

ANEXO 1: RESUMEN EJECUTIVO

El estudiante debe abordar un problema complejo de ingeniería civil o ambiental, donde aplique el diseño ingenieril para desarrollar una solución que satisfaga necesidades específicas, considerando factores técnicos, ambientales, económicos, culturales, sociales y de seguridad y salud. Para ello, el Trabajo Final debe incluir los siguientes conceptos en sus documentos, convenientemente justificados y analizados, centrados en el campo de la ingeniería civil y ambiental.

	CONCEPTO	Desarrollo en castellano/valenciano	CONCEPT	Desarrollo en inglés	¿Dónde? (páginas) Where?) (pages)
1.	IDENTIFICAR:		IDENTIFY:		
1.1.	Planteamiento del problema y oportunidad	El problema principal es el incremento de superficies impermeables por la urbanización del Lote 1, que genera riesgo de sobrecarga en la red municipal. La oportunidad es el aprovechamiento de un túnel preexistente en la planta -2 para albergar la infraestructura de regulación.	Problem statement and opportunity	The main problem is the increase in impermeable surfaces due to the urbanization of Lot 1, generating a risk of overloading the municipal network. The opportunity is taking advantage of a pre-existing tunnel on floor -2 to house the regulation infrastructure.	Págs. 2-3 (Resumen), 6-9 (Introducción) y 20 (Figura 7).
1.2.	Restricciones (normas, códigos, necesidades, requisitos y especificaciones)	Restricción de limitar el vertido al 17 % del caudal punta, exigido por el Canal de Isabel II. Escasez de espacio libre en superficie, que impide usar SUDS a gran escala. El diseño exige un periodo de retorno de 10 años por normativa.	Constraints (standards, codes, needs, requirements & specifications)	Restriction to limit the discharge to 17% of the peak flow, required by Canal de Isabel II. Lack of free surface space, preventing large-scale SUDS. The	Págs. 18-20 (Superficies y túnel) y 34 (Tabla 5).

				design requires a 10-year return period by regulation.	
1.3.	Establecimiento de objetivos	Estudiar distintas alternativas de drenaje, seleccionar la solución más adecuada desde el punto de vista técnico, hidráulico y constructivo, y desarrollar su dimensionamiento preliminar.	Setting of goals	To study drainage alternatives, select the most appropriate solution from a technical, hydraulic, and constructive perspective, and develop its preliminary sizing.	Págs. 2-3 (Resumen) y 10-11 (Objetivos).
2.	FORMULAR:		FORMULATE:		
2.1.	Generación de soluciones creativas (análisis)	Se plantean tres alternativas: Alternativa 0 (conexión directa), Alternativa 1 (tanque de tormentas en la planta -2) y Alternativa 2 (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible).	Creative solution generation (analysis)	Three alternatives are proposed: Alternative 0 (direct connection), Alternative 1 (stormwater tank on floor -2), and Alternative 2 (Sustainable Urban Drainage Systems).	Págs. 11 (Objetivos) y 38-40 (Definición de Alternativas).
2.2.	Evaluación de múltiples soluciones y toma de decisiones (síntesis)	Mediante análisis multicriterio de expertos, se concluye que la Alternativa 1 (tanque de tormentas) es óptima para la acometida norte. Para la acometida sur, se aprueba la Alternativa 0 (conexión directa).	Evaluation of multiple solutions and decision-making (synthesis)	Through expert multi-criteria analysis, Alternative 1 (stormwater tank) is optimal for the north connection. For the south connection, Alternative 0 (direct connection) is approved.	Págs. 40-54 (Tablas 6 a 20 del Análisis Multicriterio).
3.	RESOLVER:		SOLVE:		

3.1.	Cumplimiento de objetivos	Se predimensiona un tanque in situ de hormigón HA-30 (363 m³ útiles). Evacuación mediante sistema de bombeo 2+1 (caudal de 81,8 L/s), cumpliendo el 17 % máximo de vertido. Se calcula un presupuesto (PEM) de 181.815 €.	Fulfilment of goals	An in situ HA-30 concrete tank (363 m³ useful) is pre-sized. Evacuation via 2+1 pumping system (81.8 L/s flow), meeting the 17% maximum discharge. A budget (PEM) of €181,815 is calculated.	Págs. 60-70 (Dimensionamiento, Figura 13) y 90-93 (Presupuesto).
3.2.	Impacto global y alcance (contribuciones y recomendaciones prácticas)	Protege la red municipal contra inundaciones. Como recomendaciones, se propone un mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, y la necesidad de un cálculo estructural completo en fase de Proyecto.	Overall impact and significance (contributions and practical recommendations)	Protects the municipal network against flooding. Recommendations include preventive, predictive, and corrective maintenance, and a complete structural calculation in the Project phase.	Págs. 95-104 (Mantenimiento) y 105-108 (Conclusiones).

ANEXO 1:

CÁLCULO HIDRÁULICO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DIARIA CORRESPONDIENTE AL PERIODO DE RETORNO T

CÁLCULO DE P_D (MM)

PRIMER MÉTODO: ANÁLISIS INFORMACIÓN ESTACIÓN MADRID/BARAJAS

La serie analizada para la estación Madrid/Barajas corresponde a los valores de precipitación máximas diarias entre los años 1994 y 2024, observados en la siguiente gráfica:

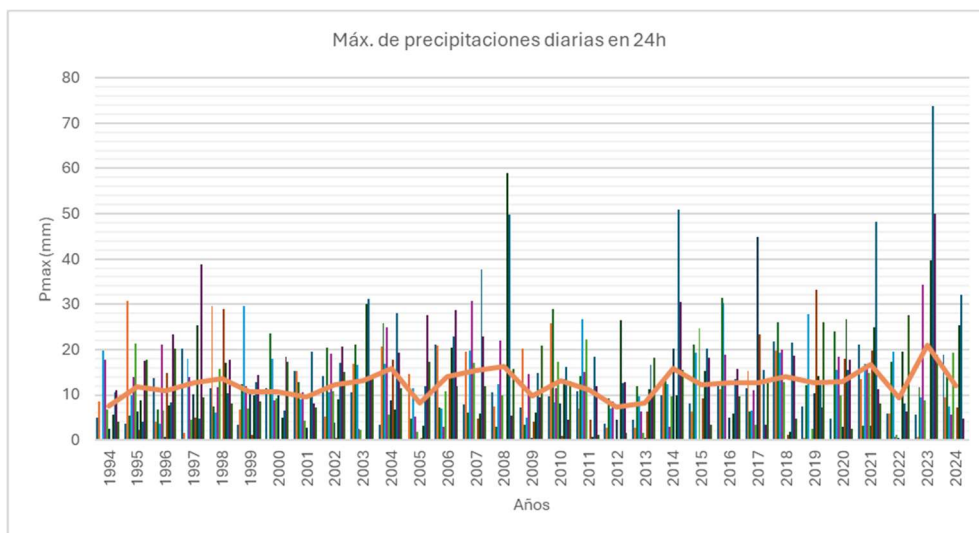


Figura 1. Máxima precipitación diaria desde 1994 hasta 2024 de la estación pluviométrica del aeropuerto de barajas.
Datos obtenidos de AEMET.

Traspassando los datos a una tabla:

Año	Precipitación máxima anual (mm)
1994	7
1995	11
1996	10
1997	12
1998	13
1999	10
2000	10
2001	9
2002	12
2003	13
2004	15
2005	8
2006	14
2007	15
2008	16
2009	10
2010	13
2011	11
2012	7

2013	8
2014	15
2015	12
2016	12
2017	12
2018	13
2019	12
2020	13
2021	14
2022	9
2023	20
2024	12

Para la estimación de las precipitaciones máximas diarias asociadas a diferentes periodos de retorno (T), se realizó un análisis comparativo de diversas funciones de distribución de probabilidad de valores extremos. Entre los modelos evaluados se incluyeron la distribución Log-Pearson Tipo III, la distribución SQRT-ET max y la Distribución Generalizada de Valores Extremos (GEV).

Tras el análisis, se seleccionó la distribución GEV como el modelo de ajuste óptimo. Esta decisión se fundamenta en la versatilidad de la GEV para integrar, mediante su parámetro de forma, las familias de distribuciones Gumbel, Fréchet y Weibull, permitiendo un ajuste más preciso de la asimetría y la curtosis de la serie histórica. Para la estimación de los parámetros de dicha distribución, se optó por el método de los Momentos L. De acuerdo con (Montes et al., 2018), este procedimiento ofrece estimaciones más robustas y menos sesgadas que los métodos convencionales de momentos ordinarios o máxima verosimilitud, especialmente cuando se trabaja con muestras de tamaño moderado, como es el caso de la presente investigación.

La superioridad de la GEV en estudios hidrológicos de eventos extremos ha sido ampliamente documentada en la literatura científica. Autores como Montes et al., 2018 han validado, mediante el análisis de miles de registros a nivel global, que la GEV es la distribución que mejor representa la estructura estocástica de las precipitaciones máximas, superando en fiabilidad a modelos más rígidos como el de Gumbel. La formulación de la función GEV es la siguiente:

$$F(x) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \right\}$$

Figura 2. Función GEV

Donde μ es el parámetro de ubicación (location), σ es el parámetro de escala (scale) y ξ es el parámetro de forma (shape).

Los periodos de retorno considerados son los siguientes: 2, 5, 10, 25, 50, 100, 300 y 500 años.

Para garantizar la robustez de los estimadores frente a la muestra disponible (N=31), se empleó el método de los Momentos L, siguiendo el procedimiento descrito por Hosking y Wallis (1997). El cálculo se estructuró en las siguientes etapas:

CÁLCULO DE MOMENTOS PROBABILÍSTICOS PESADOS (PWM)

Se calcularon los estadísticos b_0 , b_1 , y b_2 mediante las expresiones:

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{(i)}$$

$$b_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(i-1)}{(n-1)} x_{(i)}$$

$$b_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(i-1)(i-2)}{(n-1)(n-2)} x_{(i)}$$

Donde $x_{(i)}$ representa la serie de datos ordenada de forma ascendente.

Los cálculos dan los siguientes resultados:

$$b_0 = 11.8710$$

$$b_1 = 6.7194$$

$$b_2 = 4.7496$$

OBTENCIÓN DE LOS MOMENTOS L (λ_r)

A partir de los PWM, se obtuvieron los momentos L lineales:

$$\lambda_1 = b_0 \text{ (Media)}$$

$$\lambda_2 = 2b_1 - b_0 \text{ (Dispersión)}$$

$$\lambda_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0 \text{ (Asimetría)}$$

Los cálculos dan los siguientes resultados:

$$\lambda_1 = 11.8710$$

$$\lambda_2 = 1.5677$$

$$\lambda_3 = 0.0522$$

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA GEV

Se calculó la relación de asimetría L ($\tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} = 0.0336$). El parámetro de forma (ξ) se estimó mediante la aproximación polinómica de Hosking:

$$\xi \approx 0.2858 - 8.0089\tau_3 + 1.1352\tau_3^2 + 5.947\tau_3^3$$

$$\xi = 0.2251$$

Finalmente, los parámetros de escala (σ) y ubicación (μ) se derivaron de:

$$\sigma = \frac{\lambda_2 \xi}{(1-2^{-\xi})\Gamma(1+\xi)}$$

$$\mu = \lambda_1 - \frac{\sigma}{\xi} [1 - \Gamma(1 + \xi)]$$

Los cálculos dan los siguientes resultados:

$$\sigma = 2.1937$$

$$\mu = 10.60$$

CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN PARA EL PERIODO DE RETORNO (T)

Una vez obtenidos los parámetros, la precipitación diaria máxima para un periodo de retorno T determinado se calculó mediante la función de cuantiles:

$$X_T = \mu + \frac{\sigma}{\xi} \left[1 - \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right)^\xi \right]$$

Los cálculos dan los siguientes resultados:

T	Cálculo final de la Lluvia
2	11,80
5	13,24
10	14,01
25	14,82
50	15,31
100	15,74
200	16,09
300	16,28
500	16,49
1000	16,74

Por tanto, para el tiempo de retorno de 10 años, la precipitación daría obtenida es **Pd=14.01mm**.

SEGUNDO MÉTODO: PRECIPITACIÓN POR MÉTODO “MÁXIMAS LLUVIAS DIARIAS EN LA ESPAÑA PENINSULAR”

Para la definición de la precipitación por el método publicado por el MITMA para la España peninsular se tiene la siguiente ecuación:

$$X_t = Y_t \cdot P$$

Donde:

- X_t (mm/d) = Cuantil local (Precipitación máxima diaria en 24h).
- Y_t (adimensional) = Cuantil regional.
- P (mm/d) = Valor local de la media de precipitación diaria (aportado por el método).

El valor local de la media de precipitaciones diaria es aportado por el método. Los diferentes cuantiles regionales, dependientes del tiempo de retorno, se obtiene a través de Coeficiente de Variación (Cv), definido en una serie de mapas de la península.

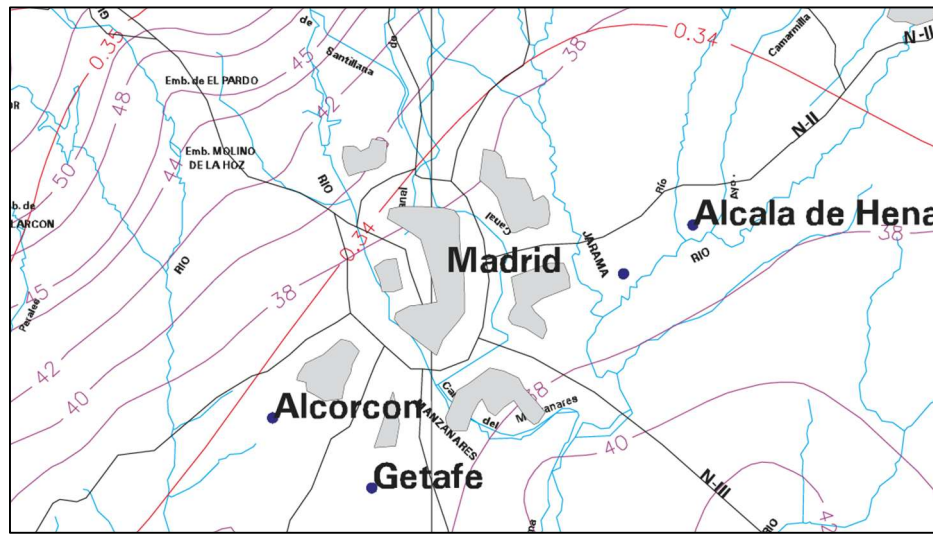


Figura 3. Valores de Cv y del valor local de la media de precipitación diaria de la zona de estudio. Fuente: Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras. Máximas lluvias diarias en la España Peninsular.

Correspondiente a la zona de actuación del proyecto localizada en la región norte de la comunidad de Madrid, el valor de precipitación local corresponde a $P = 38$ mm y el coeficiente de variación es igual a $C_v = 0,34$. Con este último, se obtiene de la tabla 7.1 del mismo documento, los valores de los cuantiles regionales (Y_t).

Tabla 7.1. Cuantiles Y_t de la Ley SQRT-ET max, también denominados Factores de Amplificación K_t , en el “Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular” (1997). Fuente: Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras. Máximas lluvias diarias en la España Peninsular.

C _v	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS (T)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0.30	0.935	1.194	1.377	1.625	1.823	2.022	2.251	2.541
0.31	0.932	1.198	1.385	1.640	1.854	2.068	2.296	2.602
0.32	0.929	1.202	1.400	1.671	1.884	2.098	2.342	2.663
0.33	0.927	1.209	1.415	1.686	1.915	2.144	2.388	2.724
0.34	0.924	1.213	1.423	1.717	1.930	2.174	2.434	2.785
0.35	0.921	1.217	1.438	1.732	1.961	2.220	2.480	2.831
0.36	0.919	1.225	1.446	1.747	1.991	2.251	2.525	2.892
0.37	0.917	1.232	1.461	1.778	2.022	2.281	2.571	2.953
0.38	0.914	1.240	1.469	1.793	2.052	2.327	2.617	3.014
0.39	0.912	1.243	1.484	1.808	2.083	2.357	2.663	3.067
0.40	0.909	1.247	1.492	1.839	2.113	2.403	2.708	3.128
0.41	0.906	1.255	1.507	1.854	2.144	2.434	2.754	3.189
0.42	0.904	1.259	1.514	1.884	2.174	2.480	2.800	3.250
0.43	0.901	1.263	1.534	1.900	2.205	2.510	2.846	3.311
0.44	0.898	1.270	1.541	1.915	2.220	2.556	2.892	3.372
0.45	0.896	1.274	1.549	1.945	2.251	2.586	2.937	3.433
0.46	0.894	1.278	1.564	1.961	2.281	2.632	2.983	3.494
0.47	0.892	1.286	1.579	1.991	2.312	2.663	3.044	3.555
0.48	0.890	1.289	1.595	2.007	2.342	2.708	3.098	3.616
0.49	0.887	1.293	1.603	2.022	2.373	2.739	3.128	3.677
0.50	0.885	1.297	1.610	2.052	2.403	2.785	3.189	3.738
0.51	0.883	1.301	1.625	2.068	2.434	2.815	3.220	3.799
0.52	0.881	1.308	1.640	2.098	2.464	2.861	3.281	3.860

Con estos valores se obtienen las precipitaciones diarias en 24 horas para los diferentes tiempos de retorno:

Tabla 1. Valores de intensidad con sus respectivos tiempos de retorno y cuantiles regionales.

T	2	5	10	25	50	100
Yt	0,924	1,213	1,423	1,717	1,93	2,174
Xt (mm/d)	35,1	46,1	54,1	65,2	73,3	82,6
Xt (mm/h)	1,5	1,92	2,3	2,7	3,06	3,4

Por tanto, para el tiempo de retorno de 10 años, la precipitación daría obtenida es **Pd=54,1mm**.

RESULTADO DE PD

Comparados los valores por ambas metodologías, el valor obtenido con la última metodología es mayor y por lo tanto es el adoptado para el cálculo de la intensidad de lluvia del proyecto. Por tanto, el valor de Pd a escoger es **54.1mm** para un periodo de retorno de 10 años.