



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ANEJO Nº10

FIRMES

Autor:

Victor Manuel Ramos Melendez

Tutor:

Francisco Javier Camacho Terregosa

Cotutor:

David Llopis Castelló





ÍNDICE

1. Introducción.....	4
2. Categoría del tráfico	4
3. Explanada.....	4
4. Firme	6
4.1. Zahorra artificial o Suelo-Cemento	6
4.2. Mezcla bituminosa	7
4.2.1. Capa Base e intermedia.....	8
4.2.2. Capa rodadura.....	9
5. Arcén	10
6. Riego	10
7. Conclusión.....	10
8. Bibliografía.....	11



1. Introducción

El nuevo trazado de la CV-790 necesitará contar con un buen firme sobre el cual se apoyen los vehículos, soportando las cargas generadas por el tráfico, especialmente las transmitidas por los vehículos pesados los cuales son los que definen las características de la explanada y el firme.

En el presente anejo se realizará el diseño de las capas del firme siguiendo la Norma 6.1 IC Secciones de firme, de la Instrucción de Carreteras (2003).

Se tomarán como fuente de información iniciales, los datos obtenidos en los anejos correspondientes al estudio del tráfico y el estudio geológico y geotécnico.

2. Categoría del tráfico

La categoría del tráfico necesaria para el diseño del firme y la explanada viene dada por la cantidad de vehículos pesados que transitan por el sentido con más demanda, es decir, por la IMD de pesados del sentido más cargado para el año de puesta en servicio.

En el Anejo Nº5 Estudio del tráfico se ha obtenido que la Intensidad Media Diaria (IMD) de vehículos pesados es de 171 para el año de puesta en servicio en la totalidad de la carretera. Sin embargo, en el sentido más demandado, correspondiente al sentido Benilloba-Cocentaina, el cual representa un 60% del total, esta cantidad se reduce a 103 veh/d.

Con esta cantidad de vehículos pesados, la categoría de tráfico pesado de la carretera es de una T31 (Imagen 1).

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

Imagen 1: Categoría de tráfico pesado Fuente: Norma 6.1 IC

3. Explanada

La explanada es el elemento sobre el cual se apoya el firme, es por esto por lo que debe ser diseñada y dimensionada correctamente y tomando todas las previsiones posibles. Para el diseño de la explanada se debe tener cuenta el terreno de la zona afectada y de los posibles terrenos de préstamo que se puedan obtener.

De acuerdo con el Anejo Nº 3 Geología y geotecnia, se ha concluido que el suelo por el que discurre la traza de la carretera se clasifica como un suelo marginal.

Siendo la capa de tierra subyacente bajo la explanada de un material con tan pocas cualidades, las opciones de explanada que ofrece la Norma 6.1 son bastante variadas, con hasta 15 opciones de explanada posible (Imagen 2).

		TIPOS DE SUELOS DE LA EXPLANACIÓN (DESMONTES) O DE LA OBRA DE TIERRA SUBYACENTE (TERRAPLENES, PEDRAPLENES O RELLENOS TODO-UNO)				
		SUELOS INADECUADOS Y MARGINALES (IN)	SUELOS TOLERABLES (O)	SUELOS ADECUADOS (1)	SUELOS SELECCIONADOS (2) y (3)	ROCA (R)
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1 E ₁₀ ≥ 60cm	 1 100 1 30 2 35 IN IN IN 1 30 1 30 2 35 IN IN IN	 1 60 2 45 0 25 0 0	 min 100 1		
	E2 E ₁₀ ≥ 70cm	 2 100 1 60 3 40 IN IN IN 1 30 1 30 3 40 IN IN IN	 2 75 1 25 25 25 0 0 0 2 40 3 25 1 25 0 0 0	 2 55 1 25 1 25 3 35	 min 100 2 min 100 3	
	E3 E ₁₀ ≥ 300cm	 1 30 1 30 1 30 IN IN IN 1 30 1 30 1 30 IN IN IN	 1 30 1 30 1 30 0 0 0 2 30 1 30 1 30 0 0 0	 1 30 1 30 1 30	 2 30 2 25 3 25	 HM-20 R

Imagen 2: Tipos de suelos de explanación Fuente: Norma 6.1 IC

Debido a que la cantidad de vehículos pesados que transitan por la carretera es bastante reducida, se optará por la explanada más sencilla entre todas las disponibles en la Norma 6.1 IC de la Instrucción de Carreteras, es decir la explanada E1. La cual permitirá reducir el espesor de la explanada y aumentará ligeramente la de firme.



Esta explanada puede lograrse de 6 maneras distintas dependiendo del tipo de suelo que se utilice y el tratamiento o no de este. Se pueden utilizar suelos seleccionados, adecuados y tolerables, así como estabilizado del tipo 1 (S-EST1).

Haciendo uso del Artículo 512: Suelos estabilizados in situ (PG3), en el “**ANEJO Nº2 GEOLOGÍA Y GEOTECNA**” se ha obtenido que el suelo procedente de las excavaciones y desmontes cumple con las características necesarias para la realización de una estabilización in situ con cal S-EST 1.

Debido a que todas las opciones son posibles de ejecutar, se realizará una valoración económica en base a distintos precios encontrados en la Base de Precios de la Dirección General de Carreteras (2021), y de proyectos antiguos, haciendo así un estimado en el precio de una explanada (imagen 2).

Unidad	Descripción	Precio(€)
m ³	Terraplén de suelo tolerable (CBR > 3) con productos de préstamo proveniente de cantera incluyendo material, transporte, extendido, humectación y compactación totalmente terminado	4,62
m ³	Terraplén a partir de suelo adecuado procedente de préstamos de cantera CBR > 3, incluyendo material, transporte, extendido, humectación y compactación totalmente terminado	6,5
m ³	Terraplén a partir de suelo seleccionado procedente de préstamos de cantera CBR > 20 en coronación, incluyendo material, transporte, extendido, humectación y compactación totalmente terminado	7,4
m ³	Suelo estabilizado "in situ" con cemento o cal, tipo S-EST1 con tierras provenientes de excavación, extendido y compactado incluso la carga y transporte, preparación de la mezcla, humectación o secado y preparación de la superficie totalmente terminada	7,29

Tabla 2: Precio por metro cubico de suelo de préstamo

Fuente: Base de precios de referencia de la dirección general de carreteras 2021

En la Tabla 2, se pueden observar los precios medios del metro cubico de los distintos suelos con los que se puede realizar la explanada para la carretera CV-790, siendo el más económico el suelo tolerable y el más costoso la estabilizada in situ. A continuación, se hará

una estimación del precio de una explanada de 1 metro de ancho por 1 de largo y con los espesores “e” indicados en la imagen 2, lo que permitirá identificar la opción más económica (Tabla 3).

Suelo	Explanada (Espesor en cm)					
	1 100	S-EST1 30 1 50	2 35 1 50	S-EST1 30 S-EST1 30	S-EST1 30 0 60	2 35 0 70
Suelo tolerable (0)	X	X	X	X	60	70
Suelo adecuado (1)	1	50	50	X	X	X
Suelo Seleccionado(2)	X	X	35	X	X	35
S-EST1 (*)	X	30	X	60	30	X
Total (Euros)	6,50 €	5,437 €	5,840 €	4,374 €	4,959 €	5,824 €

Tabla 3: Precio de explanada de 1*1*e Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la Tabla 3, la explanada más económica de realizar sería la compuesta por dos capas de 30cm de suelo estabilizado in situ de tipo 1, capa que se puede realizar debido a que el terreno cumple con las características dispuestas en “Artículo 512 SUELOS ESTABILIZADOS IN SITU” (Tabla 1).

Debido a que esta es la explanada de menor espesor y de únicamente un tipo de suelo, significa que es la que menos material necesita. Además, ya que se utilizarán suelos de la propia excavación, nos permitirá la reutilización de estos evitando sobrepuestos de transporte a vertedero y siendo también más amigables con el medio ambiente. Por todo lo expuesto anteriormente, la mejor opción de las opciones para disponer será la doble capa de suelo estabilizado (Imagen 3).



Imagen 3: Explanada a utilizar Fuente: Norma 6.1 IC



4. Firme

Teniendo conocimiento de la explanada que se va a realizar y sus materiales, se procede al análisis de la capa del firme, la cual también se puede realizar de distinta manera dependiendo de los materiales y de la explanada sobre la cual se apoyará.

Debido a que la explanada es una E1 y el tipo de tráfico pesado se clasifica como T31, las opciones de firme se muestran en la imagen 4.



Imagen 4: Tipos de firmes Fuente: Norma 6.1 IC

Se puede optar por dimensionar el firme de tres formas distintas (Imagen 4) producto de cuatro materiales distintos, zahorra artificial, mezcla bituminosa, suelo-cemento y hormigón.

De primera mano se descartará la opción de realizar el firme de hormigón, esto debido a que, si bien el precio de su elaboración es más económico que el de las mezclas bituminosas, este es más rígido y frágil por lo que al largo plazo, su precio de mantenimiento será

bastante más elevado que el de las MB. Además, a pesar de tener mas durabilidad, estos son mas incomodos para los usuarios y generan un mayor desgaste en los neumáticos. Por otra parte, debido a que la maquinaria para realizar rodadura de hormigón es mas escasa, su rentabilidad esta justificada a partir de varias decenas de kilómetros.

4.1. Zahorra artificial o Suelo-Cemento

La primera capa del firme puede componerse o bien de una zahorra artificial proveniente de cantera o de suelo-cemento. Para tomar una decisión, se recurrirá igual que con la explanada a un estudio económico aproximado, teniendo en cuenta la diferencia de espesor de la Mezcla bituminosa en cada caso ya que, dependiendo de que firme se utilice, la capa bituminosa tendrá 5 cm más o menos.

Unidad	Descripción	Precio (Euro)
m3	Zahorra artificial proveniente de cantera, incluso transporte, extensión y compactación, medida sobre perfil teórico.	18,56 €
m3	Suelo-Cemento fabricado en central incluido transporte, extendido, compactación prefisuración y preparación de la superficie de asiento, sin incluir cemento ni riego de curado.	23,96 €
t	Cemento para estabilización de suelos y fabricación de suelo-cemento y grava-cemento.	71,18 €

Tabla 3: Precio por metro cubico de zahorra y suelo cemento
Fuente: Base de precios de referencia de la dirección general de carreteras 2021

	Explanada (Espesor en cm)	
	MB 20 ZA 40	MB 15 SC 30
Suelo		
Mezcla Bituminosa	20	15
Zahorra artificial	40	X
Suelo-cemento	X	30
Total (Euros)	7,424 €	7,188 €

Tabla 4: Precio de base del firme de 1*1*e Fuente: Elaboración propia

* Se debe de sumar la cantidad correspondiente a la compra y suministro del cemento

Los precios correspondientes en la Tabla 4 son únicamente teniendo en cuenta el precio de la base del firme, es decir, de las zahorras artificiales y del suelo-cemento.

A raíz del estudio económico de la capa base, el suelo-cemento resulta la opción más económica, teniendo además una capa de rodadura con menor espesor, sin embargo, como esta unidad de obra no cuenta con el suministro del cemento, éste debe de obtenerse a parte, lo que al final haría que esta solución sea más costosa.

Debido a las razones mencionadas anteriormente, se optará por una capa de zahorras artificiales proveniente de préstamo.

4.2. Mezcla bituminosa

En el caso de las mezclas bituminosas, al igual que en todas las demás capas de la carretera, varía dependiendo de la categoría del tráfico que se dispone, teniendo distintas tipologías de mezclas bituminosas, así como espesores. En la imagen 5 se pueden observar las distintas capas y sus rangos de espesores dependiendo del tráfico.

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	CATEGORIA DE TRAFICO PESADO		
		T00 A T1	T2 Y T31	T32 Y T4
RODADURA	PA	4		
	M (BBTM-B)	3	2-3	
	F (BBTM-A)			
	D y S (AC-Surf)		5-6	5
INTERMEDIA	D y S (AC-Bin)	5-10		
BASE	S y G (AC-Base)	7-15		
	MAM	7-13		

Imagen 5: Espesor de capas de mezcla bituminosas en caliente Fuente: Norma 6.1 IC

Para la elección del tipo de ligante bituminoso, así como para la relación entre la dosificación en masa y la del polvo mineral, se tendrá en cuenta la zona térmica estival definida en la imagen 6.

De igual manera, el tipo de rodadura, si bien drenante o no, se utilizará dependiendo de la zona pluviométrica en la que se encuentre (Imagen 7).

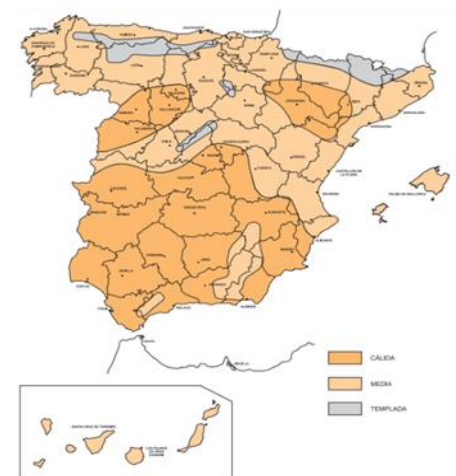


Imagen 6: Zonas térmicas estivales Fuente: Norma 6.1 IC

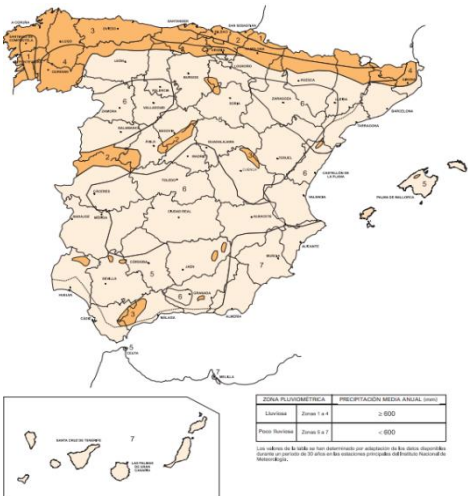


Imagen 7: Zonas Pluviales Fuente: Norma 6.1 IC

La mezcla bituminosa consiste en 3 capas distintas, la base, la intermedia y la capa de rodadura. Las dos primeras sirven como capas de apoyo para la primera, la cual está sometida a las cargas directas de los neumáticos de los vehículos.

4.2.1. Capa Base e intermedia

Estas capas están compuestas por una mezcla de hormigón bituminoso denominado como AC. Para este tipo de mezcla se tienen varias opciones dependiendo de su tamaño de árido y el tipo de capa de empleo. Definidas en la imagen 8, se pueden observar las distintas mezclas en función de la capa y su espesor, extraído directamente del artículo 542 del PG-3.

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

Imagen 8: Tipo de mezcla en función del tipo y espesor de la capa Fuente: Artículo 542 del PG-3

La nomenclatura mostrada en la imagen 8 hace referencia a:

AC – D – Surf/Bin/Base – Ligante – Granulometría

AC: Indicación a que la mezcla es de hormigón bituminoso

D: Tamaño máximo del árido

Surf/bin/base: Abreviatura relativa a la capa de empleo de la mezcla

Ligante: Tipo de ligante hidrocarbonado utilizado



Granulometría: Mediante la letra D, S o G en función al si corresponde a una granulometría densa, semidensa o gruesa.

Se descartan las mezclas con la etiqueta “MAM” debido a que este tipo de mezclas corresponden a altos módulos de elasticidad y se utilizan en mayores espesores cuando la carretera está sometida a altas presiones debido al elevado tráfico pesado, utilizándose en las explanadas E2 y E3. Debido a que en este caso la explanada es categoría E1 y no se dispone de un elevado tráfico de vehículos pesados, quedan descartadas estas opciones tanto en la capa base como la intermedia.

Por lo tanto, en la capa base, es decir la más inferior de todas, se utilizará una mezcla “**AC32 base G**” para a continuación disponer de una capa intermedia “**AC22 bin S**” con espesores de 9 y 6 cm respectivamente. Esta disposición es debido a que de esta manera se tiene así una capa inferior de mayor granulometría y espesor para a continuación tener una capa con una granulometría más reducida al igual que su espesor.

Definida la mezcla bituminosa a disponer, se debe de definir también el tipo de ligante hidrocarbonado a emplear, de entre los ligantes se pueden utilizar de distintos tipos, estos vienen indicados en función del tipo de tráfico y la zona térmico estival (Imagen 9 y 10).

ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO					
	T00	T0	T1	T2 y T3	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	35/50 50/70 BC35/50 BC50/70 PMB 45/80-60	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 BC50/70 PMB 45/80-60	50/70 70/100 BC50/70	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				

Imagen 9: Tipo de ligante hidrocarbonado a emplear en capa intermedia. Fuente: Artículo 542 de PG-3

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 BC35/50 BC50/70	50/70 BC50/70
MEDIA				50/70 70/100 BC50/70
TEMPLADA		50/70 70/100 BC50/70		70/100

Imagen 10: Tipo de ligante hidrocarbonado a emplear en capa base. Fuente: Artículo 542 de PG-3

Para el ligante se dispondrá de un **betún asfáltico 50/70**, esto debido a que se puede utilizar tanto en la capa base como en la intermedia, no teniendo así que utilizar distintos materiales, logrando tener homogeneidad en la capa de mezcla bituminosa.

4.2.2. Capa rodadura

Para la capa de rodadura, además de utilizar mezclas tipo hormigón bituminoso, también existe la posibilidad de utilizar mezclas drenantes o discontinuas. Las mezclas bituminosas drenantes (PA) son aquellas que, por su baja proporción de árido fino, presentan un contenido muy alto de huecos interconectados que le proporcionan sus características drenantes. Por otro lado, las mezclas bituminosas discontinuas (BBTM) son aquellas cuyos áridos presentan una discontinuidad granulométrica muy acentuada en los tamaños inferiores del árido grueso.

Como se observa en la Imagen 7, la zona en la que se encuentra la carretera CV-790, es catalogada como de pocas lluvias, por lo que el uso de mezclas drenantes o discontinuas se descarta. Por lo tanto, al igual que en la capa base e intermedia, se dispondrá de una mezcla tipo hormigón bituminoso AC. Concretamente una “**AC16 surf D**” con un espesor de 5cm.



De igual manera, deberá hacerse uso de un ligante hidrocarbonado el cual, con el fin de mantener la homogeneidad en la sección del firme, se dispondrá un **betún asfáltico 50/70** al igual que en las capas previas.

5. Arcén

Según la Norma 6.1 IC de la Instrucción de Carreteras, el pavimento del arcén constará de una capa de mezcla bituminosa con el mismo espesor que la capa de rodadura del firme de la calzada, salvo si ésta fuera drenante o discontinua en caliente, en cuyo caso el pavimento del arcén se constituirá con las mismas capas de rodadura e intermedia que el firme de la calzada, de forma que vayan enrasadas las capas intermedias.

Por lo tanto, en el arcén se dispondrá de esta una única capa similar a la rodadura de la calzada vista en el punto 4.2.2. Teniendo debajo del pavimento del arcén zahorras artificiales hasta alcanzar la explanada.

6. Riego

Existen 3 tipos de riegos contemplados en la normativa, estos son:

- **Riego de imprimación:** Se define así a la aplicación de una emulsión bituminosa sobre una capa granular, previa a la colocación sobre esta de una capa bituminosa. Para este tipo de riego se pueden utilizar emulsiones bituminosas “C50BF4 IMP” o “C60BF4” de acuerdo con el artículo 214 del PG-3.
- **Riego de adherencia:** Se define así a la aplicación de una emulsión bituminosa bore una capa tratada con ligantes hidrocarbonados o conglomerantes hidráulicos, previa a la colocación sobre esta de una capa bituminosa. Para este tipo de riego se pueden utilizar emulsiones bituminosas “C60B3 ADH” o “C60B3 TER” de acuerdo con el artículo 214 del PG-3.
- **Riego de curado:** Se define así a la aplicación de una película continua y uniforme de emulsión bituminosa sobre una capa tratada con un conglomerante hidráulico, al objeto de impermeabilizar toda la superficie y evitar la evaporación del agua necesaria para el correcto fraguado.

Para este tipo de riego se pueden utilizar emulsiones bituminosas “C60B3 CUR” o “C60B2 CUR” de acuerdo con el artículo 214 del PG-3.

Por lo tanto, para la ejecución del firme se utilizará cada uno de los mencionados definidos anteriormente, con la siguiente disposición:

- Entre Zahorra artificial y capa base → **Riego de imprimación C60BF4**
- Entre capa base, intermedia y rodadura → **Riego de adherencia C60B3 ADH**
- Entre Zahorra y rodadura (en arcén) → **Riego de imprimación C60BF4**

7. Conclusión

En resumen, la disposición del firme será la siguiente (Tabla 5) :

CAPA	SUB-CAPA	MATERIAL	ESPESOR (cm)
FIRME	MB - Rodadura	AC16 surf D 50/70	5
	MB - Intermedia	AC 22 Bin S 50/70	6
	MB - Base	AC32 Base G 50/70	9
	Zahorra Artificial	Zahorra Artificial	40
EXPLANADA	2 capas de suelo	Suelo estabilizado S-EST1	30+30

Tabla 5: Resumen capas y espesor en firme y explanada Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, en la Imagen 13 se representa gráficamente la disposición de dichas capas.

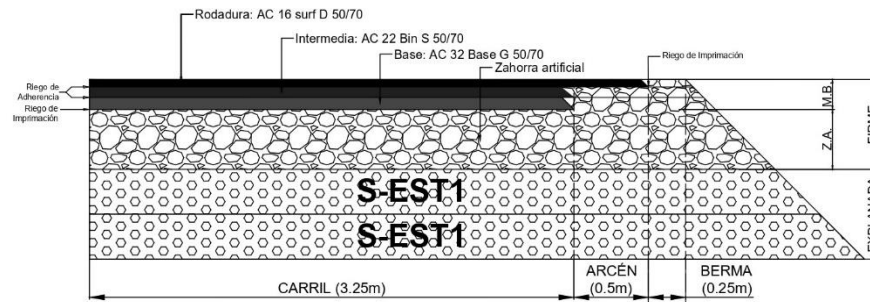


Imagen 13: Disposición de capas y riegos Fuente: Elaboración propia.

8. Bibliografía

ORDEN FOM/3460/2003, DE 28 DE NOVIEMBRE, POR LA QUE SE APRUEBA LA NORMA 6.1 IC SECCIONES DE FIRME, DE LA INSTRUCCIÓN DE CARRETERAS (BOE DE 12 DE DICIEMBRE DE 2003). Consultado en junio de 2022.

Orden FOM/2523/2014, de 12 de diciembre, por la que se actualizan determinados artículos del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes, relativos a materiales básicos, a firmes y pavimentos, y a señalización, balizamiento y sistemas de contención de vehículos. Consultado en junio de 2022.

Base de Precios de Referencia de la Dirección General de Carreteras del 2021. Consultado en junio del 2022.