

# ANEJO N° 05

## FIRMES Y PAVIMENTOS

***Autoría:***

*Héctor Castellano Valdecantos*

ÍNDICE	
1. Caracterización del tráfico. cálculo del firme.....	3
1.1. Introducción .....	3
2. Factores de dimensionamiento.....	3
2.1. Categoría de tráfico pesado.....	3
2.1.1. N-340 .....	3
2.1.2. Tramo de conexión de la N-340 con la CV-41 .....	4
2.2. Categoría de la explanada .....	4
2.3. Definición del tipo de suelo sobre el que se debe construir la explanada.....	4
3. Formación de la explanada .....	4
3.1. N-340.....	4
3.2. Tramo de conexión .....	5
4. Materiales para la sección del firme .....	5
4.1. Suelo cemento.....	5
4.2. Mezcla bituminosa .....	5
4.2.1. Espesores y tipo de mezcla.....	6
4.2.2. Ligantes.....	6
4.2.3. Riegos .....	7
4.3. Arcenes .....	7
Tabla 6- Módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga. Fuente: Norma 6.1-IC. .... 4	
Tabla 7- Categoría de explanada de tramos de estudio. Fuente: elaboración propia..... 4	
Tabla 8- Clasificación del suelo en cada tramo. Fuente: estudio geotécnico. .... 4	
Tabla 9- Categoría de tráfico, de explanada y secciones de firme para cada tramo. Fuente: elaboración propia. .... 5	
Tabla 10- Espesor de capas de mezcla bituminosa en caliente. Fuente: PG-3..... 6	
Tabla 11- Tipo de ligante a emplear en capa de rodadura y siguiente. Fuente: PG-3..... 6	
Tabla 12- Tipo de ligante a emplear en capa base, bajo otras dos. Fuente: PG-3..... 7	
ÍNDICE DE FIGURAS	
Figura 1- Zonas térmicas estivales. Fuente: IC-6.1..... 6	
Figura 2- Sección del firme en la N-340..... 7	
Figura 3- Sección del firme en el tramo de conexión .....	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- Categoría tráfico pesado. Fuente: Norma 6.1-IC. ....	3
Tabla 2- Incremento anual del tráfico. Fuente: elaboración propia. ....	3
Tabla 3- Datos del tráfico según las hipótesis asumidas. Fuente: elaboración propia. ....	3
Tabla 4- Categoría del tráfico pesado en N-340. Fuente: elaboración propia .....	4
Tabla 5- Categoría del tráfico pesado en el tramo de conexión. Fuente: elaboración propia .....	4

# 1. CARACTERIZACIÓN DEL TRÁFICO. CÁLCULO DEL FIRME

## 1.1. Introducción

En el presente anejo se pretende seleccionar la sección de firme más adecuada para la alternativa 3 según los criterios y soluciones contempladas en la Norma 6.1-I.C. (publicada en el B.O.E. de 12 de diciembre de 2003).

En el estudio se analizan independientemente las secciones de firme para la nueva N-340 y para el nuevo tramo de conexión con la CV-41 teniendo en cuenta el tráfico en cada caso.

Para la elección de la sección de firme se parte del análisis de los factores de dimensionamiento y metodologías contemplados en la Instrucción de Secciones de Firme 6.1-IC.

Estos factores son:

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

Teniendo en cuenta estos factores se seleccionan las posibles soluciones de las contempladas en el catálogo de firmes de la Instrucción 6.1-I.C., que satisfacen los requisitos anteriores, descartando las secciones que se consideren inadecuadas.

Por último, se obtendrá el paquete de firmes más adecuado en función del tráfico característico del tramo correspondiente.

Una vez establecidas las secciones de firme y pavimentos para cada alternativa se realizará una comparativa a nivel económico y constructivo en el anejo correspondiente para determinar la solución más adecuada.

## 2. FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO

### 2.1. Categoría de tráfico pesado

Según la Norma 6.1. I-C «Secciones de Firme» el dimensionamiento del firme es función de la intensidad media diaria de tráfico pesado (IMDp) que se prevea para el carril de proyecto en el año de la puesta en

servicio, fijado en este caso como el 2019. En función de dicha intensidad se establecen las siguientes categorías de tráfico:

Categoría de tráfico pesado	IMD pesados
T00	≥ 4.000
T0	2.000 – 4.000
T1	800 – 2.000
T2	200 – 800
T3.1	100 – 200
T3.2	50 – 100
T4.1	25 – 50
T4.2	< 25

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

Las previsiones de tráfico para el año de puesta en servicio se extraen del ANEJO Nº04 - ESTUDIO DE TRÁFICO, en el que se ha realizado un estudio específico del tráfico de vehículos totales y del tráfico de vehículos pesados.

Por tanto para los incrementos contemplados para el año de puesta en servicio son:

	Incremento anual hipótesis ajustada
2014 – 2017	-0,9 %
2018 – 2022	-0,3 %

Tabla 2- Incremento anual del tráfico. Fuente: elaboración propia.

Con ello se obtienen los siguientes datos:

TRAMO	IMD 2014 (veh/d)	IMD 2019 (veh/d)	%P	IMDp (veh/d)
N-340	16.800	16.252	7 %	1.138
Tramo de conexión	2.935	2.839	1,75 %	48

Tabla 3- Datos del tráfico según las hipótesis asumidas. Fuente: elaboración propia.

#### 2.1.1. N-340

La carretera N-340 ahora cuenta con un tramo desde la salida de la A-7 hasta la glorieta situada al sur de la localidad de La Llosa de Ranes.

El reparto entre sentidos se estima en un 50/50. Al tratarse de una carretera convencional con 1 carril por sentido, la totalidad del tráfico de pesados actúa sobre el carril de proyecto, siendo los valores de tráfico para su dimensionamiento los siguientes:

TRAMO	IMDp	CATEGORÍA DEL TRÁFICO PESADO
N-340	569	T2

Tabla 4- Categoría del tráfico pesado en N-340. Fuente: elaboración propia

Se adopta una categoría de tráfico T2 en el tramo indicado de la N-340. Dicha categoría de tráfico es para el año de puesta en servicio, fijado en 2019.

2.1.2. Tramo de conexión de la N-340 con la CV-41

El tramo de conexión va desde la glorieta anteriormente mencionada hasta la carretera CV-41.

El reparto entre sentidos se estima en un 50/50. De igual modo que en el apartado anterior, al tratarse de una carretera convencional con 1 carril por sentido, la totalidad del tráfico de pesados actúa sobre el carril de proyecto, siendo los valores de tráfico para su dimensionamiento los siguientes:

TRAMO	IMDp	CATEGORÍA DEL TRÁFICO PESADO
Tramo de conexión	24	T4.2

Tabla 5- Categoría del tráfico pesado en el tramo de conexión. Fuente: elaboración propia

Se adopta, pues, una categoría de tráfico T4.2 en el tramo de conexión de la N-340 con la CV-41 para el año de puesta en servicio, fijado en 2019.

2.2. Categoría de la explanada

La Norma 6.1-IC de 28 de Noviembre de 2003 considera tres categorías de explanada, que quedan determinadas por su módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga (Ev2), obtenido según la Norma NLT-357 «Ensayo de carga con placa».

Categoría de la explanada	E1	E2	E3
Ev2 (MPa)	≥ 60	≥ 120	≥ 300

Tabla 6- Módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga. Fuente: Norma 6.1-IC.

Se decide para el tramo de la N-340 debido a que tiene una IMDp elevado la mejor categoría de la explanada, y para el tramo de conexión, debido a su muy bajo IMDp la categoría mínima que permite la norma.

Tramo	Categoría
N-340	E3
Tramo de conexión	E1

Tabla 7- Categoría de explanada de tramos de estudio. Fuente: elaboración propia.

2.3. Definición del tipo de suelo sobre el que se debe construir la explanada

En función de los terrenos naturales encontrados en los fondos de desmonte y los aportados en la coronación del terraplén se define el tipo de suelo sobre el que se debe construir la explanada, salvo que cuenten con la categoría y espesor suficientes.

Gracias al ANEJO Nº02 – Geología y geotecnia se determina que el terreno natural cuenta con la categoría y espesor suficientes como catalogar el suelo del siguiente modo:

TRAMO	CLASIFICACIÓN
N-340	Tolerable
Tramo de conexión	Tolerable

Tabla 8- Clasificación del suelo en cada tramo. Fuente: estudio geotécnico.

3. FORMACIÓN DE LA EXPLANADA

La formación de la explanada depende del tipo de suelo de la explanación o de la obra de tierra subyacente, así como de las características y espesores de los materiales disponibles.

Para poder caracterizar la explanada se debe conocer las características de los materiales sobre los que se asienta, tanto en desmonte como en terraplén.

En el ANEJO Nº02 – Geología y geotecnia se aportan los ensayos de laboratorio de cada una de las zonas, permitiendo su clasificación.

3.1. N-340

Se decide disponer suelo adecuado de 50 cm de espesor directamente sobre la base de suelo existente y sobre este se dispone de un Suelo Estabilizado In Situ 3 (S-EST3) con CEMENTO de 30 cm de espesor teniendo como fuente la «Norma 6.1-IC. Firmes» nombrada durante todo el apartado, con ello podremos conformar una explanada tipo E3.

S-EST3	30
1	50
0	

3.2. Tramo de conexión

Para obtener una explanada E1 en el tramo de conexión debe disponerse una capa de suelo seleccionado de 45 cm de espesor directamente sobre la base de suelo existente, teniendo como fuente la «Norma 6.1-IC. Firmes» nombrada durante todo el apartado.

2	45
0	

4. MATERIALES PARA LA SECCIÓN DEL FIRME

Seguidamente, la Instrucción 6.1-I.C. Secciones de Firmes presenta un catálogo de secciones del cual se descartan los pavimentos de hormigón vibrado por las razones a continuación citadas, lo que nos permitirá obtener los materiales para la sección del firme:

- Se debe procurar la máxima continuidad y homogeneidad con los tramos contiguos.
- Es un pavimento más ruidoso que el pavimento de mezcla bituminosa, lo que causa molestias en los usuarios.
- La ejecución del pavimento de hormigón es más costosa que el de mezcla bituminosa.
- El pavimento de hormigón necesita menos conservación que uno de mezcla bituminosa, pero no se compensa el hecho de que las actuaciones son más costosas.
- La experiencia en la construcción de este tipo de pavimentos es menor.
- Necesita una maquinaria más particular para su ejecución, lo que limita el número de contratistas que puedan ejecutarla.

En cuanto a la elección entre zahorra artificial o suelo cemento, podemos afirmar que los firmes con base de zahorra garantizan un mejor drenaje de las calzadas, por lo que son interesantes cuando el nivel freático es alto en las zonas de desmonte, y un mayor espesor de material granular posibilita una mejor adaptación a los asientos del terreno.

En cuanto a los firmes con suelo cemento presentan una mejora estructural de la explanada, ya que se disminuye la sensibilidad a la acción del agua y se aumenta la resistencia de la sub-base al poderse compactar mejor, y permite disminuir el espesor de la mezcla bituminosa, con lo que suelen ser secciones más ventajosas económicamente.

Como según el ANEJO Nº02 – Geología y geotecnia no hay existencia de nivel freático en la zona de estudio se decide colocar suelo cemento.

Por tanto:

TRAMO	CATEGORÍA DEL TRÁFICO	CATEGORÍA DE LA EXPLANADA	SECCIÓN DEL FIRME
N-340	T2	E3	232
Tramo de conexión	T4.2	E1	4212

Tabla 9- Categoría de tráfico, de explanada y secciones de firme para cada tramo. Fuente: elaboración propia.

Sección 232		Sección 4212	
MB	15	MB	5
SC	20	SC	25

4.1. Suelo cemento

Siguiendo lo indicado en el Art. 513 del PG-3, en el tramo correspondiente a la N-340 se utilizará como cimiento de la sección de firme un suelo cemento SC40. En el tramo de conexión se utilizará un suelo cemento SC20 por las condiciones de tráfico inferiores.

Ya que el material disponible en obra no cumple las condiciones de granulometría establecidas por el PG-3, el material utilizado para la elaboración del suelo cemento será de préstamo.

4.2. Mezcla bituminosa

Se utilizarán mezclas bituminosas en caliente de tipo “Hormigón Bituminoso”. Estas se obtienen como combinación de un betún asfáltico, áridos con granulometría continua, polvo mineral y, eventualmente aditivos, de manera que todas las partículas del árido queden recubiertas por una película homogénea de ligante, cuyo proceso de fabricación y puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la del ambiente.

Las características técnicas de los pavimentos bituminosos son adecuadas para el tramo de carretera que se proyecta por las siguientes razones:

- Es el tipo de pavimento más utilizado, por lo que existe más experiencia y un mayor número de empresas con maquinaria de características adecuadas para una buena ejecución.
- La ejecución de la mezcla se puede realizar en cualquier época del año ya que no existe ningún tipo de limitación por causas térmicas.
- Empleando mezcla bituminosa se consigue un firme homogéneo con los tramos contiguos.
- Se consigue una rodadura más cómoda para los usuarios.
- La ejecución de este tipo de pavimento es más económica que la de hormigón.

- El pavimento de mezcla bituminosa necesita más conservación, pero las actuaciones son más sencillas y económicas.

4.2.1. Espesores y tipo de mezcla

Los espesores de las capas del firme y el tipo de mezcla vendrán determinados por las indicaciones del Pliego de Prescripciones técnicas (PG-3):

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 10- Espesor de capas de mezcla bituminosa en caliente. Fuente: PG-3

➤ En la N-340:

La mezcla bituminosa de la calzada se va a componer de una capa de rodadura semidensa AC22surf S de 5 cm de espesor y una capa base gruesa AC32baseG de 10 cm de espesor.

➤ En el tramo de conexión:

La mezcla bituminosa de la calzada se va a componer de una capa de rodadura semidensa AC22surf S de 5 cm de espesor.

4.2.2. Ligantes

Para la elección del tipo de ligante bituminoso es necesario tener en cuenta la zona térmica estival definida en la instrucción:

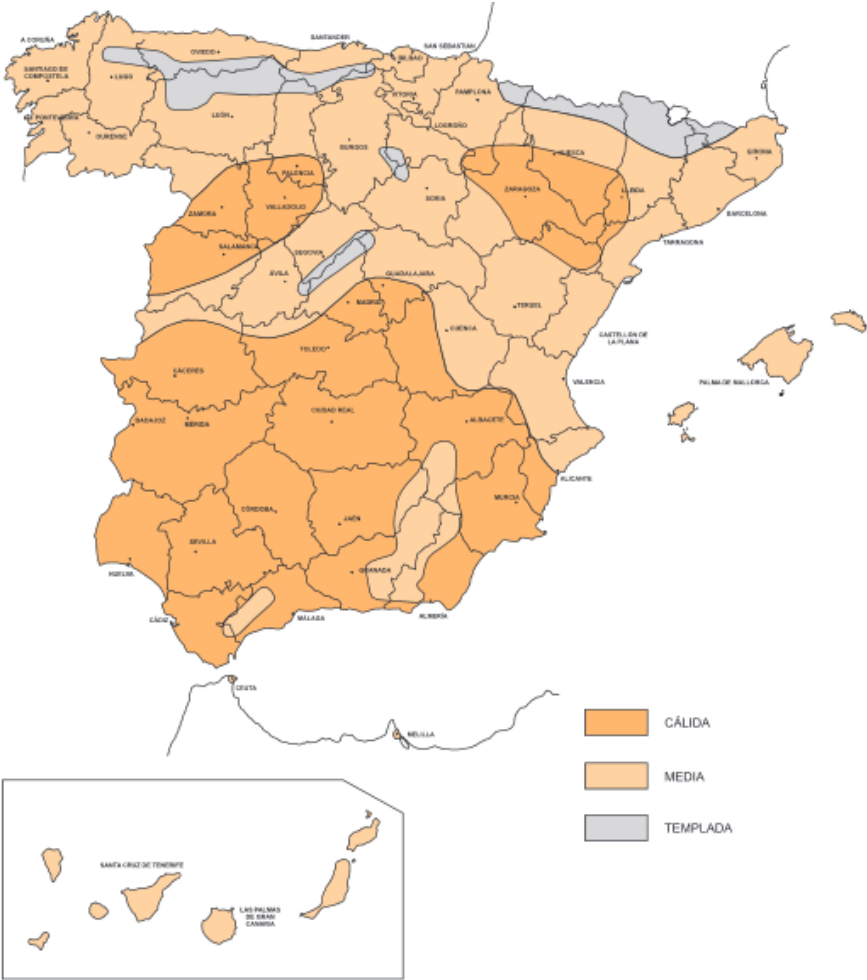


Figura 1- Zonas térmicas estivales. Fuente: IC-6.1

Los tramos objeto de estudio se encuentran en una zona térmica estival media.

El tipo de ligante a emplear se escoge de las siguientes tablas:

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

Tabla 11- Tipo de ligante a emplear en capa de rodadura y siguiente. Fuente: PG-3



ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
	T00	T0	T1	T2 y T3
Cálida	35/50 BC35/50 PBM 25/55-65		35/50 50/70 BC35/50 BC35/70	50/70 BC50/70
Media			50/70 70/100 BC50/70	
Templada	50/70 70/100 BC50/70		70/100	

Tabla 12- Tipo de ligante a emplear en capa base, bajo otras dos. Fuente: PG-3

- En N-340:  
  
Para una categoría de tráfico T2 se decide utilizar en la capa de rodadura un 50/70. Y para la capa base un 70/100.
- En el tramo de conexión:  
  
Para una categoría de tráfico T4.2 se decide utilizar en la capa de rodadura un 50/70.

4.2.3. Riegos

Se efectúa un riego de adherencia sobre las capas tratadas con cemento y sobre las capas de mezcla bituminosa.

Mientras que sobre las capas de materiales tratados con cemento y otros conglomerantes hidráulicos se realizará un riego de curado. En aquellos casos de capas que vayan a recibir un riego de adherencia, se procurará usar una emulsión bituminosa compatible con ambos tipos de riego.

4.3. Arcenes

Para arcenes de anchura superior a 1.25 m, su firme dependerá de la categoría de tráfico pesado prevista para la calzada y de la sección adoptada en ésta (según apartado 7 de la 6.1 IC).

- N-340:  
  
Se dispondrá una capa de rodadura semidensa AC22surf S de 5 cm de espesor. Debajo del pavimento del arcén se dispondrá zahorra artificial hasta alcanzar la explanada (7.2.2- 6.1 IC). Para la categoría de tráfico T2 el pavimento del arcén se constituirá con las mismas capas de rodadura.
- Tramo de conexión:

Para una categoría de tráfico T4.2 el arcén, enrasado siempre con la calzada, podrá no estar pavimentado, o tener un pavimento constituido por un riego con gravilla. El firme del arcén estará constituido por zahorra artificial, procurando enrasar con una de las capas del firme de la calzada; y el

resto, hasta la explanada, podrá ser de zahorra artificial o de suelo seleccionado. Si no se pavimentase se proyectarán arcenes con zahorras cuyos finos tengan un índice de plasticidad entre 6 y 10 (7.3-6.1 IC).

Finalmente se opta por pavimentar con un riego con gravilla y colocar zahorra artificial hasta la explanada.

Los resultados se presentan a continuación:

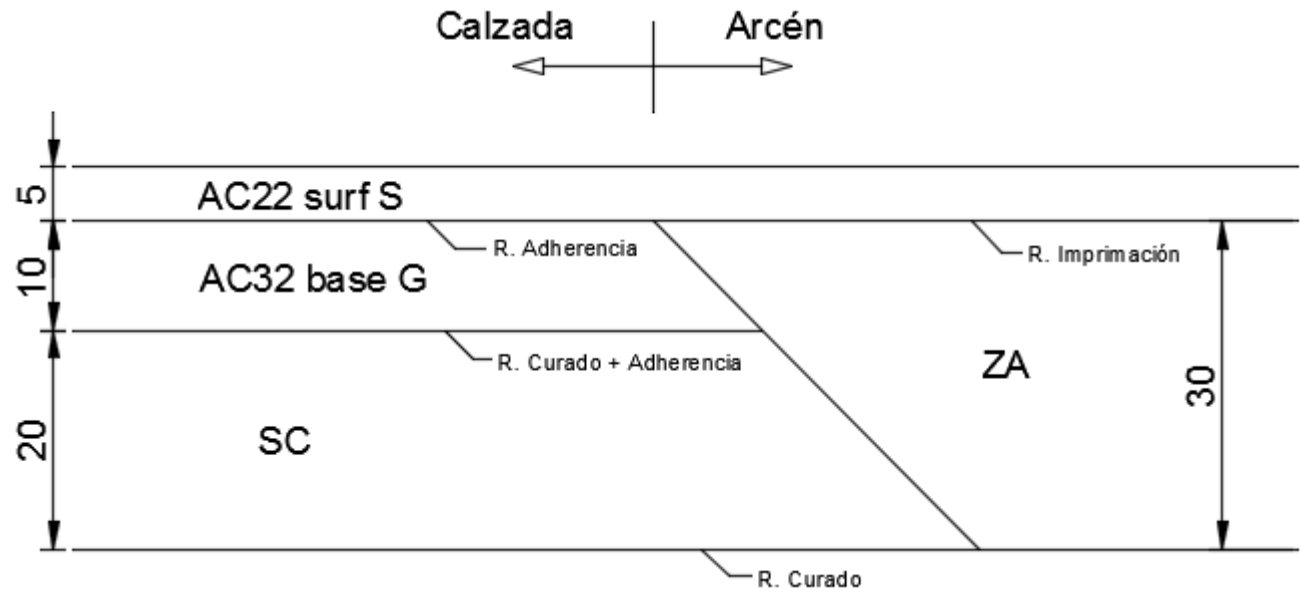


Figura 2- Sección del firme en la N-340

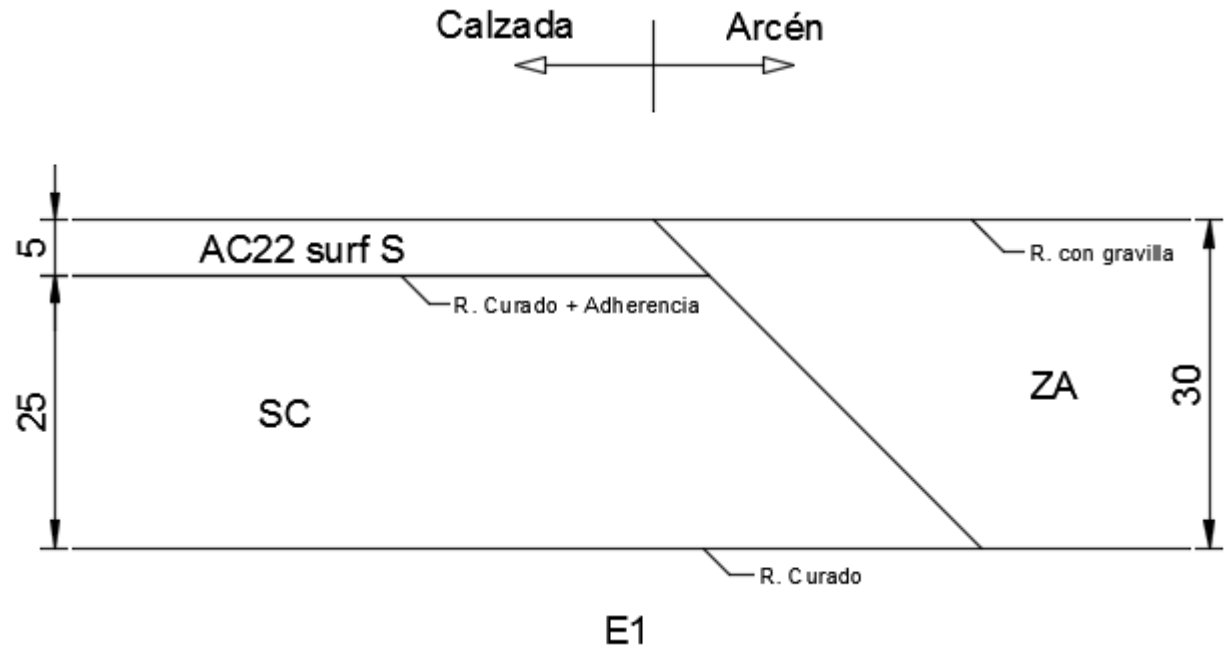


Figura 3- Sección del firme en el tramo de conexión