

CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES

**INSTRUCCIÓN  
PARA EL DISEÑO  
DE FIRMES DE  
LA RED DE  
CARRETERAS  
DE ANDALUCÍA**



JUNTA DE ANDALUCÍA





**INSTRUCCIÓN  
PARA EL DISEÑO  
DE FIRMES DE  
LA RED DE  
CARRETERAS  
DE ANDALUCÍA**

© JUNTA DE ANDALUCÍA. Consejería de Obras Públicas y Transportes  
Nº de Registro: JAOP/GIASA-47-2007

**Diseño y maquetación** El Golpe. Cultura del entorno.

INSTRUCCIÓN para el diseño de firmes de la red de carreteras de Andalucía/  
Consejería de Obras Públicas y Transportes. - Sevilla : Consejería de Obras  
Públicas y Transportes, 2007; 158 p. : gráf., tabl. ; 30 cm

1. Carreteras-Andalucía-España-Disposiciones, Acuerdos y Recomendaciones
  2. Carreteras-Firmes y Pavimentos 3. Normas Técnicas
- I. Andalucía. Consejería de Obras Públicas y Transportes
  - II. Gestión de Infraestructuras de Andalucía, S.A. (GIASA)

////////////////////////////////////  
**Dirección** Consejería de Obras Publicas y Transportes.  
Junta de Andalucía

Alberto Bas Dutor  
José Castilla Molina  
José Antonio Gómez Casado

////////////////////////////////////  
**Coordinación Técnica**

José Miguel Baena Rangel

////////////////////////////////////  
**Equipo de redacción**

Manuel Atienza Díaz  
Juan Diego Bauzá Castelló  
José Luis Candau Chacón  
Antonio Fernández Menéndez  
Luis Garrido Romero  
Práxedes Giménez Jiménez  
Francisco Muñoz Almonte  
Recaredo Romero Amich  
Aurelio Ruiz Rubio  
María José Sierra López

////////////////////////////////////  
**Colaboradores**

Rafael Álvarez Loranca  
Jesús Díaz Minguela  
Francisco Escámez Abad  
Didier Lesueur  
Juan de Oña López

////////////////////////////////////  
**Se agradece la colaboración de las siguientes Instituciones y Empresas**

ASFALTOS UCOP	INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO Y SUS
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACION DE	APLICACIONES (IECA)
OBRAS PÚBLICAS (CEDEX)	GRUPO TREEVENQUE KAPLAN
ELABORA	PROBISA
GEOCISA	UNIVERSIDAD DE GRANADA
GIASA	URCI CONSULTORES
INSERCO	VORSEVI

# ÍNDICE



1. OBJETO Y ÁMBITO DE APLICACIÓN	<b>011</b>
1.1 Antecedentes	
1.2 Objeto	
1.3 Ámbito de aplicación	
2. GUÍA DE USO	<b>015</b>
3. FACTORES DE DISEÑO	<b>019</b>
3.1 Introducción	
3.2 Tráfico	
3.2.1 Categoría de tráfico pesado	
3.2.2 Tráfico equivalente de proyecto	
3.3 Clima	
3.3.1 Zonas térmicas	
3.3.2 Zonas pluviométricas	
4. DISEÑO DEL CIMIENTO DEL FIRME	<b>027</b>
4.1 Definiciones	
4.2 Caracterización de suelos y materiales	
4.2.1 Tipos de suelos y materiales	
4.2.2 Definición de la capacidad de soporte de los suelos	
4.3 Caracterización del terreno natural subyacente	
4.3.1 Fase 1. Recopilación de información geológica y geotécnica	
4.3.2 Fase 2. Reconocimiento del terreno en campo y toma de muestras	
4.3.3 Fase 3. Ensayos de identificación en laboratorio	
4.3.4 Fase 4. Tramificación del terreno natural subyacente	
4.4 Criterios para la tramificación del cimiento	
4.5 Contenido mínimo del anejo geotécnico	
4.6 Clasificación del cimiento	
4.7 Dimensionamiento del cimiento del firme	
4.7.1 Caracterización del apoyo de las capas del asiento	
4.7.2 Caracterización de las capas del asiento	
4.7.3 Cálculo del módulo equivalente del cimiento	
4.8 Criterios de proyecto	
4.8.1 Tratamiento de suelos con alta plasticidad	
4.8.2 Tratamiento de suelos compresibles	
4.8.3 Disposición de suelos	
4.8.4 Estabilización de asientos	
4.8.5 Agua en el terreno	
4.8.6 Pendientes transversales	
4.8.7 Capas anticontaminantes	
4.8.8 Cuñas de transición	



## 5. DISEÑO DE FIRMES CON PAVIMENTO BITUMINOSO

041

- 5.1 Objeto
- 5.2 Tramificación
- 5.3 Criterios de proyecto
- 5.4 Materiales para el firme
  - 5.4.1 Mezclas bituminosas
  - 5.4.2 Materiales tratados con cemento
  - 5.4.3 Zahorras
  - 5.4.4 Riegos
- 5.5 Dimensionamiento del firme
  - 5.5.1 Adherencia entre capas
  - 5.5.2 Caracterización de materiales
  - 5.5.3 Parámetros críticos y criterios de fallo
  - 5.5.4 Cálculo de la estructura del firme

## 6. DISEÑO DE FIRMES CON PAVIMENTO DE HORMIGÓN

057

- 6.1 Objeto
- 6.2 Tramificación
- 6.3 Criterios de proyecto
  - 6.3.1 Secciones estructurales para el firme de calzada
  - 6.3.2 Cimiento del firme
  - 6.3.3 Capas de apoyo del pavimento de hormigón
  - 6.3.4 Pavimentos continuos de hormigón armado
  - 6.3.5 Arcenes
  - 6.3.6 Juntas transversales
  - 6.3.7 Juntas longitudinales
  - 6.3.8 Textura superficial. Acabados.
- 6.4 Selección de materiales
  - 6.4.1 Hormigón vibrado
  - 6.4.2 Hormigón magro vibrado
  - 6.4.3 Mezclas bituminosas en caliente
  - 6.4.4 Materiales tratados con cemento
  - 6.4.5 Productos filmógenos de curado.
  - 6.4.6 Productos de sellado de juntas.
  - 6.4.7 Pasadores y barras de unión.
  - 6.4.8 Barras de acero para pavimentos continuos de hormigón armado
  - 6.4.9 Riegos bituminosos de adherencia
  - 6.4.10 Riegos bituminosos de curado
- 6.5 Dimensionamiento del firme
  - 6.5.1 Caracterización del tráfico de proyecto
  - 6.5.2 Caracterización del cimiento del firme
  - 6.5.3 Caracterización de los materiales
  - 6.5.4 Definición de las características del firme
  - 6.5.5 Cálculo del espesor del pavimento de hormigón según el criterio de fatiga
  - 6.5.6 Cálculo del espesor del pavimento de hormigón según el criterio de erosión
  - 6.5.7 Análisis del resultado



## 7. ACONDICIONAMIENTOS Y MEJORAS DEL FIRME

069

- 7.1 Introducción
- 7.2 Ensanches
  - 7.2.1 Generalidades
  - 7.2.2 Diseño del firme
  - 7.2.3 Selección de materiales para el firme
  - 7.2.4 Diseño del cimient
- 7.3 Mejora del firme mediante reciclado in situ
  - 7.3.1 Reciclado con emulsión bituminosa
  - 7.3.2 Reciclado con cemento
- 7.4 Cimient formado por firmes existentes

## 8. FIRMES PARA APLICACIONES ESPECÍFICAS

077

- 8.1 Introducción
- 8.2 Firmes en arcenes
  - 8.2.1 Firme en calzada con pavimento bituminoso
  - 8.2.2 Firme en calzada con pavimento de hormigón
- 8.3 Túneles
  - 8.3.1 Cimient del firme formado por roca o suelos
  - 8.3.2 Cimient del firme de roca con solera de hormigón
  - 8.3.3 Cimient del firme de suelo con solera de hormigón
  - 8.3.4 Cimient del firme con losa de hormigón en contrabóveda
  - 8.3.5 Cimient del firme con losa de hormigón armada o pretensada
- 8.4 Obras de paso
  - 8.4.1 Protección del tablero
  - 8.4.2 Pavimento bituminoso
  - 8.4.3 Tratamiento sobre tableros de puentes muy flexibles
- 8.5 Firmes provisionales
- 8.6 Zonas de estacionamiento y parada
- 8.7 Lechos de frenado

## 9. OTROS ASPECTOS DEL DISEÑO

089

- 9.1 Introducción
- 9.2 Aspectos constructivos
  - 9.2.1 Disposición transversal
  - 9.2.2 Sección variable entre carriles
- 9.3 Aspectos económicos
  - 9.3.1 Coste de construcción inicial
  - 9.3.2 Costes de conservación, reparaciones y reconstrucción
  - 9.3.3 Actualización de costes
- 9.4 Aspectos medioambientales
- 9.5 Tramos experimentales



# ANEJOS



1. DEFINICIONES	<b>097</b>
2. MANUAL DE USUARIO DE ICAFIR	<b>105</b>
3. DEFINICIÓN DEL TRÁFICO EN ZONAS AGRÍCOLAS	<b>123</b>
4. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA	<b>127</b>
5. EJEMPLO DE CÁLCULO DEL TRÁFICO DE PROYECTO	<b>129</b>
6. MODELO DE RESPUESTA ELÁSTICO MULTICAPA	<b>141</b>
7. TRATAMIENTO DE SUELOS CON ALTA PLASTICIDAD	<b>143</b>
8. ESQUEMAS DE CUÑAS DE TRANSICIÓN	<b>149</b>
9. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA MATERIALES BITUMINOSOS EN FRÍO	<b>153</b>
10. BASES DE CÁLCULO DE FIRMES DE HORMIGÓN	<b>155</b>
11. PAVIMENTOS DE ADOQUINES PARA ZONAS DE ESTACIONAMIENTO Y PARADA	<b>163</b>
12. ESCENARIOS DE CONSERVACIÓN	<b>169</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

////////////////////////////////////

- Tabla 3.1. Categorías del tráfico pesado.
- Tabla 3.2. Valores del coeficiente de equivalencia (CE).
- Tabla 3.3. Factor de crecimiento para distintas tasas de crecimiento anual del tráfico de vehículos pesados y periodos de proyecto.
- Tabla 3.4. Máxima IMD de vehículos pesados en toda la calzada (Capacidad) por tipo de vía y tramo (1).
- Tabla 3.5. Coeficiente de mayoración de las cargas.
- Tabla 3.6. Zonas térmicas
- Tabla 3.7. Zonas pluviométricas
- Tabla 4.1. Suelos y materiales para caracterización del TNS y uso en cimiento del firme.
- Tabla 4.2. Frecuencia mínima del reconocimiento del terreno natural subyacente
- Tabla 4.3. Frecuencia mínima de ensayos CBR en función de la categoría del tráfico de proyecto por grupo homogéneo de suelos
- Tabla 4.4. Correlación CBR – SPT
- Tabla 4.5. Categorías del cimiento del firme.
- Tabla 4.6. Valor máximo del módulo de elasticidad de suelos y materiales granulares.
- Tabla 4.7. Valores del módulo de elasticidad de macizos rocosos.
- Tabla 4.8. Valor del coeficiente de proporcionalidad, C, entre módulos de suelos y materiales granulares.
- Tabla 4.9. Características mecánicas de suelos estabilizados in situ.
- Tabla 4.10. Profundidad mínima entre el plano de explanada y suelos inadecuados, marginales o tolerables, no estabilizados.
- Tabla 4.1.1. Asientos diferenciales máximos posconstructivos tras 3 meses, en época de lluvias, de 2 puntos que disten 20 m.
- Tabla 4.12. Profundidad mínima del nivel freático respecto al plano de explanada.
- Tabla 5.1. Espesor mínimo del conjunto de capas bituminosas sobre capas tratadas con cemento
- Tabla 5.2. Tipo de mezcla bituminosa en calzada
- Tabla 5.3. Dotación mínima de ligante hidrocarbonato para mezclas bituminosas en caliente
- Tabla 5.4. Tipo de ligante hidrocarbonado para mezclas bituminosas en caliente
- Tabla 5.5. Tipos de ligante para mezclas en frío
- Tabla 5.6. Tipos de ligante hidrocarbonado para tratamientos superficiales
- Tabla 5.7. Condicionantes para la prefisuración de capas de materiales tratados con cemento colocadas directamente bajo mezcla bituminosa
- Tabla 5.8. Valor del coeficiente de paso entre módulos de materiales granulares.
- Tabla 5.9. Características mecánicas de materiales granulares
- Tabla 5.10. Características mecánicas de materiales tratados con cemento
- Tabla 5.11. Características mecánicas de las mezclas bituminosas (para un a temperatura equivalente de 20 °C)
- Tabla 5.12. Variación de las características mecánicas medias de las mezclas bituminosas en caliente
- Tabla 5.13. Leyes de fatiga para mezclas bituminosas en caliente
- Tabla 5.14. Leyes de fatiga para materiales tratados con cemento
- Tabla 5.15. Caracterización del cimiento del firme
- Tabla 6.1. Categoría de la carretera en función del tráfico
- Tabla 6.2. Valores de cálculo del módulo de balasto

////////////////////////////////////

Tabla 6.3. Caracterización del hormigón vibrado

Tabla 6.4. Caracterización del hormigón magro y de la gravacemento

Tabla 7.1. Categoría del cimiento asignada a los firmes existentes en función de la deflexión para su consideración como cimiento de la nueva estructura

Tabla 8.1. Secciones estructurales de firme con pavimento bituminoso para arcenes de anchura superior a 1,25 m

Tabla 8.2. Secciones estructurales de firme en arcenes para firmes con pavimento de hormigón en calzada

Tabla 9.1. Valores de los sobreanchos (cm).

## ÍNDICE DE FIGURAS

////////////////////////////////////

Figura 3.1. Mapa de zonas térmicas.

Figura 3.2. Mapa de zonas pluviométricas.

Figura 4.1. Esquema del cimiento del firme.

Figura 4.2. Solicitación tipo placa de carga.

Figura 5.1. Tipos de secciones estructurales de firme recomendadas.

Figura 5.2. Esquema de la carga del eje equivalente.

Figura 6.1. Tipos de secciones con pavimento de hormigón para la estructura del firme de calzada.

Figura 7.1. Esquema de incorporación de cuñas laterales al firme existente en acondicionamientos con elevación importante de la rasante.

Figura 8.1. Esquemas de soluciones de firmes en arcén.

Figura 8.2. Secciones estructurales para arcenes con pavimento de hormigón en calzada.

Figura 8.3. Esquema de la sección longitudinal del lecho de frenado.

Figura 9.1. Esquema de sobreanchos para la sección del firme.



1///

# OBJETO Y ÁMBITO DE APLICACIÓN



## 1.1. ANTECEDENTES

En 1999, mediante Orden Circular de la Dirección General de Carreteras de la Junta de Andalucía se edita la primera Instrucción para el diseño de firmes de la Red de Carreteras de Andalucía, primer documento de carácter oficial en nuestro país que aborda el dimensionamiento de los firmes desde una perspectiva analítica. La Instrucción viene acompañada de la aplicación informática ICAFIR que permite llevar a cabo el dimensionamiento práctico de los firmes de acuerdo con las indicaciones del propio documento.

Tras casi ocho años de funcionamiento se ha podido verificar que la aplicación de la Instrucción, y los cambios que la misma ha generado en la filosofía de diseño de los firmes en Andalucía, han sido muy positivos, solucionándose la mayoría de los problemas que dieron lugar a la redacción de la misma.

Sin embargo, tras este periodo de funcionamiento se ha considerado adecuado revisar algunos aspectos con el objetivo de facilitar y simplificar su utilización.

En primer lugar, se ha reorganizado el texto de la Instrucción para darle una forma más coherente, intentando que el ingeniero localice fácilmente la información sin necesidad de buscarla en diferentes capítulos del documento. Así mismo, se han clarificado, sin cambiar la filosofía, algunos aspectos relativos al diseño del cimientado que estaban dando lugar en ocasiones a secciones algo sobredimensionadas, y se ha aprovechado para revisar algunos criterios de acuerdo con el estado actual del conocimiento. Además, se han incluido nuevos criterios para el diseño de firmes en obras de acondicionamientos y ensanches, intentando solucionar algunos de los problemas que se estaban detectando.

Por último, se ha aprovechado el trabajo para revisar aquellos aspectos técnicos que se han considerado oportunos, y para incluir los criterios de proyecto sobre los que se ha considerado adecuado incidir en este momento, o en su caso, eliminar aquellos otros que ya son bien conocidos y están lo suficientemente arraigados en el sector, y sobre los que no se considera tan necesario llamar la atención en este momento.

## 1.2. OBJETO

El objeto de esta Instrucción es el de establecer criterios y procedimientos para el dimensionamiento de firmes de las carreteras y viales urbanos pertenecientes a la Red de Carreteras de Andalucía, que incluye tanto las carreteras de titularidad autonómica como las de titularidad provincial.

Se establece un método para el diseño de los firmes de las carreteras andaluzas, que permite facilitar la labor del proyectista y unificar los criterios de dimensionamiento, de manera que se haga también posible una mejora continua del proceso de diseño de firmes.

Se ha recogido la experiencia adquirida sobre el comportamiento de firmes en Andalucía, acentuando en el documento los aspectos que se consideran críticos en el dimensionamiento de firmes.

El dimensionamiento se basa en un procedimiento de tipo analítico, para secciones con pavimento bituminoso, y semiempírico para las secciones con pavimento de hormigón. Para facilitar la labor del proyectista, se ha desarrollado una aplicación informática, ICAFIR, que incorpora el método de diseño de la Instrucción.

El proyectista debe adaptar el diseño del firme a las características de los materiales y suelos de la zona, a las condiciones climáticas, ambientales y de tráfico, y a los aspectos funcionales y de seguridad de la circulación vial. También debe comprobar distintas soluciones para lo cual se incluyen los criterios a seguir en el correspondiente análisis comparativo y de rentabilidad. Se debe conseguir así un diseño de firmes ajustado

a cada situación con el consiguiente ahorro de recursos económicos frente a las soluciones generales de catálogos de secciones de firmes.

Junto con las recomendaciones de proyecto se incluyen prescripciones que deben cumplir los materiales y unidades de obra y recomendaciones sobre su empleo, todo ello teniendo en cuenta las peculiaridades de los mismos en Andalucía.

### 1.3. ÁMBITO DE APLICACIÓN

El ámbito de aplicación de esta Instrucción son los proyectos de construcción y las obras de nuevas carreteras, de acondicionamientos y de mejoras de las carreteras de la Red de Carreteras de Andalucía, según se establece en el artículo 1 de la Ley de Carreteras de Andalucía. No es de aplicación a los proyectos de rehabilitación superficial o estructural de los firmes y pavimentos de las carreteras en servicio.

También será de aplicación la presente Instrucción al diseño de los firmes de las actuaciones en carreteras de los tramos urbanos, las redes arteriales y las vías urbanas de la Red de Carreteras de Andalucía.

No se contempla la construcción por etapas de los firmes, salvo en los casos de obras provisionales en las cuales la construcción por etapas del firme esté contemplada en el diseño del mismo.

La Instrucción sólo será válida en los supuestos considerados en cada apartado. En otro caso deberán justificarse las soluciones adoptadas, manteniendo en lo posible los principios y las recomendaciones que se dan para garantizar una razonable equivalencia de durabilidad de las secciones.

En los proyectos de carreteras situadas a una altitud superior a 1.500 m se comprobará, mediante un estudio especial, que la explanada y el drenaje subterráneo son los adecuados para evitar la formación de lentejones de hielo debajo del firme.

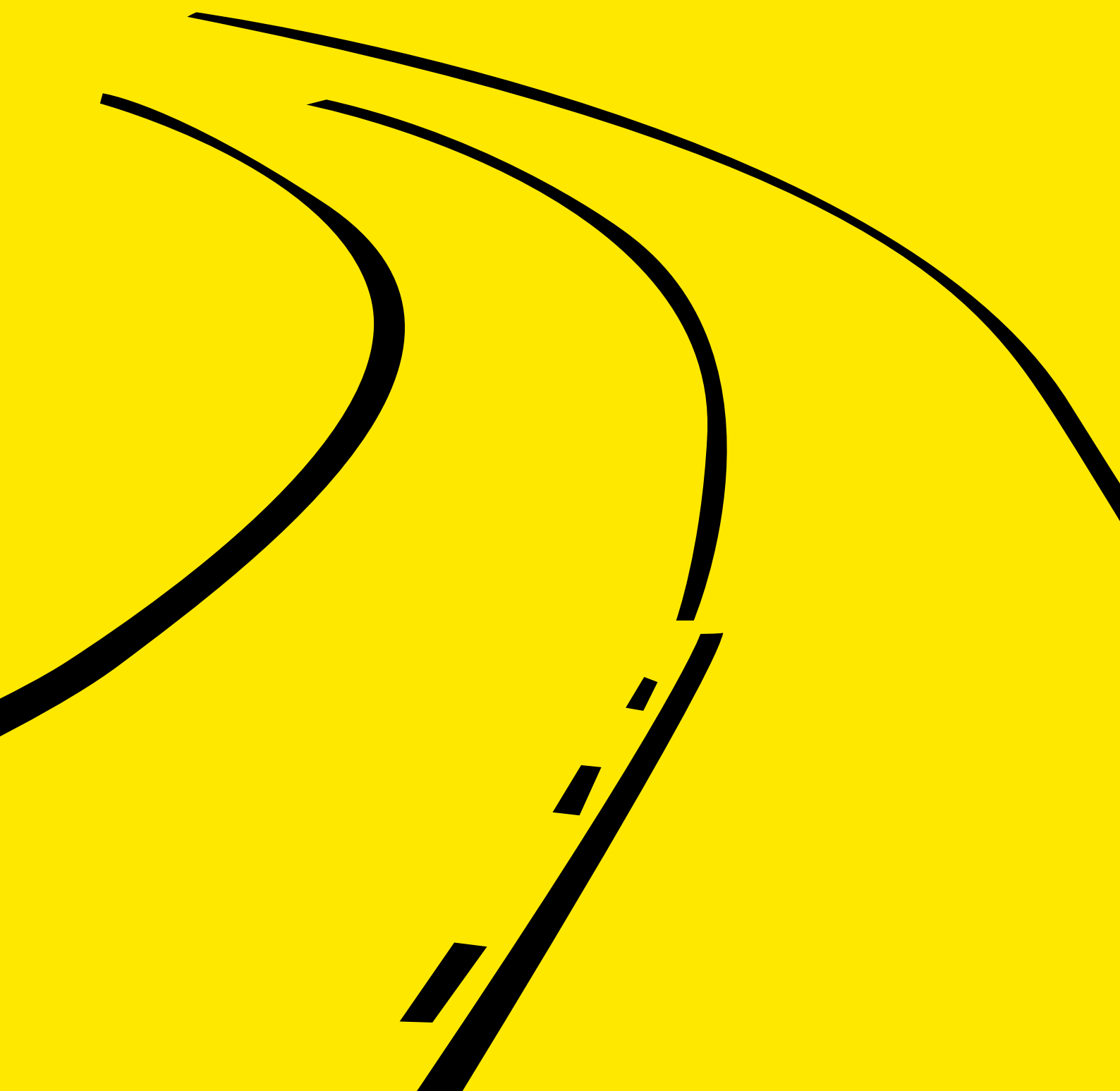
Junto a las especificaciones que se recogen en esta norma se establecerán las medidas necesarias para el cumplimiento de la legislación que en materia ambiental y de seguridad y salud estuviera vigente en cada momento.





**2///**

# **GUÍA DE USO**



En este documento se presenta el método de diseño de firmes de la Red de Carreteras de Andalucía. El método propuesto se basa en el cálculo analítico, partiendo de un modelo matemático que obtiene las tensiones y deformaciones debidas a las solicitaciones estimadas; posteriormente las tensiones o deformaciones consideradas críticas se comparan con los valores límite para determinar la vida teórica de servicio; repitiendo el proceso para el mismo tipo de firme, pero con varias disposiciones y espesores de los materiales, se ajusta el diseño de manera que la vida de servicio teórica del firme coincida con la de proyecto o la supere.

En el Capítulo 3 se definen las solicitaciones externas a las que estará sometido el firme: tráfico y clima. La definición del tráfico se realizará por medio de dos parámetros: la categoría de tráfico pesado, definida en función de la IMD de vehículos pesados en el carril de proyecto, y el tráfico equivalente de proyecto, o número de ejes equivalentes que solicitarán la estructura del firme durante el periodo de proyecto. Se definen asimismo zonas climáticas, térmicas y pluviométricas.

El Capítulo 4 está dedicado íntegramente al diseño del cimiento del firme, cuestión que se considera de suma importancia en esta Instrucción debido a la problemática particular de los suelos en Andalucía.

Se definen las características de los suelos y materiales que pueden formar parte del cimiento y cómo valorar su capacidad de soporte. Se definen las fases de caracterización del terreno natural subyacente, entendiendo por tal al conjunto de suelos u otros materiales que se encuentra bajo la superficie de desmonte o núcleo del terraplén o pedraplén, se establecen los criterios para la clasificación y tramificación del cimiento y se establece el contenido mínimo del anejo geotécnico del proyecto de construcción.

Se define el procedimiento para el cálculo analítico del cimiento del firme, integrado en la aplicación informática ICAFIR, lo que dará lugar a la obtención del módulo equivalente del cimiento, indicador de su capacidad de soporte.

Finalmente, se establecen algunos criterios de proyecto que se deben considerar en el diseño del cimiento: tratamiento y disposición de suelos, estabilización de asientos, consideración del agua en el terreno, pendientes transversales, capas anticontaminantes, y cuñas de transición entre las obras de paso o estribos y las obras de tierras.

El Capítulo 5 se dedica al diseño de firmes con pavimento bituminoso, incluyéndose aquí los que tradicionalmente se conocen como firmes flexibles, semiflexibles y semirrígidos.

En este capítulo se dan indicaciones acerca de la tramificación, y se establecen una serie de criterios de proyecto, así como recomendaciones acerca de la tipología de secciones que se consideran más adecuada.

Se definen todos los materiales que pueden formar parte del firme y se establecen prescripciones adicionales a las del PG-3 para su utilización en los firmes objeto de esta Instrucción.

Por último se establece el procedimiento de cálculo analítico de los firmes. Se establece la caracterización mecánica de los materiales, los modelos de comportamiento y los criterios de fallo. El procedimiento de cálculo está totalmente integrado en la aplicación informática ICAFIR que se debe utilizar para el dimensionamiento del firme.

El Capítulo 6 se dedica al diseño de firmes con pavimento de hormigón, incluyéndose aquí los que tradicionalmente se conocen como firmes rígidos. Se incluyen además los firmes compuestos por un pavimento de hormigón armado y una rodadura bituminosa para aportar características funcionales.

Al igual que en el capítulo anterior, se dan indicaciones acerca de la tramificación, y se establecen una serie de criterios de proyecto, así como recomendaciones acerca de la tipología de secciones que se consideran más adecuada.

Se definen todos los materiales que pueden formar parte del firme y se establecen prescripciones adicionales a las del PG-3 para su utilización en los firmes objeto de esta Instrucción.

Por último se establece el procedimiento de cálculo de los firmes. Se establece la caracterización mecánica de los materiales, y el procedimiento de dimensionamiento, también integrado en la aplicación informática ICAFIR.

En el Capítulo 7 está dedicado al diseño de soluciones de firme en obras de acondicionamiento y mejora de firmes. Se establecen criterios de diseño para el ensanche del firme de la plataforma, mejoras del firme mediante reciclado in situ con emulsión o cemento, y la consideración del firme existente como cimiento en obras de acondicionamiento.

En el Capítulo 8 se establecen directrices y criterios para el proyecto de firmes para aplicaciones específicas como arcones, túneles, obras de paso, firmes provisionales, zonas de estacionamiento o parada y lechos de frenado.

El Capítulo 9 trata sobre otros aspectos que se deben considerar en el diseño de los firmes, como son los constructivos, económicos, o ambientales. Así mismo, se establecen criterios para la definición de tramos experimentales para el ensayo de nuevos materiales o técnicas.

Además de los capítulos se han incluido una serie de anejos como ayuda y para la mejor comprensión de los conceptos desarrollados en el texto general de la Instrucción.

En el Anejo 1 se presenta un glosario de definiciones relativas a la Instrucción.

En el Anejo 2 se presenta el manual del usuario de la aplicación informática ICAFIR, con la que se va a realizar el dimensionamiento práctico del firme y su cimiento. Se incluyen varios ejemplos de cálculo de firmes tanto con pavimento bituminoso como con pavimento de hormigón con la aplicación ICAFIR.

En los Anejos 3, 4 y 5 se proporcionan diversos datos de ayuda para el cálculo del tráfico, como son las producciones de los principales cultivos en Andalucía, el procedimiento de cálculo del coeficiente de equivalencia entre vehículos pesados y ejes equivalentes, y un ejemplo de cálculo del tráfico de proyecto.

En el Anejo 6 se describe el modelo de respuesta elástico multicapa en el que se basa la aplicación informática ICAFIR.

En el Anejo 7 se dan indicaciones prácticas sobre el tratamiento de suelos expansivos.

En el Anejo 8 figuran esquemas de soluciones para cuñas de transición en terraplén y zanja para obras de paso y estribos de estructuras.

En el Anejo 10 figuran las bases de cálculo consideradas en el dimensionamiento de los firmes de hormigón.

En el Anejo 11 se dan indicaciones sobre el dimensionamiento de pavimentos de adoquines para zonas de estacionamiento y parada.

Por último, en el Anejo 12 se presentan modelos de escenarios de conservación que pueden ser utilizados en defecto de datos más específicos para la estimación de los gastos de conservación de los firmes proyectados.



**3///**

**FACTORES  
DE DISEÑO**



## 3.1. INTRODUCCIÓN

Los factores de diseño del firme son las solicitaciones del tráfico, las condiciones climáticas, la capacidad de soporte del cimiento, los materiales disponibles y los aspectos económicos y medioambientales. Los dos primeros son tratados en este capítulo, el tercero es tratado en profundidad en el capítulo 4, y los dos últimos se tratan en el capítulo 9.

## 3.2. TRÁFICO

En el diseño del firme se tendrá únicamente en consideración el tráfico de vehículos pesados, el cual quedará definido mediante el par de valores dado por la categoría de tráfico pesado, de acuerdo con el apartado 3.2.1, y por el número de ejes equivalentes acumulados, o tráfico equivalente de proyecto, según el apartado 3.2.2.

La categoría de tráfico pesado se utilizará para la definición de las prescripciones técnicas sobre materiales y criterios de proyecto. El tráfico equivalente de proyecto se utilizará como parámetro de entrada en el método de dimensionamiento del firme.

En el diseño de firmes de nueva construcción y de ampliación de calzada de carreteras de la Red Principal se adoptará como período de proyecto 20 años, excepto para pavimentos de hormigón que será de 30 años. Para aquellas otras carreteras no pertenecientes a la Red Principal se podrá considerar justificadamente un período de proyecto inferior, en cualquier caso no inferior a 10 años.

### 3.2.1. Categoría de tráfico pesado

Se consideran las categorías de tráfico pesado definidas en la tabla 3.1 en función de la Intensidad Media Diaria de vehículos pesados que se prevea en el carril de proyecto en el año de apertura al tráfico (IMDPA).

**Tabla 3.1. Categorías del tráfico pesado**

<b>Categoría</b>	<b>IMDPA</b>
T00	$\geq 4.000$
T0	$\geq 2.000$ y $< 4.000$
T1	$\geq 800$ y $< 2.000$
T2	$\geq 200$ y $< 800$
T3A	$100$ y $< 200$
T3B	$\geq 50$ y $< 100$
T4A	$\geq 25$ y $< 50$
T4B	$< 25$

El carril de proyecto será aquél que soporte mayores cargas de tráfico, es decir, para el que se prevea un mayor tráfico de proyecto. En carreteras de calzada única, dos carriles y doble sentido de circulación se puede tomar como carril de proyecto cualquiera de los dos, si no existe un desequilibrio manifiesto de las cargas por sentido de circulación. En carreteras con más de un carril por sentido se puede tomar como carril más cargado el exterior.

En vías de nueva construcción, la IMDPA se estimará a partir de los obtenidos en otras vías del corredor, encuestas de origen y destino, y de casos similares en el ámbito territorial considerado. En acondicionamientos y mejoras de carreteras se podrán utilizar también los aforos manuales o automáticos pertinentes.

Se tendrán en cuenta los datos del Plan General de Aforos de Andalucía, recogidos en sus informes anuales, elaborados por la Dirección General de Carreteras de la Junta de Andalucía.

En todo caso se estudiará especialmente el tráfico inducido y generado después de la puesta en servicio, que puede modificar sensiblemente las estimaciones de tráfico. Si de los estudios de tráfico pertinentes se deduce que la apertura del tramo inducirá un tráfico superior al calculado según el procedimiento descrito, se adoptará el valor del tráfico inducido.

En acondicionamientos y mejoras de trazado, si no se dispone de datos específicos de aforos, y presenta una IMDPA estimada superior a 50 es conveniente realizar estudios específicos para su determinación. En caso contrario se pueden adoptar las siguientes hipótesis:

- / En carreteras de zonas agrícolas (en general, carreteras con tráficos ligeros) se pueden seguir los criterios definidos en el Anejo 3 Definición del tráfico en zonas agrícolas.
- / En carreteras que comuniquen aglomeraciones urbanas se recomienda adoptar una IMDPA comprendida entre 20 y 50 cuando alguna de las aglomeraciones urbanas que atraviese o conecte el tramo tenga un número de habitantes igual o superior a 1.000, e inferior a 20 en caso contrario.

Si se desconoce el porcentaje de vehículos pesados se realizarán estudios específicos para su determinación. En carreteras con IMD (en ambos sentidos e incluyendo todo tipo de vehículos) inferior a 1.000, se puede optar también por adoptar la hipótesis de que dicho porcentaje es del 8%.

Si no se dispone de datos de la distribución por carriles de los vehículos pesados, se puede suponer que:

- / En carreteras de dos carriles y doble sentido de la circulación:
  - // Si el ancho de la calzada es superior a 6 m, sobre el carril de proyecto circula la mitad del total de vehículos pesados en ambos sentidos.
  - // Si el ancho de la calzada está comprendido entre 5 y 6 m, sobre el carril de proyecto circulan las tres cuartas partes del total.
  - // Si el ancho de la calzada es inferior a 5 m, sobre el carril de proyecto circula la totalidad de vehículos pesados en ambos sentidos.
- / En carreteras de dos carriles por cada sentido de circulación, sobre el carril de proyecto circula la totalidad de vehículos pesados en el sentido considerado.
- / En carreteras con tres o más carriles por sentido de circulación, sin contar los carriles adicionales (carriles lentos, de aceleración o deceleración, ramales, etc.), sobre el carril de proyecto circula el 85% de la totalidad de vehículos pesados en el sentido considerado.

La estimación de la IMD de vehículos pesados en el año de apertura al tráfico partirá del año del aforo y se actualizará a la fecha de puesta en servicio del tramo. Se tomará una tasa de crecimiento dada por la media de los valores de crecimiento del tráfico pesado de los seis años anteriores. Si se desconoce fecha de puesta en servicio se puede suponer tres años desde la redacción del proyecto.

## 3.2.2. Tráfico equivalente de proyecto

Se entiende por tráfico equivalente de proyecto (TP) el número acumulado de ejes equivalentes de 13 t que se prevea que pasarán sobre el carril de proyecto durante el período de proyecto.

El tráfico de proyecto se puede obtener a partir de la siguiente expresión:

$$TP = IMD_{PA} \times CE \times 365 \times F \times \gamma t \quad [3.1]$$

- IMDPA: Intensidad Media Diaria de vehículos pesados en el carril de proyecto en el año de apertura al tráfico.
- CE: Coeficiente de equivalencia de los vehículos pesados en número de aplicaciones del eje equivalente de 13 t.
- F: Factor de crecimiento del tráfico de vehículos pesados.
- $\gamma t$ : Coeficiente de seguridad por mayoración de cargas.

En el caso de que se disponga de datos acerca de la distribución de ejes por intervalos de carga y tipos de ejes (simple, doble, triple), se calculará el valor del coeficiente de equivalencia siguiendo los criterios del Anejo 2 Cálculo del coeficiente de equivalencia. En caso contrario, se adoptarán los valores de la tabla 3.2.

**Tabla 3.2. Valores del coeficiente de equivalencia (CE)**

Tipo de firme	CE
Firme con base bituminosa o granular	0,6
Firme con base tratada con cemento	0,8
Firme con pavimento de hormigón vibrado	1,0

En el caso de vías con tráfico especialmente agresivo, entendiendo por tal el formado por una proporción significativa de vehículos pesados con carga media muy elevada, se calculará el valor de CE de acuerdo a lo indicado en el Anejo 2.

El factor de crecimiento del tráfico de vehículos pesados (F) se obtendrá sumando los incrementos acumulados de este tráfico, respecto al año de apertura al tráfico, a lo largo del período de proyecto considerado. Dependerá por tanto de la tasa de crecimiento anual del tráfico de vehículos pesados y del propio período de proyecto. La tasa de crecimiento anual del tráfico de vehículos pesados se tomará del correspondiente estudio de tráfico específico del proyecto.

En la tabla 3.3 se indican los factores de crecimiento para varios períodos de proyecto y tasas constantes de crecimiento anual del tráfico.

**Tabla 3.3. Factor de crecimiento para distintas tasas de crecimiento anual del tráfico de vehículos pesados y periodos de proyecto**

Periodo de proyecto (años)	Tasa anual de crecimiento (%)			
	2	3	4	5
10	10,9	11,5	12,0	13,2
15	17,3	18,6	20,0	23,3
20	24,3	26,9	29,8	36,8
30	40,6	47,6	56,1	79,1



En caso de no contar con estudios específicos para la estimación de tasa anual de crecimiento del tráfico pesado se puede extrapolar a partir de series históricas completas del Plan General de Aforos de Andalucía, considerando datos de al menos seis años. En ausencia de datos fiables se escogerá una tasa de crecimiento anual entre un 2 y un 4%.

El incremento de la IMD de vehículos pesados a lo largo del período de proyecto vendrá limitado, en cada caso, por la capacidad asociada a cada tramo del proyecto, de forma que a partir del momento en que la intensidad alcance el valor máximo correspondiente al tipo de vía y tramo, se considerará constantemente igual a este valor hasta el final del período de cálculo. El valor de esta capacidad, en términos de IMD, se deberá justificar convenientemente en el correspondiente estudio de tráfico.

En el caso de que no se disponga de un estudio específico, para carreteras de calzada única y doble sentido de circulación, se pueden considerar los valores de capacidad en toda la calzada señalados en la tabla 3.4.

**Tabla 3.4. Máxima IMD de vehículos pesados en toda la calzada (Capacidad) por tipo de vía y tramo<sup>(1)</sup>**

Tipo de vía	Tipo de tramo		
	Llano	Ondulado	Montañoso
Red principal <sup>(2)</sup>	9.000	4.000	2.000
Red secundaria <sup>(3)</sup>	7.000	3.000	1.500
Red secundaria <sup>(4)</sup>	5.000	2.000	1.000

<sup>(1)</sup> La capacidad se ha obtenido basándose en el MANUAL DE CAPACIDAD DE CARRETERAS con las siguientes hipótesis: 50% camiones, FHP=1, k=0,10, reparto por carriles 60/40.

<sup>(2)</sup> Calzada de 7 m y arcén  $\geq$  1,5 m.

<sup>(3)</sup> Calzada de 6 m y arcén  $\geq$  0,5 m.

<sup>(4)</sup> Calzada de 5 m y sin arcén.

El coeficiente de mayoración de las cargas ( $\gamma_t$ ) se determinará en función de la categoría de tráfico pesado de acuerdo con la tabla 3.5.

**Tabla 3.5. Coeficiente de mayoración de las cargas**

Categoría de tráfico pesado	$\gamma_t$
T00 a T1	1,20
T2 y T3	1,10
T4	1,00

En el Anejo 5 se presenta un ejemplo de cálculo del tráfico de proyecto con tasas anuales de crecimiento constante y variable, en el cual se incluye la determinación del valor de CE a partir de la distribución de ejes por intervalos de cargas y de la tasa de crecimiento anual del tráfico.

### 3.3. CLIMA

En el diseño del firme se tendrán en cuenta las zonas térmica y pluviométrica que correspondan a la situación geográfica de la carretera objeto del proyecto.

### 3.3.1. Zonas térmicas

A efectos del proyecto de firmes con pavimento bituminoso se definen cuatro zonas térmicas, en función de las temperaturas ambientales máxima y mínima, con los criterios mostrados en la tabla 3.6, siendo:

**Tabla 3.6. Zonas térmicas**

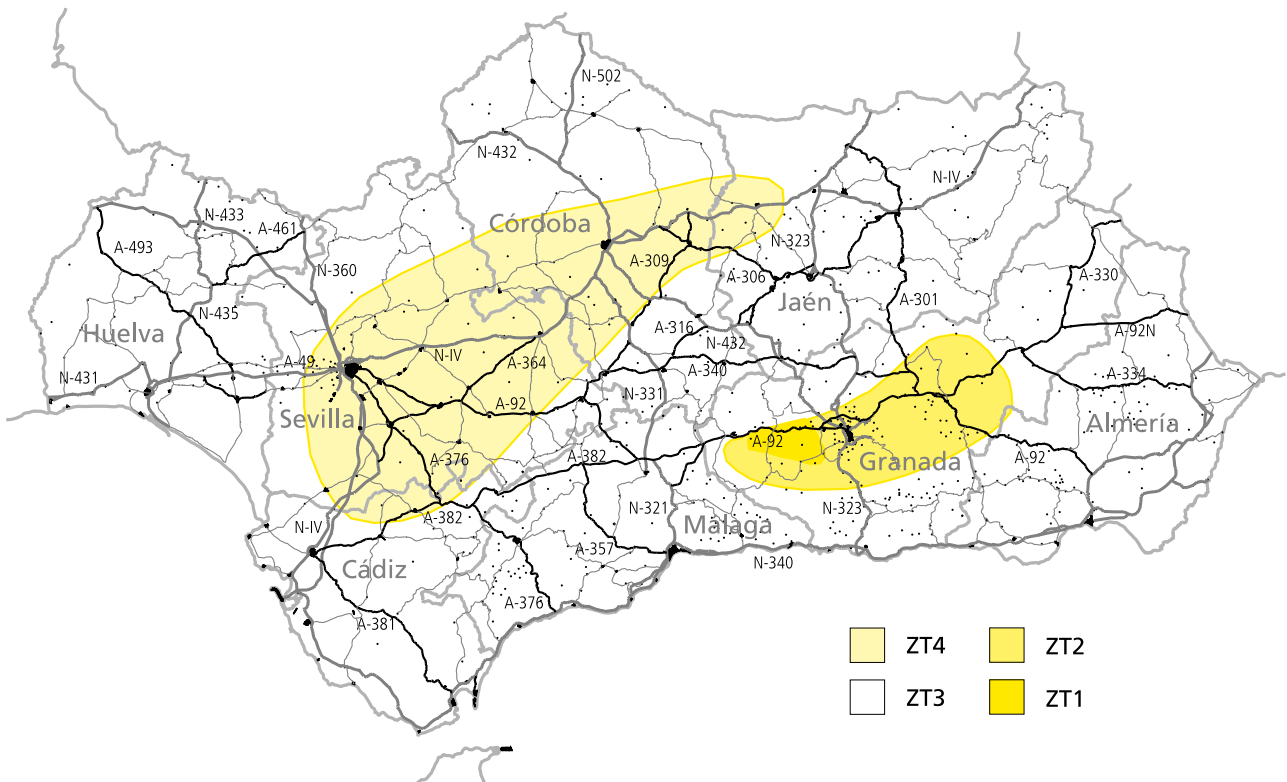
ZONA TÉRMICA	ZT1	ZT2	ZT3	ZT4
Temperatura máxima (°C)	$TM \leq 30$	$TM < 35$	$30 < TM \leq 35$	$TM > 35$
Temperatura mínima (°C)	$Tm \leq -8$	$Tm > -8$	$Tm \leq -8$	-

–TM: Temperatura ambiente máxima anual de las medias mensuales máximas diarias, en °C, para un período de medida de 20 años.

–Tm: Temperatura mínima anual absoluta, en °C, en la estación meteorológica más próxima a la zona por la que transcurre la carretera, para un período de medida de 20 años.

Si no se dispone de series de los datos correspondientes a las estaciones meteorológicas más próximas a la zona, o si los datos disponibles no abarcan un período de 20 años, se puede establecer la clasificación de la zona térmica mediante el mapa de la figura 3.1.

**Figura 3.1. Mapa de zonas térmicas**



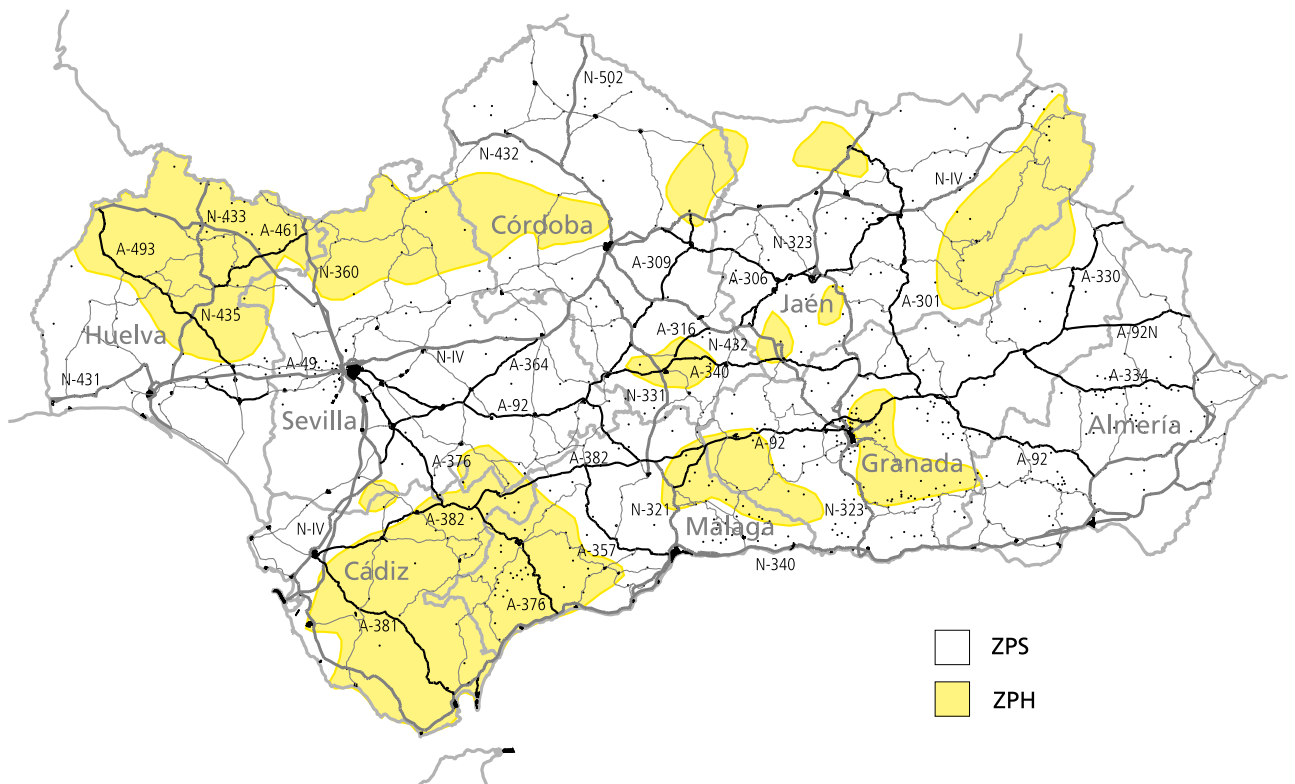
### 3.3.2. Zonas pluviométricas

Se definen dos zonas pluviométricas, en función de la precipitación, con los criterios mostrados en la tabla 3.7, siendo P la precipitación media anual en un período de 20 años. En caso de no disponerse de datos de precipitaciones, se puede utilizar el mapa de la figura 3.2.

**Tabla 3.7. Zonas pluviométricas**

ZONA PLUVIOMÉTRICA	ZPS	ZPH
P (mm)	≤ 700	>700

**Figura 3.2. Mapa de zonas pluviométricas**





**4///**

# **DISEÑO DEL CIMIENTO DEL FIRME**

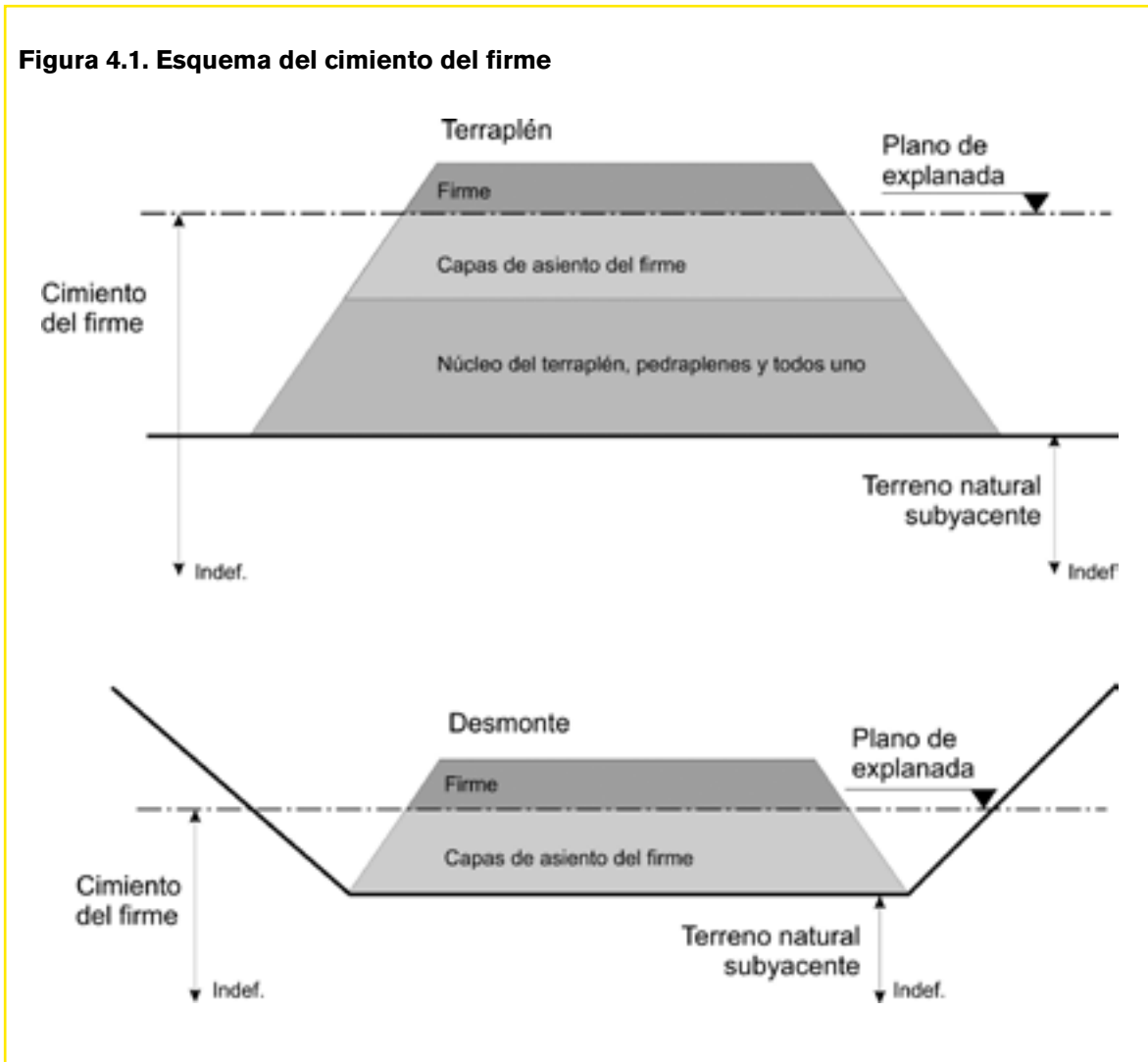


## 4.1. DEFINICIONES

**Terreno natural subyacente** (TNS) (ver figura 4.1) es el terreno natural sobre el que se apoyan los distintos elementos constructivos de la carretera, tales como las capas de asiento del firme en los desmontes, terraplenes, pedraplenes, estructuras, obras de fábricas, drenajes, y cualquier otro elemento constructivo.

**Cimiento del firme** (ver figura 4.1) es el conjunto formado por el TNS y capas de suelos u otros materiales que se encuentran bajo el plano de explanada.

**Figura 4.1. Esquema del cimiento del firme**



**Plano de explanada** es el plano que constituye la superficie superior del cimiento sobre la que se apoya el firme.

**Capas de asiento del firme** son las capas formadas por suelos o materiales de aportación, o por la estabilización de los existentes, cuya finalidad es mejorar y homogeneizar la capacidad soporte del cimiento del firme, proteger los suelos susceptibles al agua mediante impermeabilización o evacuación, facilitar las labores de construcción, y obtener las superficies geométricas precisas.

**Terraplenes, pedraplenes y todos-uno** son las capas de materiales sueltos situadas entre el terreno natural subyacente y las capas de asiento, necesarias para rellenar las depresiones hasta conseguir la cota adecuada. En general las referencias del texto al núcleo de terraplenes serán aplicables a pedraplenes y todos-uno, salvo que se especifique lo contrario.

## 4.2. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS Y MATERIALES

### 4.2.1. Tipos de suelos y materiales

En la tabla 4.1 se establece la clasificación de suelos y materiales, así como las características exigibles, para la caracterización del terreno natural subyacente y su utilización en la formación del cimiento, que se deberán reflejar en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares (PPTP) del proyecto, junto con los símbolos empleados en esta Instrucción.

Símbolo	Designación del Material	Características	Prescripciones complementarias para su empleo en	
			Núcleo	Capas de asiento
SIN	Suelo Inadecuado	Según suelo inadecuado del art. 330 del PG-3	No utilizable	No utilizable
S00	Suelo Marginal	Según suelo marginal del art. 330 del PG-3	Estudio especial. No utilizable en zonas inundables	No utilizable
S0	Suelo Tolerable	Según suelo tolerable del art. 330 del PG-3	CBR <sup>(2)</sup> ≥ 3 Hinchamiento <sup>(1)</sup> < 3% No utilizable en zonas inundables	No utilizable
S1	Suelo Adecuado	Según suelo adecuado del art. 330 del PG-3	CBR <sup>(2)</sup> ≥ 5 Hinchamiento <sup>(1)</sup> < 3% salvo en zonas inundables que < 1%	CBR <sup>(2)</sup> ≥ 5 Hinchamiento <sup>(1)</sup> nulo Sólo utilizable sobre suelos SIN, S00 ó S0
S2	Suelo Seleccionado Tipo 2	Según suelo seleccionado del art. 330 del PG-3	CBR <sup>(2)</sup> ≥ 10 Hinchamiento <sup>(1)</sup> < 1%	CBR <sup>(2)</sup> ≥ 10 Hinchamiento <sup>(1)</sup> nulo
S3	Suelo Seleccionado Tipo 3	Según suelo seleccionado del art. 330 del PG-3	CBR <sup>(2)</sup> ≥ 20 Hinchamiento <sup>(1)</sup> < 1%	CBR <sup>(2)</sup> ≥ 20 Hinchamiento <sup>(1)</sup> nulo
S4	Suelo Seleccionado Tipo 4 <sup>(3)</sup>	Según suelo seleccionado del art. 330 del PG-3	CBR <sup>(2)</sup> ≥ 20 Hinchamiento <sup>(1)</sup> < 1%	CBR <sup>(2)</sup> ≥ 40 Hinchamiento <sup>(1)</sup> nulo
S-EST1	Suelo estabilizado in situ Tipo 1	Según S-EST1 del art. 512 del PG-3	Cal o cemento ≥ 2% y CBR a los 7 días ≥ 6	
S-EST2	Suelo estabilizado in situ Tipo 2	Según S-EST2 del art. 512 del PG-3	Cal o cemento ≥ 3% y CBR a los 7 días ≥ 12	
S-EST3	Suelo estabilizado in situ Tipo 3	Según S-EST3 del art. 512 del PG-3	Resistencia a compresión a 7 días ≥ 1,5 MPa y Cemento ≥ 3%	
Z	Zahorras	Según art. 510 del PG-3		
ROCA	Desmonte en roca	Según art. 320 del PG-3	-	Regularización con hormigón HM-20
P	Pedraplén	Según art. 331 del PG-3	Art. 331 del PG-3	No utilizable en capas de asiento
TU	Todo uno	Según art. 333 del PG-3	Art. 333 del PG-3	No utilizable en capas de asiento

(1) El Hinchamiento se realizará en edómetro según Norma UNE 103.601  
(2) En relación al CBR véase apartado 4.2.2.  
(3) Se podrán clasificar dentro de éste grupo los alberos y alberizas que presenten las siguientes características: IP < 5; Hinchamiento 0%; Equivalente de arena > 25; retiene #25 < 25%; #0,080 < 20%, y un contenido de sales solubles < 0,5%.

## 4.2.2. Definición de la capacidad de soporte de los suelos

La capacidad de soporte de los suelos para su caracterización se determinará mediante su índice CBR medido en laboratorio sobre muestras recompatadas.

A efectos de clasificación del TNS, el ensayo CBR se realizará con la humedad óptima del ensayo Proctor Normal y una densidad del 95% de la máxima Proctor Normal en el caso de los suelos inadecuados, marginales, tolerables o adecuados, y con la humedad óptima del ensayo Proctor Modificado y una densidad del 95% de la máxima Proctor Modificado para suelos seleccionados y estabilizados. En estos últimos, el ensayo CBR se realizará tras 7 días de inmersión en agua en lugar de los 4 días indicados en la norma UNE 103 502.

En suelos para terraplenes y capas de asiento, el ensayo CBR se realizará con la densidad de referencia y la humedad que se vaya a alcanzar en obra de acuerdo con lo indicado en los PPTP del proyecto.

## 4.3. CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO NATURAL SUBYACENTE

Para el correcto diseño y dimensionamiento del firme es preciso conocer las características y estado del terreno natural subyacente en una profundidad mínima de 2 m, si bien el proyectista se asegurará mediante los estudios oportunos que bajo esos 2 m reconocidos el terreno presenta similares características. En caso contrario realizará un estudio especial que permita justificar las hipótesis adoptadas para el cálculo del cimiento.

El reconocimiento del terreno natural se debe estructurar en una serie de fases sucesivas, cuyo contenido mínimo se explicita en los siguientes epígrafes. Hay que mencionar no obstante que el alcance de las investigaciones propuestas no incluye el estudio del terreno como cimentación de las estructuras de tierras desde el punto de vista geotécnico ante sus posibles estados límites. Así, deberán plantearse reconocimientos específicos para resolver problemas tales como posibles hundimientos, asientos, expansividad, deslizamientos, etc.

### 4.3.1. Fase 1\_Recopilación de información geológica y geotécnica

Se recopilará toda la información procedente de estudios previos y la recogida en la bibliografía existente (mapa geotécnico general a escala 1:200.000 y mapas geológicos a escalas 1:200.000 y 1:50.000 publicados por el Instituto Tecnológico y Geominero de España, estudios previos de corredores ya realizados, etc.) y se efectuará un estudio geológico de detalle que permita efectuar una primera tramificación del trazado tomando en consideración las formaciones afectadas. En proyectos de trazado y construcción el estudio geológico se realizará a escala 1:5.000.

### 4.3.2. Fase 2\_Reconocimiento del terreno en campo y toma de muestras

Antes de llevar a cabo el reconocimiento geotécnico del terreno natural subyacente es necesaria una definición previa de las zonas de desmonte y terraplén.



En los tramos en terraplén se efectuarán calicatas de las que se tomarán muestras de las distintas formaciones afectadas para su análisis en laboratorio, y se determinará la humedad a diferentes profundidades. En los tramos de desmonte en los que no sea posible reconocer el terreno natural con calicatas se efectuarán sondeos mecánicos que alcanzarán una profundidad de mínima de 2 m bajo el TNS previsto. La frecuencia mínima del reconocimiento será la indicada en tabla 4.2. Los trabajos de reconocimiento definirán la presencia o ausencia del nivel freático en los 2 m situados bajo las capas previstas de asiento del firme.

### 4.3.3. Fase 3\_Ensayos de identificación en laboratorio

Las muestras procedentes de las calicatas y los sondeos mecánicos se caracterizarán mediante ensayos de identificación (granulometría, límites de Atterberg, humedad natural, hinchamiento libre en edómetro) y ensayos químicos (sulfatos, sales solubles, materia orgánica). Si el índice de plasticidad es superior a 18 adicionalmente se realizará el ensayo de presión de hinchamiento en edómetro.

Se realizará una identificación previa de suelos conforme a los criterios definidos en el apartado 4.2 y se definirán grupos homogéneos, entendiendo como tales los suelos contiguos a lo largo de la traza y que, según los ensayos anteriores, pertenezcan al mismo tipo.

**Tabla 4.2. Frecuencia mínima del reconocimiento del terreno natural subyacente**

<b>Tráfico pesado</b>	<b>Tramos en terraplén</b>	<b>Tramos en desmonte</b>
T2 ó superior	1 calicata/500 m ó cambio de material	1 sondeo/500 m ó por desmonte
T3 o inferior	1 calicata/800 m ó cambio de material	1 sondeo/800 m ó por desmonte

Sobre muestras representativas de cada grupo homogéneo se determinarán la densidad máxima Proctor Normal y el índice CBR al 95%. La frecuencia mínima de ensayos CBR por grupo homogéneo de suelo será la indicada en la tabla 4.3, exceptuando el caso en que únicamente se cuente con muestras procedentes de sondeos, sobre los que se realizarán los ensayos que permitan las cantidades disponibles de muestra.

**Tabla 4.3. Frecuencia mínima de ensayos CBR en función de la categoría del tráfico de proyecto por grupo homogéneo de suelos**

<b>Tráfico pesado</b>	<b>Número de ensayos</b>
T2 ó superior	6
T3	4
T4	2

Cuando no sea posible efectuar el ensayo del CBR sobre muestras recompactadas, excepcionalmente y previa justificación, se puede admitir su estimación a partir de otras técnicas convencionales de reconocimiento geotécnico como son los ensayos SPT, de penetración dinámica, o presiométricos. En particular, cuando se estime a partir de ensayos SPT, se utilizará la correlación de la tabla 4.4.

La frecuencia de realización de estos ensayos de campo alternativos será la necesaria para caracterizar las distintas formaciones afectadas, y al menos un ensayo por kilómetro, cuidando que la extrapolación de la información obtenida en estos ensayos se realice mediante procedimientos geológicos o geofísicos debidamente justificados.

**Tabla 4.4. Correlación CBR – SPT**

$N_{SPT}$	Material granular	5	10	12	15	20	25	30
	Material cohesivo	2	5	7	10	15	17	20
CBR estimado	1	2	3	5	10	20	30	

Estos ensayos de campo para establecer correlación con el CBR, se realizarán salvo ineludible necesidad en período húmedo. Se considerará período húmedo aquél en el que en el mes anterior a las medidas, en la estación meteorológica más próxima a la zona de estudio, se haya producido una precipitación mensual superior a 30mm, y período intermedio cuando éstas sean superiores a 20mm. A título orientativo, para la programación de los trabajos, se pueden incluir en el período húmedo los meses de diciembre a abril, ambos inclusive, y en el período seco, los meses de julio, agosto y septiembre. En caso de realizar los ensayos en período seco se dividirán los valores obtenidos por 2, y en período intermedio por 1,5.

#### 4.3.4. Fase 4\_Tramificación del terreno natural subyacente

Se definirá un tramo de TNS por cada tipo de suelo diferente o aún cuando siendo del mismo tipo varíe sensiblemente su capacidad de soporte. La capacidad de soporte se valorará en función del CBR característico de proyecto de cada grupo homogéneo de suelos, entendiendo por tal el menor de los obtenidos en el tramo.

Para evitar que el CBR característico se vea muy afectado por la presencia de puntos blandos como vaguadas, intercalaciones de materiales blandos etc., en zonas de mayor capacidad portante, se incluirá en el proyecto el saneo de estos puntos para restituir su capacidad portante a valores similares a las zonas aledañas.

### 4.4. CRITERIOS PARA LA DEFINICIÓN DE SUBTRAMOS DE CIMIENTO

La definición de subtramos de cimiento partirá en primer lugar de la tramificación previa de los suelos del TNS, y posteriormente tendrá en cuenta la diferenciación entre zonas de terraplén con altura superior a 2 m, zonas con terraplenes de menor altura, y zonas de desmonte.

En general, se formará un subtramo por cada tipo de suelo diferente, o siendo del mismo tipo cuando varíe sensiblemente su capacidad de soporte.

La definición de subtramos de cimiento en zonas de terraplén con altura superior a 2 m se basará únicamente en el suelo utilizado en el núcleo del terraplén.

En zonas de desmonte, o de terraplén con altura inferior a 2 m, la definición de subtramos de cimiento partirá de la definición de tramos homogéneos del TNS realizada durante la fase de reconocimiento del terreno.

En todo caso, salvo excepciones, no se formarán subtramos de cimiento de longitud inferior a 500 m.

Para cada subtramo de cimiento se dimensionará una sección tipo según el procedimiento descrito en el apartado 4.7. La sección tipo de cimiento se entenderá formada por las capas de asiento mínimas necesarias para conseguir la categoría de cimiento deseada (ver tabla 4.5).

En general, el proyectista debe tender a definir un número reducido de secciones tipo de manera que no se compliquen en exceso las labores de construcción. A tal efecto agrupará aquellos subtramos de cimiento

que considere oportunos definiendo una única sección tipo que permita sobre cualquiera de ellos conseguir la capacidad de soporte mínima requerida.

## 4.5. CONTENIDO MÍNIMO DEL ANEJO GEOTÉCNICO

El anejo geotécnico del proyecto incluirá un perfil geológico-geotécnico, en el que se definan al menos:

- / Los límites del terreno natural reconocido.
- / La situación del nivel freático, y en su caso, zonas inundables.
- / Los grupos homogéneos de suelo encontrados.
- / La tramificación del terreno natural por grupos homogéneos junto con las características que definen cada subtramo.
- / La tramificación del terreno en zonas de desmote y terraplén, en particular aquellos de altura superior a 2 m.
- / Los estudios especiales y complementarios (en su caso) que se deberán tener en cuenta en la redacción de los Pliegos de Prescripciones Técnicas Particulares.

En base al informe geotécnico, se incluirá en el proyecto una tramificación con los criterios adoptados por el proyectista para los distintos tramos del Terreno Natural Subyacente, indicando para cada uno, el CBR, índice de plasticidad y el hinchamiento libre en edómetro, y si el IP es mayor de 18, se incluirán asimismo los valores de la presión de hinchamiento en edómetro. Un modelo gráfico de tramificación del TNS se incluye en la figura 1 del Anejo 7.

## 4.6. CLASIFICACIÓN DEL CIMIENTO

El cimiento del firme estará constituido por el terreno natural subyacente en fondo de desmote, los suelos o materiales de aportación en núcleo de terraplenes o pedraplenes sobre los que se apoyan, y las capas de asiento del firme.

Se definen tres categorías de cimiento del firme, según se indica en la tabla 4.5, en función de su capacidad de soporte la cual se definirá mediante el módulo equivalente  $E_e$  calculado de acuerdo al procedimiento descrito en esta instrucción (ver apartado 4.8.5). Cuando el núcleo de terraplén o terreno natural subyacente no cumplan con los criterios señalados para cada categoría de cimiento se proyectarán las correspondientes capas de asiento.

La categoría de cimiento se seleccionará teniendo en cuenta la categoría de tráfico de proyecto elegido, el terreno subyacente existente, los suelos disponibles y el coste total de la solución.

## 4.7. DIMENSIONAMIENTO DEL CIMIENTO DEL FIRME

El dimensionamiento del cimiento del firme tiene por objeto conseguir las capacidades de soporte exigidas y aprovechar al máximo los suelos procedentes de las excavaciones realizadas en la propia obra, desde los puntos de vista técnico, económico y ambiental.

**Tabla 4.5. Categorías del cimiento del firme**

Categoría de cimiento	Módulo equivalente, $E_e$ (MPa)	Categorías válidas de tráfico de proyecto
BAJA	$\geq 60$	T4
MEDIA	$\geq 100$	T3 y T4
ALTA	$\geq 160$	T00 a T2

El dimensionamiento consistirá en la definición de las capas de asiento que se deben disponer sobre el terraplén o el fondo de desmonte, para que cumpliendo con los criterios de proyecto se consiga la capacidad de soporte mínima ( $E_s$ ) definida para la categoría de proyecto seleccionada.

Para el dimensionamiento práctico del cimiento se utilizará el programa ICAFIR que se basa en el modelo de respuesta elástico multicapa descrito en el Anejo 6. El proceso a seguir para el dimensionamiento será el siguiente:

- / Caracterización del terreno de apoyo de las capas de asiento.
- / Definición y caracterización de las capas de asiento.
- / Cálculo del módulo equivalente del cimiento.
- / Definición de la sección tipo.
- / Las características mecánicas de los materiales consideradas en esta instrucción son valores de cálculo, que no necesariamente tienen por qué coincidir con sus valores medios.

## 4.7.1. Caracterización del apoyo de las capas de asiento

El terreno de apoyo de las capas de asiento estará constituido bien por el terreno natural subyacente, si se trata de un fondo de desmonte, o por el núcleo del terraplén.

A efectos de cálculo, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- / En desmontes, el apoyo se considerará constituido directamente por los suelos del TNS, que se caracterizará mediante un macizo elástico semiindefinido. En caso de que se opte por la sustitución de los suelos del TNS en un determinado espesor, el material de aportación se tendrá en cuenta en el cálculo como una capa de apoyo más descansando sobre el macizo semiindefinido del TNS.
- / En terraplenes de altura inferior a 2 m, el apoyo estará constituido por el núcleo de terraplén, considerado como una única capa, apoyada sobre el macizo semiindefinido del TNS. En caso de sustitución de los suelos del TNS en un determinado espesor, el material de aportación en el cimiento del relleno se tendrá en cuenta en el cálculo como una capa de apoyo más descansando sobre el macizo semiindefinido del TNS.
- / Los terraplenes de altura superior a 2 m se caracterizarán directamente como un macizo semiindefinido constituido por los suelos del núcleo del terraplén, y despreciando por tanto el efecto de los suelos del TNS.

La capacidad de soporte de los suelos del apoyo vendrá dada por el CBR característico de proyecto de los suelos que lo constituyen o que se consideren predominantes. El módulo de elasticidad de los suelos tipo S1N, S00, S0 y S1 se obtendrá a partir del valor del CBR característico del proyecto mediante la siguiente expresión:

$$E(\text{Mpa}) = 10 \cdot \text{CBR} \quad [4.1]$$

En el caso de que el terreno estuviera formado por los suelos o materiales granulares de los tipos S2, S3, S4, TU, ZN ó ZA se tomará directamente el valor del módulo de elasticidad indicado en la tabla 4.6.

En todos los casos se considerará para el macizo semiindefinido un coeficiente de Poisson de 0,35.

**Tabla 4.6. Valor máximo del módulo de elasticidad de suelos y materiales granulares**

<b>Materiales</b>	<b>E máximo (MPa)</b>
Suelo tipo S2	150
Suelo tipo S3	200
Suelo tipo S4 y todo-uno	250
Zahorra natural	350
Zahorra artificial	500

Cuando el terreno natural esté constituido por un macizo rocoso se adoptarán los valores del módulo de elasticidad indicados en la tabla 4.7 en función de la calidad de la roca. El coeficiente de Poisson se tomará igual a 0,25 en todos los casos.

**Tabla 4.7. Valores del módulo de elasticidad de macizos rocosos**

<b>Calidad de la roca</b>	<b>RMR</b>	<b>E (MPa)</b>
Muy buena	81 – 100	8.000
Buena	61 – 80	3.500
Media	41 – 60	1.000
Mala	21 – 40	350
Muy mala	1 - 20	90

RMR: índice de calidad de la roca según clasificación de Bieniawski.

## 4.7.2. Caracterización de las capas de asiento

Las capas de asiento se dividirán a efectos de cálculo en las tongadas de construcción que tendrán un espesor comprendido 20 y 30 cm en el caso de suelos y suelos estabilizados, y de entre 15 y 30 cm en el caso de zahorras. Cada tongada se considerará a efectos de cálculo como una capa elástica, homogénea e isótropa indefinida horizontalmente, y por tanto se caracterizará mediante su espesor, módulo de elasticidad y su coeficiente de Poisson. En general, se redondearán al alza los espesores de cálculo a múltiplos de 5 cm.

En la formación de las capas de asiento se utilizarán suelos adecuados, seleccionados, zahorras, todos-uno, materiales granulares y/o suelos estabilizados in situ, con cal o cemento de los definidos en la tabla 4.1.

Se considerará que el módulo de elasticidad de cada tongada de suelo o material granular aumenta proporcionalmente al módulo de la capa o tongada sobre la que se apoya hasta alcanzar su máxima capacidad de soporte. En consecuencia, el módulo elástico de cada tongada vendrá dado por la siguiente expresión:

$$E_i = c_i \cdot E_{r,i} \quad [4.2]$$

Donde:

- $E_i$ : Módulo de la tongada "i"
- $E_{i-1}$ : Módulo de la tongada subyacente "i-1"
- $C_i$ : Coeficiente que se tomará de la tabla 4.8.

**Tabla 4.8. Valor del coeficiente de proporcionalidad, C, entre módulos de suelos y materiales granulares**

Material de la tongada superior	Coeficiente $C_i$
Suelos S1 y S2	2,0
Suelos S3, S4 y zahorra natural	2,5
Zahorra artificial	3,0

El valor límite del módulo de cada tongada de suelos o material granular dependerá del tipo de material. Para suelos adecuados se estimará mediante la expresión [4.1] partiendo de su índice CBR característico de proyecto. Para el resto de suelos y materiales granulares se considerará un valor fijo de acuerdo con la tabla 4.6. En todas ellas se adoptará un valor del coeficiente de Poisson de 0,35.

Para los suelos estabilizados in situ se considerarán en cualquier caso las características mecánicas fijas definidas en la tabla 4.9.

**Tabla 4.9. Características mecánicas de suelos estabilizados in situ**

MATERIALES	E (MPa)	$\nu$
Suelo estabilizado tipo S-EST1	100	0,35
Suelo estabilizado tipo S-EST2	200	0,30
Suelo estabilizado tipo S-EST3	1.000	0,25

## 4.7.3. Cálculo del módulo equivalente del cimiento

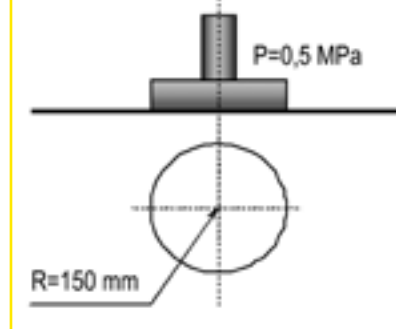
El módulo equivalente del cimiento en cada subtramo se obtendrá a partir de la siguiente expresión<sup>1</sup>:

$$E_e = 13.150 / d_o \text{ (mm/100)} \quad [4.3]$$

Siendo la deflexión superficial en el centro de la carga, obtenida del cálculo analítico con el modelo elástico multicapa definido anteriormente aplicando una sollicitación tipo PLACA DE CARGA (Presión de contacto 0,5 MPa y Diámetro de la placa 300 mm) de acuerdo con lo indicado en la figura 4.2, sobre la estructura multicapa formada por las capas de asiento apoyadas en el macizo semiindefinido de apoyo.

El cimiento del firme se considerará adecuado únicamente cuando, cumpliendo los criterios de proyecto definidos, se logre supe-

**Figura 4.2. Sollicitación tipo placa de carga**



1. La expresión resulta de considerar el conjunto de suelos del cimiento del firme como un único macizo elástico, semiindefinido e isótropo de módulo  $E_e$  y coeficiente de Poisson 0,35 tal que aplicándole la misma sollicitación tipo placa de carga se obtiene la misma deflexión superficial en el eje de la carga.

rar el módulo equivalente mínimo exigido para cada categoría de cimiento: alta, media o baja. En caso contrario, se debe modificar la estructura de las capas de asiento, espesores o materiales, hasta lograr dicho objetivo. Una vez definida la sección tipo mínima de cálculo se deberán mantener constantes los espesores de las capas de asiento en todo el tramo de cimiento definido.

## 4.8. CRITERIOS DE PROYECTO

En la definición del cimiento del firme se tendrán en cuenta los criterios de proyecto definidos a continuación.

### 4.8.1. Tratamiento de suelos con alta plasticidad

Cuando el terreno natural subyacente esté constituido por suelos con índice de plasticidad superior a 18 será necesario realizar un estudio especial de acuerdo con lo indicado en el Anejo 7. Con independencia del cálculo del cimiento de firme y de la propia estructura del firme, en terrenos naturales subyacentes con estos suelos se deben estudiar los posibles cambios volumétricos, la pérdida de capacidad portante, y el efecto de estos factores sobre el comportamiento del firme y su cimiento. Así mismo, el proyectista tendrá en cuenta en la redacción del PPTP del proyecto las indicaciones que en el Anejo 7 se dan sobre la caracterización del TNS durante la fase de obras.

### 4.8.2. Tratamiento de suelos compresibles

Cuando el TNS esté formado por suelos compresibles, como es el caso de las marismas, se realizará siempre un estudio específico del mismo, para evitar los posibles asentamientos, agrietamientos y roturas de terraplenes, habituales en estos casos.

### 4.8.3. Disposición de suelos

El diseño de las capas de asiento debe tratar de aprovechar al máximo los suelos procedentes de las excavaciones realizadas en la propia obra. En cualquier caso si se utilizan suelos de préstamo, se indicará claramente su localización y los volúmenes disponibles.

En lo posible, para facilitar la construcción, se buscarán disposiciones sencillas, con un reducido número de suelos distintos. Los suelos se dispondrán con una gradación adecuada de calidades para evitar contaminaciones y aprovechar al máximo su capacidad de soporte, que depende del apoyo.

Sobre los suelos inadecuados, marginales, o en general muy susceptibles al agua, siempre que no estén tratados con conglomerantes, para evitar la entrada de agua, se deben disponer membranas impermeables, suelos de baja permeabilidad, o estabilizaciones. Además, cuando sean previsible cambios importantes de humedad, se realizará un estudio especial sobre su influencia sobre el comportamiento de estos suelos.

En este sentido, la distancia mínima entre el plano de explanada y la superficie de suelos tolerables, marginales o inadecuados, no estabilizados, que pudiesen existir en el TNS será la indicada en la tabla 4.10.

Si sobre un suelo estabilizado se coloca una capa granular permeable, se estudiará especialmente el drenaje de agua infiltrada a través del firme.

**Tabla 4.10. Profundidad mínima entre el plano de explanada y suelos inadecuados, marginales o tolerables, no estabilizados**

Categoría de cimiento	Profundidad mínima (cm)
BAJA	-
MEDIA	50
ALTA	70

## 4.8.4. Estabilización de asientos

En el pliego de prescripciones técnicas del proyecto se exigirá que antes de colocar el firme definitivo se establezcan los asientos diferenciales posteriores a la construcción de rellenos. Se considerará que dichos asientos diferenciales se han estabilizado cuando la diferencia entre los asientos absolutos de dos puntos del plano de explanada que disten 20 m, medidos en un intervalo de 3 meses, en época de lluvias, sea inferior a los límites indicados en la tabla 4.11. Como mínimo se debe comprobar que se cumplen estos criterios en los siguientes casos:

- / Terraplenes de más de 15 m de altura.
- / Transición de obras de fábrica a terraplenes de más de 5 m de altura.
- / Transición de desmonte a terraplenes de más de 10 m de altura.
- / Terraplenes sobre suelos blandos.

**Tabla 4.11. Asientos diferenciales máximos posconstructivos tras 3 meses, en época de lluvias, de 2 puntos que disten 20 m.**

Velocidad de proyecto (km/h)	Asientos diferenciales máximos (cm)
120	1,0
100	1,5
80 – 60	3,0

## 4.8.5. Agua en el terreno

El sistema de drenaje se diseñará de forma que se garantice que la superficie del plano de explanada queda por encima del nivel de la capa freática. La profundidad mínima del nivel freático más alto previsible respecto al plano de explanada será la definida en la tabla 4.12, en función del tipo de suelo que caracteriza el terreno subyacente de cada tramo de cimiento homogéneo.

A tal fin, se adoptarán medidas tales como la elevación de la rasante del plano de explanada, la colocación de drenes subterráneos, la interposición de una capa drenante, etc.; Por otro lado, se asegurará la evacuación del agua infiltrada a través del firme de la calzada y arcones, y proveniente de los terrenos próximos. La evacuación de agua debe preverse también para la fase de construcción del cimiento del firme, proyectando la red provisional correspondiente de cunetas y bajantes, adecuada para esta fase.

En desmonte en roca, se evitará la retención del agua en el plano de explanada mediante los drenajes adecuados, y se rellenarán las depresiones que retengan agua con hormigón tipo HM-20.



**Tabla 4.12. Profundidad mínima del nivel freático respecto al plano de explanada**

<b>Terreno natural subyacente o núcleo del terraplén</b>	<b>Profundidad del nivel freático (cm)</b>
Inadecuado o Marginal	160
Tolerable	140
Adecuado	120
Seleccionado	100

## 4.8.6. Pendientes transversales

Con el objeto de asegurar el drenaje de las capas que constituyen el firme, se tendrán en cuenta las siguientes recomendaciones, tanto durante la fase de construcción como en la sección definitiva del firme.

En las fases constructivas del núcleo del terraplén o fondo de desmonte en tierra, el valor absoluto de la pendiente transversal de la coronación del núcleo del terraplén o del fondo de desmonte será igual o superior al 4%. En rampas se puede admitir que esta pendiente se obtenga hasta con un ángulo de 60 grados con respecto al eje.

La pendiente transversal del plano de explanada será igual a la pendiente transversal de la superficie del pavimento.

## 4.8.7. Capas anticontaminantes

Con el fin de evitar contaminaciones se colocará un geotextil de separación entre los suelos seleccionados y el fondo del desmonte o núcleo del terraplén, en su caso, cuando éstos estén constituidos por suelos marginales o inadecuados. Los geotextiles de separación deberán cumplir las características definidas en el Art. 422 del PG-3.

La utilización de geotextiles, aunque se prevean con una función marginal de refuerzo, no conllevará la disminución del espesor de los suelos de las capas de asiento.

## 4.8.8. Losas y cuñas de transición

En las zonas de transición entre obras de fábrica o estribos y estructuras de tierras, se emplearán disposiciones constructivas que aseguren una transición gradual de rigideces de manera que se reduzcan en lo posible los efectos negativos sobre el tránsito rodado de los asientos diferenciales que pudieran aparecer.

En obras de drenaje transversal y pasos inferiores se emplearán cuñas de transición formadas por material de menor deformabilidad que el relleno del terraplén. Salvo justificación en contrario se utilizarán las soluciones en terraplén y zanja cuyos esquemas se reproducen en el Anejo 8.

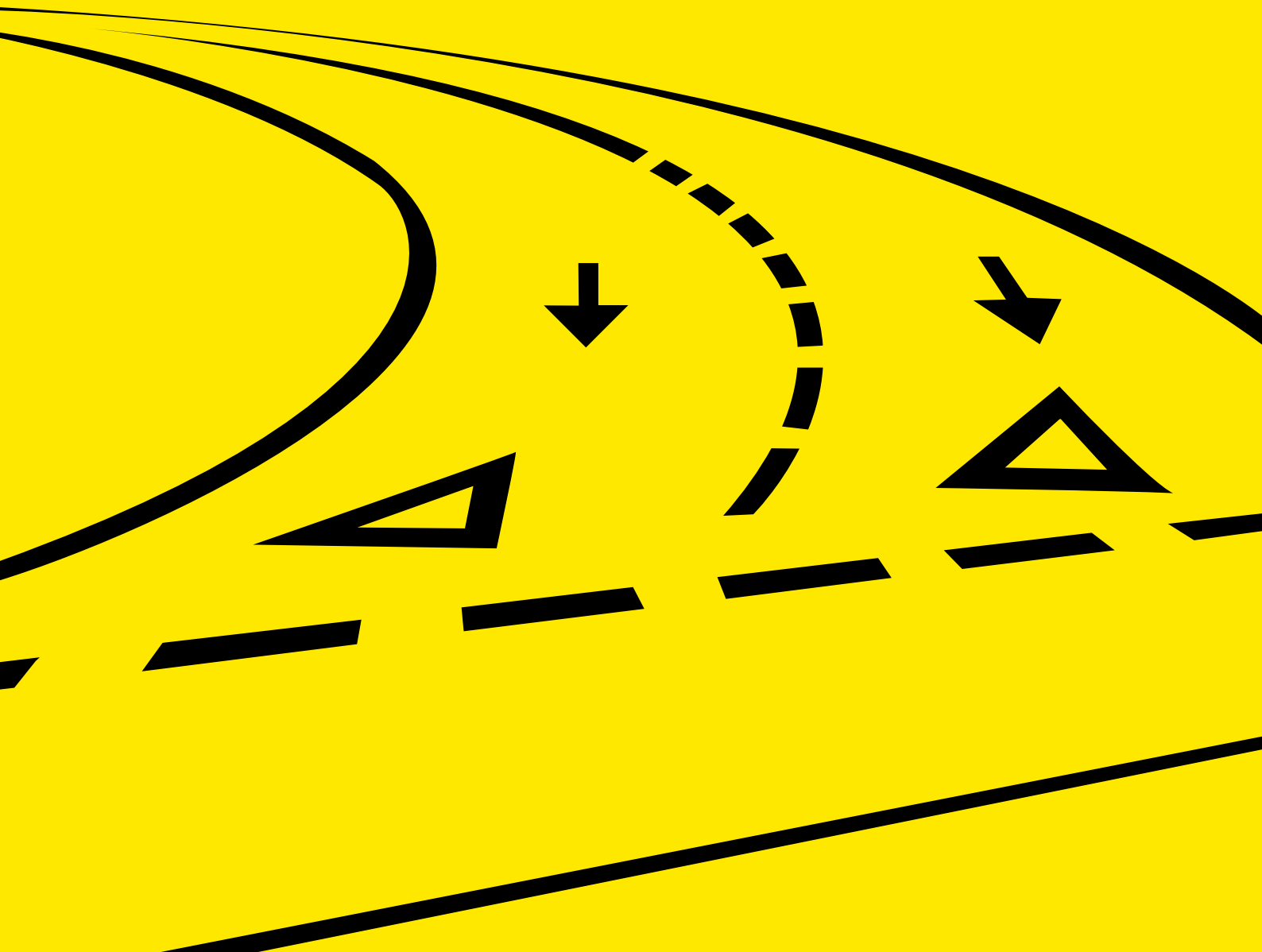
La transición de rigidez junto a los estribos de estructuras se realizará preceptivamente, excepto para tráfico T4, mediante losa de transición de longitud<sup>2</sup> mínima de 5 m. Bajo la losa se dispondrá una cuña de material de menor deformabilidad que el del núcleo del terraplén adyacente. Salvo justificación en contrario se utilizarán la solución cuyo esquema se reproduce en el Anejo 8. Se prestará especial atención al diseño del sistema de drenaje de la zona del trasdós que asegure su eficacia y durabilidad.

2. Válido siempre que el TNS presente un CBR igual o superior a 1,5.



**5///**

**DISEÑO DE FIRMES  
CON PAVIMENTO  
BITUMINOSO**



## 5.1. OBJETO

El objeto del diseño del firme será seleccionar, entre los posibles materiales y espesores, los más adecuados técnica y económicamente, teniendo en cuenta el cimiento del firme definido, el tráfico previsto, el clima de la zona, las necesidades de drenaje, las disponibilidades de materiales para ejecutar las distintas unidades de obra del firme, y su coste de construcción y conservación.

## 5.2. TRAMIFICACIÓN

Dentro del ámbito de la presente Instrucción, la carretera objeto del proyecto se dividirá en tramos de proyecto de longitud mínima 5 km, o la correspondiente al proyecto de construcción si es de menor longitud, medidos sobre el eje de la vía, en los cuales deben mantenerse fijos los factores de diseño considerados, y por tanto la sección de firme de proyecto. En casos específicos, debidamente justificados, se podrán considerar tramos menores.

La definición de los tramos se realizará en función de los condicionantes que presenten los factores de diseño, es decir, características del terreno natural subyacente de la traza, posibles variaciones del tráfico de proyecto, materiales disponibles, características geométricas, etc. Se elegirá como tráfico de proyecto del tramo el de mayor categoría que se presente dentro de él.

## 5.3. CRITERIOS DE PROYECTO

Una vez definida la categoría del cimiento (ver apartado 4.6) en cada tramo de proyecto, se dimensionará la estructura del firme de manera que se mantenga la misma sección en cada uno de los tramos de proyecto definidos, y a ser posible, en todos aquellos con idéntica categoría de cimiento.

En general se recomienda la utilización de alguna de las tipologías de secciones estructurales de firme de la figura adjunta.

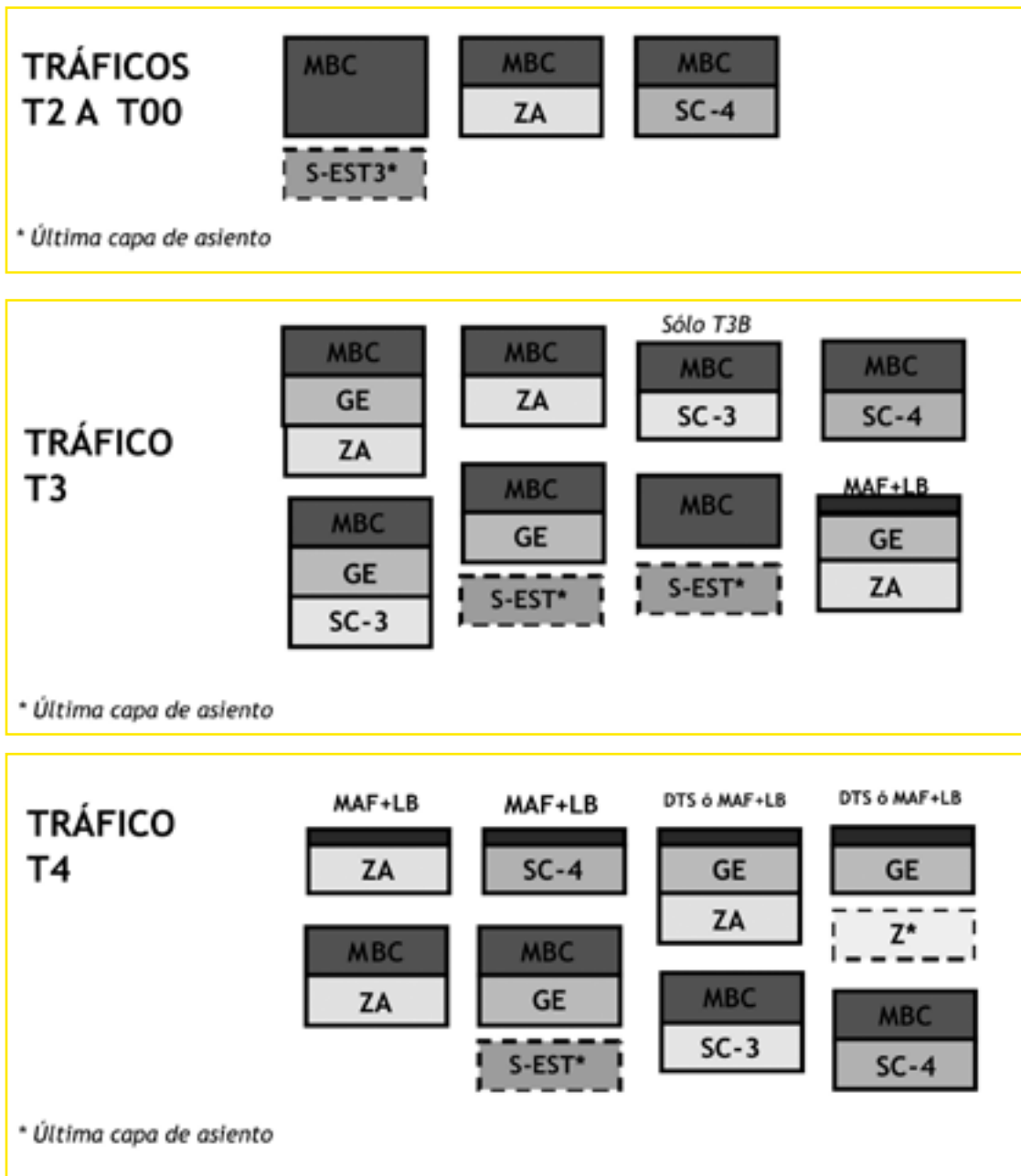
Los espesores mínimos de proyecto serán al menos los obtenidos en el cálculo, y se deberán exigir en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares (PPTP) para cada una de las unidades de obra.

Cuando la capa superior de asiento del cimiento sea un suelo estabilizado in situ se utilizarán preferentemente firmes con bases tratadas (con ligantes o conglomerantes) en lugar de capas granulares, para evitar el efecto "sándwich" que se produciría al disponer una capa deformable entre dos capas rígidas.

El espesor mínimo del conjunto de capas bituminosas sobre capas tratadas con cemento será función de la categoría de tráfico y la zona climática según se indica en la tabla 5.1. Si se proyecta la capa de rodadura con mezclas bituminosas drenantes (PA) o discontinuas (M ó F), se incrementará en 2 cm el espesor mínimo del conjunto de mezclas bituminosas indicado.

En caso de utilizar capas de base de gravacemento en firmes con categoría de tráfico pesado T2 ó superior, éstas se deberán apoyar en otras capas de firme o de asiento tratadas con cemento. En todo caso se tendrá en cuenta que los firmes con bases tratadas con cemento se comportan mejor cuando el cimiento tiene sus capas de asiento estabilizadas.

**Figura 5.1. Tipos de secciones estructurales de firme recomendadas**



MBC: Mezcla bituminosa en caliente; ZA: Zahorra artificial; SC-4: Suelocemento tipo SC-4; GE: Gravaemulsión; MAF+LB: Mezcla abierta en frío sellada con lechada bituminosa; SC-3: Suelocemento tipo SC-3; DTS: Doble tratamiento superficial; Z: Zahorra; S-EST: Suelo estabilizado in situ.

**Tabla 5.1. Espesor mínimo del conjunto de capas bituminosas sobre capas tratadas con cemento**

Zona climática	Tráfico pesado	Espesor mínimo (cm)
ZT1 a ZT3	T00 a T1	15
	T2 a T3A	12
	T3B	10
	T4	No exigible
ZT4	T00 a T3A	15
	T3B	12
	T4	No exigible

## 5.4. MATERIALES PARA EL FIRME

Los materiales que se contemplan en esta Instrucción son los que figuran a continuación:

- / Mezclas bituminosas
- / Materiales tratados con cemento
- / Zahorras
- / Riegos de adherencia, imprimación y curado.

Las especificaciones de cada uno de ellos están definidas en los artículos correspondientes del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) del Ministerio de Fomento. Además, el proyecto de cada obra deberá tener en cuenta las prescripciones que se incluyen en los siguientes epígrafes, que prevalecerán sobre las del PG-3 en caso de discrepancia.

Si por razones técnicas o económicas o ambientales se justificase el empleo de materiales distintos se podrán asimilar a los descritos mediante un estudio especial, que incluirá su estudio en laboratorio y posterior comprobación mediante tramo de prueba.

### 5.4.1. Mezclas bituminosas

En general, la mezcla bituminosa se repartirá, de arriba a abajo, en una capa de rodadura, una capa intermedia, en su caso, y una o más capas de base (ver Anejo 1 Definiciones). El espesor de cada capa será siempre mayor o igual al de la capa inmediata superior, y en general se tenderá a proyectar el menor número posible de capas o tongadas. La combinación de mezclas bituminosas elegida para formar el espesor total definido en los catálogos respetará en todo caso los criterios sobre espesores mínimos y tipos de mezclas definidos en este capítulo.

Se podrán emplear los siguientes tipos de mezclas bituminosas:

- / Mezcla continua convencional en caliente: densa (D), semidensa (S) y gruesa (G), según Art.542 del PG-3.
- / Mezcla drenante (PA) en caliente, según Art.542 del PG-3.
- / Mezcla de alto módulo (AM) en caliente, según Art.542 del PG-3.
- / Mezclas discontinuas en caliente (F y M), según Art.543 del PG-3.
- / Mezcla abierta en frío (AF), según especificaciones del Anejo 9.
- / Gravaemulsión (GE), según especificaciones del Anejo 9.
- / Lechada bituminosa (LB), según Art.540 del PG-3.
- / Tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla (TS), según especificaciones del Anejo 9.

La distribución de los diversos tipos de mezcla bituminosa en las distintas capas (rodadura, intermedia y base) así como los espesores mínimos a emplear, serán los indicados en la tabla 5.2.

**Tabla 5.2 Tipo de mezcla bituminosa en calzada**

Categoría de tráfico pesado	Tipo (espesor)		
	Rodadura (R)	Intermedia (I) si existe	Base (BB) si existe e inferiores
T2 a T00	S (6 cm)	S ( $\geq 6$ cm) AM ( $\geq 7$ cm)	S, G ( $\geq 7$ cm) AM ( $\geq 7$ cm)
	F o M (3 cm)		
	PA (4 cm)		
T3A	S ( $\geq 5$ cm)	S ( $\geq 5$ cm), AM ( $\geq 7$ cm) GE ( $\geq 6$ cm)	S ( $\geq 6$ cm), AM ( $\geq 7$ cm) GE ( $\geq 6$ cm)
	F o M ( $\geq 2,5$ cm)		
	PA (4 cm)		
T3B	D o S ( $\geq 5$ cm)	D, S ( $\geq 5$ cm),	S ( $\geq 6$ cm),
		GE ( $\geq 6$ cm)	
	F o M ( $\geq 2$ cm), LB	D, S ( $\geq 5$ cm), GE ( $\geq 6$ cm)	
T4 y arcenes	AF ( $\geq 3$ cm) + LB	GE ( $\geq 6$ cm)	
	D o S ( $\geq 4$ cm)	S ( $\geq 4$ cm), GE ( $\geq 5$ cm)	
	AF ( $\geq 3$ cm)	GE ( $\geq 5$ cm)	
	F o M ( $\geq 2$ cm), TS, LB	D, S ( $\geq 5$ cm), GE ( $\geq 5$ cm)	
	LB	AF ( $\geq 4$ cm), GE ( $\geq 5$ cm)	

### 5.4.1.1. Huso granulométrico de las mezclas bituminosas

En general el huso granulométrico de la mezcla bituminosa se elegirá de manera que el espesor de la capa compactada esté comprendido entre 2,5 y 5 veces el tamaño máximo nominal del árido correspondiente al huso granulométrico seleccionado.

### 5.4.1.2. Mezclas bituminosas en caliente para capas de rodadura

En general se podrán usar mezclas de los tipos semidensa (S), densa (D), drenante (PA) y discontinua (F ó M), cumpliendo los criterios indicados en la tabla 5.2.

Las mezclas drenantes y las discontinuas en caliente se colocarán siempre sobre mezclas suficientemente impermeables (tipo D, S ó AM) con riegos de adherencia ricos en ligante residual (ver apartado 5.4.5). Nunca se emplearán directamente sobre capas granulares.

Se dará preferencia a la utilización de mezclas drenantes en carreteras en zonas lluviosas (zona pluviométrica húmeda) o que atraviesen zonas pobladas en las que sea conveniente reducir el ruido de rodadura de los vehículos, salvo que se den las siguientes circunstancias:

/ Categoría de tráfico pesado T00.

/ Tramos con más de un acceso no pavimentado por kilómetro o con tráficos agrícolas importantes, salvo se pavimenten los 100 m anteriores al acceso.

/ Tramos con curvas de radio menor de 100 m, abundantes situaciones de aceleración y frenado, giros de vehículos, viales urbanos, etc. Si por circunstancias determinadas se tuvieran que proyectar en estas situaciones, se deberán utilizar ligantes especiales.

/ Zonas con heladas o nevadas frecuentes.

### 5.4.1.3. Mezclas bituminosas en caliente para capas inferiores (intermedia o base)

En general se podrán usar mezclas de los tipos densa (D), semidensa (S), gruesa (G) y de alto módulo (AM), cumpliendo los criterios indicados en la tabla 5.2.

En las capas bituminosas inferiores se utilizarán preferentemente mezclas tipo S. En cualquier caso, para tráficos T3B ó inferiores y arcenes, no se usarán mezclas tipo G en las capas inferiores.

Las mezclas de alto módulo no se emplearán sobre soportes deformables, y especialmente si el terreno natural subyacente está formado por suelos de tipo inadecuado o marginal, ni sobre capas de firme tratadas con cemento, salvo que el espesor conjunto de las mezclas bituminosas sea superior a 15 cm.

Las mezclas bituminosas en caliente para capas de base sobre materiales tratados con cemento serán preferentemente de tipo S con un contenido de ligante del orden del 4,5%. En las capas superiores (rodadura e intermedia) se respetarán los contenidos mínimos de ligante, dentro del intervalo de seguridad frente a las deformaciones plásticas.

### 5.4.1.4. Reciclado en central de mezclas en caliente

En firmes de nueva construcción, no se admitirá el empleo de material fresado de antiguas mezclas bituminosas en la fabricación de nuevas mezclas para capas de rodadura.

En firmes con categoría de tráfico pesado T1 ó inferior, se admitirá la utilización en las capas inferiores de mezclas bituminosas fabricadas con material fresado de antiguas mezclas bituminosas, con la limitación del 20% en capa intermedia, y del 30%, en capa de base, respecto de la masa total de mezclas bituminosas. En ningún caso las mezclas de alto módulo podrán contener material reciclado de antiguas mezclas bituminosas.

Cuando el porcentaje en masa de material fresado supere el 10%, se estará a lo dispuesto en el artículo 22 del PG-4. En todo caso, se realizará un control intenso de la homogeneidad de la mezcla bituminosa fabricada.

### 5.4.1.5. Mezclas bituminosas en frío para capas de rodadura y tratamientos superficiales

En general se podrán usar mezclas abiertas en frío (AF), lechadas bituminosas (LB), y tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla (TS), cumpliendo los criterios indicados en la tabla 5.2. Las mezclas abiertas en frío (AF) se podrán proyectar en capa de rodadura de firmes provisionales para cualquier categoría de tráfico pesado.



Las mezclas AF se sellarán siempre, tras el correspondiente período de curado, mediante la aplicación de una lechada bituminosa tipo LB3 ó LB4. Resulta muy conveniente su utilización cuando se emplee la gravaemulsión en las capas inferiores.

Si se utilizan lechadas bituminosas como capa de rodadura sobre gravaemulsión, se proyectarán de los tipos LB1 ó LB2.

Salvo justificación en contrario, los tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla no se utilizarán sobre zahorras artificiales o materiales tratados con cemento. Se podrán utilizar sobre gravaemulsión, en cuyo caso se emplearán riegos bicapa, o para sellados provisionales, en cuyo caso se emplearán riegos monocapa. En caso de emplearse sobre zahorras serán del tipo bicapa preengravillado, y sobre materiales tratados con cemento, del tipo bicapa.

### 5.4.1.6. Mezclas bituminosas en frío para capas inferiores (intermedia o base)

En general se podrán usar mezclas abiertas en frío (AM) o gravaemulsión (GE), cumpliendo los criterios indicados en la tabla 5.2.

El PPTP indicará que no se ejecute sobre la gravaemulsión ninguna capa hasta que haya transcurrido un periodo de maduración del material tal que permita un contenido residual de agua no superior al 1%. En este sentido, debido a su efecto favorecedor, la apertura al tráfico puede ser inmediata tras la compactación.

### 5.4.1.7. Ligantes para mezclas bituminosas en caliente

La dosificación mínima de ligante hidrocarbonado, en porcentaje del peso total de árido combinado seco incluido el polvo mineral no será inferior a los valores indicados en la tabla 5.3.

**Tabla 5.3. Dotación mínima de ligante hidrocarbonato para mezclas bituminosas en caliente**

Tipo de capa	Tipo de mezcla	Dotación mínima (%)
Rodadura	S ó D	4,7
	S con BM	5,0
	M	5,0
	F	5,3
	PA	4,5
Intermedia	D, S ó G	4,0
	S con BM	4,7
	AM	5,2
Base	S ó G	3,8
	AM	5,2

BM: Betún modificado.

Estos valores mínimos y todos los que se incluyen en este capítulo se refieren a combinaciones de áridos con peso específico conjunto de 2,7 t/m<sup>3</sup>. En caso de encontrarse fuera del intervalo 2,65-2,75 t/m<sup>3</sup> se deberán llevar a cabo las correspondientes transformaciones volumétricas.

Las mezclas convencionales de granulometría continua con ligante modificado serán de tipo semidenso (S).

Los tipos de ligante para mezclas bituminosas convencionales en caliente (D, S y G) se elegirán de entre los indicados en la tabla 5.4, en función de la situación de la capa en el firme, de la zona térmica y de la categoría de tráfico pesado.

**Tabla 5.4. Tipo de ligante hidrocarbonado para mezclas bituminosas en caliente**

Categoría de tráfico pesado	Zona térmica			
	ZT4	ZT3	ZT2	ZT1
EN CAPA DE RODADURA				
T00 y T0	BM-2, BM-3 (a, b ó c)	BM-3 (a, b ó c)	BM-3 (a, b ó c)	BM-3 (a, b ó c)
T1 y T2	B40/50, BM-2, BM-3 (a, b ó c)	B60/70, BM-3 (a, b ó c)	B40/50, B60/70, BM-3 (a, b ó c)	B60/70, BM-3 (a, b ó c)
T3	B40/50, B60/70	B60/70	B40/50, B60/70	B80/100, B60/70
T4	B40/50, B60/70, B80/100	B60/70, B80/100	B40/50, B60/70, B80/100	B80/100, B60/70
EN CAPAS INFERIORES				
T00 a T2	B40/50, B60/70, BM-2	B40/50, B60/70, BM-2	B40/50, B60/70, BM-2	B40/50, B60/70, BM-2
T3	B40/50, B60/70	B60/70	B40/50, B60/70	B80/100
T4	B60/70, B80/100	B60/70, B80/100	B60/70, B80/100	B80/100

Salvo justificación en contrario, en las mezclas drenantes (PA) se utilizarán siempre ligantes modificados del tipo BM-3 (a, b ó c). En las mezclas discontinuas (F y M) para categoría de tráfico pesado T00 y T0, se empleará betún modificado del tipo BM-3c, y para el resto de los tipos BM-3b o BM-3c. En las mezclas bituminosas de alto módulo se empleará ligante modificado del tipo BM-1 para las categorías de tráfico pesado T00 a T2, y opcionalmente del tipo B13/22 para el resto de categorías de tráfico.

### 5.4.1.8. Ligantes para mezclas bituminosas en frío

La dosificación mínima en peso del árido seco de ligante bituminoso residual en mezclas abiertas en frío no será inferior al 3,5%. En gravaemulsión no será inferior al 3% para su utilización en calzada, y al 2,5% para su utilización en arcenes.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará los tipos de emulsión bituminosa a emplear, que se elegirán de entre las indicadas en la tabla 5.5, en función de la situación de la capa en el firme, de la zona térmica y de la categoría de tráfico pesado.

### 5.4.1.9. Ligantes para tratamientos superficiales

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará los tipos de ligante hidrocarbonado a emplear en función de la zona térmica, y de la categoría de tráfico pesado, de entre los indicados en la tabla 5.6.

**Tabla 5.5. Tipos de ligante para mezclas en frío**

Situación de la capa	Tráfico pesado	Zona térmica	
		ZT4	ZT1, ZT2 y ZT3
MEZCLA ABIERTA EN FRÍO			
CALZADA	T3B	ECM-m, EAM-m	
	T4	ECM-m, EAM-m, EAM, ECM	
ARCÉN	T3, T4	EAM, ECM, ECM-m, EAM-m	
GRAVAEMULSIÓN			
CALZADA	T3B, T4	EAL-2d, ECL-2d, ECL-2d-m	EAL-2, ECL-2, ECL-2-m
ARCÉN	T3, T4	EAL-2, ECL-2	

**Tabla 5.6. Tipos de ligante hidrocarbonado para tratamientos superficiales**

Situación de la capa	Tráfico pesado	Zona térmica	
		ZT4	ZT1, ZT2 y ZT3
LECHADAS BITUMINOSAS			
CALZADA	T3B y T4	EAL-2d, ECL-2d, ECL-2d-m	EAL-2, ECL-2, ECL-2-m
ARCÉN	T2, T3, T4	EAL-2, ECL-2	
RIEGOS CON GRAVILLA			
CALZADA	T4	ECR-2-m, ECR-3m, BM-5	B150/200, BM-5, ECR-2, ECR-3, ECR-2-m, ECR-3m,
ARCÉN	T3, T4	ECR-2, ECR-3	B150/200, ECR-2, ECR-3

## 5.4.2. Materiales tratados con cemento

Se podrán emplear suelocemento, de los tipos SC-3 y SC-4, y gravacemento. La gravacemento y el suelocemento tipo SC-4 cumplirán las prescripciones del artículo 513 del PG-3, y el suelocemento tipo SC-3 las correspondientes al material S-EST3 del artículo 512 del PG-3, con las prescripciones adicionales definidas en este apartado.

El suelocemento será del tipo SC-4 en firmes con categoría de tráfico pesado T3A ó superior. Para tráfico inferiores podrá ser también del tipo SC-3, limitando a 2,5 MPa su resistencia a compresión a siete días.

El suelocemento tipo SC-4 en general se fabricará en central si bien para tráfico T3B ó inferiores se admitirá también la fabricación in situ si se garantiza la calidad de la unidad de obra, tanto en términos de fabricación como de ejecución de la misma, lo que se deberá demostrar en tramo de prueba. En este sentido se debe garantizar la homogeneidad de las características del suelo utilizado realizando acopio y mezclado previo si ello fuera necesario. Además, si el suelocemento SC-4 se fabrica in situ, los espesores mínimos de proyecto para esta unidad de obra se incrementarán en 3 cm.

En la gravacemento se utilizará el huso granulométrico GC20 para todo tipo de tráfico. El suelocemento SC-4 se podrá proyectar indistintamente con los husos granulométricos SC40 ó SC20 para todo tipo de tráfico, si bien en este último caso resulta conveniente limitar el rango del porcentaje de partículas finas (pasa por el tamiz 0,063mm) entre el 3 y 30%.

El límite líquido del suelo o material granular del suelocemento, según la UNE 103.103, deberá ser inferior a 30, y el índice de plasticidad inferior a 12, y preferiblemente a 10.

En las capas tratadas con cemento, el espesor mínimo de la tongada compactada será de 20 cm y el máximo de 30 cm.

Las capas de materiales tratados con cemento se deberán prefisurar en fresco de acuerdo con los criterios indicados en la tabla 5.7. En todos los casos, la fisuración se realizará transversalmente cada 3 m, y longitudinalmente, en el centro de la calzada, si la anchura de la misma es superior a 7 m. Se exigirá en el PPTP la utilización de sistemas de prefisuración cuya adecuación esté avalada por la experiencia o estudios específicos.

**Tabla 5.7. Condicionantes para la prefisuración de capas de materiales tratados con cemento colocadas directamente bajo mezcla bituminosa**

Categoría de tráfico	Suelocemento	Gravacemento
T00 a T2	Obligatorio (*)	Obligatorio
T3 y T4	Recomendable	

(\*) No necesario cuando el espesor conjunto de mezcla bituminosa sea igual o superior a 18 cm.

No se exigirá el cumplimiento del límite superior de resistencias señalado en el artículo 513 del PG-3 cuando se haya prefisurado el material. La utilización de materiales con resistencias superiores a las especificadas no implicará en ningún caso una posible reducción del espesor de las capas.

### 5.4.3. Zahorras

Se podrán utilizar zahorras de las definidas en el artículo 510 del PG-3 cumpliendo las prescripciones adicionales definidas en este apartado. Las zahorras serán de los tipos ZA25 ó ZA20. En los casos en que la zahorra artificial deba cumplir además una función drenante se constituirá con una granulometría por debajo del centro del huso especificado para cada tipo.

Si la capa de zahorra se coloca en dos tongadas, en la inferior se pueden utilizar también zahorras naturales de los tipos ZN40 ó ZN25.

El espesor mínimo de la tongada de las capas granulares será de 20 cm en calzada, y 15 cm en arcenes. Los espesores iguales o inferiores a 30 cm se ejecutarán en una única tongada, y los superiores en dos.

### 5.4.4. Riegos

Se deberá cuidar especialmente la correcta ejecución y el empleo de las dotaciones adecuadas ya que los riegos juegan un papel decisivo en el comportamiento del firme.

#### 5.4.4.1. Riegos de curado

Se efectuará un riego de curado, según lo indicado en el artículo 532 del PG-3, sobre todos los materiales tratados con conglomerantes hidráulicos. El riego de curado se deberá barrer de forma enérgica previamente a la colocación de una capa superior o la extensión de un riego de adherencia.

### 5.4.4.2. Riegos de imprimación

Se efectuará un riego de imprimación según lo indicado en el artículo 530 del PG-3, sobre las zahorras artificiales que vayan a recibir una capa de mezcla bituminosa o un tratamiento superficial.

### 5.4.4.3. Riegos de adherencia

Se efectuará un riego de adherencia según lo indicado en el artículo 531 del PG-3, sobre las capas cohesionadas del firme (suelocemento, gravacemento, o mezcla bituminosa) que vayan a recibir sobre ellas una capa de mezcla bituminosa. Se recomienda especialmente la utilización de emulsiones termo-adherentes.

## 5.5. DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME

El objeto del cálculo de la estructura de firmes con pavimentos bituminosos es la definición, en espesor y materiales, de las distintas capas que la componen de manera que se cumplan los dos objetivos siguientes:

- / El cimiento del firme debe soportar las cargas debidas al tráfico transmitidas por el firme, sin experimentar excesivas deformaciones verticales.
- / Los materiales bituminosos y/o los materiales tratados con cemento de las capas del firme no deben soportar tensiones o deformaciones de tracción excesivas por causa del tráfico, para el período de proyecto considerado. Se supone que a lo largo del servicio pueden ser necesarias renovaciones superficiales, pero estas no se tendrán en cuenta en el cálculo.

Para la realización del dimensionamiento se debe partir de los siguientes datos:

- / Tráfico equivalente de proyecto.
- / Zona climática.
- / Características mecánicas del cimiento ( $E_c$  y  $\nu$ ).

El dimensionamiento de firmes se realizará preceptivamente con el programa de cálculo de firmes de la Junta de Andalucía (ICAFIR) que acompaña a esta Instrucción y que para el cálculo de este tipo de firmes utiliza un modelo de respuesta elástico multicapa de Burmister (ver Anejo 6).

El dimensionamiento consistirá en definir los materiales y espesores de las distintas capas del firme, colocadas sobre el cimiento considerado de manera que la vida teórica de servicio coincida o supere al tráfico equivalente de proyecto estimado. La vida teórica de servicio vendrá dada por el número máximo de repeticiones de la carga tipo que soporta el firme de acuerdo con los modelos de comportamiento adoptados.

### 5.5.1. Adherencia entre capas

En el cálculo de los firmes se considera que las capas están totalmente adheridas o con adherencia parcial. Los resultados con adherencia parcial son la media de los obtenidos con adherencia total y sin adherencia. La adherencia entre capas se considerará completa salvo entre dos capas tratadas con conglomerantes hidráulicos, que se considerará parcial.

## 5.5.2. Caracterización de materiales

Para todos los materiales constituyentes del firme y del cimiento se supondrá un comportamiento elástico lineal. Por tanto, para definir la relación tensión-deformación del material, sólo son necesarios dos parámetros:

/ Módulo de Young, E, y

/ Coeficiente de Poisson,  $\nu$ .

En la fase de proyecto para los materiales de las capas de firme se adoptarán los valores de los parámetros que se definen en esta Instrucción. Se trata de valores de cálculo que no tienen necesariamente que coincidir con los valores medios característicos de estos materiales, ya que pueden incluir correcciones asociadas a criterios de diseño.

### 5.5.2.1. Zahorras

Se pueden utilizar como capas de base o subbase, con la caracterización definida a continuación. Se considerará que el módulo de elasticidad de cada capa de material granular aumenta proporcionalmente al módulo de la capa o tongada sobre la que se apoya hasta alcanzar un valor máximo, que se corresponderá con la capacidad de soporte propia del material. En consecuencia, el módulo elástico de cada tongada vendrá dado por la siguiente expresión:

$$E_i = c_i \cdot E_{i-1} \quad [5.1]$$

Donde:

$E_i$ : Módulo de la tongada "i"

$E_{i-1}$ : Módulo de la tongada subyacente "i-1"

C: Coeficiente que se tomará de la tabla 5.8.

**Tabla 5.8. Valor del coeficiente de paso entre módulos de materiales granulares**

Material de la tongada "i"	C
Zahorra natural	2,5
Zahorra artificial	3,0

El valor límite del módulo de cada tongada de suelos o material granular dependerá del tipo de material de acuerdo con la tabla 5.9.

**Tabla 5.9. Características mecánicas de materiales granulares**

Materiales	E máximo ( MPa )	$\nu$
Zahorra natural	350	0,35
Zahorra artificial	500	0,35

## 5.5.2.2. Capas tratadas con conglomerantes hidráulicos

Para las capas tratadas con conglomerantes hidráulicos se adoptarán las características mecánicas mostradas en la tabla 5.10.

**Tabla 5.10. Características mecánicas de materiales tratados con cemento**

<b>Materiales</b>	<b>E ( MPa )</b>	<b>v</b>
Suelocemento, tipo SC-3	2.000	0,25
Suelocemento, tipo SC-4	8.000	0,25
Gravacemento	20.000	0,25

## 5.5.2.3. Materiales bituminosos

Las capas bituminosas presentan comportamientos mecánicos que, dada su naturaleza viscoelástica, dependen básicamente de la temperatura y del tiempo de aplicación de las cargas. Para caracterizar los materiales bituminosos, se tendrá en cuenta la zona climática donde se encuentren.

En general el cálculo se realizará diferenciando el módulo de rigidez de las distintas capas de mezcla bituminosa considerando los valores indicados en la tabla 5.11.

**Tabla 5.11. Características mecánicas de las mezclas bituminosas (para una temperatura equivalente de 20 °C)**

<b>Tipo de mezcla</b>	<b>E ( MPa )</b>	<b>v</b>
Densas y semidensas	6.000	0,33
Gruesas	5.000	0,33
Drenantes y abiertas	4.000	0,35
Discontinua en capa fina	4.000	0,35
De alto módulo	11.000	0,30
Abiertas en frío	1.500	0,35

En la zona climática ZT4 se considerarán las variaciones estacionales de las características de los materiales propuestas en la tabla 5.12, respecto a los señalados anteriormente para el conjunto de las mezclas bituminosas, o cada una de las capas.

**Tabla 5.12. Variación de las características mecánicas medias de las mezclas bituminosas en caliente**

<b>Época climática</b>	<b>Coficiente sobre el módulo de rigidez</b>	<b>v</b>
Valor medio anual	1	0,33
Primavera-otoño	1	0,33
Verano	0,5	0,35
Invierno	1,5	0,30

En la realización del cálculo estacional se aplicará la ley de Miner, según la cual las capas de mezcla bituminosa van acumulando la fatiga. Por tanto, si en una situación con un módulo  $E_i$ , es capaz de soportar  $N_i$  aplicaciones de carga antes de que se agote, la fracción de fatiga producida por  $n_i$  aplicaciones de carga será:

$$f_i = n_i / N_i \quad [5.2]$$

El final de la vida de servicio se producirá cuando:

$$\sum f_i = 1 \quad [5.3]$$

Donde:

$n_i$ : El número de aplicaciones de la carga tipo con un módulo de mezcla  $E_i$ .

$N_i$ : La vida de fatiga del firme con un módulo  $E_i$ .

Además de lo anterior, en carriles adicionales para tráfico lentos, o tramos con pendiente mayor o igual al 5% en longitudes iguales o superiores a 1.000 m, los módulos de rigidez señalados anteriormente para las mezclas bituminosas se disminuirán en un 20%.

### 5.5.3. Parámetros críticos y criterios de fallo

#### 5.5.3.1. Fallo del cimientado del firme

El parámetro crítico para el fallo del cimientado del firme es la deformación vertical unitaria en la cara superior del cimientado ( $\epsilon_z$ ). A partir de este valor y utilizando el modelo de deterioro adoptado se hallará el número admisible de aplicaciones de carga ( $N$ ) que tendrá que ser superior al tráfico equivalente de proyecto (TP).

Se adopta el siguiente modelo de deterioro por acumulación de deformaciones permanentes en el cimientado:

$$\epsilon_z = 2,16 \cdot 10^{-2} \cdot N^{-0,28} \quad [5.4]$$

#### 5.5.3.2. Fallo de las capas de la estructura del firme

En el análisis del fallo de las capas de la estructura del firme se consideran únicamente los siguientes parámetros críticos:

- / Máxima tensión de tracción ( $\sigma_r$ ) en materiales tratados con cemento.
- / Máxima deformación de tracción ( $\epsilon_r$ ) en mezclas bituminosas en caliente.

En las capas granulares no se considerará criterio de fallo.

A las mezclas abiertas en frío no se les aplicará criterio de fatiga, dimensionándose el firme considerando únicamente el criterio de fallo del cimientado.



A efectos de cálculo la gravaemulsión<sup>1</sup> se calculará como una mezcla en caliente tipo G, y se le aplicará al espesor resultante un coeficiente de equivalencia entre materiales de 1:0,75 para tráfico pesado T3, y de 1:0,85 para T4.

Se considerarán separadamente cada uno de los materiales seleccionando la tensión o deformación crítica dada por el modelo de respuesta, la cual se introduce en la ley de fatiga, que proporciona el número máximo admisible de aplicaciones de carga (N). El menor valor de N entre los obtenidos para todas las capas del firme representará el número de aplicaciones de carga que agotaría el firme por fatiga.

En las tablas 5.13 y 5.14 se definen las leyes de fatiga adoptadas en esta Instrucción para mezclas bituminosas en caliente y materiales tratados con cemento respectivamente.

**Tabla 5.13. Leyes de fatiga para mezclas bituminosas en caliente**

Tipo de mezcla	Ley de fatiga
Gruesa o abierta	$\epsilon_r = 6,443 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0,27243}$
Semidensa o densa	$\epsilon_r = 6,920 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0,27243}$
Mezcla de alto módulo	$\epsilon_r = 6,612 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0,27243}$

**Tabla 5.14 Leyes de fatiga para materiales tratados con cemento**

Tipo de mezcla	Ley de fatiga
Suelocemento SC-3	$\sigma_r(\text{MPa}) = 0,43 \cdot (1 - 0,065 \cdot \log N)$
Suelocemento SC-4	$\sigma_r(\text{MPa}) = 0,72 \cdot (1 - 0,065 \cdot \log N)$
Gravacemento	$\sigma_r(\text{MPa}) = 1,30 \cdot (1 - 0,065 \cdot \log N)$

## 5.5.4. Cálculo de la estructura del firme

El proceso de cálculo comprende la caracterización del cimiento del firme, la definición de las capas del firme el cálculo de los parámetros críticos y el análisis de resultados.

El cimiento del firme se caracterizará como un macizo sólido elástico semiindefinido sobre el que se apoyan las capas del firme, con las características mecánicas mostradas en la tabla 5.15.

**Tabla 5.15 Caracterización del cimiento del firme**

Categoría de cimiento	$E_c$ (MPa)
BAJA	60
MEDIA	100
ALTA	160

1. Se considera que ninguno de los modelos de comportamiento existentes en la actualidad refleja adecuadamente la forma de fallo de estos materiales, por lo que por el momento se prefiere adoptar el criterio de equivalencia entre materiales.

Los parámetros críticos se calculan con el modelo elástico multicapa incorporado en ICAFIR aplicando una sollicitación tipo RUEDA GEMELA DOBLE con presión de contacto 0,8 MPa, radio de huella de rueda 11,35 cm y distancia entre centros de ruedas gemelas 37,5cm, tal y como se muestra en la figura adjunta.

Los parámetros críticos se determinarán en aquellos puntos donde adquieran sus valores máximos, es decir, se estudiará si las máximas sollicitaciones se producen entre cargas o bajo ruedas, y en sentido del movimiento de los vehículos o en sentido transversal a éste.

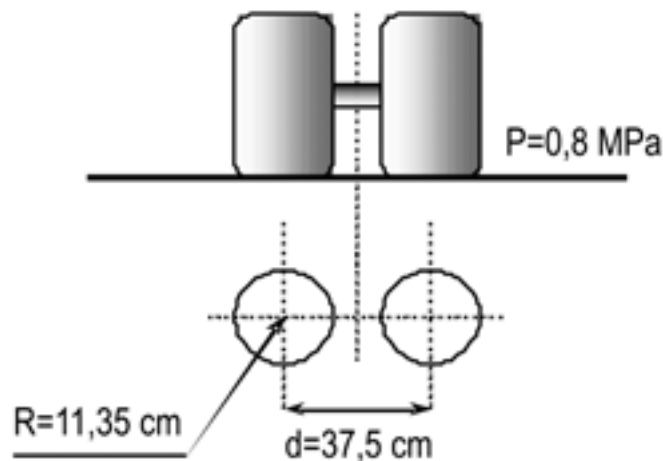
En general, los criterios de comprobación de resultados de la sección del firme, desde un punto de vista estructural, serán los siguientes:

- / Comprobar que el valor máximo de deformación vertical unitaria del cimiento del firme es menor que los valores críticos definidos.
- / Comprobar que la vida de fatiga de cada material del firme es superior al tráfico equivalente de proyecto.

En caso de no cumplir este criterio la sección no será válida. Se cambiarán espesores o materiales, y se volverá a calcular la nueva sección.

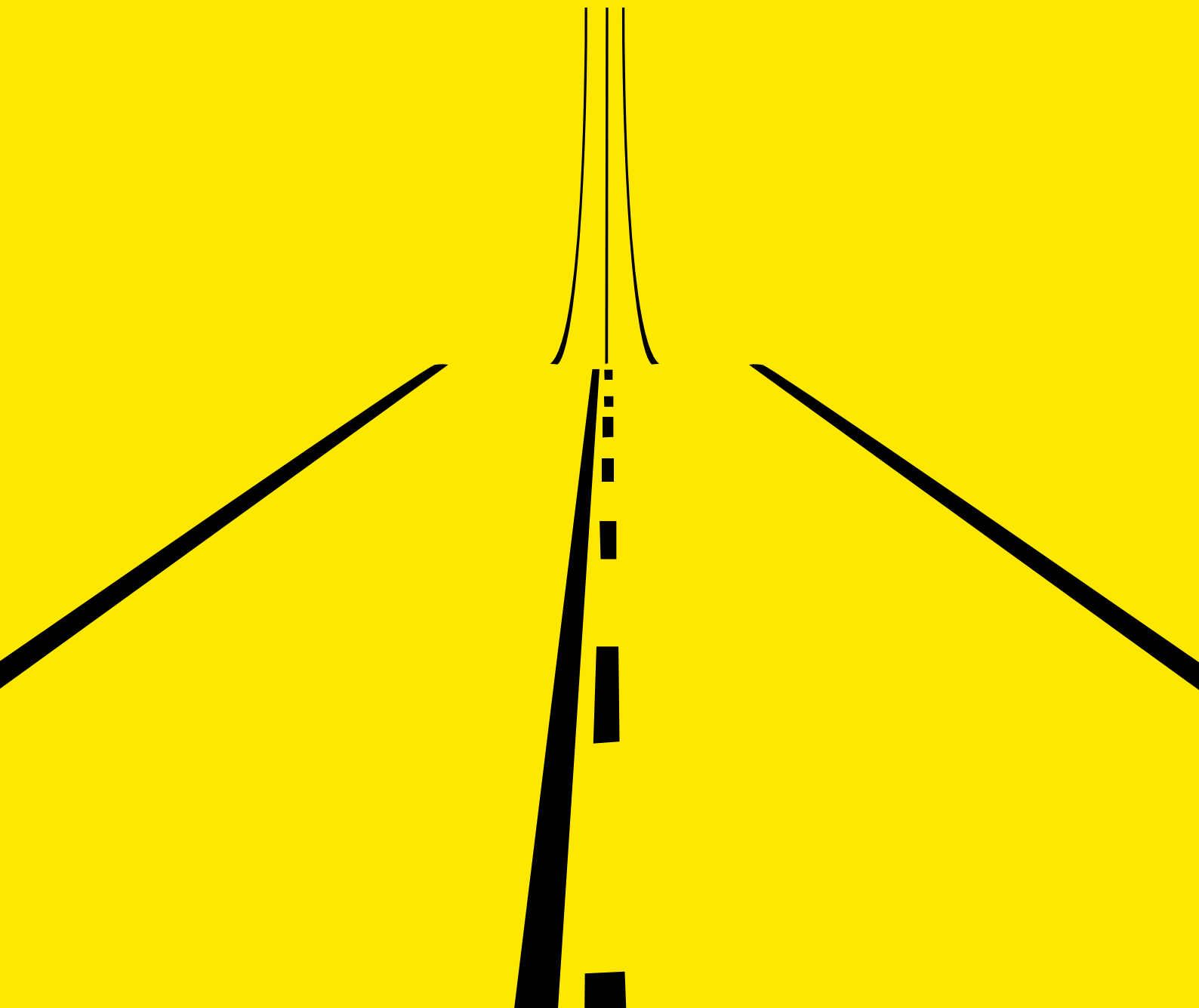
Los espesores de cálculo en la mezcla bituminosa se redondearán al centímetro por exceso, salvo para capas de rodadura que se podrán redondear al medio centímetro.

**Figura 5.2. Esquema de la carga del eje equivalente**



**6///**

**DISEÑO DE FIRMES  
CON PAVIMENTO DE  
HORMIGÓN**



## 6.1. OBJETO

El objetivo del dimensionamiento será seleccionar, entre los posibles materiales y espesores, los más adecuados técnica y económicamente, teniendo en cuenta el cimiento del firme definido, el tráfico previsto, el clima de la zona, las necesidades de drenaje, las disponibilidades de materiales para ejecutar las distintas unidades de obra del firme, y su coste de construcción y conservación.

## 6.2. TRAMIFICACIÓN

La división del proyecto en tramos se efectuará según los mismos criterios expresados en el apartado 5.2 para firmes de pavimento bituminoso.

## 6.3. CRITERIOS DE PROYECTO

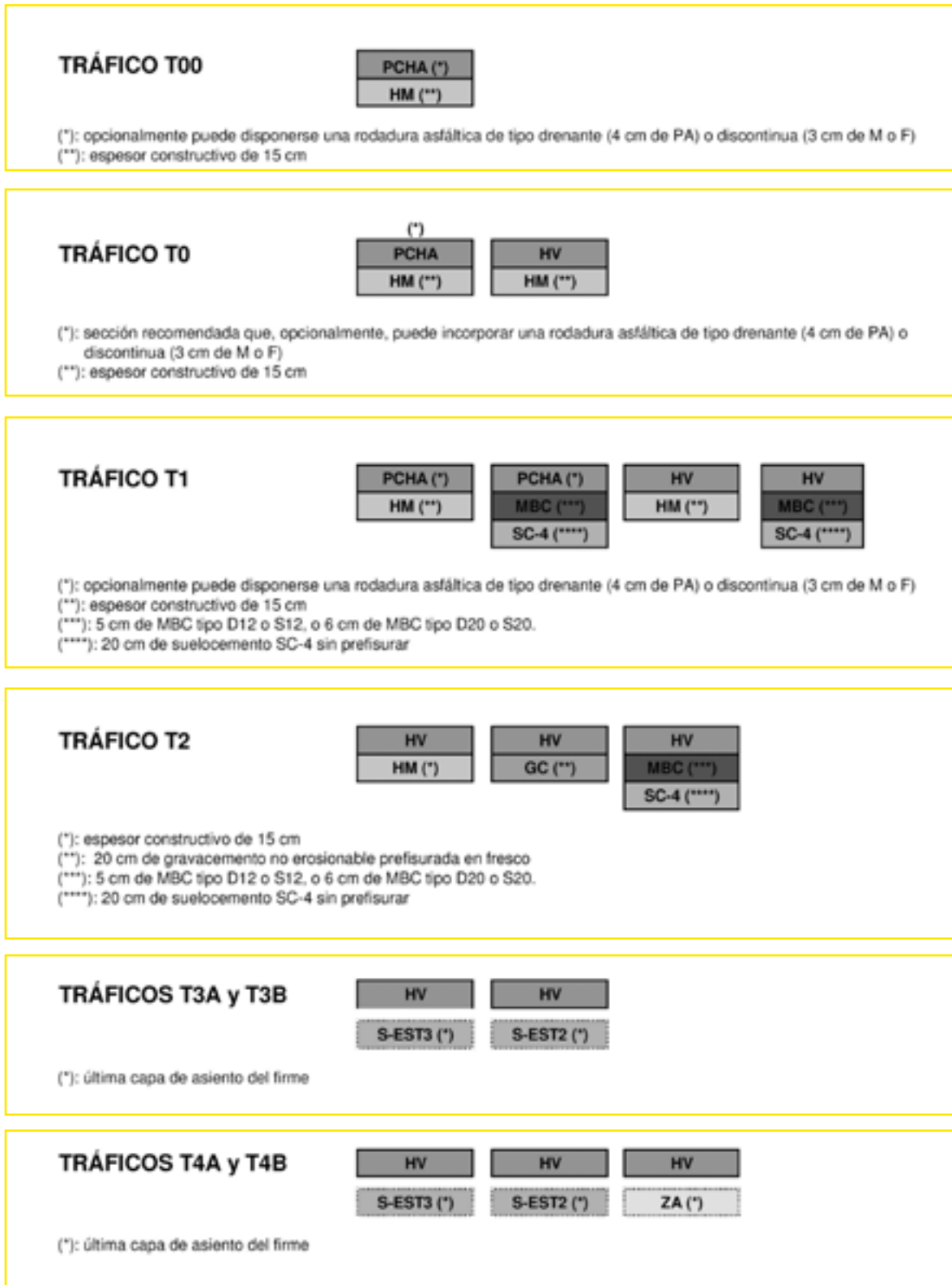
Una vez definida la sección del cimiento en cada tramo de proyecto, se dimensionará la estructura del firme de manera que se mantenga la misma sección al menos, en cada uno de los tramos de proyecto definidos, y a ser posible, en todos aquellos con idéntica categoría de cimiento.

### 6.3.1. Secciones estructurales para el firme de calzada

En el ámbito de los pavimentos de hormigón, la presente Instrucción contempla el proyecto de pavimentos de hormigón vibrado con juntas transversales de contracción, con o sin pasadores, y de pavimentos continuos de hormigón armado. Estos últimos, sin juntas transversales de contracción, pueden disponer, eventualmente, de una rodadura bituminosa.

En general, y salvo justificación en contrario, se adoptará alguna de las tipologías de secciones estructurales de firme de la figura adjunta.

**Figura 6.1 Tipos de secciones con pavimento de hormigón para la estructura del firme de calzada**



PCHA: Pavimento continuo de hormigón armado; HV: Hormigón vibrado en masa; HM: Hormigón magro vibrado; SC-4: Suelocemento tipo SC-4; GC: Gravacemento resistente a la erosión; MBC: Mezcla bituminosa en caliente; S-EST3: Suelo estabilizado con cemento tipo S-EST3; S-ES-2: Suelo estabilizado con cal o cemento tipo S-EST2; ZA: Zahorra artificial.

## 6.3.2. Cimiento del firme

Sólo se proyectarán cimientos de categoría media o alta. La capa de asiento del cimiento del firme estará constituida en general por suelos estabilizados. Para tráfico T4 se podrá utilizar además zahorra artificial.

## 6.3.3. Capas de apoyo del pavimento de hormigón

Será preceptiva la utilización de capas de apoyo no erosionables bajo el pavimento de hormigón para categorías de tráfico T2 ó superiores.

### 6.3.3.1. Capa de apoyo de hormigón magro vibrado

El hormigón magro vibrado será obligatoriamente el material utilizado como capa de apoyo bajo pavimentos de hormigón vibrado con tráficos T00 y T0.

Con tráficos T1 y T2 será la opción preferente de entre las indicadas en la figura 6.1, por razones de calidad y porque su puesta en obra requiere de los mismos equipos que el hormigón vibrado del pavimento.

En todos los casos el espesor de hormigón magro vibrado será de 15 cm, por condicionantes constructivos.

### 6.3.3.2. Capa de apoyo compuesta de mezcla bituminosa y suelocemento

Con categoría de tráfico T1 y T2 se permite la utilización de una doble capa de apoyo formada por una capa de mezcla bituminosa densa (D) o semidensa (S) de 5-6 cm de espesor, para obtener un apoyo uniforme de la losa del pavimento, apoyada sobre una capa de 20 cm de suelocemento tipo SC-4 sin prefisurar. El espesor de mezcla bituminosa será de 5 cm, caso de tratarse de mezclas tipo D12 ó S12 y de 6 cm, si se opta por mezclas D20 ó S20.

60

### 6.3.3.3. Capa de apoyo de gravacemento

La gravacemento se podrá utilizar como capa de apoyo del pavimento para tráficos de categoría T2. El espesor de la tongada compactada será de 20 cm. La gravacemento necesariamente se prefisurará en fresco, con la misma cadencia que las juntas transversales y longitudinales del pavimento.

## 6.3.4. Pavimentos continuos de hormigón armado

Con tráficos de categoría T00 el pavimento de hormigón será continuo de hormigón armado. Para tráficos T0 y T1 dicha tipología será recomendada y opcional, respectivamente.

En pavimentos de hormigón armado se pueden reducir en 4 cm los espesores del pavimento obtenidos para firmes de hormigón en masa. La cuantía geométrica de las armaduras longitudinales será del 0,7% para hormigones HF-4,5 y del 0,6% para hormigones HF-4,0. La armadura transversal, de ser necesaria,

tendrá una cuantía del orden del 0,05 al 0,10%. Se dispondrán anclajes al terreno en las extremidades de los pavimentos continuos de hormigón armado y en las secciones especiales que lo requieran.

### 6.3.5. Arcenes

Para la categoría de tráfico T00 será obligatorio disponer arcenes de hormigón provistos de barras de atado. Con tráfico T0 se recomienda la disposición de arcén de hormigón con barras de atado. Para tráfico T1 y T2 será opcional disponer o no de arcenes de hormigón. En el caso de optar por ellos, si el tráfico es de categoría T1, deberán incluir barras de atado.

### 6.3.6. Juntas transversales

Las juntas transversales podrán ser de contracción, de hormigonado o de dilatación.

Las juntas serradas se sellarán siempre, mediante alguno de estos dos procedimientos:

- / Practicando un cajeado en el que se introducirá un cordón elastomérico, sobre el que se colocará un producto de sellado.
- / Mediante un perfil de elastomérico, introducido a presión.

#### 6.3.6.1. Juntas transversales de contracción

Salvo justificación en contrario, las juntas transversales de contracción se realizarán por serrado en pavimentos de hormigón en masa vibrado, y en fresco o por aserrado en bases de hormigón. La anchura de corte no será superior a 4 mm, y su profundidad no deberá ser inferior al cuarto del espesor de la losa.

Para las categorías de tráfico de proyecto T0 y T1, las juntas transversales de contracción en pavimentos de hormigón vibrado en masa irán provistas preceptivamente de pasadores, será opcional para la categoría de tráfico de proyecto T2, y no dispondrán de pasadores para las categorías de tráfico de proyecto T3, T4 y arcenes.

Cuando los pavimentos se proyecten con pasadores estos se dispondrán en la mitad del espesor de la losa, transversales y simétricos respecto a la junta, con separación variable entre 0,3 m bajo las rodadas del carril de proyecto y 0,6 m en otras zonas o en el carril interior en vías de más de un carril por sentido de circulación. Las juntas se dispondrán perpendiculares al eje de la calzada y a una distancia no superior a 4 m. Si las juntas transversales se proyectan sin pasadores, se dispondrán esviadas 1:6 respecto al eje de la calzada.

#### 6.3.6.2. Juntas transversales de hormigonado

Las juntas transversales de hormigonado en pavimentos de hormigón vibrado en masa se harán coincidir con el emplazamiento de una junta de contracción e irán siempre provistas de pasadores, siendo por ello perpendiculares al eje de la calzada. En pavimentos continuos de hormigón armado se justificará el diseño de estas juntas.

### 6.3.6.3. Juntas transversales de dilatación

Las juntas transversales de dilatación sólo se dispondrán en curvas de radio inferior a 200 m. Se recomienda establecer una junta de dilatación en cada extremo y, si la longitud de la alineación curva fuera superior a 100 m, otra intermedia. Se dispondrán perpendiculares al eje de la calzada, y estarán dotadas de pasadores enfundados en plástico antiadherente y provistos de capuchones rellenos de material compresible; irán selladas, con una anchura de 20 mm y una profundidad mínima de 40 mm.

También se dispondrán juntas transversales de dilatación ante estructuras que no puedan soportar empujes apreciables, o donde pudiera estar especialmente impedido el movimiento de las losas del pavimento. En estos casos se justificará el diseño de dichas juntas.

### 6.3.7. Juntas longitudinales

Las juntas longitudinales podrán ser de alabeo o de hormigonado.

#### 6.3.7.1. Juntas longitudinales de alabeo

Las juntas longitudinales de alabeo se dispondrán, tanto en los pavimentos de hormigón en masa como en los armados, cuando la anchura de hormigonado sea superior a 5 m, dividiendo el pavimento en franjas aproximadamente iguales, procurando que coincidan sensiblemente con las separaciones entre carriles de circulación y evitando que lo hagan con las rodadas, con una marca vial o con un pasador. Salvo justificación en contrario se ejecutarán por serrado, con una profundidad de corte no inferior al tercio del espesor de la losa.

Para las categorías de tráfico de proyecto T00, T0 y T1, las juntas longitudinales de alabeo irán provistas de barras de unión corrugadas de 12 mm de diámetro, 80 cm de longitud y espaciadas 1 m, dispuestas transversalmente a la junta y a caballo de ella.

#### 6.3.7.2. Juntas longitudinales de hormigonado

62

Se dispondrán juntas longitudinales de hormigonado cuando los arcenes sean de hormigón y no se construyan al mismo tiempo que la calzada, así como cuando el hormigonado se realice por franjas, procurando en este último caso que coincidan con las separaciones entre carriles de circulación, y evitando que lo hagan con las rodadas o con una marca vial. Para tráficos T1 y superiores se dispondrán, transversalmente a la junta y a caballo de ella, barras de atado corrugadas de 12 mm de diámetro, 80 cm de longitud y espaciadas 1 m.

Las juntas entre el pavimento de calzada y el del arcén deberán sellarse siempre. Los procedimientos para el sellado de juntas longitudinales son los ya indicados para el sellado de las juntas transversales.

### 6.3.8. Textura superficial. Acabados.

Con objeto de proporcionar al pavimento unas características superficiales óptimas, en relación con la resistencia al deslizamiento la sonoridad, se podrá optar bien por diversos acabados: el estriado, el denudado químico del hormigón, o disponer una capa de rodadura bituminosa sobre la losa de hormigón. Los criterios para la adopción de cada uno de los sistemas se exponen seguidamente.



### 6.3.8.1. Rodadura bituminosa

Con objeto de aportar adecuada resistencia al deslizamiento, baja sonoridad, o drenabilidad superficial, se podrán utilizar capas de rodadura de mezclas bituminosas en caliente de los tipos drenante (PA) o discontinuo (M y F) sobre los pavimentos continuos de hormigón armado. Los espesores serán de 4 cm en el caso de optar por mezclas drenantes o de 3 cm en caso de utilizar mezclas discontinuas.

Se dará preferencia a la utilización de mezclas drenantes en tramos rectos con elevadas intensidades de tráfico y pendientes reducidas.

### 6.3.8.2. Denuado químico

El denuado químico consiste en rociar la superficie del hormigón fresco con una fina película de aditivo inhibidor del fraguado superficial. Tras el endurecimiento del hormigón (24h), se elimina la delgada capa superficial de mortero sin fraguar, quedando el árido visto. Finalmente, se aplica un producto filmógeno de curado.

Este acabado ofrece una macrotextura que proporciona una sonoridad reducida y permanente. Asimismo, es un sistema adecuado cuando no resulte posible garantizar la resistencia al desgaste mediante el empleo de arena silíceas en la fabricación del hormigón del pavimento.

### 6.3.8.3. Estriado

Dada su menor capacidad de drenaje superficial y su mayor sonoridad, el empleo de esta solución se restringirá a carreteras en zonas de baja pluviometría con tráfico circulando a velocidades medias y bajas.

El estriado será longitudinal en la calzada, y longitudinal o transversal en los arcenes. Se realizará mediante un peine con púas de plástico o acero, marcando estrías de 2 mm de anchura y de 0,5 a 1 mm de profundidad, separadas de 10 a 15 mm entre sí.

## 6.4. SELECCIÓN DE MATERIALES

Los materiales que se contemplan en esta Instrucción son los que figuran a continuación:

- / Hormigón vibrado.
- / Hormigón magro vibrado.
- / Mezclas bituminosas en caliente.
- / Materiales tratados con cemento (gravacemento y suelocemento).
- / Riegos bituminosos.
- / Productos filmógenos de curado.
- / Productos de sellado de juntas.

/ Pasadores y barras de unión.

/ Barras de acero para pavimentos continuos de hormigón armado

Las especificaciones de cada uno de ellos están definidas en los artículos correspondientes del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) del Ministerio de Fomento. Además, el proyecto de cada obra deberá tener en cuenta las prescripciones que se incluyen en los siguientes epígrafes, que prevalecerán sobre las del PG-3 en caso de discrepancia.

Si por razones técnicas o económicas se justificase el empleo de materiales distintos podrán asimilarse a los descritos mediante un estudio especial en laboratorio y comprobación en obra mediante tramo de prueba.

## 6.4.1. Hormigón vibrado

Según el Artículo 550 del PG-3, con las siguientes prescripciones complementarias:

/ Para las categorías de tráfico pesado T00 y T0, se utilizará exclusivamente hormigón HF-4,5.

/ Para las categorías de tráfico pesado T1 y T2, se podrán utilizar los tipos de hormigón HF-4,5 o HF-4,0.

/ Para las categorías de tráfico pesado T3 y T4, se podrán utilizar los tipos de hormigón HF-4,0 o HF-3,5.

## 6.4.2. Hormigón magro vibrado

Con carácter adicional a las prescripciones establecidas en el Artículo 551 del PG-3 se exigirá una resistencia media a compresión simple a 7 días igual o superior a 8 MPa.

## 6.4.3. Mezclas bituminosas en caliente

Las especificaciones sobre mezclas bituminosas en caliente tipo drenante (PA) y discontinuas (M y F) están definidas en los Artículos 542 y 543 del PG-3, respectivamente.

Las especificaciones sobre mezclas bituminosas de tipo denso (D) y semidenso (S), son las referidas en el Artículo 542 del PG-3.

## 6.4.4. Materiales tratados con cemento

Los materiales tratados con cemento cumplirán las especificaciones del apartado 5.4.2 del capítulo 5, con las siguientes prescripciones adicionales.

La gravacemiento se proyectará con resistencia media a compresión a 7 días igual o superior a 8 MPa, con el fin de garantizar una suficiente resistencia a la erosión del material.

### 6.4.5. Productos filmógenos de curado.

El curado del hormigón magro vibrado y el hormigón vibrado del pavimento se realizará mediante productos filmógenos, según lo indicado en el Artículo 285 del PG-3, excepción hecha de los pavimentos continuos que hayan de recibir una rodadura bituminosa, en cuyo caso el curado se realizará mediante cubrición con lámina plástica. En ese caso, con carácter previo a la extensión de la mezcla asfáltica de rodadura, se aplicará el correspondiente riego de adherencia.

### 6.4.6. Productos de sellado de juntas.

Sin prescripciones adicionales a lo expresado en el Artículo 550.2.9 del PG-3.

### 6.4.7. Pasadores y barras de unión.

Sin prescripciones adicionales a lo expresado en el Artículo 550.2.5 del PG-3.

### 6.4.8. Barras de acero para pavimentos continuos de hormigón armado

Sin prescripciones adicionales a lo expresado en el Artículo 550.2.6 del PG-3.

### 6.4.9. Riegos bituminosos de adherencia

Se efectuará un riego de adherencia, según lo indicado en el Artículo 531 del PG-3, sobre las capas de suelocemento que vayan a recibir encima una capa de mezcla bituminosa. Se recomienda especialmente la utilización de emulsiones termoadherentes.

### 6.4.10. Riegos bituminosos de curado

Se efectuará un riego de curado, según lo indicado en el Artículo 532 del PG-3, sobre los materiales tratados con cemento (suelo estabilizado, suelocemento o gravacemento). El riego de curado se deberá barrer de forma enérgica previamente a la colocación de la capa superior o la extensión de un riego de adherencia.

## 6.5. DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME

El dimensionamiento del firme se realizará preceptivamente mediante el programa de cálculo de firmes de la Junta de Andalucía (ICAFIR) que acompaña a esta Instrucción y que se fundamenta en el modelo de Westergaard.

Complementariamente, en el anejo 11 se proporciona la descripción de la metodología y los ábacos de cálculo que sirven de base a ICAFIR para la determinación del espesor del pavimento, que habrá de ser tal que garantice que:

/ La losa de hormigón no soporte tensiones de tracción excesivas por causa del tráfico, para el período de proyecto considerado, que se establece en 30 años.

/ Las deflexiones en el borde de la losa sean suficientemente reducidas como para que no se produzca erosión del cimient, bombeo de finos o escalonamiento de juntas.

En el dimensionamiento se tendrá en cuenta lo indicado en el apartado 6.3 Criterios de proyecto y, aunque el procedimiento no considera los pavimentos de hormigón armado, para su dimensionamiento pueden aplicarse los criterios señalados en 6.3.4.

Para el cálculo de la estructura del firme se seguirán los siguientes pasos:

- / Caracterización del tráfico de proyecto.
- / Caracterización del cimient del firme.
- / Caracterización de los materiales.
- / Definición de las características del firme.
- / Cálculo del espesor del pavimento de hormigón según el criterio de fatiga.
- / Cálculo del espesor del pavimento de hormigón según el criterio de erosión.
- / Análisis del resultado.

## 6.5.1. Caracterización del tráfico de proyecto

Es el número de ejes equivalentes estimados para el carril de proyecto durante el período de proyecto considerado.

Se adoptará valor unidad para el coeficiente de equivalencia de los vehículos pesados, conforme a la tabla 3.2, y en función de la categoría de tráfico se seleccionará el coeficiente de mayoración de las cargas que corresponda según la tabla 3.5. Asimismo, se debe definir la categoría de la carretera o tramo, en función del tráfico de proyecto según el criterio mostrado en la tabla 6.1.

**Tabla 6.1. Categoría de la carretera en función del tráfico**

Categoría de tráfico	Categoría de la carretera
T0, T1, T2	A
T3, T4	B

## 6.5.2. Caracterización del cimient del firme

El cimient del firme se considerará en el modelo como un líquido denso o conjunto de resortes sobre el que se apoyan las capas del firme y que vendrá definido por su módulo de balasto, K.

Se adoptarán los valores del módulo de balasto mostrados en la tabla 6.2, en función de la categoría del cimiento y del tipo de material empleado en la última capa de asiento.

**Tabla 6.2. Valores de cálculo del módulo de balasto**

Categoría del cimiento	Última capa de asiento	K (MPa/m)
MEDIO (*)	Zahorra artificial	80
	Suelo estabilizado tipo S-EST2	90
	Suelo estabilizado tipo S-EST3	100
ALTO (**)	Zahorra artificial	110
	Suelo estabilizado tipo S-EST2	120
	Suelo estabilizado tipo S-EST3	140

(\*): Para tráfico de categoría T3A o inferior.

(\*\*): Para cualquier categoría de tráfico.

### 6.5.3. Caracterización de los materiales

Se usará hormigón vibrado para el pavimento, y hormigón magro vibrado, gravacemento o mezcla bituminosa en caliente para la capa de apoyo del pavimento. En caso de utilizar materiales granulares o suelos estabilizados con cal o cemento (S-EST2 o S-EST3) como subbase, a efectos de cálculo se incorporarán en el cimiento del firme.

#### 6.5.3.1. Hormigón vibrado

Se caracterizará por su resistencia a flexotracción a largo plazo. Se estimará dicha resistencia a partir de la de 28 días utilizando los valores mostrados en la tabla 6.3.

**Tabla 6.3. Caracterización del hormigón vibrado**

Hormigón	R <sub>f</sub> a 28 días (MPa)	R <sub>f</sub> a largo plazo (MPa)
HF-4,5	4,5	4,95
HF-4,0	4,0	4,40
HF-3,5	3,5	3,85

#### 6.5.3.2. Hormigón magro vibrado y gravacemento

Se caracterizarán por su resistencia a flexotracción a largo plazo estimada a partir de la resistencia media a compresión simple a 7 días utilizando los valores mostrados en la tabla 6.4.

### 6.5.4. Definición de las características del firme

Se definirán las siguientes características, atendiendo siempre a lo dispuesto en el apartado 6.3 "Criterios de proyecto":

/ Tipo de arcén: distinguiendo entre arcenes con pavimento de hormigón o de otro tipo.

/ Unión entre losas: distinguiendo entre juntas transversales con o sin pasadores y con o sin barras de atado en caso de arcenes de hormigón. En su caso, se podrá optar por definir un pavimento continuo de hormigón armado.

**Tabla 6.4. Caracterización del hormigón magro y de la gravacemento**

Material	RC mínima a 7 días (MPa)	R <sub>F</sub> a largo plazo (MPa)
Hormigón magro	8,0	2,5
Gravacemento*	8,0	2,5

(\*) La gravacemento bajo pavimentos de hormigón tendrá un contenido de cemento superior a la utilizada bajo pavimentos bituminosos, y por tanto, su resistencia mínima a compresión será mayor.

### 6.5.5. Cálculo del espesor del pavimento de hormigón según el criterio de fatiga

Se realizará con la ayuda de los gráficos GF que se proporcionan en el Anejo 11 Bases del cálculo de firmes de hormigón junto con la explicación pormenorizada del procedimiento de cálculo.

### 6.5.6. Cálculo del espesor del pavimento de hormigón según el criterio de erosión

Se realizará con la ayuda de los gráficos GE que se proporcionan en el Anejo 11 Bases del cálculo de firmes de hormigón junto con la explicación pormenorizada del procedimiento de cálculo.

### 6.5.7. Análisis del resultado

Una vez calculados los espesores necesarios del pavimento de hormigón según ambos criterios, de fatiga, eF, y de erosión, eE, se elegirá como espesor de cálculo el mayor de los anteriores (eC).

El espesor de cálculo obtenido podrá reducirse en 5 cm para tráficos T00 a T2 y en 2 cm para tráficos T3 y T4 siempre que el pavimento se apoye en los materiales especificados en la figura 6.1.

Conforme a lo expresado en 6.3.4, en el caso de pavimentos continuos de hormigón armado se efectuará una reducción complementaria del espesor de losa de 4 cm.

Finalmente se comprobará el cumplimiento del espesor mínimo de pavimento requerido en la tabla A del Anejo 11 Bases del cálculo de firmes de hormigón.

*7///*

# **ACONDICIONAMIENTOS Y MEJORAS DEL FIRME**



## 7.1. INTRODUCCIÓN

Se incluyen en este capítulo criterios de proyecto para el diseño de los firmes para obras de acondicionamiento y mejora de la sección transversal de carreteras existentes.

Los acondicionamientos de la sección transversal de la carretera cuando no impliquen correcciones importantes de peralte se abordarán siguiendo los criterios definidos en este capítulo para ensanches de la plataforma. Cuando impliquen una variación importante de la rasante, la carretera existente se considerará parte del cimiento del firme.

Las obras de mejora del firme existente son aquellas destinadas a producir un aumento importante de su capacidad estructural, por lo que entran dentro del ámbito de la reconstrucción de firmes. En este capítulo se tratan únicamente las obras de mejora que utilicen la técnica del reciclado in situ de capas del firme existente. Cuando la reconstrucción conlleve la demolición del firme existente, se seguirán los criterios definidos en la Instrucción para los firmes de nueva construcción.

## 7.2. ENSANCHES

### 7.2.1. Generalidades

Los ensanches son obras de modernización de una carretera para ampliar su sección transversal, de manera que se aproveche parte de la plataforma existente, siempre que no constituya modificación de trazado. Incluyen la construcción de firmes nuevos a uno o ambos márgenes de una calzada existente, de manera que se consiga una plataforma de mayor anchura.

Dado que estas obras se suelen realizar manteniendo el tráfico por la carretera existente, el diseño debe considerar la situación de peligro que se crea debido a la presencia del escalón lateral durante la construcción del ensanche. En este sentido, sin perjuicio de las medidas de señalización y balizamiento que se adopten en obra, deben evitarse las soluciones que requieran un plazo de días entre la construcción de capas sucesivas.

Así mismo, se incluirán en el PPTP del proyecto las condiciones necesarias para que eventualmente se permita el paso del tráfico sobre las unidades construidas.

### 7.2.2. Diseño del firme

El proyecto del firme del ensanche deberá siempre comprender la rehabilitación o refuerzo del firme antiguo, con el mismo período de proyecto para ambas actuaciones. Por consiguiente se deberá realizar una evaluación detallada de las condiciones del firme existente en cuanto a deterioros superficiales y estructurales, capacidad de soporte y condiciones de drenaje, junto con la descripción de los espesores y materiales que lo constituyen.

El cálculo del espesor del refuerzo se realizará conforme a la normativa técnica vigente<sup>1</sup> para la Red de Carreteras de Andalucía en materia de rehabilitación de firmes. Se tratará en lo posible de reducir el número de tramos con diferente espesor de refuerzo para evitar el constante cambio de sección de firme en el ensanche.

---

1. En ausencia de normativa propia se utilizará la Norma 6.3-IC del Ministerio de Fomento.



El firme del ensanche se diseñará con una rigidez similar a la del firme existente, para evitar que se pudieran producir posibles deterioros por asientos diferenciales en la junta longitudinal.

El espesor del refuerzo se considerará que forma parte del espesor total del firme de nueva construcción del ensanche. Se procurará que enrasen la capa de base o subbase del firme del ensanche con la superficie del firme existente, reforzando posteriormente toda la calzada con una o varias capas de mezcla bituminosa.

Se deberá estudiar detalladamente la forma de dotar al firme de las pendientes transversales necesarias. Cuando sea necesaria una corrección de peraltes, se puede minimizar el espesor necesario de mezclas bituminosas, extendiendo en primer lugar las capas de corrección de peralte en el firme existente, y construyendo luego el ensanche de manera que la base o subbase enrase con la nueva superficie. No obstante, esta solución es más crítica que la anterior en cuanto a aparición de fisuras en el borde del ensanche.

Las capas del firme antiguo se deberán cortar verticalmente y retranquear, de manera que no coincidan las distintas juntas longitudinales. Asimismo, se deberá prestar especial atención a que la junta de la capa superior del ensanche con el antiguo pavimento no coincida con las nuevas zonas de rodada (se puede situar en el centro de los carriles, o en todo caso, muy próxima a la línea de separación de carriles).

Se debe estudiar cuidadosamente el drenaje del firme, especialmente si el firme antiguo contiene capas muy permeables, en cuyo caso se les debe dar continuidad bajo el ensanche hasta un sistema de drenaje adecuado. El sistema se complementará con zanjas drenantes longitudinales y transversales, tuberías colectoras y de desagüe y todos los elementos que sean necesarios para asegurar el correcto funcionamiento del drenaje subterráneo.

### 7.2.3. Selección de materiales para el firme

En la selección de materiales se tendrán en cuenta los criterios generales y limitaciones señalados en esta Instrucción.

Si la obra se proyecta sin interrupción del tráfico, se utilizarán materiales que minimicen las molestias derivadas de su construcción. No será necesario mantener los mismos materiales del firme antiguo. En algunas situaciones, y especialmente, en ensanches que requieran un incremento importante de la capacidad de soporte, puede ser conveniente proyectar secciones con capas tratadas con cemento o mezclas de alto módulo.

Se considerará la utilización de gravaemulsión rica en ligante (>4% de betún residual) como capa de regularización cuando sea necesaria la corrección de peraltes, ya que se disminuyen considerablemente los problemas de reflexión de fisuras en las junta longitudinales.

### 7.2.4. Diseño del cimiento del firme

Con objeto de reducir el riesgo de deformaciones diferenciales en la junta longitudinal entre el firme existente y el ensanche, es conveniente que se proyecte el cimiento del firme con una capacidad de soporte similar o superior a la del firme existente.

Se procurará enrasar los planos de explanada del firme existente y del ensanche. En casos especiales, se puede proyectar el plano de explanada del ensanche por debajo del existente, pero nunca por encima.

Se considerará la utilización de suelos estabilizados con cemento en la formación de las capas de asiento para este fin, especialmente cuando los suelos del apoyo sean de baja capacidad de soporte, lo que además evita aumentar de manera innecesaria la profundidad del escalón lateral durante la construcción de las obras, con una mejora sustancial de la seguridad vial.

## 7.3. MEJORA DEL FIRME MEDIANTE RECICLADO IN SITU

El reciclado de firmes in situ resulta una de las opciones más recomendables para la mejora de la capacidad estructural de un firme cuando se encuentra próximo a su fatiga estructural. La anchura mínima del tratamiento debe ser la correspondiente a un carril o al arcén, salvo en situaciones muy justificadas, como ensanches deteriorados uniformemente a lo largo de un tramo.

En general, se podrán reciclar capas de mezclas bituminosas, de materiales granulares o tratados con cemento, o conjuntos de capas en la que existan estos materiales. El reciclado in situ en frío se realizará añadiendo emulsión, o una mezcla de emulsión y un ligante hidráulico (cemento o cal), o bien cemento, a los materiales previamente fresados.

El reciclado in situ en frío es una técnica alternativa al fresado y reposición de firmes, o a la reconstrucción, actuaciones con las que se deberá comparar su coste. Se podrá llevar a cabo la rehabilitación mediante reciclado in situ siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- / Firmes agrietados por fatiga o en los que no sea conveniente la aplicación directa de nuevas capas. En general, se trata de superficies agrietadas o con numerosos baches, bacheos, saneos, o heterogéneas transversalmente, con casos evidentes de despegue de capas o de defectos en mezclas, que se puedan corregir mediante la técnica del reciclado.
- / Pavimentos sobre capas tratadas con cemento en los que aparezcan grietas transversales reflejadas de las de retracción, con una frecuencia de aparición importante y estando un elevado porcentaje de las mismas muy deterioradas en superficie (grietas ramificadas y/o con pérdidas graves de materiales).
- / Firmes básicamente granulares, con recubrimientos bituminosos inferiores a 6 cm, en los que se quiera estabilizar el material granular existente, bien para aumentar su capacidad de soporte, o para disminuir su susceptibilidad al agua.

Antes de iniciar los trabajos se llevará a cabo un reconocimiento minucioso de la carretera con el fin de caracterizar adecuadamente el firme existente. Para ello la campaña de reconocimiento comprenderá al menos una inspección visual del tramo, la medida de deflexiones y la toma de muestras representativas. Además, se deberán analizar los datos históricos de la carretera.

### 7.3.1. Reciclado con emulsión bituminosa

Esta unidad de obra se realizará específicamente conforme con el pliego para reciclado de capas de MBC en frío "in situ" con emulsión bituminosa de la Junta de Andalucía.

La determinación de espesores se hará conforme a la normativa técnica vigente<sup>2</sup> para la Red de Carreteras de Andalucía en materia de rehabilitación de firmes, considerando la solución de fresado y reposición del firme existente. Se tomará la siguiente equivalencia de espesores:

<sup>2</sup>. En ausencia de normativa propia se utilizará la Norma 6.3-IC del Ministerio de Fomento.

/ En reciclados que afecten fundamentalmente a capas bituminosas, se considerará una relación 0,75:1 entre el reciclado y la mezcla bituminosa convencional.

/ En reciclados que afecten fundamentalmente a capas granulares, se considerará una relación 0,5:1 entre el reciclado y la mezcla convencional.

El espesor mínimo del tratamiento debe ser ligeramente superior al espesor de la capa o capas a reciclar. En todo caso será superior a 6 cm.

El espesor máximo del tratamiento será de 15 cm, siendo sin embargo recomendable no superar los 12 cm. En caso de hacerlo, deberá considerarse la adición de cal o cemento. Con espesores mayores de los señalados es muy difícil conseguir la eliminación del agua, y por tanto una adecuada cohesión en el fondo de la capa.

Para cualquier volumen de obra con tráfico T0, y en aquellas obras en las que se reciclen más de 60.000 m<sup>2</sup> con tráfico T1 ó T2, deberá trabajarse con dos máquinas en paralelo o con una que permita reciclar un carril de una sola vez. Podrá obviarse esta exigencia si se demuestra en el tramo de prueba, que las irregularidades transversales, medidas con transverso-perfilógrafo o regla de 3 m, son inferiores a 8 mm.

Deberá considerarse en el proyecto la posibilidad de recurrir a riegos de protección en situaciones desfavorables.

A efectos de conseguir una regularidad adecuada, con tráfico T2 y superiores, deberá colocarse sobre la capa reciclada un espesor mínimo de 10 cm de mezcla bituminosa en dos capas. Dentro de éste podrá incluirse el espesor medio de la regularización precisada. Con tráfico menores, se podrá disponer una única capa de rodadura sobre el material reciclado, bien de mezcla bituminosa en caliente, de mezcla abierta en frío, una lechada, o un simple tratamiento superficial. La necesidad de colocar dos capas podrá obviarse si en el tramo de prueba se demuestra que con una única se obtiene la regularidad requerida. En este caso, la longitud del tramo de prueba será como mínimo de 1 km.

Las mezclas a utilizar sobre las capas recicladas serán del tipo semidenso (S) o denso (D). En la capa de rodadura sobre mezclas densas o semidensas, se podrán también utilizar mezclas discontinuas o mezclas drenantes.

Se considerará expresamente el drenaje del agua que se pueda infiltrar en la capa reciclada.

Se deberá realizar un estudio detallado de posibles medidas correctoras a aplicar siempre que se dé alguna de las situaciones siguientes:

/ Cuando existan roderas por deformación plástica de la mezcla bituminosa.

/ Cuando haya pérdida de adhesividad entre el árido y el ligante. En cuyo caso, deberá estudiarse qué tipo de emulsión o aditivo es el más adecuado.

/ Cuando en el firme a reciclar aparezcan mezclas drenantes o abiertas, macadam o macadam por penetración, o capas sucesivas de lechadas. En este caso, si es necesario se estudiará la posibilidad de reciclar capas inferiores, en el espesor preciso, o de incorporar árido de aportación, para que el conjunto tenga la granulometría adecuada.

## 7.3.2. Reciclado con cemento

Se trata de una técnica adecuada para firmes que necesiten una reconstrucción total o un refuerzo importante. En su aplicación, se atenderá a lo siguiente:

- / Para la determinación de espesores se considerará que el material reciclado con cemento es análogo estructuralmente a un suelocemento. Se debe llegar, mediante el procedimiento de cálculo analítico descrito en el capítulo 5, a estructuras de firme formadas por una base de suelocemento y un pavimento de mezcla bituminosa. En el dimensionamiento de estas secciones se considerarán los módulos del cimiento indicados en la tabla 4.5.
- / El espesor mínimo del tratamiento será de 20 cm. Para espesores menores las capas de materiales tratados con cemento pudieran presentar roturas prematuras.
- / El espesor máximo del tratamiento será de 35 cm, no siendo recomendable superar los 30 cm. Estas limitaciones están impuestas sobre la base de las posibilidades de compactación de los equipos actuales.
- / Deberá considerarse en el proyecto el riego de protección y curado correspondiente.
- / En lo referente a la prefisuración de las capas y la colocación de sistemas "anti-fisuras", se atenderá a lo indicado en el capítulo 5 para el suelocemento.

## 74. CIMIENTO FORMADO POR FIRMES EXISTENTES

En aquellos proyectos de acondicionamiento de trazado de la vía o de la sección transversal del firme en los que se produzca una elevación considerable de la rasante de la calzada, se puede considerar la carretera existente como parte del cimiento de la nueva sección de firme.

Si las capas del nuevo firme se apoyan directamente sobre la carretera existente se considerará que el cimiento del firme está constituido por el firme existente y su categoría vendrá dada por la deflexión patrón normalizada<sup>3</sup> obtenida sobre la sección de firme existente, de acuerdo a lo indicado en la tabla 7.1.

**Tabla 7.1. Categoría del cimiento asignada a los firmes existentes en función de la deflexión para su consideración como cimiento de la nueva estructura**

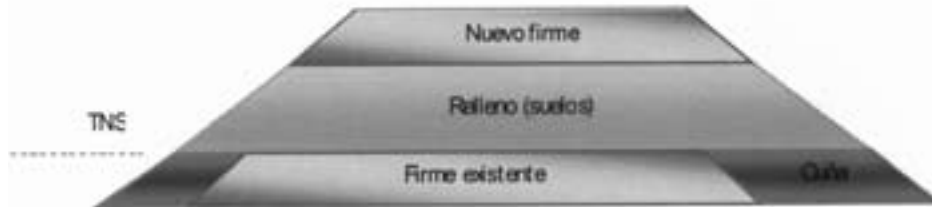
Deflexión patrón normalizada (MM/100)	Categoría de cimiento
< 120	Alta
120 – 200	Media
200 – 300	Baja
> 300	Fuera de categoría

Si por el contrario, la necesidad de elevar la rasante implica la aportación de suelos sobre el firme existente, la carretera existente, previa eliminación de las capas tratadas, se considerará como el TNS sobre el que se apoyarán los suelos del terraplén, en su caso, y las capas de asiento del nuevo cimiento del

3. Salvo que exista normativa específica sobre la materia en Andalucía, se utilizará por defecto la Norma 6.3-IC del Ministerio de Fomento (2003) para el cálculo de la deflexión de cálculo.

firme (ver figura 7.1). Estructuralmente se considerará este TNS como un macizo semiindefinido cuyo módulo equivalente  $E_e$  se obtendrá a partir de un estudio específico<sup>4</sup>.

**Figura 7.1 Esquema de incorporación de cuñas laterales al firme existente en acondicionamientos con elevación importante de la rasante**



En la mayoría de las ocasiones, las obras de acondicionamiento implican cambios en el trazado o rectificación de curvas. En muchos de estos casos resultará inviable la utilización de la estructura existente como cimiento de la nueva carretera al no coincidir las trazas, o incluso coincidiendo parcialmente, la reconstrucción irá acompañada del ensanche de la carretera existente, por lo que el firme existente sólo se podrá utilizar como cimiento parcialmente.

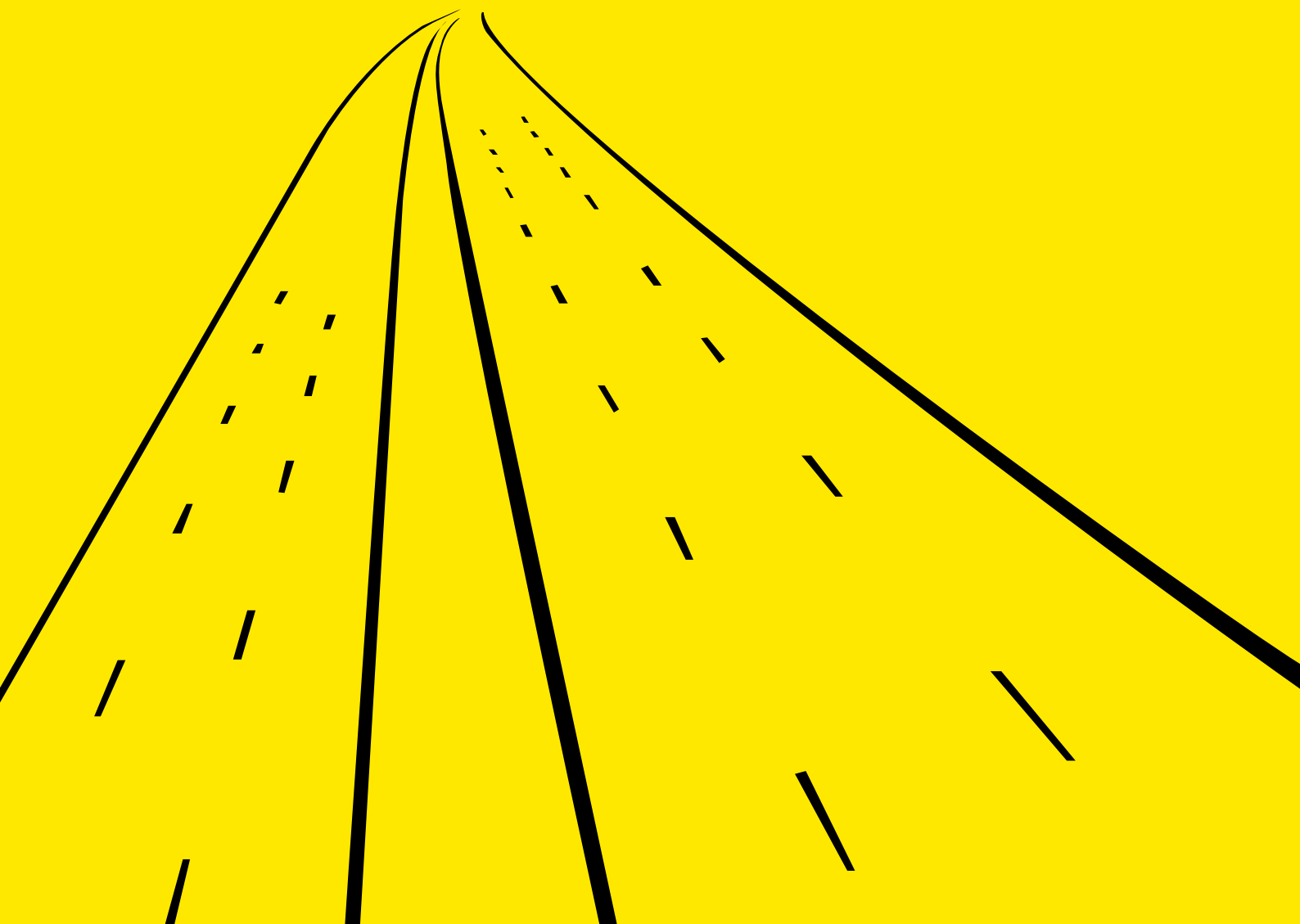
En tales casos, si la estructura del firme es aprovechable en una longitud suficiente se podrá utilizar como apoyo de las capas de asiento del nuevo cimiento previa eliminación del pavimento. En este caso, siempre que sea necesario se añadirán cuñas laterales a la carretera existente de materiales granulares o suelos estabilizados para proporcionar un apoyo homogéneo en toda su extensión a los suelos del nuevo cimiento. En este sentido se comprobará mediante ensayos in situ que el firme existente y la cuña añadida presentan una capacidad de soporte similar. Tanto las capas de la carretera existente como las cuñas de material de aportación tendrán la consideración de TNS del nuevo cimiento, que en función de la capacidad de soporte obtenida, se asimilará estructuralmente a alguno de los materiales incluidos en la tabla 4.1.

4. Estos estudios se pueden basar por ejemplo en el cálculo inverso de firmes.



**8///**

**FIRMES PARA  
APLICACIONES  
ESPECÍFICAS**



## 8.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se señalan las directrices para el proyecto de soluciones de firme para aplicaciones no convencionales, en cuyo diseño se deben tener en cuenta algunos condicionantes específicos no contemplados en otros capítulos. En particular se contempla el diseño de firmes para arcenes, travesías, túneles, obras de paso, zonas de estacionamiento y parada y lechos de frenado.

## 8.2. FIRMES EN ARCENES

La elección de la sección de firme del arcén será función de la anchura del mismo, de la categoría de tráfico pesado asignada a la vía, y del tipo de firme proyectado en la calzada.

La prolongación del firme de la calzada en todo el ancho del arcén es una solución válida en cualquier situación, y puede además tener algunas ventajas constructivas. En cualquier caso, el firme de los arcenes de anchura inferior a 1,25 m será siempre prolongación del firme de la calzada adyacente, y su ejecución será simultánea, sin junta longitudinal entre calzada y arcén.

En los arcenes de anchura superior a 1,25 m, se puede diseñar una sección de firme diferenciada para el arcén de acuerdo con los criterios indicados en este epígrafe. En cualquier caso el firme de la calzada se deberá prolongar en el arcén 20 cm medidos sobre la capa superior y con los derrames necesarios.

Se procurará proyectar el firme del arcén con la misma tipología que el de la calzada, evitando en lo posible la aparición de nuevas unidades de obra. Al fijar los espesores de construcción de las capas o tongadas del firme del arcén se tendrá en cuenta la distribución de capas del firme de la calzada, a fin de coordinar su construcción, procurando en lo posible enrasar las capas de arcén y calzada.

Si fuera previsible un ensanche de la calzada a costa del arcén, se procurará asimismo adoptar una solución compatible con la futura ampliación.

En el caso de que la calzada dispusiera de una capa inferior drenante o un geotextil, se prolongarán bajo el arcén hasta desaguar a un sistema de drenaje adecuado.

Salvo justificación en contrario, se adoptará alguna de las soluciones definidas en los siguientes apartados, en función del tipo de firme utilizado en calzada, que están previstas para unas solicitaciones del tráfico pesado acordes con la función asignada a los arcenes. En el caso de que se previera la utilización esporádica de los arcenes como carriles adicionales (por ejemplo, en vías y autovías urbanas o periurbanas) u otras situaciones que dieran lugar a solicitaciones anormalmente intensas, se podrán justificar secciones de mayor capacidad estructural previa autorización de la administración competente. En este caso, siempre será posible la prolongación del firme de la calzada adyacente aprovechando las ventajas constructivas.

### 8.2.1. Firme en calzada con pavimento bituminoso

En arcenes de anchura superior a 1,25 m, cuando la calzada esté constituida por un firme con pavimento bituminoso, se proyectará alguna de las soluciones de firme con pavimento bituminoso definidas en la tabla 8.1.

En las figuras 8.1. se presentan de forma esquemática y por tipo de tráfico las soluciones propuestas.



**Tabla 8.1. Secciones estructurales de firme con pavimento bituminoso para arcenes de anchura superior a 1,25 m**

Categoría de tráfico	Tipo de base del firme en calzada	Sección de firme en arcén		
		Pavimento bituminoso	Base no bituminosa	Subbase
T00	Base granular	Espesor $\geq$ 12 cm Prolongación de la capa de rodadura de la calzada	ZA	ZA
	Base hidráulica	Espesor $\geq$ 10 cm Prolongación de la capa de rodadura de la calzada	SC	ZA
T0 – T1	Base granular	Espesor $\geq$ 10 cm Prolongación de la capa de rodadura de la calzada	ZA	Z o SS
	Base hidráulica	Espesor $\geq$ 8 cm Prolongación de la capa de rodadura de la calzada	SC	Z o SS
T2 – T4	Base granular o hidráulica	Prolongación de la capa de rodadura de la calzada	ZA ó SC	Z ó SS

**NOTAS COMPLEMENTARIAS:**

Cuando la capa de rodadura de la calzada sea drenante o discontinua en caliente, se prolongarán sobre el arcén las capas de rodadura e intermedia del firme de la calzada.

El pavimento bituminoso de los arcenes, salvo que sea prolongación del de la calzada, no incluirá en ningún caso mezclas gruesas (G) o de alto módulo (AM).

En todos los casos la zahorra artificial (ZA) se utilizará con una granulometría por debajo del centro del huso especificado en cada caso.

El suelocemento (SC) en arcén se prefisurará transversalmente en fresco cada 4 m, y en su caso, será del mismo tipo que el utilizado en calzada.

El suelo seleccionado (SS) será de los tipos 3 ó 4.

En todos los casos el espesor de la subbase será el necesario para alcanzar el plano de explanada.

Con tráfico T2 la base del firme del arcén se realizará con el mismo material utilizado en la base del firme de la calzada.

## 8.2.2. Firme en calzada con pavimento de hormigón

Se proyectará para el firme del arcén alguna de las soluciones de firme definidas en la tabla 8.2.

En todos los casos la losa del pavimento de la calzada se prolongará abarcando los 50 cm interiores del arcén. A su vez, la subbase del pavimento de la calzada tendrá un sobreancho (es) equivalente al espesor de la losa del pavimento de la calzada.

Salvo justificación en contrario, la textura superficial del arcén se obtendrá, mediante estriado transversal.

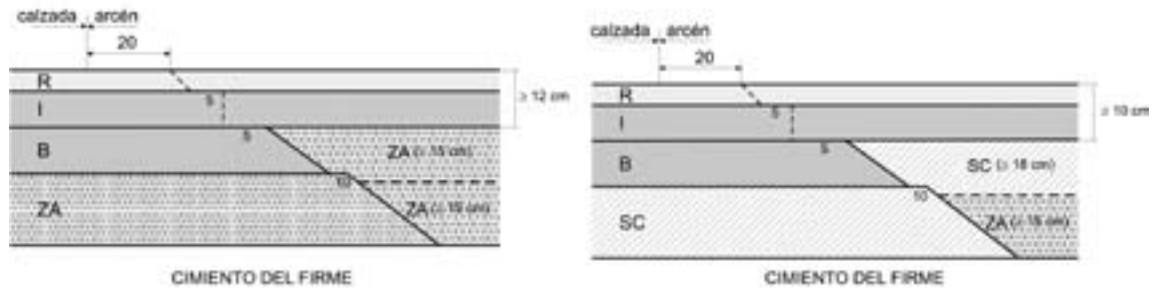
Cuando el arcén de hormigón esté provisto de barras de atado éstas serán barras de unión de 12 mm de diámetro y 80 cm de longitud, que se dispondrán perpendicularmente a la junta y a la mitad del canto de la losa de la calzada, con un espaciamiento de 1 m.

La junta longitudinal entre calzada y arcén se sellará siempre, mediante alguno de los procedimientos indicados en 6.3.6.

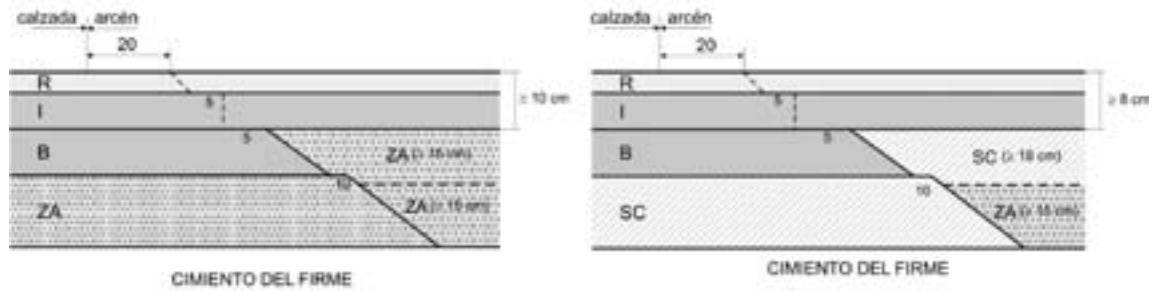
En la figura siguiente se presentan de forma esquemática y por tipo de tráfico las soluciones propuestas.

Figura 8.1. Esquemas de soluciones de firmes en arcén

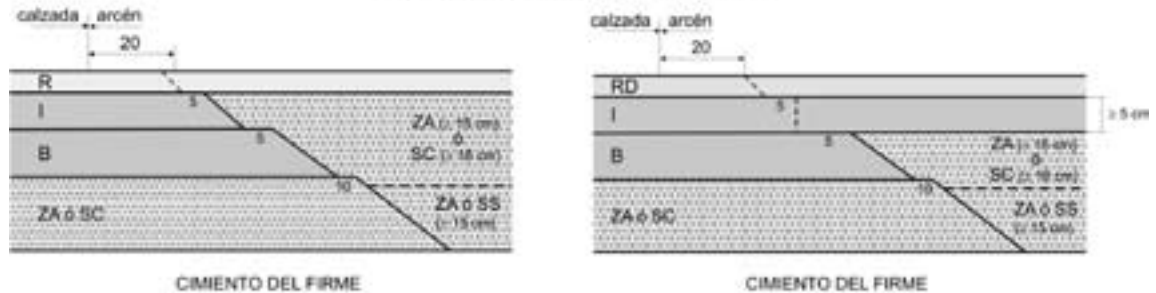
### SOLUCIÓN T00



### SOLUCIÓN T0-T1



### SOLUCIÓN T2-T4



### ESQUEMAS DE FIRMES CON PAVIMENTO BITUMINOSO PARA ARCENES

LEYENDA

MEZCLA BITUMINOSA EN CAPA RODADURA	R
MEZCLA BITUMINOSA DRENANTE DISCONTINUA	RD
MEZCLA BITUMINOSA EN CAPA INTERMEDIA	I
MEZCLA BITUMINOSA EN CAPA BASE	B
ZAHORRA ARTIFICIAL	ZA
SUELOCEMENTO	SC
SUELO SELECCIONADO S3 ó S4 ó ZN	SS

**Tabla 8.2. Secciones estructurales de firme en arcenes para firmes con pavimento de hormigón en calzada**

Categoría de tráfico	Tipo de pavimento del arcén	Sección de firme en arcén		
		Pavimento	Base	Subbase
T00	De hormigón con barras de atado	HVEspesor: 15 cm	---	ZA
T0	De hormigón con barras de atado (*)	HVEspesor: 15 cm	---	ZA
	Bituminoso	MBEspesor = 10 cm	SC4	ZA
T1	De hormigón con barras de atado	HVEspesor: 15 cm	---	ZA
	Bituminoso	MBEspesor = 10 cm	SC4	ZA
T2	De hormigón sin barras de atado	HV o HMEspesor: 15 cm	---	ZA
	Bituminoso	MBEspesor = 5 cm	SC4	ZA
T3a	Bituminoso	MBEspesor = 5 cm	---	SC4 o SC3
T3b y T4	Bituminoso	TS (**)	---	ZA

(\*): Opción recomendada.

(\*\*): Tratamiento superficial a base de riego con gravilla o lechada bituminosa que quedará 2 cm por debajo del plano superior de la losa de calzada.

NOTAS COMPLEMENTARIAS:

/ El pavimento bituminoso de los arcenes no incluirá en ningún caso mezclas gruesas (G) o de alto módulo (AM).

/ En todos los casos la zorra artificial (ZA) se utilizará con una granulometría por debajo del centro del huso especificado en cada caso.

/ El suelocemento (SC4 o SC3) en el arcén se prefisurará transversalmente en fresco cada 3 ó 4 m.

/ En todos los casos el espesor de la subbase será el necesario para alcanzar el plano de la explanada. La base, caso de existir, tendrá el espesor necesario para enrasar con el plano inferior de la losa del pavimento de calzada.

## 8.3. TÚNELES

A efectos de aplicación de la presente Instrucción, se considerará como túnel toda carretera cubierta, ya sea excavada en el terreno, o en falso túnel.

Para túneles de longitud inferior a 500 metros, no será necesario adoptar una sección especial de firme, pudiéndose disponer el mismo tipo que en las inmediaciones del túnel.

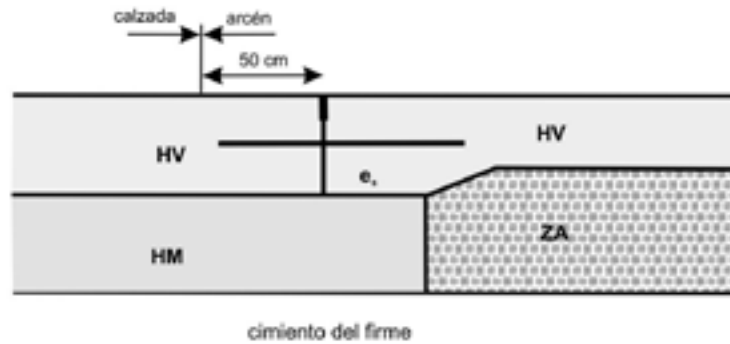
Para cualquier túnel de longitud superior a 500 m, con el fin de disminuir las operaciones de conservación, se tomará un periodo de proyecto de 30 años, se considerará una categoría mínima de tráfico pesado T2, y se adoptará una categoría de cimiento Alta.

Para túneles de longitud superior a 1.000 m, se proyectarán salvo razones debidamente justificadas, pavimentos de hormigón con aditivos coloreantes para que proporcionen suficiente contraste con las marcas viales. Para el diseño de firmes rígidos se seguirán los criterios indicados en el capítulo 6 Diseño de firmes con pavimentos de hormigón.

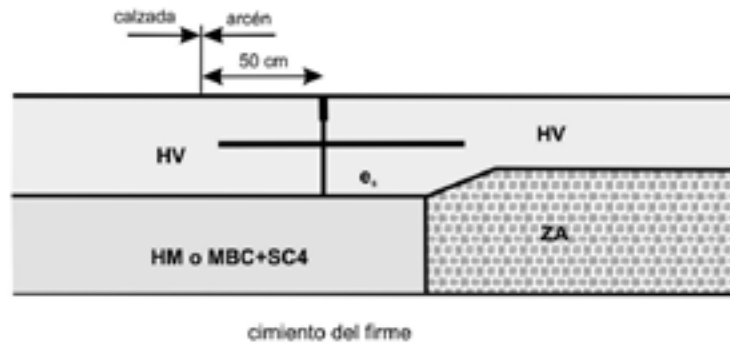
Para túneles de longitud intermedia entre 500 y 1.000 m, se podrán proyectar también firmes con pavimento bituminoso. Preferentemente se utilizarán mezclas tipo F en la capa de rodadura. En todo caso queda expresamente prohibido el uso de capas de rodadura de mezcla drenante, y en general todas aquellas con un contenido de huecos en mezcla superior al 15%, por el peligro potencial que supone el movimiento de líquidos inflamables a través de ellas en caso de incendio. Si este tipo de mezcla se utilizara en los accesos al túnel, el cambio se efectuará dentro del túnel a 50 m de las embocaduras, con el fin de evitar crear un punto singular en caso de lluvia a la entrada o salida del túnel.

Figura 8.2. Secciones estructurales para arcenes con pavimento de hormigón en calzada

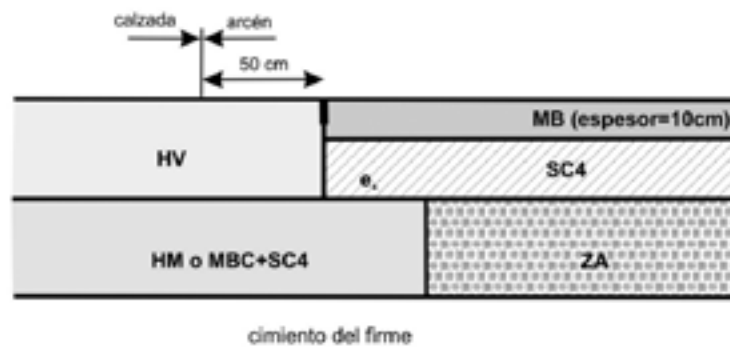
**T00 - ARCÉN CON PAVIMENTO DE HORMIGÓN CON BARRAS DE ATADO**



**T1 - ARCÉN CON PAVIMENTO DE HORMIGÓN CON BARRAS DE ATADO**



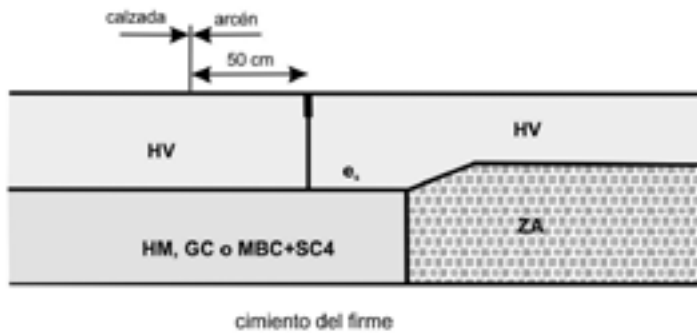
**T1 - ARCÉN CON PAVIMENTO BITUMINOSO**



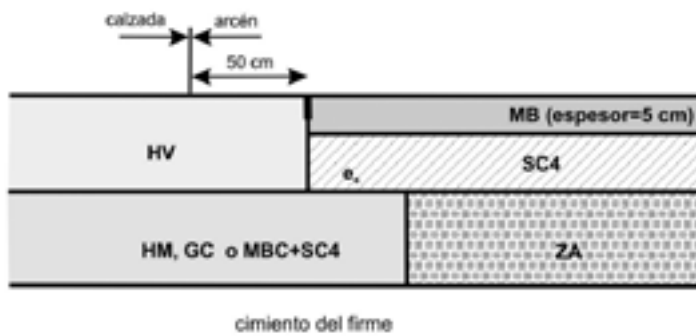
**LEYENDA**

HORMIGÓN VIBRADO	HV
HORMIGÓN EN MASA	HM
MEZCLA BITUMINOSA	MB
TRATAMIENTO SUPERFICIAL	TS
ZAHORRA ARTIFICIAL	ZA
SUELOCEMENTO	SC

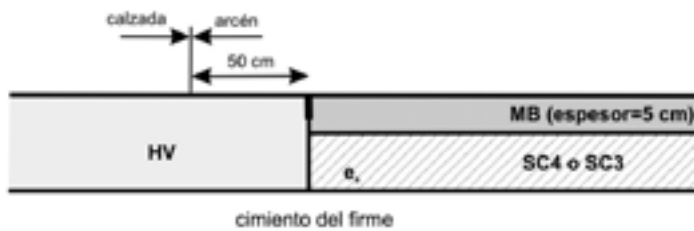
## T2 - ARCÉN CON PAVIMENTO DE HORMIGÓN SIN BARRAS DE ATADG



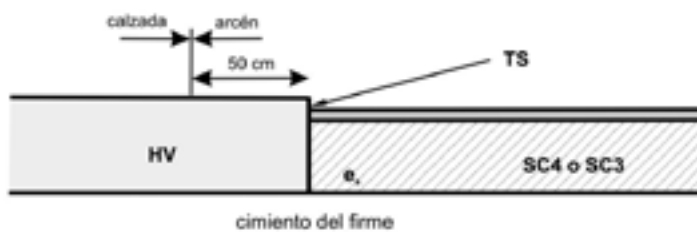
## T2 - ARCÉN CON PAVIMENTO BITUMIOSO



## T3a - ARCÉN CON PAVIMENTO BITUMIOSO



## T3b y T4 - ARCÉN CON PAVIMENTO BITUMIOSO



### LEYENDA

HORMIGÓN VIBRADO	HV
HORMIGÓN EN MASA	HM
MEZCLA BITUMINOSA	MB
TRATAMIENTO SUPERFICIAL	TS
ZAHORRA ARTIFICIAL	ZA
SUELOCEMENTO	SC

### 8.3.1. Cimiento del firme formado por roca o suelos

En los túneles en los que el terreno natural subyacente de la traza esté formado por roca sobre la que no se vaya a disponer de solera de hormigón, se procederá al relleno de oquedades y regularización con hormigón magro tipo HM-20 en un espesor mínimo de 10 cm sobre las crestas de la superficie existente, considerándose entonces como explanada de categoría Alta.

Si el terreno natural subyacente está formado por suelos, tanto el cimiento como el firme se dimensionarán con el procedimiento general utilizado para las carreteras al aire libre.

### 8.3.2. Cimiento del firme de roca con solera de hormigón

En las secciones de firmes apoyadas en roca terminadas en solera de hormigón en masa con espesor mínimo de 25 cm, se consideran los siguientes casos:

/ Si se desea proyectar un pavimento bituminoso, se considerará la solera como capa de base y se dispondrá, para cualquier categoría de tráfico, un pavimento de mezclas bituminosas con ligante modificado formado por dos capas, una de rodadura y otra intermedia, cumpliendo los espesores mínimos definidos en la tabla 5.2. No se considerarán los espesores mínimos definidos en la tabla 5.1 sobre materiales tratados con cemento.

/ Si se desea proyectar un pavimento de hormigón, se considerará la solera como la capa de apoyo del pavimento de hormigón y se utilizarán los espesores correspondientes a cada categoría de tráfico pesado siguiendo el procedimiento general de cálculo.

En el primer caso, previamente a la colocación del pavimento bituminoso se regularizará convenientemente la solera de hormigón. Para ello se recomienda la utilización de una mezcla bituminosa con betún modificado tipo BM-2 ó BM-3c y tamaño máximo nominal de árido pequeño, en general no mayor de 8 mm, para evitar arrastres.

Si el espesor es inferior a 25 cm se considerará simplemente como una regularización de hormigón y se seguirán los criterios del apartado 8.3.1.

### 8.3.3. Cimiento del firme de suelo con solera de hormigón

En las secciones de firmes apoyadas en suelo terminadas en solera de hormigón en masa con un espesor mínimo de 25 cm, se consideran los siguientes casos:

/ Si se desea proyectar un pavimento bituminoso, se considerará la solera como capa de base y se dispondrá un pavimento de mezclas bituminosas con ligante modificado cumpliendo los espesores mínimos definidos para cada categoría de tráfico en la tabla 5.1 para las zonas climáticas ZT1 a ZT3.

/ Si se desea proyectar un pavimento de hormigón, se considerará la solera como la capa de apoyo del pavimento de hormigón y se utilizarán los espesores correspondientes a cada categoría de tráfico pesado siguiendo el procedimiento general de cálculo.

En el primer caso, previamente a la colocación del pavimento bituminoso se regularizará convenientemente la solera de hormigón. Para ello se recomienda la utilización de una mezcla bituminosa con betún modifi-

cado tipo BM-2 ó BM-3c y tamaño máximo nominal de árido pequeño, en general no mayor de 8 mm, para evitar arrastres.

Si el espesor de la solera de hormigón es inferior a 25 cm, se considerará simplemente como una regularización de hormigón y se aplicarán los criterios del apartado 8.3.1.

### 8.3.4. Cimiento del firme con losa de hormigón en contrabóveda

En secciones de túnel en contrabóveda, se podrá disponer sobre la misma alguna de las siguientes soluciones:

- / Zahorra artificial drenante, provista de los elementos correspondientes de evacuación de agua, y sobre ella, una capa de hormigón magro de espesor mínimo 20 cm para facilitar el paso de obra, en cuyo caso se dispondrán los espesores señalados en el apartado 8.3.3.
- / Suelocemento con un índice de capacidad de soporte inmediata superior a 65, o gravacemento, en un espesor mínimo de 25 cm, en cuyo caso se dispondrán los espesores señalados en el apartado 8.3.2.

### 8.3.5. Cimiento del firme con losa de hormigón armada o pretensada

Si el túnel cuenta con una solera de hormigón armado o pretensado de al menos 25 cm de espesor, se proyectará una solución similar a las señaladas para obras de paso, consistente en una regularización, impermeabilización y pavimento bituminoso.

## 8.4. OBRAS DE PASO

El pavimento del tablero de una obra de paso deberá cumplir la doble función de proporcionar una adecuada rodadura al tráfico y proteger e impermeabilizar el tablero ante la acción directa del tráfico y de la intemperie, particularmente en climas o ambientes agresivos.

### 8.4.1. Protección del tablero

En general, el tratamiento de protección del tablero previo a la disposición del pavimento constará de lo siguiente:

- / Preparación del tablero.
- / Riego de imprimación del tablero, en su caso.
- / Regularización del tablero, en su caso.
- / Capa o sistema de impermeabilización.
- / Tratamiento de protección de la impermeabilización, en su caso.

La capa o sistema de impermeabilización puede estar formado por láminas de sistemas poliméricos o polimérico-bituminoso fabricadas in situ, por másticos bituminosos fabricados en frío o en caliente o por láminas asfálticas prefabricadas, de comportamiento debidamente contrastado. Cada sistema de impermeabilización tiene su forma de aplicación por lo que algunas de las actuaciones enumeradas pueden no ser necesarias.

## 8.4.2. Pavimento bituminoso

El pavimento sobre la impermeabilización será función de la categoría de tráfico pesado:

/ Con tráfico T2 ó superior, se proyectará una mezcla bituminosa en caliente de 10 cm de espesor, en dos capas, una intermedia, formada por una mezcla bituminosa de tipo D o S de tamaño máximo nominal de árido no superior a 12 mm, y una capa de rodadura de mezcla bituminosa bien convencional de tipo D o S, o discontinua de tipo F o M. La capa intermedia no será necesaria cuando se haya regularizado el tablero directamente sobre el riego de imprimación.

/ Con tráfico T3 ó inferior, el firme estará compuesto por una única capa de mezcla bituminosa en caliente de tipo D o S o bien por una mezcla bituminosa de tipo discontinuo F ó M.

Se pueden utilizar capas de rodadura de mezcla bituminosa drenante PA para dar continuidad a la rodadura de los firmes adyacentes, siempre y cuando la obra de paso no se encuentre en zona con riesgo de heladas.

En caso de proyectar rodaduras de mezcla drenante o discontinua, se dispondrá bajo las mismas una capa de 5 cm de mezcla bituminosa en caliente de tipo D o S.

## 8.4.3. Tratamiento sobre tableros de puentes muy flexibles

En tableros de puentes muy flexibles, para cualquier categoría de tráfico pesado, se tendrá que impermeabilizar el tablero y extender una capa de rodadura delgada muy resistente a la fatiga. Se recomienda utilizar una de las siguientes soluciones:

/ Una capa de 5 cm de mezcla bituminosa tipo S con ligante modificado del tipo BM-3b ó BM-3c.

/ Una capa de 2 a 3 cm de mezcla bituminosa discontinua F o M con un fuerte riego de adherencia ( $>0,35$  kg/m<sup>2</sup> de betún residual para mezclas M y  $0,30$  kg/m<sup>2</sup> para mezclas F) y ligante modificado del tipo BM-3b ó BM-3c.

## 8.5. FIRMES PROVISIONALES

Se entiende por firmes provisionales aquellos proyectados para un período de tiempo limitado. En general, serán necesarios en alguna de las siguientes situaciones:

/ Cuando se esperen asientos considerables en los terraplenes,

/ Cuando sea necesaria la construcción de desvíos provisionales, o

/ Cuando el clima sea desfavorable para la construcción de la capas superiores del firme.



En cualquier caso, la construcción del firme definitivo deberá estar obligatoriamente contemplada en el proyecto del firme provisional, y por tanto, no se podrá considerar el firme provisional como parte de una estrategia de construcción por etapas, a medio o largo plazo.

En el caso de que se esperen asientos en el terraplén, se proyectarán firmes formados por mezclas bituminosas y capas granulares. Quedan expresamente prohibidos los firmes con capas inferiores tratadas con cemento. Los firmes provisionales se proyectarán siempre con todo el espesor de las capas de base que correspondan al firme definitivo y un pavimento bituminoso, que dependerá de la categoría de tráfico pesado:

- / Con categoría T2 ó superior, se podrá disponer una capa de mezcla abierta en frío sellada con una lechada, o una capa de 6 cm de gravaemulsión sellada con un tratamiento superficial.
- / Con categoría T3 ó inferior, se admite la ejecución de un doble tratamiento superficial además las soluciones anteriores.

En el caso de firmes para desvíos provisionales o cuando se deba posponer la construcción de las capas definitivas por las condiciones climáticas, se diseñará la sección de firme mediante el programa ICAFIR, determinándose la categoría de Tráfico Equivalente de Proyecto a partir del tráfico pesado que se estima circulará por el desvío provisional durante el período de tiempo que vaya a permanecer en servicio.

## 8.6. ZONAS DE ESTACIONAMIENTO Y PARADA

En zonas de estacionamiento y parada, como bahías de autobuses o paradas de peaje, el diseño del firme está condicionado fundamentalmente por la reducida velocidad de circulación de los vehículos así como su detención, lo que origina una considerable disminución de rigidez y una importante fluencia de los materiales bituminosos, lo cual se manifiesta en el desarrollo de roderas y afecta muy negativamente a las capas inferiores del firme. Otro problema añadido es el frecuente derrame de aceites y combustibles, que pueden deteriorar rápidamente el pavimento si es bituminoso.

Por todo ello, conviene pavimentar estas zonas con materiales que presenten buen comportamiento frente a las deformaciones plásticas y capaces de resistir los derrames de combustible sin deteriorarse. Los pavimentos más recomendables son las losas de hormigón, los pavimentos de adoquines, o pavimentos de mezcla bituminosa especialmente diseñados para resistir los derrames de combustibles.

En el caso de que se quiera proyectar un firme con pavimento de hormigón se hará de acuerdo a los criterios del capítulo 6 Diseño de firmes con pavimento de hormigón.

En el caso de que se quisiera proyectar un firme con pavimento bituminoso se utilizarán ligantes resistentes a los combustibles en la capa superior o bien se protegerá la mezcla bituminosa con una lechada o tratamiento superficial que incorpore este tipo de ligante. En los 15 cm superiores se podrán utilizar mezclas bituminosas de alto módulo (en capa intermedia) o convencionales, si bien en este último caso se deberán diseñar con betún modificado de los tipos BM-2, BM-3b o BM-3c, o al menos con betún asfáltico de baja penetración tipo B40/50.

En el caso de que se quiera proyectar un firme de adoquines, estará formado por un pavimento de adoquines prefabricados de hormigón (según UNE-EN 1338:2004) apoyado sobre una capa de arena de nivelación, que se dispondrá, eventualmente, sobre una base de hormigón magro y/o una subbase granular de zorra artificial, dependiendo de la categoría del cimiento y del nivel de tráfico previsto. El diseño de estos firmes se realizará conforme a las directrices indicadas en el anejo 12.

## 8.7. LECHOS DE FRENADO

En ciertos tramos con pendientes prolongadas se considerará justificado disponer lechos de frenado de acuerdo con los criterios de implantación establecidos en la Orden Circular 321/95 "Recomendaciones sobre Sistemas de Contención de Vehículos" de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

El lecho estará constituido por una cama de material disgregado, de tal forma que se consiga la detención del vehículo al hundirse sus ruedas en el material granular.

La capa granular estará formada a base de gravas naturales limpias de partículas redondeadas no procedentes de machaqueo. En concreto, se recomienda el uso de gravilla rodada suelta de tamaño 5/10 mm.

Se deberá asegurar la capacidad drenante del material granular así como proyectar los dispositivos de drenaje necesarios para impedir la retención de agua que en caso de helarse reduciría notablemente la función desaceleradora del lecho de frenada.

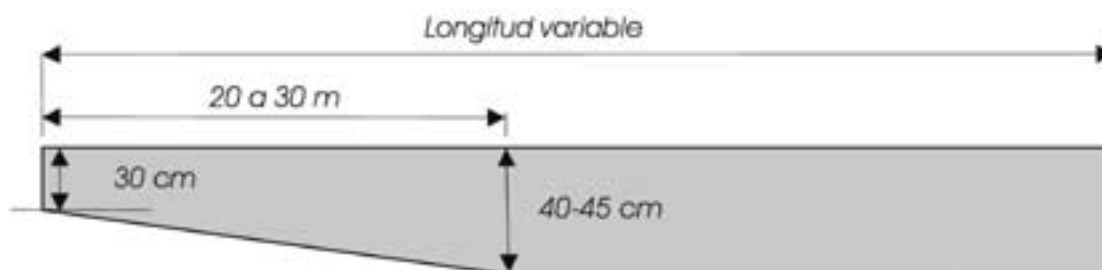
El material de relleno estará contenido entre muretes laterales y sobre una solera de hormigón de 30 cm de espesor, con una inclinación transversal del 2%.

El espesor del material de relleno aumentará progresivamente durante los primeros 20 a 30 m, desde unos 30 cm, a la entrada del lecho, hasta un espesor de unos 40 a 45 cm que se mantendrá hasta el final del lecho de frenado (ver figura 8.8). Esta disposición tiene por objeto permitir una transición suave en la entrada y el hundimiento progresivo del vehículo y, al mismo tiempo, que se logre una pendiente suficiente para facilitar el drenaje.

En cuanto a la longitud y anchura del lecho se deberá cumplir lo especificado al respecto en la Orden Circular 321/95.

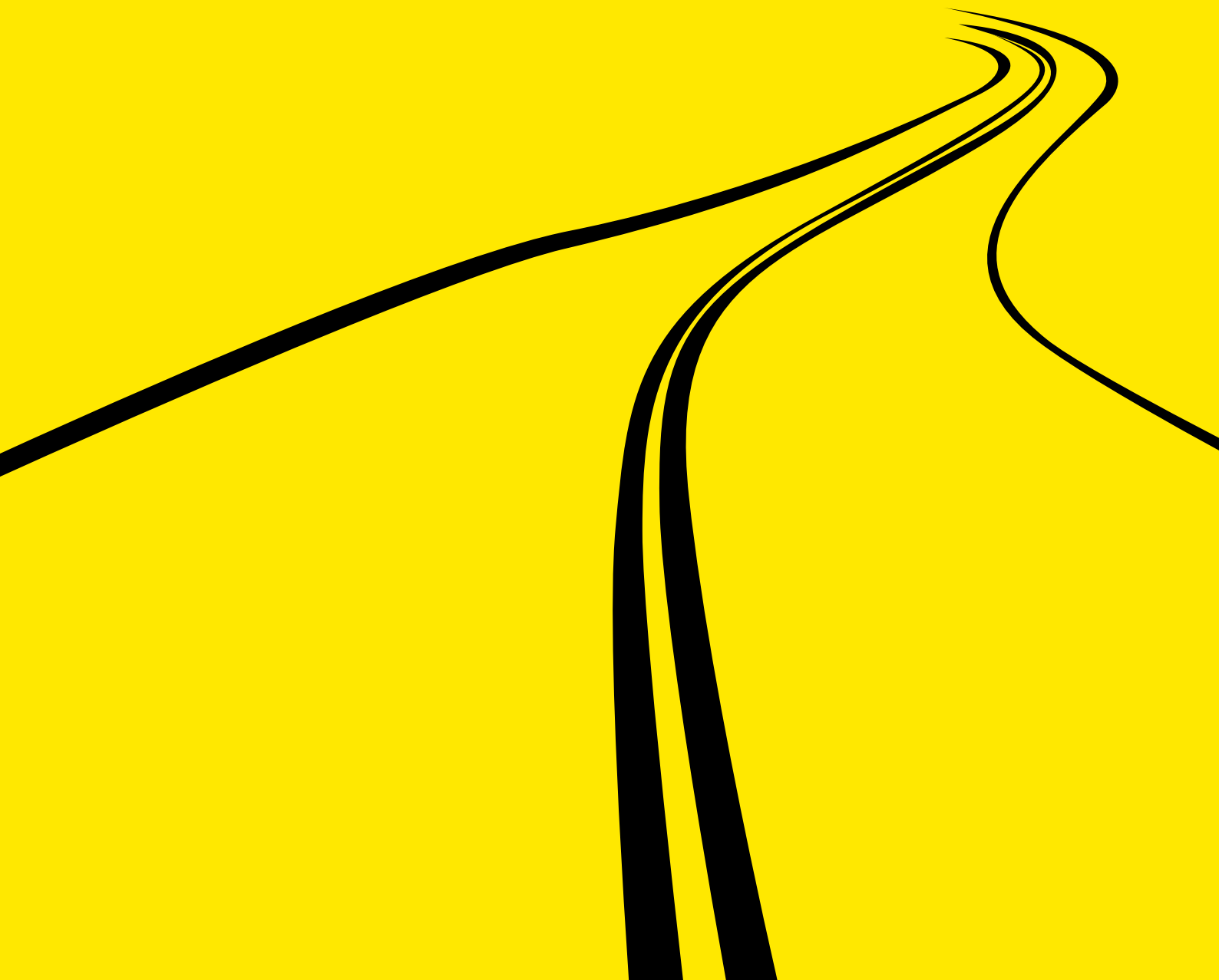
Debido a que los vehículos generalmente están en el lecho en condiciones fuera de control, y que además, una vez que están en el lecho, al conductor le resulta muy difícil dirigir el vehículo, se debe necesariamente disponer una barrera de alto nivel de contención en el lado del lecho más alejado de la calzada.

**Figura 8.3 Esquema de la sección longitudinal del lecho de frenado**



**9///**

**OTROS ASPECTOS  
DEL DISEÑO**



## 9.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se tratan otros aspectos que influyen o pueden influir en el diseño del firme, como los aspectos constructivos, los económicos o los medioambientales. Además se establecen los criterios para la definición de tramos experimentales para ensayar nuevos materiales o técnicas.

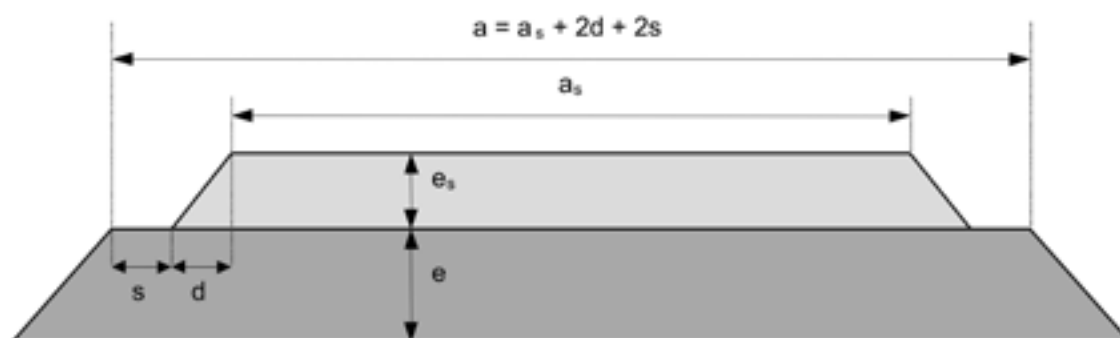
## 9.2. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

### 9.2.1. Disposición transversal

En la disposición de las distintas capas del firme en la sección transversal se cumplirán las siguientes prescripciones:

- / La anchura de la capa de rodadura será al menos igual a la teórica de la calzada entre líneas de borde, incluido el sobreebanco en curva, más 20 cm por cada borde.
- / Cada capa del firme tendrá una anchura,  $a$ , en su cara superior, igual a la de la capa inmediatamente superior,  $a_s$ , más la suma de los sobreebanco  $d$  y  $s$  indicados en la tabla 9.1 (ver figura 9.1). El sobreebanco se podrá aumentar si así lo exigiera el disponer de un apoyo para la extensión de la capa superior.

**Figura 9.1. Esquema de sobreebanco para la sección del firme**



**Tabla 9.1. Valores de los sobreebanco (cm)**

<b>Por derrames (d)</b>	Hormigón	0	
	Otros materiales	$e_s$	
<b>Por criterios constructivos (s)</b>	Bajo hormigón	$e_s$	
	Bajo otros materiales	Mezclas bituminosas	5
		Capas tratadas con conglomerantes hidráulicos	6 a 10
		Capas granulares	10 a 15

- / La anchura extendida y compactada será siempre igual o superior a la teórica y comprenderá las anchuras teóricas de la calzada y/o arcenes más los sobreebanco mínimos fijados en los planos. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará las anchuras máximas y mínimas de extendido, así como la situación de las juntas longitudinales necesarias.

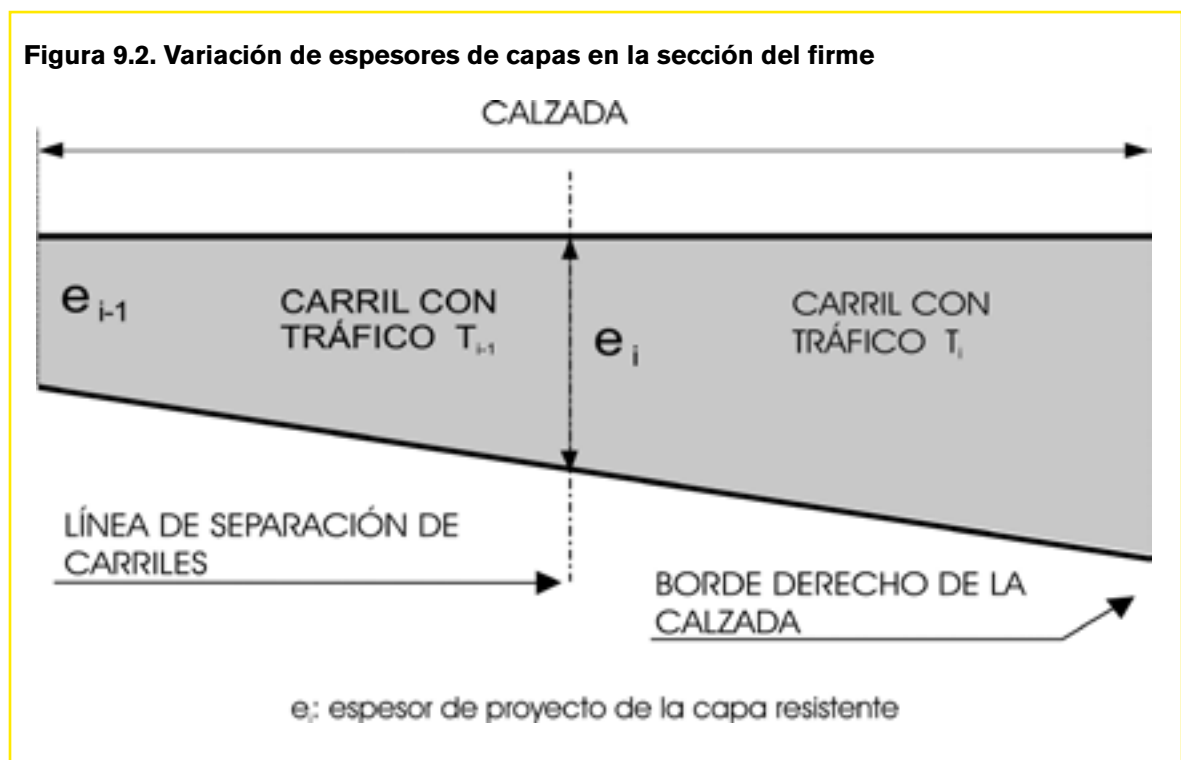
/ Se eliminarán los excesos laterales sin la compactación adecuada, excepto si forman parte del borde exterior de la plataforma.

## 9.2.2. Sección variable entre carriles

Cuando en una calzada con dos o más carriles por sentido de circulación se obtenga para el carril que no sea el de proyecto una categoría de tráfico inferior a la de éste, puede considerarse en toda la calzada la misma sección que la correspondiente al tráfico de proyecto o utilizar una sección de firme variable a lo ancho de la misma, con objeto de optimizar la disposición de los materiales.

Se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- / La categoría de tráfico pesado entre carriles no diferirá en más de una.
- / Se considerará la misma categoría de cimiento.
- / Se utilizará la misma tipología de sección de firme.
- / Las variaciones de espesor se harán en la capa resistente, entendiendo por tal aquella que tenga el mayor módulo, sin incumplir las limitaciones de espesor contenidas en la presente Instrucción.
- / Las variaciones de espesor serán transversalmente lineales, debiéndose mantener los espesores mínimos correspondientes en el borde izquierdo (según el sentido de circulación) de cada carril (ver figura 9.2).
- / La compensación de las variaciones de espesor para mantener las pendientes transversales mínimas en el cimiento del firme, se harán en la capa inferior del firme o en la superior de las capas de asiento.



## 9.3. ASPECTOS ECONÓMICOS

En cada proyecto se comparará el coste de al menos tres secciones entre varias de tipología distinta, todas ellas validas desde el punto de vista técnico.

La comparación de costes debe incluir en primer lugar la del coste de construcción inicial. Para diferencias de costes de construcción iniciales inferiores al 30%, se deberá realizar una comparación de costes a largo plazo para elegir la sección más adecuada. Si son superiores al 30%, la decisión se puede basar, junto a consideraciones técnicas, medioambientales y de disponibilidad de materiales, en el menor coste de construcción inicial.

La comparación de costes a largo plazo debe incluir el cálculo de los siguientes costes:

- / coste de construcción inicial,
- / coste de conservación,
- / coste de las reparaciones necesarias a lo largo del período de análisis,
- / coste de reconstrucción al final de la vida de servicio.

### 9.3.1. Coste de construcción inicial

Los costes de construcción inicial de una determinada sección de firme se obtendrán como suma de los correspondientes a cada una de las unidades de obra que componen la sección, incluyendo los arceles y drenes de firme en el caso de que difieran entre secciones.

### 9.3.2. Costes de conservación, reparaciones y reconstrucción

Se incluirán aquí los costes de las operaciones ordinarias de conservación de los firmes, de rehabilitación superficial o estructural a lo largo del período de análisis, y de reconstrucción al final de la vida de servicio.

Para poder realizar la evaluación de costes, se deben definir a priori unos “escenarios de conservación”, en función de los datos existentes en cada provincia o tomando el modelo que se presenta en el Anejo 13 “Escenarios de conservación”, donde se incluyen tablas con las operaciones ordinarias de conservación, rehabilitaciones superficiales o estructurales a lo largo del período de análisis, y de reconstrucción del firme al final de la vida de servicio.

Los análisis se deben referir a un período de 20 años o superior, para valorar también la incidencia de una reconstrucción o rehabilitación importante en los costes totales, y se deben realizar en unidades monetarias comparables.

### 9.3.3. Actualización de costes

El análisis comparativo se realizará actualizando los costes de las operaciones de conservación al año de construcción. La tasa de actualización recomendada es del 4%. En consecuencia, el coste de una operación realizada en el año  $t$ , se obtendrá mediante la expresión:

$$C_{\text{actualizado}} = C \times (1 + r)^t \quad [9.1]$$

## 9.4. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

En todo proyecto de carreteras se incluirá un análisis medioambiental que analice la posibilidad de emplear, dentro de las zonas en que resulte viable económicamente, residuos o subproductos, entre otros, escorias, estériles de mina, cenizas volantes, plásticos, neumáticos usados, aceites usados de motor, materiales reciclados de firmes o materiales procedentes de demolición.

Asimismo, cuando se vayan a emplear mezclas bituminosas, se estudiará la utilización de betunes modificados con productos reciclados de la industria. Además, en aquellos proyectos de acondicionamiento o mejora de carreteras, se estudiará el reciclado del firme existente (ver capítulo 7).

En todo caso, se estará a lo dispuesto en la legislación vigente en materia medioambiental.

## 9.5. TRAMOS EXPERIMENTALES

Podrá preverse en el proyecto la ejecución de tramos experimentales para ensayar nuevas técnicas o materiales. La longitud total del tramo experimental no será superior a un kilómetro o al diez por ciento (lo que sea menor) de la longitud del tramo de proyecto.







**ANEJOS**





# ANEJOS

**1///**

**DEFINICIONES**

**Acondicionamiento general de trazado y sección**\_Obra de modernización de una carretera que afecta a su sección transversal y a su planta o a su alzado, y cuyas variaciones del eje en planta o en alzado sean inferiores a las definidas para las obras de modificación de trazado y superiores a las definidas para las obras de mejoras puntuales de trazado y sección.

**Arcén**\_Franja longitudinal afirmada contigua a la calzada, no destinada al uso por vehículos automóviles más que en circunstancias excepcionales.

**Berma**\_Franja longitudinal contigua al arcén, si existe, en el borde de la plataforma. Es una zona de seguridad para la circulación y se utiliza para la eventual circulación de peatones y situación de elementos auxiliares de la carretera.

**Calzada**\_Zona de la carretera destinada a la circulación. Se compone de un cierto número de carriles.

**Capa de base**\_Capa del firme situada debajo del pavimento cuya misión es eminentemente estructural.

**Capa de rodadura**\_Capa superior o única de un pavimento de mezcla bituminosa.

**Capa intermedia**\_Capa de un pavimento de mezcla bituminosa situada debajo de la capa de rodadura.

**Capacidad de soporte**\_Aptitud de un suelo, terraplén, desmonte o capa de firme para soportar las cargas de tráfico con deformaciones volumétricas, tensiones y alterabilidad climática dentro de unos límites fijados experimental o analíticamente.

**Capacidad de una carretera**\_Máxima intensidad de vehículos que razonablemente pueden circular por un perfil o segmento uniforme de carril o carretera durante un período de tiempo determinado bajo las condiciones prevalecientes viales, del tráfico y de la regulación.

**Capas de Asiento**\_Capa o capas de aportación formadas por suelos o materiales granulares, tratados o no con conglomerantes, situadas bajo el plano de explanada con el fin de mejorar alguna de las cualidades del cimiento.

**Carril de proyecto**\_Carril de la calzada para el que se dimensiona el firme, el cual soporta las mayores cargas de tráfico en la calzada, es decir, para el que se prevé un mayor tráfico de proyecto.

**Carril lento**\_Carril situado a la derecha del o de los carriles principales para la circulación de vehículos lentos y/o pesados, con objeto de mejorar las condiciones de capacidad de la carretera generalmente en rampas y zonas urbanas.

**Carril**\_Subdivisión o banda de la calzada que permite la circulación de una fila de vehículos, generalmente delimitada por líneas de marcas viales o balizas.

**Categorías de tráfico de proyecto**\_Intervalos que se establecen, a efectos del dimensionamiento de la sección del firme, en la intensidad media diaria de vehículos pesados.

**Cimiento del Firme**\_Conjunto de capas de suelos u otros materiales que se encuentra bajo el plano de explanada y comprende las capas de asiento y el terraplén o el terreno natural subyacente.

**Coefficiente de equivalencia**\_Número de ejes tipo a que equivale un conjunto de ejes de un vehículo cualquiera, a efectos de dimensionamiento de la estructura del firme.

**Colapsabilidad de un suelo**\_Característica de algunos suelos por la cual son susceptibles de sufrir un asiento adicional cuando estando sometidos a cierta presión, y con el asiento estabilizado, se inundan bruscamente. Para que se produzca el colapso el grado de saturación debe ser inferior a un valor crítico.

**Desmante**\_Excavación por debajo de la cota del nivel natural del terreno para realizar la explanación de una carretera.

**Drenaje**\_Conjunto de dispositivos destinados a permitir la evacuación fuera de la carretera de las aguas profundas e infiltradas.

**Duplicación de calzada**\_obra de modernización de una carretera consistente en construir otra calzada separada de la existente pero contigua a ella, para destinar cada una de ellas a un sentido único de circulación, siempre que no constituya modificación de trazado.

**Ensanche general de plataforma**\_obra de modernización de una carretera que amplía su sección transversal, de manera que se aproveche parte de la plataforma existente, siempre que no constituya modificación de trazado.

**Estructura del Firme**\_Conjunto de capas ejecutadas con materiales seleccionados colocado sobre el cimiento del firme, que sirven para soportar las cargas del tráfico y permitir la circulación en condiciones de seguridad y comodidad. Constituye la estructura resistente de la calzada o arcén y comprende en general, de abajo arriba, las capas de subbase, base y pavimento.

**Explanación**\_Superficie superior de la coronación de terraplenes y la inferior de los desmontes. También ejecución de las operaciones necesarias para conseguir dicha superficie.

**Firme flexible**\_Firme constituido por capas granulares no tratadas, con pavimentos bituminosos (de espesor no superior a 15 cm). También puede considerarse como flexible, un firme con un espesor mayor de mezclas bituminosas y/o capas inferiores tratadas con conglomerantes hidráulicos, siempre que el estado de estas capas no permita que puedan resistir fundamentalmente por flexión.

**Firme rígido**\_Firme con pavimento de hormigón.

**Firme semiflexible**\_Firme constituido por capas de mezcla bituminosa, de espesor total igual o superior a 15 cm, sobre capas granulares no tratadas.

**Firme semirrígido**\_Firme constituido por una base tratada con conglomerantes hidráulicos y un pavimento bituminoso. También puede considerarse como semirrígido, un firme con un espesor total de mezclas bituminosas superior a 15 cm sobre capas granulares no tratadas, siempre que su comportamiento no sea flexible, es decir, cuando resista fundamentalmente por flexión.

**Gravacemento**\_Mezcla homogénea de áridos, cemento, agua y excepcionalmente aditivos, realizada en central, que convenientemente compactada se utiliza como capa estructural en firmes de carreteras.

**Hormigón magro vibrado**\_Mezcla homogénea de áridos, cemento, agua y aditivos, empleada en capas de base bajo pavimentos de hormigón, que se pone en obra con una consistencia tal que requiere el empleo de vibradores internos para su compactación.

**Hormigón vibrado**\_Mezcla homogénea de áridos, agua y conglomerante, que se pone en obra con maquinaria específica y se utiliza en pavimentos de firmes rígidos.

**Intensidad de tráfico**\_Número de vehículos que pasan por una sección transversal dada de una vía o carretera o carril en la unidad de tiempo.

**Lechada bituminosa**\_Mezcla fabricada a temperatura ambiente, con una emulsión bituminosa, áridos, agua y aditivos, cuya consistencia es adecuada para su puesta en obra y puede aplicarse en una o varias capas.

**Ley de fatiga**\_Expresión matemática que permite estimar el número de aplicaciones de carga que un material puede soportar hasta su agotamiento, en función de un determinado parámetro característico de su comportamiento estructural.

**Mejora de firme**\_Obra de modernización de una carretera cuyo objeto es el aumento de la capacidad portante de su firme en más de un 40 por ciento de la longitud catalogada de la carretera.

**Mezcla bituminosa abierta en frío**\_Combinación de una emulsión bituminosa, áridos con un contenido de finos muy reducido y aditivos, de manera que todas las partículas de árido queden recubiertas de una película de ligante. Su proceso de fabricación no implica calentar el ligante ni los áridos, y su puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

**Mezcla bituminosa en caliente**\_Combinación de un ligante hidrocarbonado, áridos (incluido el polvo mineral) y aditivos, de manera que todas las partículas de árido queden recubiertas de una película de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los áridos, y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente.

**Modelo de comportamiento**\_Modelos que se utilizan para predecir el deterioro del firme basándose en la comprensión del mecanismo subyacente. Normalmente son expresiones que relacionan variables tenso-deformacionales de las capas del firme con el número de aplicaciones de carga necesarias para producir un determinado tipo de deterioro. Estos modelos generalmente se desarrollan en laboratorio y son calibrados posteriormente observando el comportamiento de firmes en servicio.

**Módulo de Young**\_Relación entre la tensión aplicada y la deformación unitaria. Es un término general que se aplica a todos los materiales aunque no sean propiamente elásticos, es decir, aunque no haya proporcionalidad entre tensiones y deformaciones unitarias.

**Módulo equivalente**\_Representa el módulo de Young conjunto de un terreno formado por distintos suelos. En el ensayo de carga con placa se obtiene la misma deflexión superficial sobre este macizo que sobre un macizo semiindefinido de Boussinesq que tenga por módulo elástico dicho módulo equivalente.

**Nivelación**\_Operación que consiste en tomar las cotas de los puntos de una superficie dada con relación a un plano de referencia.

**Núcleo de terraplén**\_Suelo o conjunto de suelos comprendidos entre el nivel del terreno natural y las capas de asiento. Está formado por suelos de aportación cuya función principal es la de elevar la coronación del cimiento hasta la cota del plano de explanada.

**Obra de paso**\_Construcción que salva una discontinuidad en un trazado de carreteras para conseguir el paso de esta sobre un cauce, camino, conducción, etc.

**Pavimento de hormigón**\_Pavimento constituido por losas de hormigón en masa, separadas por juntas, o por una losa continua de hormigón armado; el hormigón se pone en obra con una consistencia tal que requiere el empleo de vibradores internos para su compactación y maquinaria específica para su extensión y acabado superficial.

**Pavimento**\_Parte superior de un firme, que debe resistir los esfuerzos producidos por la circulación, proporcionando a ésta una superficie de rodadura cómoda y segura.

**Período de proyecto**\_Período de tiempo durante el cual se estima permanecerá la estructura del firme en estado de servicio.

**Plano de Explanada**\_Constituye la superficie sobre la que se asienta el mismo, no perteneciente a una obra de fábrica o estructura.

**Plataforma**\_Zona de la carretera ocupada por la calzada, arcenes y bermas adyacentes

**Proyecto**\_Conjunto de documentos que reúne todos los datos necesarios para construir una obra.

**Refuerzo de firme**\_Obra de modernización de una carretera cuya finalidad es el aumento de la capacidad portante de su firme en menos de un 40 por ciento de la longitud catalogada de la carretera.

**Rehabilitación del pavimento**\_Obra de conservación de una carretera cuya finalidad es el restablecimiento parcial o general de las características superficiales del pavimento. Restitución de las características iniciales: obra de conservación de una carretera cuya finalidad es el restablecimiento de la sección transversal, de la planta, del perfil longitudinal o del drenaje, con las características técnicas análogas a las que tuviera la carretera en la puesta en uso de la misma.

**Riego con gravilla**\_Aplicación de una o varias capas de un ligante hidrocarbonados sobre una superficie, complementaras por una o varias extensiones de áridos

**Riego de adherencia**\_Aplicación de una emulsión bituminosa sobre una capa tratada con ligantes hidrocarbonados o con conglomerantes hidráulicos, previa a la colocación sobre ésta de una mezcla bituminosa.

**Riego de curado**\_Aplicación de una película continua y uniforme de emulsión bituminosa sobre una capa tratada con un conglomerante hidráulico, al objeto de impedir la evaporación prematura de humedad.

**Riego de imprimación**\_Aplicación de un ligante hidrocarbonado sobre una capa granular, previa a la colocación sobre ésta de una capa bituminosa.

**Sección a media ladera**\_Aquella en que parte del plano de explanada corta al terreno natural.

**Sección en desmonte**\_La que corresponde a un cimiento del firme cuyo plano de explanada está situado bajo el terreno natural.

**Sección en terraplén o pedraplén**\_La que corresponde a un cimiento del firme cuyo plano de explanada está situado sobre el terreno natural.

**Subbase**\_Capa del firme situada inmediatamente bajo la base y por encima del plano de explanada. Puede no existir o estar compuesta de varias capas.

**Subtramo de cimiento**\_Cada uno de los tramos en que queda dividido el proyecto caracterizado por tener la misma sección de cimiento, es decir el mismo TNS, el mismo tipo de estructura de tierras (desmonte, o terraplén mayor o menor de 2 m) y las mismas capas de asiento. En general, tendrá una longitud mínima de 500 m.

**Suelo granular**\_Suelo constituido por arenas y gravas en su mayor parte.

**Suelo**\_Formación natural de estructura blanda resultado de la alteración de las rocas o de la evolución de las sustancias vegetales.

**Suelocemento**\_Mezcla homogénea de materiales granulares (zahorra, o suelo granular), cemento, agua y eventualmente aditivos, fabricada generalmente en central, que convenientemente compactada se utiliza como capa estructural en firmes de carretera. se en central. Si se fabrica in situ con equipos de reciclado o estabilizadoras se denomina suelocemento in situ.

**Terraplén**\_Relleno formado por extensión y compactación de suelos por encima del terreno natural con el que se constituye el cimiento del firme. Está constituido por el núcleo del terraplén y por las capas de asiento.

**Terreno natural subyacente**\_Conjunto de suelos u otros materiales que se encuentra bajo la superficie de desmote o núcleo de terraplén o pedraplén.

**Terreno natural**\_El existente bajo la capa vegetal.

**Tongada**\_Capa de un determinado espesor, constante o variable, colocada sobre una superficie regular.

**Tráfico equivalente de proyecto (TP)**\_Es el número acumulado de ejes equivalentes de 13 t en el carril de proyecto y durante el período de proyecto.

**Tramo llano**\_Toda combinación de pendientes y alineaciones, tanto horizontales como verticales, que permite a los vehículos pesados mantener al menos una velocidad media de 80 km/h o aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos ligeros; estos tramos incluyen en general pequeñas rampas no superiores al 1 ó 2 %.

**Tramo montañoso**\_Toda combinación de pendientes y trazado, tanto horizontal como vertical, que obliga a los conductores de vehículos pesados a circular a velocidad sostenida en rampa a lo largo de distancias considerables o a intervalos frecuentes.

**Tramo ondulado**\_Toda combinación de pendientes y trazado, tanto horizontal como vertical, que obliga a los conductores de vehículos pesados a circular a una velocidad media menor de 80 Km/h o sustancialmente inferior a la de los vehículos ligeros, aunque sin llegar a su velocidad sostenida en rampa durante ningún período significativo de tiempo.

**Tramo**\_Longitud de vía o carretera entre dos secciones transversales de su trazado.

**Tramos de proyecto**\_Cada una de las partes en que queda dividida la longitud de la vía o carretera, y que se caracterizan por unos factores de diseño homogéneos. Tendrán una longitud mínima de 2,5 Km, o la correspondiente al proyecto de construcción si esta es menor.

**Tramos de terreno natural subyacente (TNS)**\_Cada uno de las zonas en que queda dividido el TNS en base a los tipos de suelos que lo constituyen. Esta tramificación es parte del reconocimiento geotécnico previo a la realización del proyecto. Los tramos de TNS no tiene porqué coincidir con los subtramos de cimiento, ya que en la definición de éstos últimos interviene el tipo de estructura de tierras sobre el que se apoyan las capas de asiento, desmote o terraplén.



**Vehículo pesado**\_Se incluyen en esta denominación los camiones de carga útil superior a 3t, de más de 4 ruedas y sin remolque; los camiones con uno o varios remolques; los vehículos articulados y los vehículos especiales; y los vehículos dedicados al transporte de personas con más de 9 plazas.

**Velocidad máxima legal**\_Máxima velocidad de circulación, fijada por la legislación vigente o por la autoridad competente, a la que se permite circular un vehículo por una carretera o tramo de carretera.

**Velocidad sostenida en rampa**\_Máxima velocidad sostenida que los vehículos pesados pueden mantener en una rampa larga de una pendiente dada.

**Vía de servicio**\_Camino sensiblemente paralelo a una carretera, respecto de la cual tiene carácter secundario, conectado a ésta solamente en algunos puntos, y que sirve a las propiedades o edificios contiguos. Puede ser de sentido único o de doble sentido de circulación.

**Vida útil**\_Período de tiempo en el que el firme (o la capa del firme considerada) no presenta una degradación estructural generalizada.

**Zahorra**\_Material granular, de granulometría continua, utilizado como capa de firme. Se denomina zahorra artificial al constituido por partículas total o parcialmente trituradas. Zahorra natural es el material formado básicamente por partículas no trituradas.





# ANEJOS

**2///**

**MANUAL DE  
USUARIO DE  
ICAFIR 2006**

# ICAFIR 2006\_Manual de Usuario

## 1. Requisitos del Sistema

### Hardware


Procesador Intel Pentium IV / Centrino / Solo / Duo o equivalente de 1GHz o superior.  
256 Mb de RAM o superior, además de 200 Mb de espacio libre en disco  
Monitor con resolución 1024x768 o superior  
Conexión a internet (opcional)


### Software

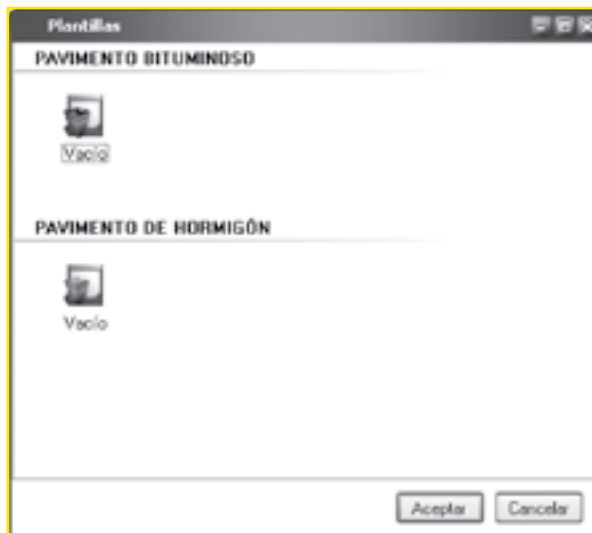
Windows XP SP2 o superior  
Microsoft Framework 2.0 o superior

## 2. Ejemplo de cálculo

### 1. Crear un proyecto con ICAFIR

/ Inicie la aplicación desde el icono de Icafir   
Esto muestra la ventana principal de ICAFIR.

/ Pulse en el icono Nuevo  de la barra de botones para acceder al diálogo de nuevo proyecto donde puede seleccionar una plantilla para el tipo de proyecto que desee crear: Pavimento Bituminoso o Pavimento de Hormigón.



/ Seleccione el proyecto vacío de pavimento bituminoso.  
La primera pantalla que aparece es la de datos de proyecto.

**Datos de Proyecto**

Nombre

Referencia

Autor

Fecha

Itinerario


Observaciones

Cumplimente los datos del proyecto: nombre, referencia, autor, fecha, itinerario y observaciones sobre el proyecto

## 2. Añadir un tramo de proyecto

/ Seleccione la carpeta con el nombre Proyecto en el panel izquierdo de la ventana de ICAFIR.




/ Pulse el botón Añadir nuevo tramo  en la barra de herramientas que está sobre el panel izquierdo.

Esta operación crea un nuevo tramo con varios elementos:

**Solicitaciones:** Donde se recogen los datos de tráfico, climáticos y categoría del cimientto.

**Subtramo 0:** Donde se describe el primer subtramo del proyecto

**Firme Bituminoso:** Donde se ubica la sección del Firme

Como podemos observar, todos los iconos de los distintos elementos que componen el proyecto, muestran un símbolo de error  sobrepuesto. Esto es así porque o el elemento en sí, o alguno de los que contiene requiere realizar alguna corrección.

Además, se muestran una serie de mensajes de error en el panel inferior, indicando el tipo de mensaje, una breve descripción del error y en algunos casos, acceso a la ayuda para obtener más información acerca del error.

Tipo	Descripción	Ayuda
Error	La sección Tramo 0 - Subtramo 0 - Cimiento de Firme No es válida, el módulo equivalente del cimiento (150,00 MPa) es inferior al neces...	
Error	El PK final [PK 0+00] es menor o igual que el PK inicial [PK 0+00]	
Error	El Material ZA no es válido para capa de rodadura o su espesor [20 cm] es inferior al necesario	Ver
Error	Fallo en la capa Cimiento del Firme Cat Alta de la sección Sección. Ejes equivalentes resultantes del cálculo inferiores a los necesarios 2...	
Error	El PK final [PK 0+00] es menor o igual que el PK inicial [PK 0+00] Tramo 0	

### 3. Editar los datos del tramo


/ Pulse sobre el icono *Tramo 0* en el panel izquierdo de la aplicación




/ Introduzca los datos del punto kilométrico inicial y final, así como las observaciones necesarias.

PK Inicial: 12,0

PK Final: 24,3


Observará que al introducir datos correctos en el punto kilométrico desaparecen algunos errores del panel inferior, sin embargo, el icono Tramo 0 sigue marcado con el símbolo de error , ya que contiene elementos con errores.

### 4. Editar las solicitudes de tráfico

/ Seleccione el icono con el nombre *Solicitudes de Cálculo* del panel izquierdo. Si éste no se muestra pulse en el  botón junto al Icono Tramo 0.



Este formulario permite realizar un cálculo de los parámetros de tráfico (categoría y ejes equivalentes) a partir de los datos de aforo y características de la vía, o bien introducirlos directamente.

**Solicitudes de cálculo** 

Tráfico  
 Introducir Valores    Calcular   [Aforos de tráfico](#)

Datos de tráfico  
 Categoría de Tráfico: T2   Ejes Equivalentes: 5.000.000

Categoría del Cimiento  
 Alta    Media    Baja

Zona Térmica: ZT1      Zona Pluviométrica: ZPS  

Tramo con pendiente superior al 5% en más de 1000 m

/ Seleccione Introducir Valores

/ Seleccione la categoría del tráfico T2

/ Introduzca el número de ejes equivalentes 5.000.000

/ Seleccione como Categoría mínima del cimiento Alta.

/ Selecciones Zona térmica 1 y Zona pluviométrica seca.

/ Deje desmarcada la casilla tramo con pendiente superior al 5% en más de 1000m.

## 5. Editar los datos del subtramo

/ Seleccione el icono con el nombre *Subtramo 0*



Como únicamente hay un subtramo creado, el PK inicial y el PK final coinciden con los del tramo.

Formulario 'Datos de Subtramo' con los siguientes campos:

- PK Inicial: 0,000
- PK Final: 0,000
- Tipo de sección: Desmonte
- Observaciones: (área vacía)

/ Seleccione el tipo de sección *Desmonte*.

## 6. Editar la sección del cimiento del firme

/ Seleccione el icono con el nombre *Cimiento del Firme* del panel izquierdo.



En este formulario se modela la sección del firme. Para cada capa se introduce el material, el espesor y, en los materiales sueltos no caracterizados, el CBR. Junto al material, si la capa contiene algún error, se muestra un icono de error o de advertencia.

Formulario 'Sección de Cimiento de Firme. PK 0+00 al PK 0+00 Desmonte' con la siguiente estructura:

Plano de Ejeplanado	Material	Espesor (cm)
S2 (e=20 cm)	Suelo Seleccionado Tipo 2	20
S2 - Terreno natural subscente	Suelo Seleccionado Tipo 2	Indefinido

Sección NO Válida: Deflexión 96,04 mm/100. Mód. compresibilidad 150,00 MPa < 160,00 MPa

/ Añada una capa sobre la capa superior pulsando en el botón situado a la derecha de la misma.

/ Seleccione el material *Suelo Seccionado Tipo 3* en la capa introducida.

/ Cambie el espesor de la capa por 25 cm.

/ Pulse en el botón para introducir una nueva capa sobre la última añadida.

Al pulsar añadir se duplica la capa sobre la que pulsa el botón y se introduce sobre esta.

/ Cambie el material de la última capa por *Suelo Estabilizado in situ Tipo 3*.

Este cambio hace que la sección sea válida y no contenga errores. Esto se ve reflejado tanto en el icono del formulario (situado en la parte superior derecha), como en el árbol del proyecto.

## 7. Editar la sección de firme

/ Seleccione el icono con el nombre *Firme Bituminoso* del panel izquierdo



Este formulario es similar al de edición del cemento del firme. En él se muestran los materiales para la construcción del pavimento bituminoso.

- / Cambie el material de la última capa de *Zahorra Artificial* a *Gravacemento*.
- / Cambie el espesor de esta capa por 21 cm.
- / Pulse el botón junto a la capa superior para añadir una nueva capa.
- / Seleccione el material *Mezcla semidensa* en la capa recientemente añadida.

## 8. Obtener el informe del proyecto en formato PDF

- / Seleccione en el menú Informes la opción Proyecto
- Esta acción provoca que se muestre el visualizador de informes de ICAFIR con el informe del proyecto recientemente realizado.
- / Pulse el botón Exportar de la barra de herramientas del visualizador de informes.
- Esta acción muestra un menú con las posibles opciones de exportación.
- / Seleccione Acrobat (PDF) file.
- / En el diálogo Guardar como seleccione el destino e introduzca el nombre del archivo.
- / Cierre el diálogo informe.

## 9. Salvar el proyecto

- / Seleccione en el menú archivo la opción Guardar
- / Introduzca el nombre del proyecto y pulse el botón guardar.
- Por defecto, los archivos se guardan en la carpeta *Proyectos de ICAFIR* que se crea durante la instalación dentro de *Mis Documentos*. Esta ubicación se puede cambiar en las opciones de la aplicación.



## 3. Descripción ICAFIR

### 3.1. Ventana principal del ICAFIR

En la ventana principal de ICAFIR se distinguen las siguientes áreas:



#### Árbol de proyecto

En este panel se editan los distintos elementos que componen el proyecto abierto en la aplicación.

#### Edición de elemento

En este panel se edita el elemento activo del proyecto (elemento seleccionado en el árbol de proyecto).

#### Panel de tareas

Este panel muestra las principales acciones que podemos realizar con el elemento activo, sirviendo de guía para crear el proyecto.

#### Panel de errores

Aquí se muestran los mensajes de error, advertencia, información, etc. que se van produciendo a medida que editamos el proyecto.

### 3.2. Menú de ICAFIR

#### Menú Archivo

Este menú contiene las acciones de creación y salvaguardado de proyectos. Las opciones que contiene son:

- / **Nuevo:** crea un nuevo proyecto a través del diálogo de creación de nuevo proyecto.
- / **Abrir:** Abre un proyecto existente.
- / **Cerrar:** Cierra el proyecto activo.
- / **Guardar:** Guarda el proyecto activo. Si se utiliza esta opción sobre un proyecto nuevo, muestra el diálogo *Salvar proyecto de Icafir*, si no, simplemente actualiza el archivo con los cambios realizados.
- / **Guardar como:** Muestra el diálogo *Salvar proyecto de Icafir* para guardar el proyecto activo con un nombre distinto.

/ **Guardar como plantilla:** esta opción permite salvar el proyecto activo como una plantilla, que se mostrará en el diálogo *Plantillas* al crear un nuevo proyecto de ICAFIR.

/ **Salir:** cierra la aplicación ICAFIR.

### Menú Informes

Da acceso a los distintos informes que genera la aplicación ICAFIR:

/ **Proyecto:** abre el visualizador de informes de ICAFIR con el informe del proyecto activo que muestra todos sus datos. La presentación es en A4.

/ **Esquema de secciones:** abre el visualizador de informes de ICAFIR con el informe de secciones creadas en el proyecto de ICAFIR. Este informe se presenta en A3 y con orientación apaisada.

/ **Resultados del cálculo:** abre el visualizador de informes con los parámetros resultantes del cálculo elástico de la sección activa. Esta opción únicamente se puede realizar sobre los elementos de proyecto sección de cimiento del firme y de sección de pavimento bituminoso.

### Menú Herramientas

Contiene la entrada **Opciones...** que da acceso al diálogo de configuración de la aplicación.

### Menú Ayuda

Da acceso a las siguientes opciones:

/ **Contenidos:** abre la ayuda de ICAFIR

/ **Buscar actualizaciones:** busca en Internet nuevas actualizaciones para la aplicación.

/ **Acerca de... GTK:** muestra la información de los creadores de ICAFIR.

## 3.3. Barra principal de herramientas

**Nuevo archivo:** equivalente a la opción de menú Archivo / Nuevo...

**Abrir archivo:** equivalente a la opción de menú Archivo / Abrir...

**Guardar:** equivalente a la opción de menú Archivo / Guardar.

**Informe de proyecto:** equivalente a la opción de menú Informes / Proyecto.

**Esquema de secciones:** equivalente a la opción de menú Informes / Esquema de secciones.


**Informe de resultados de cálculo:** equivalente a la opción de menú Informes / Resultados de cálculo.

**Mostrar los errores del elemento seleccionado / Mostrar los errores de todos los elementos del proyecto:** permite alternar la visualización de todos los errores en el panel de errores o únicamente los errores correspondientes al elemento activo.



**Mostrar / Ocultar el panel de tareas:** permite alternar la visualización del panel de tareas de la aplicación.


## 3.4. Edición de proyecto


La edición del proyecto se realiza desde el árbol de proyecto. Un proyecto debe contener al menos un Tramo que a su vez, como mínimo, debe contener un subtramo.

Para añadir tramos o subtramos a un proyecto hay que seleccionar el elemento sobre el cual se desea añadir dicho tramo o subtramo. Por ejemplo: para añadir un tramo, se selecciona el nodo Proyecto del árbol de proyecto y pulsamos sobre el botón  de la barra de herramientas del panel del árbol de proyecto.

Esta acción añade al final del proyecto un nuevo tramo.

Para alterar la posición de los tramos o subtramos, se selecciona el elemento y se aplican las acciones subir  o bajar  de la barra de herramientas del árbol de proyecto.

Para eliminar un tramo o subtramo, se selecciona el elemento en el árbol de proyecto y se pulsa sobre el botón borrar  de la barra de herramientas.

También se puede duplicar el elemento activo pulsando sobre el botón duplicar  de la barra de herramientas. El elemento duplicado es situado al final de la lista.

Todas estas acciones también se pueden realizar a través del menú contextual que se obtiene al pulsar el botón derecho del ratón sobre el elemento activo.



### 3.5. Formularios de la aplicación

#### Datos de proyecto



Se accede seleccionando el elemento proyecto en el Árbol de proyecto.

Contiene datos informativos acerca del proyecto en edición, que se muestran en el informe de ICAFIR.

## Datos de Tramo

**Datos del Tramo**

PK Inicial  
0.000

PK Final  
0.000

Observaciones

En este formulario se define el punto kilométrico inicial y el punto kilométrico final del tramo seleccionado.

Si en las opciones se ha seleccionado la opción *Hacer que los PK sean correlativos*, en el caso de un tramo que no sea el inicial, al cambiar el PK inicial, se modificará con este valor el PK final del tramo anterior. Igualmente, si el tramo no es el último del proyecto y dicha opción está seleccionada, al cambiar el valor de PK Final, se modificará el PK Inicial del tramo siguiente.

## Solicitaciones de Cálculo

**Solicitaciones de cálculo**

Tráfico  
 Introduce Valores  Calcular [Aforos de tráfico](#)

Datos de tráfico  
 Categoría de Tráfico: T2 Ejes Equivalentes: 5.000.000

Categoría del Cuentro  
 Alta  Media  Baja

Zona Térmica: ZT1  Zona Pluviométrica: ZPS

Tramo con pendiente superior al 5% en más de 1000 m

En este formulario se introducen las solicitudes de cálculo para el tramo que contiene este elemento.

## Datos de tráfico

La aplicación permite dos modalidades para la introducción de datos: introducir directamente los datos de categoría de tráfico o realizar un cálculo a partir de los datos básicos de tráfico. También muestra un enlace a la página del plan de aforos. La dirección de dicha página se puede cambiar en las opciones de configuración de la aplicación.

Al seleccionar la opción *Introducir valores*, el formulario nos muestra un selector para la categoría de tráfico y una caja de texto para introducir los ejes equivalentes.

Al seleccionar la opción *Calcular*, la aplicación presenta un formulario para la introducción de datos dividido en tres pestañas:

### / Datos de tráfico

**Solicitaciones de cálculo**

Tráfico

Introducir Valores  Calcular [Ayuda de tráfico](#)

IMDpa: 548,36 Coef. de May. de cargas (y): 1,10

Cat. de Tráfico: 12 Ejes Equivalentes: 3.536.651

Tráfico | Distribución de Vehículos | Coeficiente de Equivalencia

Año de aforo	IMD	Distribución de pesados (%)
2007	2000	5

Año de redacción: 2007 Tasa de Crecimiento (%): 3

Año puesta en servicio: 2010 Tasa de Crecimiento IMD (%): 3 Coeficiente de Tráfico Inducido (%): 0

Años de vida: 20 Tasa de Crecimiento IMD (%): 3

Categoría del Cliente:  Alta  Medio  Bajo

Zona Técnica: ZT1  Zona Pluviométrica: ZPS

Tramo con pendiente superior al 5% en más de 1000 m

Contiene:

Primera línea

- / Año de aforo
- / IMD, medida dicho año.
- / Distribución de pesados (%), en el momento de medir la IMD.

Segunda línea

- / Año de redacción del proyecto.
- / Tasa de crecimiento, desde el año del aforo hasta el año de redacción del proyecto.

Tercera línea

- / Año de puesta en servicio.
- / Tasa de crecimiento IMD (%), desde el año de redacción del proyecto hasta el año de puesta en servicio.
- / Coeficiente de tráfico inducido (%). Incremento puntual de tráfico que se produce en el momento de poner en explotación la infraestructura.
- / Años de vida.
- / Tasa de Crecimiento IMD(%), durante la vida de la infraestructura.

## / Distribución de vehículos

**Solicitaciones de cálculo**

Tráfico  
 Introduce Valores  Calcular [Ayuda de tráfico](#)

IMDpa  Coef. de Mag. de cargas (γ)

Cat. de Tráfico  Ejes Equivalentes

Tráfico | **Distribución de Vehículos** | Coeficiente de Equivalencia

Distribución de Vehículos

Carreteras de dos carriles y doble sentido de circulación:

Calzada mayor de 6 m  Calzada entre 5 m y 6 m  Calzada menor de 5 m

Carreteras con más de un carril por sentido de circulación:

2 carriles por sentido  Más de 2 carriles por sentido

Otros casos:

Valor  %

Categoría del Diseño  
 Alta  Meda  Baja

Zona Térmica   Zona Pluviométrica

Tramo con pendiente superior al 5% en más de 1000 m

En esta opción se selecciona únicamente el valor de la distribución de vehículos entre las opciones posibles en función de las dimensiones de la carretera o se introduce un valor porcentual seleccionando la opción otros casos.

## / Coeficiente de equivalencia

**Solicitaciones de cálculo**

Tráfico  
 Introduce Valores  Calcular [Ayuda de tráfico](#)

IMDpa  Coef. de Mag. de cargas (γ)

Cat. de Tráfico  Ejes Equivalentes

Tráfico | Distribución de Vehículos | **Coeficiente de Equivalencia**

Coeficiente de Equivalencia

Firme con base bituminosa o granular

Firme con base tratada con cemento

Firme con pavimento de hormigón vibrado

Valor

Categoría del Diseño  
 Alta  Meda  Baja

Zona Térmica   Zona Pluviométrica

Tramo con pendiente superior al 5% en más de 1000 m

Esta opción permite seleccionar el coeficiente de equivalencia en función del firme empleado en el proyecto o introducir un valor directamente.

Al realizar cualquier cambio en los datos del formulario, se actualizan los datos calculados (IMDpa, Coeficiente de Mayoración de cargas (C), Categoría de Tráfico y Ejes equivalentes) que se muestran sobre las pestañas en el formulario.

### **Categoría del Cimiento**

En función de la categoría de tráfico introducida o calculada, nos permite escoger cual será la categoría mínima de cimiento a conseguir en las secciones de cimiento de firme del tramo seleccionado.

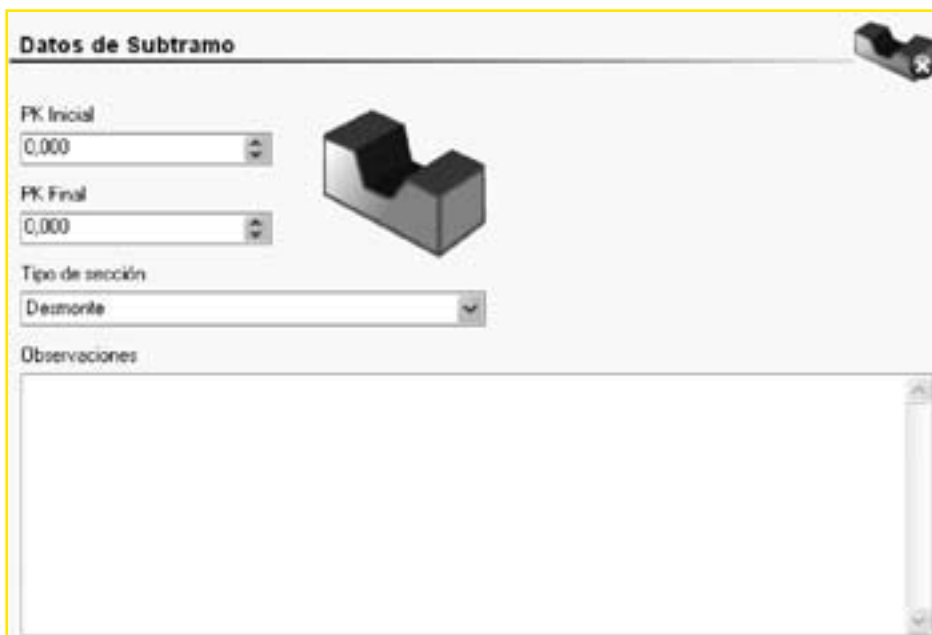
### **Zona Térmica y Zona Pluviométrica**

Permite seleccionar la zona térmica y zona pluviométrica en donde se ubica el tramo.

### **Tramo con pendiente superior al 5% en más de 1000 m**

Al seleccionar esta opción indicamos a la aplicación que tenga en cuenta esta característica al calcular el pavimento.

### **Datos del subtramo**



The screenshot shows a software interface titled "Datos de Subtramo". It contains several input fields: "PK Inicial" and "PK Final" are both set to "0,000". Below them is a dropdown menu for "Tipo de sección" with "Desmonte" selected. At the bottom is a large empty text area labeled "Observaciones". To the right of the input fields is a 3D perspective view of a road cross-section showing a central depression.

En este formulario se define el punto kilométrico inicial y el punto kilométrico final del tramo seleccionado.

También se indica el tipo de sección predominante en el subtramo, en función del tipo de sección segogido la aplicación adoptará una configuración para el modelo de la sección del subtramo:

#### **Desmonte**

Contendrá al menos una capa de asiento y una capa indefinida de terreno natural subyacente.

#### **Desmonte con saneo o mejora del terreno**

Contendrá al menos una capa de asiento, una capa de saneo o mejora del terreno de hasta 2m de espesor y una capa de terreno natural subyacente.

### Terraplén menor de 2 m

Contendrá al menos una capa de asiento, una capa de núcleo de terraplén de hasta 2m de espesor y una capa de terreno natural subyacente.

### Terraplén menor de 2 m con saneo o mejora del terreno

Contendrá al menos una capa de asiento, una capa de núcleo de terraplén de hasta 2m de espesor, una capa de saneo o mejora del terreno de hasta 2m de espesor y una capa de terreno natural subyacente.

### Terraplén mayor de 2 m

Contendrá al menos una capa de asiento y una capa de núcleo de terraplén de espesor indefinido.

### Firme existente

En este caso no se calcula la sección de cimiento del firme y se elimina el elemento del árbol de proyecto.

### Sección de cimiento de firme

Plano de Esplanada	Material	Espesor (cm)
S2 (e=20 cm)	Suelo Seleccionado Tipo 2	20
S2 - Terreno natural subyacente	Suelo Seleccionado Tipo 2	Indefinido

Sección NO Válida: Deflexión 96,04 mm/100. Mód. compresibilidad 150,00 MPa < 160,00 MPa

En este formulario se editan las distintas capas que componen la sección del cimiento del firme.

La aplicación recalcula la sección a medida que se modifican los datos de las capas, en el caso del espesor, hasta que el cuadro de texto no pierde el foco, no se realizan los cambios. Este control mostrará el fondo amarillo hasta que pierda el foco, momento en que se realiza el cálculo de la sección.

### Sección de firme de pavimento bituminoso

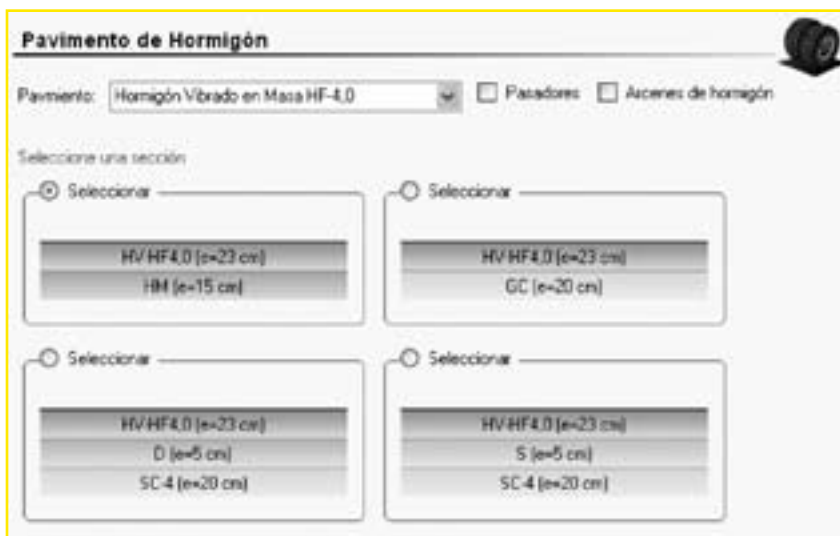
Plano de Esplanada	Material	Espesor (cm)
ZA (e=20 cm)	Zahosa Artificial	20
CFA - Cimiento del firme	Cimiento del Firme Cat. Alta	Indefinido

Hay errores de diseño, por lo que no es válido el cálculo de la sección

El funcionamiento de este formulario es igual al de edición de la sección del cimiento del firme.



### Sección de firme de pavimento de hormigón



En este formulario se selecciona el material que forma el pavimento, si las juntas contienen pasadores y si se van a fabricar arcenes de hormigón junto a la calzada. En función de estos parámetros y las solicitudes de cálculo, la aplicación propone una serie de secciones con los espesores de hormigón calculados, para que el usuario seleccione la que se va a aplicar en el tramo.

## 3.6. Opciones de configuración de la ICAFIR

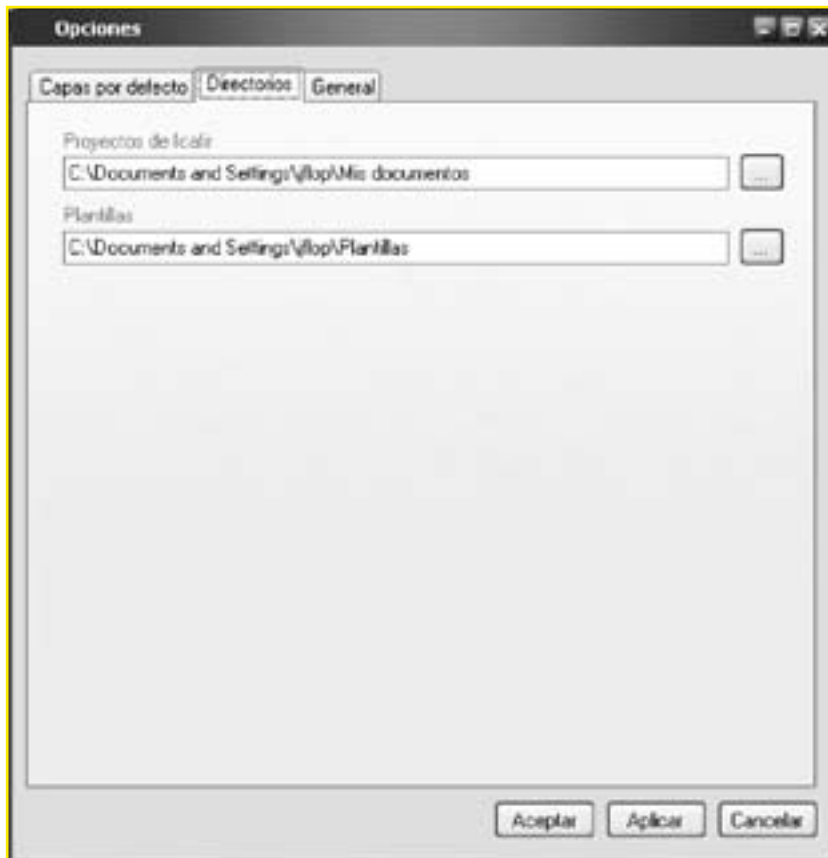
Al seleccionar en el menú herramientas la opción Opciones... accedemos al diálogo de configuración de la aplicación. Este diálogo está dividido en tres apartados:

### Capas por defecto



Aquí se definen los materiales, espesores y CBR, en el caso de que sea aplicable para el material, que adoptarán cada tipo de capa cuando se introduzca en la sección.

### Directorios



Permite seleccionar los directorios donde se almacenan por defecto los archivos de proyecto de ICAFIR y el directorio donde se encuentran las plantillas para crear nuevos proyectos de ICAFIR.

## General



Aquí se configuran diversos aspectos de la aplicación:

- / **Hacer que los PK sean correlativos.** Seleccionando esta opción, la aplicación hace que los PKs finales de tramos y subtramos coincidan con los PKs iniciales de los tramos y subtramos adyacentes.
- / **Mostrar todos los errores en el panel de errores.** Seleccionando esta opción se muestran todos los errores, advertencias, anotaciones y mensajes del proyecto en el panel de errores. Si esta opción se deja desmarcada, únicamente se mostrarán los errores del elemento activo.
- / **Mostrar observaciones en el informe y Mostrar errores y advertencias en el informe.** Estas opciones hacen que se muestren o no en el informe de proyecto las observaciones y errores.
- / **Plan de aforos.** Contiene la dirección de la página que contiene los datos de aforo.





# ANEJOS

**3///**

**DEFINICIÓN DEL  
TRÁFICO EN ZONAS  
AGRÍCOLAS**

## ÁMBITO DE APLICACIÓN

Se incluyen aquí las carreteras de baja intensidad de tráfico y con trasiego de vehículos industriales para labores agrícolas, en la mayoría de los casos, de dimensiones no normalizadas.

En general, se trata de un tráfico poco agresivo formado por vehículos pesados con cargas medias bajas, sin embargo en ciertas situaciones se puede clasificar como tráfico especial en cuyo caso, no será de aplicación lo indicado en este anejo. Este tráfico se caracteriza también por su estacionalidad, de acuerdo con los cultivos y épocas de recolección y siembra, siendo de menor intensidad en áreas alejadas de los centros de mayor actividad (núcleos urbanos, centros de entrega y recepción de productos, etc.), y de mayor intensidad en las cercanas. En este mismo anejo se proporcionan datos de producciones y rendimientos agrarios que podrán usarse en ausencia de otros más específicos de la zona.

## ESTIMACIÓN DE LA IMDP

Para la estimación de la intensidad de tráfico en este tipo de zonas se podrán realizar estudios específicos analizando el tráfico en carreteras de características similares a la que se vaya a proyectar. Este análisis se debe realizar entre las 6 y las 22 horas de los días que registren mayor intensidad de tráfico (generalmente durante la recolección de los productos).

En carreteras concretas de una explotación determinada. Conviene estudiar todas las variables que influyen en el tráfico, es decir:

- / Extensión de la zona (ha)
- / Intensidad de utilización de la tierra
- / Producción bruta anual (t)
- / Número de explotaciones servidas por la carretera
- / Materias primas a emplear en las explotaciones
- / Transporte de material mecánico (tractores, etc.)
- / Servicios agrotécnicos exteriores
- / Tránsito de otros vehículos
- / Tráfico inducido.

En cualquier caso es conveniente tener en cuenta una serie de características típicas del tráfico agrícola, como son:

- / Variación a lo largo del año reflejo de los ciclos de producción.
- / Intensidad de tráfico inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al centro de atracción.
- / Variación transversal del tráfico. En carriles de doble circulación habrá más deterioro en el sentido de vuelta, con los vehículos cargados.

En ausencia de otros datos, para la determinación de la Intensidad Media Diaria de vehículos pesados en toda la calzada (IMDP), se puede usar la siguiente fórmula empírica<sup>1</sup>:

$$IMD_p = Q.S.\eta^{0.5}.\xi / 500 \quad [3.3]$$

Siendo,

Q: Producción anual bruta en la zona (t/ha)

S: Superficie total servida (ha)

$\eta$ : Número de explotaciones diferentes servidas

IMDP: Número de vehículos pesados en toda la calzada durante el año de producción Q.

$\xi$ : Coeficiente obtenido de la tabla A3.1.

**Tabla A3.1. Valor del coeficiente  $\xi$**

Características de la carretera	$\xi$
Carretera de cola o terminal cuyo final no enlaza con otra carretera	1
Carreteras que enlazan otras dos entre sí	1,3
Carreteras que enlazan con un núcleo de población	1,5

## COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA PARA TRÁFICOS LIGEROS

Si no se dispone de datos para la obtención del coeficiente de equivalencia, en aquellas situaciones con tráfico poco agresivo se pueden aplicar los factores correctores indicados en la tabla A3.2, sobre los valores definidos por defecto para tráfico pesado. Se considera que el tráfico poco agresivo es aquel formado por los vehículos agrícolas con las características descritas anteriormente.

**Tabla A3.2. Coeficientes de equivalencia para tráfico ligero**

% Estimado de tráfico pesado sobre tráfico poco agresivo	Corrección de CE
> 30 %	CE
20-30 %	0,80 x CE
10-20 %	0,60 x CE
0- 10 %	0,40 x CE

1. HERAS, RAFAEL. Manual de Ingeniería de regadíos. MINISTERIO DE FOMENTO. Dirección General de Obras Hidráulicas. Madrid, 1981.

## PRODUCCIONES MEDIAS ANUALES AGRARIAS EN ANDALUCÍA

A continuación se presentan algunas de las producciones medias anuales agrarias en Andalucía para el cálculo de la Intensidad Media Diaria en carreteras de zonas agrícolas. Estos datos se podrán usar a falta de otros más precisos de la zona en cuestión, teniendo en cuenta que se trata de valores medios estimados.

### Producciones medias de los principales cultivos de andalucía

CULTIVOS	PRODUCCIÓN MEDIA(KG/HA)	CULTIVOS	PRODUCCIÓN MEDIA(KG/HA)	CULTIVOS	PRODUCCIÓN MEDIA(KG/HA)
Acelga	60.000	Col-repollo	2.500	Olivo en regadío	almanzara 5.000
Aguacate	8.000	Chirimoyo	18.000	Olivo en secano	almanzara 3.000
Ajo en regadío	25.000	Espárrago blanco	Año 2: 1.500 Años 3-9: 9.500	Olivo por goteo	verdeo 8.000
Ajo en secano	6.000	Espárrago verde	Año 2: 1.000 Años 3-9: 6.500	Palmera datilera	palma 6.000 dátil 20.000
Albaricoque	28.000	Espinaca	15.000	Pepino	45.000
Algodón Regadío al aire libre	3.200	Fresa y fresón	40.000	Pimiento	bola 6.200 plaza 32.000
Algodón Regadío bajo plástico	3.800	Garbanzo	550 paja 550	Remolacha azucarera en regadío	45.000
Algodón.en secano	950	Girasol regadío	2.300	Remolacha azucarera riego por aspersión	60.000
Almendro en regadío	2.400	Girasol secano	750	Remolacha azucarera secano	35.000
Almendro en secano	1.200	Granado	15.000	Remolacha de mesa	35.000
Altramuz	1.700	Haba seca	2.000	Sandía regadío	25.000
Arroz	7.000	Haba para verdeo	15.000	Sandía secano	9.000
Avena	grano 1.500 paja 1.500	Higuera	brevas: 8.000 higos: 18.000	Soja	3.500
Batata, boniato	45.000	Judía seca	alubias: 2.100 paja: 3.500	Sorgo para forraje	40.000
Berenjena	25.000	Judía verde	20.000	Sorgo para grano	6.000
Cacahuete	2.500	Lechuga	35.000	Tabaco	4.300
Calabacín	40.000	Limonero	30.000	Tomate ind.	50.000
Cártamo	1.200	Maíz para grano	11.000	Tomate plaza	80.000
Cebada	grano 2.000 paja 3.000	Mandarino	10.000 15.000	Trigo regadío	grano 4.500 paja 5.000
Cebolla	60.000	Melocotonero	18.000	Trigo secano	grano 2.500 paja 3.500
Cebollino	80.000	Melón secano	6.500	Veza	heno 3.600 grano 900
Centeno	grano 1.500 paja 1.700	Membrillero	30.000	Vid. uva mesa	14.000
Ciruelo	28.000	Naranja	35.000	Zanahoria	60.000
Coliflor	12.000	Níspero	20.000		





# ANEJOS

**4///**

**CÁLCULO DEL  
COEFICIENTE DE  
EQUIVALENCIA**

El Coeficiente de equivalencia representa el daño relativo que un vehículo pesado medio produce sobre el firme con respecto a un eje tipo definido, en esta Instrucción el eje simple de 13 t con rueda gemela.

En esta Instrucción se adoptan unos valores medios del coeficiente de equivalencia en función del tipo de firme proyectado: 0,6 para firmes con pavimento bituminoso y, en su caso, base granular, 0,8 para firmes con bases tratadas con cemento y 1 para firmes con pavimento de hormigón. Cuando se estime que el valor del coeficiente de equivalencia es sensiblemente superior o inferior al valor medio, se podrá calcular el valor real del mismo si se dispone de datos acerca de la distribución de ejes por intervalos de carga obtenidos, por ejemplo, en campañas de pesaje.

El cálculo de CE se realizará con la expresión recomendada por la OCDE para el cálculo del daño relativo producido al firme por una carga P con respecto a otra de referencia Po:

$$\text{Daño relativo} = \{ k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot (P/Po) \}^\alpha \quad [A4.1]$$

Donde, Po, es el eje tipo de referencia que será el eje simple de 13 t con rueda gemela, y P es la magnitud del eje pesado. Los coeficientes k<sub>1</sub>, k<sub>2</sub>, k<sub>3</sub> y α tomarán los valores indicados en la tabla A4.1. En el anejo 5 se incluye un ejemplo del cálculo del coeficiente CE.

**Tabla A4.1. Valores de los coeficientes k<sub>1</sub>, k<sub>2</sub>, k<sub>3</sub> y α.**

Coeficiente	Tipo	Valor
α	Firme flexible	4
	Firme semirrígido	8
	Firme rígido	12
k <sub>1</sub>	Eje simple	1,0
	Eje doble	0,6
	Eje triple	0,45
k <sub>2</sub>	Ruedas gemelas normales	1,0
	Ruedas simples normales	1,3
	Ruedas simples de base ancha	1,2
k <sub>3</sub>	Suspensión tradicional	1,0
	Suspensión de aire o similar	0,95



# ANEJOS

**5///**

**EJEMPLO DE  
CÁLCULO DEL  
TRÁFICO DE  
PROYECTO**

El objeto de este anejo es la resolución de un ejemplo práctico de cálculo del tráfico de proyecto de un tramo de carretera según el procedimiento expuesto en el capítulo 3 de la Instrucción.

## DATOS DE PROYECTO

Se desea calcular el tráfico de proyecto de un tramo de carretera que discurre en una zona de orografía ondulada, en la cual se realizaron, en el año 2000, aforos de tráfico mediante el sistema de pesaje con básculas dinámicas portátiles. El tramo es de calzada única, dos carriles y doble sentido de circulación. El carril es de 3,5 m y los arce-nes de 1 m. Se tomará como período de proyecto de 20 años. Supóngase que el año de redacción del proyecto es 2002.

La información obtenida a partir de los aforos del año 2000 es la siguiente:

/ ESTACIÓN 14	
/ POBLACIÓN XXX	
/ CARRETERA AB, P.K. (Campaña Enero/00)	
/ Volumen de tráfico diario en la carretera:	580 vehículos.
/ Porcentaje de vehículos pesados en la carretera:	35 %.
/ Distribución de vehículos pesados por carril:	
/ Carril 1, sentido A:	50 %.
/ Carril 2, sentido B:	50 %.
/ Análisis de las siluetas de los veh. pesados:	
/ Ejes simples pesados:	505 ejes.
/ Ejes dobles pesados:	103 ejes.
/ Ejes triples pesados:	67 ejes.
/ Espectros de distribución de ejes por intervalos de carga (figuras. 5.1 y 5.2).	

## RESOLUCIÓN DEL SUPUESTO

Según se establece en el apartado 3.1 el Tráfico equivalente de proyecto (TP) se debe definir mediante el par de valores dado por el número de ejes equivalentes acumulados durante el período de proyecto y la categoría de tráfico pesado. El TP viene dado por la siguiente expresión:

$$TP = IMD_{PA} \times CE \times 365 \times F \times \gamma_t$$

$IMD_{PA}$ : Intensidad Media Diaria de vehículos pesados en el carril de proyecto en el año de apertura al tráfico.

CE: Coeficiente de equivalencia de los vehículos pesados en número de aplicaciones del eje equivalente de 13 t.

F: Factor de crecimiento del tráfico de vehículos pesados.

$\gamma_i$ : Coeficiente de seguridad por mayoración de cargas.

Para la resolución de este ejemplo se calcularán los valores de los distintos parámetros que determinan el valor final del tráfico de proyecto. El coeficiente de seguridad,  $g_s$ , se elegirá en función de la categoría del tráfico de proyecto.

## CÁLCULO DEL VALOR DE $IMD_{PA}$

Para calcular la  $IMD_{PA}$  se deben seguir varios pasos actualizando los valores de la IMD desde la fecha de realización del estudio específico hasta la de puesta en servicio del tramo (tabla A5.1).

**Tabla A5.1. Resumen de IMD y fechas**

Símbolo	Descripción fecha	Año
IMD	Año de aforo	2000
$IMD_p$	Año de aforo	2000
$IMD_{PB}$	Año de redacción del proyecto	2002
$IMD_{PA}$	Año de apertura al tráfico	2005

IMD: Intensidad Media Diaria de vehículos del tramo considerado en el año de realización del aforo (2000). El volumen diario de vehículos obtenido del aforo se corrige a partir de los datos de la estación permanente de control hallando finalmente el valor estimado de la IMD. De la estación permanente se han obtenido los siguientes datos:

$$S = 0,981$$

$$IMD = 922$$

$$IMD \text{ (Enero)} = 602$$

Por tanto,

$$IMD (2000) = 580 \cdot 0,981 \cdot (922/602) = 871 \text{ vehs.}$$

VP: Porcentaje de vehículos pesados, respecto al número total de vehículos. En el presente caso,  $VP=0,35$ .

VPC: Porcentaje de vehículos pesados en el carril de proyecto, respecto al número total de vehículos pesados en la calzada. En el presente caso,  $VPC = 0,50$ .

$IMD_p$ : Intensidad Media Diaria de vehículos pesados en el carril de proyecto del tramo considerado en el año de realización del aforo (1996).

$$IMD_p(2000) = VP \cdot VPC \cdot IMD(2000) = 0,35 \times 0,50 \times 871 = 152$$

$IMD_{PB}$ : Intensidad Media Diaria de vehículos pesados en el carril de proyecto del tramo considerado en el año de redacción del proyecto (2002).

En éste caso, los aforos se han realizado en 2000 y el proyecto se redacta en 2002. A falta de otros datos se puede suponer que la tasa de crecimiento del tráfico de vehículos pesados durante éstos dos años es del 4%, es decir,

$$IMD_{PB}(2002) = IMD_p(2000) \cdot (1 + 0,04)^2 = 152 \times 1,0816 = 165$$

$IMD_{PA}$ : Intensidad Media Diaria de vehículos pesados en el carril de proyecto considerado, en el año de apertura al tráfico. Como no se dan datos acerca de la fecha de puesta en servicio del tramo, según la Instrucción se podrá suponer que transcurren 3 años desde la redacción del proyecto. Suponiendo una tasa anual de crecimiento del tráfico de vehículos pesados constante del 4%, el valor de  $IMD_{PA}$  se puede hallar aplicando la siguiente fórmula:

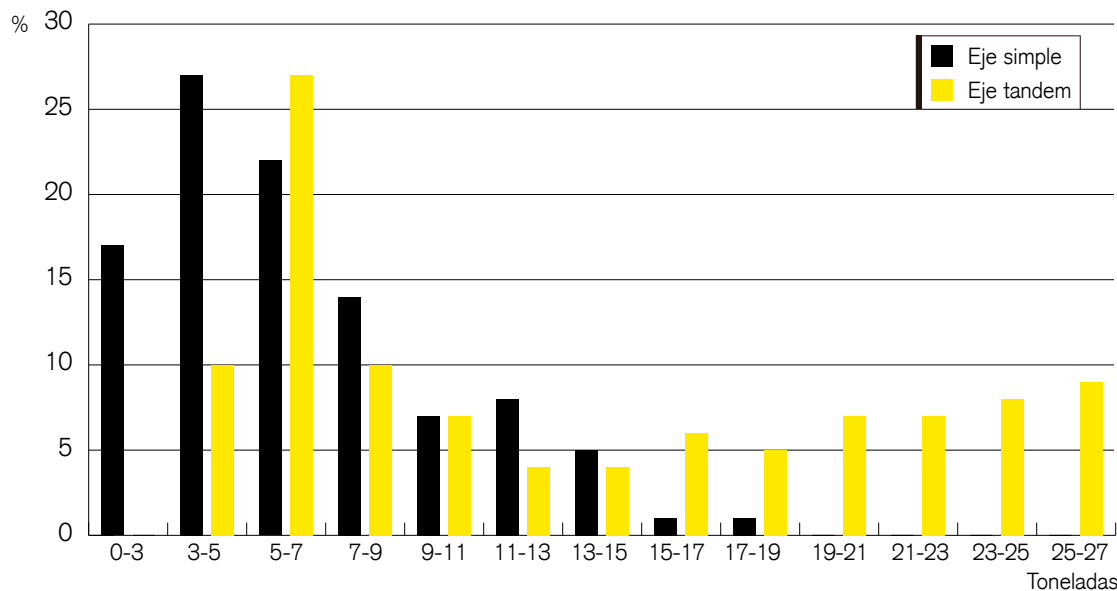
$$IMD_{PA}(2005) = IMD_{PB}(2002) \cdot (1 + 0,04)^3 = 165 \times 1,12 = 185$$

De acuerdo con la tabla 3.1 de la Instrucción la categoría del tráfico pesado será función de la  $IMD_{PA}$  y en este caso adoptará la categoría T3A ( $100 < 185 < 200$ ).

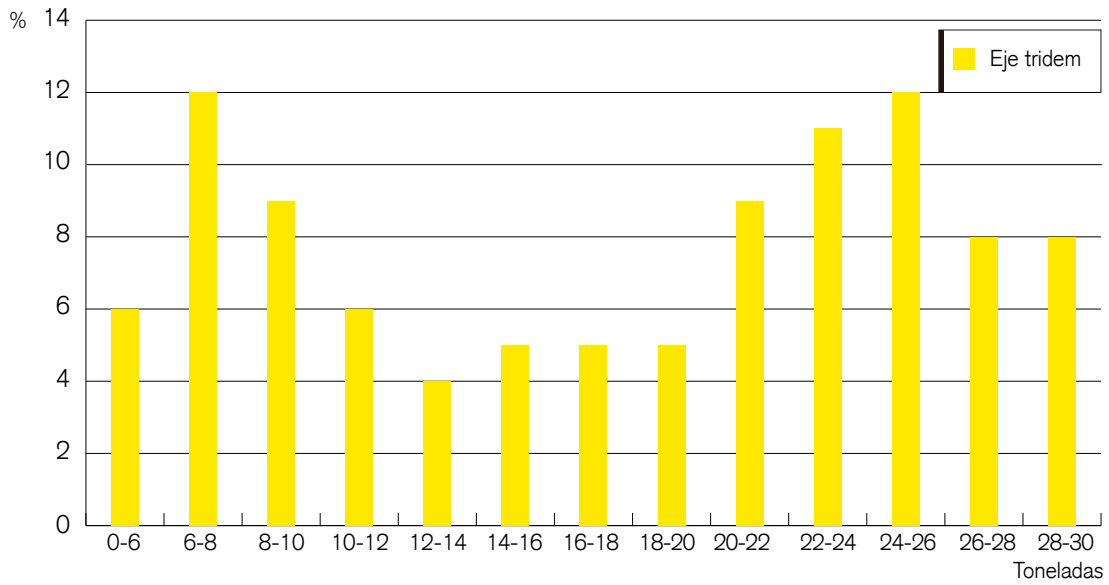
## CÁLCULO DEL VALOR DE CE

En este caso, al disponer de datos de campañas de pesaje, el valor del coeficiente de equivalencia de vehículos pesados en número de aplicaciones del eje tipo de 13 t se obtendrá de la distribución de cargas por eje.

**Figura A5.1. Distribución de ejes por intervalos de cargas (simple/doble)**



**Figura A5.2. Distribución de ejes por intervalos de carga (Triple)**



A partir de los espectros de distribución de ejes por intervalos de carga (figuras. A5.1 y A5.2), se construye la tabla A5.2. Conociendo ya la distribución de los diferentes valores de carga sobre el total de ejes, hay que establecer esa distribución sobre el total de vehículos. Para ello basta con aplicar a la tabla A5.2 el número de ejes de cada tipo que se consideran sobre 100 vehículos pesados (tabla A5.3). Es decir, según los datos se tendrá:

Intensidad Media Diaria de vehículos pesados en la carretera en el año del aforo:

$$871 \text{ veh.} \times 0,35 = 305 \text{ vehs. pesados.}$$

Luego:

$$505/305 = 166 \text{ ejes simples por cada } 100 \text{ vehs. pesados}$$

$$103/305 = 34 \text{ ejes tándem por cada } 100 \text{ vehs. pesados}$$

$$67 / 305 = 22 \text{ ejes tridem por cada } 100 \text{ vehs. pesados}$$

**Tabla A5.2. Distribución media de cargas por tipo de eje**

Distribución porcentual				
Carga por eje (T)	Eje simple	Eje doble	Carga por eje (T)	Eje triple
A	B	C	D	E
0-3	18	0	0-6	6
3-5	27	10	6-8	12
5-7	21	27	8-10	9
7-9	14	10	10-12	6
9-11	6	6	12-14	4
11-13	7	4	14-16	5
13-15	5	4	16-18	5
15-17	1	6	18-20	5
17-19	1	5	20-22	9
19-21	0	6	22-24	11
21-23	0	6	24-26	12
23-25	0	7	26-28	8
25-27	0	9	28-30	8
Suma	100	100	Suma	100

**Tabla A5.3. Distribución de cargas por eje en 100 vehículos pesados**

N° de ejes por 100 vehículos pesados				
Carga por eje (t)	eje simple	eje doble	carga por eje (t)	eje triple
A	$F=166*B/100$	$G=34*C/100$	D	$H=22*E/100$
0-3	29,88	0,00	0-6	1,32
3-5	44,82	3,40	6-8	2,64
5-7	34,86	9,18	8-10	1,98
7-9	23,24	3,40	10-12	1,32
9-11	9,96	2,04	12-14	0,88
11-13	11,62	1,36	14-16	1,10
13-15	8,30	1,36	16-18	1,10
15-17	1,66	2,04	18-20	1,10
17-19	1,66	1,70	20-22	1,98
19-21	0,00	2,04	22-24	2,42
21-23	0,00	2,04	24-26	2,64
23-25	0,00	2,38	26-28	1,76
25-27	0,00	3,06	28-30	1,76
<b>Suma</b>	<b>166</b>	<b>34</b>	<b>Suma</b>	<b>22</b>

La aplicación al ejemplo planteado se recoge en las tablas A5.4 y A5.5. En la parte superior de cada columna se muestran mediante expresiones alfanuméricas las operaciones realizadas. Para el cálculo de los coeficientes de equivalencia se han utilizado los valores medios de las cargas por eje en cada intervalo. Entonces, de acuerdo con estas tablas, el paso de un vehículo pesado equivale como media al paso del número de ejes de 13 t. que se indica a continuación para cada hipótesis:



Firme flexible:  $CE = (38,32 + 15,57 + 6,65) / 100 = 0,60$

Firme semirrígido:  $CE = (54,08 + 22,56 + 4,28) / 100 = 0,81$

**Tabla A5.4. Equivalencia en ejes simples de 13 t para firme flexible ( $\alpha=4$ )**

Carga por eje (T)	EJE SIMPLE (Neumático doble normal; suspensión tradicional)		EJES DOBLE (Neumático doble normal; suspensión tradicional)		Carga por eje (T)	EJES TRIPLE (Neumático doble normal; suspensión tradicional)	
	Coef. de equivalencia $(p/13)^{\alpha}$	Nº de ejes equivalentes de 13 t.	Coef. de equivalencia $\{0,6.(P/13)\}^{\alpha}$	Nº de ejes equivalentes de 13 t.		Coef. de equivalencia $\{0,45.(P/13)\}^{\alpha}$	Nº de ejes equivalentes de 13 t.
A	I	I.F	J	J.G	D	K	K.H
0-3	0,000177252	0,005296296	2,29719E-05	0	0-6	0,000116295	0,00015351
3-5	0,008963272	0,401733833	0,00116164	0,003949576	6-8	0,003447218	0,009100657
5-7	0,045376562	1,581826967	0,005880802	0,053985767	8-10	0,009419908	0,018651419
7-9	0,143412346	3,33290291	0,01858624	0,063193216	10-12	0,02102071	0,027747338
9-11	0,350127797	3,487272855	0,045376562	0,092568187	12-14	0,04100625	0,0360855
11-13	0,726024999	8,43641049	0,09409284	0,127966262	14-16	0,072684479	0,079952927
13-15	1,345050944	11,16392283	0,174318602	0,237073299	16-18	0,119914674	0,131906141
15-17	2,294597528	3,809031897	0,29737984	0,606654873	18-20	0,187107437	0,205818181
17-19	3,675501558	6,101332586	0,476345002	0,809786503	20-22	0,279224695	0,552864896
19-21	5,602044746	0	0,726024999	1,481090998	22-24	0,4017797	0,972306874
21-23	8,201953713	0	1,062973201	2,16846533	24-26	0,56083703	1,480609758
23-25	11,61639999	0	1,505485438	3,583055343	26-28	0,763012587	1,342902154
25-27	16	0	2,0736	6,345216	28-30	1,015473601	1,787233537
<b>Suma</b>		<b>38,32</b>		<b>15,57</b>			<b>6,65</b>

**Tabla A5.5. Equivalencia en ejes simples de 13 t para firme semirrígidos ( $\alpha=8$ )**

Carga por eje (T)	EJE SIMPLE (Neumático doble normal; suspensión tradicional)		EJES DOBLE (Neumático doble normal; suspensión tradicional)		Carga por eje (T)	EJES TRIPLE (Neumático doble normal; suspensión tradicional)	
	Coef. de equivalencia $(p/13)^{\alpha}$	Nº de ejes equivalentes de 13 t.	Coef. de equivalencia $\{0,6.(P/13)\}^{\alpha}$	Nº de ejes equivalentes de 13 t.		Coef. de equivalencia $\{0,45.(P/13)\}^{\alpha}$	Nº de ejes equivalentes de 13 t.
A	I	I.F	J	J.G	D	K	K.H
0-3	3,14183E-08	9,3878E-07	5,27707E-10	0	0-6	1,35246E-08	1,78524E-08
3-5	8,03402E-05	0,003600849	1,34941E-06	4,58799E-06	6-8	1,18833E-05	3,1372E-05
5-7	0,002059032	0,07177787	3,45838E-05	0,00031748	8-10	8,87347E-05	0,000175695
7-9	0,020567101	0,477979424	0,000345448	0,001174524	10-12	0,00044187	0,000583269
9-11	0,122589474	1,220991161	0,002059032	0,004200426	12-14	0,001681513	0,001479731
11-13	0,527112299	6,125044918	0,008853463	0,012040709	14-16	0,005283033	0,005811337
13-15	1,809162041	15,01604494	0,030386975	0,041326286	16-18	0,014379529	0,015817482
15-17	5,265177816	8,740195175	0,088434769	0,180406929	18-20	0,035009193	0,038510112
17-19	13,5093117	22,42545743	0,226904561	0,385737753	20-22	0,07796643	0,154373532
19-21	31,38290534	0	0,527112299	1,075309091	22-24	0,161426927	0,390653164
21-23	67,27204471	0	1,129912027	2,305020534	24-26	0,314538174	0,830380779
23-25	134,9407486	0	2,266486405	5,394237643	26-28	0,582188208	1,024651247
25-27	256	0	4,29981696	13,1574399	28-30	1,031186633	1,814888475
<b>Suma</b>		<b>54,08</b>		<b>22,56</b>			<b>4,28</b>

## CÁLCULO DEL VALOR DE F

El valor del factor de crecimiento del tráfico será función de la tasa de crecimiento de vehículos pesados estimada para el período de proyecto. Además, se deberán tener en cuenta las limitaciones impuestas por la capacidad de la sección estudiada.

### Tasa anual de crecimiento constante

Si se estima una tasa de crecimiento del tráfico de vehículos pesados constante, el factor de crecimiento se puede obtener de la siguiente expresión:

$$F = [(1+r)^n - 1]/r$$

r: Tasa de crecimiento anual del tráfico de vehículos pesados (en tanto por uno).

n: Período de proyecto (en años).

Por ejemplo (CASO 1), para un período de proyecto de 20 años, y una tasa estimada de crecimiento del 4 % anual se obtiene un valor del factor de crecimiento:  $F = 29,78$ .

### Tasa anual de crecimiento variable

En caso de que se considere conveniente la variación de la tasa de crecimiento a lo largo del período de proyecto, el caso más general tendrá la forma siguiente:

.  $n_1$  primeros años con tasa de crecimiento  $r_1$ .

.  $n_2$  primeros años con tasa de crecimiento  $r_2$ .

.  $n_m$  primeros años con tasa de crecimiento  $r_m$ .

$$\sum_{i=1}^m n_i = n \text{ (Período de proyecto)}$$

El factor de crecimiento se definirá como,

$$FC = C_1 + t_{C1} \cdot C_2 + t_{C1} \cdot t_{C2} \cdot C_3 + \dots + t_{C1} \cdot t_{C2} \cdot \dots \cdot t_{Cm-1} \cdot C_m$$

Donde,

$C_i$  Factor de acumulación de tráfico en cada período.

$$C_i = (1+r_i)^{n_i} - 1 / r_i$$

$t_{Ci}$  Tráfico al final de cada período.

$$t_{Ci} = (1+r_i)^{n_i}$$

Los valores  $C_i$  y  $t_{ci}$  pueden obtenerse de los ábacos que aparecen en la figura A5.3, introduciendo la tasa anual de crecimiento y los años durante la cual ésta permanece constante.

A continuación se realiza un ejemplo numérico en el que la tasa de crecimiento anual no permanece constante a lo largo del período de proyecto (CASO 2), y se reparte de la siguiente manera:

- / Durante los 5 ( $n_1$ ) primeros años será del 8 % ( $r_1$ ).
- / Durante los 4 ( $n_2$ ) siguientes años será del 4 % ( $r_2$ ).
- / Durante los 11 ( $n_3$ ) últimos años será del 2 % ( $r_3$ ).

Entonces, a partir de los ábacos mencionados se obtendrán los siguientes valores,

$C_1$	8% en 5 años: 5,9	$t_{c1}$	8 % en 5 años: 1,47
$C_2$	4% en 4 años: 4,3	$t_{c2}$	4 % en 4 años: 1,17
$C_3$	2% en 11 años: 12,1		

y por consiguiente, el valor del factor de crecimiento será,

$$F = 5,9 + (1,47 \times 4,3) + (1,47 \times 1,17 \times 12,1) = 33,03$$

## LIMITACIÓN POR CAPACIDAD DE LA SECCIÓN

El crecimiento teórico de las IMD de vehículos pesados debe corregirse en función de la capacidad del tramo de carretera proyectado. De otra manera podría darse la paradoja de que a partir de cierto año la IMD estimada para la carretera fuera mayor que su propia capacidad.

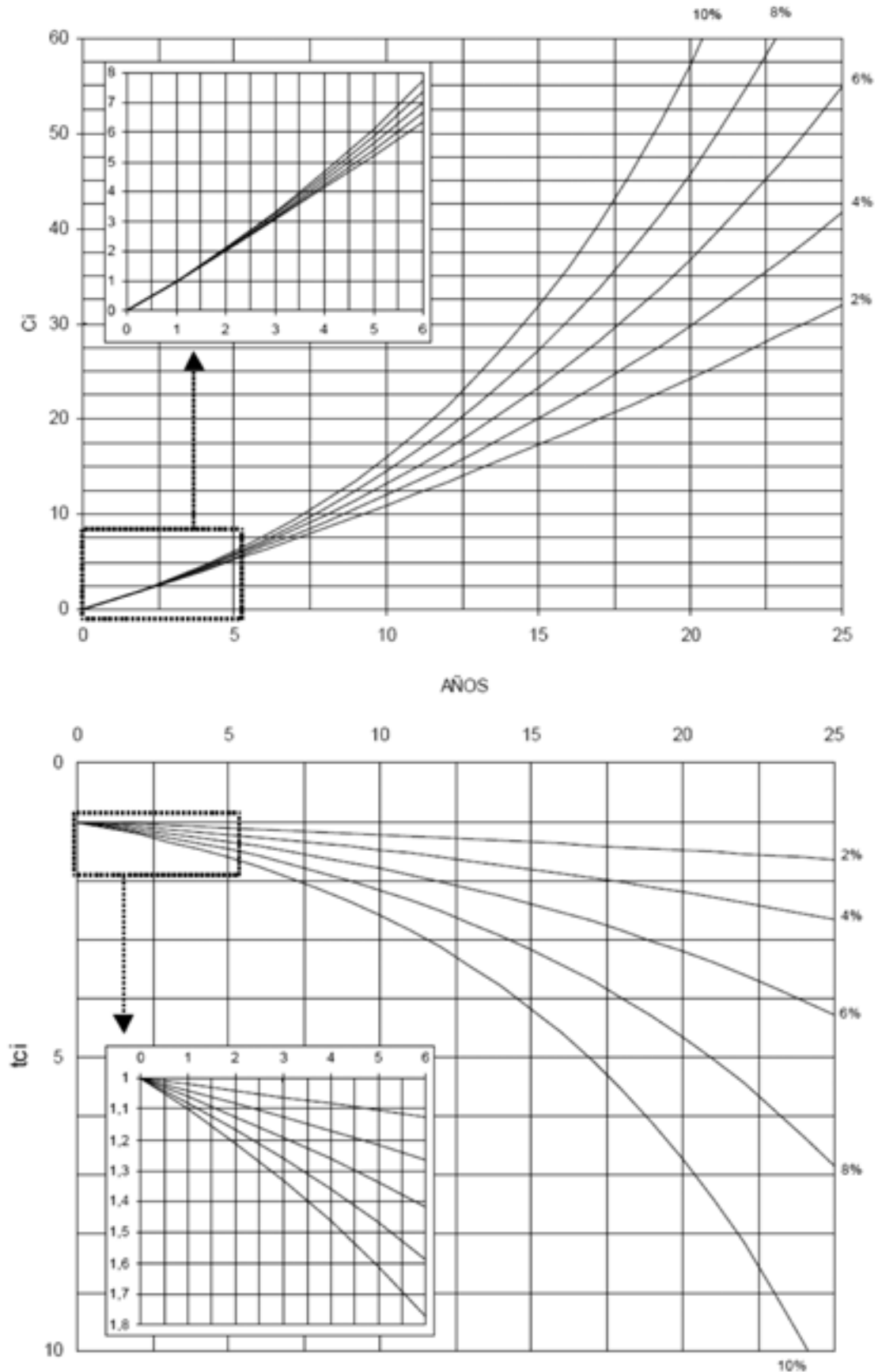
La capacidad de la sección (calzada de 7 m y arcén de 1 m sobre terreno ondulado), en términos de IMD de pesados, se obtiene de la tabla 3.4 de la Instrucción:

Capacidad (tabla 3.4) = 4.000 vehículos pesados en toda la calzada.

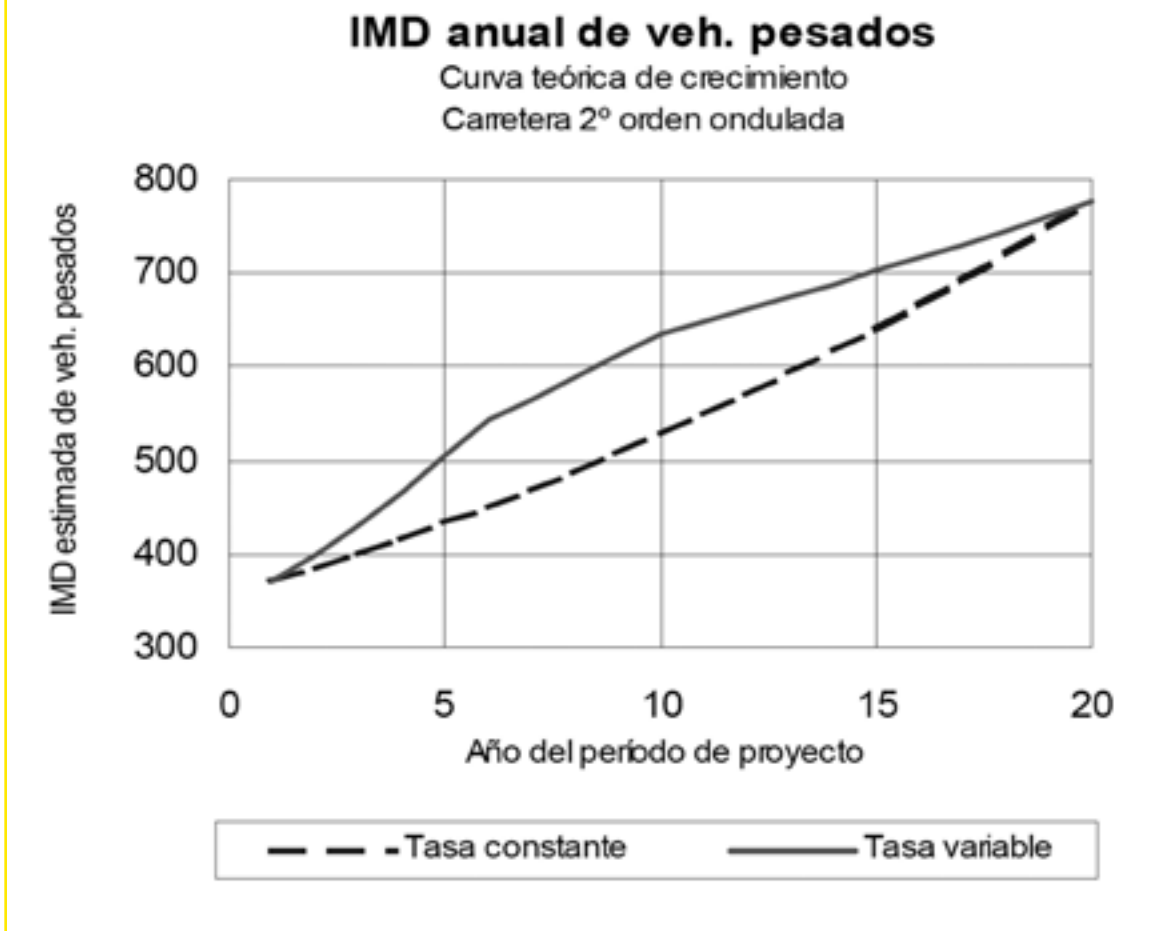
Por tanto, salvo que se prevean ensanches de la sección geométrica la IMD anual de vehículos pesados en la calzada no podrá superar en ninguno de los años del período de proyecto el valor de la capacidad de la sección; cuando según las estimaciones realizadas se llegase a ese valor, a partir de ese año la IMD dejaría de crecer y tomaría el valor constante dado por la capacidad de la sección. Como consecuencia de esto el valor del factor de crecimiento de pesados en ese caso debería de reajustarse.

Según se muestra en la figura A5.4, la IMD de vehículos pesados en la calzada no alcanza el valor de la capacidad de la sección (4.000 vehículos pesados), con lo cual los valores obtenidos para el factor de crecimiento son válidos ( $F=29,78$  para tasa constante y  $F=33,03$  para tasa variable).

Figura A5.3. Ábacos para el cálculo del factor de crecimiento con tasa variable



**Figura A5.4. Crecimiento estimado del tráfico de vehículos pesados en el período de proyecto**



## TRÁFICO EQUIVALENTE DE PROYECTO (TP)

El tráfico de proyecto vendrá definido por el par de valores dado por el número de ejes equivalentes acumulados y por la categoría del tráfico de proyecto. El número de ejes equivalentes acumulados, considerando una tasa de crecimiento del tráfico pesado constante tanto para firme flexible como semirrígido, serán:

/ TP (f.flexible) =  $185 \times 0,60 \times 365 \times 29,78 \times 1,10 = 1.327.191$  ejes equivalentes de 13 t.

/ TP (f.semirrígido) =  $185 \times 0,81 \times 365 \times 29,78 \times 1,10 = 1.791.707$  ejes equivalentes de 13 t.





# ANEJOS

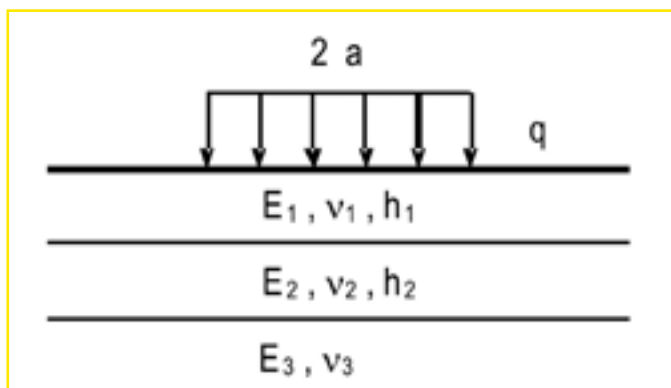
**6///**

**MODELO DE  
RESPUESTA  
ELÁSTICO  
MULTICAPA**

## MODELO ELÁSTICO MULTICAPA

Para el cálculo, tanto del cimiento como de la estructura de firmes con pavimento bituminoso, se utiliza el modelo de respuesta elástico multicapa desarrollado por Burmister que permite obtener la respuesta en tensiones y deformaciones en las capas del firme o de su cimiento, sometidas a las solicitaciones fijadas. El modelo se basa en las siguientes hipótesis:

- / El firme y, en su caso, las capas de asiento están formados por capas horizontales, paralelas entre sí, de espesor constante, indefinidas en su plano, y apoyadas en un macizo semiinfinito homogéneo.
- / Cada capa y el macizo semiinfinito son un medio elástico lineal, homogéneo, isótropo y contínuo. Se caracterizan mecánicamente por su módulo de Young  $E$ , y su coeficiente de Poisson  $n$ .
- / Existe un apoyo continuo entre capas con adherencia total, parcial o nula.
- / Las fuerzas de inercia y los efectos térmicos son despreciables. Las solicitaciones térmicas no se tienen en cuenta por sí mismas sino únicamente al fijar el módulo de Young de los materiales tratados con ligantes bituminosos.
- / Las deformaciones del sistema son suficientemente pequeñas como para no alterar las hipótesis anteriores.



- / Los esfuerzos cortantes son despreciables en el contacto rueda-pavimento.
- / No se considera el peso propio del firme.

## Caracterización de materiales

Para todos los materiales constituyentes del firme y del cimiento se supone un comportamiento elástico lineal. Por tanto, para definir la relación tensión-deformación del material, sólo serán necesarios dos parámetros:

- / Módulo de Young,  $E$ , y
- / Coeficiente de Poisson,  $n$ .

## Adherencia entre capas

En los cálculos se considerará que las capas están totalmente adheridas o con adherencia parcial. Los resultados con adherencia parcial serán la media de los obtenidos con adherencia total y sin adherencia. La adherencia entre capas se considerará completa salvo entre dos capas tratadas con conglomerantes hidráulicos, que se considerará parcial. La adherencia de la capa inferior del firme y la superior de asiento se considerará total en todos los casos.





# ANEJOS

**7///**

**TRATAMIENTO  
DE SUELOS CON  
ALTA PLASTICIDAD**

En esta Instrucción se considerarán suelos de alta plasticidad aquellos cuyos valores del índice de plasticidad (IP) sean superiores a 18.

Con independencia del cálculo del cimiento de firme y del firme propiamente dicho, en terrenos naturales subyacentes arcillosos con CBR menor de 3 e Índice de Plasticidad mayor de 18, se hará un estudio especial sobre la deformabilidad y expansividad de estos suelos, así como su efecto sobre la carretera.

En desmontes y terraplenes de poca altura sobre este tipo de terrenos se suelen producir deformaciones importantes, con abombamientos y agrietamientos, que evolucionan con los ciclos de sequedad y humedad, y que de aparecer, obliga a la reconstrucción de la carretera con importantes implicaciones económicas y sociales.

Asimismo, en este tipo de terrenos usados como cimiento de terraplenes se producen con cierta frecuencia asentamientos y deslizamientos.

## SANEO DE FONDOS DE DESMONTE Y TERRAPLENES DE MENOS DE 2 METROS

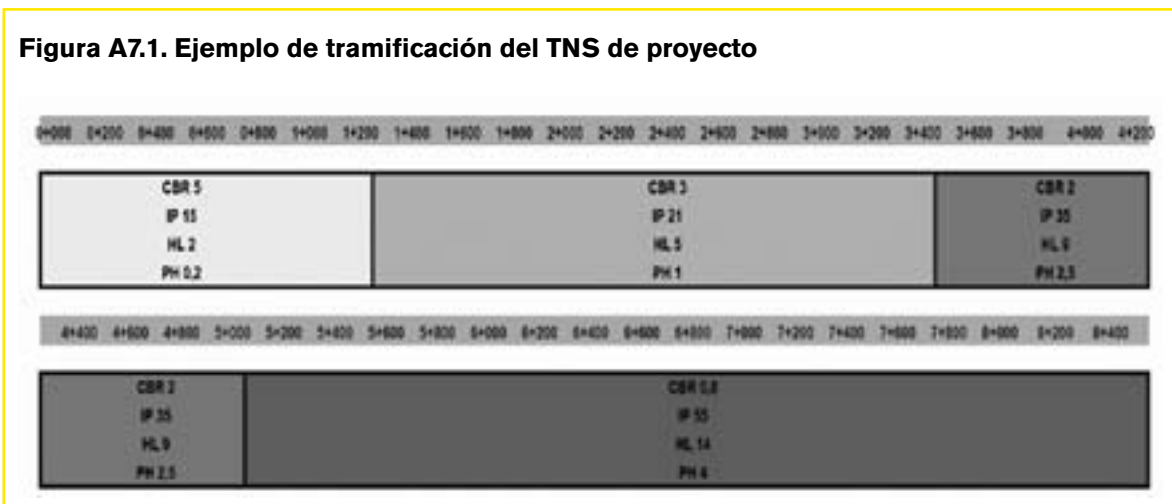
Para cada tramo homogéneo de TNS definido en la tramificación previa indicada en el apartado 4.5, se hará un estudio especial en el que se definirán como mínimo los siguientes parámetros:

- / Índice CBR
- / Índice de plasticidad
- / Hinchamiento libre en edómetro
- / Presión de hinchamiento en edómetro (si  $IP > 18$  ó hinchamiento libre  $> 3\%$ )

El hinchamiento libre del suelo en edómetro se realizará sobre muestras inalteradas, y en su defecto, remoldadas y compactadas con la densidad y humedad naturales, y con una presión vertical igual a la prevista bajo la calzada, al nivel de la muestra.

En la figura A7.1 se muestra un ejemplo de tramificación del TNS.

**Figura A7.1. Ejemplo de tramificación del TNS de proyecto**



Cuando del estudio especial se deduzca que hay tramos en los cuales el terreno es susceptible de presentar procesos de deformaciones plásticas, hinchamiento o retracción (IP mayor de 18, e hinchamiento libre en edómetro superior al 3%) se analizará especialmente el efecto de la alteración de las condiciones de equilibrio de la humedad natural de los suelos introducida por las obras:

- / Si el cimiento del firme queda situado en la capa activa (afectada por cambios cíclicos de humedad), se estudiará la posible repercusión de efectuar las obras en período seco o húmedo.
- / En los desmontes se estudiarán asimismo los posibles levantamientos asociados a la descarga que sufre el terreno, pues puede potenciar el proceso de inestabilidad volumétrica.
- / Se considerará el efecto de las filtraciones de agua a través del firme o procedentes de fugas de las obras de drenaje proyectadas, planteando los medios para que éstas no lleguen a afectar al TNS.

El efecto de las arcillas de alta plasticidad se minimiza mediante el saneo del TNS en que se sustituyen los materiales expansivos por materiales inertes, que aporten peso y alejen las arcillas expansivas de la superficie y por tanto de la capa activa, combinados cuando sea necesario con tratamientos adicionales con láminas o capas impermeables que las encapsulen en el contacto con las arcillas.

En la tabla A7.1 se recomienda una profundidad de saneo en función del IP, que según la experiencia de obras ejecutadas anteriormente parece ajustado. Estas profundidades de saneo se deben aplicar incluso aunque la expansividad sea baja, ya que se han detectado abombamientos en desmontes con niveles bajos de expansividad pero valores altos de plasticidad.

**Tabla A7.1. Profundidad de saneo recomendada en función del IP de los suelos del TNS**

Índice de plasticidad	Profundidad del saneo (cm.)
<20	60
20 a 30	90
30 a 40	120
40 a 50	150
>50	180

En el caso de presiones de hinchamiento muy elevadas, que den unos espesores de sobreexcavación excesivos, se tomarán medidas complementarias adicionales tales como colocar en contacto con las arcillas expansivas de fondo una lámina impermeable o una capa de arcilla impermeable (no expansiva), que las encapsule sobre la que se colocaría el colchón inerte hasta rellenar la sobre excavación.

Se deben colocar drenes bajo las cunetas en los desmontes para evacuar el agua de filtración rápidamente.

En cuanto al material de relleno, puede ser el mismo de la excavación estabilizado con cal (si las arcillas son adecuadas) colocado en capas no superiores a 30 cm, o un material inerte de baja permeabilidad con las características que defina el proyectista. La estabilización con cal se hará según las recomendaciones de GIASA<sup>1</sup>.

1. Estas recomendaciones están disponibles en [www.giasa.com](http://www.giasa.com).

La capa en contacto con las arcillas conviene que sea lo más impermeable posible, pudiendo las capas siguientes estar formadas por materiales de mayor capacidad de soporte, según defina el proyectista en función del firme a ejecutar y del tráfico.

No obstante las recomendaciones de buena práctica de este apartado, el proyectista hará los estudios necesarios para garantizar la estabilidad de la obra.

## CALCULO DE LA ESTABILIDAD DE LOS TERRAPLENES SOBRE FONDOS DE MATERIALES PLÁSTICOS Y EXPANSIVOS

En los terraplenes de más de dos metros, el peso inerte de los mismos contrarresta la presión de hinchamiento de las arcillas, por lo que si las presiones no son muy elevadas, podría ser suficiente. Sin embargo, en el caso de terraplenes sobre suelos plásticos y expansivos, hay que calcular la estabilidad y asentamientos previstos de todos y cada uno de los terraplenes, considerando los terrenos sobre los que realmente se asientan, pues el riesgo de deslizamiento y asentamientos es alto.

## CARACTERIZACION DEL TERRENO NATURAL SUBYACENTE EN FASE DE OBRAS

Aunque el objeto de esta Instrucción es el proyecto de firmes, se incluyen en este apartado algunas recomendaciones para la caracterización del TNS durante la fase de obras debido a la importancia que tiene para la calidad de los mismos.

Durante la fase de obras, una vez que se haya alcanzado el fondo de la excavación y con el tramo totalmente excavado, antes de comenzar los rellenos con las distintas capas se verificarán las características del TNS definido en la memoria del proyecto.

Para ello, por cada lote de TNS, el constructor en aplicación de su PAC verificará mediante los oportunos ensayos de campo definidos en el Plan de Autocontrol de Materiales, y las correspondientes inspecciones visuales, si el TNS cumple las características especificadas en el proyecto, proponiendo al Director de la Obra en caso negativo, una nueva caracterización para ese lote.

Una vez recibida por el Director de la Obra la propuesta de caracterización del PAC del constructor, en base a los ensayos de campo realizados según el Plan de Recepción de Materiales y las correspondientes inspecciones visuales, la aceptará si es conforme, o bien fijará las características definitivas para proceder al extendido de las capas.

En el caso de características del TNS inferiores a las proyectadas, se deberá recalcular el cimiento del firme y verificar los posibles problemas de cambios volumétricos y deformaciones.

En la figura A7.2 se incluye un modelo de gráfica para la caracterización del TNS durante la obra.

**Figura A7.2. Modelo de caracterización del TNS en una obra**

	0+000	0+200	0+400	0+600	0+800	1+000	1+200	1+400	1+600	1+800	2+000	2+200	2+400	2+600	2+800	3+000	3+200	3+400	3+600	3+800	4+000	4+200
PROYECTO	CBR 5 IP 15 HL 2 PH 0,2				CBR 3 IP 21 HL 5 PH 1										CBR 2 IP 35 HL 9 PH 2,5							
CARACTERIZACION PAC	CBR 5 IP 15 HL 1 PH 0		PENDIENTE CARACTERIZACION			CBR 2 IP 35 HL 9 PH 2		CBR 3 IP 21 HL 5 PH 1					PENDIENTE CARACTERIZACION									
APROBACION DIRECTOR OBRA	CBR 5 IP 17 HL 2 PH 0,2		PENDIENTE CARACTERIZACION			CBR 1,5 IP 40 HL 10 PH 3		CBR 2 IP 25 HL 8 PH 2,5			CBR 2 IP 35 HL 9 PH 3		PENDIENTE CARACTERIZACION									





# ANEJOS

**8///**

**ESQUEMAS  
DE CUÑAS DE  
TRANSICIÓN**

En las zonas de transición entre obras de fábrica o estribos y estructuras de tierras, se emplearán disposiciones constructivas que aseguren una transición gradual de rigideces de manera que se reduzcan en lo posible los efectos negativos sobre el tránsito rodado de los asientos diferenciales que pudieran aparecer.

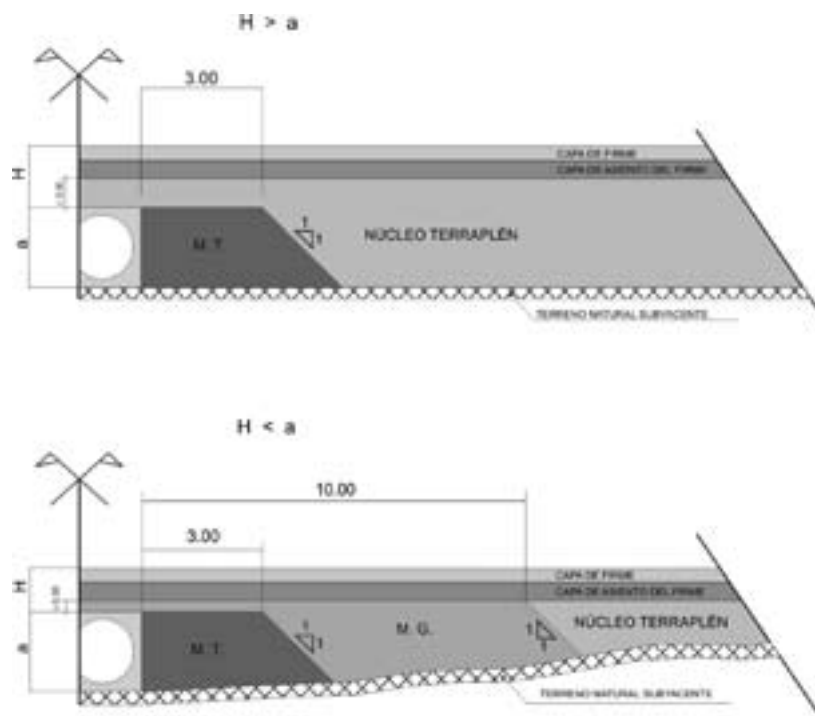
En obras de drenaje transversal y pasos inferiores se emplearán cuñas de transición formadas por material de menor deformabilidad que el relleno del terraplén. Salvo justificación en contrario se utilizarán las soluciones en terraplén y zanja cuyos esquemas se reproducen respectivamente en las figuras A8.1 y A8.2.

La transición de rigidez junto a los estribos de estructuras se realizará preceptivamente, excepto para tráfico T4, mediante losa de transición de longitud mínima<sup>1</sup> de 5 m. Bajo la losa se dispondrá una cuña de material de menor deformabilidad que el del núcleo del terraplén adyacente. Salvo justificación en contrario se utilizará la solución cuyo esquema se reproduce en la figura A8.3. Se prestará especial atención al diseño del sistema de drenaje de la zona del trasdós que asegure su eficacia y durabilidad.

NOTA:

- / M.T.: Relleno especial en cuña de transición tratado con cemento ( $\geq 3\%$ ).
- / M.G.: Relleno de material no tratado tipo zahorra, suelo seleccionado tipo 3 ó 4, rechazo de cantera, o similar.
- / H.M.: Hormigón pobre dosificado ( $\leq 60\text{ kg m}^3$  de cemento).
- / El material utilizado como base en rellenos m.T. Y m.G. Cumplirán con las predisposiciones de un suelo seleccionado tipo 3 (s3).

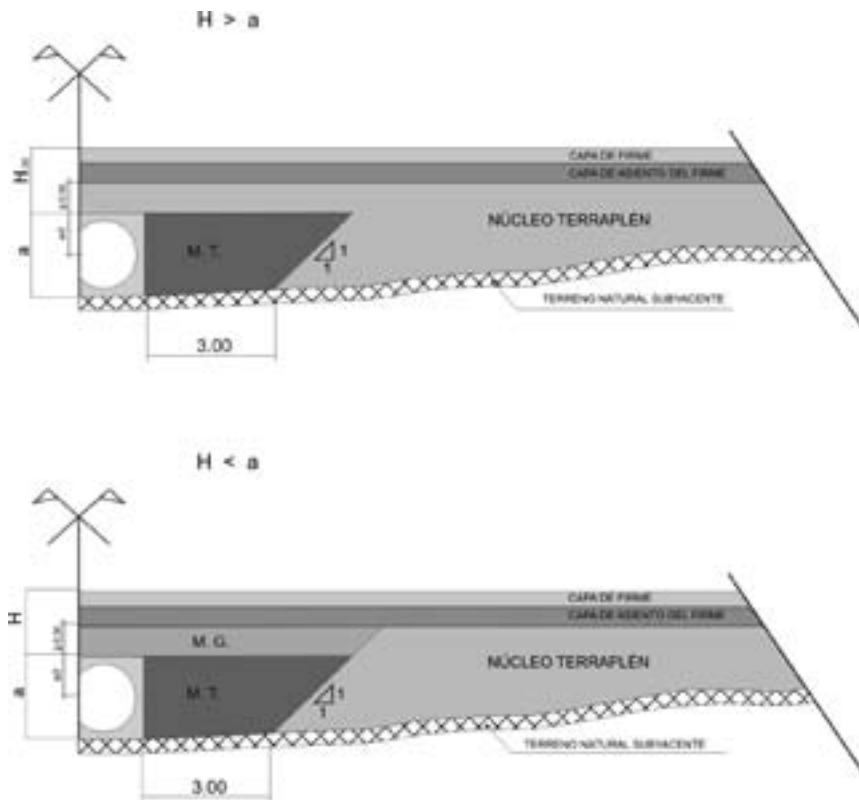
**Figura A8.1a. Esquemas de soluciones de cuñas de transición para obras de drenaje transversal y pasos inferiores en terraplén**



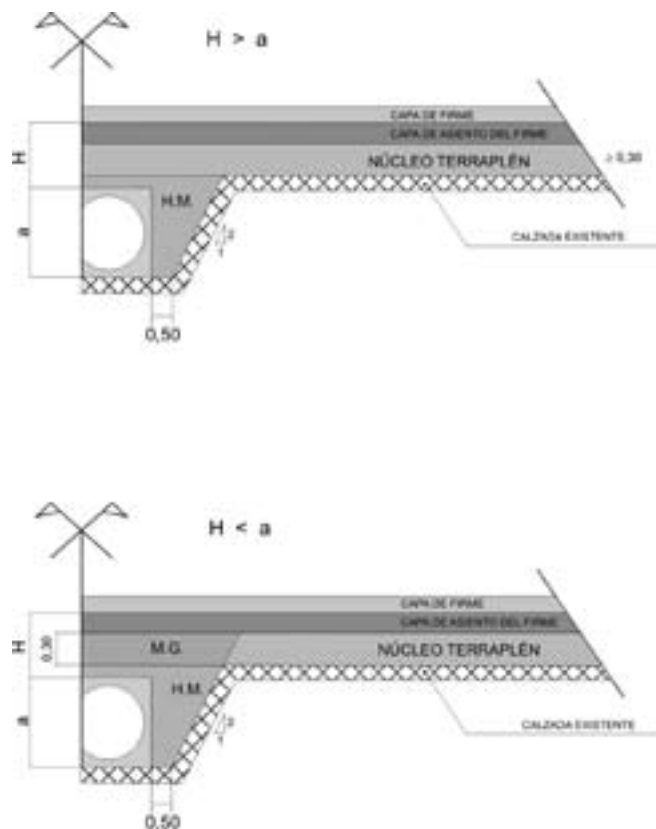
1. Válido siempre que el TNS presente un CBR igual o superior a 1,5.



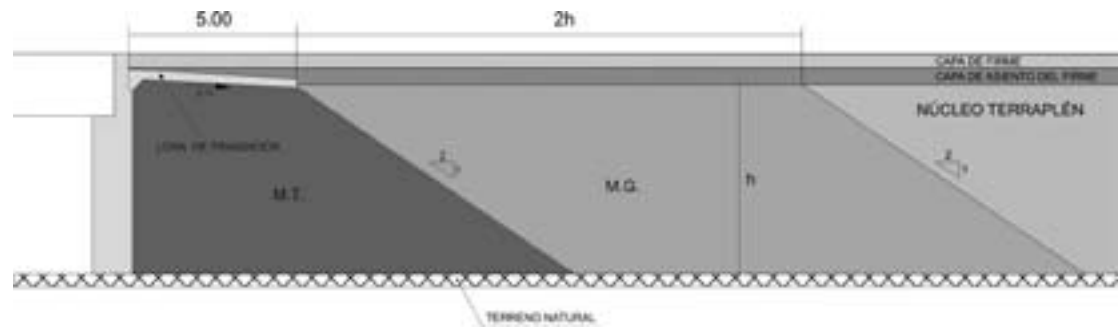
**Figura A8.1b. Esquemas de soluciones de cuñas de transición para obras de drenaje transversal y pasos inferiores en terraplén (cuña inversa)**



**Figura A8.2. Esquemas de soluciones de cuñas de transición para obras de drenaje transversal y pasos inferiores en zanja**



**Figura A8.3. Esquema de solución de cuña y losa de transición para estribos de estructuras**





# ANEJOS

**9///**

**ESPECIFICACIONES  
TÉCNICAS PARA  
MATERIALES  
BITUMINOSOS EN  
FRÍO**

Se incluyen en este anejo las especificaciones técnicas<sup>1</sup> que en defecto de desarrollo normativo propio deberá incluir el PPTP del proyecto, para los siguientes materiales bituminosos en frío:

- / Mezclas abiertas en frío (AF)
- / Gravaemulsión (GE)
- / Tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla (TS)

---

1. Las prescripciones Técnicas para materiales bituminosos en frío han sido cedidas cortésmente por la Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas (ATEB).



# ANEJOS

**10///**

**BASES DE  
CÁLCULO DE  
FIRMES DE  
HORMIGÓN**

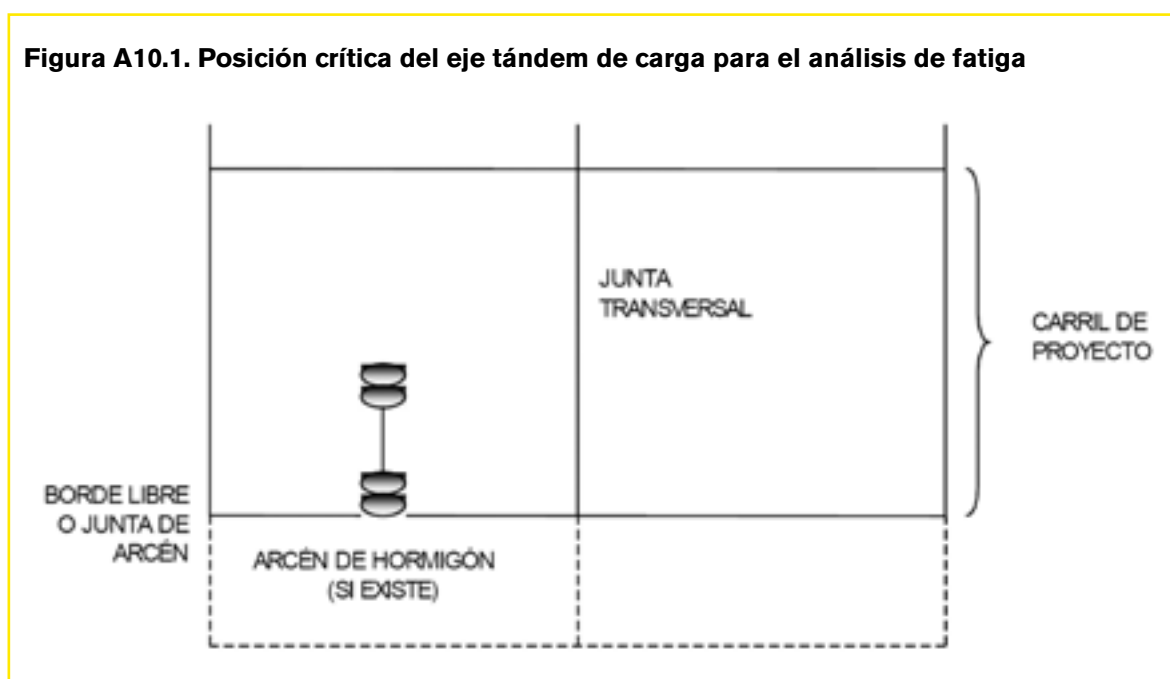
## DEFINICIÓN DE PARÁMETROS CRÍTICOS Y CRITERIOS DE FALLO

En el diseño de firmes con pavimento de hormigón se realizan dos análisis de fallo, de fatiga y de erosión.

### CRITERIO DE FATIGA

Este criterio se basa en el análisis de las máximas tensiones de flexotracción producidas por la carga en el borde en la mitad de la losa, que es la posición más crítica, a mitad de la distancia entre las juntas transversales según se muestra en la figura A10.1.

**Figura A10.1. Posición crítica del eje tándem de carga para el análisis de fatiga**



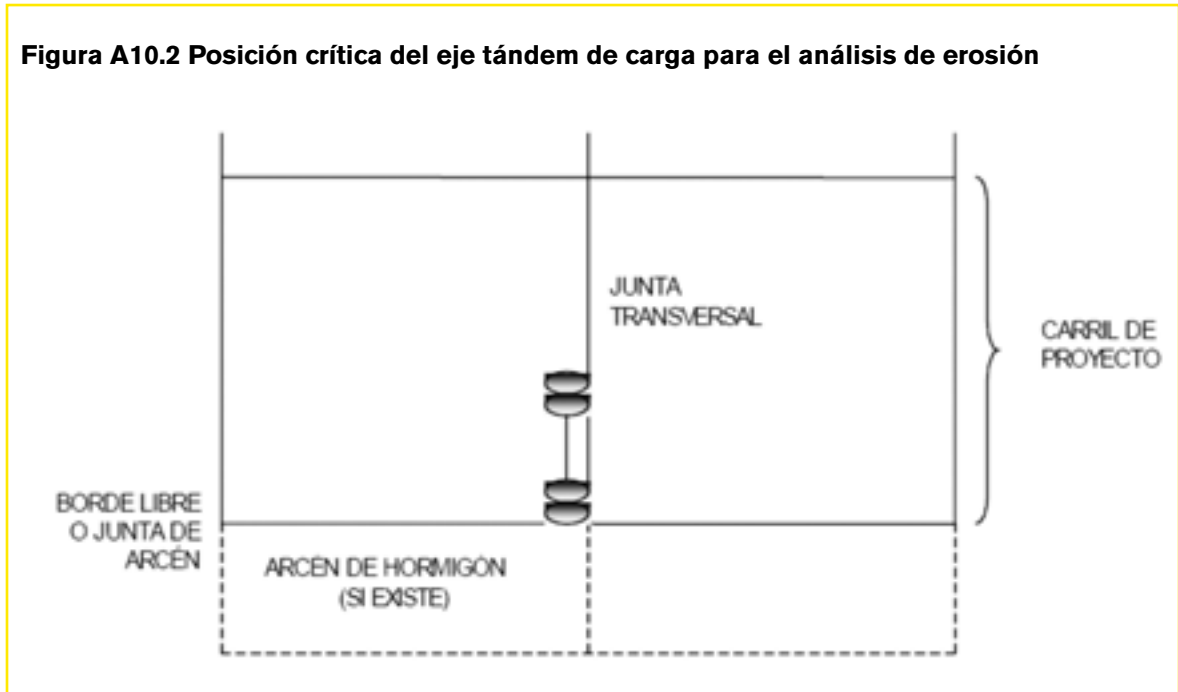
Debido a que la carga de borde está alejada de las juntas transversales, el espaciamiento de las juntas y la existencia o no de pasadores no tiene prácticamente ningún efecto sobre la tensión de borde de la losa. Sin embargo, cuando se disponen arcenes de hormigón, la magnitud de la tensión de borde en la losa disminuye considerablemente.

Las leyes de fatiga utilizadas para la realización de los ábacos de dimensionamiento relacionan el número de repeticiones admisibles de carga con la "relación entre tensiones", definida como la existente entre la tensión crítica de tracción del hormigón debido a las cargas externas y la resistencia a flexotracción de dicho hormigón.

### CRITERIO DE EROSIÓN

Este criterio se basa en el análisis de los daños producidos en el firme debidos al bombeo de finos, la erosión del cemento y el escalonamiento de las juntas, fenómenos relacionados con las deflexiones del firme. La deflexión más crítica se produce en la esquina de la losa cuando el eje de carga está situado en la junta transversal cerca de la esquina según se muestra en la figura A10.2.

**Figura A10.2 Posición crítica del eje tándem de carga para el análisis de erosión**



El resultado no se ve afectado por el espaciamiento de las juntas, pero la existencia o no de pasadores influye en gran medida. Los arcenes de hormigón reducen también considerablemente las tensiones.

Para analizar el comportamiento del firme hay que considerar los diferentes valores de la deflexión en función del espesor de la losa de hormigón y del coeficiente de balasto del cimiento. Existe una buena correlación entre el comportamiento del firme y el "grado de trabajo" definido éste como el producto de la deflexión de esquina por la presión de la losa sobre el cimiento, y dividido por el radio de rigidez relativa (como medida de la longitud del cuenco de deflexiones).

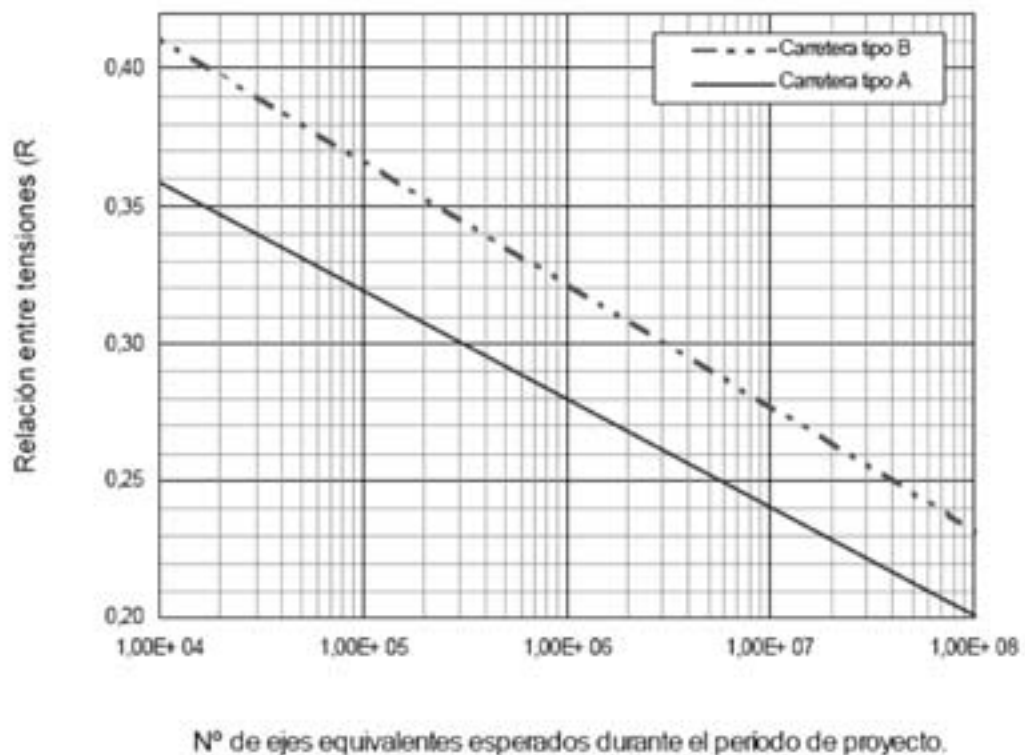
Para el dimensionamiento se utiliza una ecuación que relaciona el número de repeticiones admisibles de la carga tipo con el grado de trabajo, que a su vez es función de la presión en el cimiento bajo la esquina de la losa, del espesor de la losa y del coeficiente de balasto. A los resultados se les aplica un coeficiente corrector en función de la existencia o no de arcenes de hormigón.

## CÁLCULO DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO DE HORMIGÓN SEGÚN EL CRITERIO DE FATIGA

Se realizará con la ayuda de los gráficos GF. El proceso de cálculo comprenderá los siguientes pasos:

// En función de la categoría de la carretera y del número de ejes equivalentes estimado como tráfico de proyecto, con la ayuda del gráfico GF.1, se halla la relación entre tensiones (RS).

**Gráfico GF. 1**



// A continuación se halla el valor de la tensión equivalente (SE), para un coeficiente de balasto  $K=80$  MPa/m, a partir de la resistencia a flexotracción a largo plazo del hormigón del pavimento, mediante la expresión:

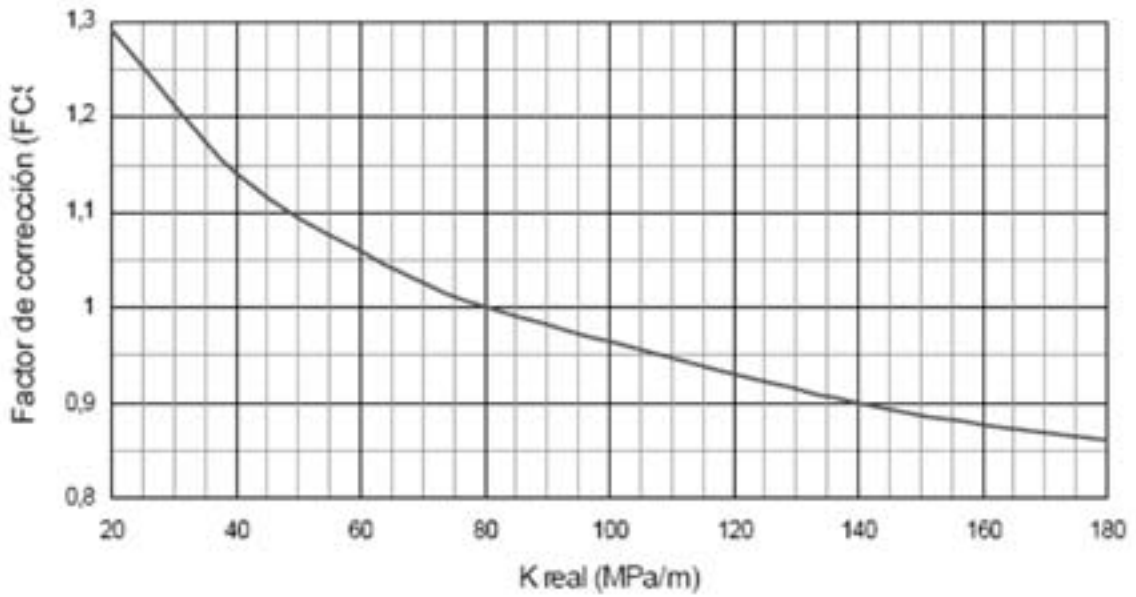
$$SE = R_{FLP} \times RS \quad [1]$$

/// Luego, se corregirá la tensión equivalente calculada con el factor de corrección de tensiones (FCS) en función del módulo de balasto definido en el apartado 6.5.3.1 (gráfico GF.2), por medio de la expresión:

$$SEC = SE/FCS \quad [2]$$

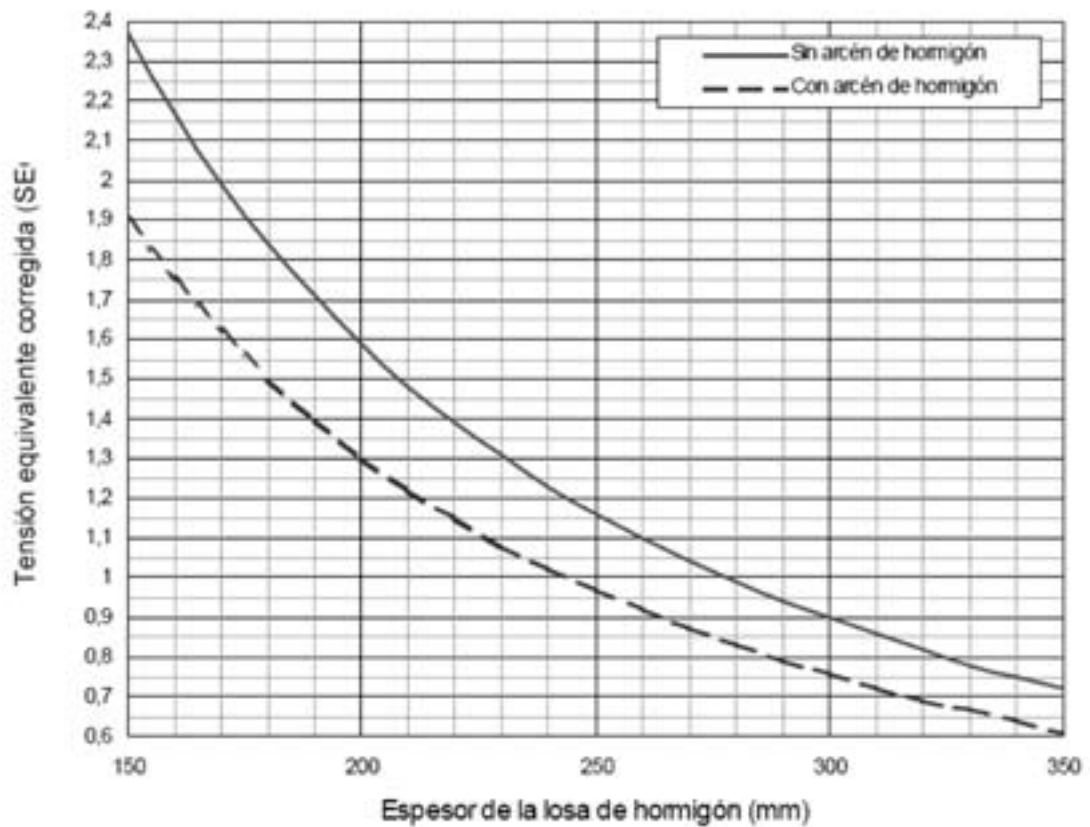


**Gráfico GF. 2**



//// Este valor será el utilizado para entrar en el gráfico GF.3 y hallar el espesor mínimo necesario de la losa de hormigón del pavimento. El gráfico permite elegir entre pavimento con o sin arcén de hormigón. El espesor (eF) hallado se redondeará al centímetro por exceso.

**Gráfico GF. 3**

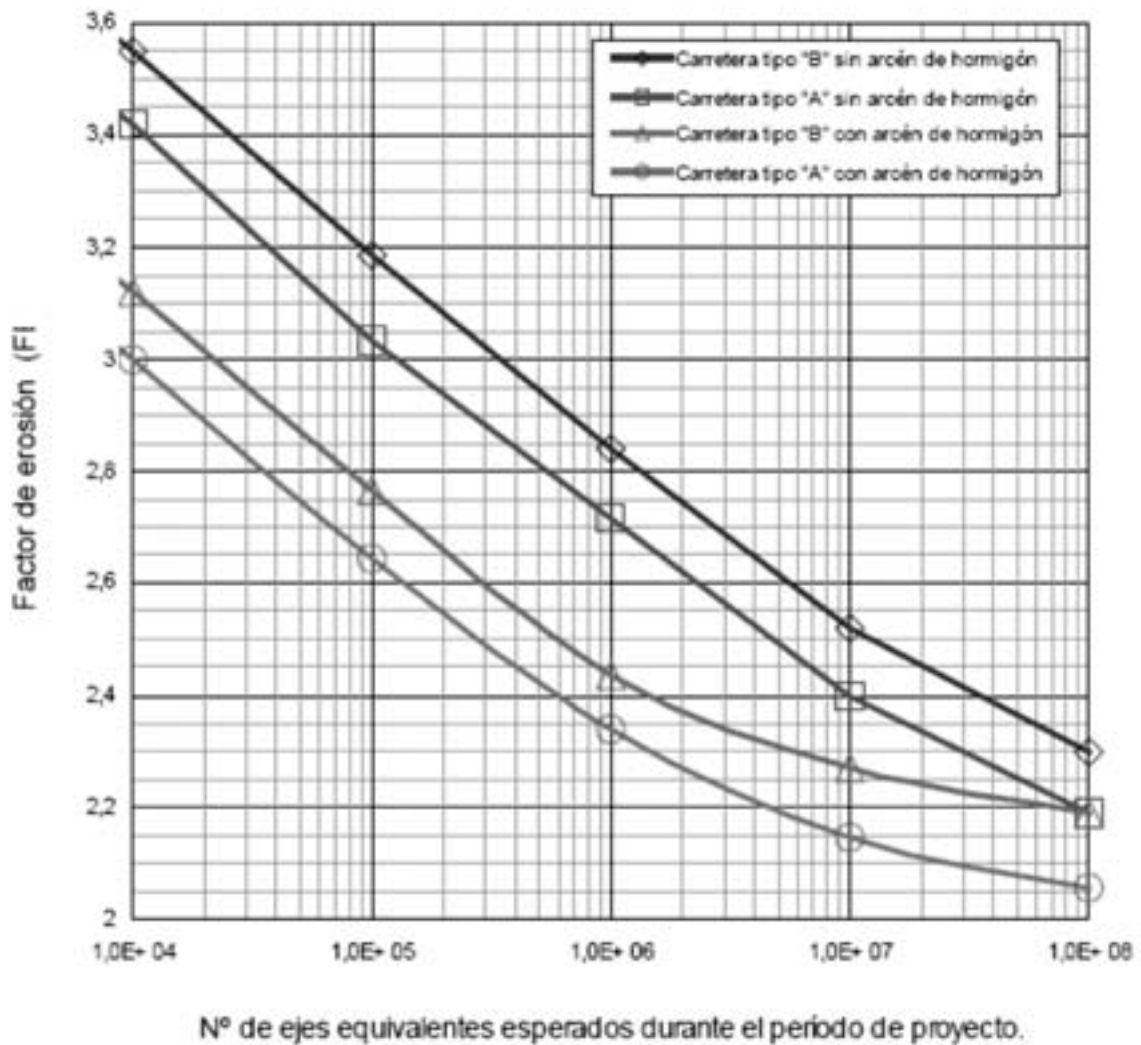


## CÁLCULO DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO DE HORMIGÓN SEGÚN EL CRITERIO DE EROSIÓN

Se realizará con la ayuda de los gráficos GE. El proceso de cálculo comprenderá los siguientes pasos:

// En función de la categoría de la carretera, del tipo de arcén y del número de ejes equivalentes estimado como tráfico de proyecto, con la ayuda del gráfico GE.1, se halla el factor de erosión (FE).

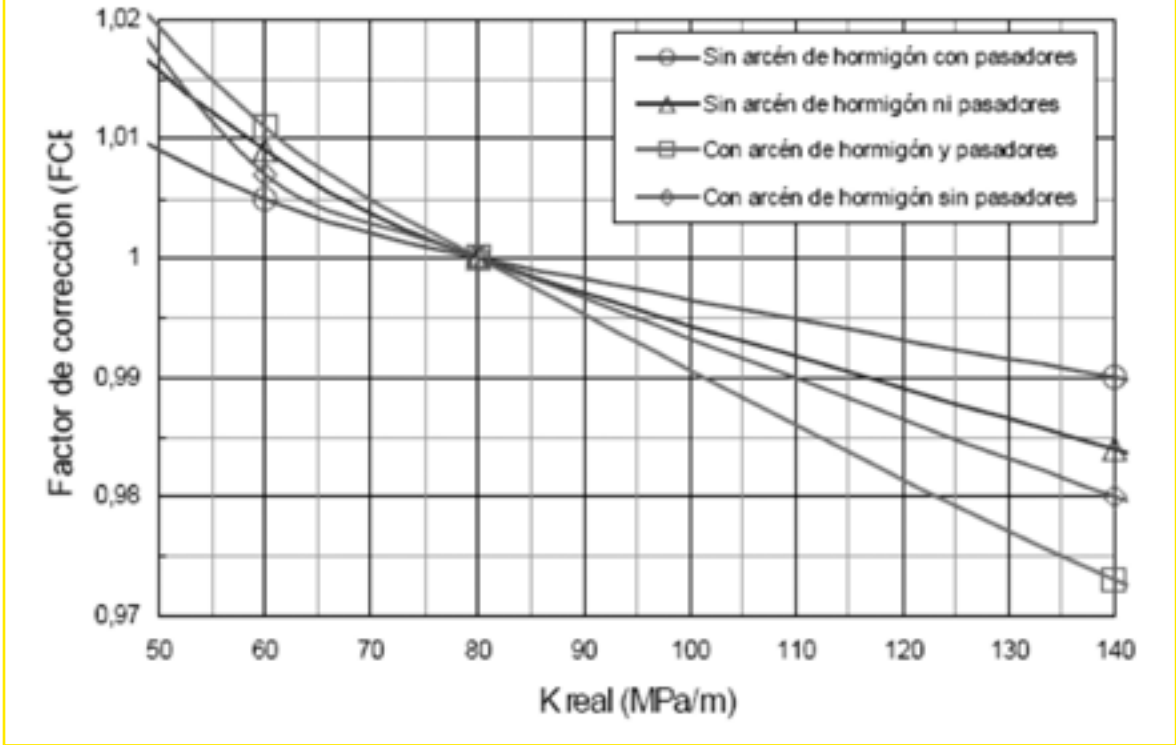
**Gráfico GE. 1**



// A continuación, se corregirá el factor de erosión calculado con el factor de corrección de erosión (FCE) en función del módulo de balasto definido en el apartado 6.5.3.1 (gráfico GE.2), por medio de la expresión:

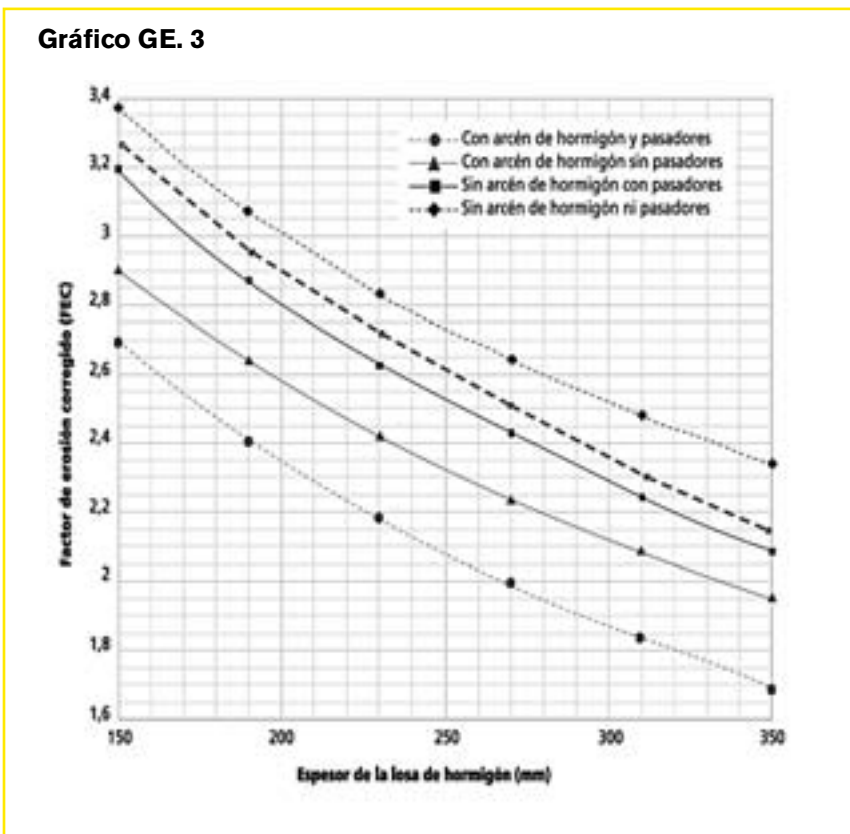
$$FEC = FE / FCE \quad [3].$$

Gráfico GE. 2



/// Este valor será el utilizado para entrar en el gráfico GE.3 y hallar el espesor mínimo necesario de la losa de hormigón del pavimento. El gráfico permite elegir entre pavimento con o sin arcén de hormigón y con o sin pasadores en las juntas. El espesor (eE) hallado se redondeará al centímetro por exceso.

Gráfico GE. 3



## ESPESOR MÍNIMO DEL PAVIMENTO DE HORMIGÓN

Los espesores de pavimento obtenidos en el cálculo son espesores mínimos, nunca espesores medios, y así se deberán exigir en los Pliegos de Prescripciones Técnicas Particulares. En cualquier caso, no se dispondrán espesores inferiores a los indicados en la tabla A10.1.

**Tabla A10.1. Espesor mínimo del pavimento de hormigón**

Categoría de tráfico	Espesor mínimo (cm) en función de la tipología de pavimento	
	Continuo de hormigón armado	En masa con juntas transversales
T00	25	---
T0	24	28
T1	21	25
T2	---	23
T3A y T3B	---	21
T4A	---	20
T4B	---	18



# ANEJOS

**11///**

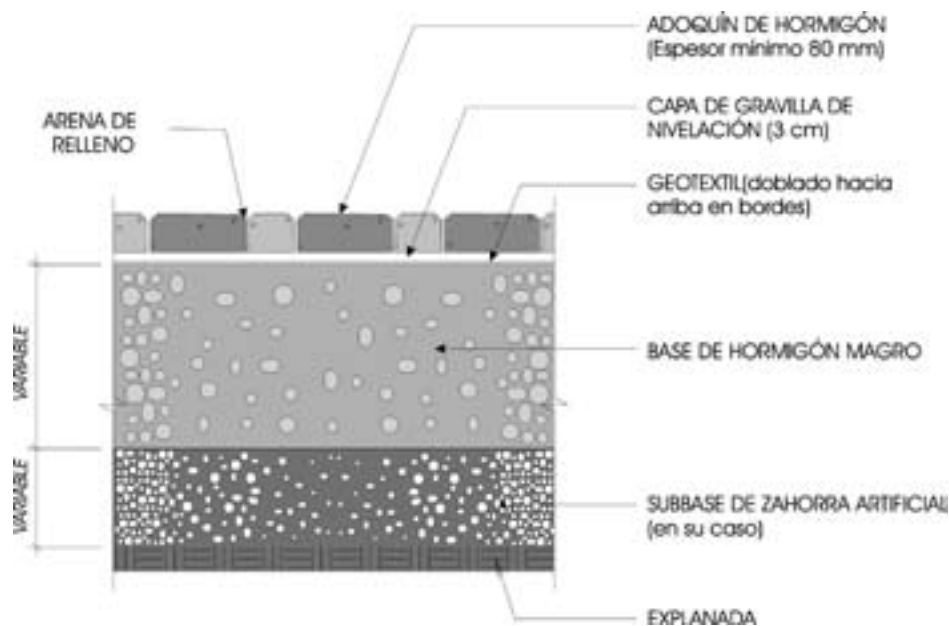
**PAVIMENTOS  
DE ADOQUINES  
PARA ZONAS DE  
ESTACIONAMIENTO  
Y PARADA**

# ELEMENTOS DEL FIRME CON PAVIMENTO DE ADOQUINES

## Descripción general

El firme está constituido por un pavimento de adoquines prefabricados de hormigón que se asienta sobre una capa de arena de 3 cm de espesor cuidadosamente nivelada. A su vez, sobre el plano de explanada, puede ser necesario disponer una base de hormigón magro y/o una subbase de zahorra artificial, en función de la categoría del cimientado y del nivel de tráfico pesado.

**Figura A11.1. Sección estructural tipo de un firme con pavimento de adoquines de hormigón**



La transmisión de los esfuerzos verticales ocasionados por las cargas del tráfico se efectúa por rozamiento, a través de una arena fina de sellado que se coloca en las juntas entre adoquines. Debe desaconsejarse el uso de mortero para sellar las juntas entre adoquines, puesto que éste, debido a la retracción y a variaciones termohigrométricas, terminaría por agrietarse dejando los adoquines sueltos y reduciéndose en gran medida la capacidad de transmisión de cargas.

Por otra parte, para garantizar la respuesta a las acciones horizontales, el pavimento debe estar confinado lateralmente, mediante elementos rígidos (bordes de confinamiento). Otros factores como la disposición en planta de los adoquines, su forma y grado de trabazón también condicionan la transmisión de esfuerzos horizontales.

Cuando exista una base de hormigón magro se interpondrá un geotextil de separación entre ésta y la capa de arena de nivelación, a fin de evitar el deslavado de los finos de la arena. Asimismo, siempre que la anchura de extendido de la base supere los 7 m, se practicarán en ella juntas longitudinales y transversales, ya sea en fresco o mediante serrado del material endurecido. En ambos casos se alcanzará una profundidad comprendida entre la tercera y la cuarta parte del espesor de la capa. La distancia entre las juntas no superará los 4 m.

## Adoquín prefabricado de hormigón

Los adoquines se ajustarán a lo especificado en la norma UNE-EN 1338:2004 "Adoquines de hormigón. Especificaciones y métodos de ensayo".

En relación a sus características físicas y mecánicas se prescribirán los siguientes valores:

- / Resistencia a rotura a tracción indirecta: Valor medio de 3,6 MPa, sin presentar valores individuales inferiores a 2,9 MPa.
- / Resistencia a la abrasión: huella inferior o igual a 20 mm.
- / Resistencia al deslizamiento/resbalamiento: índice USRV superior a 60.
- / Resistencia a las heladas: Absorción de agua inferior o igual al 6% en masa.

En cualquier caso, las caras superiores de los adoquines no presentarán defectos tales como grietas, delaminaciones o exfoliaciones. En el caso de adoquines bicapa no deben producirse separaciones entre las capas.

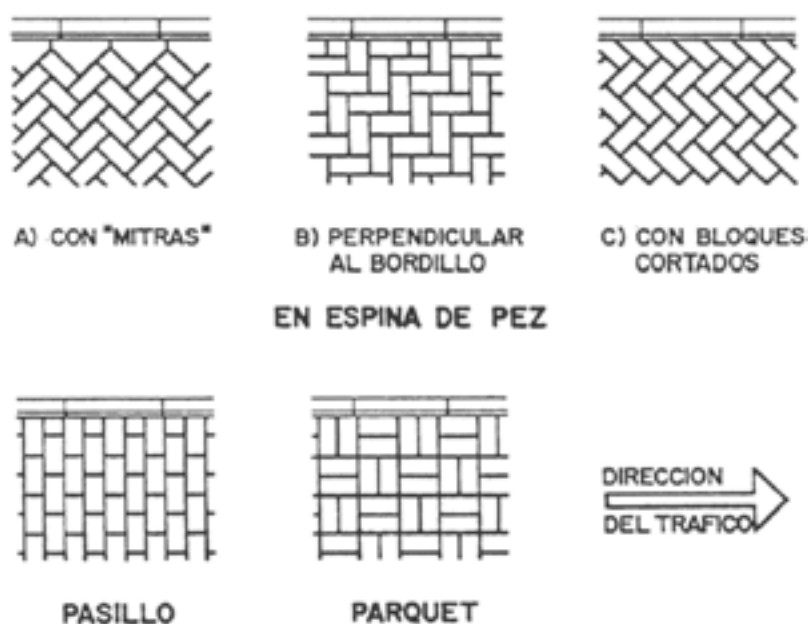
Para tráficos de categoría T2 o superior se utilizarán adoquines de 12 cm de espesor. Para tráficos tipo T3 y T4 los espesores del adoquín habrán de ser de 10 y de 8 cm, respectivamente.

En todos los casos deberán emplearse adoquines machiembrados con imbricación en planta, salvo para tráficos T4 en que dicha prescripción tendrá carácter optativo.

Los adoquines se colocarán con un interespaciado de 1 a 2 mm.

La disposición en planta de los adoquines será mediante aparejo en forma de espina de pez, si bien con tráficos tipo T4 podrá adoptarse también un aparejo de tipo pasillo, sin juntas continuas en la dirección del tráfico.

**Figura A11.2. Tramas para la disposición del pavimento de adoquines**



## Arena de nivelación

La capa de arena de asiento realiza una función de apoyo del adoquín permitiendo su correcta compactación y nivelación, y desempeñando además una función drenante, especialmente en el caso de disponer en el firme de una capa de base, impermeable, de hormigón magro.

El espesor final de la capa de arena, una vez colocados los adoquines y vibrado el pavimento, debe ser de 3 cm, por lo que el espesor de arena a colocar será de 4-5 cm antes de compactar.

Su contenido máximo de materia orgánica y arcilla debe ser inferior al 3%, con una proporción reducida de finos en su granulometría, que se ajustará al huso indicado en la tabla A11.1.

Para evitar problemas de friabilidad y desgaste del árido, se recomienda evitar la utilización de áridos calizos. No obstante, se podrá utilizar cualquier árido que satisfaga las siguientes limitaciones:

- / Friabilidad de la arena (FA)  $\leq$  40 (ensayo micro-Deval UNE EN 1097-1)
- / Resistencia al desgaste de la grava  $\leq$  40 (ensayo de Los Ángeles UNE EN 1097-2).

**Tabla A11.1. Granulometría de la arena de nivelación. Cernido acumulado, en % en masa**

Tamiz (mm)	Límite inferior (mm)	Límite superior (mm)
4	90	100
2	75	95
1	45	80
0,5	20	55
0,25	10	25
0,125	5	12-25
0,063	0	10

En circunstancias especiales (pendientes fuertes, presencia de agua o limpiezas frecuentes del pavimento con agua a presión) que puedan favorecer el deslavado de los finos de la arena se incorporará cemento a la misma, sin aporte de agua, en una proporción del orden de los 150 kg/m<sup>3</sup> (4-5 kg/m<sup>2</sup>).

## Arena de sellado

Las juntas entre adoquines se sellarán con una arena fina, cuya influencia en el comportamiento estructural del pavimento es muy notable, por cuanto que confina los adoquines y ayuda a transmitir las cargas verticales, al tiempo que proporciona cierta impermeabilidad disminuyendo la infiltración de agua a las capas subyacentes.

Su tamaño máximo debe ser de 1,25 mm, con un cernido máximo de un 8-10% en masa por el tamiz de 0,063 mm. En el momento de la colocación la arena de sellado deberá estar seca.

## Bordes de confinamiento

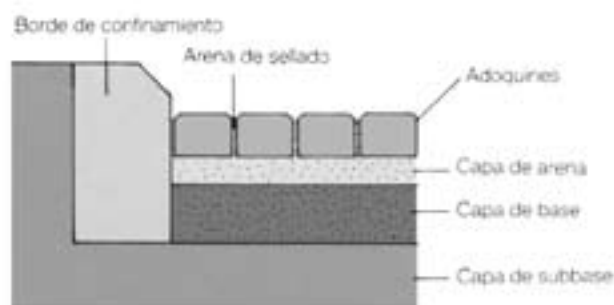
Los pavimentos de adoquines requieren obligatoriamente de bordes de confinamiento en el perímetro para evitar el desplazamiento de las piezas, la apertura de las juntas y la pérdida de trabazón entre los adoquines.



En general, los bordes de confinamiento deben presentar un paramento vertical y es conveniente que se materialicen mediante elementos prefabricados de hormigón recibidos con mortero. Deben tener una profundidad de, al menos, 15 cm bajo el plano de apoyo de los adoquines.

En ningún caso se permitirá la apertura al tráfico antes de finalizar la ejecución de los bordes de confinamiento y la operación de sellado y compactación de los adoquines.

**Figura A10.3. Detalle del borde de confinamiento del pavimento de adoquines**



## DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME

### Categoría del cimiento.

Se proyectarán únicamente sobre cimientos de las categorías media o alta.

### Secciones estructurales

Para tráficos superiores a T2 se requerirá un estudio específico, pudiéndose realizar para ello un análisis multicapa adoptando un módulo de deformación del conjunto adoquines-arena de asiento de 3500 MPa y un coeficiente de Poisson de 0,35.

Salvo justificación en contrario, dentro del ámbito de la presente Instrucción, las secciones de firme con pavimento de adoquín se dimensionarán de acuerdo a las especificaciones de la tabla A11.2.

**Tabla A11.2. Secciones estructurales de firme con pavimento de adoquines para zonas de estacionamiento y parada**

Material <sup>(1)</sup>	Categoría de tráfico			
	T2	T3A y T3B	T4A	T4B
Adoquín prefabricado <sup>(2)</sup>	12	10	8	8
Arena de nivelación	3	3	3	3
Hormigón magro	15	15	15	---
Zahorra artificial	Cim.cat. alta: 20 <sup>(3)</sup> Cim.cat. media:25	Cim.cat. alta: 15 <sup>(3)</sup> Cim.cat. media:15	Cim.cat. alta: 15 <sup>(3)</sup> Cim.cat. media:15	Cim.cat. alta: 15 <sup>(3)</sup> Cim.cat. media:20

(1) Espesor de capa compactada, indicado en cm.

(2) Con tráficos de categoría T3B o superior se utilizará adoquín con machiembreado en planta y se dispondrá en aparejo en forma de espina de pez. Con tráficos inferiores el adoquín podrá o no ser machiembreado, pero se evitarán los aparejos con líneas continuas de junta en la dirección del tráfico.

(3) Sobre cimientos de categoría alta cuya última capa de asiento sea del tipo S-EST3 no se dispondrá subbase de zahorra artificial.





# ANEJOS

**12///**

**ESCENARIOS DE  
CONSERVACIÓN**

Para poder evaluar los costes de las operaciones ordinarias de conservación de firmes, de las rehabilitaciones superficiales o estructurales a lo largo del período de análisis y de reconstrucción al final de la vida de servicio, es necesario definir unos escenarios de conservación. En principio, se pueden usar los modelos expuestos en las tablas o bien, realizar un estudio particular en función del tipo de sección de que se trate. Los porcentajes se refieren a las reparaciones necesarias expresadas como porcentaje del coste inicial de las capas de firme.

**Tabla A12.1. Escenarios de conservación en firmes con capas granulares y mezclas bituminosas**

AÑOS	TRAFICO				
	T0	T1	T2	T3	T4
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	1%	1%	1%	-	-
5	1%	1%	1%	0,7%	-
6	1%	1%	1%	0,7%	-
7	Micro +1%	Micro + 1%	1%	0,7%	0,5%
8	1%	1%	1%	0,7%	-
9	1%	1%	Lechada + 1%	Lechada + 0,7%	-
10	1%	1%	1%	0,7%	TS
11	1%	1%	1%	0,7%	-
12	10 cm MB	5 cm MB	1%	0,7%	-
13	-	-	5 cm MB	5 cm MB	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	0,5%
16	1%	1%	-	-	-
17	1%	1%	1%	0,7%	-
18	1%	1%	1%	0,7%	-
19	Lechada	Lechada	Lechada	Lechada	-
20	1%	1%	1%	0,7%	-
21	Fresado y repos. 25 cm + 5 cm MB	Fresado y repos. 20 cm + 5 cm MB	Fresado y repos. 15 cm + 5 cm MB	Fresado y repos 10 cm + 5 cm MB	10 cm MB
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	1%	1%	1%	-	-
26	1%	1%	1%	0,7%	-
27	1%	1%	1%	0,7%	-
28	Micro + 1%	1%	1%	0,7%	0,5%
29	1%	Micro + 1%	1%	0,7%	-
30	1%	1%	1%	0,7%	-

Micro: Mezcla bituminosa en caliente en capa fina.  
MB: Mezcla bituminosa en caliente.

**Tabla A12.2. Escenarios de conservación en firmes con suelocemento y mezclas bituminosas**

Años	Tráfico				
	T0	T1	T2	T3	T4
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	1%	1%	1%	-	-
7	Micro + 1%	Micro + 1%	1%	0,7%	-
8	1%	1%	1%	0,7%	-
9	1%	1%	Lechada + 1%	Lechada + 0,7%	0,5%
10	1%	1%	1%	0,7%	TS
11	1%	1%	1%	0,7%	-
12	10 cm MB	5 cm MB	1%	0,7%	-
13	-	-	5cm MB	5 cm MB	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	1%	1%	-	-	-
17	1%	1%	1%	-	-
18	1%	1%	1%	0,7%	0,5%
19	Lechada	Lechada	Lechada	Lechada	-
20	1%	1%	1%	0,7%	-
21	Fresado y repos. 25 cm + 5 cm MB	Fresado y repos. 20 cm + 5 cm MB	Fresado y repos. 15 cm + 5 cm MB	Fresado y rep 10 cm + 5 cm MB	10 cm MB
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	1%	1%	1%	0,7%	-
26	1%	1%	1%	0,7%	-
27	1%	1%	1%	0,7%	0,5%
28	Micro + 1%	1%	1%	0,7%	-
29	1%	Micro + 1%	1%	0,7%	-
30	1%	1%	1%	0,7%	-

Micro: Mezcla bituminosa en caliente en capa fina.  
MB: Mezcla bituminosa en caliente.

**Tabla A12.3. Escenarios de conservación en firmes con gravacemento y mezclas bituminosas**

Años	Tráfico				
	T0	T1	T2	T3	T4
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	S(10%)	S(10%)	S(10%)	-	-
6	1%	1%	1%	-	-
7	Micro+1%	Micro + 1%	1%	0,7%	-
8	1%	1%	1%	0,7%	-
9	1%	1%	Lechada + 1%	Lechada + 0,7%	0,5%
10	S(10%)+1%	S(10%)+1%	S(10%)+1%	0,7%	TS
11	1%	1%	1%	0,7%	-
12	10 cm MB	5 cm MB	1%	0,7%	-
13	-	-	5cm MB	5 cm MB	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	1%	1%	-	-	-
17	S(10%)+1%	S(10%)+1%	S(10%)+1%	-	-
18	1%	1%	1%	0,7%	0,5%
19	Lechada	Lechada	Lechada	Lechada	-
20	1%	1%	1%	0,7%	-
21	Fresado y repos. 15 cm + 8 cm MB	Fresado y repos. 15 cm + 8 cm MB	Fresado y repos. 12 cm + 5 cm MB	Fresado y rep 10 cm + 5 cm MB	10 cm MB
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	1%	1%	1%	0,7%	-
26	S(10%)+1%	S(10%)+1%	S(10%)+1%	0,7%	-
27	1%	1%	1%	0,7%	0,5%
28	Micro + 1%	1%	1%	0,7%	-
29	1%	Micro + 1%	1%	0,7%	-
30	15	1%	1%	0,7%	-

Micro: Mezcla bituminosa en caliente en capa fina.

MB: Mezcla bituminosa en caliente.

TS: Tratamiento superficial.

S(%). Sellado del porcentaje % de las grietas aparecidas en superficie, suponiendo que en secciones con gravacemento o suelocemento aparecen cada 7 m, y en secciones con hormigón compactado cada 4 m.

J(%): Sellado del porcentaje % de juntas a resellar.

**Tabla A12.4. Escenarios de conservación en firmes con hormigón compactado y mezclas bituminosas**

Años	Tráfico				
	T0	T1	T2	T3	T4
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	S(10%)	S(10%)	S(10%)	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	S(10%)+1%	S(10%)+1%	S(10%)+1%	-	-
7	Micro+1%	Micro + 1%	1%	0,7%	-
8	1%	1%	1%	0,7%	-
9	1%	1%	Lechada + 1%	Lechada + 0,7%	0,5%
10	S(10%)+1%	S(10%)+1%	S(10%)+1%	0,7%	TS
11	1%	1%	1%	0,7%	-
12	10 cm MB	5 cm MB	1%	0,7%	-
13	-	-	5cm MB	5 cm MB	-
14	-	-	-	-	-
15	S(10%)	S(10%)	S(10%)	-	-
16	1%	1%	-	-	-
17	1%	1%	1%	-	-
18	S(10%)+1%	S(10%)+1%	S(10%)+1%	0,7%	0,5%
19	Lechada	Lechada	Lechada	Lechada	-
20	1%	1%	1%	0,7%	-
21	Fresado y re- pos.12 cm + 10 cm MB	Fresado y re- pos.12 cm + 10 cm MB	Fresado y repos.10 cm + 8 cm MB	Fresado y rep 5 cm + 5 cm MB	10 cm MB
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	S(10%)	S(10%)	S(10%)	-	-
25	1%	1%	1%	0,7%	-
26	1%	1%	1%	0,7%	-
27	S(10%)+1%	S(10%)+1%	S(10%)+1%	0,7%	0,5%
28	Micro + 1%	1%	1%	0,7%	-
29	1%	Micro + 1%	1%	0,7%	-
30	1%	1%	1%	0,7%	-

Micro: Mezcla bituminosa en caliente en capa fina.

MB: Mezcla bituminosa en caliente.

TS: Tratamiento superficial.

S(%). Sellado del porcentaje % de las grietas aparecidas en superficie, suponiendo que en secciones con graveceemento o suelocemento aparecen cada 7 m, y en secciones con hormigón compactado cada 4 m.

J(%): Sellado del porcentaje % de juntas a resellar.

**Tabla A12.5. Escenarios de conservación en firmes con pavimento de hormigón en masa con juntas (se suponen T0, T1 con pasadores y T2, T3 y T4 sin pasadores)**

Años	Tráfico				
	T0	T1	T2	T3	T4
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	J (20%)	J (20%)	J (20%)	-	-
8	J (20%)	J (20%)	J (20%)	-	-
9	J (20%)+0,5%	J (20%)+0,5%	J (20%)+0,5%	-	-
10	J (20%)	J (20%)	J (20%)+0,5%	0,5%	-
11	J (20%)+0,5%	J (20%)+0,5%	J (20%)+0,5%	-	-
12	J (20%)	J (20%)	J (20%)	0,5%	-
13	J (20%)+0,5%	J (20%)+0,5%	J (20%)+0,5%	-	-
14	J (20%)	J (20%)	J (20%)	0,5%	-
15	J (20%)+0,5%	J (20%)+0,5%	J (20%)+0,5%	-	-
16	J (20%)	J (20%)	J (20%)	0,5 %	-
17	J (20%)+0,5%	J (20%)+0,5%	J (20%)+0,5%	-	-
18	J (20%)	J (20%)	J (20%)	0,5%	0,5%
19	J (20%)+1%	J (20%)+1%	J (20%)+1%	-	-
20	J (20%)+1%	J (20%)+1%	J (20%)+1%	0,5%	-
21	J (20%)+1%	J (20%)+1%	J (20%)+1%	-	0,5%
22	J (20%)+1%	J (20%)+1%	J (20%)+1%	0,5%	-
23	J (20%)+1%	J (20%)+1%	J (20%)+1%	-	-
24	J (20%)+1%	J (20%)+1%	J (20%)+1%	0,5%	0,5%
25	J (20%)+1%	J (20%)+1%	J (20%)+1%	-	-
26	J (20%)+1%	J (20%)+1%	J (20%)+1%	0,5%	-
27	J (20%)+1%	J (20%)+1%	J (20%)+1%	-	0,5%
28	J (20%)+1%	J (20%)+1%	J (20%)+1%	0,5 %	-
29	J (20%)+1%	J (20%)+1%	J (20%)+1%	-	-
30	15 cm MB	15 cm MB	10 cm MB	5 cm MB	5 cm MB

Micro: Mezcla bituminosa en caliente en capa fina. MB: Mezcla bituminosa en caliente. TS: Tratamiento superficial. S(%). Sellado del porcentaje % de las grietas aparecidas en superficie, suponiendo que en secciones con graveceamiento o suelocemento aparecen cada 7 m, y en secciones con hormigón compactado cada 4 m. J(%): Sellado del porcentaje % de juntas a resellar.









