

## **UNA NORMA DE FIRMES EN GALICIA**

Ignacio Pérez Pérez  
Profesor Titular de Universidade  
Escola Técnica Superior de Enxeñeiros de Camiños,  
Canais e Portos  
Universidade da Coruña

Ana María Rodríguez Pasandín  
Profesora  
Escola Técnica Superior de Enxeñeiros de Camiños,  
Canais e Portos  
Universidade da Coruña

## **RESUMEN DE LA COMUNICACIÓN**

En esta comunicación se analiza la necesidad de una normativa técnica específica en materia de firmes para la Comunidad Autónoma de Galicia.

En la actualidad existe la necesidad de constituir una guía para proyectistas y directores de obra en Galicia. Esto es así porque en Galicia existen una serie de singularidades en cuanto a la disponibilidad de materiales, distribución del tráfico, terrenos existentes, características climatológicas y experiencias desarrolladas. Por lo tanto, parece aconsejable redactar una norma que permita adecuar la norma de secciones de firme estatal a las condiciones particulares de nuestra Comunidad Autónoma

## 1.- INTRODUCCIÓN

En el año 1989 la Dirección General de Carreteras realizó un nuevo dimensionamiento de las secciones de firme recogidas en Instrucción de Carreteras 6.1 y 6.2-IC. Esta Instrucción se modificó en el año 2003 de tal manera que se incorporó un mayor número de categorías de tráfico y se modificaron los criterios de formación de las explanadas. Posteriormente, se editaron las Recomendaciones de Proyecto y Construcción de Firmes y Pavimentos de Castilla y León; la Instrucción para el Diseño de Firmes de la Red de Carreteras de Andalucía; las Recomendaciones para el Diseño y Rehabilitación de Secciones de Firme en la Red de Carreteras de Extremadura; y, la Norma para el Dimensionamiento de Firmes en la Red de Carreteras del País Vasco. Finalmente, en el año 2008 se aprobó la Norma de Secciones de Firme de la Comunidad Valenciana.

Todas estas normas o recomendaciones de ámbito autonómico fueron creadas con el fin de adaptar o adecuar la normativa estatal a las características de cada Comunidad, de tal manera que, tanto desde un punto de vista técnico como económico, se logre una optimización de las secciones de firme de la vigente Norma 6.1-IC "Secciones de firme".

En este orden de ideas cabe decir que en la actualidad existe la necesidad de constituir una guía para proyectistas y directores de obra en las actuaciones dependientes de la **Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Infraestructuras** de la **Xunta de Galicia**. Esto es así porque en Galicia existen una serie de singularidades en cuanto a la disponibilidad de materiales, distribución del tráfico, terrenos existentes, características climatológicas y experiencias desarrolladas. Por lo tanto, parece aconsejable redactar una norma que permita adecuar la citada norma estatal a las condiciones particulares de nuestra Comunidad Autónoma.

## 2. FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO

La realización de esta comunicación surgió a raíz de la preocupación de por qué, aparentemente, en Galicia los firmes de carreteras tienen un período de servicio o vida útil inferior al tiempo para el cual han sido originalmente proyectados. Para averiguar esta cuestión es necesario determinar las posibles causas que originan los deterioros prematuros en los firmes. Es decir, ¿por qué no funcionan las secciones del firme? O lo que es lo mismo, ¿por qué la durabilidad y vida útil de los firmes es menor que la prevista en los proyectos? En este sentido, sería interesante realizar un estudio técnico con el fin de responder a estas u otras cuestiones. Dicho estudio debería quedar plasmado en una normativa específica sobre secciones de firme de carreteras adecuada a las singularidades de Galicia.

Con el fin de realizar esta normativa específica hay que tener información sobre las solicitaciones reales a las que estará sometido el firme, sobre el terreno en que éste se asienta, los materiales disponibles y las variables climáticas que más inciden en el comportamiento del mismo. Hay que efectuar una serie de estudios que permitan recabar toda esa información (Figura 1).

En este apartado, se hacen algunas breves reflexiones sobre las particularidades de Galicia en relación con los factores de dimensionamiento siguientes: tráfico, explanada; climatología y materiales; que inciden en el

dimensionamiento y comportamiento de los firmes ejecutados en nuestra Comunidad Autónoma.

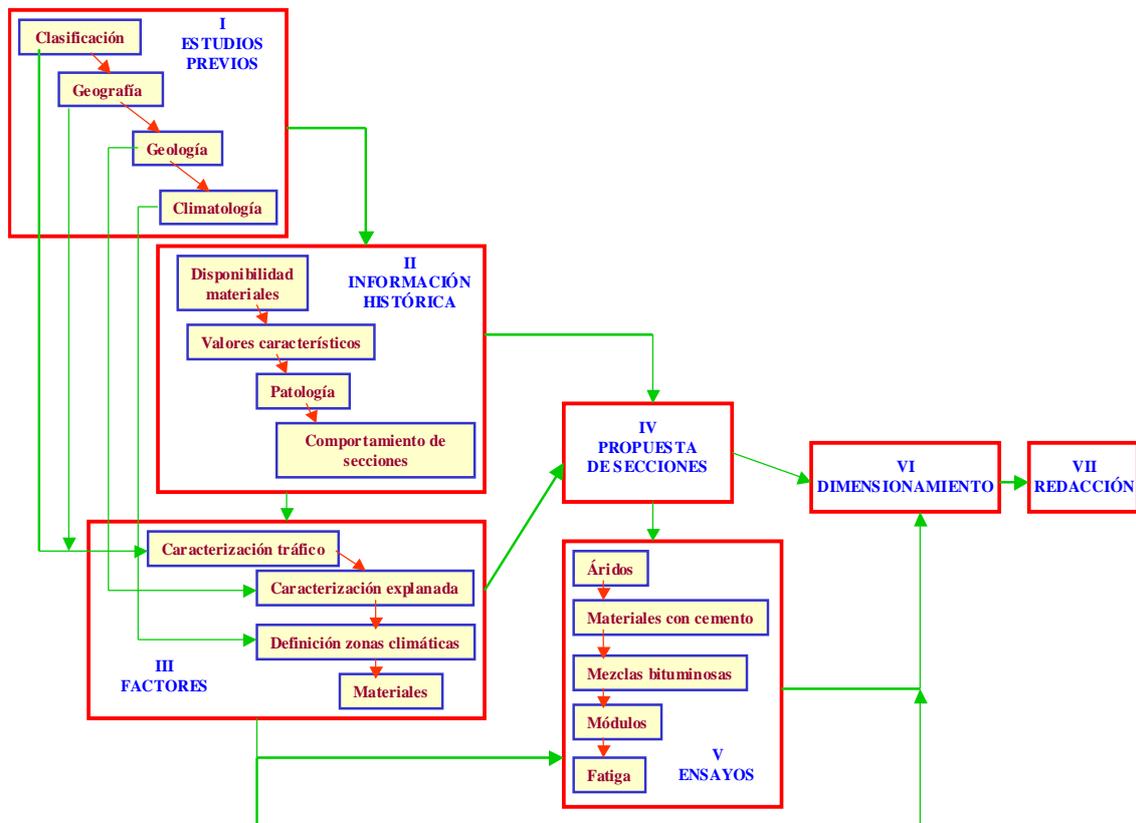


Figura 1. Estudios necesarios para definir un método de dimensionamiento.

### Tráfico

Según la memoria de tráfico que realiza anualmente la **Xunta de Galicia**, la Red Autonómica de Estradas de Galicia (**RAEGA**) tiene unos 5300 km de longitud, distribuidos aproximadamente de la manera siguiente:

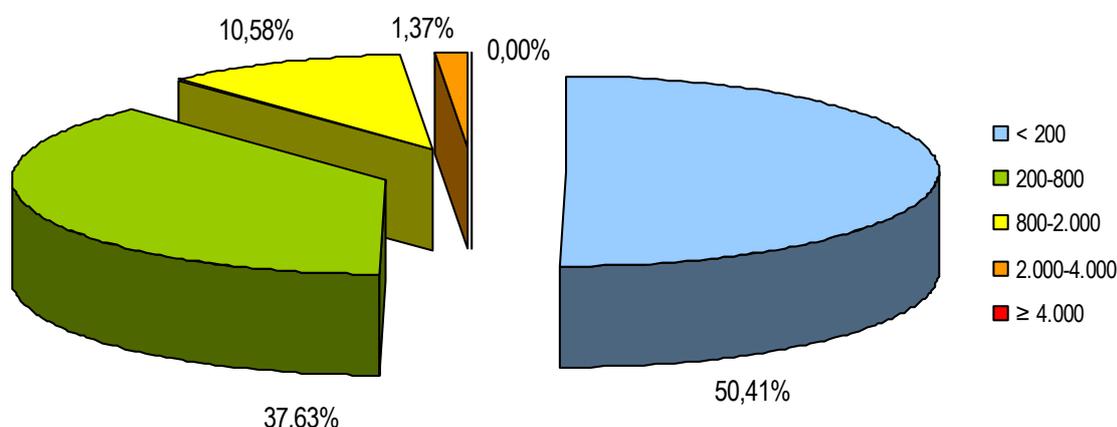
- Red de alta capacidad (VAC): 228 km.
- Red primaria básica (PB): 1385 km.
- Red primaria complementaria (PC): 1425 km.
- Red secundaria (S): 2241 km.

En la tabla 1 puede observarse la distribución del tráfico pesado entre las distintas redes de la **RAEGA**. A partir de los datos de esta tabla se ha obtenido la figura 2 con la distribución del tráfico pesado. Siguiendo el criterio empleado en la Norma 6.1-IC, para el dimensionamiento del firme, se pueden emplear unas categorías de tráfico pesado T00, T0, T1, etc. En este sentido, según la figura 1, aproximadamente el 50% de la red de carreteras tienen unas **IMDp** menores de 200 vehículos pesados (categorías T31, T32, T41 y T42), y el 38% de la red tienen unas **IMDp** entre 200 y 800 vehículos pesados (categoría T2). Apenas un 12% de la red tiene **IMDp** superiores a 800 vehículos pesados (categorías T0, y T1), no existiendo carreteras con **IMDp** superiores a los 4000 vehículos pesados (categoría T00). Parece claro que sería conveniente adaptar las categorías de tráfico pesado T2, T3 y T4 de la Norma 6.1-IC a esta realidad. Para ello hay que realizar un estudio que permita dividir y/o ampliar estas categorías de

menor tráfico contempladas en la norma estatal, de forma que se adapten mejor a las intensidades de vehículos pesados de la **RAEGA**. Así, se evita un sobredimensionamiento de las secciones de firme de carreteras de bajo volumen de tráfico. Con ello se consigue optimizar económicamente los siempre escasos recursos disponibles, con el consiguiente ahorro en los costes de construcción de firmes.

IMDp	VAC	PB	PC	S	Total
<200	21	193	572	1876	2662
200-800	84	784	760	358	1986
800-2000	110	360	82	7	559
2000-4000	13	48	11	----	72
>4000	----	----	----	----	----
<b>TOTAL</b>					<b>5279</b>

**Tabla 1. Longitud de carreteras según IMDp en la RAEGA (Fuente: Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Infraestruturas, Xunta de Galicia).**



**Figura 2. Porcentaje de longitud de carreteras según IMDp en la RAEGA.**

### Explanada

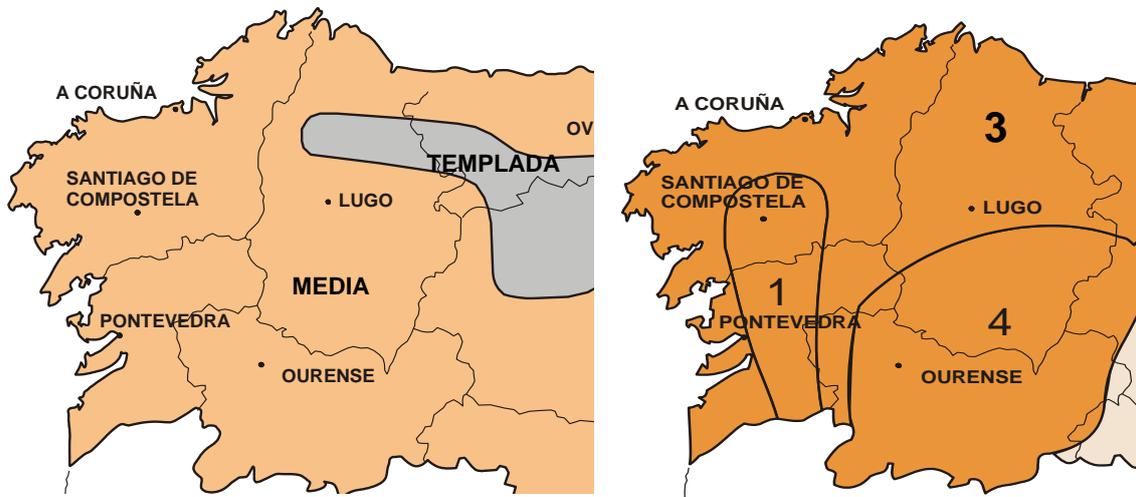
Los datos provenientes de los estudios edafológicos de suelos permiten definir los tipos de suelos susceptibles de ser utilizados para la formación de explanadas. En general, los materiales regionales disponibles suelen ser suelos de grano fino que permiten unas explanadas típicas E2 con índices CRB entre 10 y 20.

Hay que tener en cuenta que en vías de bajo volumen de tráfico los suelos para las explanadas deben ser, salvo excepciones, los que se encuentren en la misma traza. Los costes totales de estas carreteras no justifican grandes distancias de transporte. Se debe partir del máximo aprovechamiento de materiales locales. Se pueden llegar a admitir calidades de explanada inferiores a las exigibles en carreteras de mayor tráfico.

Por otro lado, en una región de climatología lluviosa como es Galicia hay que garantizar que las explanadas estén libres de agua mediante un buen drenaje subterráneo que permita una rápida evacuación de agua, tanto de escorrentía infiltrada a través de las capas superiores del firme como infiltrada del propio terreno natural por la presencia de capas freáticas o de mananciales.

## Climatología

Una primera impresión de la climatología puede llevar a la conclusión de que no es necesario efectuar una nueva definición de zonas con condiciones climáticas distintas a las que aparecen en la Instrucción 6.1-IC (Figura 3). No obstante, se podría definir con una mayor precisión, en la franja costera las temperaturas oscilan entre los 8° C y 10° C de invierno y 20° C y 25° C de verano. Sin embargo, en zonas interiores de las provincias de Lugo y Ourense el clima es más seco, con ostensibles diferencias de temperaturas respecto de la media, superiores en el verano y más bajas en el invierno. Estas mayores temperaturas pueden tener una gran influencia en el comportamiento mecánico de algunos materiales como, por ejemplo, las mezclas bituminosas.



**Figura 3. Zonas climáticas definidas para Galicia en la Norma 6.1-IC (zonas térmicas estivales y pluviométricas).**

Con respecto al régimen de lluvias, no parece adecuado el de la figura 3. Sería conveniente detallarlo con más exactitud. Aunque, en general, Galicia es una región lluviosa existen grandes contrastes. En la sierra de Barbanza, entre las rías de Muros y Arousa, se recogen 3.372 mm al año, mientras que en las depresiones Ourenšanas se recogen unos 600 mm al año. En general, en el conjunto de Galicia se recogen unos 1.000 mm al año, que ascienden a más de 1.500 en las sierras prelitorales y el macizo galaico-leonés. En las sierras de Faro y Suido se superan los 2.500 mm. La costa es una zona en la que se recogen menos de 1.000 mm, debido a que dejan pasar las masas de aire húmedo hasta las sierras prelitorales donde actúa el efecto barrera.

## Materiales

En la figura 4 se puede ver un mapa litológico simplificado de Galicia. En el mismo se puede observar la preponderancia de rocas graníticas. Esto da lugar a que las principales rocas explotables por orden de volumen sean las siguientes: granitos, esquistos, gneises, anfibolitas, dunitas, cuarcitas y calizas y dolomías. En la tabla 2 se muestran algunos valores medios de algunas características de rocas explotables en Galicia.



Como se ha dicho, Galicia está situada en una zona lluviosa. Por tanto, este hecho exige cuidar la granulometría de los áridos y, principalmente, el contenido de finos, así como la evacuación rápida del agua para evitar la saturación del firme. En este sentido, en Galicia ha sido frecuente resolver el inconveniente del agua de lluvia sobre el firme disponiendo de una sub-base impermeable sobre la que se coloca un macadam asfáltico por penetración (Figura 5), que ha sido denominado el "*firme gallego*". Este macadam es muy permeable pues se cierra con gravilla y permite la evacuación inmediata del agua. Aunque este material tiene un buen comportamiento presenta el inconveniente de la dificultad de lograr una correcta regularidad superficial.



**Figura 5. Ejecución de un macadam por penetración. (Fuente: Bardesi Orue-Echevarría, 1992).**

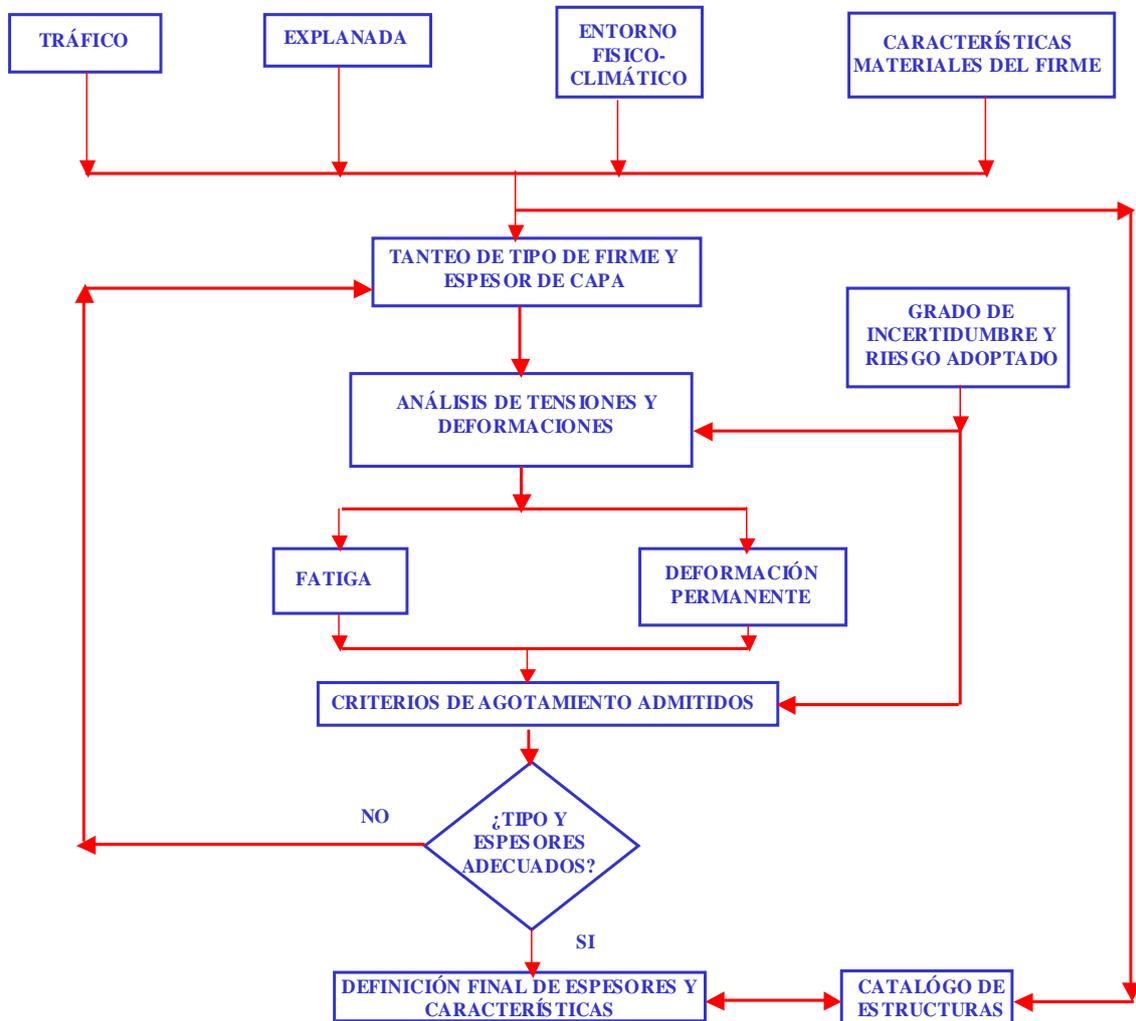
### **3. PROPUESTA DE SECCIONES Y DIMENSIONAMIENTO**

El análisis de los proyectos de carreteras construidos por la **Xunta de Galicia** puede ayudar a la realización de una propuesta de secciones estructurales que hayan tenido un buen comportamiento estructural. El objetivo fundamental debería ser plantear secciones estructurales de firmes que minimicen los efectos negativos tanto de la climatología lluviosa como de la relativa mala calidad de los materiales disponibles. Además este planteamiento debería considerar la gran longitud de carreteras de bajo volumen de tráfico que existen en la red.

Para llevar a cabo el dimensionamiento de las secciones hace falta disponer de los valores que caracterizan el comportamiento mecánico de los materiales del firme. Es muy posible que no haya información sobre módulos y leyes de fatiga de materiales (mezclas bituminosas, materiales tratados con cemento, zahorras artificiales, etc.) fabricados exclusivamente con áridos gallegos. No obstante, también hará falta valores de

caracterización general de suelos, conglomerantes y áridos; ensayos de dosificación, etc.

En la Comunidad Autónoma de Galicia hay empresas con excelentes laboratorios de firmes que pueden llevar a cabo toda esta variedad de ensayos.



**Figura 6. Proceso de dimensionamiento.**

Como es de todos sabido, el dimensionamiento de firmes es el proceso que permite determinar los materiales que constituyen las distintas capas del firme y los espesores de las mismas, de manera que se alcance una vida de servicio determinada y, también, que su coste sea el mínimo. Para ello se puede utilizar un método analítico-empírico. El procedimiento de dimensionamiento (figura 6) comenzará con la definición de las variables de entrada: cargas del tráfico, características de la explanada, etc. A continuación se elegirán los comportamientos a considerar para los materiales elegidos y los valores de los parámetros que definen dicho comportamiento. Posteriormente, hay que suponer una geometría del firme, definiendo espesores de cada capa, materiales y componentes. Mediante un modelo multicapa se calcula la respuesta del firme ante la carga tipo. Los resultados obtenidos se valoran, aplicando la ley de Miner, de acuerdo a los modelos de deterioro y los criterios de fallo de cada capa. Por último, cuando la sección de firme cumple dichos criterios se considera que la

solución es económica y técnicamente viable y, por lo tanto, el proceso ha concluido. En caso contrario, es necesario volver a examinar la geometría y la validez de los parámetros escogidos. Se vuelven a repetir los cálculos, realizando las iteraciones que sean necesarias hasta que la solución escogida cumpla con los objetivos propuestos y, además, sea viable tanto técnica como económicamente.

#### **4. CONCLUSIONES**

A partir de las breves reflexiones planteadas es esta comunicación se puede deducir las conclusiones siguientes:

- En la Red Autonómica de Estradas de Galicia existe la necesidad de adaptar y complementar las normas y especificaciones técnicas relativas al proyecto y construcción de firmes de ámbito estatal.
- Esta adaptación debe hacerse con el fin de optimizar los recursos económicos disponibles.
- Se deberían modificar las categorías de tráfico que existen en la norma estatal para adecuarlas a las bajas intensidades medias diarias de vehículos pesados de la Red Autonómica de Estradas de Galicia.
- Se deberían plantear secciones estructurales de firmes que minimicen los efectos negativos tanto de la climatología lluviosa como de la relativa mala calidad de los materiales disponibles y que tengan en cuenta las experiencias técnicas existentes en Galicia.

#### **5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ARÉVALO HERNÁNDEZ, E. M., RODRÍGUEZ IZQUIERDO, P. A., CANCHO FALCÓN, M. M. (2004). "Recomendaciones para el diseño y rehabilitación de secciones de firme en la red de carreteras de Extremadura". VI Congreso Nacional de Firmes. Normalización e Innovación, León.
- BARDESI ORUE-ECHEVARRÍA, A. (1992). "Subbases y bases bituminosas en frío. Grava-emulsión". Jornadas sobre subbases y bases para firmes de carreteras. Santiago de Compostela.
- CONSELLERIA DE INFRAESTRUCTURAS Y TRANSPORTE. (2009). "Orden de 28 de noviembre de 2008, de la Conselleria d'Infraestructures i Transport, por la que se aprueba la norma de secciones de firme de la Comunitat Valenciana". Diari Oficial de la Comunitat Valenciana Num. 5930.
- CONSELLERIA DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y OBRAS PÚBLICAS (COTOP). (2004). "Firmes flexibles.- Estructuras Tipo. Recomendaciones Técnicas". Borrador del 5 de julio de 1994. Subdirección de Estradas, Xunta de Galicia.
- CONSEJERÍA DE FOMENTO. (2004). "Recomendaciones de proyecto y construcción de firmes y pavimentos". Junta de Castilla y León. Dirección General de Carreteras e Infraestructura.
- CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES. (1998). "Instrucción para el diseño de firmes de la red de carreteras de Andalucía". Junta de Andalucía. Dirección General de Carreteras.
- GRANDÍO CHAO, G. (1992). "Las estructuras de firmes, subbases y bases. El caso de Galicia" Jornadas sobre subbases y bases para firmes de carreteras. Santiago de Compostela.
- HUANG, Y. H. (1993). "Pavement Analysis and Design". Prentice Hall. New Jersey.

- SANCHEZ TAMAYO, P. (1992). "Las estructuras de firmes, subbases y bases. El caso de Galicia" Jornadas sobre subbases y bases para firmes de carreteras. Santiago de Compostela.
- MEDINA RODRÍGUEZ, L., PÉREZ PÉREZ, I., CRESPO, R. (2002). "Comprobación estructural de las secciones de firme de la Instrucción 6.1 y 6.2 IC". Revista de Obras Públicas nº 3417. Enero.
- MINISTERIO DE FOMENTO. (2002) "Orden circular 10/2002 sobre secciones de firme y capas estructurales de firmes".
- MINISTERIO DE FOMENTO. (2003) "Orden FOM/3460/2003, DE 28 de noviembre, por la que se aprueba la Norma 6.1-IC "secciones de firme" de la Instrucción de Carreteras.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO. (1990). "Instrucción 6.1-I.C. y 6.2-I.C. Secciones de Firme".
- NARANJO, L., PÉREZ, V. (2006). "A Variabilidade natural do clima en Galicia". Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible. Xunta de Galicia.
- ORTIZ DE LANDALUCE MARTINEZ DE RITUERTO, M. A. (2004). "Desarrollo de la norma para el dimensionamiento de firmes en la red de carreteras de los territorios históricos del País Vasco". VI Congreso Nacional de Firmes. Normalización e Innovación, León.
- PARDO LANDROVE, J. E., PÉREZ PÉREZ, I. (2006). "Presente y futuro de las estaciones de aforo de la red de carreteras de la Xunta de Galicia. Datos obtenidos y su tratamiento". VII Congreso de Ingeniería del Transporte. Universidad de Castilla-La Mancha. Ciudad Real.
- YODER, E. J. and WITCZAK, M. W. (1975). "Principles of Pavement Design". Second Edition, John Wiley & Sons, Inc.