



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

ANEJO: FIRMES

Estudio de mejora del acceso al polígono industrial San Cristóbal y reparación de la N-344 en Fuente la Higuera (Valencia).

AUTORA:

JUDIT MUÑOZ LÓPEZ

TUTORES:

ÁLVARO CUADRADO TARODO

DAVID LLOPIS CASTELLÓ

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO.....	2
3. EXPLANADA.....	3
4. DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME.....	5
4.1. Sección de firme	5
4.2. Mezcla bituminosa.....	6
4.2.1. Rango de espesores.....	6
4.2.2. Espesores y tipo de mezcla finales	7
4.2.3. Ligantes	8
4.2.4. Riegos	11
5. SOLUCIÓN PROPUESTA	11
6. MEJORA DE LA CARRETERA N-344.....	12
7. CONCLUSIÓN	12

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Formación de la explanada. Fuente: Norma 6.1-IC.	4
Figura 2. Catálogo de secciones de firme para las categorías de tráfico pesado T00 a T2 en función de la categoría de explanada. Fuente: Norma 6.1-IC.	5
Figura 3. Zonas térmicas estivales. Fuente: Norma 6.1-IC.	9

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Intensidad media diaria de pesados. Fuente: Elaboración propia.....	2
Tabla 2. Categorías de tráfico pesado T00 a T2. Fuente: Norma 6.1-IC.	3
Tabla 3. Categorías de tráfico pesado T3 a T4. Fuente: Norma 6.1-IC.	3
Tabla 4. Módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga. Fuente: Norma 6.1-IC.	3
Tabla 5. Materiales para la formación de las explanadas. Fuente: Norma 6.1-I.C.	4
Tabla 6. Espesor de capas de mezcla bituminosa en caliente. Fuente: Norma 6.1-IC.	7
Tabla 7. Tipo de mezcla en función del tipo y espesor de la capa. Fuente: Norma 6.1-IC.	8
Tabla 8. Tipo de ligante hidrocarbonatado a emplear en capa de rodadura y siguiente. Fuente: G-3 Art.542.....	10
Tabla 9. Tipo de ligante hidrocarbonatado a emplear en capa de base, bajo otras dos. Fuente: PG-3. Art. 542.....	10
Tabla 10. Dotación mínima de ligante. Fuente: PG-3 Art. 542.	11
Tabla 11. Sección propuesta del firme. Fuente: Elaboración propia.....	12

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente anejo es la ejecución del diseño del firme de la N-344 y de la intersección de entrada al polígono San Cristóbal. Para esto, se va a utilizar la Norma 6.1-IC Secciones de Firme (publicada en el B.O.E. el 12 de diciembre de 2003) en la cual se establecen los criterios básicos que han de ser considerados en el proyecto de los firmes de carreteras.

Para dimensionar el firme, es necesario conocer la intensidad del tráfico que se prevé que va a circular por la intersección en el año horizonte (cuando el polígono estará en su máximo rendimiento), para así obtener la categoría de la explanada.

Los factores a analizar para la elección de la sección de firme en base a la Instrucción de Secciones de Firme 6.1-IC son:

- Categoría de tráfico pesado
- Categoría de la explanada
- Materiales para la sección

Una vez analizados estos factores se seleccionan las posibles soluciones de las establecidas en el catálogo de firmes de la Instrucción 6.1-I.C., las cuales deben cumplir con los requisitos anteriores, descartando las secciones inadecuadas.

Finalmente, se escogerá el paquete de firmes más adecuado en función de las características existentes en el acceso estudiado.

2. CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO

El firme debe estar adaptado al comportamiento del tráfico esperado durante su vida útil, sobretodo al comportamiento del tráfico pesado. A causa de esto, la selección de la estructura del firme dependerá de la intensidad media diaria de vehículos pesados en el año horizonte (IMD₂₀₄₂), ya que en dicho año el polígono industrial se encontrará en su máximo rendimiento y por lo tanto la intensidad de tráfico también.

En la Tabla 1 se muestra la intensidad media diaria de pesados de ambas carreteras calculadas en el Anejo de Análisis del tráfico.

CV-653		N-344	
IMD _{p2042}	442	IMD _{p2042}	1432

Tabla 1. Intensidad media diaria de pesados. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, en la carretera CV-653 la intensidad media diaria de pesados que se prevé es de 442 vehículos pesados por día. Por lo que en base a la normativa vigente (Norma 6.1-IC. Secciones de firme [(Ministerio de fomento, 2003)]) la categoría de tráfico pesado en esta carretera es T31, tal y como se muestra en la Tabla 2.

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

Tabla 2. Categorías de tráfico pesado T00 a T2. Fuente: Norma 6.1-IC.

De la misma forma, en base a la Tabla 3, se escoge la categoría de tráfico pesado en la carretera N-344. Esta al prever una intensidad media diaria de pesados de 1432 vehículos pesados por día, la categoría correspondiente es T2.

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T31	T32	T41	T42
IMDp (vehículos pesados/día)	< 200 ≥ 100	< 100 ≥ 50	< 50 ≥ 25	< 25

Tabla 3. Categorías de tráfico pesado T3 a T4. Fuente: Norma 6.1-IC.

3. EXPLANADA

La explanada es la superficie del cimiento del firme. Por lo que en la fase de construcción y en el año horizonte se debe asegurar que esta tenga regularidad en la superficie. Además, esta debe drenar correctamente las aguas pluviales y tener una capacidad de soporte adecuada.

En base a la Norma 6.1-IC (orden FOM/3460/2003) se determinan tres categorías de explanadas. La categoría dependerá del módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga (E_{v2}) tal y como se muestra en la Tabla 4.

CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1	E2	E3
E_{v2} (MPa)	≥ 60	≥ 120	≥ 300

Tabla 4. Módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga. Fuente: Norma 6.1-IC.

Además de la categoría de explanada, la Norma 6.1-IC clasifica tanto los tipos de suelo de la explanación o de la obra de tierra subyacente como los espesores de los materiales.

En base a los resultados obtenidos en el Anejo de Geología y geotecnia, y con la Tabla 5 obtenida de la Norma 6.1-IC, se tiene un suelo seleccionado 3, ya que el CBR es bastante superior a 20.

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 ≥ 3 (*). – Contenido en materia orgánica < 1%. – Contenido en sulfatos solubles (SO ₃) < 1%. – Hinchamiento libre < 1%.
1	Suelo adecuado	330	– CBR ≥ 5 (*) (**).
2	Suelo seleccionado	330	– CBR ≥ 10 (*) (**).
3	Suelo seleccionado	330	– CBR ≥ 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.

Tabla 5. Materiales para la formación de las explanadas. Fuente: Norma 6.1-I.C.

Una vez determinado el tipo de suelo, con ayuda de la Figura 1 se observa que existen dos posibilidades de explanada para el suelo seleccionado 3. La primera opción es realizar una explanada E2, con 1 metro mínimo de material seleccionado subyacente; mientras que la otra opción es una explanada E3, con 25 cm de suelo estabilizado, S-EST3.

En este caso, al tratarse de una ampliación del firme existente y que esta es una obra pequeña, no sale rentable la utilización de la maquinaria necesaria para la ejecución de suelo estabilizado S-EST3. A causa de esto, se escoge la categoría de explanada E2.

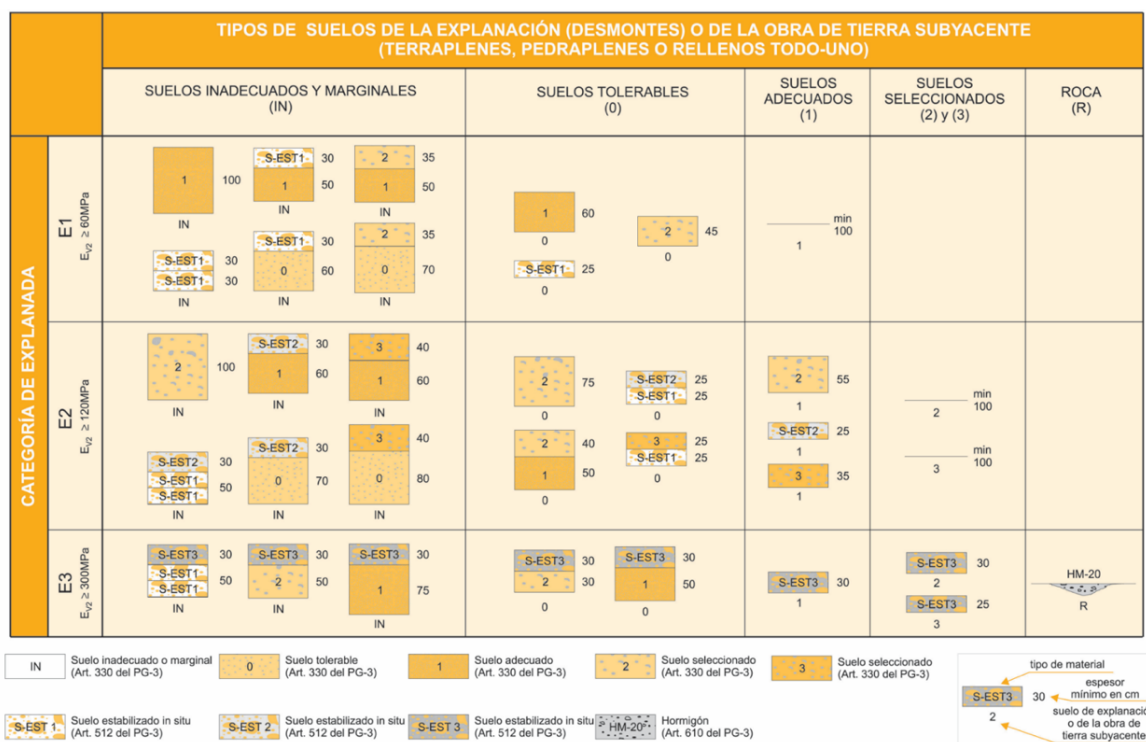


Figura 1. Formación de la explanada. Fuente: Norma 6.1-IC.

4. DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME

Como se ha explicado anteriormente dicha carretera corresponde a una categoría de tráfico pesado T2 y la categoría de la explanada existente E2.

4.1. Sección de firme

La Instrucción 6.1-I.C. Secciones de Firmes presenta un catálogo de secciones de firme para las distintas categorías de tráfico pesado. Las capas más superficiales del paquete de firmes deben ofrecer una superficie de rodadura segura, cómoda y que sus características en toda su vida útil no se vean modificadas. También deben proteger a la explanada de los efectos meteorológicos y, resistir y repartir las cargas que provoca el tráfico.

De todas las secciones posibles se descarta el uso de pavimentos de hormigón vibrado a causa de las desventajas nombradas a continuación:

- Se necesita una buena continuidad y homogeneidad con los tramos contiguos.
- Es un pavimento muy ruidoso que puede llegar a causar molestias en los usuarios.
- La ejecución de los pavimentos de hormigón es más costosa que el de mezclas bituminosas.
- Generalmente se tiene menos experiencia en la realización de este tipo de pavimentos.
- Se necesitan máquinas más específicas para su ejecución.

Para las categorías obtenidas en la N-344, consultando la Figura 2, se tienen cuatro posibles de secciones de firme.

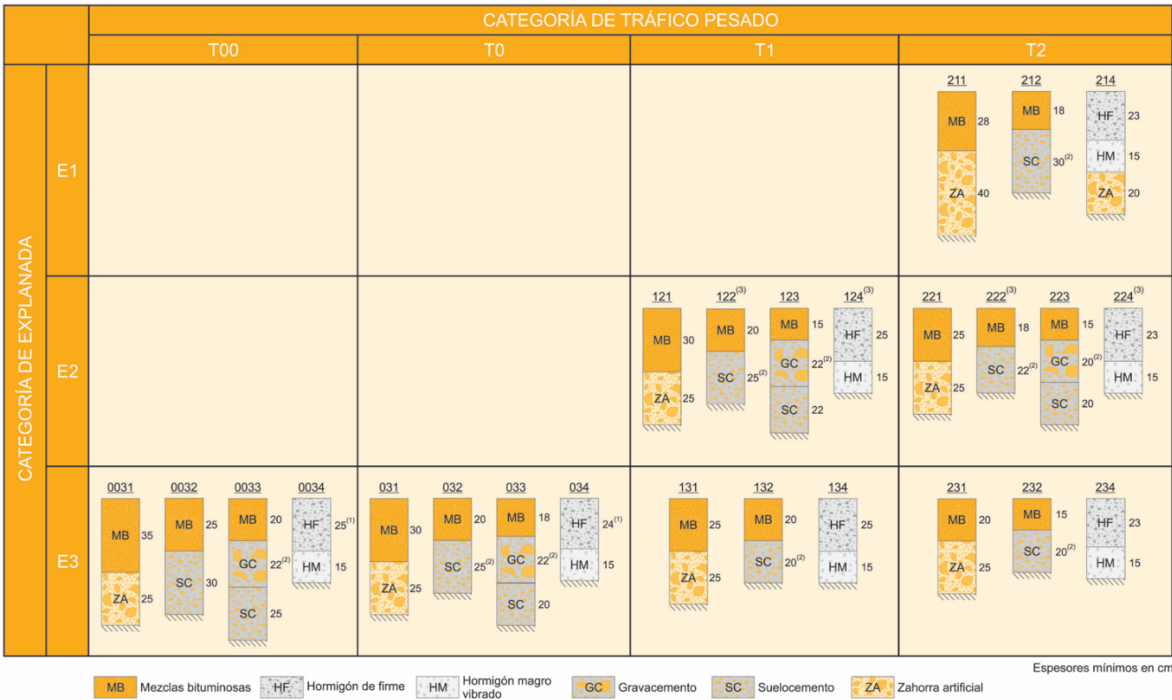


Figura 2. Catálogo de secciones de firme para las categorías de tráfico pesado T00 a T2 en función de la categoría de explanada. Fuente: Norma 6.1-IC.

Como se ha explicado anteriormente la sección 224 se descarta al estar compuesta por hormigón magro vibrado.

La sección 222 está compuesta por mezcla bituminosa y suelocemento. Esta también se descarta por criterios económicos basados en la experiencia, ya que la obra a realizar es muy pequeña por lo que no se rentabiliza el coste de la maquinaria necesaria para su ejecución. Además, también sería necesario prefisurar la capa tratada con cemento cada 3-4 cm, por lo que esto aumentaría aun más el coste y el tiempo de ejecución.

Lo mismo ocurre con la sección 223 compuesta por mezcla bituminosa, suelocemento y gravacemento.

Finalmente, la sección de firme escogida es la 221, ya que se trata de un firme flexible compuesto una capa de 25 cm de zahorra artificial bajo 25 cm de mezcla bituminosa.

4.2. Mezcla bituminosa

Se utilizará una mezcla bituminosa en caliente de tipo “Hormigón Bituminoso”. Se ha escogido esta mezcla por haber sido descartada la mezcla discontinua, a causa de la insuficiente intensidad de tráfico de la vía. Además, al tratarse de una glorieta esta mezcla tiene muchos huecos y los áridos se acaban soltando lo que puede causar problemas de colmatación.

Esta mezcla bituminosa se realiza agregando betún asfáltico, áridos con granulometría continua, polvo mineral y, a veces aditivos. Una vez realizada la mezcla las partículas del árido quedan recubiertas por una película homogénea de ligante, por esto la fabricación y puesta en obra se debe ejecutar a una temperatura muy superior a la temperatura ambiente.

Los pavimentos bituminosos tienen las siguientes ventajas:

- Mayor experiencia y maquinaria adecuada para una buena ejecución.
- No hay limitaciones por causas térmicas ni meteorológicas.
- Mayor homogeneidad del firme con los tramos contiguos.
- Rodadura más cómoda para los usuarios.
- La ejecución es menos costosa que la de hormigón.
- Aunque se necesite una mayor conservación, estas son más simples y económicas.

4.2.1. Rango de espesores

En la Tabla 6 se muestran los rangos de espesores que deben tener las capas de mezcla bituminosa según la Norma 6.1-I.C.

En este caso se va a disponer el siguiente rango de espesores correspondiente a las categorías de tráfico T2 y T31:

En la capa de rodadura se va a disponer de una capa de 2-3 cm de espesor de M o de una capa de 5-6 cm de espesor de D o S. Al ser una zona poco lluviosa no se dispondrán mezclas drenantes (PA).

En la capa intermedia se va a disponer de 5-10 cm de espesor de D o S.

En la capa de base se va a disponer de 7-15 cm de espesor de S o G.

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 ^(**)		
Base	S y G	7-15		
	MAM	7-13		

Tabla 6. Espesor de capas de mezcla bituminosa en caliente. Fuente: Norma 6.1-IC.

4.2.2. Espesores y tipo de mezcla finales

La mezcla bituminosa tiene un espesor total de 25 cm, por lo que basándose en la Tabla 7 extraída del artículo 542 del PG-3, la distribución de las capas nombradas en el apartado anterior será la siguiente:

En la capa de rodadura se va a colocar una mezcla bituminosa tipo hormigón bituminoso semidensa de 5 cm de espesor. La mezcla será una AC16 Surf S y el tipo de ligante se determinará en el siguiente apartado.

En la capa intermedia se ha decidido colocar una mezcla AC22 Bin S de 8 cm de espesor.

Por último, en la capa base se va a colocar una mezcla AC32 base G de 12 cm de espesor, ya que es este es el espesor que falta para cubrir los 25 cm totales.

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 AC 22 bin S MAM (**)	5-10
BASE	AC32 base S AC22 base G AC32 base G AC 22 base S MAM (***)	7-15
ARCENES(****)	AC16 surf D	4-6

Tabla 7. Tipo de mezcla en función del tipo y espesor de la capa. Fuente: Norma 6.1-IC.

4.2.3. Ligantes

Para escoger el tipo de ligante bituminoso y la relación entre la dosificación en masa y la del polvo mineral, se ha consultado la zona térmica estival correspondiente al acceso y a la carretera a mejorar.

Para ello se ha consultado la Figura 3, donde se puede observar que la localización del acceso está justo en el límite entre la zona media y la cálida, pero debido a que la carretera N-344 se dirige hacia la zona cálida y escogiendo también la zona más desfavorable, se ha asignado la categoría de zona cálida.

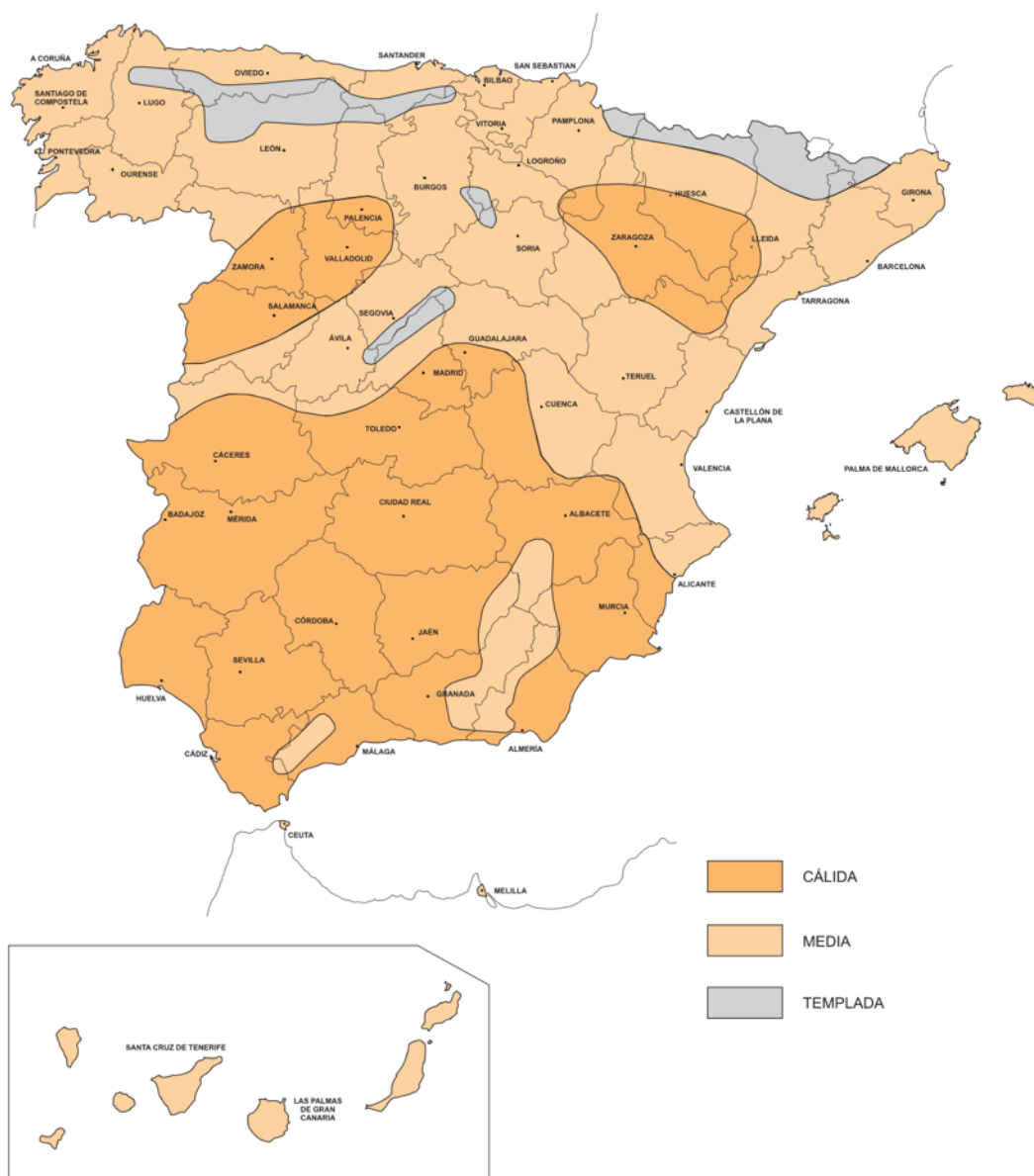


Figura 3. Zonas térmicas estivales. Fuente: Norma 6.1-IC.

Una vez asignada la zona térmica estival se pasa a determinar los ligantes de la capa de rodadura y siguiente, es decir en la capa intermedia, en base a la Tabla 8.

Para la zona térmica estival cálida y una categoría de tráfico pesado T2 se escoge un ligante bituminoso modificado BC-35/50, ya que este al ser un betún modificado a partir de polvo de caucho, que procede de la trituración de neumáticos fuera de uso, es la opción más respetuosa con el medio ambiente y la más económica.

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 70/100 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 8. Tipo de ligante hidrocarbonatado a emplear en capa de rodadura y siguiente. Fuente: G-3 Art.542.

Del mismo modo se determina el tipo de ligante en la capa base. En este caso, entre las opciones mostradas en la Tabla 9 se ha escogido un ligante bituminoso modificado BC-50/70.

ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
	T00	T0	T1	T2 y T3
CÁLIDA	35/50 BC35/50 PMB 25/55-65		35/50	50/70 BC50/70
MEDIA			50/70 BC35/50 BC50/70	50/70 70/100 BC50/70
TEMPLADA	50/70 70/100 BC50/70		70/100	

Tabla 9. Tipo de ligante hidrocarbonatado a emplear en capa de base, bajo otras dos. Fuente: PG-3. Art. 542.

Finalmente, en la Tabla 10 se puede ver la dotación mínima de ligante hidrocarbonado para mezclas bituminosas en caliente que deberá contener dependiendo del tipo de ligante escogido anteriormente. En este caso la capa de rodadura y la intermedia tendrán una dotación mínima de un 4,5% y la capa de base, para una mezcla semidensa y gruesa tendrá un 4% como mínimo.

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	DOTACIÓN MÍNIMA (%)
RODADURA	densa y semidensa	4,50
INTERMEDIA	densa y semidensa	4,00
	alto módulo	4,50
BASE	semidensa y gruesa	4,00
	alto módulo	4,75

Tabla 10. Dotación mínima de ligante. Fuente: PG-3 Art. 542.

4.2.4. Riegos

En la sección de firme escogida se van a realizar dos tipos distintos de riegos, de imprimación y de adherencia.

- Riego de imprimación:

Este consiste en aplicar un ligante sobre una superficie sin tratar para prepararla y garantizar la adherencia entre la emulsión bituminosa y la capa granular.

Tal y como define el artículo 214 del Pliego de Carreteras (PG-3) se realizará una emulsión C60BF4 IMP, siempre y cuando esta sea compatible con el material granular que se tenga, en este caso de la zahorra natural.

Además, se debe hallar la dotación de la emulsión bituminosa a utilizar. Esta se calcula observando la cantidad que es capaz de absorber la capa imprimada en 24 horas. Cabe destacar que la dotación no debe ser inferior a quinientos gramos por metro cuadrado (500g/m²) de ligante residual.

- Riego de adherencia:

Este tipo de riego aplica una emulsión bituminosa sobre la capa previamente tratada para garantizar la adherencia entre las capas bituminosas y las capas de materiales tratados con cemento.

Según el artículo 214 del Pliego de Carreteras (PG-3) el riego se realiza con una emulsión bituminosa C60B3 ADH. Con respecto a dotación necesaria, esta debe ser superior a doscientos gramos por metro cuadrado (200g/m²) de ligante residual.

5. SOLUCIÓN PROPUESTA

Una vez determinados los materiales y los espesores de todas las capas necesarias para el dimensionamiento del firme, se ha realizado una esquema en el que se puede ver de manera gráfica las distintas capas con sus respectivas características. De esta forma se pretende conseguir una mayor comprensión de la disposición del firme y la explanada ya existente de categoría E2.

	Espesor	Capa	Material
Sección firme	5 cm	Rodadura	Mezcla bituminosa en caliente AC16 Surf S, dotación de ligante 4.5% de BC-35/50
		Riego adherencia	Emulsión bituminosa C60B3 ADH
	8 cm	Intermedia	Mezcla bituminosa en caliente AC22 Bin S, dotación de ligante 4.5% de BC-35/50
		Riego adherencia	Emulsión bituminosa C60B3 ADH
	12 cm	Base	Mezcla bituminosa en caliente AC32 base G, dotación de ligante 4% de BC50/70
		Riego imprimación	Emulsión bituminosa C60BF4 IMP
	25 cm	Base granular	Zahorra artificial ZA 0/32
	100 cm	Explanada E2	Suelo seleccionado 3
		Suelo subyacente	Suelo seleccionado 3

Tabla 11. Sección propuesta del firme. Fuente: Elaboración propia.

6. MEJORA DE LA CARRETERA N-344

El firme actual de la carretera N-344 presenta varios parches a lo largo de su recorrido. Aún así este se encuentra en buenas condiciones. Sin embargo, sería conveniente realizar una serie de comprobaciones para verificar el estado final que se encuentra el mismo, y una campaña de deflexiones, aplicando la Norma 6.3-IC "Rehabilitación de firmes" (Ministerio de fomento, 2003).

También sería conveniente comprobar si el firme es capaz de soportar las cargas y deformaciones provocadas por el aumento de tráfico previsto en el año horizonte a causa del polígono industrial. Aunque cabe destacar que por esta carretera antes de que se realizase la autovía A-33 soportaba una gran cantidad de tráfico sobretodo de vehículos pesados por lo que se supone que la sección que esta tiene actualmente es adecuada para soportar el tráfico estimado en toda su vida útil.

A causa de un parche situado muy próximo al acceso, se va a realizar un fresado con su posterior capa de rodadura a continuación de la rotonda para asegurar un buen comportamiento del firme en toda su vida útil.

7. CONCLUSIÓN

En este anejo se ha detallado cada una de las capas del firme a realizar. Se ha comenzado identificando la categoría de tráfico pesado (T2) y de explanada (E2). Seguidamente se ha realizado el dimensionamiento del firme, compuesto por mezclas bituminosas y zahorra detallando cada una de las distintas capas. Por último, se han determinado los tipos de riego a realizar dependiendo del dimensionamiento anterior. Con todo esto, este anejo ha cumplido con todos los objetivos a realizar.