



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingenieros de  
Caminos, Canales y Puertos

# ANTEPROYECTO DEL TRAMO DE CARRETERA N-232 A SU PASO POR HÍJAR (TERUEL). MODELADO BIM.

**Anejo III: Diseño de firmas.**

**TRABAJO FINAL DE GRADO**

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería de Obras Públicas

Curso: 2018/2019

Fecha: Valencia, septiembre 2019

Autor: Víctor José Baeza López

Tutor: José Ángel Aranda Domingo

# Índice

- 1. Introducción.....1
- 2. Categoría del tráfico pesado.....1
- 3. Diseño de la explanada.....1
- 4. Diseño del firme. ....3
  - 4.1. Estudio de los posibles firmes. ....3
  - 4.2. Diseño de la mezcla bituminosa.....5
  - 4.3. Riegos. ....7
- 5. Arcén.....7
- Apéndice 1: Capas del firme. ....8

## 1. Introducción.

Este anejo tiene como objetivo principal el dimensionamiento del firme de la carretera de estudio. Una vez conseguida la rasante de la carretera y ejecutadas las obras de canalizaciones se procederá al afirmado nuevamente de la travesía.

Buscaremos la mejor solución, basándonos en la Norma 6.1 IC “Sección de firmes”.

Para la elección de la explanada se ha considerado como condicionante más importante el tráfico que albergará, buscando el mejor equilibrio entre la economía y la calidad de dicha explanada.

## 2. Categoría del tráfico pesado.

Será necesario obtener los datos de Intensidad Media Diaria de vehículos pesados (IMDp) del Anejo I Estudio de tráfico, para este apartado.

Se estima el año de puesta en marcha el 2021, por tanto, el IMDp sería de **388** vehículos pesados al día.

La distribución de tráfico escogida para cada carril será igualitaria, repartiéndose cada carril del 50% del total. Así, el flujo de vehículos pesados por carril al día será de **189**.

Dicta el apartado 4 de la Norma 6.1 IC, ocho categorías de tráfico pesado distintas, en función del IMDp, mostrado en la *Tabla 1: Categoría de tráfico pesado*.

Introduciendo este dato en la tabla que nos facilita la Norma 6.1 IC para conocer la categoría del tráfico pesado, obtenemos finalmente que es la categoría **T31**.

TABLA 1.A. CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T00 A T2				
CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T00	T0	T1	T2
IMDp (vehículos pesados/día)	$\geq 4\,000$	$< 4\,000$ $\geq 2\,000$	$< 2\,000$ $\geq 800$	$< 800$ $\geq 200$

TABLA 1.B. CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T3 Y T4				
CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T31	T32	T41	T42
IMDp (vehículos pesados/día)	$< 200$ $\geq 100$	$< 100$ $\geq 50$	$< 50$ $\geq 25$	$< 25$

Tabla 1: Categoría de tráfico pesado 1. Fuente: Norma 6.1 IC.

## 3. Diseño de la explanada.

En este epígrafe, elegiremos la explanada en función de la categoría de tráfico. Cabe mencionar que realmente lo único que se cambiará en nuestra carretera es la capa del firme, pero calcularemos igualmente la explanada.

En la *Figura 1 - Formación de la explanada de la Norma 6.1 IC*, vemos todas las explanadas posibles en función del tipo de suelo existente. Al no tener un informe detallado del tipo de suelo por el que discurre la carretera, suponemos que se trata de un **suelo tolerable**, siendo precavidos.

En la Figura 2 - Sección de firme de la Norma 6.1 IC, se puede observar que para una categoría de tráfico T31, podemos usar las tres categorías de explanadas.

Para empezar a descartar, nos iremos a las restricciones que establece la Tabla 2- Materiales para explanadas de la Norma 6.1 IC. Ahí vemos entre otras condiciones, que el contenido de sulfatos solubles ( $SO_3$ ) debe ser  $<1\%$ . Esta condición es la más restrictiva que establece la categoría de suelo tolerable y como vemos en la Tabla 3 – Composición química del suelo del Art. 512 del PG-3, no podemos usar ningún suelo estabilizado. De esta forma descartamos las explanadas tipo 3 (E3).

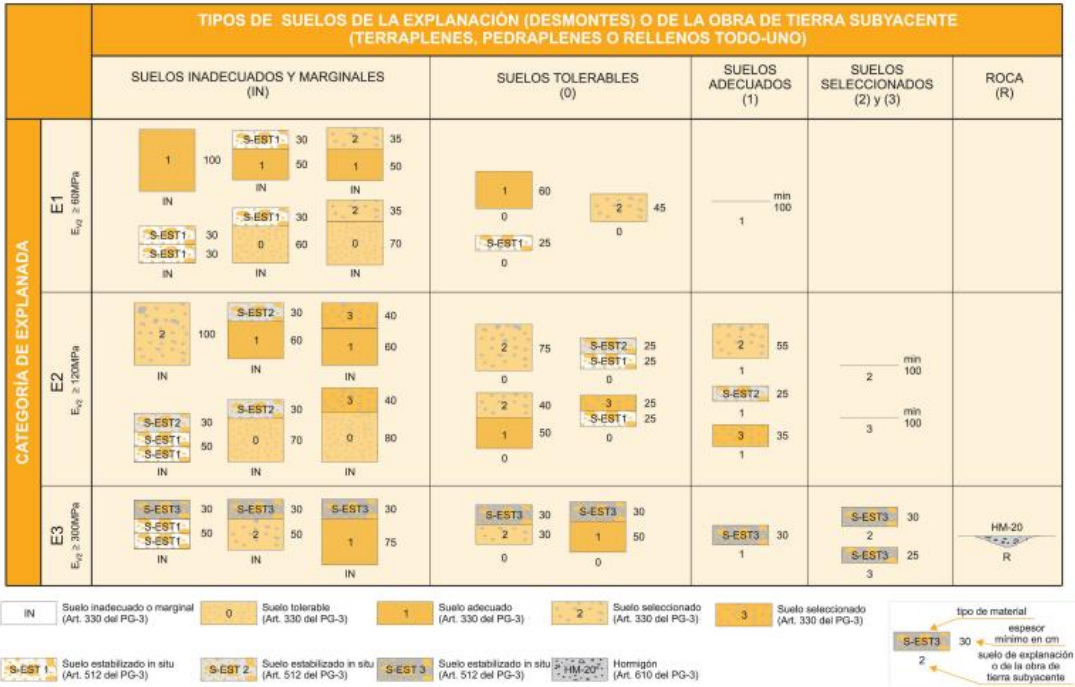


Figura 1: Formación de la explanada 1. Fuente: Norma 6.1 IC.

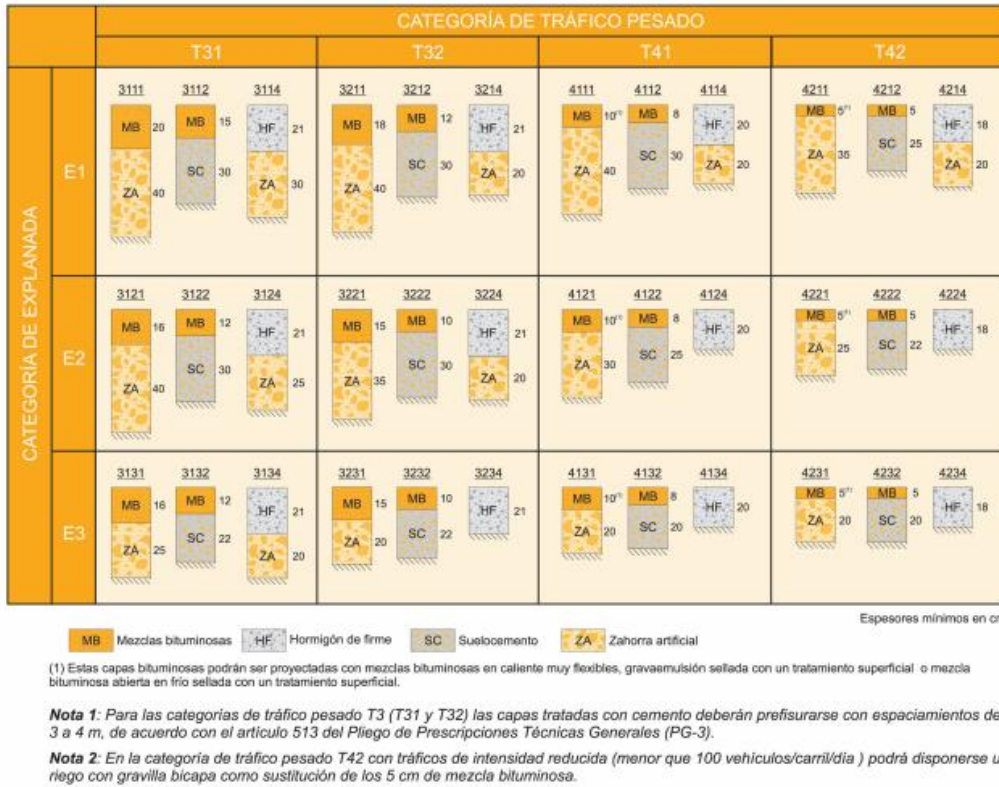


Figura 2 - Sección de firme. Fuente: Norma 6.1 IC.

SÍMBOLO	DEFINICIÓN DEL MATERIAL	ARTÍCULO DEL PG-3	PRESCRIPCIONES COMPLEMENTARIAS
IN	Suelo inadecuado o Marginal	330	- Su empleo sólo será posible si se estabiliza con cal o con cemento para conseguir S-EST1 o S-EST2.
0	Suelo tolerable	330	- CBR $\geq 3$ (*). - Contenido en materia orgánica $< 1\%$ . - Contenido en sulfatos solubles ( $SO_3$ ) $< 1\%$ . - Hinchamiento libre $< 1\%$ .
1	Suelo adecuado	330	- CBR $\geq 5$ (*) (**).
2	Suelo seleccionado	330	- CBR $\geq 10$ (*) (**).
3	Suelo seleccionado	330	- CBR $\geq 20$ (*)
S-EST1 S-EST2 S-EST3	Suelo estabilizado <i>in situ</i> con cemento o con cal	512	- Espesor mínimo: 25 cm. - Espesor máximo: 30 cm.

(\*) El CBR se determinará de acuerdo con las condiciones especificadas de puesta en obra, y su valor se empleará exclusivamente para la aceptación o rechazo de los materiales utilizables en las diferentes capas, de acuerdo con la figura 1.  
(\*\*) En la capa superior de las empleadas para la formación de la explanada, el suelo adecuado definido como tipo 1 deberá tener, en las condiciones de puesta en obra, un CBR  $\geq 6$  y el suelo seleccionado definido como tipo 2 un CBR  $\geq 12$ . Asimismo, se exigirán esos valores mínimos de CBR cuando, respectivamente, se forme una explanada de categoría E1 sobre suelos tipo 1, o una explanada de categoría E2 sobre suelos tipo 2.

Tabla 2 - Materiales para explanadas. Fuente: Norma 6.1 IC.

CARACTERÍSTICA	NORMA	UNIDAD	TIPO DE SUELO ESTABILIZADO		
			S-EST1	S-EST2	S-EST3
MATERIA ORGÁNICA (MO)	UNE 103204	% en masa	< 2	< 1	
SULFATOS SOLUBLES (SO <sub>3</sub> )	UNE 103201 <sup>(*)</sup>	% en masa	< 0,7 <sup>(**)</sup>		

Tabla 3 - Composición química del suelo. Norma: Art. 512 PG-3

Puesto que el resto de las explanadas posibles, ya cumplen las condiciones técnicas, introduciremos la variable económica para escoger la explanada final. Para ello utilizaremos la Tabla 4 - Base de precios de referencia de la DGT. Norma: Orden Circular 37/2016 del Ministerio de Fomento.

	MATERIAL	PRECIO (€/m <sup>3</sup> )
EXPLANADA	Suelo tolerable (0)	4,16
	Suelo adecuado (1)	4,16
	Suelo seleccionado (2 y 3)	5,87
	S-EST1	6,67
	S-EST2	7,25
FIRME	S-EST3	8,02
	HM-20 (Hormigón magro vibrado)	79,14
	HF (Hormigón de firmes)	139,59
	MB (Mezcla bituminosa)	26
	SC (Suelocemento)	21,81
	ZA (Zahorra artificial)	18,19

Tabla 4 - Base de precios de referencia de la DGT. Norma: Orden Circular 37/2016 del Ministerio de Fomento.

De esta forma, descartamos la explanadas tipo dos, decantándonos por:

“2”: 45 centímetros de espesor de suelo seleccionado tipo 2.

“0”: suelo tolerable existente.

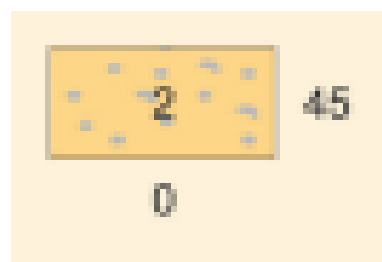


Figura 3 - Explanada seleccionada. Fuente: Norma 6.1 IC

## 4. Diseño del firme.

### 4.1. Estudio de los posibles firmes.

Entre las opciones posibles para la elección del firme, en una explanada de tipo dos y una categoría de tráfico T31, son los siguientes:

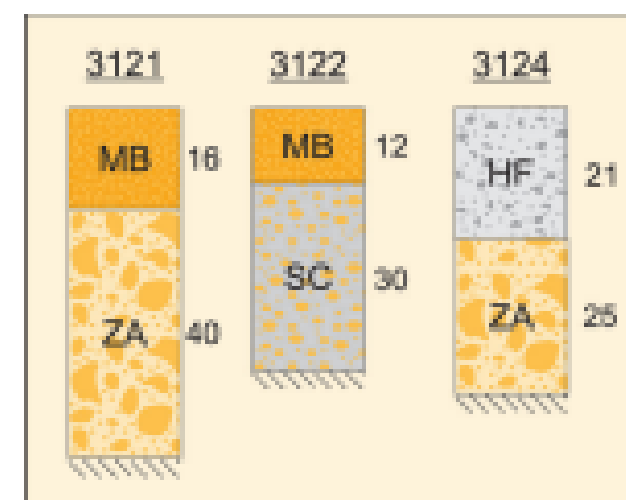


Figura 4 - Posibles firmes a utilizar. Fuente: Norma 6.1 IC.

Firme 3121:

- 16 cm - Mezclas bituminosas.
- 40 cm – Zahorra artificial.

Firme 3122:

- 12 cm – Mezclas bituminosas.
- 30 cm – Suelocemento.

Firme 3124:

- 21 cm – Hormigón de firme.
- 25 cm – Zahorra artificial.



Los criterios a tener en cuenta para la selección de uno de estos tres firmes son:

- Factores técnicos.
- Mapa de zonas térmicas estivales.
- Mapa de pluviometría.
- Factores económicos.

En un primer momento descartamos el firme 3124, por los siguientes motivos:

- El hormigón encarece el coste del firme.
- Existe mayor experiencia y empresas especializadas en firmes con mezclas bituminosas.
- El mantenimiento de la mezcla bituminosa es más económico que el de un pavimento de hormigón.
- El firme actual es de mezcla bituminosa, por lo que interesa hacerla igual para una mayor continuidad.

Estudiaremos a continuación, el mapa de pluviometría y el térmico de la zona de estudio.

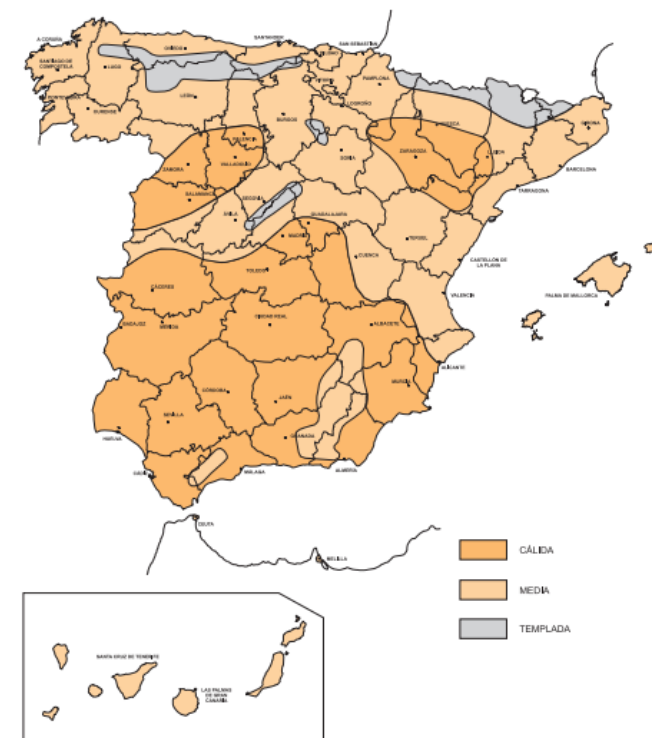


Figura 5 – Mapa de pluviometría. Fuente: Norma 6.1 IC.

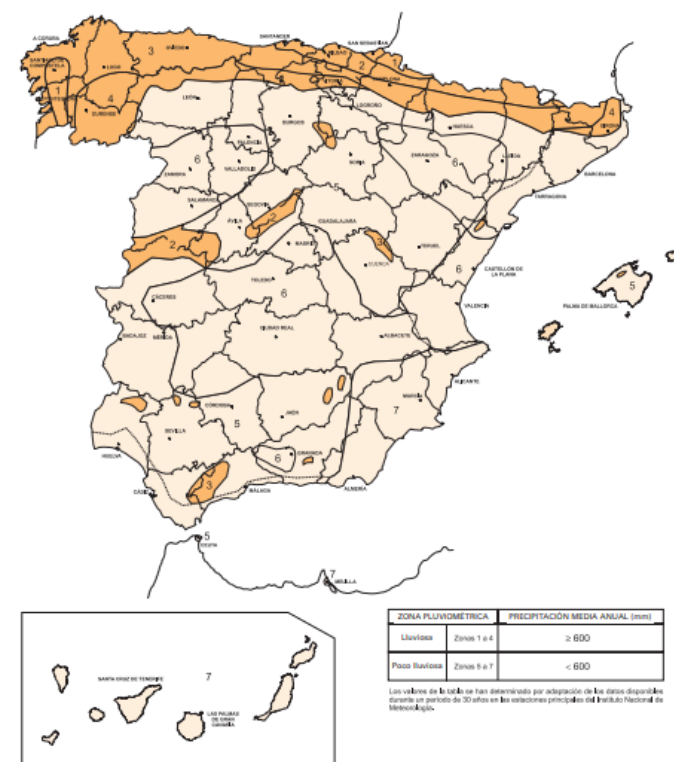


Figura 6 - Mapa térmico. Fuente: Norma 6.1 IC.

Híjar (Teruel) se encuentra en una zona cálida y de precipitación media anual menor a 600mm, por lo tanto, es una zona poco lluviosa.

Conociendo ahora estos datos, nos disponemos a explicar las ventajas y desventajas que ofrece usar un firme con zahorras y un firme con suelocemento:

Zahorras:

- Son más económicos.
- Favorecen un mejor drenaje de la calzada.
- Se adapta mejor a mayores asentamientos.
- Son adecuados cuando el freático es elevado.

Suelocemento:

- Desde un punto de vista estructural son mejores que las zahorras.
- Son más caros que las zahorras, pero al ser mejores estructuralmente, permiten una menor capa de rodadura. Esto explica que, en muchos casos, sean más baratos que un suelo con zahorras.
- No tiene una permeabilidad tan alta como las zahorras.

Teniendo en cuenta que el motivo de este anteproyecto es el diseño de nuevas canalizaciones que hagan que nuestra carretera de estudio no se inunde en periodos de fuertes lluvias, decidimos establecer una subbase de zahorra, ya que favorece un mejor drenaje y son más económicos. Por tanto, el firme a utilizar será el **3121**.

## 4.2. Diseño de la mezcla bituminosa.

Los espesores de cada capa vendrán determinados por la Tabla 5 - Espesores de mezcla bituminosa en caliente. Se buscará utilizar el menor número de capas posibles para una mayor continuidad. Hay que tener en cuenta que las capas inferiores deben ser siempre más gruesas que las superiores.

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA (*)	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
		T00 a T1	T2 y T31	T32 y T4 (T41 y T42)
Rodadura	PA	4		
	M	3	2-3	
	F			
	D y S		6-5	5
Intermedia	D y S	5-10 <sup>(**)</sup>		
Base	S y G	7-15		
	MAM	7-13		

(\*) Ver definiciones en tabla 5 o artículos 542 y 543 del PG-3.

(\*\*) Salvo en arcenes, para los que se seguirá lo indicado en el apartado 7.

Tabla 5 - Espesores de mezcla bituminosa en caliente. Fuente: Norma 6.1 IC.

Además, tendremos en cuenta la Tabla 6 - Tipo de mezcla en función del tipo y espesor de la capa, la Tabla 7 - Tipo de ligante hidrocarbonado a emplear en capa de rodadura y siguiente y la Tabla 8 - Tipo de ligante carbonado a emplear capa de base, bajo otras dos para la elección del tipo de mezcla.

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	ESPESOR (cm)
	DENOMINACIÓN NORMA UNE-EN 13108-1 (*)	
Rodadura	AC16 surf D AC16 surf S	4 - 5
	AC22 surf D AC22 surf S	>5
Intermedia	AC22 bin D AC22 bin S AC32 bin S AC22 bin S MAM (**)	5 - 10
Base	AC32 base S AC22 base G AC32 base G AC22 base S MAM (***)	7 - 15
Arcenes (****)	AC16 surf D	4 - 6

Tabla 6 - Tipo de mezcla en función del tipo y espesor de la capa. Fuente: Art. 542 del PG-3.

ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO					
	T00	T0	T1	T2 y T31	T32 y ARCENES	T4
Cálida	35/50 BC35/50 PMB 25/55-65 PMB 45/80-65	35/50 BC35/50 PMB 25/55-65 PMB 45/80-60 PMB 45/80-65	35/50 50/70 BC35/50 BC50/70 PMB 45/80-60	50/70 BC50/70	50/70 BC50/70	
Media	35/50 BC35/50 PMB 45/80-60 PMB 45/80-65	35/50 50/70 BC35/50 BC50/70 PMB 45/80-60	50/70 BC50/70 PMB 45/80-60	50/70 70/100 BC50/70		
Templada	50/70 BC50/70 PMB 45/80-60 PMB 45/80-65	50/70 70/100 BC50/70 PMB 45/80-60				

Tabla 7 - Tipo de ligante hidrocarbonado a emplear en capa de rodadura y siguiente. Fuente: Art. 542 del PG-3.

ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
	T00	T0	T1	T2 y T3
Cálida			35/50 50/70 BC35/50 BC50/70	50/70 BC50/70
Media			35/50 50/70 BC35/50 BC50/70	50/70 70/100 BC50/70
Templada			50/70 70/100 BC50/70	70/100

Tabla 8 – Tipo de ligante carbonado a emplear capa de base, bajo otras dos. Fuente: Art. 542 del PG-3.

Descartamos poner capa intermedia, pues únicamente tenemos 16 cm de mezcla bituminosa. Además, al estar en zona cálida y de bajas precipitaciones, descartamos una mezcla bituminosa drenante (PA). Por otro lado, nos decantamos por una mezcla en caliente densa o semidensa. Utilizamos un betún modificado con caucho (BC 50/70), ya que el caucho procedente de los neumáticos en desuso mejora la calidad de las mezclas, además de poseer grandes ventajas medioambientales.

El firme final calculado es:

Mezcla Bituminosa:

- Rodadura: 6 cm deMBC tipo AC16 Surf BC 50/70 S.
- Base: 10 cm de MBC tipo AC32 Base BC 50/70 G.

Por otro lado, nuestro tutor de Trabajo Final de Grado, José Ángel Aranda, nos comunicó que el firme actual es el siguiente:

- Rodadura: 6 cm de MBC tipo AC22 surf 50/70 S SILICEO.
- Intermedia: 6 cm de MBC tipo AC22 bin 50/70 S CALIZO.
- Base: 8 cm de MBC tipo AC32 base 50/70 G CALIZO.



Estudiando estos datos, vemos que se trata de un firme perteneciente a la categoría de tráfico T2 y una categoría de explanada tres. Siendo más concisos, deducimos que se trata del firme 231.

Por tanto, viendo que el firme otorgado por nuestro tutor es el existente actualmente y sobretodo, es más restrictivo que el seleccionado por nosotros pues pertenece a una categoría de tráfico superior, elegimos el firme actual, pues le aportará una continuidad a la carretera que favorecerá a que tenga una mayor vida útil.

### 4.3. Riegos.

#### Riegos:

Define a Norma 6.1 IC los siguientes tipos de riegos:

- Riego de imprimación: Sobre la capa granular que vaya a recibir una capa de mezcla bituminosa o un tratamiento superficial, deberá efectuarse, previamente, un riego de imprimación, definido en el artículo 530 del PG-3.
- Riego de adherencia: Sobre las capas de materiales tratados con cemento y las capas de mezcla bituminosa que vayan a recibir una capa de mezcla bituminosa deberá efectuarse, previamente, un riego de adherencia, definido en el artículo 531 del PG-3. La correcta ejecución de este riego es fundamental para el buen comportamiento del firme.
- Riego de curado: Sobre las capas tratadas con un conglomerante hidráulico se proyectará un riego de curado, definido en el artículo 532 del PG-3.

De acuerdo con la UNE-EN 13808, la nomenclatura a seguir en emulsiones catiónicas es la siguiente:

DENOMINACIÓN UNE-EN 13808	APLICACIÓN
C60B3 ADH C60B2 ADH	Riegos de adherencia
C60B3 TER C60B2 TER	Riegos de adherencia (termoadherente)
C60BF4 IMP C50BF4 IMP	Riegos de imprimación
C60B3 CUR C60B2 CUR	Riegos de curado
C60B4 MIC C60B5 MIC	Microaglomerados en frío
C60B5 REC	Reciclados en frío

Tabla 9: Emulsiones catiónicas. Fuente: art. 214 del PG-3.

Por tanto, los riegos a utilizar son:

- Entre capas de mezclas bituminosas: Riego de adherencia con emulsión C60B3 ADH.
- Entre capa de mezcla bituminosa y la subbase de zahorra artificial: Riego de imprimación con emulsión C50BF4 IMP.

### 5. Arcén.

No disponemos de arcén en nuestro tramo de estudio.



Apéndice 1: Capas del firme.

6 CM - MBC tipo AC22 surf 50/70 S SILICEO
6 CM - MBC tipo AC22 surf 50/70 S CALIZO
8 CM - MBC tipo AC32 surf 50/70 G CALIZO
25 CM - ZAHORRA ARTIFICIAL
EXPLANADA EXISTENTE

- 1 - Riego de adherencia con emulsión C60B3 ADH
- 2 - Riego de adherencia con emulsión C60B3 ADH
- 3 - Riego de imprimación con emulsión C50Bf4 IMP