



## **Anejo Nº 8**

### **FIRMES Y PAVIMENTOS**

1. OBJETO
2. TRÁFICO
3. EXPLANADA
4. FIRME

ANEXO I: TABLAS

ANEXO II: DOSIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE

ANEXO III: DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN HM-20/P/20/I

## 1. OBJETO

El objeto del presente anejo es justificar la elección de la sección de firme a ejecutar en las obras comprendidas en este Proyecto. Esta sección está plenamente condicionada por la categoría de tráfico pesado y por el tipo de explanada a disponer.

## 2. TRÁFICO

En el Anejo nº 5 “Estudio de Tráfico” se ha calculado para el eje de la obra, la intensidad media diaria de vehículos pesados por carril (IMDp) para el año de puesta en servicio obteniendo como resultado una categoría de tráfico **T41** según las “Recomendaciones de proyecto y construcción de firmes y pavimentos de la Junta de Castilla y León”.

## 3. EXPLANADA

La explanada a colocar estará condicionada por el tipo de terreno existente en la zona. Según el Anejo nº 3 “Geología y Geotecnia” el terreno afectado se clasifica como **tolerable**.

El tipo de explanada a disponer condicionará la sección de firme, se pretende obtener una explanada **E1** en todo el recorrido.

Las explanadas se clasifican en tres categorías, según los valores del módulo de compresibilidad que se obtenga en el segundo ciclo de carga del ensayo de carga con placa (NLT-357).

TABLA 5.2. Clasificación de las explanadas

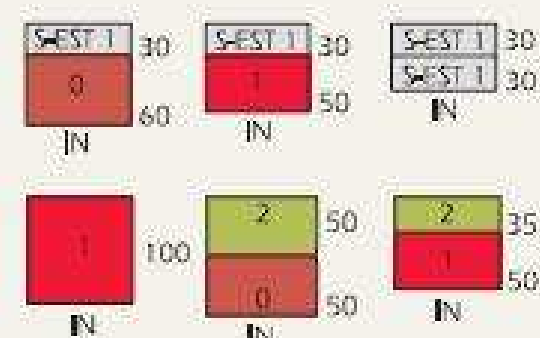
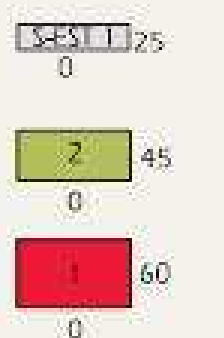
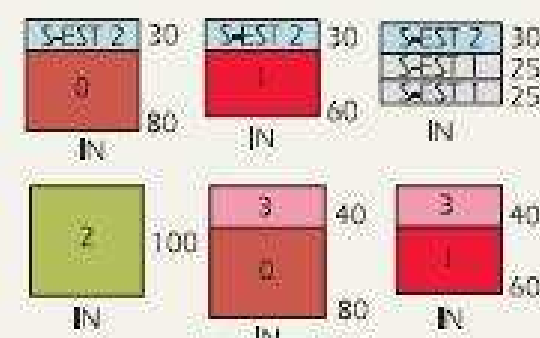

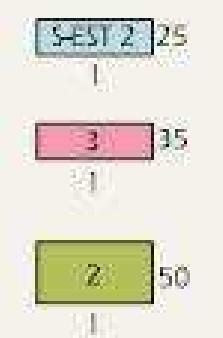
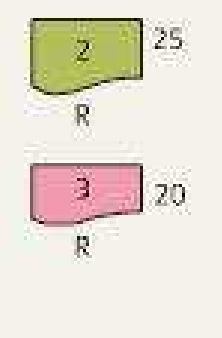

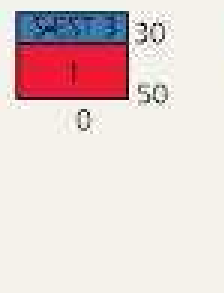


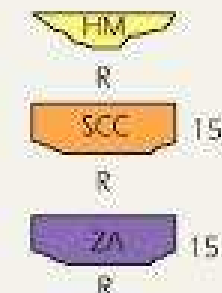
Categoría de explanada	Módulo en el segundo ciclo $E_v$ (MPa)
E1	$\geq 60$
E2	$\geq 120$
E3	$\geq 300$

Dependiendo de la importancia de la obra se puede optar por realizar o no el ensayo de carga con placa para determinar el módulo de compresibilidad  $E_v$ , definiendo las condiciones en las que se ha de realizar el ensayo en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto.

Según las “Recomendaciones de proyecto y construcción de firmes y pavimentos de la Junta de Castilla y León” deberemos emplear la tabla de “Formación de explanadas (espesores mínimos en cm)”. Esta tabla muestra diferentes posibilidades para la formación de la explanada deseada en función del tipo de suelo del que se dispone.

Como nosotros tenemos en todo el trazado un suelo tolerable, para conseguir una explanada E1, nos hemos decantado por la utilización de un suelo adecuado en un espesor de 60 cm, debido a la existencia de este tipo de suelo en una serie de parcelas cercanas a nuestro proyecto

Por lo tanto, el suelo adecuado provendrá de préstamos previstos, según lo indicado en el Anejo Nº 3: Geología o Geotecnia.

	Suelos Inadecuados o Marginales (IN)	Suelos Tolerables (0)	Suelos Adecuados (1)	Suelos Seleccionados (2) y (3)	Roca (R)
E1			<p>Espesor mínimo de 100 cm.</p>		
E2				<p>Espesor mínimo de 100 cm.</p>	
E3					

 Suelo inadecuado o marginal   
  Suelo tolerable   
  Suelo adecuado   
  Suelo seleccionado   
  Suelo seleccionado  
 Suelo estabilizado in situ   
 Suelo estabilizado in situ   
 Suelo estabilizado in situ   
 Homigón en masa   
 Roca  
 Suelo cemento fabricado en central   
 Zahorra artificial (solo admisible exclusivamente si la capa inferior del firme es de zahorra)

Las capas de apoyo deberán tener un espesor mínimo de 100 cm. del material indicado en la tabla. En caso contrario, se seleccionará como base el material de inferior categoría.

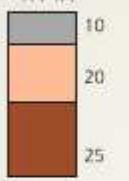
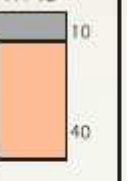
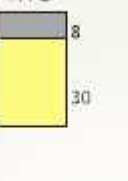
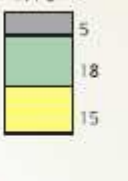
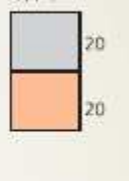
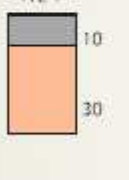
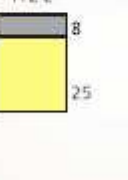
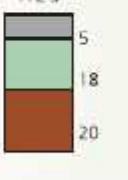

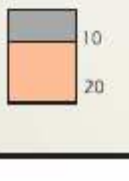
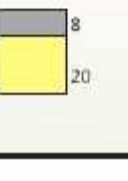
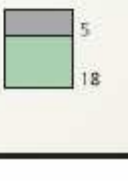
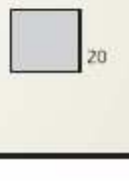
#### 4. FIRMES







En las “Recomendaciones de proyecto y construcción de firmes y pavimentos de la Junta de Castilla y León” se incluye un catálogo con seis tablas correspondientes a las categorías de tráfico pesado, de la T 21 a la T 42 (para otros tráficos, el firme se proyectará utilizando directamente la Norma 6.1 IC del Ministerio de Fomento). Los períodos de proyecto considerados son veinte años para las secciones con pavimento bituminoso.

En cada tabla, y por tanto para cada categoría de tráfico, se proponen diversas secciones según las categorías de explanadas. Las secciones propuestas se designan por cuatro números, los dos primeros corresponden a la categoría de tráfico pesado, el tercero hace referencia a la categoría de la explanada y el último es un ordinal dentro de la serie de secciones propuestas.

Según esto para nuestro proyecto, al que corresponde una explanada **E1** y un tráfico pesado **T41**, tenemos las siguientes secciones:

TABLA 7.5 Secciones de nueva construcción para tráfico T41 (espesores en cm)

Explanada	Tráfico T 41 (de 25 a 50 vehículos pesados/día/carril)				
	411-1A	411-1B	411-2	411-3	411-4
E1					
E2					
E3					

 Mezcla bituminosa
  Zahorra artificial
  Zahorra natural
  Suelocemento  
 Hormigón compactado
  Hormigón vibrado

##### -Sección de firme:

Se nos ofrecen varias alternativas atendiendo al tráfico y a la explanada, propuestos para la elección de firme, de entre las cuales nos decantamos por la siguiente:

##### Sección 411-1B:

- Capa de Zahorra Artificial de espesor 40 cm.
- Capa de Mezcla Bituminosa en caliente de 10 cm.

No se han elegido secciones con base de materiales tratados con cemento debido a la posibilidad de problemas en su ejecución a pesar de que los espesores sean menores respecto a la capa base finalmente elegida y a pesar de que el coste pudiera ser menor.

No se han elegido tampoco secciones que presenten una mayor dificultad constructiva como son las secciones que presentan 3 capas.

Por tanto, lo que hemos primado a sido que el proceso de ejecución presente los menores problemas posibles.

#### **-Arcenes:**

Según el capítulo 7, en el apartado 6, de las “Recomendaciones de proyecto y construcción de firmes y pavimentos de la Junta de Castilla y León”, siempre que el ancho del arcén no supere 1,25 m se aplicará a éste la misma sección de firme que en la calzada y su construcción será simultánea.

Puesto que en nuestro proyecto, el ancho del arcén es de 1,00 metros, se aplicará la misma sección que en la calzada.

#### **- Mezcla bituminosa:**

Según las “Recomendaciones de proyecto y construcción de firmes y pavimentos de la Junta de Castilla y León” los espesores de las capas de mezclas bituminosas se repartirán en diferentes capas, hasta un máximo de tres, estas tres capas se denominan:

- Capa de rodadura (CR)
- Capa intermedia (CI)
- Capa base (CB)

En nuestro caso se debe ejecutar un espesor total de 10 cm, para el que se recomienda construir dos capas, una de rodadura (CR) y otra intermedia (CI), de 5 cm de espesor cada una.

Pero basándonos en que son unas recomendaciones, se ha optado por poner una capa de rodadura de 4 cm y una intermedia de 6 cm para cumplir con el artículo 542 del PG-3 en su tabla 542.9.

La dotación del riego de imprimación será en nuestro caso de 0,600 kg/m<sup>2</sup> de ligante residual.

Entre tongadas de mezcla bituminosa será necesario extender un riego de adherencia. La dotación mínima de la emulsión deberá proporcionar entre 0,25-0,4 Kg/m<sup>2</sup> de ligante residual. En nuestro caso será de 0,500 kg/m<sup>2</sup>. Se emplearán necesariamente emulsiones termoadherentes de betún duro. La extensión de la emulsión deberá realizarse necesariamente mediante un camión o tanque cisterna autopropulsado dotado de rampa de riego y calefacción.

En nuestro caso, utilizaremos una mezcla D-12 para capa de rodadura y S-20 para la capa intermedia, para disponer la misma mezcla tanto en arcenes como en calzada.

Respecto al tipo de ligante, se recomienda emplear con carácter general el betún asfáltico B 60/70.

Por lo tanto ya se conocen las secciones de firme en su totalidad para calzada y arcenes, que serán las siguientes:

#### **Calzada y Arcenes:**

- |                         |                                       |
|-------------------------|---------------------------------------|
| - Capa de rodadura:     | 4 cm de M.B.C. tipo D-12              |
| - Riego de adherencia:  | ECR-1                                 |
| - Capa intermedia:      | 6cm de M.B.C. tipo S-20               |
| - Riego de imprimación: | ECI                                   |
| - Base                  | 40 cm de Zahorra Artificial tipo ZA25 |

ECR-1: Emulsión catiónica de rotura rápida tipo 1.

**Sección de firme definitiva de la carretera, (411-1 B):**

		<b>Calzada y Arcenes</b>
Riego de adherencia	_____	4 cm de D-12
Riego de imprimación	_____	6 cm de S-20
		40 cm de ZA-25
		60 cm de Suelo Adecuado

Los husos granulométricos, las características exigidas a los áridos y la dotación mínima de ligante a emplear vienen definidos en el apartado siguiente:

..

ANEXO I: TABLAS



## ANEXO I: TABLAS

Las tablas que a continuación se detallan vienen recogidas en las “**Recomendaciones de proyecto y construcción de firmes y pavimentos de la Junta de Castilla y León**”.

Husos granulométricos para las mezclas bituminosas en caliente

Tamices UNE- EN 933-1 (mm)	CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)									
	D-12	D-20	S-12	S-20	S-25	G-20	G-25	PA-12	M-10	F-10
40	-	-	-	-	100	-	100	-	-	-
25	-	100	-	100	80-95	100	75-95	-	-	-
20	100	80-95	100	80-95	73-88	75-95	65-85	100	-	-
12,5	80-95	65-80	80-95	64-79	59-74	55-75	47-67	70-100	100	100
10	-	-	-	-	-	-	-	-	75-97	75-97
8	64-79	55-70	60-75	50-66	48-63	40-60	35-54	38-62	-	-
4	44-59	44-59	35-50	35-50	35-50	25-42	25-42	13-27	14-27	23-38
2	31-46	31-46	24-38	24-38	24-38	18-32	18-32	9-20	11-22	18-32
0,500	16-27	16-27	11-21	11-21	11-21	7-18	7-18	5-12	8-16	11-23
0,250	11-20	11-20	7-15	7-15	7-15	4-12	4-12	-	-	-
0,125	6-12	6-12	5-10	5-10	5-10	3-8	33-8	-	-	-
0,063	4-8	4-8	3-7	3-7	3-7	2-5	2-5	3-6	5-7	7-9



Características exigidas a los áridos

Características	Capas de rodadura con mezclas M,F o PA	Capas de rodadura con mezclas D o S		Capas intermedias		Capas de base
		Calzada T2	T3-T4 y arcenes	Calzada T2	T3-T4 y arcenes	
Elementos con dos o más caras de fractura (UNE-EN 933-5)	≥ 95%	≥ 95%	≥ 75%	≥ 75%	≥ 75%	≥ 75%
Índice de lajas (UNE-EN 933-3)	≤ 25%	≤ 30%	≤ 30%	≤ 30%	≤ 35%	≤ 35%
Desgaste de Los Ángeles (UNE-EN 1097-2)	≤ 20%	≤ 25%	≤ 30%	≤ 30%	≤ 30%	≤ 35%
Arena natural (% en masa de total de áridos)	≤ 10%	≤ 10%	≤ 20%	≤ 15%	≤ 20%	≤ 20%
Equivalencia de arena	>50	>50	>45	>45	>45	>40
Coef. Pulimento acelerado (NLT-174)	≥ 0,45	≥ 0,45	≥ 0,40	-	-	-

Dotación mínima de ligante (% en masa del total de árido seco incluso el polvo mineral)

Tipo de capa	D	S	G	PA	M	F
Rodadura	4,8	4,8	-	4,5	5,0	5,5
Intermedia	4,2	4,2	4,0	-	-	-
Base	-	4,0	3,5	-	-	-

Nosotros en nuestro caso utilizaremos para las dos capas una dotación de ligante del 5%.



## **ANEXO II: DOSIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE**



## DOSIFICACIONES (D-12 Y S-20)

### D-12

Tamiz UNE	Huso D-12	Media Huso D-12		20 -/- 8	28,5	8 -/- 2	33	2 -/- 0	32	Filler	6,5
20	100	100		100	28,5	100	33,0	100	32,0	100	6,5
12,5	80 -/- 95	87,5		56,1	16,0	100	33,0	100	32,0	100	6,5
8	64 -/- 79	71,5		0	0,0	100	33,0	100	32,0	100	6,5
4	44 -/- 59	51,5				39,4	13,0	100	32,0	100	6,5
2	31 -/- 46	38,5				0	0,0	100	32,0	100	6,5
0,5	16 -/- 27	21,5						46,9	15,0	100	6,5
0,25	11 -/- 20	15,5						28,1	9,0	100	6,5
0,125	6 -/- 12	9						9,8	3,1	90	5,9
0,063	4 -/- 8	6						2,5	0,8	80	5,2

Tamiz # 2 = 38,5 -6,5 = 32

$(0,8/32)*100 = 2,5$

Betún 50 kg/tn

Filler 65 kg/tn

Total 115 Kg/tn

Resto de Áridos = 885 kg/tn

Media Huso - Filler Kg

93,5	885
81	766,68
65	615,24
45	425,93
32	302,88
15	141,98
9	85,18
3,1	29,82
0,8	7,57

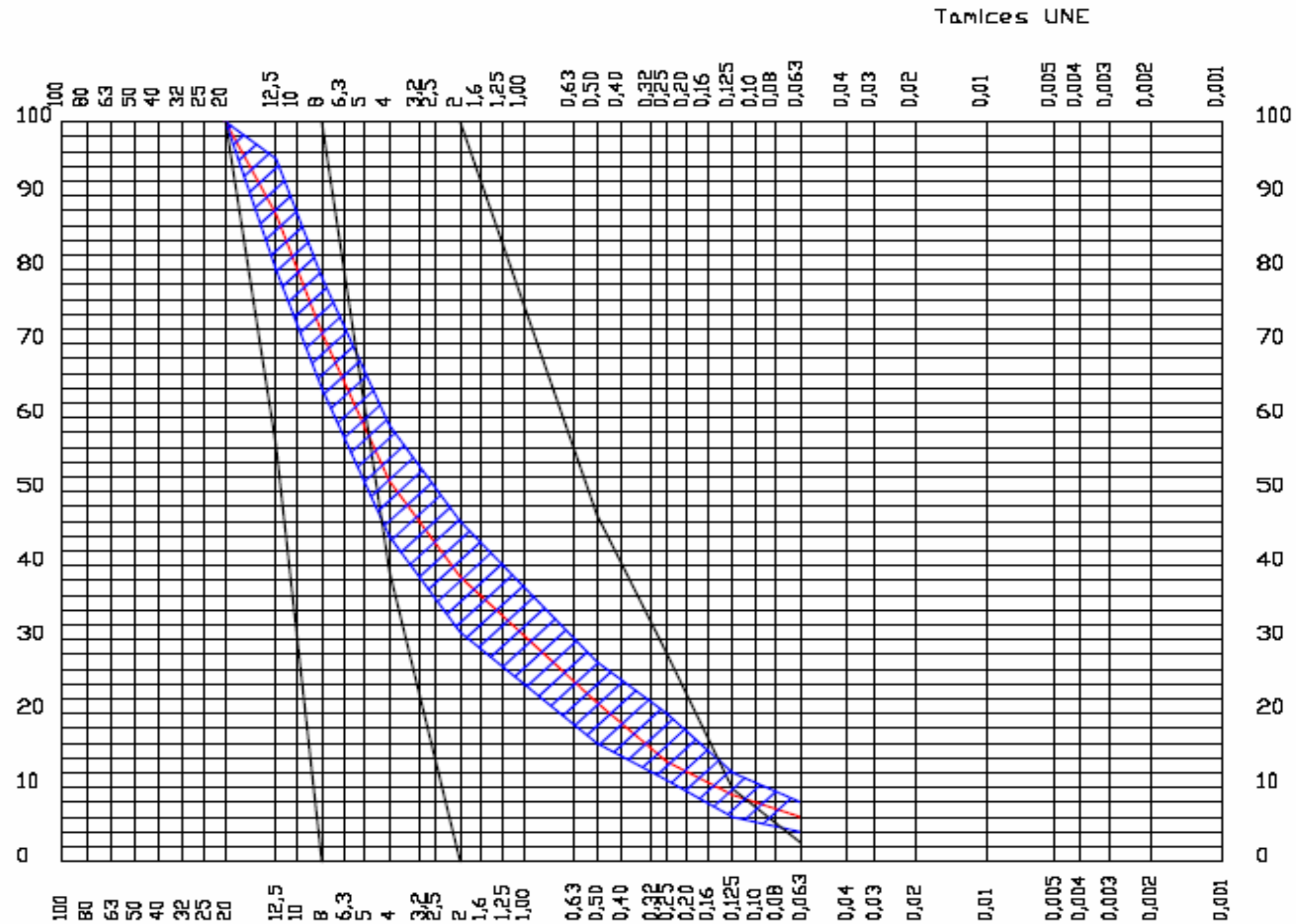
Tamaños	%	Kg
20 -/- 8	28,5	269,76
8 -/- 2	33	312,36
2 -/- 0	32	302,88
	+	6,5
		50
	100	1000 kg

Nomenclatura de los Áridos

AG	8 -/- 20	T	S	269,76
AG	2 -/- 8	T	S	312,36
AF	0 -/- 2	T	S	302,88
B	60/70			50
PM				65
				1000 kg

D-12

## ANALISIS GRANULOMETRICO



## S-20

Tamiz UNE	Huso S-20	Media Huso S-20	25 -/- 12,5	28,5	12,5 -/- 4	29,0	4 -/- 0	36,5	Filler	6,0
25	100	100	100	28,5	100	29,0	100	36,5	100	6,0
20	80 -/- 95	87,5	56,1	16,0	100	29,0	100	36,5	100	6,0
12,5	64 -/- 79	71,5	0	0,0	100	29,0	100	36,5	100	6,0
8	50 -/- 66	58			53,4	15,5	100	36,5	100	6,0
4	35 -/- 50	42,5			0	0,0	100	36,5	100	6,0
2	24 -/- 38	31					68,5	25,0	100	6,0
0,500	11 -/- 21	16					27,4	10,0	100	6,0
0,250	7 -/- 15	11					13,7	5,0	100	6,0
0,125	5 -/- 10	7,5					5,8	2,1	90	5,4
0,063	3 -/- 7	5					0,55	0,2	80	4,8

Tamiz # 4 = 42,5 - 6,0 = 36,5

$(0,2/36,5) \times 100 = 0,55$

Betún 50 kg/tn

Filler 60 kg/tn

Total 110 Kg/tn

Resto de Áridos = 890 kg/tn

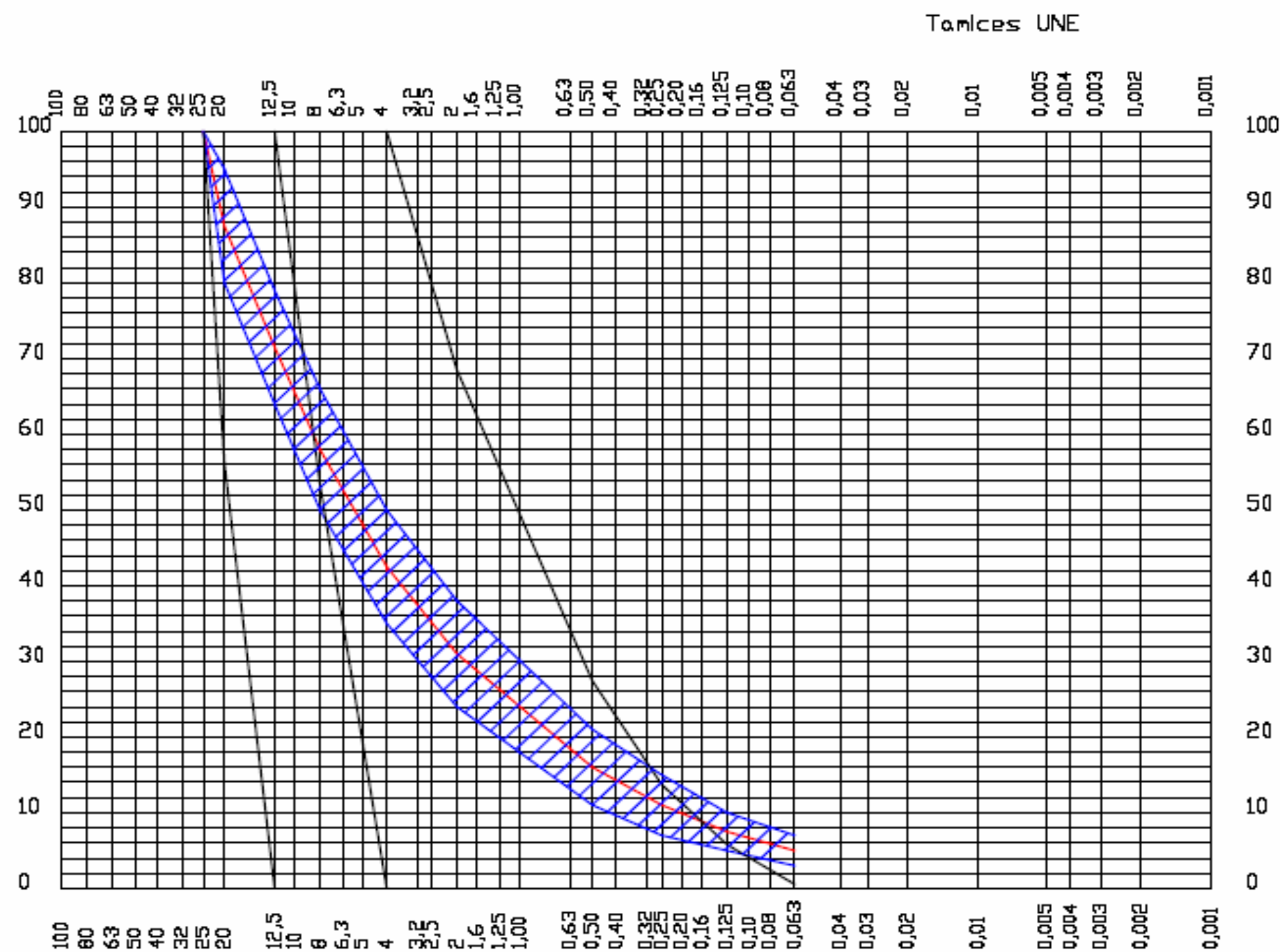
Media Huso - Filler	Kg	Tamaños	%	Kg
94	890,00			
81	766,91	25 -/- 12,5	28,5	269,84
65,5	620,16			
52	492,34	12,5 -/- 4	29	274,58
36,5	345,58			
25	236,70	2 -/- 0	36,5	345,58
10	94,68			
5	47,34			
2,1	19,88			
0,2	1,89			
			+	6
				50
				1000 kg

Nomenclatura de los Áridos

AG	12,5 -/- 25	T	S	269,84
AG	2 -/- 12,5	T	S	383,46
AF	0 -/- 2	T	S	236,70
B	60/70			50
PM				65
				1000 kg

S-20

## ANALISIS GRANULOMETRICO





### **ANEXO III: DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN HM-20/P/20/I**

## DOSIFICACIÓN HM-20/P/20/I

Los cálculos realizados son para 1 m<sup>3</sup>.

Se dosifica mediante la fórmula de Fuller en la que no intervienen el cemento como árido.

$$y = 100 * \left( \sqrt{\frac{d}{D}} \right)$$

### Datos:

- a/c = 0,65, según la página 118 de la EHE
- Contenido de cemento de 200 kg
- Densidades:
  - Cemento = 3,053 kg/dm<sup>3</sup>
  - Gravilla = 2,55 kg/dm<sup>3</sup>
  - Arena = 2,45 kg/dm<sup>3</sup>

No hemos considerado la humedad de los áridos ya que como vienen de planta se supone que están bien almacenados.

## Husos Granulométricos

% Pasa

Tamices UNE	Gravilla	Arena	Cemento
80	100	100	
40	100	100	
20	100	100	
10	55	100	
5	8	95	
2,5	0,5	85	
1,25		70	
0,63		40	100
0,32		22	90
0,16		10	80

Según EHE (pág 85)

Para evitar los tanteos a la hora de ajustar, se calcula mediante los módulos granulométricos siguientes:

$$M_{G \text{ Fuller}} = 4,8$$

$$M_{G \text{ arena}} = 2,78$$

$$M_{G \text{ grava}} = 6,37$$

$$x = \% \text{ Arena}$$

$$y = \% \text{ grava}$$



Tenemos por tanto estas dos ecuaciones.

$$x+y = 100$$

$$(x+y) \cdot M_{G \text{ Fulle}} = x \cdot M_{G \text{ arena}} + y \cdot M_{G \text{ grava}}$$

Donde:

$$x = 43,73 \%$$

$$y = 56,3 \%$$

% Pasa

Tamices UNe	Gravilla (56,3)	Arena (43,7)	Cemento	SOLUCIÓN	FULLER
80	100	100		100	100
40	100	100		100	100
20	100	100		100	100
10	55	100		74,7	70,7
5	8	95		46	50
2,5	0,5	85		37,4	35,4
1,25		70		30,6	25
0,63		40	100	18,5	17,7
0,32		22	90	9,61	12,6
0,16		10	80	4,4	8,9

**TABLA RESUMEN**

MATERIAL	%	Volumen Relativo dm3	Densidad Relativa Kg/dm3	Peso kg
Arena	43,7	362,5	2,45	888,1
Gravilla	56,3	467,1	2,55	1191,1
Cemento	--	65,45	3,056	200
Agua	--	130	1	130
Total Áridos	100	829,6		
Total		1025		2409,2

**NOMENCLATURA DE LOS MATERIALES**

Arena	Árido fino tipo: 0/4 mm (arena de río)
Gravilla	Árido grueso tipo: 4/20 mm (gravilla)
Cemento	CEM II /B-S 32,5 N