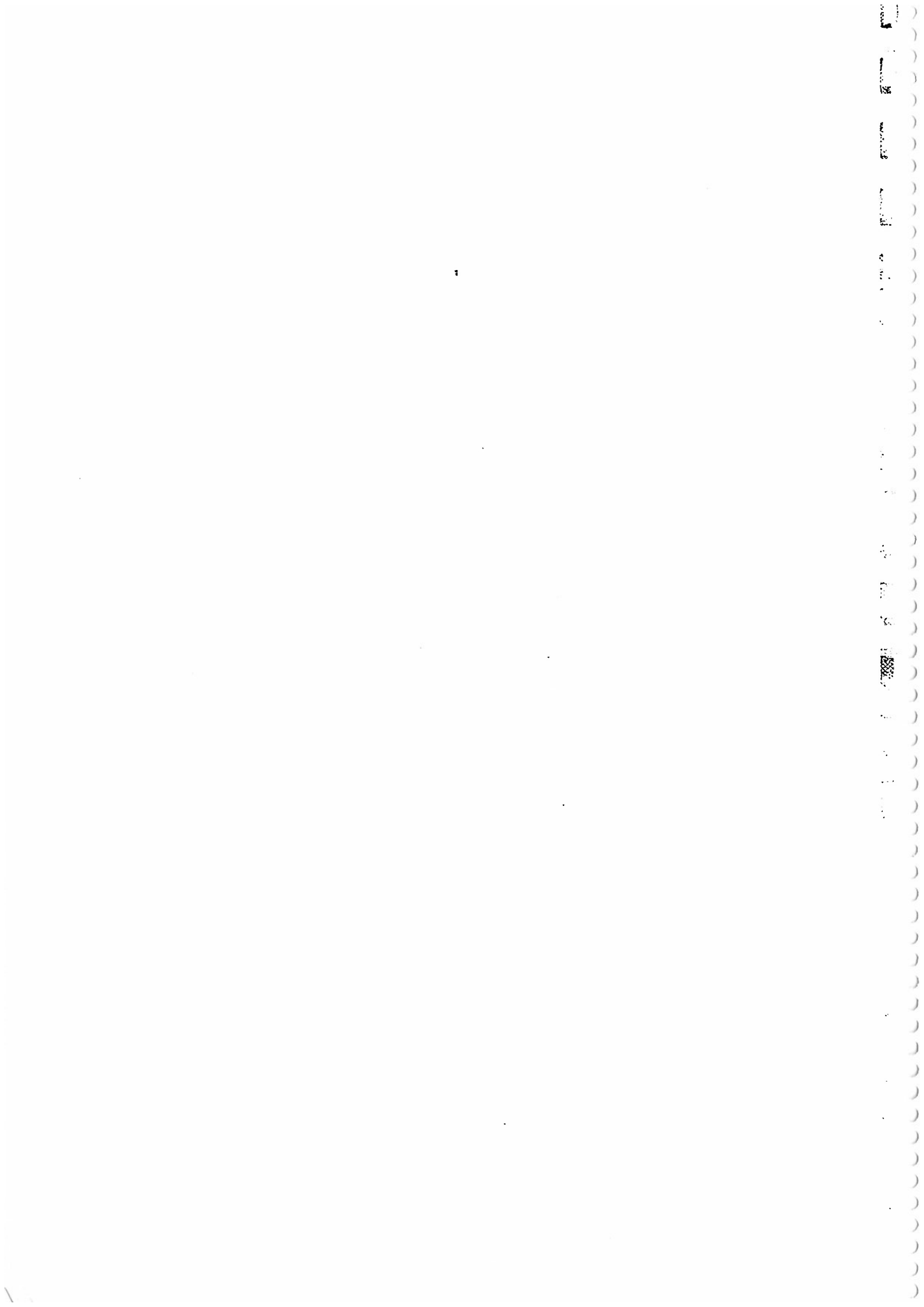


VIGICONULT, S.A.

- 0 -

**VELOCIDAD Y VISIBILIDAD
EN LAS CARRETERAS
ESPAÑOLAS, Y SEÑALIZACIÓN
DE SUS LIMITACIONES**

Madrid, 19 de abril de 1995



INDICE

| | | |
|---------|--|----|
| 1 | <u>INTRODUCCIÓN</u> | 1 |
| 1.1 | LA CARRETERA, SEDE DE TRÁFICOS VARIADOS | 1 |
| 1.2 | COMPORTAMIENTO DE LOS CONDUCTORES | 1 |
| 1.3 | OBJETIVOS FUNCIONALES DEL DISEÑO DE CARRETERAS | 4 |
| 1.4 | PAPEL DE LAS REGLAMENTACIONES TÉCNICAS | 5 |
| 2 | <u>EL CASO DE LA VELOCIDAD</u> | 6 |
| 2.1 | MARCO LEGAL | 6 |
| 2.2 | VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD | 6 |
| 2.2.1 | <u>Distribución temporal.</u> | 6 |
| 2.2.2 | <u>Distribución espacial.</u> | 8 |
| 2.2.2.1 | Concepto. | 8 |
| 2.2.2.2 | Aceleraciones y deceleraciones. | 9 |
| 2.3 | VELOCIDAD DE REFERENCIA | 10 |
| 2.3.1 | <u>Concepto.</u> | 10 |
| 2.3.2 | <u>Traducción a la reglamentación técnica.</u> | 10 |
| 2.3.2.1 | Distribución temporal. | 11 |
| 2.3.2.2 | Distribución espacial. | 11 |
| 2.4 | VELOCIDAD DE PROYECTO | 12 |
| 2.4.1 | <u>Generalidades.</u> | 12 |
| 2.4.2 | <u>Mínima velocidad de proyecto.</u> | 13 |
| 2.4.2.1 | Generalidades. | 13 |
| 2.4.2.2 | Fuera de poblado. | 13 |
| 2.4.2.3 | En zona urbana. | 14 |
| 2.4.2.4 | En nudos. | 14 |
| 2.4.3 | <u>Homogeneidad de la velocidad.</u> | 15 |
| 2.4.4 | <u>Escalonamiento de la velocidad de proyecto.</u> | 15 |
| 2.5 | VELOCIDAD EN CURVAS CIRCULARES | 16 |
| 2.5.1 | <u>Rozamiento movilizado.</u> | 16 |
| 2.5.1.1 | Vuelco. | 16 |
| 2.5.1.2 | Quiebro. | 17 |
| 2.5.1.3 | Deslizamiento. | 18 |
| - | Generalidades | 18 |
| - | Tipo y estado del pavimento | 18 |
| - | Humedad del pavimento | 19 |
| - | Estado de los neumáticos | 20 |
| - | Velocidad | 20 |
| - | Conclusiones | 21 |
| 2.5.2 | <u>Rozamiento movilizado admisible.</u> | 22 |
| 2.5.2.1 | Diseño. | 22 |
| 2.5.2.2 | Señalización. | 22 |
| 2.5.2.3 | Conclusiones. | 23 |

| | |
|---|----|
| 2.5.3 <u>Influencia del peralte.</u> | 23 |
| 2.6 LIMITACIONES DE LA VELOCIDAD | 24 |
| 2.6.1 <u>De índole legal.</u> | 24 |
| 2.6.2 <u>De índole técnica.</u> | 25 |
| 2.6.2.1 Por curvatura. | 25 |
| 2.6.2.2 Por insuficiente visibilidad. | 26 |
| 3 <u>DECELERACIÓN</u> | 26 |
| 3.1 GENERALIDADES | 26 |
| 3.2 VELOCIDAD INICIAL | 27 |
| 3.3 DECELERACIÓN ADMISIBLE | 27 |
| 3.3.1 <u>Maniobras de emergencia.</u> | 27 |
| 3.3.2 <u>Maniobras deliberadas.</u> | 27 |
| 3.3.3 <u>Maniobras subconscientes.</u> | 28 |
| 3.4 CASOS PRÁCTICOS | 28 |
| 3.4.1 <u>Aproximación a curvas.</u> | 28 |
| 3.4.2 <u>Aproximación a otras zonas con restricciones en la velocidad de circulación.</u> | 29 |
| 4 <u>ACELERACIÓN</u> | 30 |
| 4.1 VELOCIDAD INICIAL | 30 |
| 4.2 ACCELERACIÓN ALCANZABLE | 31 |
| 4.2.1 <u>Máximas prestaciones.</u> | 31 |
| 4.2.2 <u>Maniobras deliberadas.</u> | 31 |
| 5 <u>VISIBILIDAD</u> | 31 |
| 5.1 VISIBILIDAD DISPONIBLE Y NECESARIA | 31 |
| 5.2 VISIBILIDAD DISPONIBLE | 33 |
| 5.2.1 <u>Definición.</u> | 33 |
| 5.2.2 <u>Determinación.</u> | 34 |
| 5.2.2.1 Generalidades. | 34 |
| 5.2.2.2 Limitaciones en planta. | 34 |
| - Elementos fijos | 35 |
| - Otros vehículos | 35 |
| 5.2.3 <u>Limitaciones en alzado.</u> | 35 |
| 5.2.3.1 Acuerdos verticales convexos. | 35 |
| 5.2.3.2 Acuerdos verticales cóncavos. | 35 |
| 5.3 VISIBILIDAD NECESARIA | 36 |
| 5.3.1 <u>Detención ante un obstáculo imprevisto.</u> | 36 |
| 5.3.2 <u>Presencia de una divergencia, o detención eventual ante una marca vial transversal en un cruce o en la entrada a una glorieta, o ante un semáforo.</u> | 36 |
| 5.3.3 <u>Evitación de una colisión con otros vehículos.</u> | 36 |
| 5.3.3.1 Cruce. | 36 |
| 5.3.3.2 Convergencia. | 37 |
| 5.3.3.3 Adelantamiento. | 37 |

| | |
|--|----|
| 6 <u>EL ADELANTAMIENTO</u> | 37 |
| 6.1 <u>INTRODUCCIÓN</u> | 37 |
| 6.1.1 <u>Factores de riesgo.</u> | 37 |
| 6.1.2 <u>Comportamiento de los conductores.</u> | 40 |
| 6.1.3 <u>Ayudas al adelantamiento.</u> | 40 |
| 6.2 <u>PROBABILIDAD DE COMPLETAR UN ADELANTAMIENTO</u> | 41 |
| 6.2.1 <u>Generalidades.</u> | 41 |
| 6.2.2 <u>Valor mínimo.</u> | 42 |
| 6.2.3 <u>Probabilidad de hueco en el tráfico contrario.</u> | 43 |
| 6.2.4 <u>Posibilidad material del adelantamiento.</u> | 43 |
| 6.3 <u>MODELIZACIÓN DEL ADELANTAMIENTO</u> | 44 |
| 6.3.1 <u>Generalidades.</u> | 44 |
| 6.3.2 <u>Casos.</u> | 44 |
| 6.3.3 <u>Elementos básicos de un modelo.</u> | 45 |
| 6.3.3.1 <u>Longitud del vehículo adelantado.</u> | 45 |
| 6.3.3.2 <u>Separación entre vehículos adelantante y adelantado.</u> | 45 |
| 6.3.3.3 <u>Período de análisis.</u> | 46 |
| 6.3.3.4 <u>Velocidad del vehículo adelantado.</u> | 46 |
| 6.3.3.5 <u>Velocidad inicial del vehículo adelantante.</u> | 47 |
| 6.3.3.6 <u>Fase inicial.</u> | 47 |
| 6.3.3.7 <u>Momento de decisión.</u> | 47 |
| 6.3.3.8 <u>Adelantamiento completado.</u> | 48 |
| 6.3.3.9 <u>Adelantamiento desistido.</u> | 49 |
| 6.3.3.10 <u>Comportamiento del vehículo contrario.</u> | 49 |
| 6.3.4 <u>Visibilidad necesaria.</u> | 50 |
| 6.4 <u>DEFINICIÓN DE ZONAS DE PREAVISO Y DE PROHIBICIÓN DEL ADELANTAMIENTO</u> | 51 |
| 6.4.1 <u>Generalidades.</u> | 51 |
| 6.4.2 <u>Zonas de preaviso.</u> | 51 |
| 6.4.3 <u>Prohibición del adelantamiento.</u> | 52 |
| 6.4.4 <u>Final de la zona de prohibición.</u> | 54 |
| 6.4.5 <u>Distancia mínima entre dos prohibiciones consecutivas.</u> | 55 |

VELOCIDAD Y VISIBILIDAD EN LAS CARRETERAS ESPAÑOLAS, Y SEÑALIZACIÓN DE SUS LIMITACIONES

1 INTRODUCCIÓN

1.1 LA CARRETERA, SEDE DE TRÁFICOS VARIADOS

La movilidad posibilitada por el transporte por carretera permite alcanzar metas económicas y sociales; ofrece libertad de movimiento para ir a trabajar o a divertirse, y para transportar mercancías.

A pesar de que una carretera es una infraestructura cuyos elementos son fijos, debe acomodar a un tráfico de características variables tanto en el espacio como en el tiempo. No sólo se trata de parámetros técnicos como la intensidad y velocidad, sino de otros sociales como el comportamiento humano.

Resulta difícil que las hipótesis que se manejan para proyectar las carreteras puedan tener en cuenta simultáneamente las características de todos los vehículos y los comportamientos de todos los conductores. En cuanto a los primeros, no sólo sus prestaciones (peso, capacidad de aceleración y de frenado) son diferentes, sino que su estado (por ejemplo, la presión de inflado de los neumáticos) puede ser deficiente.

Los comportamientos de los conductores se analizan en el apartado siguiente.

1.2 COMPORTAMIENTO DE LOS CONDUCTORES

Quienes conducen un avión o un buque son pilotos profesionales, así como los maquinistas de los trenes; y aun así, sus errores pueden provocar accidentes de gran repercusión social.

Los conductores de automóviles, en general, no son profesionales en el mismo grado. Resultan distintas circunstancias tales como la edad a la que se accede al permiso de conducir, la preparación específica para ello, los

controles periódicos, las ayudas a la conducción e, incluso, el contexto en que ésta se ejerce.

Consiguientemente, por cada kilómetro recorrido, los usuarios del transporte automóvil corren un riesgo de accidente 100 a 200 veces superior al que correrían en tren o en avión; y por cada hora invertida en el recorrido, el riesgo de accidente es unas 1 000 veces superior al que se incurre trabajando, en instalaciones de producción de energía, o por catástrofes naturales.

Legalmente, el comportamiento de los conductores de automóviles están regulados por los artículos 2, 3 y 17 del Reglamento General de Circulación¹ (RGC), los cuales prescriben que

- *"... los usuarios de la vía están obligados a comportarse de forma que no... causen peligro... a las personas o daños a los bienes..."*
- *"... se deberá conducir con la diligencia o precaución necesarias para evitar todo daño, propio o ajeno, cuidando de no poner en peligro tanto al mismo conductor como a los demás ocupantes del vehículo y al resto de los usuarios de la vía..."*
- *...los conductores deberán estar en todo momento en condiciones de controlar sus vehículos..."*

A pesar de las anteriores disposiciones, no sólo resulta evidente que el error humano no puede ser del todo eliminado; sino también que algunos conductores exhiben comportamientos anómalos, tales como:

- Negligencia² para interpretar la señalización, hacerse una idea exacta del trazado de la carretera, evaluar correctamente las distancias y velocidades de los demás vehículos, etc. Puede ser permanente (conductor distraído) o, más frecuentemente, transitoria provocada por el cansancio (somnolencia).
- Temeridad⁽¹⁾: apuramiento de las prestaciones del vehículo, desprecio de la señalización y normativa, y conducción a mayor velocidad de la adecuada, según su percepción personal de la carretera y su entorno.

¹ Aprobado por Real Decreto 13/1992, de 17 de enero.

² Artº 3 del RGC.

1.3 OBJETIVOS FUNCIONALES DEL DISEÑO DE CARRETERAS

Los riesgos asociados a los errores y a los comportamientos anómalos de los conductores se ponen de manifiesto de forma más relevante en las circunstancias que requieren, precisamente, mayor concentración y más atención a una señalización y un balizamiento que, en todo caso, deben proporcionar informaciones correctas. Entre esas circunstancias destacan las siguientes:

- El tránsito por curvas en planta, y otros puntos singulares de la carretera: cruces, entradas o salidas.
- El mantenimiento de una distancia adecuada entre vehículos que circulan en el mismo sentido.
- La detención ante un obstáculo imprevisto en la calzada.
- El adelantamiento de vehículos más lentos, si para ello es preciso invadir el carril normalmente reservado a la circulación en sentido contrario.

Para lograr el control de su vehículo al que está obligado, el conductor es ayudado por una señalización y un balizamiento que le sirven de referencia para ajustarse a los criterios que tuvo en cuenta el ingeniero que diseñó la carretera, en general, desconocidos para el conductor.

Pero por buenos que sean, esos criterios no pueden cubrir simultáneamente todas las circunstancias de los vehículos y de los comportamientos de sus conductores: cualquier criterio tiene un campo de validez limitado. Por ello, es inevitable establecer un compromiso entre las posibilidades económicas y funcionales del diseño de la carretera, y el riesgo correspondiente a los casos no cubiertos más que por el control que el conductor tiene que ejercer.

En relación con estos criterios, se pueden distinguir dos niveles:

- La seguridad estricta, relacionada con velocidades elevadas y maniobras de emergencia.
- La comodidad de la conducción, relacionada con velocidades más moderadas y maniobras menos bruscas, realizadas con mayor margen.

El segundo de los niveles citados es el que se usa para el diseño de la carretera; mientras que con el primero se debe comprobar la seguridad de la circulación.

1.4 PAPEL DE LAS REGLAMENTACIONES TÉCNICAS

En los criterios empleados para el diseño de las carreteras y su señalización, conviene no confundir el alcance de una reglamentación jurídica, en la que las conductas correctas o defectuosas están claramente especificadas, del correspondiente a reglamentaciones eminentemente técnicas, que no están pensadas para fundamentar en ellas procesos legales. En ellas se considera una multitud de factores externos de difícil fijación, y entre lo deseable y lo prohibido hay una amplia gama de soluciones más o menos aceptables.

Así, por ejemplo, una señal R-301 indica la *prohibición de circular a velocidad superior a la indicada en ella*, pero no informa sobre las razones que han aconsejado su colocación.

La transgresión de una prohibición como la descrita da lugar a una infracción susceptible de sanción (reglamentación jurídica), aunque no se pueda inferir de ella sus consecuencias (posibilidad o gravedad de un accidente). Para establecer unos criterios de implantación de la señal, la reglamentación técnica intenta cuantificar estas consecuencias, siquiera de forma simplificada.

En una reglamentación técnica hay que distinguir entre los distintos grados de firmeza y de obligatoriedad de su contenido. Así, por ejemplo, hay:

- Normas, reglas de obligado cumplimiento cuyo alcance (y eventuales excepciones) han de estar previstos en ellas.
- Directrices, cuyo cumplimiento es obligatorio salvo justificación en contrario.
- Recomendaciones, a las que es deseable atenerse porque se supone que su efecto es favorable.
- Sugerencias, de las que se espera un efecto favorable.
- Posibilidades, de las que se sólo se intuye que se va a derivar un efecto favorable.

En esta distribución influyen:

- El entorno (rústico, urbano) y la clase de carretera (autopista, autovía, carretera convencional, etc.), y la limitación genérica de velocidad a ellos asociada.
- Las características del trazado del tramo de carretera por el que se acaba de pasar, y la percepción de las correspondientes al tramo inmediatamente siguiente.
- La composición del tráfico y, especialmente, la proporción de vehículos pesados.
- La relación entre la intensidad de la circulación y la capacidad de esa sección de carretera.
- La climatología favorable o adversa (lluvia, niebla, nieve, hielo).
- Las ayudas exteriores a la conducción: balizamiento, señalización, iluminación, etc.

En carreteras existentes, se pueden medir directamente tanto V_{85} como V_{99} , por medio de aparatos de radar o bucles de aforo; en nuevos trazados aún no construidos, o cuando no se puedan aplicar esas técnicas, se pueden emplear modelos matemáticos para estimarlas.

A partir de las campañas de aforo y pesaje de vehículos, realizadas por el Centro de Estudios de Carreteras (CEDEX) y otros, se han podido establecer las pautas de la distribución de velocidades que se practican en España, que se resumen en la Tabla #1, en la que la notación V_{85} designa a la velocidad por debajo de la cual circula el 85 % de los vehículos, o sea, la que sólo es rebasada por el 15 % de ellos.

Estos datos corresponden a condiciones muy favorables: tramos rectos de gran longitud en terreno llano, de día, sin lluvia y con bajas intensidades de circulación. Donde las circunstancias no resulten tan favorables, parece lógico que las velocidades resulten inferiores.

TABLA #1

DISTRIBUCIONES MEDIAS DE VELOCIDAD
(fuera de poblado, en circunstancias favorables)

| FRACTIL | CARRETERAS DE CALZADA UNICA | | CARRETERAS CON CALZADAS SEPARADAS |
|-----------------|-----------------------------|---------------|---|
| | ARCEN < 1,5 m | ARCEN > 1,5 m | |
| V_{99} (km/h) | 128 | 145 | 165 |
| V_{85} (km/h) | 90 | 110 | 130 |
| V_{50} (km/h) | 70 | 90 | 105 |

Llama la atención el escaso respeto de las limitaciones genéricas de velocidad: más del 20 % de los conductores las rebasan, y un 1 % del total lo hace en más de una tercera parte del límite.

2.2.2 Distribución espacial.

2.2.2.1 Concepto.

También muestra la experiencia que, siempre que la intensidad de la circulación no se lo dificulte, la velocidad de un vehículo no es constante a lo largo de la carretera, ni siquiera si ésta tiene un diseño homogéneo: hay una distribución espacial de velocidades.

En ella influyen:

- Las características de la parte de carretera recién recorrida.
- Las posibilidades percibidas por el conductor en el tramo de carretera que va a recorrer inmediatamente.
- La intensidad de la circulación.
- El estado del pavimento.
- Las circunstancias meteorológicas.
- La sinuosidad de la planta.

- La ondulación de la rasante.
- La anchura de la plataforma.
- La visibilidad disponible.
- La frecuencia de accesos y nudos.

2.2.2.2 Aceleraciones y deceleraciones.

En condiciones favorables de circulación y climatología, los conductores pueden mantener la velocidad que juzgan más adecuada, en la que influye también la inclinación de la rasante: generalmente esa velocidad es mayor en las rectas y menor en las curvas. El recorrido a lo largo de la carretera se puede, así, considerar compuesto por una serie de fases como las que se describen a continuación:

- Deceleración antes de llegar a una curva. Si la curva anterior está muy próxima y las características geométricas de ambas son parecidas, esta fase puede reducirse o llegar a faltar en los tramos de curvas enlazadas. La deceleración puede ser debida a otras maniobras, como la divergencia para tomar una salida de la carretera, la detención ante un obstáculo inesperado, o el desistimiento de un adelantamiento ya iniciado.
- Tránsito por la curva a velocidad prácticamente constante.
- Aceleración a la salida de la curva, hasta alcanzar un límite superior de velocidad⁽¹⁾, si el tramo recto siguiente a la curva tiene suficiente longitud, o hasta iniciar una nueva fase de deceleración. La aceleración se puede ocasionar también por el cruce de otras trayectorias de circulación y, especialmente, por el adelantamiento de vehículos más lentos.

La mayoría de los accidentes relacionados con una velocidad inadecuada tiene lugar en la primera y segunda fase.

1

El que el conductor juzga adecuado o el que permiten las prestaciones del vehículo, habida cuenta también de las limitaciones genéricas o específicas de la velocidad.

2.3 VELOCIDAD DE REFERENCIA

2.3.1 Concepto.

Tanto en cada sección de una carretera, como a lo largo de ésta, el diseño de sus elementos funcionales (trazado y señalización) se tiene referir a una velocidad de las que integran sus distribuciones temporal y espacial; pero ¿a cuál?

- Un trazado que proporcione una circulación cómoda para la fracción más alta de la distribución de velocidades resultará muy caro. Por tanto, los conductores más rápidos deben estar dispuestos a admitir un cierto grado de incomodidad en sus maniobras.
- La fracción de conductores muy rápidos que rebase unas condiciones estrictas de seguridad, especialmente en lo relativo a maniobras de emergencia, debe ser muy pequeña; se trata en general de conductores muy expertos, con vehículos de altas prestaciones.
- La señalización de las condiciones de seguridad no debe resultar excesivamente restrictiva y, por tanto, menos creíble y respetada por una fracción apreciable de los conductores.

Por lo tanto, y al igual que ocurre en muchas otras aplicaciones de la ingeniería, hay que establecer un compromiso aceptable entre los costes de construcción y los de explotación⁽¹⁾, habida cuenta de la diversidad de los comportamientos humanos a los que una infraestructura única pretende servir.

2.3.2 Traducción a la reglamentación técnica.

En una reglamentación técnica moderna, el compromiso descrito en el apartado anterior suele adoptar la forma que se describe a continuación.

¹

Entre estos últimos se cuentan los correspondientes a la accidentalidad de la circulación que, por desgracia, no se pueden anular.

2.3.2.1 Distribución temporal.

Se refieren a la velocidad V_{85} los aspectos del diseño de la carretera relacionados con la comodidad de la circulación: maniobras menos bruscas, realizadas con mayor margen.

La utilización de V_{85} para el diseño debe proporcionar también valores dinámicos⁽¹⁾ aceptables⁽²⁾ en lo relativo a la seguridad de la circulación de los vehículos más rápidos (V_{99}). Es decir, los conductores cuya velocidad esté comprendida entre V_{85} y V_{99} deben contar con una circulación más incómoda (maniobras más bruscas o de emergencia), aunque siempre con un margen de seguridad aceptable.

Puesto que no se puede dejar desprotegidos a un 15 % de los usuarios de la carretera, se debe referir a la velocidad V_{99} la señalización de las siguientes condiciones de seguridad estricta:

- Máxima velocidad de paso por una curva.
- Distancia necesaria para la detención ante un obstáculo imprevisto.
- Aproximación a una zona con restricciones a la circulación (por ejemplo, obras).

El resto de la señalización se puede referir a la V_{85} .

2.3.2.2 Distribución espacial.

La velocidad máxima entre curvas sucesivas es un buen indicador de las posibilidades percibidas por el conductor: desde las elevadas velocidades propias de un trazado en terreno llano, con deceleraciones claras para abordar curvas aisladas, hasta las sucesiones de curvas enlazadas propias de un trazado en terreno accidentado, donde la velocidad no tiene grandes oscilaciones.

1 Relacionados con el cuadrado de la velocidad.

2 Es decir, con un margen suficiente de seguridad estricta.

Por el contrario, las velocidades en las curvas por sí solas no son un buen indicador de la distribución de velocidades en el tramo: tiene mucha influencia la proporción de alineaciones rectas o de poca curvatura.

Para la velocidad representativa de la distribución temporal de velocidades en cada sección de un tramo de carretera, una buena representación de su distribución espacial es su media armónica⁽¹⁾. Si esa velocidad representativa es la V_{85} , su media armónica define la **velocidad de proyecto** del tramo.

2.4 VELOCIDAD DE PROYECTO

2.4.1 Generalidades.

La velocidad de proyecto de un tramo de carretera de diseño homogéneo, mejor que tener un significado físico concreto, debe constituir una referencia encaminada a obtener un trazado razonable y coordinado con la lectura que de la carretera hace el usuario. Representa un objetivo, elegido política y administrativamente en función de la clase y funcionalidad de la carretera, y de un estudio de la rentabilidad de la inversión en el que tiene gran influencia el relieve del terreno que atraviesa. Una carretera recta en terreno llano se recorre a mayor velocidad que una carretera más sinuosa en terreno accidentado, o que una situada en una zona de intenso uso del suelo.

La velocidad de proyecto está relacionada con la distribución espacial de velocidades que se puedan practicar con comodidad en ese tramo. Por tanto, un estimador o valor representativo de la velocidad de proyecto es la media armónica de la V_{85} en el tramo.

En carreteras de nuevo trazado o en acondicionamientos de carreteras existentes, la fijación de una velocidad de proyecto mínima tiene importantes repercusiones en la curvatura⁽²⁾ de la carretera, en la visibilidad disponible en cada punto de ella, y sobre todo en su coste: representa un compromiso entre los costes relacionados con la explotación y los derivados de la construcción.

1 Es un error muy común creer que la velocidad media es la media aritmética de las velocidades. La que se debe emplear es la media armónica, que coincide con la razón entre la longitud del tramo y el tiempo invertido en recorrerlo.

2 En planta y en alzado.

Procediendo a la inversa, y en base a las características de su trazado, se puede estimar la velocidad de proyecto de una carretera existente, y compararla con un estándar.

2.4.2 Mínima velocidad de proyecto.

2.4.2.1 Generalidades.

La elección de la velocidad de proyecto se debería basar en el estudio económico de su repercusión en los costes de construcción, mantenimiento y explotación (costes del usuario). Sin embargo, tal estudio rara vez resulta asequible; y debe ser la propia Administración quien, como parte de su planificación, fije un mínimo a la velocidad de proyecto que debe tener un tramo concreto, aceptable para la política de la Administración. A estos efectos, conviene tener en cuenta lo siguiente:

- El concepto de tramo está asociado a una cierta homogeneidad de la distribución espacial de velocidades: lo que implica una variabilidad de la velocidad de proyecto a lo largo de un itinerario, en función del entorno de la carretera.
- No se debe impedir que se adopten velocidades de proyecto mayores que la mínima, donde ello resulte fácil y no costoso. Por ejemplo, en terreno llano cuesta casi lo mismo adoptar una velocidad de proyecto de 120 km/h que una de 140 km/h: ¿está justificado hablar sólo de la primera?

2.4.2.2 Fuera de poblado.

Los datos proporcionados por la tabla #1 resultan reveladores de la V_{85} que desean (y realmente practican) los automovilistas españoles fuera de poblado y en circunstancias favorables, aprovechando las crecientes prestaciones de la mayoría de los vehículos:

- Autopistas y autovías: 130 km/h
- Carreteras de calzada única:
 - * Arcén > 1,5 m: 110 km/h
 - * Arcén < 1,5 m: 90 km/h

No acompañar la velocidad de proyecto, en esas mismas circunstancias favorables, a estos valores (aunque excedan de las limitaciones legales genéricas) no se ajusta a las expectativas de una fracción importante de los conductores.

Donde las circunstancias dejen de ser tan favorables, consideraciones relacionadas con el coste de construcción o con el impacto ambiental pueden obligar a limitar la velocidad de proyecto por debajo de estos valores, para acoplar el trazado a terrenos de relieve acentuado, sobre todo en zonas aisladas. Pero no se debe olvidar que, si bien los conductores aceptan fácilmente limitaciones en su velocidad en zonas evidentemente difíciles, donde no haya esa evidencia no la relacionan con la importancia de la carretera, sino más bien con las limitaciones físicas perceptibles; entonces vuelven a practicar las velocidades correspondientes a circunstancias más favorables, rebasando con facilidad las condiciones de seguridad, especialmente las relacionadas con la visibilidad.

Así que donde no se pueda mantener la velocidad de proyecto correspondiente a circunstancias favorables, se puede rebajar tanto más cuanto más evidente resulte para el conductor el deterioro de esas circunstancias.

2.4.2.3 En zona urbana.

Las velocidades mínimas de proyecto empleadas en vías urbanas son menores que fuera de poblado, no sólo por consideraciones de coste⁽¹⁾ sino también funcionales: una gran intensidad de la circulación, con menor velocidad, y una mayor proximidad entre nudos. La velocidad de proyecto en zona urbana suele estar relacionada con la función asignada a la vía en una estructura jerarquizada: autopista, colectora, residencial, etc.

2.4.2.4 En nudos.

Únicamente en ramales de enlaces que no crucen a nivel ninguna otra trayectoria y que vayan a funcionar cerca de su capacidad, se pueden justificar velocidades de proyecto del orden de 60 á 80 km/h.

En los demás tipos de ramal, y en las vías de giro de intersecciones, las velocidades de proyecto pueden ser más bajas, sobre todo donde haya

1

Especialmente el relacionado con las expropiaciones.

limitaciones de espacio o la ordenación de la circulación pueda obligar a la detención.

2.4.3 Homogeneidad de la velocidad.

Para que un tramo de una carretera se pueda considerar homogéneo y tenga, por tanto, una única velocidad de proyecto, no debe haber grandes diferencias⁽¹⁾ entre las V_{85} con que se recorren los elementos del tramo, y la velocidad de proyecto que está representada por su media armónica. Donde la diferencia sea excesiva, además de analizar la peligrosidad relacionada con esas variaciones, habrá que comprobar si se trata de varios sub-tramos contiguos, con distintas velocidades de proyecto.

En particular, conviene cuidar los siguientes casos:

- Después de una alineación recta superior á 1 km ó, aun estando comprendida entre 0,5 y 1 km, si la rasante es descendente y superior al 3 %, el radio mínimo de la curva circular no debiera ser inferior á 300 m.
- Después de una alineación recta comprendida entre 0,5 y 1 km, el radio mínimo de la curva circular no debiera ser inferior á 200 m.
- Dos curvas enlazadas no debieran tener radios muy diferentes: el mayor no debiera rebasar los 3/2 del menor.

2.4.4 Escalonamiento de la velocidad de proyecto.

Tampoco son deseables grandes diferencias entre las velocidades de proyecto de tramos contiguos. En esos casos, hay que intercalar entre ambos uno o varios sub-tramos que proporcionen un adecuado escalonamiento de velocidades.

Se deben comprobar especialmente las situaciones siguientes:

- Al final de rasantes descendentes superiores al 3 %.

¹

Por ejemplo, menos de 15 km/h. Esto correspondería a que, entre dos elementos consecutivos situados el primero 15 km/h por encima de la velocidad de proyecto, y el segundo 15 km/h por debajo, no haya una diferencia superior á 30 km/h.

- En carreteras de calzada única, inmediatamente antes de una prohibición del adelantamiento.
- Al aproximarse a bifurcaciones.
- En las conexiones con nuevas variantes de trazado o población.

2.5 VELOCIDAD EN CURVAS CIRCULARES

2.5.1 Rozamiento movilizado.

Para que el vehículo se pueda inscribir en una trayectoria curva, entre neumáticos y pavimento hay que movilizar un rozamiento transversal (que también representa la parte de la aceleración centrífuga no compensada por el peralte) directamente proporcional al cuadrado de la velocidad, e inversamente proporcional al radio de curvatura.

Si la velocidad es excesiva frente al radio de curvatura, se puede producir un accidente que, en general, reviste una de las tres pautas que se analizan a continuación: vuelco, quiebro o deslizamiento.

2.5.1.1 Vuelco.

El rozamiento que se necesita movilizar para que el vehículo vuelque depende de la razón entre la altura del centro de gravedad del vehículo y su anchura de apoyo y, aun para camiones, arroja valores sólo alcanzables cuando el pavimento está seco ($> 0,50$). Por tanto, suelen resultar más críticas las otras dos pautas de accidente, asociadas a menores valores del rozamiento movilizado.

2.5.1.2 Quiebro.

En vehículos articulados, el quiebro⁽¹⁾ del conjunto alrededor del eje vertical que pasa por la articulación es un fenómeno dinámico complejo, en el que intervienen los siguientes factores:

- El semirremolque no tiene ruedas contiguas a la articulación, por lo que la fuerza centrífuga se transmite a través de ella a las ruedas traseras de la tractora.
- La tractora es muy corta de batalla, por lo que se le hace girar con más facilidad que si fuera larga.
- Si, además, el vehículo frena, el semirremolque empuja a la tractora y agrava el fenómeno.

Se suele admitir que este fenómeno adquiere importancia a partir de que se moviliza un rozamiento transversal superior a 0,25. Los conductores de vehículos articulados están acostumbrados a no rebasar este límite en conducción ordinaria; pero la combinación con un frenado puede sorprenderles. Esto explica, por ejemplo, el que se produzcan quiebros en ramales de enlace tipo "lazo"⁽²⁾ a velocidades anormalmente bajas.

¹ Denominado "tijera" por los camioneros.

² Cuyo radio es reducido.

2.5.1.3 Deslizamiento.

- Generalidades.

La pauta de accidente más frecuente es el deslizamiento, por superar el rozamiento movilizado la resistencia al deslizamiento transversal propia del conjunto neumático + pavimento. El valor de esta resistencia es muy variable, y depende de los factores que se describen a continuación. En relación con ellos, conviene destacar:

- Su variabilidad en el tiempo:
 - * El tipo de pavimento es prácticamente invariable.
 - * El estado del pavimento y el de los neumáticos evolucionan a medio plazo.
 - * La humedad del pavimento y la velocidad presentan grandes oscilaciones.

- Su dependencia causal:
 - * El tipo y estado del pavimento dependen de la acción del titular de la carretera.
 - * El estado de los neumáticos y la velocidad dependen del conductor.
 - * La humedad del pavimento depende de causas ambientales.

- Tipo y estado del pavimento.

Se denomina microtextura al conjunto de irregularidades superficiales del pavimento cuya longitud de onda es inferior á 0,5 mm; y macrotextura, al conjunto de irregularidades superficiales cuya longitud de onda está comprendida entre 0,5 y 50 mm.

- La microtextura de un pavimento está relacionada con su adherencia al neumático y, por tanto, con el rozamiento movilizable a bajas velocidades.

- La macrotextura posibilita la evacuación del agua superficial del pavimento, y moviliza la histéresis del neumático por deformación; por tanto, está relacionada con la resistencia al deslizamiento a altas velocidades.

Con el paso del tiempo y bajo la acción del tráfico, los pavimentos van perdiendo sus características superficiales iniciales:

- Los áridos se pulen, más o menos aprisa según su naturaleza.
- Disminuye la macrotextura, perjudicando la evacuación de la lluvia.
- Si se producen ondulaciones longitudinales en el pavimento, el contacto entre éste y el neumático se vuelve irregular.
- Si se producen roderas, en ellas se puede acumular agua.

- Humedad del pavimento.

Cuando llueve, la presencia de una película de agua sobre el pavimento disminuye notablemente el valor de su resistencia al deslizamiento transversal. Descartando *a priori* la presencia de nieve o hielo, circunstancias meteorológicas extraordinarias en las que las velocidades se reducen apreciablemente, se pueden distinguir las situaciones siguientes:

- Pavimento seco.
- Pavimento ligeramente mojado, con un espesor de película de agua del orden de 0,2 mm.
- Pavimento ligeramente mojado después de una sequía prolongada, con acumulación de finos que pueden actuar de lubricante. A efectos prácticos, se puede asimilar a la siguiente.
- Pavimento muy mojado, con un espesor de película de agua del orden de 2 mm. Este caso es excepcional, pues corresponde a lluvias muy intensas durante las cuales la inclinación y macrotextura del pavimento ya no contribuyen eficazmente a la evacuación de la escorrentía superficial: en estas circunstancias, tampoco los conductores circulan a la velocidad que circularían en las dos primeras situaciones.

- Estado de los neumáticos.

Aunque cuando el pavimento está seco no reviste especial importancia, el estado de los neumáticos resulta decisivo para la seguridad cuando está mojado:

- La estudiada textura de la superficie de rodadura del neumático contribuye a la evacuación de la película de agua, facilitando el contacto con el pavimento para movilizar el rozamiento.
- Si el neumático está desgastado y su textura ha disminuído o se ha perdido, la evacuación de la película de agua es más dificultosa y disminuye la zona de contacto efectivo, llegándose incluso al fenómeno de hidroplaneo.

Estudios realizados en autopistas españolas en 1985 y 1986 han demostrado que:

- Un 15 % de los vehículos requeriría un cambio inmediato de neumáticos.
- Un 35 % de los neumáticos mostraba un desgaste superior al 50 %.
- Un 62 % de los neumáticos presentaba una baja presión de inflado.

Por lo tanto parece que la situación, en cuanto al estado de los neumáticos, podría mejorar todavía mucho en España.

- Velocidad.

Al igual que el estado de los neumáticos, se trata de un factor de escasa relevancia con pavimento seco, pero muy importante con pavimento mojado. Al aumentar la velocidad, se exige a las texturas del neumático y del pavimento que evacúen la película de agua más aprisa: la zona de contacto va disminuyendo hasta anularse, en cuyo momento se produce el hidroplaneo (el neumático sólo se apoya sobre dicha película, y se anula la movilización de rozamiento). También el efecto de la microtextura se anula al aumentar la velocidad, mientras que el de la macrotextura (que moviliza la histéresis del neumático por deformación) permanece.

Para un pavimento convencional en buen estado, la Tabla #2¹⁾ muestra unos valores típicos de la resistencia al deslizamiento transversal en función de la velocidad, para distintas combinaciones de los demás factores.

TABLA #2
VALORES TÍPICOS DE LA RESISTENCIA
AL DESLIZAMIENTO TRANSVERSAL

| HUMEDAD DEL PAVIMENTO | ESTADO DE LOS NEUMÁTICOS | VELOCIDAD (km/h) | | | |
|-----------------------|--------------------------|------------------|------|------|------|
| | | 30 | 60 | 90 | |
| Seco | Bueno | > 1 | | | 0,95 |
| | Desgastado | | | | 0,90 |
| Ligeramente mojado | Bueno | 0,60 | 0,40 | 0,30 | |
| | Desgastado | 0,35 | 0,20 | 0,10 | |
| Muy mojado | Bueno | 0,55 | 0,25 | 0,12 | |
| | Desgastado | 0,30 | 0,12 | 0,05 | |

- Conclusiones.

Con pavimento seco, la resistencia al deslizamiento transversal es muy elevada (del orden de 0,9), y depende poco de la velocidad o del estado del neumático.

Para velocidades apreciables (por ejemplo, superiores á 70 km/h), la resistencia al deslizamiento con neumático bueno y pavimento muy mojado es del mismo orden de magnitud que la correspondiente a neumático desgastado y pavimento ligeramente mojado; y también es del mismo orden de magnitud que el rozamiento transversal utilizado para un diseño de curvas basado en la comodidad de los ocupantes del vehículo.

La resistencia al deslizamiento transversal con neumáticos desgastados y pavimento muy mojado es bastante inferior a los valores anteriores.

1

Vigueras / Garagorri / Crespo: La adherencia neumático - pavimento. Revista "CARPETERAS", junio 1992.

2.5.2 Rozamiento movilizado admisible.

2.5.2.1 Diseño.

El diseño de una curva, basado en la velocidad V_{85} que, en este caso, recibe el nombre de *específica*, se asocia a unos valores del rozamiento transversal movilizado bastante bajos⁽¹⁾, que proporcionan una conducción cómoda y sin maniobras bruscas.

2.5.2.2 Señalización.

La velocidad máxima a la que la curva puede ser recorrida en condiciones aceptables de seguridad, que se debe comparar con la velocidad V_{99} y en la que se basan la señalización y el balizamiento de la curva, necesita movilizar un mayor rozamiento transversal. Los valores que se adopten deben corresponder a condiciones frecuentes, pero no excesivamente adversas (neumáticos en mal estado, pavimento muy mojado, etc.), pues en estas últimas debe ser el conductor quien valore cuánto debe disminuir su velocidad por ellas.

Por lo tanto, es errónea la práctica de basar la señalización de esta velocidad máxima en unos valores bajos del rozamiento movilizado, análogos a los utilizados para el diseño de éstas: sólo conduce a desprestigiar el sentido de las señales y a que se haga caso omiso de ellas, facilitando que surja en los conductores la idea de que las limitaciones de velocidad en curva pueden ser rebasadas sin peligro.

La velocidad máxima en curva debe contar con un margen de seguridad (diferencia entre aquélla y la velocidad empleada para el diseño), fácilmente entendible por un conductor, y representativo del riesgo que está acostumbrado a asumir: por ejemplo, entre 10 km/h para velocidades muy bajas (del orden de 35 km/h), y 20 km/h para velocidades altas (100 km/h ó más).

¹

Del orden de 0,10.

Las velocidades de diseño de las curvas (condiciones de comodidad) son del mismo orden de magnitud que las máximas a que pueden ser recorridas con neumáticos desgastados, sin que haya deslizamiento cuando su pavimento está ligeramente mojado, siempre que no excedan de unos 80 km/h (esto sigue siendo cierto aunque el pavimento esté muy mojado, si el estado de los neumáticos es bueno). Con neumáticos buenos, el margen de seguridad frente al deslizamiento parece suficiente a cualquier velocidad cuando el pavimento está ligeramente mojado.

Por otro lado, los rozamientos movilizados sin que se produzca el deslizamiento (neumáticos en buen estado, pavimento ligeramente húmedo) son superiores a 0,25⁽¹⁾ para velocidades inferiores a 110 km/h.

2.5.2.3 Conclusiones.

A la vista de todas estas consideraciones, se puede considerar como límite del rozamiento movilizado admisible:

- Para el diseño de la curva, basado en la V_{85} , los valores preconizados por la normativa técnica actual, algo más conservadores para el caso de neumáticos desgastados.
- Para fijar la V_{99} máxima a la que puede ser recorrida la curva, la resistencia al deslizamiento con neumáticos en buen estado y pavimento ligeramente mojado.
- En el caso anterior, si el tráfico contiene una proporción apreciable de vehículos articulados y éstos se pueden ver sometidos a inesperadas deceleraciones combinadas con la curva, no se debe movilizar un rozamiento transversal superior a 0,25; y hay que mantener un margen entre V_{99} y V_{85} igual al que habría de no intervenir esta circunstancia.

2.5.3 Influencia del peralte.

Contrariamente a una opinión bastante extendida, el aumento del peralte tiene poca influencia en la definición de la velocidad máxima a la que una curva puede ser recorrida en condiciones de seguridad estricta: del orden del 10 al 15 %.

1

Valor máximo admisible para que no se produzcan quiebros en vehículos articulados.

2.6 LIMITACIONES DE LA VELOCIDAD

2.6.1 De índole legal.

No se puede dejar de considerar el efecto que pueden tener sobre la velocidad tanto las limitaciones genéricas que la legislación puede imponer en función de la clase de carretera, como las específicas (aún más restrictivas) fijadas en algunos tramos por la señalización vertical, a tenor de lo prescrito por el artículo 47 del Reglamento General de Circulación (RGC): "*... los titulares de la vía fijarán, empleando la señalización correspondiente, las limitaciones de velocidad específicas que correspondan con arreglo a las características del tramo de la vía...*".

Es forzoso reconocer que, en la situación actual en España, el respeto por la limitación de la velocidad, ya sea genérica o específica, es más bien escaso: lo cual sitúa a la Administración responsable de las carreteras ante el hecho de que buena parte de éstas se puede hallar infradimensionada frente a las velocidades realmente practicadas, aun cuando sea ilegalmente, por los usuarios. Esta situación requiere dos tipos de actuaciones por parte de la Administración:

- Por un lado, acciones tendentes a reducir el número de infracciones, que no sólo necesitan de una eficaz acción represiva, sino de una apariencia creíble del riesgo asumido en cada caso concreto.
- Por otro lado, disponer de un mayor margen de seguridad en la infraestructura, que permita que un eventual rebasamiento de los límites de velocidad no resulte forzosamente en un accidente y que, caso de ocurrir éste, tenga unas consecuencias limitadas.

Parece prudente que algunas cuestiones relacionadas con las condiciones de seguridad estricta (como, por ejemplo, la señalización y balizamiento de curvas, la visibilidad necesaria para la detención ante un obstáculo imprevisto, o la aproximación a una zona con restricciones a la circulación) se refieran a las velocidades reales, sin contar con el efecto de la limitación genérica en ningún caso, y con el de la limitación específica sólo en casos muy justificados en los que se pueda asegurar que será creída y, por tanto, respetada.

Otros casos, como las prohibiciones del adelantamiento, pueden resultar más complejos:

- Si se basan en velocidades anormalmente elevadas del vehículo adelantado, las visibilidades necesarias serán mayores, y los tramos en los que el adelantamiento esté prohibido serán también mayores: lo cual reduce el nivel de servicio y, posiblemente, incite a la transgresión.
- Si se lograra reducir la velocidad, las visibilidades necesarias también se podrían bajar.

2.6.2 De índole técnica.

2.6.2.1 Por curvatura.

En la velocidad influyen de manera decisiva las limitaciones que introducen los elementos del trazado con características reducidas, representados principalmente por las curvas circulares. Aunque la práctica más moderna enfatiza el papel del balizamiento en la perceptibilidad del riesgo de accidente asociado a la curva, ¿cómo se debería señalar la correspondiente limitación de velocidad?

Para ello, el RGC prevé las siguientes señales:

- Artículo 154, señal R-301: "*... Velocidad máxima. Prohibición de circular a velocidad superior... a la indicada en la señal...*".
- Artículo 159, señal S-7: "*... Velocidad máxima aconsejable. Recomendación una velocidad máxima de circulación... que se aconseja no sobrepasar, aunque las condiciones meteorológicas y ambientales de la vía y de la circulación sean favorables...*".

Aunque la señal R-301 prohíbe, mientras que la S-7 sólo recomienda, de la definición de esta última se desprende claramente que se refiere a condiciones ambientales favorables, o sea a las correspondientes a un pavimento seco.

Los valores de la velocidad máxima en curvas que se deberían emplear para su balizamiento y señalización son los correspondientes a pavimento ligeramente mojado. Esta circunstancia es suficientemente frecuente en España como para que sea tenida en cuenta en una **recomendación**, aunque no corresponda a las circunstancias más favorables: se trata de un compromiso entre el margen de seguridad frente a un accidente (que incita a fijar una limitación baja) y la credibilidad de la señal (que obliga a no fijarla demasiado baja).

Si en algún caso se estimase imprescindible prohibir rebasar un límite de velocidad con una señal R-301, el valor que figure en ésta sí que debería ser el correspondiente a pavimento seco. Como dicho valor resulta bastante elevado y, generalmente, rebasa la limitación genérica impuesta por el RGC, la señal R-301 sería raramente empleada, lo que reforzaría su credibilidad.

2.6.2.2 Por insuficiente visibilidad.

En cuanto a las limitaciones que se derivan de una insuficiente visibilidad, la mayoría de los conductores no suele moderar por ello su velocidad; sino que aceptan un riesgo mayor que, en ciertos casos, puede resultar excesivo.

3 DECELERACIÓN

3.1 GENERALIDADES

Tras la percepción de la necesidad de decelerar⁽¹⁾, se suele admitir que transcurre un intervalo de evaluación y reacción, sin que durante él se modifique la marcha del vehículo: a partir de entonces se decelera hasta reducir la velocidad al valor deseado. A continuación se examinan los principales parámetros que intervienen en esta maniobra.

1

Que puede ser debida a la proximidad de una curva, divergencia o salida de la carretera, a la presencia de un obstáculo inesperado que obligue a detenerse, o a la de un vehículo que circule en sentido contrario y obligue a desistir de un adelantamiento.

3.2 VELOCIDAD INICIAL

La velocidad inicial se toma igual á V_{85} para las maniobras en las que la condición determinante es la comodidad, como puede ser la aproximación a una divergencia o, incluso, la aproximación a una curva circular (a los efectos de su diseño); pero si se trata de maniobras relacionadas con la seguridad, como pueden ser la detención ante un obstáculo imprevisto, o la señalización y balizamiento de una curva peligrosa o de una zona de obras, se debe considerar V_{99} .

3.3 DECELERACIÓN ADMISIBLE

Se pueden distinguir varios tipos de maniobra: emergencia, deliberada o subconsciente.

3.3.1 Maniobras de emergencia.

En las maniobras de emergencia se puede alcanzar una deceleración igual a la proporcionada por la acción conjunta de la inclinación de la rasante y de la resistencia al rozamiento longitudinal del pavimento. Este último depende de los mismos factores que se han analizado para la resistencia al rozamiento transversal: tipo, estado y humedad del pavimento, estado de los neumáticos, y velocidad. Para un pavimento convencional en buen estado, la Tabla #3⁽¹⁾ muestra unos valores típicos de la resistencia al deslizamiento longitudinal, para distintas combinaciones de factores.

3.3.2 Maniobras deliberadas.

Las maniobras deliberadas que no sean de emergencia, tales como la aproximación a una divergencia, están relacionadas con la V_{85} , y en ellas no se deben movilizar rozamientos entre neumáticos y pavimento que excedan de los correspondientes a una suave aplicación de los frenos, que son del orden de 0,25.

1

Vigueras / Garagorri / Crespo: La adherencia neumático - pavimento. Revista "CARRETERAS", junio 1992.

TABLA #3

VALORES TÍPICOS DE LA RESISTENCIA
AL DESLIZAMIENTO LONGITUDINAL

| HUMEDAD DEL PAVIMENTO | ESTADO DE LOS NEUMÁTICOS | VELOCIDAD (km/h) | | |
|-----------------------|--------------------------|------------------|------|------|
| | | 30 | 60 | 90 |
| Seco | Bueno | > 1 | | |
| | Desgastado | | | |
| Ligeramente mojado | Bueno | 0,80 | 0,75 | 0,68 |
| | Desgastado | 0,80 | 0,50 | 0,38 |
| Muy mojado | Bueno | 0,80 | 0,70 | 0,40 |
| | Desgastado | 0,75 | 0,40 | 0,20 |

3.3.3 Maniobras subconscientes.

En las maniobras subconscientes no se suele movilizar un rozamiento superior a un límite del orden de 0,15, que se alcanza dejando de acelerar y reteniendo con el motor.

3.4 CASOS PRÁCTICOS

3.4.1 Aproximación a curvas.

No tiene mucha importancia la velocidad a la que puede recorrer una curva aislada, aunque dicha velocidad sea baja; más bien la tiene cómo se llega a ella de una forma fácilmente legible por el conductor, sin confiar excesivamente en la señalización. La reducción de velocidad se tiene que acompañar a una perceptibilidad de la curva, enfatizada por el balizamiento: este concepto se recoge en la nueva Instrucción de la Dirección General de Carreteras 8.1-IC "Señalización vertical", en la que intensidad de la señalización y balizamiento de una curva depende del grado de la curva, o diferencia entre la velocidad máxima de aproximación a la curva, y la velocidad máxima en ésta, ambas en términos de V_{99} .

Una fuerte reducción de velocidad antes de una curva resultará más legible para el conductor si se intercalan una serie de curvas en S de radios decrecientes, que le vayan preparando para la baja velocidad de la última curva.

3.4.2 Aproximación a otras zonas con restricciones en la velocidad de circulación.

Se pueden distinguir los siguientes casos de aproximación:

- A una zona de obras, circunstancia extraordinaria que el entorno no suele sugerir al conductor. En este caso, la velocidad inicial se debe tomar igual a V_{99} , pero la deceleración corresponde sólo a una maniobra deliberada. Si fuera habitual que haya retenciones ante la restricción a la circulación, se tendrá en cuenta esta circunstancia; de lo contrario habrá que confiar la seguridad (que debe estar asegurada en todo lugar) a la deceleración de emergencia.
- A una zona urbana, especialmente en el caso de una travesía, en la que la velocidad de la circulación está genérica o específicamente limitada: circunstancia que, generalmente, debería ser sugerida por el entorno. La velocidad inicial se toma igual a V_{85} , y la deceleración debería corresponder a una maniobra subconsciente.
- A una vía de giro de una intersección, o a un ramal de un enlace, que requiera una reducción de velocidad por tener un radio reducido. La velocidad inicial es V_{85} , y la deceleración corresponde, en general, a una maniobra deliberada.

Excepto donde la deceleración se pueda acomodar a una maniobra subconsciente, y se vea acompañada por la lectura que de la carretera y de su entorno hace el conductor, es práctica habitual señalar la necesidad de limitar finalmente la velocidad. En el fondo, se trata del mismo problema que la percepción del grado de una curva, aunque en este caso se complemente el balizamiento. No se suelen presentar problemas aunque la deceleración necesaria sea algo mayor de la prevista en el diseño.

Por ello, donde la diferencia entre la velocidad inicial y la final es grande, también es habitual señalar un escalonamiento de velocidades, en la creencia de que los conductores acompañarán su marcha pasando junto a cada señal sin rebasar la velocidad en ella indicada. Sin embargo, la colocación de señales R-301⁽¹⁾ señalando sistemáticamente escalonamientos para la reducción de velocidad antes de una salida en autopistas o autovías, circunstancia que es muy previsible por el conductor, no parece justificada; y su sustitución por señales S-7 tampoco, excepto en circunstancias en las que las expectativas del conductor se puedan ver sorprendidas.

4 ACELERACIÓN

De forma análoga a cuanto se ha expuesto para la deceleración, se pueden considerar para la aceleración los parámetros que se comentan a continuación.

4.1 VELOCIDAD INICIAL

Se toma igual a la V_{85} de la curva anterior para las maniobras en que la condición determinante es la comodidad, como puede ser la aproximación a una convergencia o, incluso, la salida de una curva circular (a los efectos de su diseño).

Si se trata de maniobras relacionadas con la seguridad, como la obtención de la máxima velocidad de aproximación a la curva siguiente, se debe considerar la V_{99} de la curva.

Para el adelantamiento de un vehículo más lento desde una posición de seguimiento, se parte de una velocidad igual a la de éste. Esta velocidad no puede ser relativamente grande: se trata de un vehículo lento, y tomar valores superiores conduce a distancias de adelantamiento muy elevadas. Considerando que la maniobra de adelantamiento se debería practicar con la fracción más lenta del tráfico, se debe tomar una velocidad inicial igual a una fracción de V_{85} .

1

Vayan o no acompañadas de paneles complementarios S-870.

4.2 ACCELERACIÓN ALCANZABLE

4.2.1 Máximas prestaciones.

A diferencia del caso de la deceleración, no suele ser el rozamiento entre neumáticos y pavimento lo que determina la máxima aceleración posible, sino las prestaciones del vehículo y la destreza de su conductor. En España⁽¹⁾ se ha desarrollado un modelo de máximas prestaciones, correspondiente a un coche representativo de las condiciones medias del parque español, cuyos resultados están relacionados con la V_{99} y se emplean, por ejemplo, para obtener la máxima velocidad de aproximación a una curva.

4.2.2 Maniobras deliberadas.

Las maniobras deliberadas, tales como la aproximación a una convergencia o el adelantamiento, están relacionadas con la V_{85} (comodidad), y movilizan valores medios de la aceleración que no suelen exceder de unos 4 (km/h)/s.

5 VISIBILIDAD

5.1 VISIBILIDAD DISPONIBLE Y NECESARIA

En toda sección de una carretera hay una visibilidad disponible, que depende principalmente de la forma, dimensiones y disposición de los elementos de la carretera, pero no de la velocidad a la que ésta se recorre.

Para conducir con comodidad, se recomienda que se mantenga constantemente visible al conductor, sin pérdidas de trazado, la parte de la carretera que se recorrerá en los próximos diez o doce segundos, especialmente al aproximarse a secciones delicadas: salidas, cruces, áreas de servicio, descanso o peaje.

Para que se puedan realizar con seguridad, determinadas maniobras lícitas requieren una visibilidad necesaria, y menor que la relacionada con la

¹ S. Rocci: "Estudio de las prestaciones de un vehículo de competición" (Revista de Obras Públicas, enero 1976), y otros trabajos sin publicar.

comodidad: la visibilidad disponible no debe ser inferior a la necesaria. En la visibilidad necesaria interviene la velocidad del vehículo que realiza la maniobra y, en su caso, la de los demás vehículos involucrados.

Se suelen considerar las maniobras siguientes:

a) Detención de un vehículo aislado:

- En todo lugar, ante la presencia de un obstáculo imprevisto en la calzada.
- Donde sea preciso:
 - Ante una marca vial transversal en un cruce o en la entrada a una glorieta.
 - Ante un semáforo.
 - Ante una zona de obras cuya ordenación de la circulación prevea una detención.

b) Percepción de la presencia de una divergencia, o de la aproximación a una zona con restricciones a la circulación (por ejemplo, obras).

c) Evitación de una colisión con otros vehículos:

- Cruce.
- Convergencia.
- En su caso, adelantamiento de un vehículo más lento en presencia de un vehículo contrario.

Si la visibilidad disponible en una sección de una carretera es inferior a la necesaria para realizar determinada maniobra, una solución suele ser limitar la velocidad en dicha sección, o adoptar una o varias de estas medidas:

- Aumentar la visibilidad.
- Hacer especialmente aparente esa falta de visibilidad, por ejemplo, por medio de un balizamiento adecuado.
- En el caso de la aproximación a una curva, mejorar su radio o intercalar una sucesión favorable de curvas de radios decrecientes.

Una señalización restrictiva puede resultar poco respetada por los conductores, quienes entonces asumen un riesgo mayor.

5.2 VISIBILIDAD DISPONIBLE

5.2.1 Definición.

La visibilidad disponible se mide hacia adelante en el sentido de la marcha, y a lo largo de la trayectoria del vehículo, en las condiciones siguientes:

a) Posición del conductor

- Altura sobre el pavimento: 1,2 m ó 2,5 m, según resulte más desfavorable. El segundo valor se aplica a las limitaciones de la visibilidad disponible causadas por elementos situados sobre la carretera (pasos superiores, pórticos, etc.), y el primero a los demás casos.
- Situación transversal en la calzada: á 0,5 m del borde izquierdo del carril más desfavorable.

b) Características de los faros (circulación nocturna)

- Altura del eje del faro sobre el pavimento: 0,75 m.
- Dirección del haz luminoso: paralela a la rasante y a la trayectoria.
- Abertura máxima del haz luminoso: 1° por encima del eje, y 3° a cada lado de él.
- Alcance máximo del haz luminoso: 200 m. Esta cifra se ve considerablemente reducida si se emplea sólo la luz de cruce.

c) Características del objeto que se debe percibir

- Obstáculo, en maniobras de detención: 0,30 m de altura sobre el pavimento⁽¹⁾, en la posición más desfavorable.

¹

Considerar un obstáculo de sólo 0,10 m de altura parece algo pesimista, pues sería esquivado sin necesidad de detener el vehículo.

- Vehículo, en maniobras de evitación de colisión: 1,2 m de altura sobre el pavimento, á 0,5 m del borde izquierdo del carril más desfavorable.
- Cruce, o entrada a una glorieta: marca vial transversal que indique la necesidad de detenerse, y cuya altura es nula.
- Divergencia: primera marca vial que indique la presencia de la divergencia, y cuya altura es nula. La presencia de balizas mejora la percepción de la divergencia.
- Semáforo: salvo otra disposición explícita, 2 m de altura entre el pavimento y el borde inferior del disco rojo.

5.2.2 Determinación.

5.2.2.1 Generalidades.

La visibilidad disponible se puede medir en campo, o estimar en gabinete analizando el trazado.

Para ello se pueden seguir dos caminos:

- Dirigir, desde cada posición del conductor, una visual tangente al elemento⁽¹⁾ limitador de la visibilidad y que llegue hasta el obstáculo que se debe percibir; y determinar la distancia a éste a lo largo de la trayectoria del vehículo.
- En casos sencillos, emplear modelos matemáticos.

5.2.2.2 Limitaciones en planta.

La visibilidad en planta se puede ver estorbada por elementos situados en la parte interior de las curvas, tales como taludes de desmonte, vegetación, edificios, o el propio vehículo al que se pretende adelantar.

¹ Talud de desmonte, vegetación, edificio, pavimento de un acuerdo convexo, vehículo pesado al que se pretende adelantar, tablero de paso superior, final de la zona iluminada, etc.

- Elementos fijos.

Hay que despejar la zona determinada por la envolvente de las visuales entre las sucesivas posiciones del conductor y del obstáculo a una distancia no inferior a la deseada. En una curva, el caso más desfavorable corresponde al carril interior; pero en carreteras con calzadas separadas, puede haber problemas donde haya en la mediana un seto o un muro, si su altura no es suficientemente reducida.

- Otros vehículos.

En ciertas curvas a la derecha se deteriora la visibilidad disponible pues, en ellas, el propio vehículo al que se pretende adelantar puede limitar dicha visibilidad: y ello con radios bastante amplios, en contra de lo que parece a primera vista.

El empleo de estos radios puede animar a maniobras de adelantamiento peligrosas, por lo que sería deseable evitarlo en lo posible: sería mejor emplear, en su lugar, rectas o radios superiores (adelantamiento permitido) o inferiores (adelantamiento claramente imposible) a ciertos límites.

5.2.3 Limitaciones en alzado.

5.2.3.1 Acuerdos verticales convexos.

La visual tangente al pavimento limita la visibilidad.

5.2.3.2 Acuerdos verticales cóncavos.

Aparte del caso en que el tablero de un paso superior dificulte la visibilidad, el único que suele interesar⁽¹⁾ es aquél en que un obstáculo de 30 cm está al final de la zona iluminada por los faros del vehículo.

¹ Pues la presencia de marcas viales transversales de detención, o de divergencias, se debe resaltar mediante un balizamiento reflectante; y los vehículos que circulan tienen luces de posición.

5.3 VISIBILIDAD NECESARIA

5.3.1 Detención ante un obstáculo imprevisto.

La visibilidad necesaria es igual a la suma de la distancia recorrida (a la velocidad inicial) durante un tiempo de percepción y reacción⁽¹⁾, y de la distancia necesaria para la detención mediante la aplicación de los frenos. Se debe partir de la velocidad V_{99} , pero es lícito aplicar una deceleración correspondiente a neumáticos en buen estado y pavimento ligeramente mojado.

5.3.2 Presencia de una divergencia, o detención eventual ante una marca vial transversal en un cruce o en la entrada a una glorieta, o ante un semáforo.

La visibilidad necesaria está determinada por la condición de que la presencia de la divergencia, o de la eventual necesidad de detenerse, sea percibida con antelación suficiente para poder efectuar la maniobra correspondiente con comodidad. Se considera como un mínimo absoluto un tiempo de recorrido de 3,5 segundos, y se recomienda disponer de unos 7 segundos.

5.3.3 Evitación de una colisión con otros vehículos.

5.3.3.1 Cruce.

La visibilidad necesaria para que se pueda cruzar⁽²⁾ otra trayectoria de tráfico está determinada por la condición de que el conductor del vehículo que espera cruzar pueda ver si viene otro vehículo y, en este caso, juzgar si éste se halla a una distancia suficiente para que el primero pueda terminar el cruce antes de que llegue el segundo.

Tras un tiempo de percepción y análisis de unos 3 segundos, el vehículo que esperaba cruza con un movimiento uniformemente acelerado a partir del reposo. El vehículo que se acerca por la trayectoria que va a ser cruzada circula a la velocidad V_{85} (km/h), sin que tenga que modificarla.

¹ Generalmente se admiten 2 segundos.

² Aproximadamente en ángulo recto.

Si el cruce resultase fallido, siempre debe poder detenerse cualquiera de los vehículos, o ambos. Por lo tanto, no deben sufrir interferencias las visuales que queden dentro de un triángulo delimitado por una recta que una las posiciones de dos vehículos que estén a una distancia de la trayectoria estimada del vehículo contrario, igual a:

- La distancia necesaria para detenerse ante un obstáculo imprevisto, si la ordenación de la circulación en el cruce no asigna prioridad de paso, o si ésta es fija.
- La distancia necesaria para una detención eventual, si la ordenación de la circulación asigna una prioridad alternativa mediante semáforos.

5.3.3.2 Convergencia.

La visibilidad necesaria para que un vehículo detenido gire y luego converja a velocidad suficiente con el tráfico de paso se obtiene mediante la aplicación de modelos análogos al considerado en el apartado anterior para el cruce.

5.3.3.3 Adelantamiento.

En carreteras de calzada única, uno de los objetivos funcionales es procurar que la mayoría de los vehículos se pueda desplazar con las mínimas interferencias con otros más lentos a los que tienen que adelantar. Debido a su complejidad, este tema se analiza con más detalle en el apartado siguiente.

6 EL ADELANTAMIENTO

6.1 INTRODUCCIÓN

6.1.1 Factores de riesgo.

Al efectuar un adelantamiento, los conductores deben ser conscientes de que están realizando una maniobra compleja, que implica siempre un cierto riesgo, pues se ocupa temporalmente un carril destinado al sentido contrario de circulación, con posibilidad de colisionar con un vehículo que circule normalmente por él.

Aunque el conductor que pretenda adelantar conozca sus propias posibilidades y las de su vehículo, hay otros factores que debe estimar en cada caso concreto. De ellos, los que más influyen en este riesgo son:

- a) El número, longitud y separación de los vehículos a los que hay que adelantar de una sola vez, que influye en la distancia relativa recorrida durante la maniobra y que, frecuentemente, no se descubre hasta que se inicia ésta. El artículo 54 del RGC acota estas circunstancias, al prescribir que

"... la separación que debe guardar todo conductor de vehículo que circule detrás de otro sin señalar su propósito de adelantamiento, deberá ser tal que permita al que a su vez le siga adelantarlo con seguridad. Los vehículos con peso máximo autorizado superior á 3 500 kg, y los vehículos y conjuntos de vehículos de más de 10 m de longitud total deberán guardar, a estos efectos, una separación mínima de 50 m..."

- b) La velocidad V_0 del conjunto de vehículos al que se pretende adelantar, que influye en la distancia absoluta recorrida durante la maniobra, puesto que es limitada la diferencia de velocidades que el vehículo adelantante puede establecer.

Por ejemplo, si la diferencia media de velocidades entre el vehículo adelantado y el adelantante fuera sólo de 2 km/h, la maniobra requeriría del orden de 100 segundos para realizarse, durante los que un vehículo adelantado que circule á 90 km/h habría recorrido 1,2 km, a los que habría que sumar la distancia recorrida por un posible vehículo que circulara en sentido contrario. Por otro lado, si la diferencia media de velocidades fuera de 10 km/h, las cifras indicadas se dividirían por cinco.

La velocidad V_0 tiene gran importancia: sería muy útil poder informar al conductor de qué valor se ha adoptado para señalar las prohibiciones del adelantamiento en un tramo, o sea, de que tiene una probabilidad razonable de adelantar en condiciones de seguridad a otro vehículo que lleve una velocidad igual o inferior a ésta.

- c) Las condiciones del tramo de carretera que va a recorrer durante el adelantamiento:
- Fundamentalmente, la visibilidad⁽¹⁾, que puede ser limitada tanto por la planta y alzado de la carretera como por el propio vehículo al que se pretende adelantar. Es evidente que cuanto mayor sea la visibilidad disponible, mayor será la proporción de vehículos que podrán completar un adelantamiento: lo cual es muy deseable.
 - La inclinación de la rasante, que disminuye las prestaciones de aceleración si es una rampa, y las de frenado si es una pendiente.
 - La presencia o ausencia de una señalización que prohíba el adelantamiento o avise de la proximidad de la prohibición.
- d) La presencia y, en caso afirmativo, la distancia y velocidad del vehículo *contrario*, que deben ser estimadas a gran distancia y, en su caso, en condiciones adversas de visibilidad⁽²⁾. Una elevada velocidad⁽³⁾ del vehículo contrario es un factor muy desfavorable.

El punto 3 del artículo 85 del RGC prescribe que "... (no se deberá) obligar a otros usuarios a modificar su trayectoria o velocidad..."; pero en la realidad se debe contar con esta posibilidad, en el caso del vehículo contrario, si su velocidad es elevada.

Por parte de los conductores, la estimación de todos estos factores una vez iniciada la maniobra requiere no sólo invertir un cierto tiempo, sino también aceptar el riesgo de que su decisión se base en unas estimaciones equivocadas.

1 Esta visibilidad se puede ver dificultada por circunstancias tales como el deslumbramiento nocturno por los faros de los vehículos contrarios, o la proyección de neblina por el vehículo anterior, en tiempo lluvioso y con pavimento no drenante.

2 De noche, con lluvia, etc.

3 Incluso superior a la máxima autorizada.

6.1.2 Comportamiento de los conductores.

En el Reglamento general de circulación (RGC), se dedica el Capítulo VII del Título II a la maniobra de adelantamiento. Los comportamientos de los conductores están regulados por los artículos 2, 3 y 17 del RGC, los cuales prescriben que

- *"... los usuarios de la vía están obligados a comportarse de forma que no... causen peligro... a las personas o daños a los bienes..."*
- *"... se deberá conducir con la diligencia o precaución necesarias para evitar todo daño, propio o ajeno, cuidando de no poner en peligro tanto al mismo conductor como a los demás ocupantes del vehículo y al resto de los usuarios de la vía..."*
- *...los conductores deberán estar en todo momento en condiciones de controlar sus vehículos..."*

En el caso del adelantamiento, el control se traduce en maniobras evasivas, como la preconizada por el punto 2 del artículo 85 del RGC:

" Si después de iniciar la maniobra de adelantamiento, (el conductor que lo efectúe) advirtiera que se producen circunstancias que pudieran hacer difícil la finalización del mismo sin provocar riesgos, reducirá rápidamente su marcha y regresará de nuevo a su mano... "

Aun con estas precauciones, no siempre observadas, el riesgo implicado no se puede anular: si, por ejemplo, si el adelantamiento ha progresado lo bastante como para que resulte difícil desistir de él y si, en ese momento, el vehículo contrario está a corta distancia y su velocidad es elevada, resultará casi imposible evitar una colisión, a no ser que tengan éxito unas maniobras evasivas en planta en el último momento. Para esto último, la presencia de arcenes de anchura suficiente resulta imprescindible, aunque puede generar una excesiva confianza en esas posibilidades de evasión.

6.1.3 Ayudas al adelantamiento.

Además del obligatorio control de su vehículo, el conductor que pretende adelantar se puede ver ayudado por una señalización que le sirva de

referencia. En algunos países como, por ejemplo, el Reino Unido, esta señalización no existe en la mayoría de los casos; pero en otros como España su presencia es muy frecuente. Aunque parece estar fuera de duda que una prohibición denota que el adelantamiento en ese tramo puede ser peligroso, no lo está tanto que la ausencia de tal prohibición no significa que se pueda adelantar indiscriminadamente. La ausencia de prohibición es una condición necesaria para un adelantamiento, pero puede no ser suficiente.

A la vista de lo expuesto, los criterios de establecimiento de una señalización fija relacionada con el adelantamiento son imposibles de modelizar de forma que sirva a todos los vehículos y conductores, cuyas velocidades, prestaciones y aptitudes son muy diferentes. Cualquier criterio que se establezca tiene un campo de validez limitado. Un ejemplo extremo lo constituyen las carreteras de montaña, en las que resulta difícil establecer un compromiso entre la seguridad y la fluidez de la circulación que se base en una modelización representativa: esto ha llevado, en algunas de ellas, a confiar más en los conductores, no explicitando las prohibiciones⁽¹⁾.

Más que el criterio en sí, para la seguridad de la circulación conviene su uniformidad a nivel nacional, de modo que los conductores puedan confiar en él.

6.2 PROBABILIDAD DE COMPLETAR UN ADELANTAMIENTO

6.2.1 Generalidades.

La presencia de frecuentes y largos tramos en que no haya oportunidades para adelantar a otros vehículos más lentos provoca frustración a los conductores que se ven atrapados tras una "caravana", lo que les incita a transgredir la prohibición.

La frustración de las oportunidades de adelantamiento es particularmente frecuente donde concurren las siguientes circunstancias:

- Terreno con relieve ondulado, especialmente con rasantes descendentes que favorecen la aceleración.
- Población dispersa.

1

En cuanto a la señalización horizontal (marcas viales), o no se pintan en el eje, sino en los bordes de la calzada, o se advierte de que la marca discontinua del eje no representa más que el centro de la calzada. Esta advertencia tiene el inconveniente de su literariedad: mensaje largo, no codificado, incomprensible para extranjeros, y necesariamente reiterado tras la confluencia con otras vías.

- Elevada proporción de viajes de largo recorrido a alta velocidad.
- Proporción apreciable de vehículos lentos, que causan la formación de caravanas.
- Frecuencia de intersecciones y accesos.
- Intensidad de circulación suficientemente alta para restringir el adelantamiento, pero no suficiente para justificar una ampliación o duplicación de la calzada.

En un tramo de carretera⁽¹⁾, la probabilidad de que un vehículo pueda completar un adelantamiento en condiciones de seguridad es igual al producto de dos probabilidades:

- La de que el vehículo esté en una zona en que el adelantamiento sea materialmente posible en esas condiciones.
- La probabilidad de que, en la corriente de tráfico que circula en sentido contrario, haya un intervalo suficiente entre dos vehículos sucesivos⁽²⁾.

6.2.2 Valor mínimo.

El mínimo valor admisible de la probabilidad de completar un adelantamiento depende de la intensidad horaria de circulación en el sentido considerado, y del número máximo de vehículos que se considera aceptable en una caravana⁽³⁾. Si resulta inferior a un cierto límite, se puede considerar que la frustración va a resultar inaceptable.

¹ En todo caso, se debe dotar al tramo de al menos una oportunidad para el adelantamiento.

² Se suele admitir igual á 24 s.

³ Normalmente se considera aceptable una caravana compuesta por entre 4 y 8 vehículos, incluido el lento que la precede.

Para aumentar la probabilidad de que un vehículo pueda completar con éxito un adelantamiento en un tramo determinado se puede, en principio:

- Reducir el número de intersecciones o glorietas, por cierre o desvío, o por su transformación en enlaces.
- Modificar el trazado (sobre todo en planta), para obtener alineaciones rectas más largas o, cuando menos, tramos con mayor visibilidad.
- Establecer carriles adicionales en rampas (o incluso en otros emplazamientos) donde resulten económicamente justificados.

Si tanto la intensidad de la circulación en el sentido considerado como la proporción de vehículos lentos son elevados, el establecimiento de carriles adicionales no resulta tan beneficioso para el nivel de servicio, y sería deseable duplicar la calzada.

En todo caso, es conveniente que la lectura que un conductor haga de la carretera y su entorno (sobre todo en terreno llano, o donde la rasante sea descendente) identifique claramente las zonas en que se puede completar con seguridad un adelantamiento: este requisito debe primar sobre cualquier otro relacionado con la coordinación entre el trazado en planta y en alzado. Donde no se pueda adelantar, tal circunstancia debería también resultar claramente aparente: la longitud de cada tramo en que esto ocurra no debería exceder de un límite comprendido entre 1,5 km (recomendable) y 3 km (máximo absoluto).

6.2.3 Probabilidad de hueco en el tráfico contrario.

La probabilidad de encontrar un intervalo suficiente en el tráfico que circula en sentido opuesto depende de la intensidad horaria de éste.

6.2.4 Posibilidad material del adelantamiento.

La probabilidad de que haya posibilidad material del adelantamiento es igual a la proporción de la longitud del tramo en que, simultáneamente, concurren las circunstancias siguientes:

- El adelantamiento no está prohibido por la señalización.

- La visibilidad disponible es suficiente para completar el adelantamiento aun en presencia de un vehículo contrario. Cuanto mayor sea la visibilidad disponible, mayor será la proporción de vehículos que podrán completar un adelantamiento ya iniciado, si la intensidad de la circulación no lo impide.

6.3 MODELIZACIÓN DEL ADELANTAMIENTO

6.3.1 Generalidades.

La adopción de un modelo, y de unos valores para los parámetros y variables que en él intervienen, constituye un compromiso mediante el cual se pretenden reproducir los complejos fenómenos que rodean el adelantamiento, y que son distintos en función del tiempo y del espacio, y de las numerosas circunstancias que se dan en la conducción.

6.3.2 Casos.

En una maniobra de adelantamiento ya iniciada es preciso distinguir:

- Si el vehículo que pretende adelantar viene ya lanzado desde muy atrás, a una velocidad superior a la del vehículo adelantado, o si, por el contrario, parte del seguimiento de este último a su misma velocidad. Estos dos modos representan los extremos de una gama de posibilidades relativas a la velocidad a la que se inicia la maniobra.
- Si el adelantamiento puede tener éxito, en cuyo caso se completa⁽¹⁾, o si puede resultar fallido⁽²⁾, en cuyo caso se debe desistir de él. Es prudente admitir que el conductor elige entre estos tipos de maniobra cuando (situación de decisión) el morro del vehículo

¹ Antes de cruzarse con un vehículo que venga en sentido contrario, o de llegar a una señal de prohibición del adelantamiento.

² Por haber aparecido un vehículo demasiado próximo o veloz en sentido contrario, o una señal de prohibición del adelantamiento demasiado cercana, u otras circunstancias.

adelantante se halla a una distancia tal de la tr sera del v h culo adelantado, que si desistiera llegaría a emparejarse con ella⁽¹⁾.

Por lo tanto, los casos que hay que considerar son, en general, cuatro:

- Adelantamiento lanzado completado
- Adelantamiento completado a partir del seguimiento
- Adelantamiento lanzado desistido
- Adelantamiento desistido a partir del seguimiento

6.3.3 Elementos básicos de un modelo.

6.3.3.1 Longitud del v h culo adelantado.

Se suele considerar a un solo v h culo adelantado, en consonancia con el artículo 54 del RGC, el cual prescribe que *"... la separación que debe guardar todo conductor de v h culo que circule detrás de otro sin señalar su propósito de adelantamiento, deberá ser tal que permita al que a su vez le siga adelantarlo con seguridad. Los v h culos con peso máximo autorizado superior   3 500 kg, y los v h culos y conjuntos de v h culos de más de 10 m de longitud total deberán guardar, a estos efectos, una separación mínima de 50 m..."*

6.3.3.2 Separación entre v h culos adelantante y adelantado.

El punto 1 del artículo 54 del RGC prescribe *"... un espacio libre que... permita detenerse en caso de frenado brusco, sin colisionar... teniendo en cuenta especialmente la velocidad y las condiciones de adherencia y frenado..."*. Hay que tener en cuenta que la detención del v h culo adelantado no es instantánea.

¹ Esta posición representa el comportamiento de la mayoría de los conductores, y proporciona un cierto margen de seguridad respecto de aquélla (en la que el v h culo adelantador ha avanzado más) en que se igualan los tiempos de ocupación del carril contrario en uno y otro caso (completar o desistir).

Este espacio es el que, como mínimo, debe quedar entre los vehículos adelantante y adelantado tras completar la maniobra de adelantamiento, o para iniciar el repliegue después de desistir de aquél.

6.3.3.3 Período de análisis.

Según el punto 1 del artículo 84 del RGC, *"antes de iniciar un adelantamiento... el conductor que se proponga adelantar deberá... comprobar que existe espacio libre suficiente para que la maniobra no ponga en peligro ni entorpezca a quienes circulen en sentido contrario, teniendo en cuenta la velocidad propia y la de los demás usuarios afectados. En caso contrario deberá abstenerse de efectuarla. Ningún conductor deberá de adelantar a varios vehículos, si no tiene la total seguridad de que, al presentarse otro en sentido contrario, puede desviarse hacia el lado derecho sin irrogar perjuicios o poner en situación de peligro a alguno de los vehículos adelantados..."*.

En definitiva, el conductor del vehículo que pretende adelantar debe comprobar si viene otro vehículo por el carril contrario y, en caso afirmativo, valorar su velocidad y distancia. No es que, una vez iniciado el adelantamiento, surja de repente el vehículo contrario como *deus ex machina*: en condiciones favorables¹⁾ el vehículo contrario es percibido desde el instante inicial de la maniobra.

En una situación de seguimiento del vehículo adelantado, durante el tiempo invertido en la percepción de la situación y en su análisis, aquél limita la velocidad del vehículo adelantante, que le sigue durante un cierto trecho en caravana. Si, por el contrario, el vehículo adelantante ya viene lanzado por el carril normalmente reservado al sentido contrario, se puede considerar que el conductor ya viene atento a la posible presencia, distancia y velocidad de un eventual vehículo contrario.

6.3.3.4 Velocidad del vehículo adelantado.

El vehículo adelantado circula a una velocidad V_0 constante: el punto 2 del artículo 86 del RGC *"... prohíbe al conductor del vehículo que va a ser adelantado aumentar la velocidad... (y dicho conductor) también estará obligado a disminuir la velocidad de su vehículo cuando, una vez iniciada la maniobra de adelantamiento, se produzca una situación que entraña peligro para su propio vehículo, para el vehículo que la está efectuando, para los que circulan en sentido contrario o para cualquier otro usuario de la vía..."*. No

1

Una recta muy larga con amplia visibilidad.

considerar esta posible disminución de la velocidad está del lado de la seguridad.

La velocidad V_0 se debe tomar igual a una cierta fracción α de la V_{85} : se trata de adelantar a un vehículo lento, y considerar valores de α próximos a la unidad lleva a que los vehículos que circulan en el entorno de V_{85} , y que pretenden adelantar, necesiten disponer de una visibilidad muy elevada.

6.3.3.5 Velocidad inicial del vehículo adelantante.

Si el adelantamiento se inicia a partir de una situación de seguimiento del vehículo adelantado, la velocidad inicial del vehículo adelantante será igual a la de aquél, V_0 .

Por el contrario, se puede considerar que la velocidad a la que se llega lanzado es constante e igual a V_{85} : no parece razonable, desde el punto de vista de la seguridad, considerar velocidades superiores, de las que resultan menores tiempos y distancias de adelantamiento.

6.3.3.6 Fase inicial.

El punto 1 del artículo 85 del RGC prescribe que "*durante la ejecución del adelantamiento, el conductor que lo efectúe deberá llevar su vehículo a una velocidad notoriamente superior a la del que pretende adelantar...*"

En una situación de seguimiento del vehículo adelantado, a partir del final del análisis el vehículo adelantante acelera, a partir de la velocidad inicial V_0 , hasta la situación de decisión. Si el vehículo adelantante llega lanzado a velocidad suficiente⁽¹⁾, no es preciso acelerar.

6.3.3.7 Momento de decisión:

El momento de decisión (completar el adelantamiento o desistir de él) para el conductor del vehículo adelantante coincide con que su morro se halle a cierta distancia de la trasera del vehículo adelantado. Esta distancia ha de ser suficiente para que, si en ese momento se decide desistir del adelantamiento, el morro del vehículo adelantante no llegue a rebasar la trasera del

1

Téngase en cuenta que V_{85} es superior a V_0 .

vehículo adelantado: una vez rebasada, el conductor ya no optará por desistir del adelantamiento, sino que intentará completarlo "como sea".

6.3.3.8 Adelantamiento completado.

Si se decide completar el adelantamiento, el vehículo adelantante seguirá con el mismo tipo de movimiento que tenía durante la fase inicial hasta que, como prescribe el punto 3 del artículo 85 del RGC, "... (pueda) reintegrarse a su carril tan pronto como le sea posible y de modo gradual, sin obligar a otros usuarios a modificar su trayectoria o velocidad...".

Estudios realizados en el Reino Unido⁽¹⁾ han demostrado que, en la práctica, el tiempo que dura una maniobra de adelantamiento completado⁽²⁾ se distribuye según muestra la Tabla #4. De esta distribución se puede deducir la de las aceleraciones medias movilizadas durante un adelantamiento completado.

TABLA #4

DISTRIBUCION DE LA ACELERACION MOVILIZADA
EN UN ADELANTAMIENTO COMPLETADO
(recorrido relativo: 27 m)

| Tiempo de aceleración (s) | 5 | 7 | 10 | 14 |
|---|-----|-----|-----|-----|
| Aceleración [(km/h)/s] | 7,8 | 4,0 | 1,9 | 1,0 |
| Proporción de vehículos que completan un adelantamiento movilizandando una aceleración igual o superior | 15 | 50 | 85 | 99 |

La distribución de la Tabla #4 proporciona una indicación de cuáles son las aceleraciones movilizadas en adelantamientos completados. Como en otras ocasiones, es preciso establecer un compromiso sobre el valor representativo de la distribución, en base al cual se deducen los demás parámetros del modelo:

¹ Realizados por el Transport and Road Research Laboratory, sin publicar, y citados en la Departmental Advice Note TA 43/84 "Highway Link Design".

² Comprende la fase inicial (excepto el período de percepción y análisis) y la de completar el adelantamiento, es decir, toda la aceleración.

- Si se adopta un valor muy bajo, se estará dando la posibilidad de adelantar sólo a vehículos de mayores prestaciones y con conductores más diestros, en detrimento de la seguridad.
- Si el valor es muy alto, se estará perjudicando la fluidez de la circulación.

Parece razonable que la modelización del adelantamiento se refiera a una fracción sólo superada por un 15 % de los conductores, o sea, a una aceleración de 1,9 (km/h)/s, correspondiente a que una duración de 10 s; pero sin que esto constituya un estándar inamovible.

6.3.3.9 Adelantamiento desistido.

Si se decide desistir del adelantamiento, a partir del momento de decisión el vehículo adelantante inicia una deceleración uniforme y deliberada, mientras el adelantado prosigue su movimiento uniforme. La deceleración cesa cuando se recupera una posición análoga a la de seguimiento, pero con el vehículo adelantante todavía en el carril contrario. A partir de este momento, se produce su repliegue o vuelta al carril derecho, a velocidad constante.

El valor de la deceleración que se considere para el caso de desistir del adelantamiento debe ofrecer un cierto margen de seguridad respecto de la resistencia al deslizamiento longitudinal a velocidades elevadas, con neumáticos en buen estado y pavimento ligeramente mojado, aunque sea superior al correspondiente a una maniobra deliberada mediante una suave aplicación de los frenos.

6.3.3.10 Comportamiento del vehículo contrario.

El vehículo contrario circula inicialmente a una velocidad constante. Aunque los conductores de los vehículos más rápidos suelen estar más atentos (por lo que se reduce el tiempo de percepción y análisis) y sus vehículos son capaces de prestaciones de frenado más elevadas, queda del lado de la seguridad adoptar V_{99} en lugar de V_{85} , puesto que no se deja desprotegidos a un 15 % de los vehículos.

Aunque el punto 3 del artículo 85 del RGC prescriba que el vehículo contrario no debería modificar su velocidad, en las circunstancias definidas⁽¹⁾ parece prudente considerar que, una vez transcurrido un período de percep-

1

Se está partiendo de V_{99} y no de V_{85} .

ción y análisis por parte de su conductor, éste decelera y ajusta su velocidad para no cruzarse con el vehículo adelantante antes de que éste haya terminado su maniobra.

El valor de la deceleración que se considere para el ajuste de la velocidad del vehículo contrario, debe ofrecer un cierto margen de seguridad respecto de la resistencia al deslizamiento longitudinal a velocidades elevadas, con neumáticos en buen estado y pavimento ligeramente mojado, aunque sea superior al correspondiente a una maniobra deliberada mediante una suave aplicación de los frenos.

6.3.4 Visibilidad necesaria.

Para que un adelantamiento se pueda completar, o se pueda desistir de él, en condiciones aceptables de seguridad es preciso que, a partir del momento de decisión, el conductor de un eventual vehículo adelantante no deje de ver a un eventual vehículo contrario, de manera que éste pueda ajustar su velocidad de forma que no se cruce con aquél antes de que la maniobra se termine. Esto equivale a no dejar de disponer de una visibilidad mutua⁽¹⁾ no inferior a la suma de:

- La distancia que recorrerá el vehículo adelantante para terminar la maniobra.
- La distancia recorrida por el vehículo contrario durante ese tiempo.

Donde se disponga de una visibilidad inferior a la necesaria para completar el adelantamiento,

- o bien será necesario movilizar una aceleración superior,
- o bien sólo podrá completar el adelantamiento cuando:
 - no haya vehículo contrario,
 - o éste se halle suficientemente lejos,
 - o su velocidad sea reducida;

¹ La altura sobre el pavimento es igual en ambos casos: 1,20 m. En este caso, la visibilidad se refiere a que el vehículo adelantante esté en el carril contrario.

- o bien habrá que desistir del adelantamiento iniciado.

Donde se disponga de una visibilidad inferior a la necesaria para desistir del adelantamiento, sólo se podrá desistir cuando:

- no haya vehículo contrario,
- o éste se halle suficientemente lejos,
- o su velocidad sea reducida.

6.4 DEFINICIÓN DE ZONAS DE PREAVISO Y DE PROHIBICIÓN DEL ADELANTAMIENTO

6.4.1 Generalidades.

Hay que recordar que:

- Cualquier criterio relacionado con la prohibición o permiso del adelantamiento supone no sólo la aceptación de unas hipótesis, sino también un compromiso entre la capacidad y la seguridad de la circulación.
- Se pueden considerar dos parejas de casos posibles en relación con el conductor del vehículo adelantante:
 - * Su llegada a la posición de decisión a partir del seguimiento del vehículo adelantado, o bien lanzado desde más atrás, a una velocidad superior (modos de iniciación del adelantamiento).
 - * Su decisión de completar el adelantamiento, o de desistir de él (tipos de maniobra).

6.4.2 Zonas de preaviso.

La señalización prevista en el Reglamento general de circulación sólo se refiere a la prohibición del adelantamiento, mediante señales verticales y marcas viales longitudinales continuas, cuyo objeto es impedir que un vehículo circule por el carril reservado al sentido contrario de circulación.

Sin embargo, ya desde la Orden circular 8.2-IC "Marcas viales" (1962), y aún más por la Norma 8.2-IC "Marcas viales" (1987), se definieron unas marcas viales⁽¹⁾ destinadas a anunciar la proximidad de una prohibición del adelantamiento: marcas longitudinales discontinuas de mayor longitud y menor vano y, sobre todo, flechas de retorno.

Se puede, así, matizar la prohibición sin contravenir el Reglamento general de circulación, definiendo una zona de preaviso, en la que el comportamiento de los conductores no está regulado explícitamente. Sin embargo, la experiencia demuestra que la lectura que los conductores hacen de este preaviso es del siguiente tenor:

"... se acerca una zona de visibilidad restringida, como consecuencia de la cual el adelantamiento va a estar prohibido, mis posibilidades relacionadas con él se van a ver coartadas, y alguna maniobra puede ser crítica..."

Las consecuencias son también dobles:

- Se completan los adelantamientos iniciados con anterioridad.
- No se inician adelantamientos nuevos⁽²⁾, sobre todo a partir del seguimiento del vehículo adelantado.

Una definición segura del principio de la zona de preaviso debe permitir que, antes de llegar a ella, el conductor del vehículo adelantante pueda realizar cualquiera de los dos tipos de maniobra (completar o desistir) a partir de cualquier modo de iniciación (seguimiento o lanzado), sin necesidad de conocer cuál de los cuatro casos (que resultan de combinar los dos modos de iniciación con los dos tipos de maniobra) es el crítico. Más allá del principio de la zona de preaviso sólo se podrán realizar maniobras no críticas.

6.4.3 Prohibición del adelantamiento.

También es importante destacar la diferencia entre la situación al principio y al final de la zona de prohibición del adelantamiento:

1 Marcas longitudinales discontinuas M-1.9 y M-1.10, y flechas de retorno M-5.5.

2 A no ser que las condiciones sean excepcionalmente favorables como, por ejemplo, adelantar a un vehículo muy lento.

- Si se relaciona el principio de una prohibición del adelantamiento con la sección en que se deja de disponer de una visibilidad¹⁾ suficiente para efectuar una maniobra, es evidente que la prohibición no puede empezar en esa misma sección determinante; sino que, antes de llegar a la prohibición, debe haber espacio suficiente para efectuar esa maniobra sin transgredirla.
- Al final de una prohibición del adelantamiento, el modo más crítico corresponde al seguimiento del vehículo adelantado (es imposible, salvo una poco frecuente transgresión de la prohibición, el modo de adelantamiento lanzado).

La situación más crítica al principio de la zona de prohibición corresponde a que precisamente en ella se crucen el vehículo adelantante y el vehículo contrario. Para que se dé esta circunstancia, en cualquiera de los cuatro casos considerados es preciso que, en el momento de la decisión, la visibilidad mutua sea igual a la suma de la distancia necesaria para que el vehículo adelantante termine su maniobra (sea cual fuere el tipo de ésta), y del recorrido del vehículo contrario. Una vez considerados los cuatro casos, el que proporcione una posición más avanzada del principio de la prohibición será el crítico que determinará dicha posición.

En la práctica, la situación del vehículo contrario no difiere mucho entre los cuatro casos posibles. Esto lleva a predecir, sin tener que realizar el análisis descrito, cuál de los cuatro casos es el crítico: aquél al que corresponda un mayor recorrido del vehículo contrario.

La sección determinante, o posición más avanzada del vehículo adelantante (a la que corresponde la visibilidad necesaria definida), se debe situar a tal distancia del principio de la prohibición del adelantamiento, que pueda terminar su maniobra en el caso crítico. Si se admite²⁾ que la visibilidad disminuye linealmente a medida que se avanza, la visibilidad mínima en el principio de la prohibición del adelantamiento se obtiene restando dicha distancia de la visibilidad necesaria en la sección determinante.

¹ Definida... ¡en el momento de decisión!

² Lo que no siempre es correcto.

Además de la limitación de la visibilidad debida a las características del trazado, es preciso tener en cuenta otras causas de prohibición del adelantamiento:

- Las pérdidas de visibilidad en ciertas curvas a la derecha, causadas por la presencia del vehículo adelantado. Se puede considerar la visibilidad queda limitada a partir de la tangente de entrada de la curva: por lo tanto, la prohibición del adelantamiento empieza en dicha tangente.
- La presencia de isletas divisorias o de la entrada a una glorieta: la prohibición del adelantamiento se debe iniciar antes de la nariz de la isleta divisoria, o de la marca vial transversal de la entrada a la glorieta.

6.4.4 Final de la zona de prohibición.

Al finalizar una zona de prohibición del adelantamiento, dando paso a una zona de adelantamiento permitido, se puede suponer que el conductor del vehículo adelantante iniciará la maniobra en ese mismo final, forzosamente en el modo de seguimiento del vehículo adelantado. Para que pueda empezar un adelantamiento, en ese momento inicial debe disponer de una visibilidad suficiente para las siguientes maniobras:

- Desistir del adelantamiento, en presencia de un vehículo contrario.
- Completar el adelantamiento, en presencia de un vehículo contrario.

En ambos casos, esa visibilidad es igual a la suma de la visibilidad necesaria en el momento de decisión, y de la distancia recorrida desde la posición de seguimiento hasta dicho momento de decisión.

Aquí también se deben tener en cuenta las limitaciones de visibilidad en ciertas curvas a la derecha:

- Teniendo en cuenta que la visibilidad termina en la tangente de entrada.
- No terminando una zona de prohibición antes de la tangente de salida.

6.4.5 Distancia mínima entre dos prohibiciones consecutivas.

Si la distancia entre el final de una prohibición del adelantamiento y el inicio de la siguiente es inferior a la necesaria para iniciar y completar el adelantamiento en el modo de seguimiento, se deben unir ambas prohibiciones: pues un vehículo que iniciara un adelantamiento justamente al final de la primera prohibición no dispondría de distancia suficiente para completarlo antes de alcanzar el principio de la segunda.

Aquí también se deben tener en cuenta las prohibiciones del adelantamiento causadas por la presencia de isletas divisorias o marcas viales transversales de acceso a glorietas.