrumpidas.

El registro de datos se realizó en cuatro momentos temporales: antes, inmediatamente después, a los tres meses y a los seis meses de la inclusión de las marcas viales transversales tipo chevron en la carretera.

Por tratarse de un tramo con un elevado porcentaje de usuarios habituales de la vía de lunes a viernes (trabajadores del hospital, pacientes, trabajadores del hotel, alumnos y profesores del centro educativo) y aunque menos, también en fin de semana (residentes de las urbanizaciones de la zona), se controló para cada período de aforación que el número de días entre semana (lunes a viernes) y en fin de semana (sábado y domingo) fuera el mismo; no se registraron datos durante los períodos de vacaciones escolares, de este modo, los períodos de registros válidos para el estudio fueron:

- Registro inicial de datos (15-28/noviembre/2010). El registro inicial de datos se realizó entre el 15 y el 28 de noviembre de 2010 antes de procederse a la adición de chevrons en la carretera. Las marcas viales

transversales tipo chevron se pintaron el 9 de diciembre de 2010.

- Segundo registro de datos (10-23/diciembre/2010). Tras la implantación de las marcas viales tipo chevron se realizó la segunda toma de datos mediante los anteriores instrumentos de aforación a la entrada y salida de ambos tramos de chevrons, durante catorce días de manera ininterrumpida.
- Tercer registro de datos (28 febrero - 13 marzo/2011). El tercer período de registro de datos se realizó a los tres meses de la inclusión de las marcas viales.
- Cuarto registro de datos (2-15/junio/2011). El último registro de datos, se realizó a los seis meses desde la adición de los chevrons en la carretera.

2.7.2 Depuración de datos.

Una vez descargados los datos de tráfico fueron sometidos a un sistema de control para identificar anomalías. Tras el primer período de aforación (antes de implantar los chevrons) se comprobó la fiabilidad de los registros de los dos tipos de aforadores. Nos encontramos con los siguientes errores:

- Error de medición: el radar detecta que ha pasado un vehículo pero no es capaz de determinar la velocidad, el tamaño o alguna otra característica. Cuando esto ocurre el radar da una señal de alarma registrándolo como un vehículo pesado a velocidades elevadas (más de 135 km/h), información imposible y por tanto indicador de fallo de registro.
- Error de categorización de tipo de vehículo: el aforador registra la longitud real del vehículo, la determinación de las categorías de los vehículos (ligeros, motocicletas, semipesados y pesados) se realiza a posteriori, tras el

registro de todos los datos de cada una de las tomas se establece el límite de cada una de las categorías. Con este sistema no hay problemas para determinar los tamaños de los vehículos ligeros, pero la clasificación del resto de categorías de vehículos es menos precisa, debido a la menor frecuencia de este tipo de vehículos y por ello, el poco muestreo para establecer los límites de clasificación tiene como resultado el fallo de clasificación: falsas motocicletas, dos vehículos ligeros registrados como un pesado... por ello, se decidió descartar del estudio los datos relativos a todas las categorías de vehículos que no fueran vehículos ligeros.

- Error en los registros iniciales: los primeros datos del registro se corresponden con el proceso de calibración del radar por ello son poco fiables.

Con los aforadores de gomas neumáticas, además se dieron errores relacionados con el deterioro y ruptura de las gomas: las gomas de los aforadores se rompieron durante el proceso de registro de datos hasta en cuatro ocasiones, pasando inadvertidas durante algo más de 24 horas, los registros de las variables son imprecisos desde que se inicia el deterioro de la goma hasta que se rompe definitivamente y deja de funcionar. Por ello, en el sentido Alzira-Tavernes de la Valldigna, se tuvieron que sustituir los aforadores de gomas neumáticas por aforadores tipo radar tras la ruptura en el tercer y cuarto período temporal (tres y seis meses después de incluir los chevrons). Los nuevos aforadores no se pudieron ubicar en el punto kilométrico exacto en el que se encontraban las gomas neumática en los períodos de aforación anteriores (antes e inmediatamente después) lo que impidió que los registros antes-después y tres-seis meses fueran comparables.

Para el análisis de datos se desestimaron los registros de los puntos kilométricos en la dirección Alzira-Tavernes de la

Valldigna y se analizaron únicamente los datos registrados con los aforadores tipo radar en los pk 10+550 y pk 10+850 de la CV-50 en el sentido Tavernes de la Valldigna-Alzira (imagen 6) de los vehículos ligeros.



Imagen 6. Puntos kilométricos de ubicación de los aforadores tipo radar

Debido a los problemas comentados anteriormente, se depuraron los datos en función de la discrepancia entre los registros de entrada y salida. Se analizaron las discrepancias de las variables fecha y hora entre los registros de las bases de datos Pk 10+550 y Pk 10+850 y, considerando la información de las variables longitud y categoría, se eliminaron los siguientes registros:

- Registros de la base Pk 10+850 con hora anterior a los primeros registros de la base Pk 10+550 y con valores no coincidentes en las variables longitud y categoría del vehículo.
- Registros de la base Pk 10+850 con fecha posterior al último registro de la base de datos 10+550 y con

valores no coincidentes en las variables longitud y categoría del vehículo.

- Registros de ambas bases de datos con valores inconsistentes en la variable hora de paso. Se eliminaron los registros de los vehículos con valor inferior en la variable hora de paso al valor de la hora de paso del registro del vehículo precedente.

El mayor porcentaje de eliminación de registros por los errores anteriormente descritos, se registra a los tres meses de la intervención, en el pk 10+550 se eliminó el 23,14% de los datos registrados (tabla 8).

Punto de medición	Momento				Total
	Antes	Después	3 meses	6 meses	
Pk10+550	12,28%	8,41%	23,14%	16,81%	14,93%
Pk 10+850	17,51%	16,03%	17,40%	16,62%	16,87%
Total	14,99%	12,20%	20,27%	16,72%	15,91%

Tabla 8. Porcentaje de registros eliminados por discrepancia entre pk 10+550 y pk10+850

Por último, para asegurarnos que los vehículos circulan a velocidad libre, de manera que la elección de la velocidad de circulación no se vea afectada por circunstancias del tráfico (congestión, incidentes, otros vehículos,...), y se puedan detectar mejor los efectos de las medidas perceptivas de reducción de velocidad, se ha aplicado el criterio de velocidad de flujo libre utilizado en estudios similares (Hunter et al., 2010; Voigt & Kuchangi, 2008) y recomendado en los Indicadores de la distribución de velocidad de flujo libre de SafetyNet (Hakkert, Gitelman, & Vis, 2007) eliminando los registros de los vehículos cuya distancia en segundos con el vehículo precedente era inferior o igual a cinco segundos.

2.8 Procedimiento

Las fases de desarrollo de la investigación (figura 4) han sido las siguientes:



Figura 4. Fases del estudio

2.8.1 Determinación del tramo

Para determinar el tramo en el que implantar las marcas viales transversales tipo chevron, se mantuvieron reuniones con personal del *Servei de Seguretat Viària de la Conselleria d'Infraestructures i Transport de la Comunitat Valenciana*, y del

Departament d'Aforaments del Centre de Gestió i Seguretat Viària (CEGESEV) de Valencia con el objetivo de conseguir la autorización y colaboración necesarias para el desarrollo del estudio.

Desde el *Servei de Seguretat Viària de la Conselleria d'Infraestructures i Transport* se indicaron diversos puntos de la Comunidad Valenciana en los que se tenía intención de intervenir para reducir la velocidad excesiva de los vehículos.

Uno de los puntos en los que desde el *Servei de Seguretat Viària de la Conselleria d'Infraestructures i Transport* de la Comunidad Valenciana se quería intervenir por ser una zona de peligro, era la intersección situado entre los puntos kilométricos (pk) pk10+850 y pk 11+000 de la CV-50, en el sentido Tavernes de la Vallidigna-Alzira.

Considerando los resultados obtenidos en el estudio previo de simulación (Toledo-Castillo et al., 2011), se acordó intervenir en este tramo utilizando el diseño de las marcas viales transversales tipo chevron que se había mostrado más eficaz en la reducción de la velocidad de los vehículos ligeros (ángulo de 60 grados), contando con la colaboración y apoyo del *Servei de Seguretat Viària de la Conselleria d'Infraestructures i Transport* de la Generalitat Valenciana, el *Departament d'Aforaments del Centre de Gestió i Seguretat Viària (CEGESEV)* de Valencia y el Observatorio Nacional de Seguridad Vial de la DGT.

2.8.1.1 Características del tramo

El tramo en el que se llevo a cabo la intervención eran dos zonas anteriores a un cruce (figura 5), una en el sentido Alzira-Tavernes de la Vallidigna (zona de actuación A) y otra en el sentido Tavernes de la Vallidigna-Alzira (zona de intervención B)

que requiere de una intervención para disminuir la velocidad de los vehículos que se aproximen a él por ambos sentidos de la vía.



Figura 5. Zonas de actuación en el tramo CV-50 pk 10+550-pk 10+850

En el sentido Tavernes de la Vall digna-Alzira hay dos entradas, a un colegio y a Santa María de Aguas Vivas (imagen 7 y 8).



Imagen 7. Entrada-salida a colegio.
Dirección Tavernes de la Vallidigna-Alzira



Imagen 8. Entrada-salida a colegio.
Dirección Alzira- Tavernes de la Vallidigna

En el sentido Alzira-Tavernes de la Vallidigna, hay una única entrada para un hospital, el Monasterio de Aguas Vivas y varias urbanizaciones (imagen 9 y 10).



Imagen 9. Entrada-salida a hospital, a hotel y a urbanizaciones.
Dirección Alzira-Tavernes de la Valldigna



Imagen 10. Señal de indicación general S-23 (hospital).
Dirección Alzira-Tavernes de la Valldigna

2.8.2 Diseño de las marcas transversales.

Este tramo de carretera tiene características similares al escenario utilizado en el estudio de simulación (Toledo-Castillo et al., 2011), carretera recta con buena visibilidad y señal vertical antes del cruce. Por ello, se utilizó el mismo diseño de las marcas viales transversales tipo chevron, adaptándolo a las características del tramo de intervención.

Para el diseño de los chevrons y la zona exacta donde ubicarlos, se analizaron las siguientes variables:

- Intensidad media diaria (IMD).
- Características del entorno (señalización existentes, publicidad,...).
- Limitaciones físicas y características de tramo (curvas, entradas, longitudes, intersecciones y cambios de rasante).

El tramo de la CV-50 objeto de intervención, soporta una intensidad media diaria (IMD) de tráfico de 9.035 vehículos, con un 6% de vehículos pesados². En el sentido Alzira-Tavernes de la Vallidigna la aproximación a la intersección se realiza tras una curva, mientras que en el sentido opuesto la aproximación se realiza mediante un cambio de rasante; en ambos casos la distancia entre estas características físicas y el punto de entrada al tramo de intervención es grande y no influye en la visibilidad de las marcas viales transversales. En ambos sentidos el tramo de intervención es recto y con buena visibilidad, sin que existan elementos distractores en el entorno.

² Mapa de de la Comunitat Valenciana, 2009. Versió 0.1.1. Centre de Gestió i Seguretat Viària. Divisió de Carreteres. Conselleria d'Infraestructurs i Transport. Generalitat Valenciana

2.8.2.1 Parámetros de diseño

El diseño de las marcas viales transversales tipo chevron, depende de las características del tramo y de los parámetros de las características geométricas de las marcas. Las características geométricas de diseño están en función de los parámetros (figura 6): ancho del chevron, separación entre chevrons, ángulo del chevron, longitud del tramo y número de bloques de chevrons.

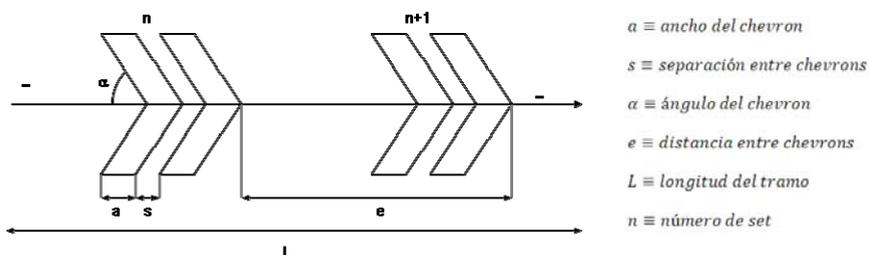


Figura 6. Variables geométricas de los chevrons

Las características geométricas de los chevrons se corresponden con las de el diseño que fue más eficaz en el estudio previo de simulación en un entorno con características similares (Toledo-Castillo, et al., 2011) a la zona de intervención (figura 7).

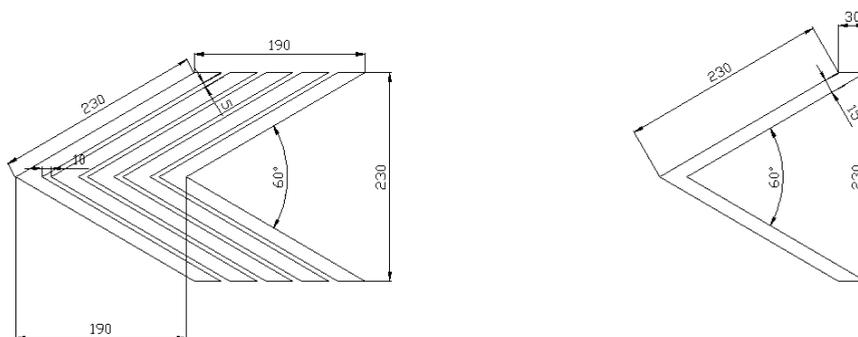


Figura 7. Características geométricas de los chevrons

La longitud del tramo depende de la velocidad de entrada al tramo, la velocidad que se pretende conseguir a la salida, la

deceleración del vehículo y el número de chevrons que se cruzan por segundo. La velocidad de entrada se determinó por la velocidad límite del tramo (100 km/h) y la velocidad objetivo fue la velocidad recomendable de paso por la intersección (70 km/h).

El parámetro de deceleración del tramo se considera constante y depende de las características geométricas del tramo, fundamentalmente por el espacio disponible para lograr la velocidad objetivo, siendo recomendable utilizar la menor aceleración posible. Son valores habituales 1, 2 y 3 m/s², equivalentes a 0.1g, 0.2g y 0.3g respectivamente (Katz, 2007). Dadas las características del tramo de intervención y del espacio disponible, se determinó una deceleración de 1 m/s².

Respecto el número de sets (bloques) de chevron por segundo se ha elegido el parámetro de diseño utilizado por Drakopoulos (2003).

La longitud total del tramo con chevrons fue de 206,5 metros (figura 8), el final del tramo con chevrons coincidió con el pk10+850, la distancia desde el último bloque de chevrons hasta la zona de peligro es de 90 metros y desde el radar ubicado en el pk10+550 hasta el inicio del primer bloque de chevrons otros 90 metros.

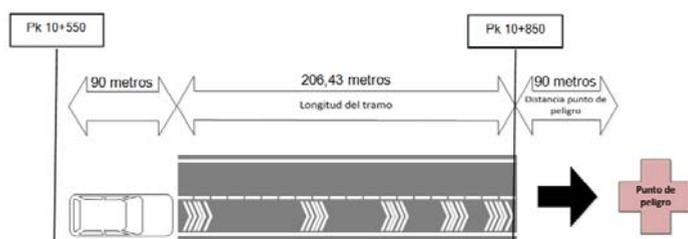


Figura 8. Longitud del tramo de intervención

2.8.2.2 Instalación de las marcas transversales

Las especificaciones de diseño y los requisitos mínimos de las marcas viales transversales tipo chevron, se facilitaron a la Consellería de Infraestructures i Transport de la Generalitat Valenciana, quién a su vez las comunicó a la empresa designada para realizar los trabajos de replanteo y puesta en obra de la señalización horizontal. Se supervisó el marcado de la señalización en la carretera para asegurar la máxima similitud entre el diseño y la ubicación en el entorno real.

Los requisitos mínimos especificados para la pintura de las marcas viales transversales fueron:

- Antideslizante para evitar la accidentalidad de los vehículos de dos ruedas.
- Niveles de luminancia recogidos en normativa para que sean adecuadamente percibidos por los usuarios de la vía en situaciones de visibilidad reducida.
- Cumplir con las especificaciones de la normativa nacional y europea.

Las marcas viales transversales tipo chevron definitivas incorporadas a la carretera (imágenes 11-16) se ajustaron bastante bien a las especificaciones de diseño, a pesar de la dificultad que implica trasladar al entorno real un diseño teórico.



Imagen 11. Dirección Alzira- Tavernes de la Valldigna.



Imagen 12. Set de chevron dirección Alzira- Tavernes de la Valldigna



Imagen 13. Dirección Alzira- Tavernes de la Valldigna



Imagen 14. Dirección Alzira- Tavernes de la Valldigna



Imagen 15. Dirección Tavernes de la Vallidigna - Alzira



Imagen 16. Dirección Tavernes de la Vallidigna-Alzira

3 RESULTADOS Y DESARROLLO ARGUMENTAL

Los estudios cuyo objetivo es analizar la influencia de las PCM en la velocidad de los vehículos en entorno real, aplican en el análisis de datos estadísticos de tendencia central, de posición y de variabilidad. En este capítulo de la tesis, los resultados se presentan en dos apartados: análisis descriptivos y análisis inferenciales.

En el apartado de análisis descriptivos se incluyen las intensidades de tráfico, las distribuciones de la velocidad, las velocidades características (V_{50} , V_{85}), la velocidad máxima, tendencia central (media aritmética) y variabilidad (desviación típica y coeficiente de variación).

En el apartado de análisis inferenciales, se incluyen análisis de varianza y comparaciones múltiples a posteriori.

Finalmente, y aunque no es objetivo de la tesis, se ha considerado oportuno dar una estimación de la reducción de accidentalidad en función de los resultados obtenidos de reducción de velocidad en el tramo. Desde los primeros estudios con marcas transversales, se ha intentado analizar los efectos de la reducción de la velocidad con los índices de

accidentalidad del tramo (Agent, 1980; Denton, 1980; Greibe, 2010; Haynes et al., 1993; Helliar-Symons, 1981).

En 1980, Denton compara los accidentes ocurridos doce meses antes de la instalación de marcas transversales con los ocurridos a los dieciséis meses después. Greibe (2010) compara dos períodos iguales de cuatro años antes y después de la instalación de las marcas para analizar la accidentalidad.

La elección del periodo de análisis depende fundamentalmente de la frecuencia de ocurrencia de accidentes. Cuando esta ocurrencia es muy baja, como sucede en tramos concretos de carretera, se deben elegir períodos largos de registro de accidentes antes y después de la instalación para que los resultados del análisis sean precisos, siendo recomendable elegir al menos un período de cinco años (Evans, 2003; Conselleria d'Infraestructures i Transport Generalitat Valenciana, 2006). En el estudio realizado, el período de análisis de la velocidad es insuficiente para realizar un análisis de la accidentalidad del tramo, por ello, se ha realizado una estimación de la misma en función de la velocidad reducida según el modelo de Nilsson (2004).

Por último, hay que tomar los resultados que se presentan a continuación y las conclusiones que de ellos se derivan con mucha precaución, sin olvidar que en la investigación se ha utilizado un diseño de tipo selectivo.

El punto 1 (pk 10+550) es el de entrada a la zona de chevrons. El punto 2 (pk 10+850) es el punto de salida de la zona de chevrons, en ambos puntos se registraron los datos de los vehículos con aforador tipo radar durante catorce días, antes, después, a los tres y a los seis meses de la adición de las marcas viales transversales en la carretera. En total se obtuvieron 178.158 registros válidos (tabla 9).

Punto de medición	Momento				Total
	Antes	Después	Tres meses	Seis meses	
Pk10+550	20819	27317	19679	22681	90496
Pk10+850	20956	23645	20702	22359	87662
Total	41775	50962	40381	45040	178158

Tabla 9. Número de registros por punto de medición y momento

La diferencia entre el número de registros en los dos puntos kilométricos entre los cuatro momentos temporales se puede deber al número de registros eliminados para asegurarnos que la velocidad de circulación no se vea afectada por las circunstancias del tráfico.

En el registro de datos a los tres meses también puede haber efectos relacionados con el período en el que se recogieron los datos; en la planificación de los períodos temporales de registro de datos, se controló que ninguno de ellos coincidiera con períodos festivos; el registro de datos a los tres meses se realizó desde el 20 de febrero hasta el domingo 13 de marzo de 2011, puede que la proximidad a la fiesta de Fallas (la semana siguiente) haya modificado las características del tráfico en este período.

3.1 Análisis descriptivos

3.1.1 Pk 10+550. Punto de entrada a la zona de chevrons

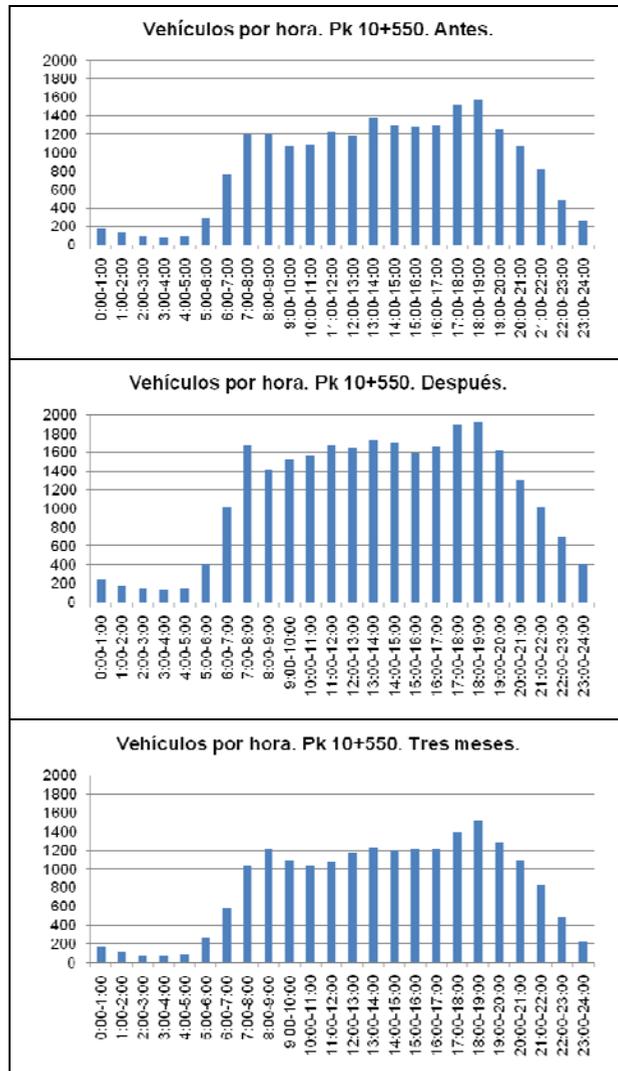
La distribución del número de vehículos por hora (tabla 10), informa que es en las primeras horas de la mañana, a medio día y a primera hora de la tarde cuando mayor tráfico soporta el tramo estudiado.

Hora	Antes	Después	Tres meses	Seis meses
0:00-1:00	183	236	171	283
1:00-2:00	125	176	109	178
2:00-3:00	95	156	78	143
3:00-4:00	77	130	79	107
4:00-5:00	93	153	93	129
5:00-6:00	288	404	272	330
6:00-7:00	757	1007	580	726
7:00-8:00	1192	1674	1033	1209
8:00-9:00	1193	1416	1206	1306
9:00-10:00	1070	1530	1094	1194
10:00-11:00	1085	1566	1034	1096
11:00-12:00	1221	1675	1075	1130
12:00-13:00	1178	1645	1168	1245
13:00-14:00	1381	1730	1227	1334
14:00-15:00	1293	1698	1197	1330
15:00-16:00	1280	1592	1207	1234
16:00-17:00	1307	1656	1215	1265
17:00-18:00	1525	1903	1402	1512
18:00-19:00	1582	1923	1512	1621
19:00-20:00	1251	1616	1282	1591
20:00-21:00	1076	1304	1089	1391
21:00-22:00	822	1008	835	1245
22:00-23:00	481	707	490	716
23:00-24:00	264	412	231	366
Total	20819	27317	19679	22681

Tabla 10. Número de vehículos por hora. Pk10+550

En el gráfico por hora (figura 9), se observa la curva característica de intensidad en zonas con influencia de núcleos

urbanos, puntas más intensas por la mañana, a medio día y por la tarde.



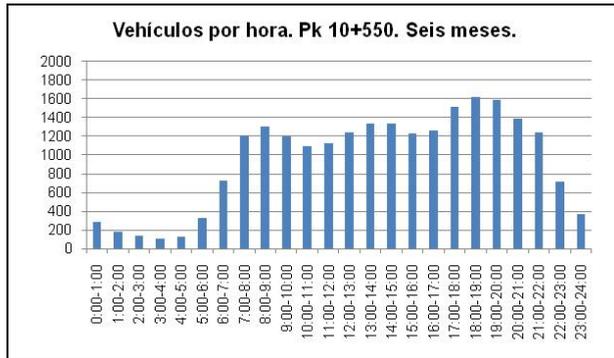
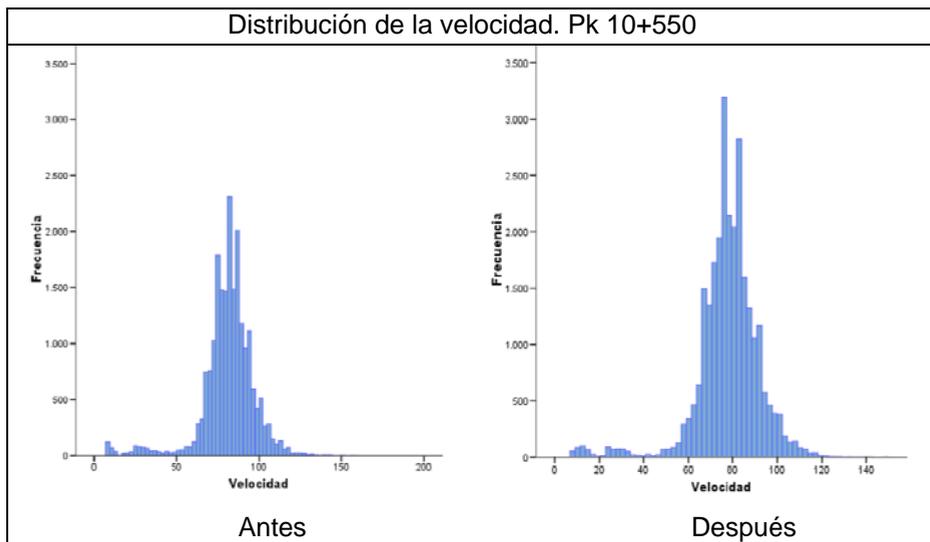


Figura 9. Vehículos por hora en los cuatro momentos. Pk 10+550

La distribución de la velocidad de los vehículos ligeros en el pk10+550, es muy similar en los cuatro momentos temporales (figura 10).



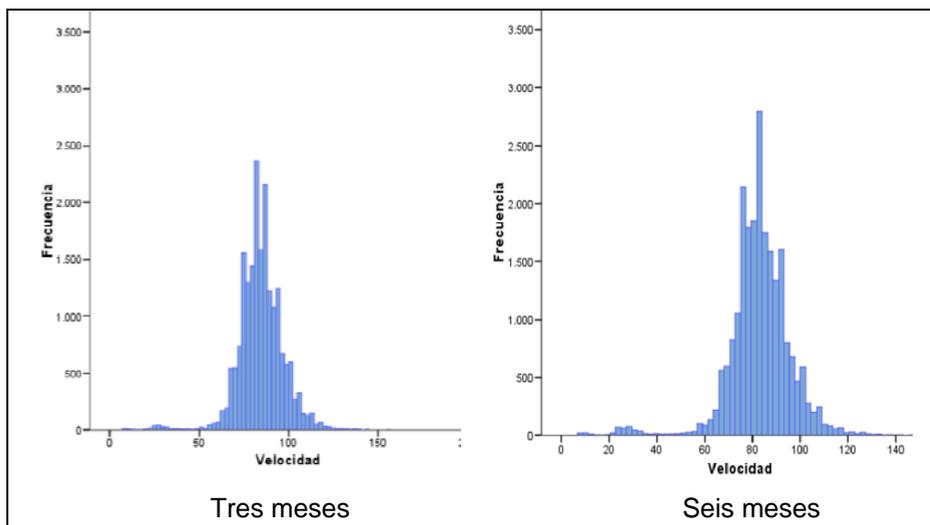


Figura 10. Distribución de la velocidad. Pk 10+550

Por lo que respecta a la velocidad media, (tabla 11), al comparar los valores registrados en el punto de entrada (pk 10+550) a la zona de chevrons en los cuatro momentos temporales de registro, a excepción del registro inmediatamente después de la adición de las marcas viales en la carretera, no se observa ningún efecto sobre la misma.

Pk 10+550	Media	V50	V85	DT	V. Máx.	N
Antes	81,33	82	94	16,053	159	20.819
Después	77,87	78	90	14,394	150	27.317
Tres meses	84,55	84	96	12,552	157	19.679
Seis meses	82,96	83	94	13,184	146	22.681

Tabla 11. Estadísticos descriptivos. Pk 10+550

La reducción de la velocidad se produce conforme el vehículo circula sobre los chevron. Es de esperar, que no haya variaciones en la velocidad de los vehículos en el pk 10+550 entre los cuatro momentos temporales. La disminución de la velocidad inmediatamente después de la implementación de los chevrons puede deberse al efecto novedad, lo que hace que al encontrarse ante una señalización poco habitual en la carretera

se reduzca la velocidad, efecto que deja de ocurrir conforme se familiarizan con las marcas viales.

La variabilidad de las velocidades disminuye no solo después de la incorporación de los chevrons, sino también a los tres y seis meses.

Las velocidades características (gráfico 1), en el pk 10+550, tampoco se ven afectadas (V50 y V85), la velocidad máxima sí que disminuye.

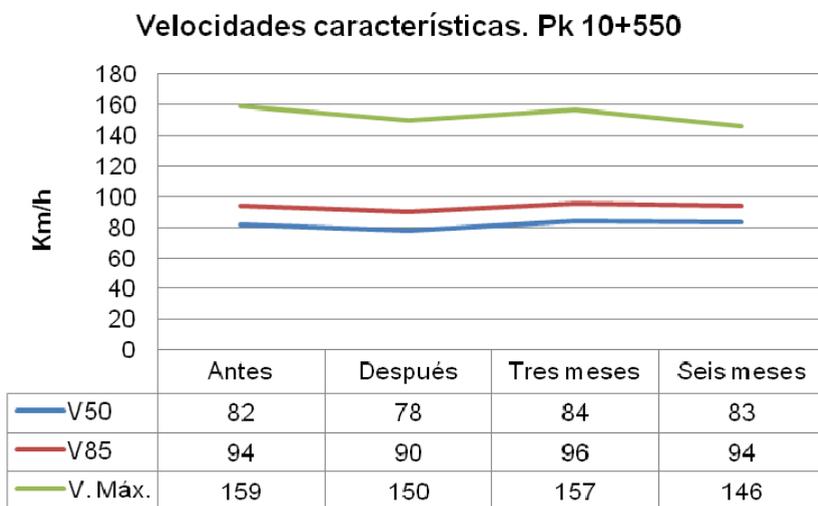


Gráfico 1. Velocidades características y velocidad máxima. Pk 10+550

En los cuatro momentos temporales las velocidades V50 y V85 siguen una evolución similar, son más elevadas entre las 21:00 y las 6:00 horas y disminuyen durante el resto del día, a excepción de la V50 a los seis meses (gráficos 2, 3, 4 y 5).

No ocurre lo mismo con la velocidad máxima de los vehículos ligeros, que sigue un patrón diferente también entre los cuatro momentos temporales.

La velocidad máxima más elevada en el pk 10+550 antes de añadir los chevrons en el tramo de intervención (gráfico 2), se alcanza entre las 7:00 y las 8:00 horas y entre las 15:00 y las 16:00 horas, siendo menores las velocidades máximas obtenidas entre las 18:00 y las 20:00 horas.

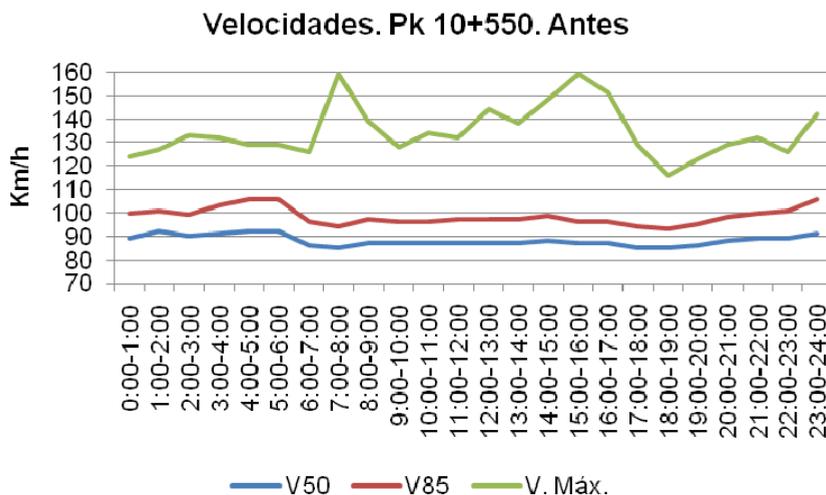


Gráfico 2. Velocidades características y velocidad máxima por hora. Pk 10+550. Antes

Tras incorporar los chevrons (gráfico 3), las velocidades más elevadas V50 y V85, se registran entre las 23:00 y las 6:00 horas. Siendo muy similares las velocidades del percentil 50 en el resto de horas del día y, variando más las del percentil 85. La V85 más reducida se obtiene entre las 11:00 y las 13:00 y, entre las 16:00 y las 19:00 horas.

Las velocidades máximas más elevadas se alcanzan entre las 7:00 y las 8:00, y entre las 21:00 y las 22:00 horas. Las velocidades máximas más bajas se registran entre las 9:00 y las 10:00 horas, y entre las 0:00 y las 3:00 horas.

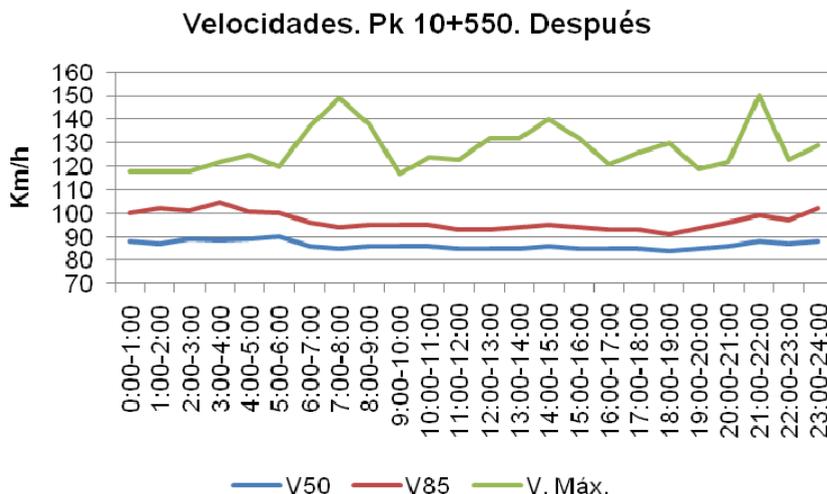


Gráfico 3. Velocidades características y velocidad máxima por hora. Pk 10+550. Después

A los tres meses de la adición de los chevrons (gráfico 4), las velocidades V50 y V85 en el pk 10+550 también son más elevadas desde las 21:00 hasta las 6:00 horas, a excepción de la V50 entre las 2:00 y las 3:00 horas que es inferior al resto.

La V50 y la V85 son muy similares durante el resto de horas del día; solo se obtiene un valor inferior en relación al resto para la V85 entre las 11:00 y las 12:00 horas.

Las velocidades máximas más elevadas se alcanzan entre las 7:00 y las 8:00, y entre la 1:00 y las 2:00 horas. Contrariamente las velocidades máximas más bajas se registran entre las 2:00 y las 4:00 horas.

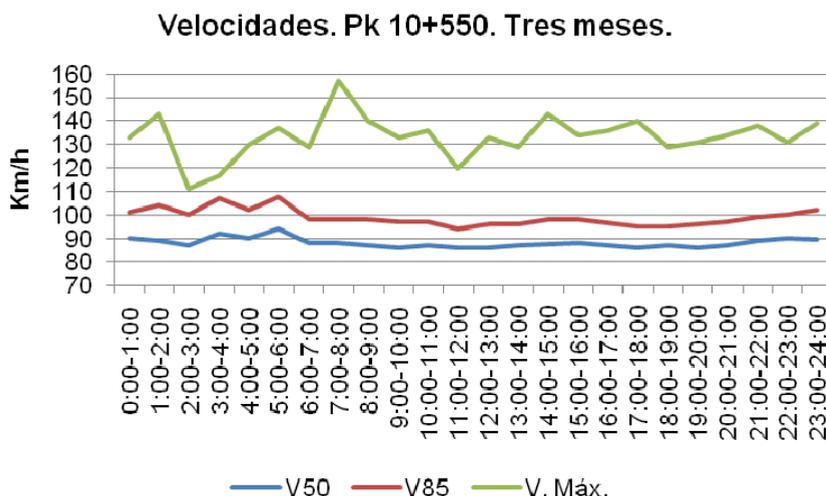


Gráfico 4. Velocidades características y velocidad máxima por hora. Pk 10+550. Tres meses

A los seis meses, las diferencias entre las velocidades máximas registradas en los diferentes intervalos horarios son menores en comparación con los tres momentos temporales anteriores (gráfico 5).

Las V50 más elevadas se alcanzan entre las 4:00 y las 6:00 horas. Las velocidades V50 y V85 menores se registran entre las 18:00 y las 19:00 horas.

Las velocidades máximas más elevadas se observan entre las 23:00 y la 1:00, y entre las 7:00 y las 8:00 horas. Las velocidades máximas menores se registran entre las 3:00 y las 5:00, y entre las 22:00 y 23:00 horas.

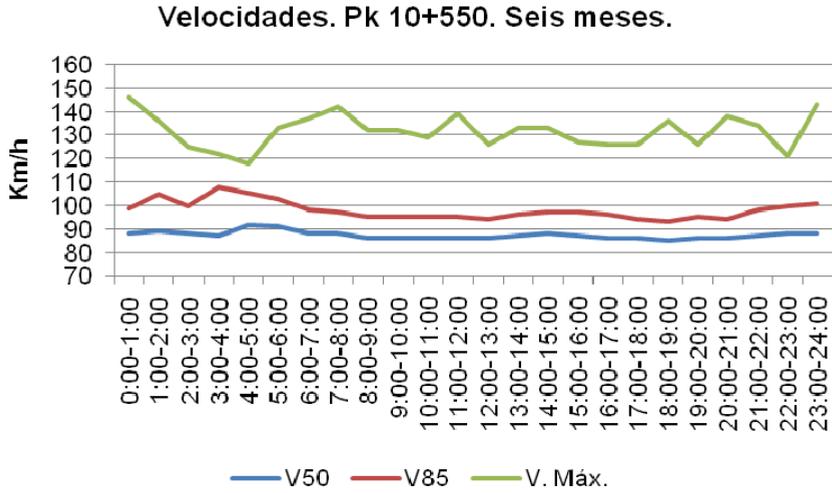


Gráfico 5. Velocidades características y velocidad máxima por hora. Pk 10+550. Seis meses

3.1.2 Pk 10+850. Punto de salida de la zona de chevrons

Las distribuciones de intensidad de tráfico del pk 10+850 son similares (tabla 12) a las del pk 10+550 para todos los momentos temporales.

Hora	Antes	Después	Tres meses	Seis meses
0:00-1:00	175	218	185	280
1:00-2:00	126	158	123	167
2:00-3:00	98	134	77	143
3:00-4:00	79	103	85	104
4:00-5:00	96	142	102	128
5:00-6:00	312	445	284	332
6:00-7:00	830	875	603	712
7:00-8:00	1239	1378	1094	1180
8:00-9:00	1203	1264	1244	1305
9:00-10:00	1071	1359	1142	1147
10:00-11:00	1053	1346	1113	1070
11:00-12:00	1224	1398	1225	1128
12:00-13:00	1197	1360	1172	1217
13:00-14:00	1389	1483	1309	1329
14:00-15:00	1323	1402	1252	1289
15:00-16:00	1274	1363	1231	1219
16:00-17:00	1308	1398	1279	1261
17:00-18:00	1525	1655	1468	1496
18:00-19:00	1590	1657	1582	1616
19:00-20:00	1254	1407	1361	1546
20:00-21:00	1030	1197	1130	1364
21:00-22:00	806	944	897	1239
22:00-23:00	489	591	507	721
23:00-24:00	265	368	237	366
Total	20956	23645	20702	22359

Tabla 12. Número de vehículos por hora. Pk 10+850

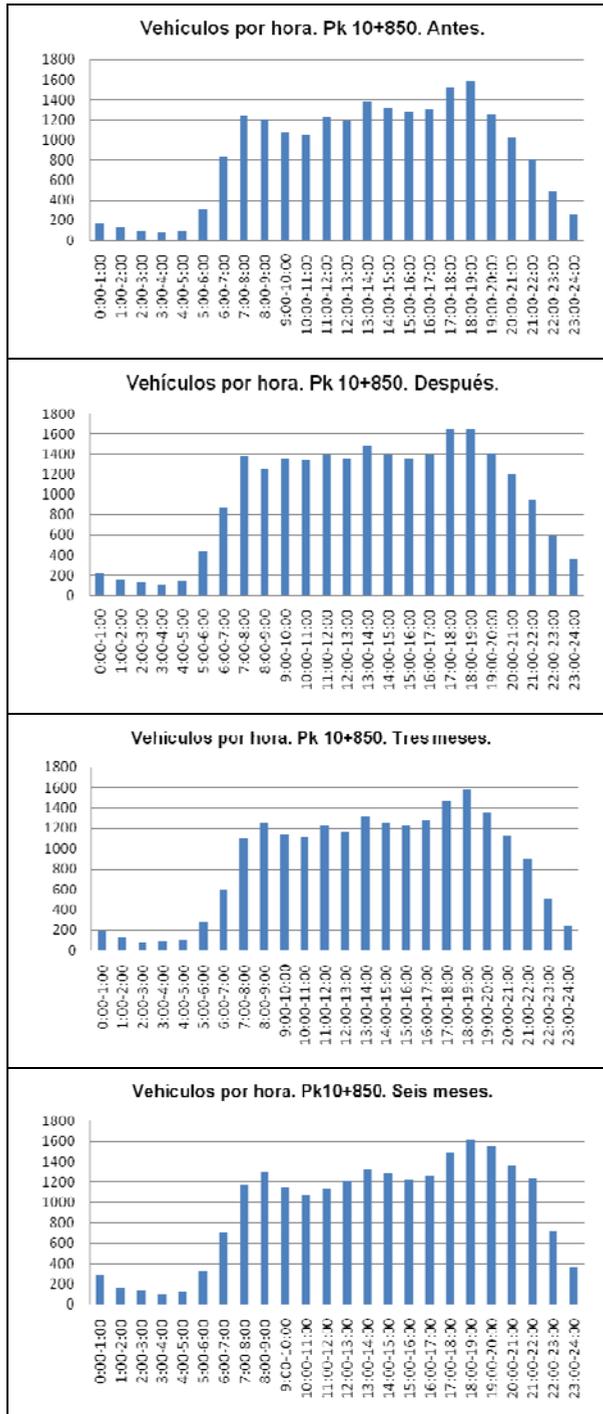


Figura 11. Vehículos por hora en los cuatro momentos. Pk 10+850

Las distribuciones de frecuencias de vehículos por hora en los cuatro momentos temporales (figura 11), son similares a las distribuciones del pk 10+550. Las mayores intensidades de tráfico de vehículos ligeros se registran en las mismas franjas horarias que las registradas en el pk 10+550; mayor intensidad de tráfico por la mañana, a medio día y por la tarde.

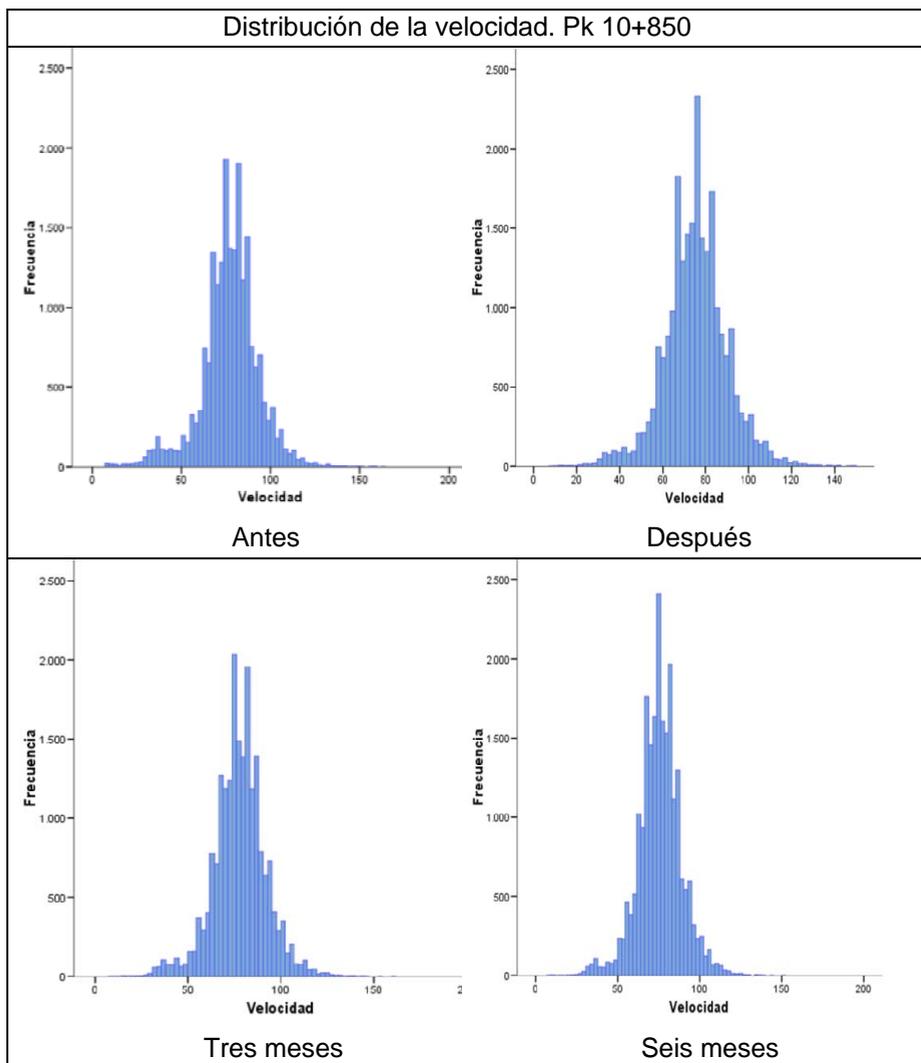


Figura 12. Distribución de la velocidad. Pk10+850

La distribución de la velocidad de los vehículos ligeros en el pk 10+850, es muy similar en los cuatro momentos temporales (figura 12), al igual que en el pk 10+550.

Tal como era de esperar no se observan diferencias entre las distribuciones de las velocidades de los vehículos entre el punto de entrada y el punto de salida de la zona de intervención.

La velocidad media y la variabilidad de las velocidades (tabla 13), disminuyen, en mayor o menor proporción, al comparar los valores antes (media=77,12 y DT=16,181) y después de la intervención.

Se observa una disminución tras la intervención (media=75,46 y DT=14,589), que pierde su intensidad a los tres meses (media=77,84 y DT=14,179) y vuelve a ser importante a los seis meses (media=75,88 y DT=13,306).

Pk 10+850	Media	V50	V85	DT	V. Máx.	N
Antes	77,12	78	91	16,181	163	20.956
Después	75,46	75	89	14,589	149	23.645
Tres meses	77,84	78	91	14,179	160	20.702
Seis meses	75,88	76	88	13,306	152	22.359

Tabla 13. Estadísticos descriptivos. Pk 10+850

Atendiendo al valor de las velocidades características y máxima de los cuatro momentos temporales (gráfico 6), se observa una disminución de las velocidades de los percentiles 50 y 85 inmediatamente después y a los seis meses de intervención. No ocurre lo mismo a los tres meses desde la intervención, las velocidades características a los tres meses son las mismas que las que se registraron antes de la intervención.

La velocidad máxima es inferior en los tres momentos de registro tras la intervención (después, tres meses y seis meses).

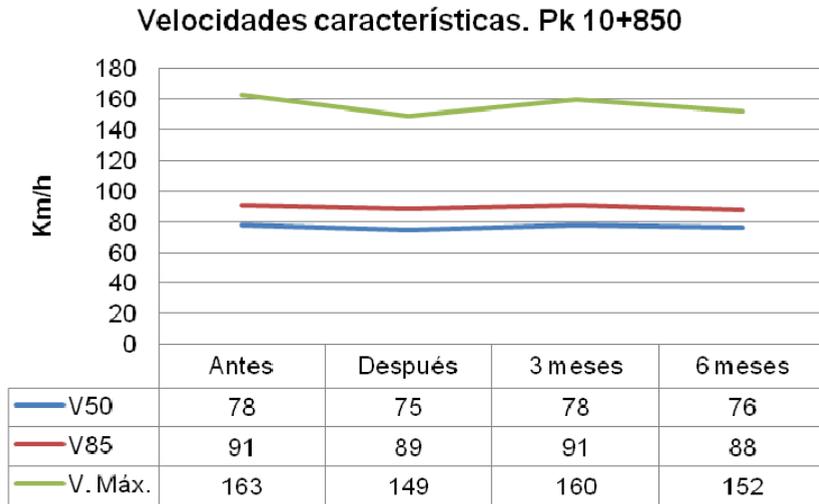


Gráfico 6. Velocidades características y velocidad máxima. Pk 10+850

Al estudiar las velocidades características y máximas en función de la hora del día, se observan diferencias entre los momentos temporales.

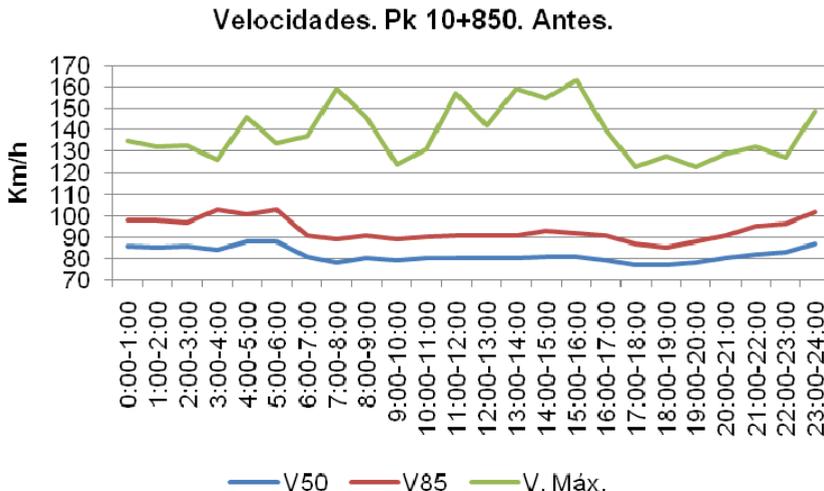


Gráfico 7. Velocidades características y velocidad máxima por hora. Pk 10+850. Antes

Las velocidades V50 y V85 más elevadas antes de la intervención (gráfico 7), se alcanzan entre las 3:00 y las 6:00 y, entre las 23:00 y 24:00 horas; las más bajas entre las 17:00 y 20:00 horas.

En cuanto a las velocidades máximas, las más elevadas se obtienen entre las 15:00 y 16:00, entre las 7:00 y las 8:00, entre las 13:00 y las 14:00 y, entre las 11:00 y las 12:00 horas. Las velocidades máximas más bajas, se registran entre las 3:00 y las 4:00, entre las 9:00 y las 10:00 y, entre las 17:00 y las 20:00 horas.

Inmediatamente después de la intervención (gráfico 8), las velocidades V50 y V85 más elevadas se alcanzan entre las 21:00 y las 7:00 horas; la máxima V50 se registra entre las 5:00 y las 6:00 horas y la mayor V85 entre la 1:00 y las 2:00 horas.

Las velocidades máximas más elevadas se registran entre las 7:00 y las 8:00, entre las 13:00 y las 14:00 y, entre las 15:00 y las 16:00 horas.

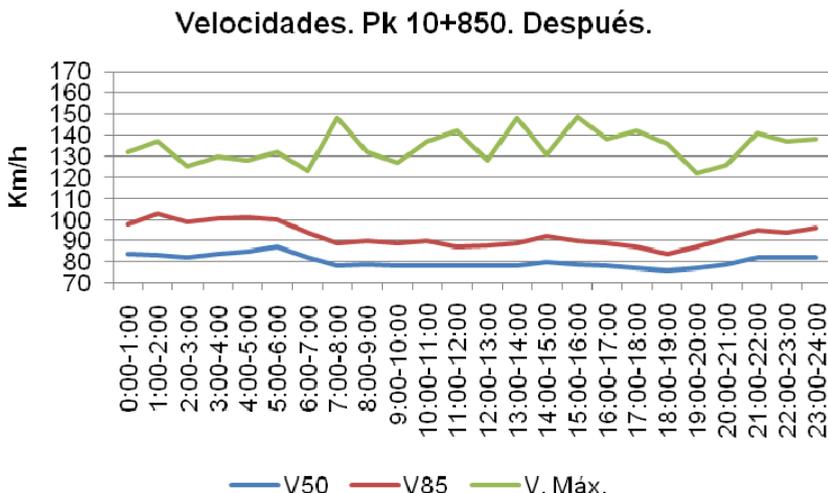


Gráfico 8. Velocidades características y velocidad máxima por hora. Pk 10+850. Después

En cuanto a las velocidades más bajas, la V85 menor se observa entre las 18:00 y las 19:00 horas y las velocidades máximas menores se obtienen entre las 6:00 y las 7:00 y, entre las 19:00 y las 20:00 horas.

A los tres meses, las velocidades V50 y V85, siguen el mismo patrón que en el caso anterior (gráfico 9), las velocidades más elevadas se alcanzan en ambos casos entre las 21:00 y las 7:00 horas, registrándose la mayor V50 y V85 entre las 5:00 y las 6:00 horas.

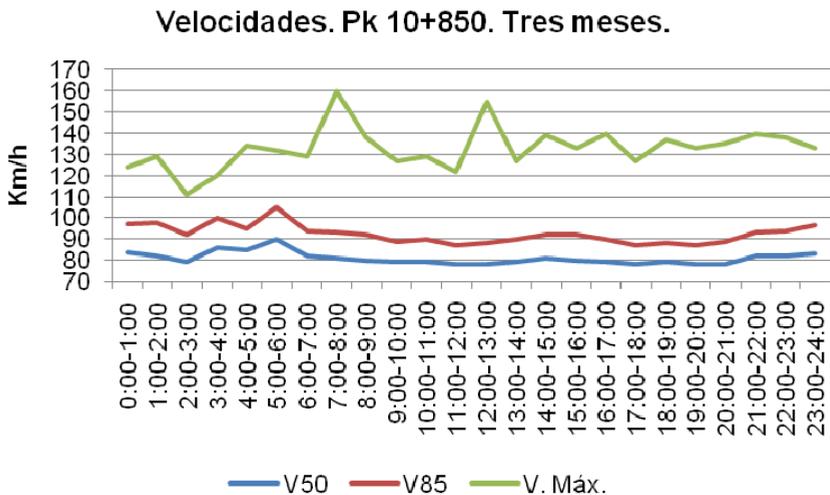


Gráfico 9. Velocidades características y velocidad máxima por hora. Pk 10+850. Tres meses

Las velocidades máximas más elevadas se registran entre las 7:00 y las 8:00 y, entre las 12:00 y las 13:00 horas.

La V85 menor se obtiene entre las 17:00 y las 20:00 horas y la menor velocidad máxima entre las 2:00 y las 3:00 horas.

Por último, a los seis meses tras la intervención (gráfico 10), tanto la V50 como la V85 más altas se alcanzan entre las 4:00 y las 6:00 horas. Las mayores velocidades máximas se registran entre las 0:00 y las 1:00 y, entre las 7:00 y las 8:00 horas.

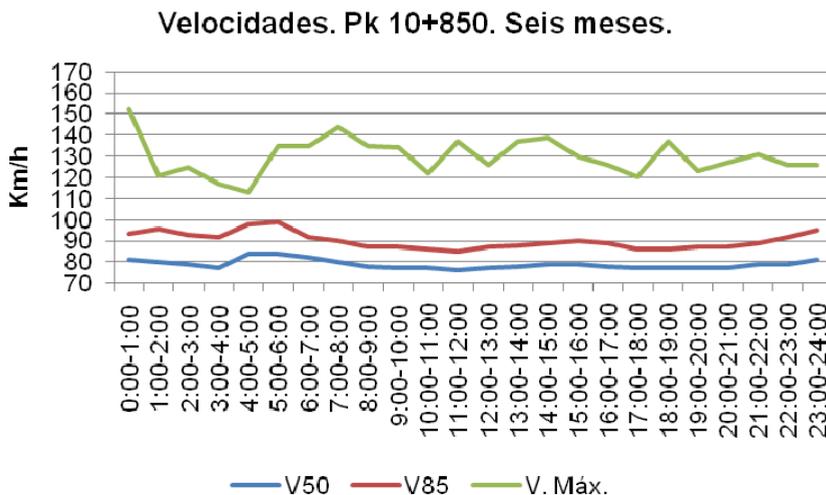


Gráfico 10. Velocidades características y velocidad máxima por hora. Pk 10+850. Seis meses

La velocidad máxima más baja se registra entre las 3:00 y las 5:00 horas a los seis meses de la intervención.

3.1.3 Diferencias entre las velocidades del pk 10+550 y del pk 10+850

Dado que el objetivo de la tesis es comprobar la eficacia de las marcas viales sobre la reducción de la velocidad, se han analizado las diferencias entre las velocidades de entrada (pk 10+550) y salida (pk 10+850) del tramo en los cuatro momentos de registro.

Las mayores diferencias en la velocidad media entre la entrada y la salida del tramo (gráfico 11), se observan a los seis y tres meses tras la intervención.

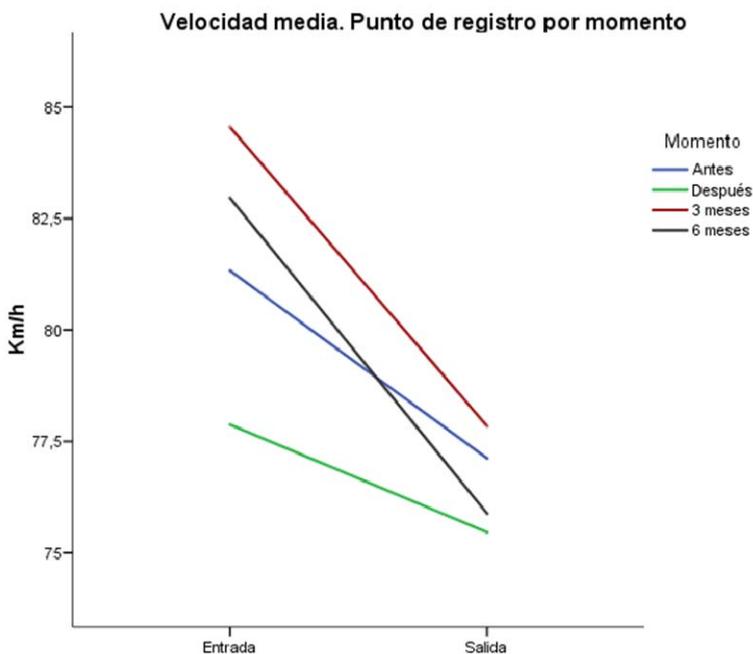


Gráfico 11. Velocidad media. Momento por punto de registro

La menor disminución de los indicadores entre el pk10+550 y el pk10+850 inmediatamente después de la intervención (tabla 14), guarda relación con el efecto novedad.

Diferencias	Media	V50	V85	DT	V. Máx.
Antes	4,21	4	3	-0,128	-4
Después	2,41	3	1	-0,195	1
Tres meses	6,71	6	5	-1,627	-3
Seis meses	7,08	7	6	-0,122	-6

Tabla 14. Diferencias entre los indicadores. Pk10+550 vs Pk10+850

Inmediatamente después de incluir los chevrons, las velocidades de los vehículos en el punto de entrada (pk 10+550) se redujeron de manera importante en relación a las velocidades anteriores (tabla 15).

	Media	V50	V85	DT	V. Máx.
Antes	0	0	0	0	0
Después	3,46	4	4	1,659	9
Tres meses	-3,22	-2	-2	3,501	2
Seis meses	-1,63	-1	0	2,869	13

Tabla 15. Diferencias entre los indicadores.
Antes vs después de la intervención. Pk 10+550

En la mayoría de indicadores se observan reducciones en la velocidad (km/h) en los cuatro momentos temporales (tabla 14). Antes de la adición de los chevrons en la carretera los vehículos reducían (desde el pk 10+550 al pk 10+850) la velocidad media en 4,21 km/h; inmediatamente después 2,41 km/h, a los tres meses 6,71 km/h y a los seis meses 7,08 km/h.

La velocidad del percentil 50, se reduce antes de la intervención en 4 km/h, después en 3 km/h, a los tres meses en 6 km/h y a los seis meses en 7 km/h. La reducción de la velocidad del percentil 85 es un poco menor que la de la V50.

La variabilidad en las velocidades de los vehículos aumenta en todos los momentos temporales en el pk 10+850 en relación al pk 10+550.

Las velocidades máximas, a excepción de inmediatamente después de la intervención, aumentan en el pk 10+850 en comparación con las del pk 10+550.

El efecto novedad está relacionado con la visibilidad de las marcas antes de entrar en la zona de intervención, si éstas no son visibles para el conductor hasta que se encuentra en la zona de chevrons, es de esperar que se logren menores disminuciones de velocidad y que las que se registren estén más relacionadas con el efecto de alerta. Para comprobarlo los datos fueron analizados en función de la variable día-noche.

Se utilizaron las horas de la salida y puesta del sol de los días en que se registraron los datos con aforador radar para determinar las categorías noche y día.

Al comparar el efecto en función de la visibilidad (día-noche), parece que durante las horas de noche los chevrons no tienen efecto sobre la velocidad (gráfico 12) más allá del posible efecto novedad que se observa inmediatamente después de la intervención.

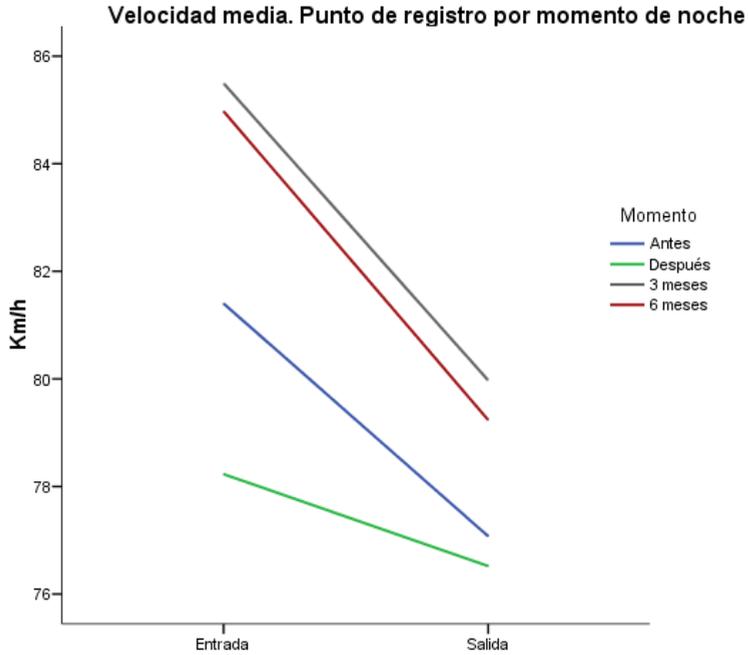


Gráfico 12. Velocidad media. Momento por punto de registro de noche

En cambio durante las horas de día (gráfico 13), sí parece que se detecta un efecto de las marcas viales sobre la velocidad.

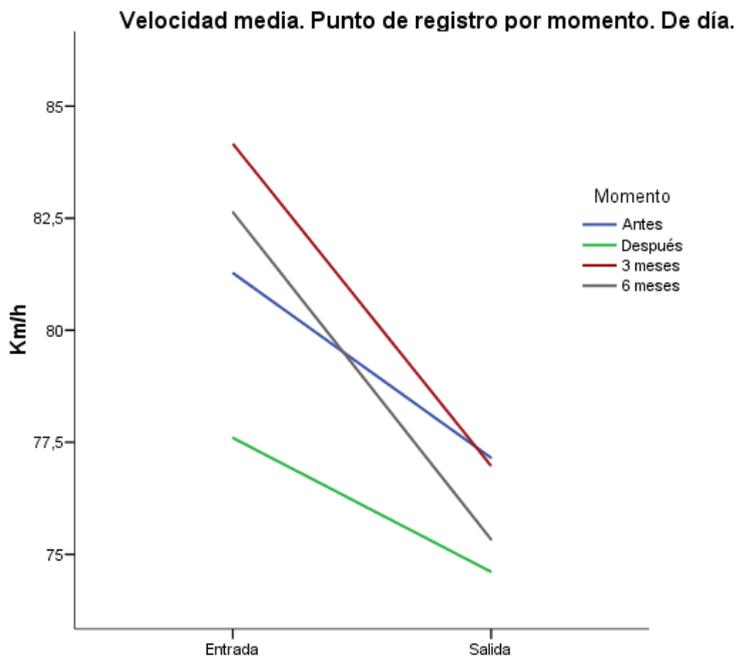


Gráfico 13. Velocidad media. Momento por punto de registro de día

3.1.4 Diferencias entre los cuatro momentos temporales en el pk 10+850

Tras analizar las diferencias entre las velocidades de entrada y salida del tramo, el interés del estudio se centra en comprobar si las marcas viales transversales tipo chevron, logran reducir la velocidad de los vehículos en la zona de riesgo, es decir, si se consigue la reducción de la velocidad conforme se circula por el tramo de carretera en el que se han añadido los chevrons y si el efecto perdura a medio y largo plazo. Para ello, se ha estudiado el comportamiento de los indicadores de la velocidad en los cuatro momentos temporales en el punto de salida del tramo (pk 10+850).

La mayoría de indicadores (tabla 16) -a excepción de la velocidad media, la V50 y la V85 registrada a los tres meses de la intervención- disminuyen al ser comparados con los valores obtenidos antes de la intervención en el punto de salida del tramo de chevrons (pk 10+850).

Diferencias	Media	V50	V85	DT	V. Máx.
Antes	0	0	0	0	0
Después	1,66	3	2	1,592	14
Tres meses	-0,72	0	0	2,002	3
Seis meses	1,24	2	3	2,875	11

Tabla 16. Diferencias en los indicadores.
Pk 10+850 antes vs después de la intervención

Las mayores reducciones se registran en las velocidades máximas (14 km/h); las reducciones en la V50 y la V85 son similares (2-3 km/h) inmediatamente después y a los tres meses de la intervención. La variabilidad de las velocidades disminuye (1,6-2,9 km/h) en todos los momentos tras la intervención.

Considerando el porcentaje de reducción de los indicadores de interés en los tres momentos temporales

posteriores a la adición de chevrons en relación al valor que se obtuvo antes de incluir los chevrons como marca vial en la carretera (gráfico 14), la mayor reducción se observa en la variabilidad de las velocidades.

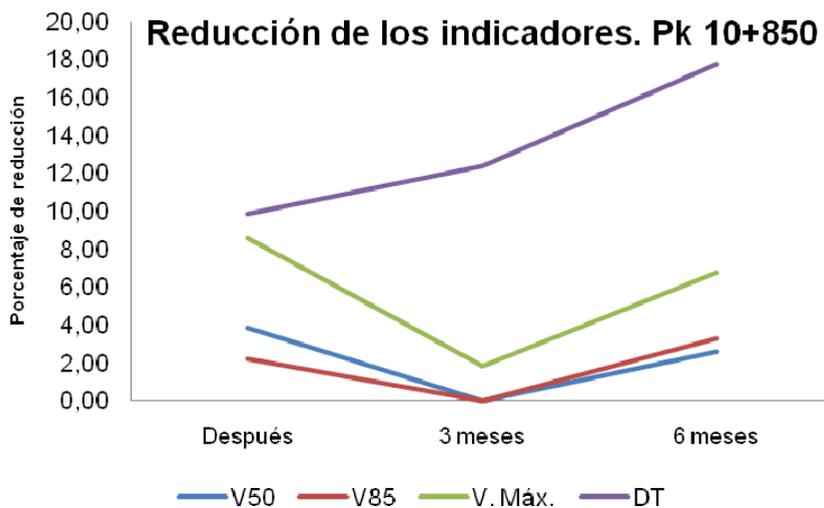


Gráfico 14. Porcentaje de reducción sin intervención vs intervención. Pk 10+850

A excepción de la V50 y la V85, transcurridos tres meses (tabla 17), las velocidades del percentil 50 disminuyen entre un 2,56% y un 3,85% y la V85 entre un 2,20% y un 3,30%.

Porcentaje reducción	V50	V85	V. Máx.	DT
Después	3,85	2,20	8,59	9,84
3 meses	0,00	0,00	1,84	12,37
6 meses	2,56	3,30	6,75	17,77

Tabla 17. Porcentaje de reducción sin intervención vs intervención. Pk 10+850

La velocidad máxima disminuye entre un 1,84% y un 8,59% en los tres momentos temporales registrados en relación a la velocidad máxima registrada antes de incluir los chevrons.

La variabilidad de las velocidades disminuye en todos los momentos temporales entre un 9,84% y un 17,77%. El coeficiente de variación de Pearson (gráfico 15) oscila entre 20,98% y 17,54%.

Coeficiente de Variación. Pk 10+850

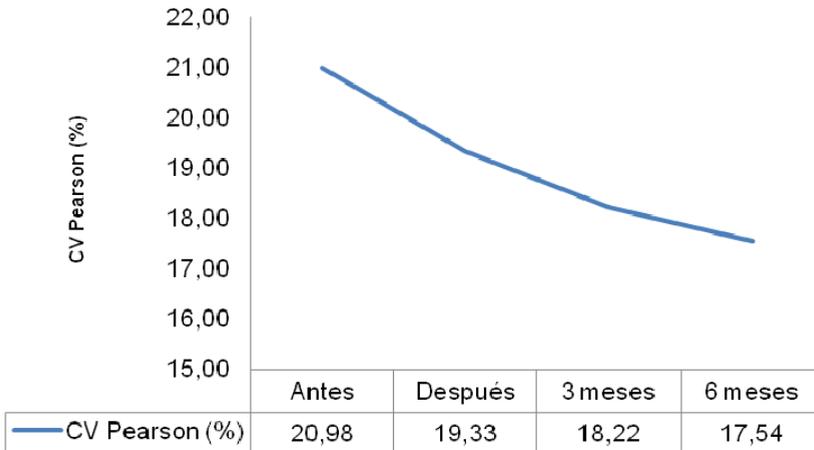


Gráfico 15. Coeficiente de variación de Pearson. Pk 10+850

3.1.4.1 Diferencias en función de entre semana/fin de semana

Al tratarse de un tramo en el que hay más intensidad de tráfico entre semana por desplazamientos laborales (hospital, colegio) y menos durante el fin de semana (urbanizaciones), se consideró oportuno estudiar las diferencias en la velocidad de los vehículos ligeros considerando esta variable.

En general, las velocidades medias son mayores en fin de semana, la mayor diferencia en la velocidad media entre semana y en fin de semana tras la intervención (gráfico 16), se observa inmediatamente después. A los seis meses es mayor la velocidad media entre semana que en fin de semana.

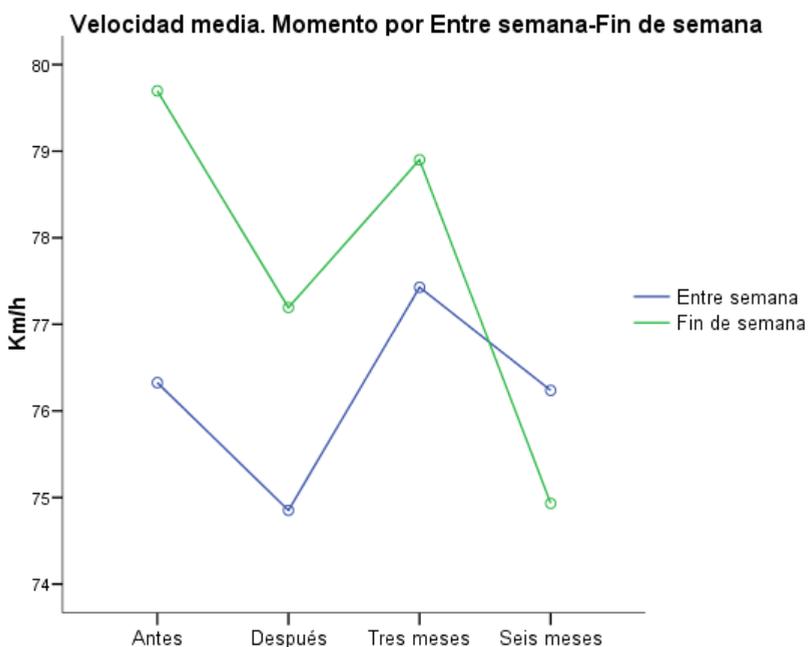


Gráfico 16. Velocidad media. Momento por entre semana-fin de semana.
Pk 10+850

Las velocidades en fin de semana de los vehículos ligeros (tabla 18), son menores en todos los momentos temporales posteriores a la inclusión de los chevrons en la carretera (media, V50, V85 y V. Máx.) en comparación con las velocidades registradas con anterioridad.

		Media	V50	V85	DT	V. Máx.
Antes	Entre semana	76,33	77	91	16,38	158
	Fin de semana	79,70	80	93	15,25	163
Después	Entre semana	74,85	75	89	14,63	149
	Fin de semana	77,19	77	90	14,34	148
Tres meses	Entre semana	77,43	78	91	14,53	160
	Fin de semana	78,90	79	91	13,16	140
Seis meses	Entre semana	76,24	76	88	13,11	152
	Fin de semana	74,93	75	88	13,77	144

Tabla 18. Velocidades entre semana vs fin de semana. Pk 10+850

No ocurre lo mismo con las velocidades registradas entre semana, donde de nuevo se observa el decaimiento del efecto de los chevrons a los tres meses de la intervención.

La intensidad media diaria de tráfico (tabla 19) es menor en fin de semana que entre semana; por lo que es de suponer que el tráfico en fin de semana tiene mayor libertad para circular a la velocidad elegida, lo que permite detectar mejor el efecto de la intervención.

IMD	Antes	Después	Tres meses	Seis meses
Entre semana	1602,9	1749,6	1491,2	1624,5
Fin de semana	1232,25	1537,25	1447,5	1528,5

Tabla 19. IMD entre semana vs fin de semana. Pk 10+850

En fin de semana el porcentaje de reducción de la V50, la V85 y la velocidad máxima (gráfico 17) es mayor que entre semana.

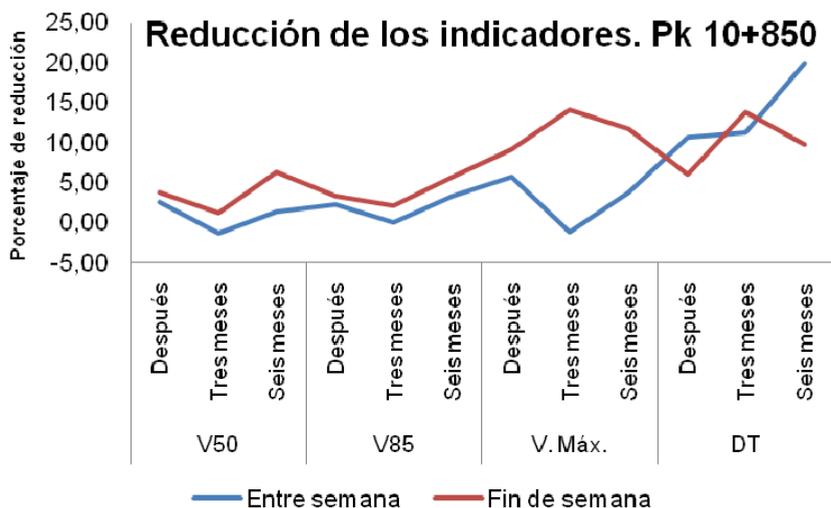


Gráfico 17. Porcentaje de reducción de los indicadores. Entre semana vs fin de semana. Pk10+850

El porcentaje de reducción de la variabilidad de las velocidades, es algo mayor entre semana inmediatamente después y a los seis meses de la intervención.

A los tres meses de la intervención (tabla 20), no se observan diferencias en la reducción de las velocidades entre semana, pero sí en fin de semana.

		V50	V85	V. Máx.	DT
Después	Entre semana	2,60	2,20	5,70	10,69
	Fin de semana	3,75	3,30	9,20	5,97
Tres meses	Entre semana	-1,30	0,00	-1,27	11,24
	Fin de semana	1,25	2,15	14,11	13,71
Seis meses	Entre semana	1,30	3,30	3,80	19,94
	Fin de semana	6,25	5,65	11,66	9,73

Tabla 20. Porcentaje de reducción de los indicadores. Entre semana vs fin de semana. Pk10+850

En fin de semana, se observan ligeras reducciones en la V50 entre un 1,25% y un 6,25%, en la V85 entre un 2,15% y un 5,65% y en la velocidad máxima entre un 9,20% y un 14,11%.

Entre semana, las reducciones son menores, menos a los tres meses, la V50 se reduce entre un 1,30% y un 2,60%, la V85 un 2,20% y un 3,30% y la velocidad máxima entre un 3,80% y un 5,70%.

El porcentaje de reducción de la variabilidad de las velocidades es algo mayor entre semana (salvo a los tres meses), se observan reducciones entre un 10,69% y un 19,94%. Entre semana la variabilidad relativa (gráfico 18) es algo menor que antes de la intervención y va disminuyendo entre todos los momentos temporales.

En fin de semana la variabilidad relativa es menor que antes de la intervención, aunque aumenta a los seis meses en relación a los tres meses.

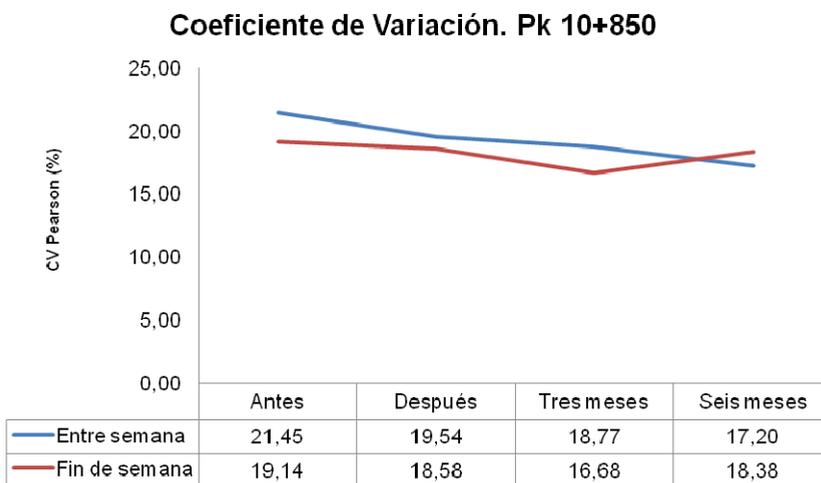


Gráfico 18. CV Pearson entre semana vs fin de semana. Pk10+850

3.1.4.2 Diferencias en función de la visibilidad: día vs noche

Tal como se indicó en el apartado 3.1.3., el efecto novedad está relacionado con la visibilidad de las marcas antes de entrar en la zona de intervención, si éstas no son visibles para el conductor hasta que se encuentra en la zona de chevrons, es de esperar que se logren menores disminuciones de velocidad y que las que se registren estén más relacionadas con el efecto de alerta. Para comprobarlo los datos fueron analizados en función de la variable día-noche.

Se utilizaron las horas de la salida y puesta del sol de los días en que se registraron los datos con aforador radar para determinar las categorías noche y día.

Durante el día, en todos los indicadores de interés se observan valores inferiores en los tres momentos temporales tras la intervención (tabla 21).

Durante la noche no se observan diferencias entre las velocidades.

		Media	V50	V85	V. Máx.	DT
Antes	Día	77,15	78	91	163	16,04
	Noche	77,07	77	91	159	16,379
Después	Día	74,61	75	88	149	14,60
	Noche	76,52	76	91	148	14,505
Tres meses	Día	76,97	77	90	147	14,22
	Noche	79,97	79	93	160	13,850
Seis meses	Día	75,33	76	87	144	13,21
	Noche	79,24	78	92	152	13,366

Tabla 21. Velocidades día vs noche. Pk 10+850

La velocidad media observada, es mayor en todos los momentos temporales durante la noche que durante el día,

antes de la intervención la velocidad media era similar durante el día y la noche.

La V50 es mayor durante la noche después, a los tres y a los seis meses (gráfico 17), antes de la adición de los chevrons era menor durante la noche (78 km/h vs 77km/h).

La velocidad del percentil 85, es mayor durante la noche después, a los tres y a los seis meses, antes de la adición de los chevrons la V85 era igual durante el día y la noche.

3.1.4.3 Análisis de diferencias durante el día

Se observan ligeras reducciones en todos los indicadores de interés en los tres momentos temporales (después, tres meses y seis meses) comparado con los valores que se observaron antes de la intervención (gráfico 19).

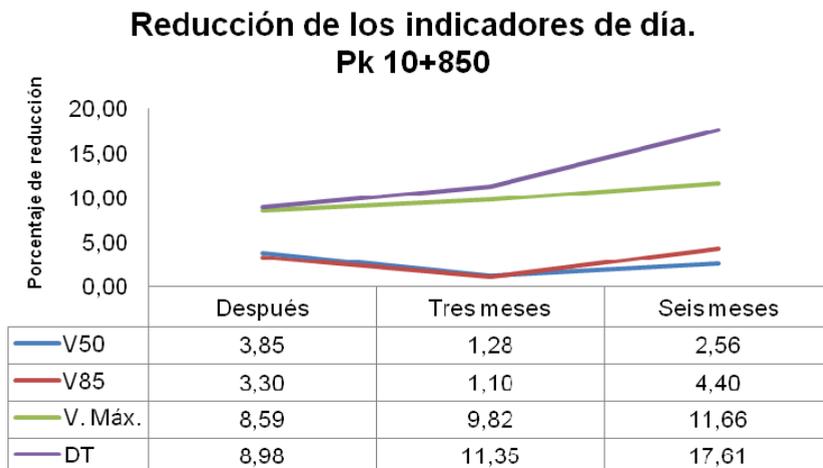


Gráfico 19. Porcentaje de reducción de los indicadores de interés de día.
Pk 10+850

El valor de la V50 se reduce entre un 1,28% y un 3,85%, el valor de la V85 se reduce entre un 1,10% y 4,40% y en la velocidad máxima se observan reducciones entre un 8,92% y un 11,66%, en el tráfico diurno de vehículos ligeros.

En general, los porcentajes de reducción que se obtienen durante el día son algo mayores que los que se obtuvieron sin considerar la diferencia entre el día y la noche para la V50, la V85 y la velocidad máxima.

El porcentaje de disminución de variabilidad es algo menor durante el día que el observado sin diferenciar la noche del día. La variabilidad de la velocidad de los vehículos ligeros

disminuye un poco, entre un 8,98% y un 17,61%. El coeficiente de variación de Pearson (gráfico 20), informa de la menor dispersión relativa de las velocidades de los vehículos ligeros durante el día tras la intervención en el tramo de interés.

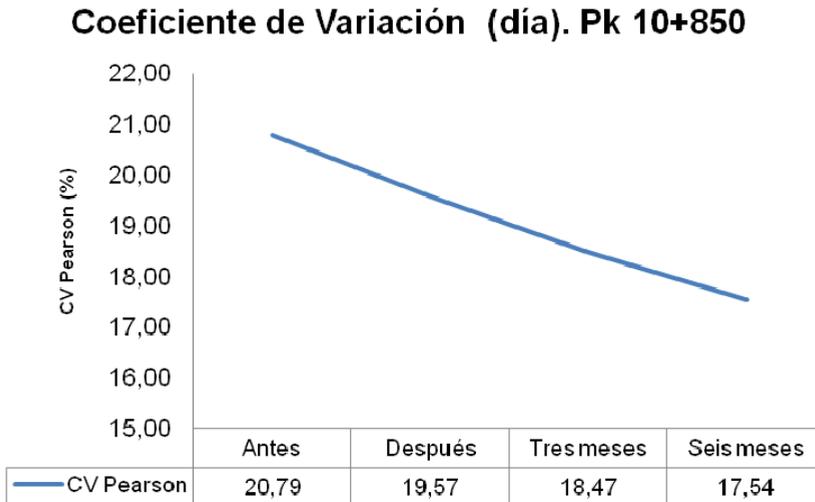


Gráfico 20. Coeficiente de variación de Pearson (día). Pk10+850

3.1.4.4 Diferencias de día en función de entre semana/fin de semana.

Por último, se analizaron los diferentes indicadores de interés considerando la variable entre semana/fin de semana durante el día.

Entre semana de día (tabla 22), se observan ligeras disminuciones de los valores de todos los indicadores de interés inmediatamente después y a los seis meses de la inclusión de los chevrons en la carretera. A los tres meses únicamente se observa una disminución de la velocidad máxima de los vehículos, la V50 y la V85 son iguales que antes de la intervención.

	Día	Media	V50	V85	V. Máx.	DT
Antes	Entre semana	76,26	77	90	155	18,89
	Fin de semana	80,18	81	94	163	16,19
Después	Entre semana	73,65	74	87	149	14,37
	Fin de semana	77,42	77	91	148	14,92
Tres meses	Entre semana	76,23	77	90	147	14,47
	Fin de semana	78,92	79	91	140	13,34
Seis meses	Entre semana	75,82	76	88	139	13,02
	Fin de semana	74,08	75	86	144	13,62

Tabla 22. Velocidades de día. Entre semana-fin de semana.
Pk 10+850

De día en fin de semana, los valores observados de todos los indicadores de interés, son ligeramente inferiores en todos los momentos temporales tras la intervención.

Las reducciones de los indicadores son menores de día entre semana que en fin de semana (gráfico 21) a excepción de

la reducción de la variabilidad, que es mayor de día entre semana que en fin de semana.

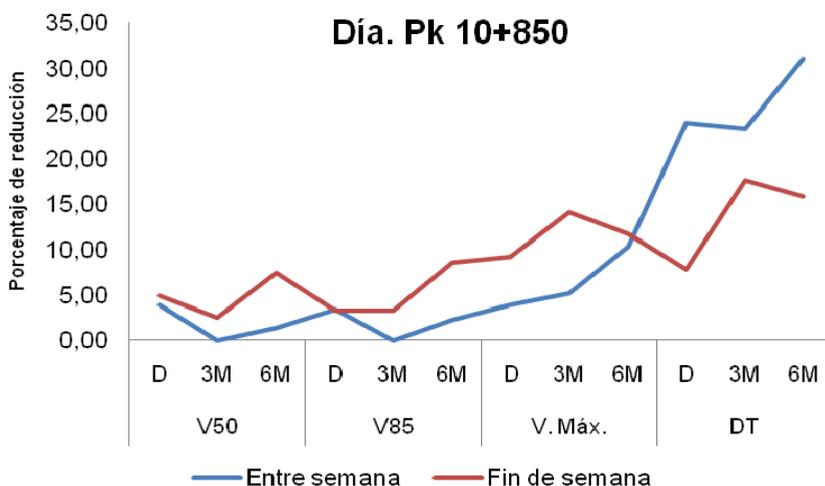


Gráfico 21. Reducción de los indicadores de día. Entre semana vs fin de semana. Pk10+850

Durante el día en fin de semana, la velocidad del percentil 50 se reduce entre un 2,47% y un 7,41% (tabla 23), alcanzándose la mayor reducción a los seis meses de la intervención.

Reducción de los indicadores (%) de día		V50	V85	V. Máx.	DT
Después	Entre semana	3,90	3,33	23,93	3,87
	Fin de semana	4,94	3,19	7,84	9,20
Tres meses	Entre semana	0,00	0,00	23,40	5,16
	Fin de semana	2,47	3,19	17,60	14,11
Seis meses	Entre semana	1,30	2,22	31,07	10,32
	Fin de semana	7,41	8,51	15,87	11,66

Tabla 23. Reducción de los indicadores de día. Entre semana vs fin de semana. Pk10+850

La velocidad del percentil 85 disminuye entre un 3,19% y un 8,51%.

La velocidad máxima se reduce entre un 7,84% y un 17,60%. La variabilidad de las velocidades disminuye entre un 9,20% y un 14,11%.

Durante el día entre semana, a excepción de la V50 y la V85 a los tres meses, se observa una ligera reducción de los indicadores: en la V50, entre un 3,90% y un 1,30%. La V85 se entre un 2,22% y un 3,33%.

Se observa una disminución entre un 23,40% y un 31,07% de la velocidad y entre un 3,87% y un 10,32% en la variabilidad.

La variabilidad relativa (gráfico 22), es algo menor en todos los momentos temporales tras la intervención de día entre semana y en fin de semana.

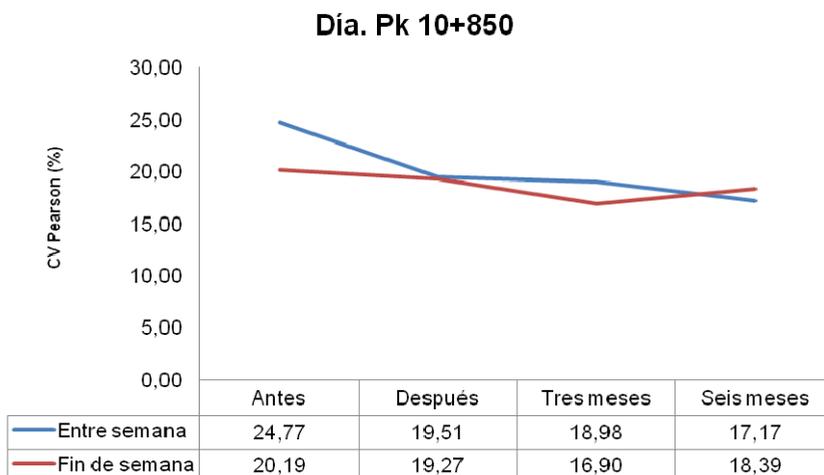


Gráfico 22. Coeficiente de variación de Pearson. Día. Entre semana vs fin de semana. Pk10+850

Las diferencias que se observan entre los porcentajes de disminución de la velocidad de día entre semana y en fin de semana, parecen indicar que el efecto de las marcas viales transversales adicionadas a la carretera en el tramo de intervención, pueden tener más efecto cuando los vehículos circulan a velocidad libre.

En fin de semana, la IMD de tráfico es menor (tabla 24), por lo que los conductores tienen más libertad para circular a la velocidad elegida y por ello, puede que el efecto de las marcas viales se detecte mejor.

IMD de día	Antes	Después	Tres meses	Seis meses
Entre semana	947,3	978,2	1067,7	1377,3
Fin de semana	697	830	1005,5	1356

Tabla 24. IMD de día entre semana vs fin de semana. Pk 10+850

El aumento del número de vehículos registrados con el tiempo (antes, después, a los tres y seis meses) puede estar relacionado con las horas de luz del día. Dado que la variable día-noche se dicotomizó a partir de las horas de los registros en función de las horas de puesta y salida de sol, el número de horas de luz en los periodos 3 meses y 6 meses (estación de primavera) es mayor que en el período antes y después (estación de invierno). Por tanto, es de esperar que el número de vehículos registrados durante el día sea mayor durante el período 3 y 6 meses que antes y después.

3.2 Análisis inferenciales

Para comprobar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las velocidades medias de los vehículos entre los cuatro momentos temporales de registro en el pk 10+850, se aplicó un análisis de varianza.

Los resultados obtenidos en los análisis inferenciales deben ser interpretados con cautela, el tamaño de la muestra influye directamente en la probabilidad de detectar diferencias estadísticamente significativas entre las medias, a pesar de que el tamaño del efecto sea muy pequeño.

Debido al incumplimiento de la homocedasticidad ($F_{(3/87658)}=128.291$; $p<0.001$), las diferencias de las velocidades medias fueron analizadas con la prueba robusta de igualdad de medias de Brown-Forsythe, obteniéndose un valor $F_{(3/84777,758)}=123.791$; $p<0.001$ y un tamaño del efecto=0,004, lo que informa de la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las velocidades medias de los vehículos ligeros entre los momentos temporales en el pk 10+850.

Para determinar la significación entre las medias de los cuatro momentos temporales se realizaron comparaciones múltiples a posteriori mediante la prueba de Games-Howell no asumiendo varianzas iguales (tabla 25).

Los resultados apuntan la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las velocidades medias de todos los momentos temporales de registro.

		Diferencia	Error Típico	Significación	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Antes	Después	1,658	,147	p<0.001	1,28	2,03
	3 meses	-,721	,149	p<0.001	-1,10	-,34
	6 meses	1,238	,143	p<0.001	,87	1,61
Después	3 meses	-2,379	,137	p<0.001	-2,73	-2,03
	6 meses	-,420	,130	p=0.0068	-,75	-,09
3 meses	6 meses	1,959	,133	p<0.001	1,62	2,30

Tabla 25. Diferencias entre las velocidades medias de los cuatro momentos temporales en el pk 10+850

Inmediatamente después de la intervención se reduce ligeramente (entre 1,28 y 2,30 km/h) la velocidad media de los vehículos ligeros en comparación con la velocidad anterior.

Parece haber un efecto novedad (antes-después), que aunque va disminuyendo (antes-3 meses y después-3 meses), perdura a largo plazo (antes-6 meses y 3 meses-6 meses).

Durante el día se han observado disminuciones en todos los momentos temporales tras la intervención, se ha aplicado una prueba de comparación de medias para analizar si las diferencias observadas son estadísticamente significativas.

Se aplicó la prueba robusta de igualdad de medias, el valor arrojado por la prueba de Brown-Forsythe ($F_{(3/52548,678)}=99,83$; $p<0,001$) con un tamaño del efecto de 0,005, informa que las diferencias entre las velocidades medias durante el día entre los cuatro momentos temporales analizados, son estadísticamente significativas.

Las comparaciones múltiples entre las velocidades medias de día de los cuatro momentos mediante la prueba de Games-Howell, no asumiendo varianzas iguales (tabla 26), informa de la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre

las velocidades medias de todos los momentos temporales de registro, a excepción de antes vs tres meses.

		Diferencia	Error Típico	Significación	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Antes	Después	2,54	,193	p<0.001	2,05	3,04
	3 meses	,18	,186	p=0,762	-,30	,66
	6 meses	1,82	,173	p<0.001	1,38	2,27
Después	3 meses	-2,36	,173	p<0.001	-2,80	-1,91
	6 meses	-,72	,159	p<0.001	-1,13	-,31
3 meses	6 meses	1,64	,151	p<0.001	1,25	2,03

Tabla 26. Diferencia entre las velocidades medias de los vehículos ligeros de día en el pk 10+850

Entre los momentos temporales posteriores a la implantación de los chevrons (después, tres meses y seis meses) se observan diferencias estadísticamente significativas entre las velocidades medias de los vehículos ligeros durante el día, siendo ligeramente mayor la reducción de la velocidad media inmediatamente después (entre 2,05 y 3,04 km/h) que transcurridos seis meses (entre 1,38 y 2,27 km/h), y mayor a los seis meses que a los tres meses de la intervención (entre 1,25 y 2,03 km/h).

Se generó un factor con ocho niveles (interacciones entre las variables semana-fin de semana x momento durante el día), debido a la falta de homogeneidad de las varianzas.

Los niveles fueron: 1. Semana-antes; 2. Semana-después; 3. Semana-tres meses; 4. Semana-seis meses; 5. Entre semana-antes; 6. Entre semana-después; 7. Entre semana-tres meses y 8. Entre semana-seis meses.

Se aplicó la prueba robusta de igualdad de medias de Brown-Forsythe, se detectaron diferencias estadísticamente

significativas ($F_{(7/56190,182)} = 185,133$; $p < 0,001$) entre los niveles del factor.

La prueba de Games-Howell (tabla 27), informa de la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las velocidades medias de día entre semana-antes vs entre semana-después (entre 2,02 y 3,19 km/h).

En fin de semana de día, las diferencias entre todas las comparaciones son estadísticamente significativas. A los seis meses de la intervención la velocidad media observada de los vehículos ligeros en fin de semana de día es:

- Entre 5,23 y 6,96 km/h menor que antes de la intervención.
- Entre 2,55 y 4,13 km/h menor que inmediatamente después de la intervención.
- Entre 4,00 y 5,69 km/h menor que a los tres meses tras la intervención.

Entre semana		Diferencia	Error típico	Significación	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Antes	Después	2,61	0,19	$p < 0,001$	2,02	3,19
	3 meses	0,03	0,19	$p = 0,94$	-0,55	0,61
	6 meses	0,44	0,18	$p = 0,23$	-0,11	0,99
Después	3 meses	-2,58	0,14	$p < 0,001$	-3,01	-2,14
	6 meses	-2,16	0,13	$p < 0,001$	-2,56	-1,77
3 meses	6 meses	0,41	0,13	$p = 0,03$	0,03	0,79
Fin de semana						
Antes	Después	2,76	0,28	$p < 0,001$	1,90	3,62
	3 meses	1,25	0,30	$p < 0,001$	0,34	2,17
	6 meses	6,10	0,28	$p < 0,001$	5,23	6,96
Después	3 meses	-1,51	0,28	$p < 0,001$	-2,35	-0,66
	6 meses	3,34	0,26	$p < 0,001$	2,55	4,13
3 meses	6 meses	4,85	0,28	$p < 0,001$	4,00	5,69

Tabla 27. Diferencia entre las velocidades medias de los vehículos ligeros de día entre semana-fin de semana x momento. Pk 10+850

3.3 Relación entre la reducción de la velocidad y la accidentalidad.

Tal como se indicó en las consideraciones iniciales del capítulo de resultados, aunque no es objetivo de la tesis, se ha considerado oportuno dar una estimación de la reducción de accidentalidad en función de los resultados obtenidos de reducción de velocidad en el tramo.

La imposibilidad de realizar un análisis de accidentalidad del tramo debido a que el período de análisis es insuficiente para realizarlo, nos ha llevado a realizar una estimación de la misma en función de la velocidad reducida según el modelo de Nilsson (2004).

Para estimar el posible efecto de la reducción de la velocidad media observada durante el día sobre la accidentalidad, se han aplicado las ecuaciones 5.1 y 5.2 del modelo potencial de Nilsson (Nilsson, 2004, p. 556).

Las ecuaciones del modelo potencial estiman el porcentaje de reducción de accidentes con heridos y de accidentes mortales en función de la reducción en la velocidad media. La estimación se ha realizado diferenciando las reducciones de la velocidad media entre semana y en fin de semana.

Entre semana, de lunes a viernes, según el modelo potencial, la disminución que se ha observado en las velocidades tras la intervención (tabla 28), se estima que podría reducir el número de accidentes con heridos entre un 0,08% y un 6,73% y el número de accidentes mortales entre un 0,16% y un 13%.

Eficacia de las marcas viales transversales tipo chevron en la reducción de la velocidad de los vehículos ligeros en intersección.

De día entre semana	Velocidad media antes (76,26 km/h)	
	Reducción accidentes con heridos	Reducción accidentes mortales
Velocidad media tras la intervención		
Después (73,65 km/h)	6,73%	13%
Tres meses (76,23 km/h)	0,08%	0,16%
Seis meses (75,82 km/h)	1,15%	2,29%

Tabla 28. Porcentaje estimado de reducción de accidentes con heridos y accidentes mortales tras la intervención de día entre semana.

En fin de semana parece que las marcas viales introducidas en la carretera sean más eficaces que entre semana, las estimaciones de las reducciones del número de accidentes con heridos y del número de accidentes con víctimas mortales (tabla 29) son mayores.

De día en fin de semana	Velocidad media antes (80,18 km/h)	
	Reducción accidentes con heridos	Reducción accidentes mortales
Velocidad media tras la intervención		
Después (77,42 km/h)	6.76%	13.07%
Tres meses (78,92 km/h)	3.12%	6.14%
Seis meses (74,08 km/h)	14.64%	27.13%

Tabla 29. Porcentaje estimado de reducción de accidentes con heridos y accidentes mortales tras la intervención de día en fin de semana

De día en fin de semana se estima, con el modelo de Nilsson, que las marcas viales podrían llegar a reducir entre un 3,12% y un 14,64% el número de accidentes con heridos y, entre un 6,14% y un 27,13% el número de accidentes mortales.

4 CONCLUSIONES FINALES

El objetivo de la tesis es comprobar la eficacia de las marcas viales transversales tipo chevron sobre la reducción de la velocidad de los vehículos ligeros en intersección de carretera convencional.

Para alcanzar el objetivo se utilizó un diseño de tipo selectivo longitudinal de poblaciones con muestras independientes sucesivas. Se registró la velocidad de los vehículos en cuatro momentos temporales: i) antes de incluir los chevrons; ii) inmediatamente después de incorporar los chevrons; iii) a los tres meses y, iv) a los seis meses.

La zona en la que se incluyeron los chevrons fue desde el pk 10+550 al pk 10+850 próxima a una intersección, en la CV-50 dirección Tavernes de la Valldigna-Alzira en el término municipal de Alzira (Valencia).

El diseño geométrico de los chevrons se realizó a partir de los resultados del estudio de simulación realizado por Toledo-Castillo et al., (2011).

Se registraron las velocidades de los vehículos en dos puntos: el pk 10+550 a la entrada y el pk 10+850 a la salida del tramo.

Se siguieron las recomendaciones de SafetyNet, aplicadas en estudios previos (Voigt & Kuchangi, 2008; Hunter et al., 2010) para asegurarnos que los vehículos circulan a velocidad libre, de manera que la elección de la velocidad de circulación no se vea afectada por circunstancias del tráfico (congestión, incidentes, otros vehículos,...), eliminando los registros de los vehículos cuya distancia en segundos con el vehículo precedente era inferior o igual a cinco segundos.

Por último, indicar de nuevo la cautela con la que se deben interpretar los resultados y conclusiones de la investigación.

4.1 Conclusiones

Las conclusiones relacionadas con la comparación antes e inmediatamente después de la intervención son las que más garantías ofrecen por la proximidad en el momento de la toma de datos (nueve días de diferencia entre el último registro antes y el primer registro después de la intervención). Es de esperar que las características del tráfico en ambos momentos de registro sea similar, mientras que los valores registrados a los tres meses y a los seis meses, aunque son relevantes para el estudio, pueden estar influenciados por más variables contaminadoras relativas a las características diferenciales del tráfico en cada uno de los dos períodos temporales en relación al período anterior a la intervención.

Las distribuciones del número de vehículos ligeros por hora son similares en el pk 10+550 y en el pk10+850, para los cuatro momentos analizados, observándose la curva característico de intensidad en zonas con influencia de entrono urbano.

La distribución de la velocidad de los vehículos ligeros es similar en el pk10+550 y en el pk10+850 para los cuatro momentos temporales analizados.

A la entrada del tramo (pk10+550) se observan algunas disminuciones en las velocidades de los vehículos, inmediatamente después de la intervención se reduce en 3,46 km/h la velocidad media, en 4 km/h la V50 y la V85 y, en 9 km/h la velocidad máxima, lo que podría relacionarse con un efecto novedad de las marcas viales.

Las mayores diferencias entre la velocidad de entrada y salida del tramo se observan a los tres y seis meses desde la introducción de las marcas viales. Antes de incorporar las marcas viales la diferencia entre la V50 de entrada y salida era de 4 km/h y la diferencia de la V85 de 3 km/h. A los tres meses, la diferencia observada en la V50 es de 6 km/h y en la V85 de 5km/h; a los seis meses la diferencia observada en la V50 es de 7km/h y en la V85 de 6km/h.

Inmediatamente después de la intervención se observan ligeras disminuciones de 3 km/h en la V50 y de 1 km/h en la V85. La menor reducción de la velocidad entre ambos puntos kilométricos puede deberse al efecto novedad, ya que al encontrar los sujetos una señalización desconocida disminuyen la velocidad antes de entrar en la zona de chevrons (Rutley, 1975).

En la salida del tramo de intervención (pk 10+850), la velocidad media, la V50, la V85 y la velocidad máxima parece que disminuyen inmediatamente después y a los seis meses tras la intervención:

- inmediatamente después se observa que la velocidad media disminuye ligeramente en 1,66 km/h, al igual que la V50 (3 km/h) y la V85 (2 km/h), un poco mayor parece la reducción de la velocidad máxima (14 km/h) y,
- a los seis meses, la velocidad media observada disminuye ligeramente en 1,24 km/h; al igual que la V50 (2 km/h) y la V85 (3 km/h), un poco mayor parece la reducción de la velocidad máxima (11km/h).

A los tres meses apenas se observan ligeras reducciones de 3 km/h en la velocidad máxima. La variabilidad de las

velocidades parece disminuir en los diferentes momentos temporales tras la intervención.

Aunque las diferencias entre las medias de las velocidades son estadísticamente significativas (Browm-Forsythe $F(3/84777,758)=123.791$; $p<0.001$), hay que considerar dicha significación estadística con prudencia, sin olvidar el efecto que el elevado tamaño de la muestra tiene sobre la probabilidad de detectar diferencias estadísticamente significativas, a pesar que dichas diferencias sean muy pequeñas. Las comparaciones múltiples a posteriori realizadas con la prueba de Games-Howell, indican que hay diferencias estadísticamente significativas ($p<0,01$), entre la velocidad media antes e inmediatamente después de la intervención (1,66 km/h) y antes y a los seis meses (1,24 km/h).

No se han detectado diferencias entre la velocidad media de los vehículos ligeros antes y a los tres meses de la intervención.

Las velocidades medias que se observan en fin de semana son mayores que entre semana, observándose la mayor diferencia inmediatamente después de la intervención.

En fin de semana las velocidades observadas son menores en todos los momentos temporales posteriores a la inclusión de los chevrons en la carretera en comparación con las velocidades registradas anteriormente, en general las reducciones observadas son pequeñas para la mayoría de indicadores:

- inmediatamente después de la intervención se observa que: la V50 se reduce un 3,75%, la V85 un 3,30%, la velocidad máxima un 9,20% y la variabilidad un 5,97%,

- a los tres meses la V50 observada disminuye un 1,25%, la V85 un 2,15%, la velocidad máxima un 11,11% y la variabilidad un 13,71% y,
- a los seis meses, la V50 observada se reduce un 6,25%, la V85 un 5,65%, la velocidad máxima un 11,66% y la variabilidad un 9,73%.

Entre semana la reducción observada de la velocidad de los vehículos tras la intervención es menor que en fin de semana:

- inmediatamente después de la intervención la V50 se reduce un 2,60%, la V85 un 2,20% y la velocidad máxima un 5,70% y,
- a los seis meses la V50 disminuye un 1,30%, la V85 un 3,30% y la velocidad máxima un 3,80%.

A los tres meses no se observan reducciones.

La IMD es menor en fin de semana que entre semana, por lo que es de suponer que el tráfico en fin de semana circule con mayor libertad a la velocidad elegida, lo que permitiría detectar mejor el posible efecto de las marcas viales incorporadas a la carretera.

A los tres meses la IMD es menor, tanto entre semana como en fin de semana, que inmediatamente después y a los seis meses y, también es menor la diferencia entre la IMD entre semana y en fin de semana a los tres meses que en los otros dos momentos temporales.

A los tres meses la IMD es muy similar entre semana y en fin de semana, lo que puede influir en la falta de detección de los efectos sobre la velocidad a los tres meses. También, puede haber influido el período en el que se registraron los datos (a

pesar que se controló que no coincidieran con períodos festivos), el registro de datos a los tres meses se realizó desde el 20 de febrero hasta el domingo 13 de marzo de 2011, puede que la proximidad a la fiesta de Fallas (la semana siguiente) haya modificado las características del tráfico en este período de registro de datos.

Durante las horas de día la velocidad observada de los vehículos es ligeramente menor en todos los momentos tras la intervención, durante las horas de noche no se observaron disminuciones en la velocidad. Durante el día se observan algunas reducciones en la velocidad:

- inmediatamente después de la intervención la V50 en 3,85%, la V85 en 3,30%, la velocidad máxima en 8,59% y la variabilidad en 8,98%,
- a los tres meses la V50 en 1,28%, la V85 en 1,10%, la velocidad máxima en 9,82% y la variabilidad en 11,35% y,
- a los seis meses la V50 en 2,56%, la V85 en 4,40%, la velocidad máxima en 11,66% y la variabilidad en 17,61%.

Las diferencias entre las medias de las velocidades de día son estadísticamente significativas (Browm-Forsythe, $F_{(3/52548,678)}=99,83$; $p<0,001$), de nuevo hay que indicar la necesidad de considerar la significación estadística con prudencia, sin olvidar el efecto que el elevado tamaño de la muestra tiene sobre la probabilidad de detectar diferencias estadísticamente significativas, a pesar que dichas diferencias sean muy pequeñas. Las comparaciones múltiples a posteriori realizadas con la prueba de Games-Howell, informan que las diferencias entre las velocidades medias observadas entre todos los momentos temporales son estadísticamente

significativas ($p < 0,01$), salvo para la diferencia entre la velocidad media antes y a los tres meses de la intervención. La velocidad inmediatamente después de la intervención es 2,54 km/h menor que antes de la misma, y 1,82 km/h menor a los seis meses.

Hay que subrayar que al analizar las diferencias en la velocidad únicamente durante las horas de día, se observan disminuciones a los tres meses tras la incorporación de las marcas viales en la carretera, esta diferencia observada no aparecía al analizar las velocidades sin considerar este factor.

En fin de semana de día, las velocidades que se observan son algo menores en todos los momentos temporales tras la intervención. Los porcentajes de reducción de las velocidades observadas son un poco mayores que los obtenidos sin diferenciar día y noche:

- inmediatamente después de la intervención la V50 se reduce un 4,94%, la V85 un 3,19%, la velocidad máxima un 7,84% y la variabilidad un 9,20%,
- a los tres meses de la intervención la V50 disminuye un 2,47%, la V85 un 3,19%, la velocidad máxima un 17,60% y la variabilidad un 14,11% y,
- a los seis meses de la intervención la V50 se reduce un 7,41%, la V85 un 8,51%, la velocidad máxima un 15,87% y la variabilidad un 11,66%. Las mayores reducciones observadas en fin de semana de día en la V50 y en la V85 se obtienen a los seis meses.

Las diferencias entre las medias de las velocidades de día entre semana-fin de semana x momento temporal, son estadísticamente significativas (Brown-Forsythe, $F_{(7/56|190,182)} = 185,133$; $p < 0,001$), la lectura de estas conclusiones debe

hacerse sin olvidar la influencia que el elevado tamaño de la muestra tiene sobre la significación estadística. Las comparaciones múltiples a posteriori realizadas con la prueba de Games-Howell, indica la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las velocidades medias de los cuatro momentos temporales de día en fin de semana ($p < 0,01$).

Tras la intervención, de día en fin de semana, las diferencias entre la velocidad media en todos los momentos temporales en comparación con la velocidad media registrada antes de incluir las marcas en la carretera es estadísticamente significativas:

- inmediatamente después la velocidad media observada se reduce algo (28,76 km/h),
- a los tres meses la velocidad media observada se reduce muy poco (1,25 km/h) y,
- a los seis meses la velocidad media observada se reduce ligeramente (6,10 km/h).

A los seis meses de la intervención se reduce la velocidad media 3,34 km/h en comparación a la observada inmediatamente después y, 4,85 km/h frente a la velocidad media a los tres meses.

Al analizar las velocidades sin considerar la diferencia entre día-noche ni entre semana-fin de semana, no se observaron disminuciones de velocidad a los tres meses de la intervención. Al incluir estos factores, se observan ligeras disminuciones de la velocidad a los tres meses:

- el porcentaje de reducción de la V85 a los tres meses es el mismo que inmediatamente después de la intervención y,

- el porcentaje de reducción de la velocidad máxima es algo mayor a los tres meses que inmediatamente después y que a los seis meses de la intervención.

Entre semana de día, no se observan reducciones en la V50 ni en la V85 a los tres meses, pero si en la velocidad máxima y la variabilidad:

- inmediatamente después de la intervención en la V50 se observa una ligera disminución (3,90%), similar a la de la V85 (3,33%) y a la de la variabilidad (3,87%), la velocidad máxima parece que se reduce más (23,93%),
- a los tres meses de la intervención se observa una ligera disminución de la variabilidad (5,16%) y algo mayor en la velocidad máxima (23,40%),
- a los seis meses de la intervención se observan pequeñas reducciones en la V50 (1,30%) y en la V85 (2,22%), un poco mayores en la variabilidad (10,32%) y en la velocidad máxima (31,07%),
- Las diferencias entre la velocidad media antes de la intervención y a los tres ($p=0,94$) y seis meses ($p=0,23$) no son estadísticamente significativas.

La imposibilidad de realizar un análisis de accidentalidad del tramo debido a que el período de análisis es insuficiente para realizarlo, nos ha llevado a realizar una estimación de la misma. El posible efecto que la reducción observada en la velocidad pueda tener sobre la accidentalidad se ha estimado aplicando las ecuaciones del modelo potencial de Nilsson (2004, p. 556) a las velocidades medias registradas de día entre semana y en fin de semana.

De día entre semana, de lunes a viernes, según el modelo potencial, se estima que la disminución de las velocidades tras

la intervención (tabla 27), podrían llegar a reducir el número de accidentes con heridos entre un 0,08% y un 6,73% y el número de accidentes mortales entre un 0,16% y un 13%.

De día en fin de semana las marcas viales introducidas en la carretera parecen más eficaces, las estimaciones de las reducciones del número de accidentes con heridos y del número de accidentes con víctimas mortales sugieren que las marcas viales podrían reducir entre un 3,12% y un 14,64% el número de accidentes con heridos y, entre un 6,14% y un 27,13% el número de accidentes mortales.

En entorno real, los estudios que han aplicado las marcas viales transversales en aproximación a intersección de carretera convencional (Arnold & Lantz, 2007; Jarvis, 1989; Jarvis & Jordan, 1990; Macaulay et al., 2004; Martindale & Ulrich, 2010; Ray et al., 2008) han logrado reducciones de la velocidad media entre 2,7 km/h y 12,2 km/h y reducciones entre un 5,5% y un 16,8% a medio (tres meses) y largo plazo (seis y doce meses). Reducciones entre un 15% y un 60% de los accidentes y, entre 9 km/h y 11 km/h en la velocidad del percentil 85.

Son pocos los estudios que han incluido las marcas viales transversales tipo chevron en entorno real (Drakopoulos & Vergou, 2003; Hunter et al., 2010; Voigt & Kuchangi, 2008), y ninguno en aproximación a intersección de carretera convencional. Independientemente de ello, los resultados obtenidos en esta investigación parecen estar en la misma línea de estudios anteriores en los que se incluyeron chevrons en entorno real.

Se han observado reducciones en la velocidad media entre 1,66 y 1,24 km/h y en la V85 entre 2 y 3 km/h, resultados acordes con las reducciones obtenidas en los estudios de de

Hunter et al., (2010) y de Voigt & Kuchangi (2008). No así con los resultados obtenidos por Drakopoulos & Vergou (2003), que informan de mayores reducciones a los cuatro meses.

Las marcas viales transversales tipo chevron parecen tener más efecto de día que de noche, al igual que otro tipo de marcas viales transversales (Agent, 1980; Helliard-Symons, 1981),

El mayor efecto observado durante el día puede deberse a la poca iluminación del tramo de intervención durante la noche, lo que impide que las marcas viales sean visibles para el conductor antes de entrar en el tramo y que no vea el patrón completo de chevrons, de manera que se pierda el efecto de percepción de aumento de velocidad conforme se circula por el tramo.

En estudio previos, se ha detectado un efecto positivo a largo plazo (Charlton, 2003; Voigt & Kuchangi, 2008; Hunter et al., 2010), reduciéndose a los seis meses la velocidad media 1,24 km/h y la V85 3 km/h. Voigt & Kuchangi (2008) registran una disminución a largo plazo de la velocidad media de 0,72 km/h y Hunter et al. (2010) de entre 0,8 km/h y 3,22 km/h. En la investigación realizada durante el día a largo plazo se ha observado una ligera disminución en la velocidad media de 1,82 km/h a los seis meses, y de día en fin de semana la reducción de la velocidad media a los seis meses ha sido de 6,10 km/h.

Los resultados apuntan la posibilidad de que haya influido un efecto novedad (Burney, 1977; Denton, 1980; Fildes & Gates, 1994; Gates, 2007; Rutley, 1975; Katz, 2004), ya que los porcentajes de reducción de los indicadores sobre la velocidad inmediatamente después de instalar los chevrons en la carretera han sido algo más elevados que a los tres meses, tras el período de adaptación.

Sin embargo, el hecho que a los seis meses se haya observado una disminución de velocidad de los vehículos ligeros en relación con la velocidad registrada antes de la intervención sobre las velocidades más elevadas puede indicar, tal como apunta Katz (2004), que independientemente del efecto novedad, los conductores ajusten su velocidad debido a un efecto de alerta que perdura en el tiempo.

En conclusión, y considerando todas las limitaciones del estudio y las precauciones con las que se deben interpretar las conclusiones, los resultados obtenidos parecen indicar que:

- las marcas viales transversales tipo chevron añadidas en el pavimento pueden lograr reducciones en la velocidad media, la velocidad del percentil 85, la velocidad máxima y la variabilidad de las velocidades de los vehículos ligeros en aproximación a una intersección de carretera convencional de las mismas características del tramo de intervención,
- parece que el efecto de las marcas viales transversales tipo chevron pueda tener sobre la reducción de la velocidad de los vehículos ligeros en intersección de carretera convencional de las mismas características que el tramo de intervención, es mayor durante el día y cuanto menor es la intensidad de tráfico y,
- parece que el efecto que las marcas viales transversales tipo chevron pueda tener sobre la reducción de la velocidad de los vehículos ligeros en intersección de carretera convencional con características similares a las del tramo de intervención, se mantiene a los seis meses.

Los resultados anteriormente apuntados parecen estar en la misma línea que los obtenidos en estudios previos realizados en entorno real con otro tipo de marcas transversales (Arnold & Lantz, 2007; Burney, 1977; Charlton, 2003; Denton, 1980; Fildes & Gates, 1994; Gates, 2007; Jarvis, 1989; Jarvis & Jordan, 1990; Katz, 2004; Macaulay et al., 2004; Martindake & Ulrich, 2010; Ray et al., 2008; Rutley, 1975;) y en entorno real con marcas transversales tipo chevron (Charlton, 2003; Hunter et al., 2010; Voigth & Kuchangi, 2008;).

4.2 Limitaciones y propuestas de mejora para futuros estudios

Los resultados obtenidos y las conclusiones de ellos derivadas, deben tomarse con mucha cautela, sin olvidar la influencia de posibles sesgos y variables de confusión.

Los resultados obtenidos apuntan la necesidad de seguir investigando considerando los siguientes aspectos.

- Investigar la perdurabilidad del efecto de las marcas a largo plazo: sería conveniente registrar las velocidades en los dos puntos (pk 10+550 y pk10+850) transcurridos 24 y 36 meses desde la incorporación de las marcas transversales tipo chevron.
- Analizar el número de accidentes ocurridos antes de la incorporación de las marcas viales transversales tipo chevron y el número de accidentes ocurridos después durante el período temporal adecuado para este tipo de análisis en tramos de carretera.
- Estudiar la relación entre la reducción real de la accidentalidad y la estimación obtenida mediante las ecuaciones del modelo potencial de Nilsson.

- Estudiar el grado de comprensión de los conductores de las marcas transversales tipo chevron, administrando encuestas a los usuarios habituales de la vía en las que están instaladas.
- Recoger datos válidos que permitan analizar el efecto diferencial de las marcas transversales tipo chevron sobre los diferentes tipos de vehículos (motocicletas, ligeros, semipesados, pesados,...)
- Estudiar la adecuación de una distancia de cinco segundos con el vehículo precedente como valor de referencia para controlar el efecto de congestión de tráfico, en este estudio a pesar de haberlo controlado, las reducciones de velocidad observadas han sido algo mayores con intensidades menores de tráfico, lo que parece indicar que tal vez para las características del entorno y del tráfico, cinco segundos no sea el valor más óptimo para asegurar la circulación de los vehículos en flujo libre.
- Las reducciones observadas en las velocidades de los vehículos pueden estar influidas por diferentes efectos (figura 2, p. 39), en futuras investigaciones se deben diseñar estudios capaces de identificar las zonas concretas del tramo en el que el posible efecto de reducción de velocidad se deba únicamente a las marcas incorporadas en la carretera. La importancia de detectar tanto el posible efecto como el efecto predominante, es de relevancia para el objetivo último, lograr la reducción de velocidad de los vehículos, así como para la optimización del diseño geométrico de las marcas. En caso que el efecto que predomine sea el de alerta se debería actuar sobre la visibilidad de las mismas (tamaños, reflectancia, color,..) mientras

que si se comprueba que el efecto de aceleración es el que predomina se tendría que actuar sobre las características del patrón de marcas a instalar (espaciado de las marcas, número de chevrons por set, combinación con otros tipo de marcas periféricas,...).

- Realizar investigaciones para determinar el número de sets de chevrons por segundo que maximice el efecto de aceleración para diferentes tipos de desaceleración y tramos de velocidad, más allá de los utilizados en los estudios a día de hoy.
- Realizar un estudio del perfil de las velocidades de los vehículos antes del tramo de marcas viales, durante el tramo de marcas viales y después del tramo de marcas viales hasta el punto de peligro (ubicando un mayor número de aforadores), para poder discriminar los efectos que actúan en los diferentes puntos y en diferentes tipos de tramo (intersecciones, curvas, glorietas,...).
- Analizar el efecto a largo plazo de las marcas transversales tipo chevron en pavimento en función del tipo de tráfico (habitual o casual) y del tipo de vía (carretera convencional, autovía,...).

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aarts, L., & van Schagen, I. (2006). Driving speed and the risk of road crashes: A review. *Accident; Analysis and Prevention*, 38(2), 215-224. doi:10.1016/j.aap.2005.07.004
- Aberg, L., & Wallén Warner, H. (2008). Speeding-deliberate violation or involuntary mistake? *Revue Européenne De Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 58(1), 23-30.
- af Wåhlberg, A. E. (2003). Some methodological deficiencies in studies on traffic accident predictors. *Accident Analysis & Prevention*, 35(4), 473-486.
- Agent, K. (1980). Transverse pavement markings for speed control and accident reduction (abridgment). *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (773), 11-14.
- Allpress, J. A., & Leland Jr., L. S. (2010). Reducing traffic speed within roadwork sites using obtrusive perceptual

- countermeasures. *Accident Analysis & Prevention*, 42(2), 377-383.
- Armour, M. (1984). A review of the literature on police traffic law enforcement. *Australian Road Research*, 14(1), 17-25.
- Arnold, E. D., & Lantz, K. E. (2007). Evaluation of Best Practices in Traffic Operations and Safety: Phase I: Flashing LED Stop Sign and Optical Speed Bars. (Report No.: FHWA/VTRC 07-R34). Charlottesville, Virginia, USA: Virginia Transportation Research Council.
- Barnes, J. (1984). *Effectiveness of radar enforcement*. Wellington, New Zealand: Road Traffic Safety Research Council.
- Bjørnskau, T., & Elvik, R. (1992). Can road traffic law enforcement permanently reduce the number of accidents? *Accident Analysis & Prevention*, 24(5), 507-520.
- Burney, G. (1977). Behaviour of drivers on yellow bar patterns: Experiment on alton by-pass, hampshire (suppl. rep. no. 263). *Crowthorne, Berkshire, UK: Transport and Road Research Laboratory*,
- Cameron, M. H., & Elvik, R. (2010). Nilsson's power model connecting speed and road trauma: Applicability by road type and alternative models for urban roads. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 1908-1915.
- Campbell, J. L., Richard, C. M., Brown, J. L., Lichty, M. G., Graham, J. L., & O'Laughlin, M. (2010). *Human factors guidelines for road systems: Collection C: Chapters 16, 17, 18, 19, 20, 22 (tutorials 4, 5, 6), 23 (updated), 24, 25, 26*

(*updated*). (NCHRP Report No. 600C). Washington, DC: Transportation Research Board.

Carlson, P. J., Rose, E. R., Chrysler, S. T., & Bischoff, A. L. (2004). *Simplifying delineator and chevron applications for horizontal curves*. (Report No. FHWA/TX-04/0-4052-1). Texas, USA: Texas Transportation Institute, The Texas A&M University System.

Carmody, J. (1997). *Design to issues road related tunnels*. (Report No.: CTS97-05). Minneapolis: Minnesota, USA: Minnesota Building Research Center.

Charlton, S. G. (2003). *Development of a road safety engineering modelling tool* (Technical Report). Auckland, New Zealand: Transport Engineering Research NZ Ltd.

Charlton, S. G. (2004). Perceptual and attentional effects on drivers' speed selection at curves. *Accident analysis & prevention*, 36(5), 877-884.

Charlton, S. G. (2007). The role of attention in horizontal curves: A comparison of advance warning, delineation, and road marking treatments. *Accident Analysis & Prevention*, 39(5), 873-885.

Charlton, S. G., & Baas, P. (2006). *Speed change management for new zealand roads*. (Research report No. 300). Wellington: New Zealand: Land Transport New Zealand.

Charlton, S. G., & de Pont, J. J. (2007). *Curve speed management*. (Research report No. 323). Wellington: New Zealand: Land Transport New Zealand.

- Carlson, P. J., Park, E. S., & Andersen, C. K. (2009). Benefits of pavement markings: A renewed perspective based on recent and ongoing research. *Transportation Research Record*, (2107) pp. 59-69.
- Comte, S. (1998). *Simulator study on the effects of ATT and non-ATT systems and treatments on driver speed behaviour*. (MASTER Project. VTT No.: Working Paper R 3.1.2). Espoo, Finland: VTT Communities & Infrastructure.
- Comte, S., Várhelyi, A., & Santos, J. (1997). *The effects of ATT and non-ATT systems and treatments on driver speed behaviour*. (MASTER Project VTT No.: Working Paper R 3.1.1). Espoo, Finland: VTT Communities & Infrastructure.
- Cottrell, Jr B. H. (1986). The effects of wide edge lines on lateral placement and speed on two-lane rural roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1069), 1-6.
- Cottrell, Jr B. H. (1988). Evaluation of wide edgelines on two-lane rural roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1160), 35-44.
- Daniels, S., Vanrie, J., Dreesen, A., & Brijs, T. (2010). Additional road markings as an indication of speed limits: Results of a field experiment and a driving simulator study. *Accident Analysis and Prevention*, 42(3), 953-960.
- Davies, C. H. (1988). *Speed measurements in urban safety project areas*. (TRL Working paper No. WP/RS/66). Crowthorne, UK: Transport Research Laboratory.
- DeLuca, F. J. (1986). Effects of lane width reduction on safety and flow. *Transportation Research Board*, 218-230.

Denton, G. G. (1966). A subjective scale of speed when driving a motor vehicle. *Ergonomics*, 9(3), 203-210.

Denton, G. G. (1971). *The influence of visual pattern on perceived speed*. (Report No.: LR 409). Crowthorne, UK: Transport Research Laboratory.

Denton, G. G. (1973). *The influence of visual pattern on perceived speed at newbridge M8 midlothian*. (Report No.: LR 531). Crowthorne, UK: Transport Research Laboratory.

Denton, G. G. (1976). The influence of adaptation on subjective velocity for an observer in simulated rectilinear motion. *Ergonomics*, 19(4), 409-430.

Denton, G. G. (1980). The influence of visual pattern on perceived speed. *Perception*, 9(4), 393-402.

Department for Transport. (1976). *Transverse yellow bar markings at roundabouts*. (Departmental standards No. TD 6/79). London: Department of Transport.

Dirección General de Tráfico. Observatorio Nacional de Seguridad Vial (2011a). Estado actual de conocimientos sobre la relación entre velocidad y seguridad vial. Evolución de velocidades de circulación en España. *En profundidad desde el Observatorio*, (26). Recuperado de: http://www.dgt.es/was6/portal/contenidos/documentos/publicaciones/boletines/profundidad_observatorio/boletines043.pdf

Dirección General de Tráfico. Observatorio Nacional de Seguridad Vial (2011b). *Las principales cifras de la Siniestralidad Vial. España 2010*. Recuperado de http://dgt.es/was6/portal/contenidos/es/seguridad_vial/esta

distica/publicaciones/princip_cifras_siniestral/cifras_siniestralidadl011.pdf

- Drakopoulos, A., & Vergou, G. (2003). *Evaluation of the converging chevron pavement marking pattern at one wisconsin location*. Washington, DC: AAA Foundation for Traffic Safety.
- Elvik, R. (2010). Why some road safety problems are more difficult to solve than others. *Accident Analysis & Prevention*, 42(4), 1089-1096.
- Elvik, R., Christensen, P., & Amundsen, A. (2004). *Speed and road accidents: An evaluation of the power model*. (TØI report No. 740/2004). Oslo: Institute of Transport Economics (TOI).
- Elvik, R., Høye, A., Vaa, T., & Sørensen, M. (2009). *The handbook of road safety measures* (2nd ed.). Wagon Lane, Bingley, UK: Emerald Group Publishing Limited.
- Elvik, R., & Vaa, T. (2004). *The handbook of road safety measures*. London: Elsevier.
- Engel, U., & Thomsen, L. K. (1992). Safety effects of speed reducing measures in danish residential areas. *Accident Analysis & Prevention*, 24(1), 17-28.
- Evans, A.W. (2003). Estimating transport fatality risk from past accident data. *Accident Analysis & Prevention*, 35(4), 459–472.
- Fambro, D., Koppa, R., Picha, D., & Fitzpatrick, K. (1998). Driver perception-brake response in stopping sight distance

situations. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1628), 1-7.

Fildes, B., Godley, S., Triggs, T., & Jarvis, J. (1997). *Perceptual countermeasures: Simulator validation study*. (Report No. CR 169). Canberra; Haymarket, N.S.W.: Dept. of Transport and Regional Development, Office of Road Safety; Roads and Traffic Authority of New South Wales.

Fildes, B., Fletcher, M., & Corrigan, J. (1987). *Speed perception 1: Drivers' judgements of safety and speed on urban and rural straight roads*. (Report No.: CR 54). Canberra, Australia: Federal Office of Road Safety, Department of Transport & Communication.

Fildes, B., Fletcher, M., & Corrigan, J. (1989). *Speed perception 2: Drivers' judgements of safety and speed on rural straight and curved roads and for different following distances*. (Report No.: CR 60). Canberra, Australia: Federal Office of Road Safety, Department of Transport & Communication.

Fildes, B., & Jarvis, J. (1994). *Perceptual countermeasures: Literature review*. (Report No.: CR 4/94). Roseberry, Australia: RTA and Federal Office of Road Safety.

Fildes, B., & Lee, S. (1993). *The speed review: Road environment, behaviour, speed limits, enforcement and crashes*. (Report No.: CR 127). Canberra, Australia: Federal Office of Road Safety, Department of Transport & Communication.

Fildes, B., & Lee, S. (1994). *The speed review: Road environment, behaviour, speed limits, enforcement and crashes*. (Report No.: CR 4/94). Roseberry, Australia: RTA and Federal Office of Road Safety.

- Finch, D., Kompfner, P., Lockwood, C., & Maycock, G. (1994). *Speed, speed limits and accidents*. (Report No. PR 58). Crowthorne, UK: Transport Research Laboratory.
- Fitzpatrick, K., Lienau, T., & Fambro, D. B. (1998). Driver eye and vehicle heights for use in geometric design. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1612, 1-9.
- Galizio, M., Jackson, L. A., & Steele, F. O. (1979). Enforcement symbols and driving speed: The overreaction effect. *Journal of Applied Psychology*, 64(3), 311-315.
- Gates, T.J., Qin, X., & Noyce, D.A. (2008). Evaluation of an experimental transverse-bar pavement marking treatment on freeway curves. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2056), pp. 95-103. doi: 10.3141/2056-12.
- Generalitat Valenciana. Conselleria d'Infraestructures i Transport (2006). *Programa de Seguridat Vial 2005-2006*. Anexo VII. Recuperado de: <http://www.cit.gva.es/fileadmin/conselleria/images/Documentos/carreteras/seguridatVial/AnejoSeguridatVial.pdf>.
- Gibson, J. J. (1950). *The perception of the visual world*. Oxford, England: Houghton Mifflin.
- Godley, S. T., Fildes, B. N., & Triggs, T. J. (1997). Perceptual countermeasures to speed related accidents. In *Engineering psychology and cognitive ergonomics. volume one, transportation systems* (pp. 387-394). London: Ashgate.

- Godley, S., Fildes, B., Triggs, T., & Brown, L. (1999). *Perceptual countermeasures: Experimental research*. (No. CR 182). Canberra, Australia: Australian Transport Safety Bureau (ATSB).
- Godley, S. T., Triggs, T. J., & Fildes, B. N. (2000). Speed reduction mechanisms of transverse lines. *Transportation Human Factors*, 2(4), 297-312.
- Godley, S. T., Triggs, T. J., & Fildes, B. N. (2004). Perceptual lane width, wide perceptual road centre markings and driving speeds. *Ergonomics*, 47(3), 237-256.
- Greibe, P. (Junio, 2010). *Chevron markings on freeways: effect on speed, gap and safety*. Trabajo presentado en el 4th International Symposium on Highway Geometric Design. Valencia, Spain.
- Griffin, L. I., & Reinhardt, R. N. (1996). *A review of two innovative pavement patterns that have been developed to reduce traffic speeds and crashes*. Washington, DC: AAA Foundation for Traffic Safety.
- Haddon Jr, W. M. D. (1972). A logical framework for categorizing highway safety phenomena and activity. *The Journal of Trauma* 12(3), 193-207.
- Haddon Jr, W. M. D. (1980). Advances in the epidemiology of injuries as a basis for public policy. *Public Health Reports*, 95(5), 411-421.
- Hakkert, A.S, Gitelman, V. and Vis, M.A. (Eds.) (2007) Road Safety Performance Indicators: Theory. Deliverable D3.6 of the EU FP6 project SafetyNet.

- Hall, J. W. (1987). Evaluation of wide edgelines (discussion and closure). *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1114), 21-30.
- Hamilton, K., & Kennedy, J. (2005). Rural Road Safety: A Literature Review. Edinburgh, Scotland: Scottish Executive Social Research.
- Hauer, E., Ahlin, F., & Bowser, J. (1982). Speed enforcement and speed choice. *Accident Analysis & Prevention*, 14(4), 267-278.
- Haynes, J. G., Copley, G., Farmer, S., & Helliar-Symons, R. D. (1993). *Yellow bar markings on motorway slip roads*. (TRL Project Report No. PR 49). Crowthorne, UK: Transport Research Laboratory.
- Helliar-Symons, R. D. (1981). *Yellow bar experimental carriageway markings: Accident study*. (Report No. LR 1010). Crowthorne, Berkshire, UK: Transport and Road Research Laboratory.
- Helliar-Symons, R. D., Webster, P., & Skinner, A. (1995). The M1 chevron trial. *Traffic Engineering and Control*, 36(10), 563-567.
- Herrstedt, L. (1992). Traffic calming design-a speed management method: Danish experiences on environmentally adapted through roads. *Accident Analysis & Prevention*, 24(1), 3-16.
- Herrstedt, L., & Greibe, P. (2001). Safer signing and marking of horizontal curves on rural roads. *Traffic Engineering Control*, 42(3), 82-87.

- Horberry, T., Anderson, J., & Regan, M. A. (2006). The possible safety benefits of enhanced road markings: A driving simulator evaluation. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 9(1), 77-87.
- Hungerford, J. C., & Rockwell, T. H. (1980). Modification of driver behavior by use of novel roadway delineation systems. *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings*, 24(2) 147-151.
- Hunter, M., Boonsiripant, S., Guin, A., Rodgers, M. O., & Jared, D. (2010). Evaluation of effectiveness of converging chevron pavement markings in reducing speed on freeway ramps. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2149), 50-58.
- Ito, H. (1995). Design of arrow markings to decelerate vehicle speeds. *Traffic Engineering*, 30(2), 13-20.
- Jamson, S., Lai, F., & Jamson, H. (2010). Driving simulators for robust comparisons: A case study evaluating road safety engineering treatments. *Accident Analysis & Prevention*, 42(3), 961-971.
- Jarvis, J. (1989). *The effect of yellow bar markings on driver braking behaviour*. (Research Report ARR No. N173). Vermont, Australia: Australian Road Research Board.
- Jarvis, J. R., & Jordan, P. (1990). Yellow bar markings: Their design and effect on driver behavior. *15th Australian Road Research Board Conference*, Darwin, Australia. , 15(7) 1-22.

- Katz, B. J. (2004). *Pavement markings for speed reduction*. (Report No. TPF-5-065). Traffic Control Devices Pooled Fund Study.
- Katz, B. J. (2007). *Peripheral transverse pavement markings for speed control*. Virginia Polytechnic Institute and State University).
- Khan, S. A. (2010). *Work zone safety intervention: Perceptual countermeasure to speeding using synchronized warning lights*. (Tesis de Master. University of Iowa). Recuperada de <http://ir.uiowa.edu/etd/689>.
- Kloeden, C. N., McLean, A., Moore, V., & Ponte, G. (1997). *Travelling speed and the risk of crash involvement*. (Reports No.: CR 172). Canberra, Australia: Federal Office of Road Safety.
- Kohn, L., Corrigan, J., & Donaldson, M. (2000). *To err is human: Building a safer health system*. Washington, DC: Institute of Medicine, National Academy of Sciences.
- Krahé, B., & Fenske, I. (2002). Predicting aggressive driving behavior: The role of macho personality, age, and power of car. *Aggressive Behavior*, 28(1), 21-29.
- Krammes, R. A., Fitzpatrick, K., Blaschke, J., & Fambro, D. (1996). *Speed: Understanding design, operating, and posted speed*. (Report No. 1465-1). College Station, Texas: Texas Transportation Institute.
- Laberge-Nadeau, C., Maag, U., & Bourbeau, R. (1992). The effects of age and experience on accidents with injuries: Should the licensing age be raised? *Accident Analysis & Prevention*, 24(2), 107-116.

- Liebel, D., & Bowron, D. (1984). Use of "optical speed bars" to reduce accidents-the Calgary experience. *Proceedings of the International Transport Congress*, Montreal, Canada, 3 A27-A38.
- Lillo Jover, J. (1995). Flujo óptico y conducción: Características generales y velocidad percibida. *Anuario De Psicología*, (65), 101-114.
- Lillo Jover, J. (1996). Flujo óptico y conducción: Tiempo de contacto y agudeza dinámica. *Anuario De Psicología*, (68), 39-46.
- Liu, B., Zhu, S., Wang, H., & Xia, J. (2008). Literature review and prospect on the study of perceptual speed reduction. *Service Operations and Logistics, and Informatics, 2008. IEEE/SOLI 2008. IEEE International Conference on*, , 1 342-346.
- Lum, H. (1984). Use of road markings to narrow lanes for controlling speed in residential areas. *ITE Journal*, 54(6), 50-53.
- Lynam, D. A. (1987). *Use and effectiveness of speed reducing measures in urban areas*. (TRL Working paper No.: WP/RS/54). Crowthorne, Berkshire, UK: Transport Research Laboratory.
- Macaulay, J., Gunatillake, T., Tziotis, M., Fildes, B., Corben, B., & Newstead, S. (2004). *On-road evaluation of perceptual countermeasures*. (No. CR 219). Clayton, Australia: Monash University.

- Malaterre, G. (1977). *Régulation de vitesse a l'approche de points singuliers dangereux* Rapport de l'Organisme national de sécurité routière (ONSER).
- Manser, M., & Hancock, P. (1996). Influence of approach angle on estimates of time-to-contact. *Ecological Psychology*, 8(1), 71-99.
- Manser, M., Hancock, P., Kinney, C., & Diaz, J. (1997). Understanding driver behavior through application of advanced technological systems. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1573), 57-62.
- Maroney, S., & Dewar, R. (1987). Alternatives to enforcement in modifying the speeding behavior of drivers. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1111), 121-126.
- Martens, M. H., Comte, S., & Kaptein, N. A. (1997). *The effects of road design on speed behaviour: A literature review*. (Report No. 2.3.1). Soesterberg, Netherlands: TNO Human Factors Research Institute.
- Martindale, A., & Ulrich, C. (2010). *Effectiveness of transverse road markings on reducing vehicle speeds october 2010*. (New Zealand Transport Agency research report No. 423). Wellington, New Zealand: NZ Transport Agency. Recuperado de: <http://www.nzta.govt.nz/resources/research/reports/423/docs/423.pdf>
- McKnight, A. J., & McKnight, A. S. (2003). Young novice drivers: Careless or clueless? *Accident Analysis & Prevention*, 35(6), 921-925.

- Meyer, E. (2000). *A comprehensive literature review of perceptual countermeasures to speeding*. University of Kansas Department of Transportation. Lawrence, Kansas.
- Meyer, E. (2001). A new look at optical speed bars. *ITE Journal*, 71(11), 44-48.
- Molin, E. J. E., & Brookhuis, K. A. (2007). Modelling acceptability of the intelligent speed adapter. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 10(2), 99-108.
- Newstead, S., & Mullan, N. (1996). *Evaluation of the crash effects of the changes in speed zones in Victoria during 1993-1994 (excluding 100 to 110 km/h)*. (Report No.: 98). Clayton, Australia: Monash University. Accident Research Centre.
- Nilsson, G. (1990). *Reduction in the speed limit from 110 km/h to 90 km/h during summer 1989. Effects on personal injury accidents, injuries and speeds*. (VTI Rapport No.: 358A). Stockholm, Sweden: Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI).
- Nilsson, G. (2004). *Traffic safety dimensions and the power model to describe the effect of speed on safety* (Tesis doctoral, Sweden, Lund Institute of Technology. Department of Technology and Society. Traffic Engineering). Recuperada de:
<http://www.velocidade.pt/Sites/velocidade/CentroDocumentacao/InvestigacaoEstudos/74%20-%20G%C3%B6ran%20Nilsson,%202004,%20Traffic%20Speed%20Dimensions,%20Effect%20of%20Speed%20on%20Safety.pdf>

- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2009). *Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial: Es hora de pasar a la acción*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Organización Panamericana de la Salud (2004). *Informe mundial sobre prevención de los traumatismos causados por el tránsito*. Washington, DC: OPS.
- Parker, M. R. (1997). *Effects of raising and lowering speed limits on selected roadway sections*. (Report No.: FHWA-RD-92-084). Washington, DC: USA Department of Transportation. Federal Highway Administration.
- Parker, M. R., & Tsuchiyama, K. H. (1985). *Methods for reducing large speed differences in traffic streams, volume 1 – inventory of methods*. (Report No.: FHWA/RD-85/103). Washington, DC: USA Department of Transportation. Federal Highway Administration.
- Pau, M., & Angius, S. (2001). Do speed bumps really decrease traffic speed? an italian experience. *Accident Analysis & Prevention*, 33(5), 585-597.
- Pyne, H. C., Hodgson, F., Carsten, O. M. J., & Tight, M. R. (1995). Speed on rural arterial roads. *Road Safety in Europe and Strategic Highway Research Program*, Lille, France. (2A:2) 5-22. Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI).
- Pyne, H. C., Dougherty, M. S, Carsten, O. M. J., & Tight, M. R. (1995). *A simulator based evaluation of speed reduction measures for rural arterial roads*. (Working Paper No. 434). Leeds, UK: Institute of Transport Studies, University of Leeds.

- Reason, J. (1990). *Human error*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Reason, J. (2000). Human error: Models and management. *British Medical Journal*, 320(7237), 768-770.
- Ray, B., Kittelson, W., Knudsen, J., Nevers, B., Ryus, P., Sylvester, K., Potts, I., Harwood, D., Gilmore, D., Torbic, D., Hanscom, F., McGill, J. & Stewart, D. (2008). Guidelines for Selection of Speed Reduction Treatments at High-Speed Intersections. (Report No.: 613), Washington DC: USA, Transportation Research Board.
- Retting, R. A., & Farmer, C. M. (1998). Use of pavement markings to reduce excessive traffic speeds on hazardous curves. *ITE Journal*, 68(9), 30-36.
- Retting, R. A., McGee, H. W., & Farmer, C. M. (2000). Influence of experimental pavement markings on urban freeway exit-ramp traffic speeds. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1705), 116-121.
- Richards, S. H., & Dudek, C. L. (1986). Implementation of work-zone speed control measures. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1086), 36-42.
- Rockwell, T., Malecki, J., & Shinar, D. (1975). *Improving driver performance on rural curves through perceptual changes--phase III*. (Report No.: Ohio-DOT-08-75). Columbus, Ohio: Ohio Department of Transportation.
- Rosey, F., Auberlet, J., Bertrand, J., & Plainchault, P. (2008). Impact of perceptual treatments on lateral control during

- driving on crest vertical curves: A driving simulator study. *Accident Analysis and Prevention*, 40(4), 1513-1523.
- Rothenberg, H., Benavente, M., & Swift, J. (2004). *Report on passive speed control devices*. (Report No.: 04-G020-001). Massachusetts Traffic Safety Research Program, MassSAFE.
- Russam, K. (1979). Improving road user behavior by changing the road environment. *Highway Engineer*, 26(8/9), 18-24.
- Rutley, K. (1975). Control of drivers' speed by means other than enforcement. *Ergonomics*, 18(1), 89-100.
- Sabey, B. (1983). *Road safety in the 80's*. Symposium on the Recent Developments and Research in Road Safety Remedial Measures, University of Salford, Salford, Manchester, England. 1-18.
- Sabey, B. E., & Taylor, H. (1980). *The known risks we run: The highway*. (Report No.: SR567). Crowthorne, Berkshire, UK: Transport and Road Research Laboratory.
- Schiff, W., & Arnone, W. (1995). Perceiving and driving: Where parallel roads meet. In P. A. Hancock, J. Flach, J. Caird & K. Vicente (Eds.), *Local applications of the ecological approach to Human-Machine systems. vol. 2. Resources for ecological psychology*. (pp. 1-35). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Schnüll, R., & Lange, J. (1992). Speed reduction on through roads in Nordrhein-Westfalen. *Accident Analysis & Prevention*, 24(1), 67-74.

- Shinar, D., Rockwell, T. H., & Malecki, J. A. (1980). The effects of changes in driver perception on rural curve negotiation. *Ergonomics*, 23(3), 263-275.
- Silcock, D., & Walker, R. (1982). *Evaluation of accident counter-measures for application in residential areas*. (Report No.: NTU-TORG-RR44). Newcastle, UK: Newcastle upon Tyne University. Transport Operations Research Group.
- Sivak, M. (1996). The information that drivers use: Is it indeed 90% visual? *Perception*, 25(9), 1081-1089.
- Stamatiadis, N., Bailey, K., Grossardt, T., Ripy, J., and Strombotne, A. (2006). Context Sensitive Methods to Influence Operating Speeds: Case Study of Rural Highway Using Case-wise Visual Evaluation. *Journal of the Transportation Research Board, Record* (2025), pp. 90-97.
- Stokes, R. W., Rys, M. J., Russell, E. R., Robinson, R. K., & Budke, B. (2000). Analysis of rural intersection accidents caused by stop sign violation and failure to yield the right-of-way. (Report No.: K-TRAN: KSU-98-6). Manhattan, Kansas: Kansas State University.
- Taylor, M.C., Lynam, D.A., Baruya, A., 2000. The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents. (Report, No.: 421). Crowthorne, UK: Transport Research Laboratory.
- Toledo-Castillo, F., Sospedra-Baeza, M. J., Figueres-Esteban, M., & Lloret-Catalá, M. C. (2011). Control pasivo de velocidad: Intervención en tramos de acceso a entornos urbanos. *Cuaderno Tecnológico de la Plataforma* (8). Madrid: Plataforma Tecnológica Española de la Carretera.

- Turner, B. (2009). Engineering based approaches to reducing rural speed. *2009 Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference*. Sidney.
- Vaa, T. (1997). Increased police enforcement: Effects on speed. *Accident Analysis & Prevention*, 29(3), 373-385.
- Van Driel, C. J. G., Davidse, R. J., & Van Maarseveen, M. F. A. M. (2004). The effects of an edgeline on speed lateral position: a meta-analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 35(4), 671-682.
- Vassallo, S., Smart, D., Sanson, A., Harrison, W., Harris, A., Cockfield, S., & McIntyre, A. (2007). Risky driving among young Australian drivers: Trends, precursors and correlates. *Accident Analysis & Prevention*, 39(3), 444-458.
- Vest, A., & Stamatiadis, N. (2005). Use of warning signs and markings to reduce speeds on curves. *3rd International Symposium on Highway Geometric Design*, Chicago, Illinois.
- Vey, A. H., & Ferreri, M. (1968). Effect of lane width on traffic operation. *Traffic Engineering*, 38(11), 22-27.
- Voigt, P. E. A. P., & Kuchangi, S. P. (2010). *Evaluation of chevron marking on freeway-to-freeway connector ramps in Texas*. Texas: Texas transportation Institute. The Texas A & M University System.
- Webster, D. C., & Layfiel, R. B. (1993). *An assessment of rumble strips and rumble areas*. (Report No.: TRL 186). Crowthorne, UK: Transport Research Laboratory.

- Webster, P.B., Skinner, A.J. & Helliard-Symons, R.D. (1992). *Installation and evaluation of chevron markings on motorways*. (Report No.: TRL-CR-304). Crowthorne, UK: Transport Research Laboratory.
- Westerman, S. J., & Haigney, D. (2000). Individual differences in driver stress, error and violation. *Personality and Individual Differences*, 29(5), 981-998.
- Woolley, J. (2005). Recent advantages of lower speed limits in Australia. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 3562-3573.
- Wright, C. C., & Boyle, A. J. (1987). Road accident causation and engineering treatment: A review of some current issues. *Traffic Engineering and Control*, 28, 475-479.
- Yagar, S., & Van Aerde, M. (1983). Geometric and environmental effects on speeds of 2-lane highways. *Transportation Research Part A: General*, 17(4), 315-325.
- Zaidel, D., Hakkert, A. S., & Barkan, R. (1986). Rumble strips and paint stripes at a rural intersection. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1069), 7-13.