



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Introducción al Diseño Geométrico de Carreteras: Concepción y Planteamiento

Apellidos, nombre	García García, Alfredo ¹ (agarciag@tra.upv.es) Pérez Zuriaga, Ana María ² (anpezu@tra.upv.es) Camacho Torregrosa, Fco. Javier ³ (fracator@tra.upv.es)
Departamento	^{1,2,3} Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes
Centro	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

1 Resumen

El diseño geométrico de una carretera supone la parte más importante de su concepción y proyecto, ya que permite establecer su disposición espacial más adecuada sobre el territorio, para que se adapte a sus características y condicionantes; pero a su vez pueda facilitar una accesibilidad y movilidad de las personas y las mercancías que sea segura, cómoda, sostenible y en unos tiempos que estén proporcionados a la magnitud de la demanda de movilidad, es decir, que sea funcional y eficaz a un coste razonable.

El diseño geométrico se lleva a cabo mediante un proceso de diseño iterativo, donde se va construyendo la geometría de la carretera a través de un modelo espacial que continuamente se evalúa, según todos los condicionantes y objetivos del diseño, para proceder a introducir modificaciones continuas en el mismo, buscando la optimización de la realidad física y funcional final.

2 Objetivos

El objetivo principal es que se comprenda cómo se concibe una carretera a través de su diseño geométrico, y el planteamiento que conlleva, teniendo en cuenta todos los factores propios del territorio por donde trazar la carretera y los criterios del diseño, intentando satisfacer al máximo los diferentes objetivos del diseño.

Además, se aprenderá con más detalle: cada uno de los objetivos del diseño geométrico de una carretera, los factores o condicionantes externos y los factores o criterios propios del diseño.

3 Introducción

El diseño geométrico es la parte más importante del proyecto de una carretera, estableciendo en base a los condicionantes o factores existentes la configuración geométrica definitiva del conjunto tridimensional que supone, para satisfacer al máximo los objetivos fundamentales, es decir, la funcionalidad, la seguridad, la comodidad, la integración ambiental en su entorno, la armonía o estética, la economía y la elasticidad de la solución final.



Para ello, hay que llevar a cabo un proceso de diseño iterativo, donde se va conformando la geometría de la carretera a través de un modelo tridimensional (figura 1) que continuamente se evalúa, según todos los condicionantes y objetivos del diseño, para proceder a modificaciones en el mismo, buscando la optimización de la realidad física y funcional final.



Figura 1. Modelo tridimensional de la carretera

4 Objetivos del diseño geométrico

Con el diseño geométrico hay que intentar lograr todos los objetivos del mismo, que son: la funcionalidad, la seguridad, la comodidad, la integración ambiental, la armonía o estética, la economía y la elasticidad de la solución final. Pero no todos ellos están en correspondencia, sino que algunos de ellos son contrapuestos. Por tanto, en la evaluación del diseño geométrico habrá que llevar a cabo un balance conjunto entre los diferentes objetivos que tengan un efecto contrario. Por ejemplo, una solución del diseño geométrico que suponga menores pendientes longitudinales supondrá una mejor funcionalidad, al facilitar la evolución de los vehículos, con un menor coste de funcionamiento de los mismos, pero lo mas normal, ante orografías que no sean llanas, será que haya un mayor coste de ejecución al haber mayores movimientos de tierras y una menor integración ambiental al aparecer mayores taludes y ocupaciones de terrenos.

La **funcionalidad** vendrá determinada por el tipo de vía a proyectar y sus características, así como por el volumen y propiedades del tráfico que se estime pueda recorrerla cuando esté en servicio, permitiendo una adecuada movilidad por el territorio a los usuarios y mercancías a través de una suficiente velocidad de recorrido del conjunto de la circulación. Esto supone realizar previamente un estudio de estimación de la demanda de tráfico y, en paralelo al diseño, un estudio de capacidad y nivel de servicio del tráfico para asegurar que durante el



periodo de vida de la carretera (normalmente 20 años) se pueda ofrecer una adecuada calidad de la circulación.

La **seguridad vial** ha de ser la premisa básica en cualquier diseño viario, inspirando todas las fases del mismo, hasta las mínimas facetas, reflejada principalmente en la simplicidad y uniformidad de los diseños, para que sean fácilmente perceptibles por los conductores y así puedan adaptar gradualmente su comportamiento a lo largo de la carretera. La seguridad no se logra limitándose a cumplir las normas de diseño geométrico porque estas tienen en cuenta e incorporan, de forma explícita o implícita, el resto de los objetivos, especialmente el económico. Hay que llevar a cabo una estimación de los efectos operacionales de la geometría que estemos planteando para analizar la evolución previsible de los vehículos y el comportamiento de los conductores; esto supone el análisis basado en la seguridad sustantiva.

La **comodidad** de los usuarios de los vehículos debe incrementarse en consonancia con la mejora general de la calidad de vida, reduciendo las aceleraciones y, especialmente, sus variaciones, que minoran el confort de los ocupantes de los vehículos. Todo ello ajustando las curvaturas de la geometría y sus transiciones a las velocidades de operación por las que optan los conductores a lo largo de los trazados. Esto afecta sobre todo al diseño adecuado de las curvas horizontales y, en menor medida, a las curvas verticales.

La **integración en su entorno** ha de procurar minimizar los impactos ambientales, teniendo en cuenta el uso y valores del territorio y los suelos afectados, siendo básica la mayor adaptación física posible a la orografía existente. Así se lograrán reducir las excavaciones y rellenos, así como los puentes y viaductos, redundando en una menor ocupación de terrenos y en unas barreras físicas y visuales menos intrusivas. Es muy importante considerar la integración ambiental como objetivo fundamental a tener en cuenta en el diseño, y no como una necesidad de corrección a posteriori de los impactos generados. La mayor parte de los proyectos de carretera suponen la necesidad de llevar a cabo la declaración de impacto ambiental (DIA).

La **armonía o estética** de la obra resultante tiene dos posibles puntos de vista: el exterior o estático, relacionado con la adaptación paisajística ya mencionada, y el interior o dinámico, vinculado con la comodidad visual del conductor ante las perspectivas cambiantes que se agolpan en sus pupilas y pueden llegar a provocar fatiga o distracción, motivo de peligrosidad. Hay que obtener un diseño geométrico conjunto que ofrezca al conductor un recorrido fácil y agradable, exento de sorpresas y desorientaciones. Lo ideal es lograr una carretera autoexplicativa, es decir, que su percepción sea simple para el conductor e interprete de forma rápida y clara cómo ha de adaptarse a él.

La **economía** o el menor coste global posible, tanto de la ejecución de la obra, como de la explotación futura de la misma, alcanzando siempre una solución de compromiso con el resto de objetivos o criterios. Aunque en la fase de diseño se controlan directamente los volúmenes de las diferentes unidades de obra (excavaciones, rellenos, etc.), se requiere en la evaluación y comparación de las soluciones la estimación de los costes de operación de los vehículos, sobre todo relacionados con diferencias en la longitud a recorrer en el tramo y en las pendientes longitudinales que hacen que los consumos puedan variar.

La **elasticidad** de la solución final permitiría la acomodación de futuras ampliaciones o mejoras, siempre y cuando estas sean previsibles en un plazo



razonable de tiempo. Este objetivo debe ser de aplicación cuando se diseñan carreteras de calzada única que sean una primera fase de una autovía o autopista. También puede ser conveniente al diseñar una autovía o autopista contemplando que a medio plazo, antes de agotar su vida útil, precise la ampliación de un carril en cada calzada, que puede ganarse por el centro si hay una mediana suficientemente ancha, o por el exterior ampliando la ocupación.

5 Factores o condicionantes del diseño geométrico

Los factores o condicionantes del diseño a tener en cuenta son muy variados, pero se pueden agrupar en **externos** o previamente existentes, correspondientes al territorio por donde se quiere trazar la carretera, e **internos** o propios de la vía y su diseño.

5.1 Factores externos

Los factores externos están relacionados, entre otros aspectos, con la orografía del terreno natural, la constitución geológica y geotécnica del mismo, el volumen y características de la circulación actual y su estimación futura, los valores ambientales del territorio, la climatología e hidrología de la zona, las actuaciones urbanísticas existentes y previstas, los parámetros socio-económicos del área y la estructura parcelaria de las propiedades. Toda esta información siempre es básica y previa al inicio del diseño geométrico, por lo que hay que empezar recopilando o extrayendo todos los datos precisos, para analizarlos y establecer las conclusiones y parámetros que puedan afectar y condicionar realmente el diseño.

Nunca se debe arrancar el diseño geométrico de una carretera cuando se disponga tan solo de la cartografía, porque el trazado que vayamos desplegando sobre el territorio tiene grandes probabilidades de verse condicionado o coartado por las restricciones que vayan aflorando al avanzar en el estudio de los diferentes factores externos.

5.2 Factores internos

Los factores internos del diseño contemplan las velocidades a tener en cuenta para el mismo, los efectos operacionales de la geometría especialmente vinculados con la seguridad exigible y los relacionados con la estética y armonía de la solución. Los efectos operacionales de la geometría de la carretera vinculados con la seguridad afectan a la visibilidad necesaria para poder efectuar las maniobras que se desarrollan habitualmente en el manejo de los vehículos, a la necesaria estabilidad de los vehículos en su circulación a lo largo de las curvas y a la consistencia u homogeneidad de los diseños para garantizar al conductor unas evoluciones graduales y sencillas, que no conlleven sorpresas repentinas con respecto a lo esperado o deseado por el mismo.

5.2.1 Velocidades en el diseño

En el diseño geométrico de carreteras la velocidad que podrán desarrollar los vehículos sobre la vía es un parámetro fundamental y básico. La cuestión primordial estriba en cual es la velocidad más apropiada en la que se debe basar el trazado. Históricamente el criterio clásico ha sido seleccionar y aplicar la



velocidad de proyecto (internacionalmente conocida como velocidad de diseño), tal y como fue definida y adoptada en Estados Unidos en 1936 (Barnett, J.), suponiendo que todos los vehículos van a circular y mantener uniformemente esa velocidad a lo largo de la vía. Su selección se basa principalmente en la clase o tipo de carretera y en las características orográficas y urbanísticas del entorno. Su aplicación permite establecer la referencia mínima para algunos parámetros básicos del diseño, como el radio mínimo de las curvas y las distancias de visibilidad necesarias para determinadas maniobras a lo largo de la vía.

Durante las dos últimas décadas en algunos países se ha reexaminado el concepto clásico y revisado los métodos para tener mejor en cuenta las disparidades manifiestas entre la velocidad de proyecto y las velocidades normales de operación que desarrollan los conductores, especialmente en carreteras convencionales (de una sola calzada) rurales. Mientras que el concepto de velocidad de proyecto fue desarrollado en el convencimiento de que los conductores circularían a dicha velocidad, sin comprobación alguna, las velocidades de operación observadas y entendidas como aquellas a las que los conductores optan para manejar sus vehículos, son en muchos casos discordantes con el criterio clásico.

Por todo ello, aunque la velocidad de proyecto sigue siendo un concepto y parámetro básico, aparecen interesantes diferencias en su selección y aplicación, al basarla más directamente en el comportamiento real previsible de los conductores, satisfaciendo las expectativas de los mismos. Teniendo en cuenta que los conductores optan por un determinado nivel de velocidad en función del tipo de carretera por la que circulan y sus características geométricas, condicionados también por la configuración física de la orografía y los desarrollos urbanísticos del entorno, la selección de la velocidad de proyecto ha de aproximarse lo máximo posible a ese nivel esperado, por lo que se establecen unos rangos de posibles velocidades de proyecto para cada tipo de carretera y orografía, sin mucha holgura, para ofrecer una geometría que se acomode a las expectativas razonables de los conductores y, por tanto, sea segura y cómoda.

El resto de factores y los criterios u objetivos del diseño condicionarán la selección definitiva de la más adecuada velocidad de proyecto, entre ellos el volumen de tráfico esperado. El que haya un mayor o menor nivel de demanda de tráfico no afecta las velocidades que pueden llegar a desarrollar los vehículos a efectos de garantizarles con la geometría su seguridad y comodidad en la circulación, puesto que las situaciones más comprometidas o críticas se producirán siempre con vehículos ligeros, que son los que pueden desarrollar velocidades mayores, y circulación libre, es decir, turismos circulando en solitario o con suficiente hueco con respecto al precedente, para que así sea el conductor, en función de las características físicas que percibe de la carretera y su entorno, el que elige con libertad la velocidad que considera adecuada en cada lugar y momento. Lo que si justificará el nivel de demanda de tráfico previsible, sin lugar a dudas, es una mayor o menor funcionalidad y, por tanto, rentabilidad global de la inversión.

Se hace inevitable una adecuada **tramificación de la carretera** a diseñar para que las diferentes velocidades de proyecto seleccionadas se ajusten a las características mencionadas en cada tramo, siendo imprescindible que los tramos tengan una longitud mínima suficiente (2 km) para que el conductor pueda hacer la lectura apropiada de la vía y su entorno, traduciéndola en un nivel de velocidades de operación acorde con la velocidad de proyecto utilizada, escalonando progresivamente las distintas velocidades de proyecto de los



sucesivos tramos para favorecer la acomodación a las nuevas condiciones, evitando así los cambios bruscos.

Como la velocidad de proyecto se aplica para la determinación de las características mínimas de los parámetros básicos de la geometría, siempre se ha considerado conveniente la utilización de valores superiores cuando fuera posible, a pesar de seguir suponiendo que la circulación se produciría a dicha velocidad. Así se provocan velocidades de operación en algunas partes de la vía superiores a la velocidad de proyecto, debido a que los conductores observan un trazado de condiciones más suaves que las mínimas o estrictas, por lo que se les invita a circular a una mayor velocidad. De esta forma se consumen los márgenes de seguridad disponibles, pudiendo llegarse a agotar con la peligrosidad que ello supone.

Por tanto, aunque la velocidad de proyecto siga siendo el parámetro básico e inicial del diseño geométrico, seleccionada estrechamente con las condiciones físicas de la vía y su entorno y, por tanto, con el nivel de velocidad al que van a desear operar los conductores, y que nos condiciona las características mínimas de los parámetros geométricos, no se puede seguir suponiendo que los conductores van a hacer circular siempre sus vehículos manteniendo esa velocidad, por lo que hay que estimar las **velocidades de operación** que pueden llegar a desarrollar a lo largo de cada uno de los elementos del trazado, diseñándolos en correspondencia con ellas y así garantizar la seguridad y comodidad de los usuarios de la carretera. Internacionalmente se acepta como velocidad de operación de un elemento del trazado aquella velocidad de los vehículos ligeros circulando en flujo libre que sólo es superada por el 15% de los mismos, es decir, el percentil 85 de la distribución de las velocidades individuales de vehículos ligeros en flujo libre.

Como una primera aproximación a las velocidades de operación se pueden emplear las **velocidades específicas** de cada uno de los elementos geométricos, por ejemplo, de curvas en planta, siendo estas las velocidades inferidas de las características geométricas resultantes en base a los mismos criterios de comodidad y seguridad considerados para la aplicación de la velocidad de proyecto. Es decir, que la velocidad específica de una determinada curva con radio superior al mínimo correspondiente a la velocidad de proyecto del tramo, será equivalente a la velocidad de proyecto que tuviera asociado ese radio como mínimo. Igualmente ocurriría con otro tipo de elementos del diseño. Así, la velocidad específica se corresponde con la **velocidad de diseño inferida** para un elemento del trazado concreto.

Por tanto, habrá toda una sucesión de velocidades específicas asociadas a cada uno de los elementos geométricos, no pudiendo ser nunca inferiores a la velocidad de proyecto del tramo. Diseñando con las diferentes velocidades específicas siempre se mantendrán los márgenes de comodidad y seguridad dentro de cada elemento. Por ejemplo, estableciendo el peralte correspondiente a una curva de un determinado radio en base a su velocidad específica y no en función de la velocidad de proyecto que puede llegar a ser muy inferior.

Para una mejor estimación de las velocidades de operación de los diferentes elementos geométricos a lo largo de la carretera hay que apoyarse en el uso de modelos, evidentemente empíricos, que tengan en cuenta todos o algunos de los parámetros involucrados en la elección, por parte del conductor, de una determinada velocidad para operar su vehículo, relacionados con las



características físicas o geométricas de la carretera y su entorno. Se ha comprobado en diversos estudios e investigaciones que las velocidades de operación reales superan habitualmente a las velocidades específicas en carreteras rurales con velocidades de proyecto no superiores a 90 km/h, sobre todo con la mejora paulatina que se ha producido en las prestaciones de los vehículos ligeros y su diseño ergonómico. Es en esos casos donde se hacen más necesarias unas estimaciones de las velocidades de operación adecuadas a las condiciones particulares o locales de cada país, abordando y desarrollando las investigaciones empíricas correspondientes, con sus revisiones periódicas.

En España ya se disponen de estas herramientas complementarias al diseño geométrico, que permiten estimar las consecuencias operacionales de un determinado trazado, a través del desarrollo, mediante modelos y reglas de construcción, del perfil de velocidades de operación correspondiente. Así se puede efectuar una evaluación operacional del diseño geométrico, yendo más allá de una simple verificación geométrica como hasta ahora. Estas herramientas de análisis se han de aplicar a cada tanteo del diseño geométrico, dentro del proceso iterativo de mejora y perfeccionamiento del diseño buscando la solución óptima.

5.2.2 Visibilidades en el diseño

Los conductores precisan de suficiente visibilidad para desarrollar con seguridad y comodidad las maniobras necesarias en la conducción de los vehículos, relacionadas especialmente con la detención o **parada** ante la presencia de un posible obstáculo sobre la calzada, el **adelantamiento** de otros vehículos más lentos, el **cruce** o la incorporación a otra carretera, la **orientación** y anticipación ante situaciones complejas o inesperadas, y el **esquivamiento** de otro vehículo en sentido contrario cuando la calzada es estrecha.

Con el diseño geométrico hay que lograr unas distancias de visibilidad disponibles siempre superiores a las distancias de visibilidad necesarias para las diferentes maniobras que se pueden dar. La visibilidad disponible en cada punto dependerá de la configuración geométrica que le demos a la carretera y su inserción en el terreno y su entorno, pudiendo aparecer las restricciones de visibilidad dentro de la carretera, como en la parte alta de una curva vertical convexa, o por elementos situados en la margen, como taludes, muros, plantaciones, etc.

En el caso de la maniobra de parada, se trata de una maniobra de emergencia, impuesta al conductor porque no depende de él que aparezca un obstáculo sobre la calzada, por lo que se debe garantizar la distancia de visibilidad de parada en cualquier punto de la carretera, condicionada principalmente por las correspondientes velocidades de operación o específicas de cada elemento y no por la velocidad de proyecto, teniendo en cuenta los razonamientos anteriores. En cambio, en la mayoría de las normas o guías de diseño geométrico, se considera imprescindible disponer de la distancia de parada para la velocidad de proyecto del tramo, cuando solo en curvas con radio mínimo los conductores desarrollarán esa velocidad.

En cambio, las maniobras de adelantamiento y cruce o incorporación son potestativas del conductor, porque puede y debe elegir el momento adecuado para llevar a cabo la maniobra con seguridad, pero son obligatorias para el que diseña la carretera, que tiene que localizar los tramos de adelantamiento y las



intersecciones en zonas donde se pueda facilitar y garantizar la distancia de visibilidad necesaria correspondiente.

5.2.3 Estabilidad en curvas

Cuando un vehículo circula por una curva en planta se le debe permitir recorrerla con seguridad y comodidad para la velocidad de operación por la que opte al afrontarla. La seguridad se introduce en el diseño garantizando la estabilidad del vehículo ante la fuerza centrífuga que tiende a desequilibrarlo hacia el exterior de la curva, oponiéndose a ella el peralte o inclinación transversal de la calzada y el rozamiento transversal movilizado entre los neumáticos y el pavimento.

Por tanto, para cada velocidad de operación o específica se adopta o asume un rozamiento transversal movilizable que sea cómodo y seguro en condiciones críticas, como son pavimento húmedo y buen estado de los neumáticos, y un peralte suficiente, obteniendo así el radio de la curva que genera la fuerza centrífuga que se puede contrarrestar con los valores anteriores seleccionados. De esa forma se produce siempre una relación directa entre el radio de una curva, su peralte y su velocidad específica, es decir, hay una **relación biunívoca entre curvatura y velocidad específica**. Cada radio tiene asociado un peralte. Esto mejora la seguridad, garantizando la estabilidad de los vehículos en las curvas al encontrar y percibir los conductores iguales condiciones dinámicas para curvaturas semejantes, por lo que sus velocidades de operación se adecuan a las geometrías.

Por tanto, en el proceso de diseño geométrico, se puede adoptar o decidir el radio que vaya a tener una determinada curva y de él deducir la velocidad específica correspondiente, o viceversa, se puede optar por asignar una cierta velocidad específica a la curva y de ella derivar el radio que le corresponda. La forma tradicional de proceder era la primera, mientras que ahora es más habitual la segunda, puesto que permite controlar mejor la evolución de las velocidades a lo largo de la carretera.

5.2.4 Consistencia del diseño geométrico

Además, hay que lograr un diseño geométrico consistente, que disponga los elementos de la vía y sus características geométricas contribuyendo a **minimizar las violaciones de las expectativas del conductor**, de modo que este perciba homogeneidad en el trazado y no sufra una variación brusca en el nivel de atención necesario para poder adaptarse a las condiciones geométricas cambiantes de la carretera que en cada momento se encuentra.

Para ello ha de haber una coherencia entre el diseño geométrico y las dotaciones o equipamientos para cada categoría de carretera, ya que el conductor actúa de forma previsible en función de la experiencia acumulada a lo largo del tiempo (**expectativas a priori**), además de establecer una evolución continua de las características geométricas, ya que el conductor también responde ante la percepción de las características del itinerario a medida que lo recorre (**expectativas ad hoc**).

Para evaluar la consistencia del diseño geométrico se han desarrollado diferentes criterios de consistencia, correlacionados con el riesgo de que se produzcan accidentes, que se basan en el análisis de las evoluciones de las velocidades de operación, entre ellas de forma sucesiva a lo largo del trazado, o con respecto a la velocidad de diseño. Para ello se emplea el perfil de velocidades de operación



descrito anteriormente. Cuanto mayor sea la dispersión de las velocidades de operación con respecto a la velocidad de diseño más probabilidad hay que ese tramo sea más peligroso; las reducciones bruscas de velocidad de operación suponen una mayor probabilidad de que en esa zona se concentren los accidentes.

Por tanto, el empleo del concepto y la aplicación de los criterios de consistencia en el diseño geométrico de una carretera, encamina el resultado final de forma directa hacia el objetivo de **lograr una carretera que sea segura**. También tienen una gran utilidad para la evaluación indirecta de la seguridad vial de una carretera convencional que se encuentre en servicio, permitiendo orientar de forma acertada las mejoras del trazado que sean necesarias para que sea más segura.

5.2.5 Percepción armoniosa del diseño

El último factor interno está relacionado con la estética y armonía de la solución, desde el punto de vista del conductor, para lograr la mejor percepción posible de las características de la vía según se va recorriendo, procurando comodidad y seguridad al mismo. Por ejemplo, no es suficiente con establecer la continuidad de tangencia y curvatura entre elementos geométricos sucesivos, sino que hay que conseguir la adecuada percepción de la misma por el conductor, lo que obligará en determinadas circunstancias a aumentar las dimensiones de algunas curvas horizontales o verticales, para que no se produzcan efectos visuales distorsionados que puedan inducir a incertidumbres, siempre incómodas y fuente primaria de riesgos potenciales.

6 Cierre

A lo largo de este artículo se ha expuesto cómo se concibe el diseño geométrico de una carretera y cuál es el planteamiento y procedimiento que conlleva, teniendo en cuenta todos los factores propios del territorio por donde trazar la carretera y los criterios del diseño, intentando satisfacer al máximo los diferentes objetivos del diseño.

7 Bibliografía

- [1] García, A.: "La tramificación de actuaciones viarias como fuente de inconsistencias en el diseño", Revista RUTAS, Asociación Técnica de Carreteras, vol. 110, 2005, pág. 5-9.
- [2] García, A.: "Velocidad de proyecto vs. Velocidad del proyecto", Revista RUTAS, Asociación Técnica de Carreteras, vol. 117, 2006, pág. 1.
- [3] Lamm, R.; Beck, A.; Ruscher, T.; Mailaender, T.; Cafiso, S.; La Cava, G.: "How to make two-lane rural roads safer. Scientific background and guide for practical application", WIT Press, Great Britain, 2007.
- [4] Ministerio de Fomento: "Norma 3.1-IC Trazado, de la Instrucción de Carreteras", Orden de 27 de diciembre de 1999, Dirección General de Carreteras, Centro de Publicaciones, Madrid.