



Co-financed by the Connecting Europe
Facility of the European Union



Consultoría y Asistencia Técnica para la redacción del Estudio de Viabilidad, Anteproyecto, Proyecto Constructivo de Referencia, Documentación Ambiental, Plan de Explotación y Programa Económico de una

Línea de Tranvía Este – Oeste en Zaragoza

ANTEPROYECTO

Anejo nº4. Hidrología y Drenaje

Zaragoza, marzo de 2019





Co-financed by the Connecting Europe
Facility of the European Union

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
2. CLIMATOLOGÍA.....	6
2.1. INTRODUCCIÓN	6
2.2. RESUMEN DE DATOS CLIMÁTICOS SIGNIFICATIVOS.....	6
2.2.1. Temperaturas.....	6
2.2.2. Precipitaciones	8
3. HIDROLOGÍA	11
3.1. INTRODUCCIÓN	11
3.2. ADAPTACIÓN DEL DISEÑO A LA CAMBIO CLIMÁTICO	11
3.3. PERIODOS DE RETORNO A CONSIDERAR EN EL CÁLCULO DE CAUDALES.....	11
3.4. PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS.....	11
3.5. INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN A EMPLEAR.....	12
3.6. CÁLCULO DE CAUDALES.....	13
3.6.1. Procedimiento de cálculo.....	13
4. DRENAJE.....	14
4.1. INTRODUCCIÓN	14
4.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE DE LA PLATAFORMA	15
4.3. COMPROBACIÓN HIDRÁULICA DEL DRENAJE DE PLATAFORMA.....	15



Co-financed by the Connecting Europe
Facility of the European Union

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Temperaturas medias mensuales en las estaciones meteorológicas contempladas.	8
Ilustración 2. Precipitaciones medias mensuales en las estaciones meteorológicas contempladas.	9
Ilustración 3. Isolíneas de precipitación máxima diaria. "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular." (D.G.C).....	12
Ilustración 4. Isolíneas de Intensidad de Precipitación I_d/I_1 . "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular." (D.G.C. 2001)	13



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Localización geográfica de las estaciones meteorológicas utilizadas en la caracterización climática	6	Tabla 18. Cuantil regional para diferentes T. “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular” (D.G.C.).....	12
Tabla 2. Medias de las máximas temperaturas absolutas mensuales	6	Tabla 19. Precipitación en Zaragoza. “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular” (D.G.C.).....	12
Tabla 3. Medias de las mínimas temperaturas absolutas mensuales	6	Tabla 20. Calado y Caudal en Canaleta	16
Tabla 4. Oscilación máxima mensual de las medias de temperaturas absolutas	6		
Tabla 5. Media de las medias mensuales de temperaturas máximas	7		
Tabla 6. Media de las medias mensuales de temperaturas mínimas	7		
Tabla 7. Oscilación de valores medios mensuales de temperaturas máximas y mínimas.....	7		
Tabla 8. Máxima estacional de las medias mensuales de temperaturas.....	7		
Tabla 9. Mínima estacional de las medias mensuales de temperaturas.....	7		
Tabla 10. Media estacional de las medias mensuales de temperaturas.....	7		
Tabla 11. Oscilación estacional de valores medios de máximas y mínimas	7		
Tabla 12. Temperaturas medias mensuales	8		
Tabla 13. Precipitaciones medias mensuales	9		
Tabla 14. Coeficientes α , β , Q y R medios mensuales para las estaciones meteorológicas contempladas	9		
Tabla 15. Valores para la Distribución Gamma	10		
Tabla 16. Precipitación media estacional.....	10		
Tabla 17. Número medio de días de lluvia, insolación media y humedad relativa media mensuales.....	10		



1. INTRODUCCIÓN

Se recoge en este Anejo el estudio de la hidrología y el drenaje correspondiente al Anteproyecto de la "Consultoría y Asistencia Técnica para la redacción del Estudio de Viabilidad, Anteproyecto, Proyecto Constructivo de Referencia, Documentación Ambiental, Plan de Explotación y Programa Económico de una Línea de Tranvía Este – Oeste en Zaragoza"

El documento se estructura en tres apartados principales:

- Climatología.
- Hidrología.
- Drenaje.

El estudio que se presenta comprende todo el ámbito territorial de la futura línea.

2. CLIMATOLOGÍA

2.1. INTRODUCCIÓN

Para definir la climatología en el ámbito territorial de este Estudio se han empleado datos obtenidos de la publicación “Caracterización agroclimática de la provincia de Zaragoza” del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Estos datos pertenecen a las siguientes estaciones, empleándose los valores medios correspondientes a las mismas.

Su localización geográfica es la siguiente:

Tabla 1. Localización geográfica de las estaciones meteorológicas utilizadas en la caracterización climática

CODIGO	CUENCA	NOMBRE	LONG	LAT	ALT.	PERIODO
434	9	ZARAGOZA “AEROPUERTO”	2º40’ E	41º40’ N	240	1942-1980
500	9	ZARAGOZA “COGULLADA”	2º50’ E	41º41’ N	200	1944-1972
443E	9	ZARAGOZA “OBSERVATORIO”	2º48’ E	41º38’ N	250	1931-1980

2.2. RESUMEN DE DATOS CLIMÁTICOS SIGNIFICATIVOS

2.2.1. TEMPERATURAS

Para la caracterización del régimen térmico de un lugar o de un área es necesario disponer de los datos relativos a temperaturas medias mensuales al objeto de determinar las temperaturas estacionales y anuales.

Las oscilaciones verano-invierno de las temperaturas medias mensuales o extremas, así como el valor máximo de la oscilación de la temperatura, se obtienen de los cuadros que aparecen seguidamente. La obtención de la oscilación equivaldrá a una resta en el mes y estación correspondiente.

MEDIA DE LAS TEMPERATURAS MAXIMAS Y MINIMAS ABSOLUTAS MENSUALES.

OSCILACION MAXIMA MENSUAL DE LAS MEDIAS DE TEMPERATURAS ABSOLUTAS

Datos en grados, procedentes de la publicación del Ministerio de Agricultura

Tabla 2. Medias de las máximas temperaturas absolutas mensuales

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
ZARAGOZA “AEROPUERTO”	16,7	18,2	22,8	25,6	30,6	35,0	37,7	36,9	32,6	26,4	20,3	16,0	38,5
ZARAGOZA “COGULLADA”	15,9	17,8	24,1	27,1	32,0	36,3	38,5	37,7	34,0	27,1	22,3	16,2	38,8
ZARAGOZA “OBSERVATORIO”	16,7	18,4	22,9	25,9	30,4	34,8	37,5	36,6	32,7	26,5	20,1	16,0	38,3

Tabla 3. Medias de las mínimas temperaturas absolutas mensuales

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
ZARAGOZA “AEROPUERTO”	-4,3	-3,5	-1,5	1,6	4,7	9,1	12,9	12,2	8,1	3,4	-1,5	-3,5	-6,2
ZARAGOZA “COGULLADA”	-5,5	-5,6	-2,5	1,2	4,6	8,9	11,8	11,5	8,6	2,5	-2,5	-4,2	6,4
ZARAGOZA “OBSERVATORIO”	-2,9	-1,8	0,7	3,4	6,0	10,3	13,0	13,1	9,6	4,9	0,1	-2,6	-4,6

Tabla 4. Oscilación máxima mensual de las medias de temperaturas absolutas

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ZARAGOZA “AEROPUERTO”	21,2	21,7	24,3	24,0	25,9	25,9	24,8	24,7	24,5	23,0	21,8	19,5
ZARAGOZA “COGULLADA”	21,4	23,4	26,6	25,9	27,4	27,4	26,7	26,2	25,4	24,6	24,8	20,4
ZARAGOZA “OBSERVATORIO”	19,6	20,2	22,2	22,5	24,4	24,5	24,5	23,5	23,1	21,6	20,0	18,6

VALORES MEDIOS DE LAS MEDIAS MENSUALES MAXIMAS Y MINIMAS

OSCILACION DE VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURAS MAXIMAS Y MINIMAS

Datos en grados, procedentes de la publicación del Ministerio de Agricultura

Tabla 5. Media de las medias mensuales de temperaturas máximas

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
ZARAGOZA "AEROPUERTO"	9,6	12,5	16,1	18,9	23,1	27,3	31,1	30,3	26,3	20,6	14,0	10,0	20,0
ZARAGOZA "COGULLADA"	9,2	12,1	17,2	20,6	24,4	28,8	32,5	31,7	28,5	21,3	15,1	10,2	21,0
ZARAGOZA "OBSERVATORIO"	9,9	12,3	16,1	18,8	22,7	27,0	30,7	30,0	26,2	20,4	14,0	9,9	19,9

Tabla 6. Media de las medias mensuales de temperaturas mínimas

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
ZARAGOZA "AEROPUERTO"	1,6	2,6	4,6	7,1	10,5	14,1	16,8	16,7	13,9	9,7	4,9	2,7	8,8
ZARAGOZA "COGULLADA"	0,4	1,1	3,9	6,7	10,2	13,9	16,6	15,8	13,9	8,9	4,0	1,8	8,1
ZARAGOZA "OBSERVATORIO"	2,8	3,6	5,9	8,2	11,3	15,0	17,3	17,4	14,9	10,6	6,1	3,4	9,8

Tabla 7. Oscilación de valores medios mensuales de temperaturas máximas y mínimas

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ZARAGOZA "AEROPUERTO"	8,0	9,9	11,5	11,8	12,6	13,2	14,3	13,6	12,4	10,9	9,1	7,3
ZARAGOZA "COGULLADA"	8,8	11,0	13,3	13,9	14,2	14,9	15,9	15,9	14,6	12,4	11,1	8,4
ZARAGOZA "OBSERVATORIO"	7,1	8,7	10,2	10,6	11,4	12,0	13,4	12,6	11,3	9,8	7,9	6,5

VALORES Y OSCILACION ESTACIONAL DE VALORES MEDIOS DE LAS MEDIAS MENSUALES DE TEMPERATURAS

Datos en grados, procedentes de la publicación del Ministerio de Agricultura

Tabla 8. Máxima estacional de las medias mensuales de temperaturas

ESTACIÓN	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	OSCILACION VERANO INVIERNO
ZARAGOZA "AEROPUERTO"	10,7	19,4	29,7	20,3	20,0
ZARAGOZA "COGULLADA"	10,6	20,8	31,1	21,7	21,0
ZARAGOZA "OBSERVATORIO"	10,7	19,2	29,3	20,2	19,9

Tabla 9. Mínima estacional de las medias mensuales de temperaturas

ESTACIÓN	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	OSCILACION VERANO INVIERNO
ZARAGOZA "AEROPUERTO"	2,3	7,5	15,9	9,6	8,8
ZARAGOZA "COGULLADA"	1,1	6,9	15,5	9,0	8,1
ZARAGOZA "OBSERVATORIO"	3,3	8,5	16,6	10,6	9,8

Tabla 10. Media estacional de las medias mensuales de temperaturas

ESTACIÓN	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	OSCILACION VERANO INVIERNO
ZARAGOZA "AEROPUERTO"	6,6	13,5	22,8	15,0	14,4
ZARAGOZA "COGULLADA"	5,9	13,9	23,3	15,4	14,6
ZARAGOZA "OBSERVATORIO"	7,1	13,9	23,0	15,4	14,9

Tabla 11. Oscilación estacional de valores medios de máximas y mínimas

ESTACIÓN	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	OSCILACION VERANO INVIERNO
ZARAGOZA "AEROPUERTO"	8,4	11,9	13,8	10,7	11,2
ZARAGOZA "COGULLADA"	9,5	13,9	15,6	12,7	12,9
ZARAGOZA "OBSERVATORIO"	7,4	10,7	12,7	9,6	10,1

TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES

Datos en grados, procedentes de la publicación del Ministerio de Agricultura

Se obtienen como media aritmética de las temperaturas medias mensuales

Tabla 12. Temperaturas medias mensuales

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ZARAGOZA "AEROPUERTO"	5,7	7,6	10,4	13,1	16,9	20,8	24,0	23,6	20,2	15,2	9,5	6,4
ZARAGOZA "COGULLADA"	4,8	6,7	10,6	13,7	17,4	21,5	24,6	23,9	21,3	15,2	9,7	6,1
ZARAGOZA "OBSERVATORIO"	6,4	8,1	11,0	13,6	17,1	21,1	24,1	23,8	20,7	15,5	10,1	6,7

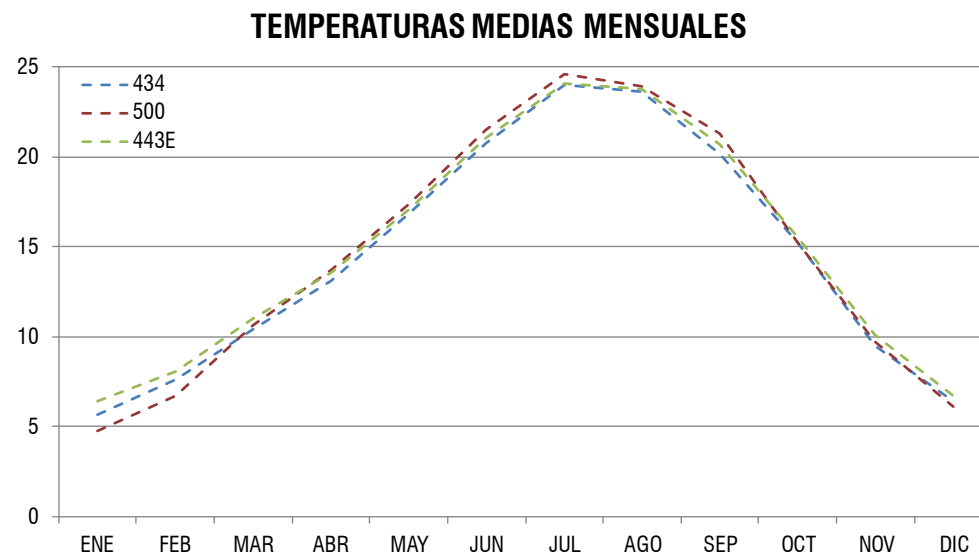


Ilustración 1. Temperaturas medias mensuales en las estaciones meteorológicas contempladas.

2.2.2. PRECIPITACIONES

Para la caracterización de la zona en donde se ubica la traza, es necesario disponer de la pluviometría media mensual, estacional y anual, obtenidas a partir de los registros mensuales de la red meteorológica provincial. La pluviometría media mensual se refleja en el siguiente cuadro cuyos datos se ha sacado de la publicación del Ministerio de Agricultura.

La precipitación media anual en la zona en estudio es de 334 mm, con un promedio de 74 días de lluvias anuales.

La determinación de las pluviometrías estacionales se refleja más adelante en este apartado y resultan de sumar el valor medio de las precipitaciones correspondientes a los meses de la estación, considerando que, por ejemplo, el invierno incluye los meses de diciembre, enero y febrero.

Las precipitaciones se distribuyen fundamentalmente entre los meses de octubre y junio, mientras que los meses de julio y agosto resultan extremadamente secos.

Se incluye también un cuadro con el análisis estadístico realizado en la citada publicación, que no es más que la distribución de las precipitaciones para poder estimar sus frecuencias.

Así para cada estación y cada mes, se incluyen los coeficientes α y β de la distribución gamma, y los coeficientes Q y R, que son el porcentaje de años en que la pluviometría es cero (Q) y mayor que cero (R).

Con estos valores y los valores de la función gamma que también se incluyen se puede calcular la frecuencia o probabilidad que se nos dé una pluviometría en un mes de cara a la ejecución de las obras.

El modelo gamma está definido por la función de probabilidad

$$f(t) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} t^{\alpha-1} e^{-\beta t} \text{ con } \alpha \text{ y } \beta \text{ constantes } > 0.$$

siendo $\Gamma(\alpha)$ la función gamma, definida como:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx \text{ para } x > 0$$

PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES

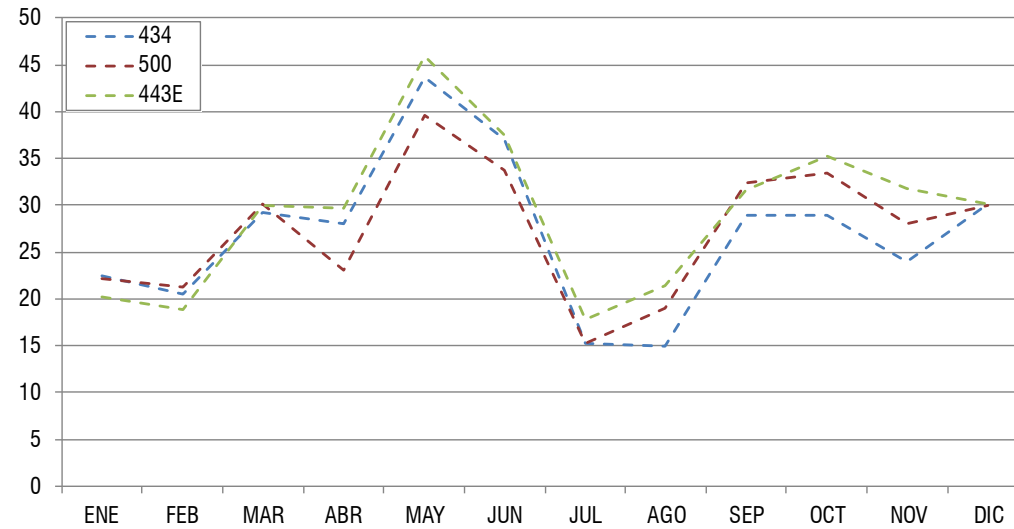


Ilustración 2. Precipitaciones medias mensuales en las estaciones meteorológicas contempladas.

PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES

Datos en mm/m², procedentes de la publicación del Ministerio de Agricultura

Se obtienen como media aritmética de las precipitaciones medias mensuales

Tabla 13. Precipitaciones medias mensuales

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
ZARAGOZA "AEROPUERTO"	23	21	29,2	28,1	43,7	37,1	15,3	14,9	29	29	24	30	324
ZARAGOZA "COGULLADA"	22	21	30,1	23,1	39,6	33,8	15,3	19	32,4	33,5	28	30	329
ZARAGOZA "OBSERVATORIO"	20	19	30	29,7	45,9	37,5	17,8	21,4	31,7	35,3	31,8	30	351

COEFICIENTES α , β , Q y R MEDIOS MENSUALES

Procedentes de la publicación del Ministerio de Agricultura

Tabla 14. Coeficientes α , β , Q y R medios mensuales para las estaciones meteorológicas contempladas

ESTACIÓN	CLAVE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ZARAGOZA "AEROPUERTO"	α	0,3	0,6	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,0	0,3	0,4	0,1	0,1
	β	17,3	12,4	23,1	21,9	30,9	30,4	13,1	15,1	22,6	20,5	20,0	26,8
	Q	3,3	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	3,1	3,1	3,1	0,0	3,1
	R	96,7	96,8	100,0	100,0	100,0	100,0	90,6	96,9	96,9	96,9	100,0	96,9
ZARAGOZA "COGULLADA"	α	0,3	0,0	0,9	0,3	0,5	0,0	0,1	0,1	0,4	0,2	0,3	0,6
	β	17,3	20,8	15,7	18,7	25,6	33,1	18,5	18,7	23,0	26,7	20,8	17,6
	Q	4,0	0,0	0,0	8,7	0,0	0,0	4,2	9,1	4,2	0,0	0,0	0,0
	R	9,0	100,0	100,0	91,3	100,0	100,0	95,8	90,0	95,8	100,0	100,0	100,0
ZARAGOZA "OBSERVATORIO"	α	0,1	0,3	0,3	0,1	0,5	0,5	0,0	0,2	0,4	0,0	0,3	0,2
	β	4,0	2,0	2,0	2,0	0,0	0,0	2,0	8,0	2,0	2,0	2,0	0,0
	Q	96,0	98,0	98,0	98,0	100,0	100,0	98,0	92,0	98,0	98,0	98,0	100,0
	R	0,3	0,6	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,0	0,3	0,4	0,1	0,1

Tabla 15. Valores para la Distribución Gamma

α	F(x)										
	0,01	0,05	0,10	0,20	0,25	0,50	0,75	0,80	0,90	0,95	0,99
-0,95	-	0,00131	0,00263	0,00527	0,00659	0,0132	0,0198	0,0211	0,0771	0,266	1,008
-0,5	0,0000785	0,00197	0,00790	0,0482	0,0508	0,227	0,662	0,822	1,353	1,921	3,317
0,00	0,01005	0,0513	0,105	0,240	0,288	0,693	1,386	1,610	2,303	2,996	4,605
0,50	0,0574	0,176	0,292	0,503	0,606	1,183	2,054	2,321	3,126	3,907	5,672
1,00	0,149	0,355	0,532	0,824	0,961	1,678	2,693	2,995	3,890	4,744	6,638
1,50	0,277	0,573	0,805	1,170	1,337	2,176	3,313	3,645	4,618	5,535	7,543
2,00	0,436	0,818	1,102	1,534	1,727	2,674	3,920	4,281	5,322	6,296	8,406
2,50	0,620	1,084	1,417	1,910	2,127	3,173	4,519	4,903	6,008	7,034	9,238
3,00	0,823	1,366	1,745	2,295	2,535	3,672	5,109	5,517	6,681	7,754	10,045
3,50	1,044	1,663	2,084	2,688	2,949	4,171	5,694	6,122	7,342	8,460	10,833
4,00	1,279	1,970	2,433	3,088	3,369	4,671	6,274	6,721	7,994	9,154	11,605
4,50	1,527	2,287	2,789	3,443	3,792	5,170	6,850	7,264	8,638	9,838	12,362
5,00	1,785	2,613	3,152	3,903	4,219	5,670	7,423	7,908	9,275	10,513	13,108
5,50	2,053	2,946	3,521	4,320	4,650	6,170	7,992	8,088	9,906	11,181	13,844
6,00	2,330	3,285	3,895	4,733	5,083	6,670	8,558	9,078	10,532	11,842	14,571
6,50	2,615	3,630	4,273	5,156	5,518	7,169	9,123	9,656	11,154	12,498	15,289
7,00	2,906	3,981	4,656	5,574	5,956	7,669	9,684	1,234	11,771	13,148	16,000
7,50	3,204	4,336	5,043	6,000	6,396	8,169	10,244	10,808	12,384	13,794	16,704
8,00	3,507	4,695	5,432	6,426	6,838	8,669	10,802	11,381	12,995	14,435	17,403
8,50	3,816	5,058	5,825	6,858	7,281	9,169	11,359	11,952	13,602	15,072	18,095
9,00	4,130	5,425	6,221	7,289	7,726	9,669	11,914	12,522	14,206	15,705	18,783
9,50	4,449	5,796	6,620	7,722	8,172	10,169	12,467	13,088	14,808	16,335	19,466
10,00	4,771	6,169	7,021	8,145	8,620	10,668	13,020	13,653	15,407	16,962	20,145
11,00	5,428	6,924	7,829	9,030	9,519	11,668	14,121	14,780	16,598	18,208	21,490
12,00	6,099	7,690	8,646	9,907	10,422	12,668	15,217	15,899	17,782	19,443	22,821
13,00	6,782	8,464	9,470	10,792	11,329	13,668	16,310	17,017	18,958	20,669	24,139
14,00	7,474	9,246	10,300	11,680	12,239	14,668	17,400	18,128	20,128	21,886	25,446
15,00	8,180	10,035	11,135	12,570	13,152	15,668	18,487	19,234	21,293	23,096	26,744
20,00	11,825	14,072	15,382	17,075	17,755	20,668	23,883	24,729	27,045	29,045	33,104
25,00	15,623	18,218	19,717	21,636	22,404	25,667	29,234	30,169	32,711	34,916	39,308
30,00	19,532	22,444	24,113	26,241	27,085	30,667	34,552	35,565	38,315	40,691	45,401
35,00	23,403	26,717	28,547	30,872	31,792	35,668	39,851	40,933	43,875	46,414	51,420
40,00	27,580	31,051	33,027	35,531	36,518	40,668	45,124	46,275	49,395	52,080	57,363
45,00	31,686	35,429	37,540	40,211	41,259	45,668	50,380	51,591	54,881	57,698	63,243
50,00	35,852	39,838	42,086	44,910	46,013	50,667	55,621	56,899	60,350	63,299	69,081

PRECIPITACIONES MEDIAS ESTACIONAL

Datos en mm, procedentes del Ministerio de Agricultura

Tabla 16. Precipitación media estacional

ESTACIÓN	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	ANUAL
ZARAGOZA "AEROPUERTO"	73,3	101,1	67,5	82,1	324,0
ZARAGOZA "COGULLADA"	73,5	93,1	68,1	93,9	328,6
ZARAGOZA "OBSERVATORIO"	69,3	105,6	77,0	98,9	350,8

De la publicación del Instituto Nacional de Meteorología "Climatología de España y Portugal" se obtienen los datos de número medio de días de lluvia, insolación media y humedad relativa media. Dichos datos corresponden a la estación Zaragoza (desde 1931 hasta 1960) que es la más cercana a la traza y donde se recogen dichos datos.

DATOS CLIMÁTICOS MEDIOS MENSUALES EN ZARAGOZA

Tabla 17. Número medio de días de lluvia, insolación media y humedad relativa media mensuales

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Nº MEDIO DÍAS LLUVIA	7	6	7	7	8	7	4	4	6	6	6	8	74
INSOLACIÓN DIARIA	4,3	5,9	6,4	7,7	9,0	10,4	11,7	10,7	7,9	6,2	5,3	4,0	7,5
HR (%) MEDIA	73%	66%	59%	55%	54%	53%	50%	52%	59%	65%	71%	75%	61%



Co-financed by the Connecting Europe Facility of the European Union



3. HIDROLOGÍA

3.1. INTRODUCCIÓN

El objeto de la hidrología es determinar las precipitaciones máximas diarias para los distintos periodos de retorno considerados y calcular los caudales de diseño de las obras de drenaje necesarias para desaguar las escorrentías superficiales que fluyen hacia la plataforma reservada para la futura línea, dando continuidad a las mismas.

El trazado se caracteriza por discurrir por suelos urbanizados donde existe una infraestructura de drenaje y saneamiento ya desarrollada. Existe un cauce principal que atraviesa la ciudad de sur a noreste que es el río Huerva.

El río Huerva en Zaragoza, entra por el Sur de la ciudad, pasando bajo el Canal Imperial. En este punto el canal tiene una obra de alivio y desagua al río. El río discurre naturalmente hasta encontrarse con la Avenida de Isabel la Católica, en el entorno del Hospital Miguel Servet, donde está situada la estación de aforos. A partir de ese punto se suceden una serie de puentes para el cruce de las calles y avenidas

En la Avenida de Goya el río intersecta con la línea de FF.CC. convencional y AVE que discurre bajo la ciudad, pasando ésta sobre el río. Este tramo se encuentra semicubierto, y unos metros más adelante de la avenida Goya se produce el cubrimiento total del cauce. Los tramos cubiertos, se han ejecutado mediante pórticos y losas superiores y tiene una sección con gran capacidad hidráulica.

Cuando se encuentra con la Gran Vía se vuelve a cubrir hasta el comienzo de la Avenida de Cesáreo Alierta, donde el río ya va a sección natural abierta hasta desembocar en el río Ebro, aguas arriba del Puente de la Unión.

El caudal medio del río en Zaragoza es de 3,3 m³/s, con una aportación anual media de 105 Hm³. El caudal máximo de avenida, desde que la estación de aforos está en funcionamiento, año 1976, es de 79,5 m³/s que se produjo el 15 de enero de 1977, el siguiente caudal de avenida es sensiblemente menor, alcanzando los 31 m³/s.

La obra de cubrición en la ciudad de Zaragoza tiene suficiente capacidad para acoger estos caudales de avenidas y otros sensiblemente mayores.

La línea a proyectar no afecta directamente al cauce del río en ningún punto, si bien, se deben de cruzar dos veces por encima del cubrimiento: una en la plaza Paraíso y otra en la intersección del paseo Constitución con el paseo de La Mina.

3.2. ADAPTACIÓN DEL DISEÑO A LA CAMBIO CLIMÁTICO

El septiembre de 2013, el Gobierno de España publicó el informe final sobre las necesidades de adaptación al cambio climático de las redes de infraestructuras de transporte en España.

Dicho informe representa las conclusiones del grupo de trabajo establecido al efecto y del que formaban parte, entre otros, los Ministerios de Fomento y de Agricultura, alimentación y Medio ambiente.

Dicho documento establece que “aunque el aumento de la intensidad de las precipitaciones extremas pueda producir localmente mayores exigencias sobre el drenaje, el Grupo de Trabajo considera que el impacto del cambio climático sobre este componente en nuevas carreteras no será a priori relevante, como consecuencia de los criterios básicos de diseño que incorpora el borrador de la Nueva Norma 5.2-IC sobre drenaje superficial”.

Dicha norma se aprobó finalmente se publicó finalmente el 15 de febrero de 2016 (Orden FOM/298/2016) publicándose en el BOE correspondiente al 10 de marzo. Como se explica más adelante, la metodología empleada para el dimensionamiento de las obras de drenaje de la línea este-oeste del tranvía en el presente anteproyecto sigue dicha Norma, por lo que se considera que el diseño es correcto ante los efectos del cambio climático.

3.3. PERIODOS DE RETORNO A CONSIDERAR EN EL CÁLCULO DE CAUDALES

Los periodos de retorno a emplear para el cálculo de caudales según indican la Instrucción 5.2.-I.C. En este caso para el drenaje superficial de la plataforma y márgenes para una IMD alta se considera 25 años de periodo de retorno.

3.4. PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS

Para determinar la lluvia para cada periodo de retorno se emplea la publicación del Ministerio de Fomento “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular”.

Se representan dos familias de líneas: una de ellas define el valor medio de P de la ley de frecuencias de máximas precipitaciones diarias en cada punto y la otra el coeficiente de variación C_v de dicha ley.

El conocimiento de dicho coeficiente permite determinar el factor Y_T , por el que se debe multiplicar el valor medio de la precipitación, P , para obtener la lluvia correspondiente a cada periodo de retorno T , conforme al cuadro que acompaña el citado mapa.

En la imagen siguiente, se representa un plano con las familias de isóneas necesarias para determinar la Y_T .

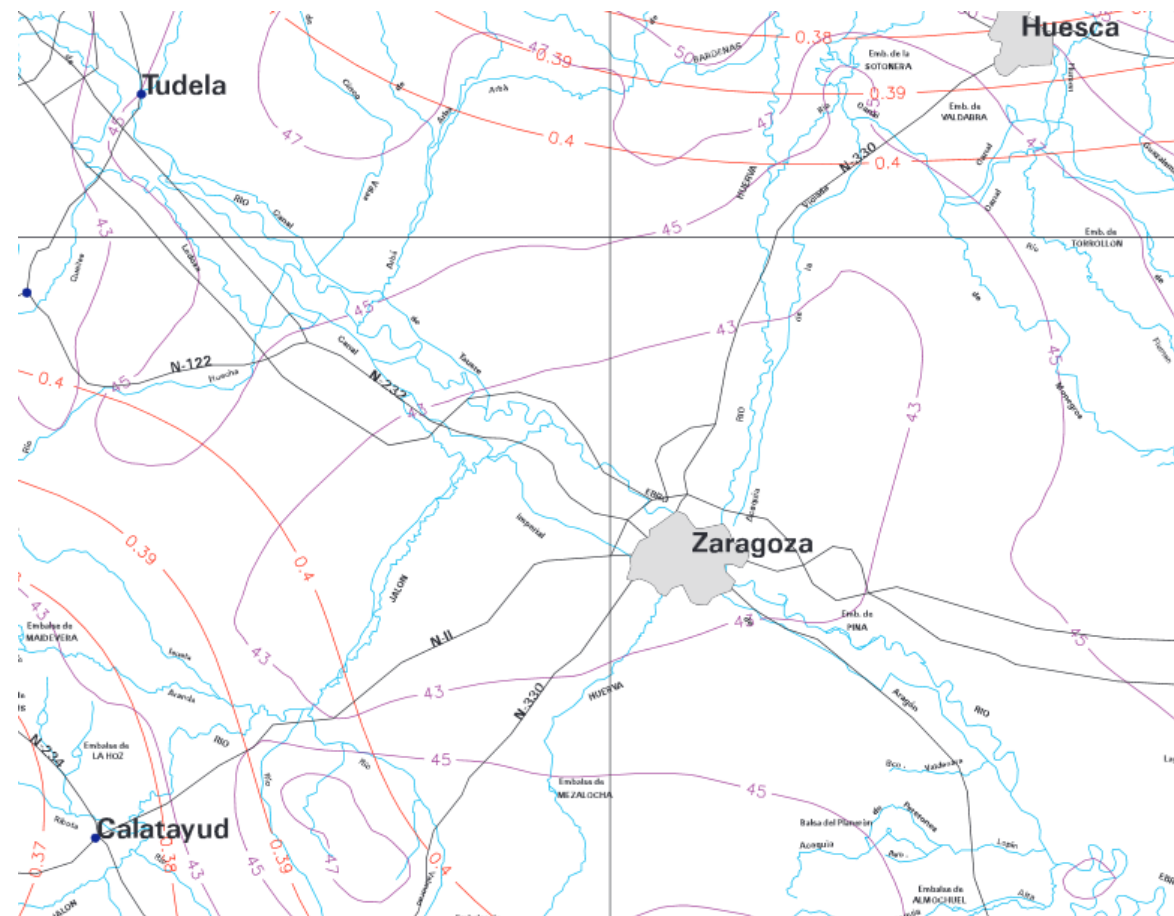


Ilustración 3. Isóneas de precipitación máxima diaria. "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular." (D.G.C.)

El valor de C_v es 0,405. El de la P_{MED} alcanza los 43 mm/día. Los valores de Y_T para ese C_v en los diferentes periodos de retorno son:

Tabla 18. Cuantil regional para diferentes T . "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular" (D.G.C.)

C_v	T (años)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0,400	0,909	1,247	1,492	1,839	2,113	2,403	2,708	3,128
0,405	0,908	1,251	1,500	1,847	2,129	2,419	2,731	3,159
0,410	0,906	1,255	1,507	1,854	2,144	2,434	2,754	3,189

Se calculan las intensidades de precipitación correspondientes a periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años. La precipitación resultante para cada periodo de retorno se indica en el siguiente cuadro:

Tabla 19. Precipitación en Zaragoza. "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular" (D.G.C.)

Periodo de retorno T (años)	Y_T	P_{MED} (mm/día)	P_T (mm/día)
2	0,908	43	39,0
5	1,251	43	53,8
10	1,500	43	64,5
25	1,847	43	79,4
50	2,129	43	91,5
100	2,419	43	104,0
200	2,731	43	117,4
500	3,159	43	135,8

3.5. INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN A EMPLEAR

La intensidad de la precipitación a emplear en el cálculo del caudal es la que corresponde al aguacero de igual duración al del tiempo de concentración para un determinado periodo de retorno.

Al contar solo con datos de precipitaciones máximas diarias no se pueden extrapolar los valores de las intensidades de aguaceros de distinta duración, por lo que para determinarlos hay que recurrir a las curvas intensidad - duración elaborada para un conjunto de estaciones españolas.

Del mapa de isóneas de la Instrucción 5.2-I.C. se obtiene el valor de I_1/I_d para la zona, siendo I_1 la intensidad máxima horaria y I_d la intensidad máxima diaria. La zona en estudio se encuentra situada entre la isónea 10.

Luego:

$$I_1/I_d = 10$$

donde:

- I_d = Intensidad media diaria.
- I_1 = Intensidad media en la hora más lluviosa del día.

donde:

- t = Periodo en horas del que se evalúa la intensidad.
- I_t = Intensidad media en el periodo t .

3.6. CÁLCULO DE CAUDALES

3.6.1. Procedimiento de cálculo

Para el cálculo del caudal de referencia, asociado a los diferentes periodos de retorno, se aplican los métodos hidrometeorológicos contenidos en la Instrucción 5.2. I.C. Drenaje superficial y las mejoras publicadas por su autor, J.R. Témez.

El caudal de referencia (Q), en el punto donde desagua una cuenca o superficie, o en una sección de paso de la misma, se obtiene mediante fórmula:

$$Q = \frac{C I A}{3,6} k$$

en donde,

C = Coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o superficie drenada. = 1

A = Área de la cuenca o superficie drenada, en km^2 .

I = Intensidad media de precipitación correspondiente al periodo de retorno considerado y a un intervalo igual al tiempo de concentración en mm/h .

K = Coeficiente que tiene en cuenta la falta de uniformidad en la distribución temporal del aguacero. La expresión utilizada para determinar el valor de k es función del tiempo de concentración, T_c , de la cuenca (fórmula de Témez):

$$K = 1 + \frac{T_c^{1,25}}{T_c^{1,25} + 14}$$

El cálculo de I se efectúa a través del siguiente proceso:

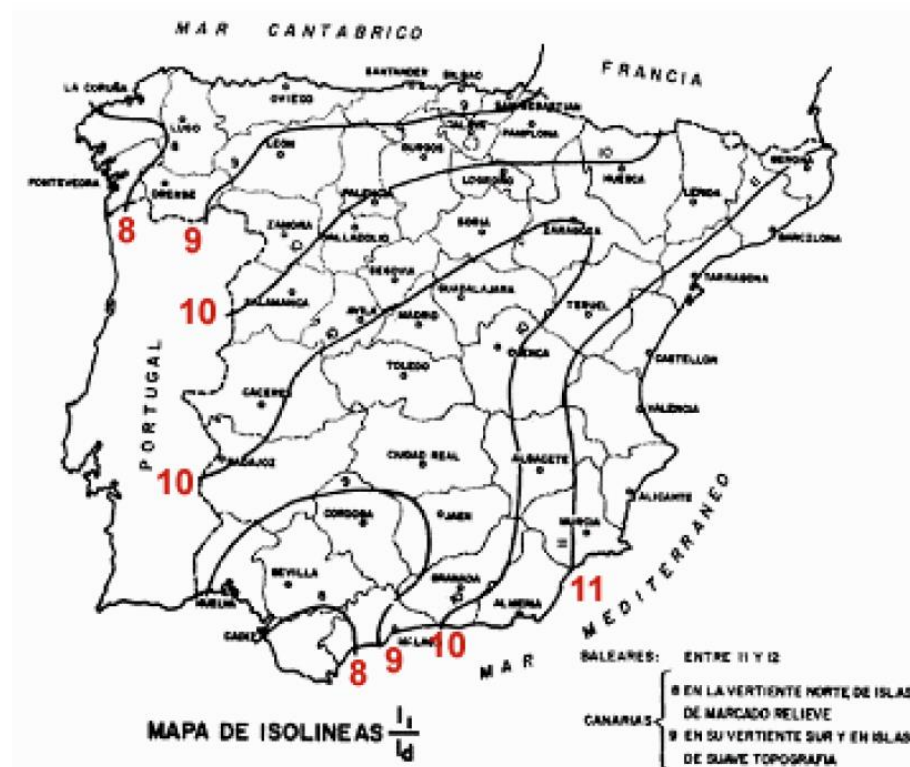


Ilustración 4. Isolinias de Intensidad de Precipitación I_1/I_d . "Máximas llluvias diarias en la España Peninsular." (D.G.C. 2001)

Para calcular la intensidad correspondiente a un aguacero de duración igual al tiempo de concentración se parte de la expresión general de las curvas intensidad duración, siendo:

$$I_i = I_d \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0,1-t^{0,1}}}{28^{0,1}-1}}$$

- Siendo I_1 , la intensidad horaria de precipitación correspondiente al período de retorno considerado e I_d la intensidad media diaria de precipitación, se determina el valor de I_1/I_d a partir del plano de isolíneas incluido en la Instrucción 5.2.I.C.

Se calcula el tiempo de concentración mediante la siguiente fórmula, ya que a la vista de los planos de cuencas, todas las cuencas que intercepta la traza objeto de estudio se consideran rurales o con una proporción de superficie impermeabilizada inferior a 0,04 del área total:

$$T_c = 0,3 \left[\frac{L}{J^{1/4}} \right]^{0,76}$$

donde:

L = longitud del cauce principal, en km.

J = pendiente, en tanto por uno.

T_c debe ser mayor de 10 minutos (0,167 horas).

- Con estos valores se obtiene.

$$I_1 = I_d \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0,1} - T_c^{0,1}}{0,4}}$$

- Para el período de retorno deseado, se deduce I_1 , multiplicando I_d por la correspondiente $I_1/I_d = P_d/24$, en donde P_d es la máxima precipitación diaria previsible obtenida a partir de los datos de lluvias.

4. DRENAJE

4.1. INTRODUCCIÓN

La implantación de la plataforma de la nueva infraestructura provoca una modificación sobre el entorno que la rodea, de forma que el drenaje general del mismo también puede verse alterado.

En el proyecto de implantación, hay que diferenciar dos tipos de drenaje:

- Drenaje de la plataforma de la nueva infraestructura.
- Drenaje de la trama urbana afectada

Aunque ambos sistemas pueden diseñarse de manera independiente, hay que tener en cuenta que el agua recogida en la plataforma de la nueva infraestructura a lo largo de todo el trazado, deberá en algún momento, incorporarse a la red de alcantarillado existente.

No obstante, la implantación de la plataforma no implica ni un aumento de la superficie de recogida de aguas, ni un aumento de la escorrentía general.

La modificación del drenaje de las calles en las que se implante la plataforma se centrará principalmente en las siguientes actuaciones:

- a) Reubicación de los sumideros existentes que sean modificados por el desplazamiento lateral de la acera donde sea necesario.
- b) Ubicación de nuevos sumideros debidos a cambios locales en la pendiente transversal de las calles, por la implantación de la plataforma.
- c) Construcción de nuevos colectores de conexión entre el sistema de drenaje de la plataforma y la red de alcantarillado existente.

El sistema de drenaje de la plataforma tranviaria se ha diseñado de forma que, en ningún caso, le llegue a la misma agua procedente del exterior. Para ello se han proyectado una serie de arquetas y colectores que recogerán esta agua y la llevarán a un punto de desagüe.

El agua de lluvia que pueda caer en la propia plataforma se recogerá mediante un sistema de canales y sumideros, colocados transversalmente en la misma y que permitan desaguar el agua de escorrentía a pozos de saneamiento próximos o, en caso de que éstos no existan, a colectores de recogida.

Este sistema de drenaje de plataforma, a su vez, deberá ser capaz de desaguar el agua que pueda quedar confinada en los carriles del tranvía.

4.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE DE LA PLATAFORMA

El agua de lluvia se canalizará dentro de la plataforma de forma que, dando pendientes transversales del 1% a la plataforma, se consiga que los puntos altos de una sección transversal dada sean los propios carriles de la vía. De esta forma, el agua no tenderá a verter en los carriles.

El agua de escorrentía se recogerá mediante canaletas y sumideros colocados transversalmente a distancia inferior a 50 m. Esta distancia vendrá condicionada por la ubicación de los pozos de saneamiento existentes en la red actual y en los cuales se desaguarán.

En los planos de Drenaje del Documento Planos se recogen las diferentes tipologías de drenaje de plataforma que se pueden dar.

El sistema de drenaje estará formado por una canaleta con pendiente, situada transversalmente a la vía de igual ancho que la plataforma, y dotada de unas piezas especiales en los carriles de forma que sujeten los mismos.

Dicha canaleta recoge el agua que discorra longitudinalmente entre carriles y en el eje de la vía (puntos bajos de la sección transversal) y la lleva a los extremos de la plataforma.

En los extremos de la plataforma, se colocan sumideros capaces de recoger el agua procedente del área existente entre carriles extremos y borde de plataforma. Para la ubicación de los sumideros se interrumpirá el bordillo que limita la plataforma. Este sistema de sumideros asegura también la evacuación de la propia calzada en caso de que ésta tuviese pendiente transversal hacia la plataforma.

En esta sección hay que contemplar el hecho de que se acumule agua con suciedad, aceite y lubricantes en los carriles. Por lo que necesita un sistema de drenaje con el doble propósito de poder desaguar el agua de escorrentía y los depósitos mencionados que pudiesen quedar confinados en los carriles de la vía. Este sistema consiste en realizar una perforación en el

carril y en su pieza de sujeción. El canal tiene suficiente sección como para comunicar entre sí (por debajo de los carriles) toda la plataforma.

4.3. COMPROBACIÓN HIDRÁULICA DEL DRENAJE DE PLATAFORMA

A continuación se comprueba la capacidad de transporte de la canaleta transversal de dimensiones 0,315 a 0,431 metros de alto por 0,21 metros de ancho, colocada con una pendiente de 2%.

La canaleta debe tener capacidad suficiente para drenar el caudal máximo que pueda llegar hasta la misma, teniendo en cuenta un periodo de retorno de 25 años.

Según los parámetros hidrológicos calculados en el capítulo de Hidrología del presente anejo y siguiendo la metodología de la Instrucción 5.2-IC, considerando las modificaciones propuestas por Témez.

El caudal aportado a cada elemento de drenaje de plataforma se ha calculado conforme a la expresión:

$$Q = K \frac{C \cdot I \cdot A}{3,6}$$

- Q: caudal punta correspondiente a una periodo de retorno dado (m³/s).
- A: superficie aportante en km². Inicialmente la consideramos igual a 1 m².
- I: intensidad media de precipitación correspondiente al periodo de retorno considerado y a un tiempo de duración de la tormenta igual al tiempo de concentración (mm/h).
- T_c = Tiempo de concentración (horas), que se considera de 10 minutos
- Según se ha indicado en el capítulo de hidrología, para Zaragoza (I₁/I_d) = 10 y en T25, P_d = 79,40 mm/h.

$$I = \left(\frac{P_d}{24}\right) \left(\frac{I_1}{I_d}\right)^{\frac{28^{0,1-T_c^{0,1}}}{28^{0,1}-1}} = 86,0 \text{ mm/h}$$

- C: Coeficiente de escorrentía de la cuenca drenada, como la plataforma, se encuentra pavimentada se considera 1 del lado de la seguridad.
- K: Coeficiente de uniformidad, que viene dado por la expresión:

$$K = 1 + \frac{T_C^{1,25}}{T_C^{1,25} + 14} = 1,0075$$

Así pues, el caudal a recoger por la plataforma será:

$$Q = \frac{1 \cdot 10^{-6} \cdot 86,0 \cdot 1,0075}{3,6} = 2,4068 \cdot 10^{-5} \frac{m^3}{s} / m^2$$

En un caso habitual el área a drenar tendrá como máximo 50 m de longitud y el ancho de plataforma de 8,00 m, es decir 400 m². Esto supondrá, según la expresión anterior un caudal punta de 0,010 m³/s.

El cálculo se realiza aplicando la fórmula de Manning y la ecuación de continuidad, con las siguientes variables:

Pendiente, J = 2%	n Manning = 0,018	Ancho canaleta, B (m) = 0,21 m
Perímetro mojado, P (m)	Área mojada, S (m ²)	Radio hidráulico, R _H (m ² /m)
Caudal, Q (m ³ /s)	Velocidad, v (m/s)	Calado, y (m)

Las fórmulas a aplicar son:

$$P=2 \cdot Y+B \quad S=B \cdot y \quad R_H=S/P \quad v = \sqrt{\frac{J \cdot R_H^{4/3}}{n^2}} \quad Q=v \cdot S$$

En la tabla siguiente se representa la capacidad hidráulica de la canaleta rectangular con 0,315 a 0,431 metros de alto por 0,21 metros de ancho y pendiente de 2%, en función de su calado.

Tabla 20. Calado y Caudal en Canaleta

y (m)	P (m)	S (m ²)	R _H (m ² /m)	v (m/s)	Q (m ³ /s)
0,050	0,310	0,011	0,034	0,822	0,009
0,060	0,330	0,013	0,038	0,891	0,011
0,100	0,410	0,021	0,051	1,084	0,023
0,150	0,510	0,032	0,062	1,228	0,039
0,200	0,610	0,042	0,069	1,320	0,055
0,250	0,710	0,053	0,074	1,384	0,073
0,280	0,770	0,059	0,076	1,414	0,083
0,300	0,810	0,063	0,078	1,432	0,090
0,350	0,910	0,074	0,081	1,468	0,108

Entrando en el cuadro con el caudal máximo de 0,010 m³/s se comprueba que es transportado por el canal con un calado inferior a 6 cm.

El caudal máximo a transportar con un grado de llenado del 80 % corresponde a 0,083 m³/s. Esto supone una capacidad muy superior al caudal "habitual" a drenar por los elementos de drenaje de la plataforma.

Este caudal correspondería a una superficie de escorrentía:

$$A = 0,083 / 2,4068 \times 10^{-5} = 3.448 \text{ m}^2$$

El área resultante, para un ancho de plataforma de 8,00 m, supone una longitud de 431 m de línea. Este es un valor que supera holgadamente cualquier superficie a drenar por el drenaje de plataforma aun considerando los casos más desfavorables en los que la plataforma tenga un ancho superior al normal de vía doble o incluso que la calzada drene hacia la plataforma y su escorrentía tenga que ser evacuada a través del drenaje de plataforma.

En cualquier caso, se ha considerado que la distancia máxima entre los elementos de drenaje de plataforma sea de 50 m.