

ANEJO 3.- CLIMATOLOGÍA, HIDROLOGÍA Y DRENAJE

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO	1
2. CLIMATOLOGÍA.....	1
2.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA GENERAL	1
2.2 ELABORACIÓN DE LOS DATOS CLIMÁTICOS	3
2.3 CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS	4
2.4 CARACTERÍSTICAS TERMOMÉTRICAS	12
2.5 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA.....	19
2.6 CLIMODIAGRAMAS DE WALTER-GAUSSSEN.....	30
2.7 DIAGRAMA DE TERMOHIELAS	31
3. HIDROLOGÍA.....	32
3.1 MÉTODO DE GUMBEL	33
3.2 LEY DE DISTRIBUCIÓN SQRT-ET.....	37
3.3 MÉTODO DE LA DGC	39
3.4 CONCLUSIONES	41
4. CÁLCULO DE CAUDALES	43
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCA INTERCEPTADAS.....	43
4.2 PERÍODO DE RETORNO	43
4.3 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	44
4.4 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	44
4.5 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD K_T	45
4.6 INTENSIDAD DE LLUVIA.....	45
4.7 CONCLUSIONES	49
5. DRENAJE	49
5.1 INUNDABILIDAD DEL RÍO ASUA.....	49
5.2 DESCRIPCIÓN DE LA RED DE DRENAJE.....	52

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

El objeto del presente Anejo es la caracterización climática e hidrológica de la zona afectada por el ámbito de estudio definido en este Estudio informativo.

El objetivo del estudio climatológico, es caracterizar las principales variables estudiadas, con el fin de conseguir una idea global de la climatología de la zona que permita detectar los condicionantes que afectarán al diseño de los distintos elementos del proyecto y a la programación de la obra.

Si bien el resultado final más directamente relacionado con los estudios posteriores del Drenaje debe ser el análisis de las precipitaciones máximas previsibles, el estudio climatológico incluye también un análisis general de los parámetros que definen el clima de la zona.

El estudio climatológico e hidrológico por su parte, permite obtener:

- Los datos necesarios para el dimensionamiento de los elementos de drenaje a disponer a lo largo del trazado, fundamentalmente caudales, así como conocer el resto de condicionantes hidráulicos que pudieran tener incidencia en el mismo.
- Las características del clima para apoyar la definición de diferentes elementos del proyecto.
- Los coeficientes medios para la obtención del número de días laborables para las diferentes actividades constructivas.

Para alcanzar estos objetivos se han utilizado datos elaborados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), seleccionando los de la estación climatológica más próxima al trazado.

2. CLIMATOLOGÍA

2.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA GENERAL

La zona de estudio está enmarcada dentro de la cuenca hidrográfica del Norte en las proximidades de Bilbao y, según sus características climáticas, pertenece a la Iberia Verde. Esta región se caracteriza por tener temperaturas suaves y lluvias abundantes.

La Cordillera Cantábrica, situada paralela a la costa, actúa como una barrera que impide el paso hacia el interior de España de los vientos húmedos del Norte y de los sistemas nubosos que traen consigo.

A causa del desigual calentamiento entre tierra y mar hay un efecto estacional (monzónico) soplando el viento de tierra a mar en invierno (componente Sur) y de mar a tierra en verano (componente Norte). Especialmente con tiempo estable anticiclónico.

El doble efecto de divisoria de la cordillera Cantábrica se manifiesta en el estancamiento de los sistemas nubosos: flujos del N y del NW que vienen del Cantábrico, o bien del SW de procedencia atlántica.

La temperatura media anual del aire es de 10 a 16º, siendo el clima templado y húmedo. La precipitación media anual oscila entre los 1100 y 1700 mm. El número medio de días de lluvia anuales oscila entre 113 y 179.

Los valores de las variables climáticas más representativas son:

VARIABLE CLIMÁTICA	VALOR MEDICIÓN
Temperatura media anual	10-16 º C
Temperatura media del mes más cálido	16-20 º C
Temperatura media del mes más frío	4-10 ºC
Duración media del período de heladas	3 a 7 meses
E.T.P. media anual	700-900
Precipitación media anual	1100-1700 mm
Días de lluvia	113-179
Duración del período seco	0-1 mes
Precipitación de invierno	32%
Precipitación de primavera	21%
Precipitación de otoño	32%
Temperatura media anual	10-16 º C
Temperatura media del mes más cálido	16-20 º C
Temperatura media del mes más frío	4-10 ºC
Duración media del período de heladas	34,5 Km

Para la caracterización general de la zona se ha empleado la publicación del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (actual Ministerio de Medio ambiente, Medio Rural y Marino) "Caracterización Agroclimática del País Vasco", cuyo autor es Andrés de León Llamazares

De acuerdo con esta publicación, la zona de proyecto se sitúa en la Zona I, "Av, O, Hu":

INVIERNO	VERANO	HUMEDAD
Av	O	Hu
avena cálido	Arroz	Húmedo

ZONA	RÉGIMEN TÉRMICO							
	Tm	PERÍODO FRÍO					PERÍODO CÁLIDO	
		tmf	tf	Duración	Var. NOV	Var. ABR	tmc	Tc
I	12 a 16ºC	6 a 10ºC	2 a 8ºC	2 a 5 meses	0/10 a 8/10	0/10 a 8/10	18 A 22ºC	22 A 28ºC
Av, O, Hu								0 meses

ZONA	RÉGIMEN DE HUMEDAD				
	P anual	ETP anual	PERIODO SECO		
			Duración	Var. JUL	Var. SEP
I Av, O, Hu	1.000 a 2.400 mm	700 a 800 mm	0 a 1 mes	0/10 al 3/10	0/10 al 1/10

ZONA	VEGETACIÓN CULTIVADA							VEGETACIÓN ESPONTÁNEA	
	CLASIFICACIÓN J. PAPADAKIS					ÍNDICE TURC.			
	Inv.	Ver.	R.Ter.	R Hum.	Tipo Climát.	Secano	Regadío		
I Av, O, Hu	Av	O	CO/TE	Hu	Cont. Templ. Cálido	30 a 45	40 a 45	Aestilig.	

2.2 ELABORACIÓN DE LOS DATOS CLIMÁTICOS

Para la caracterización climática de la zona objeto del presente estudio se han consultado las estaciones meteorológicas ubicadas en el área.

En función de la lejanía a la traza del proyecto y de la calidad de las series de datos, se realizó una selección entre las estaciones identificadas:

Nombre	Altitud	Fecha inicio	Fecha final	Años completos	Años incompletos	Motivos del descarte
1077C BILBAO (HISTORICA)	17	1859	1920	59	0	Datos desactualizados
1077E BILBAO ARCHANDA	213	1978	1979	0	2	serie insuficiente
1077F BILBAO(EUSKALDUNA)	15	1983	1983	0	1	serie insuficiente
1077H BILBAO-LABEIN	25	1986	1997	8	4	serie insuficiente
1081U DERIO-NEIKER	67	1986	2007	16	6	Existencia de otra estación en la misma zona con una serie mayor

Una vez descartadas dichas estaciones, se seleccionó para la caracterización climática del proyecto, la estación 1082 BILBAO (AEROPUERTO), siendo esta una estación termopluviométrica:

Estación		Altitud (m)	Longitud	Latitud	Pluviometría	Termometría
Id	Denominación				Serie	Serie
1082	Bilbao (Aeropuerto)	808	2º 54' 21" W	43º17'53" N	1947-2011	1947-2010

2.3 CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS

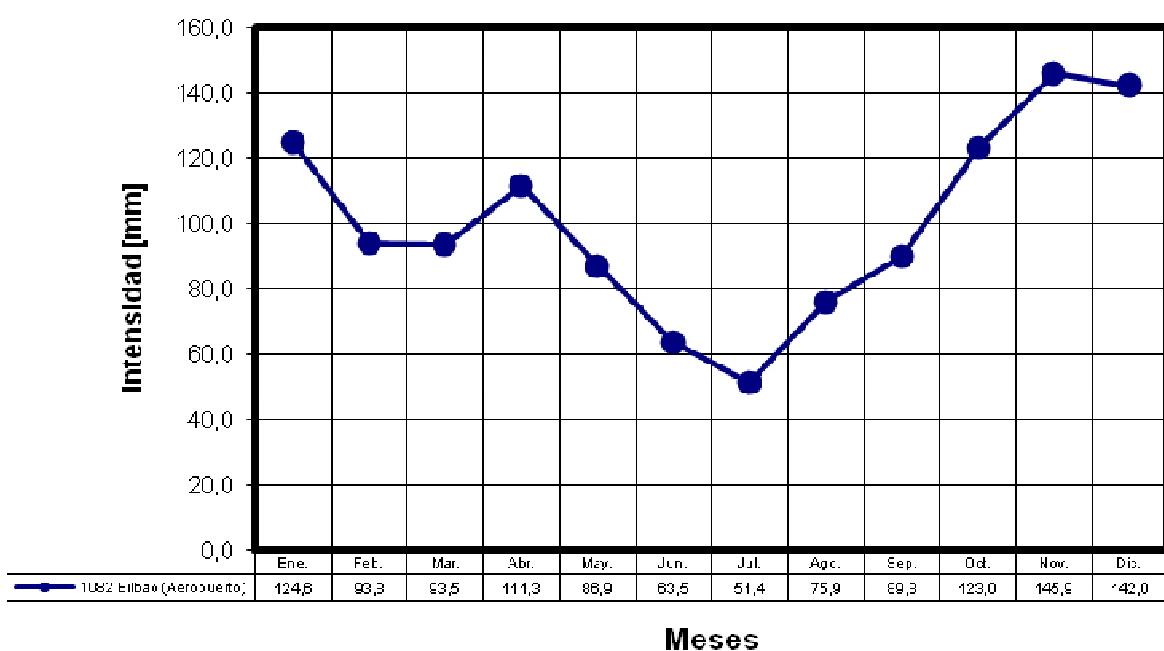
La descripción de las características pluviométricas se realiza con la estación 1082 Bilbao (Aeropuerto).

Seguidamente se analizan las distintas variables necesarias para la caracterización del régimen de precipitaciones de la zona.

2.3.1 PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUAL Y ANUAL.

La precipitación media total anual es 1201,6 mm, siendo noviembre el mes más lluvioso seguido por diciembre, enero, octubre y abril. Dichos meses son los que, por otra parte, superan la media mensual prevista para todo el año, y por consiguiente de ahí se desprende la existencia de una estación invernal húmeda, mientras que la estación veraniega de menor precipitación, pero con unos niveles medios por encima de los 60 mm y que va desde mayo hasta septiembre.

PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES [mm]



2.3.2 PRECIPITACIÓN MEDIA ESTACIONAL.

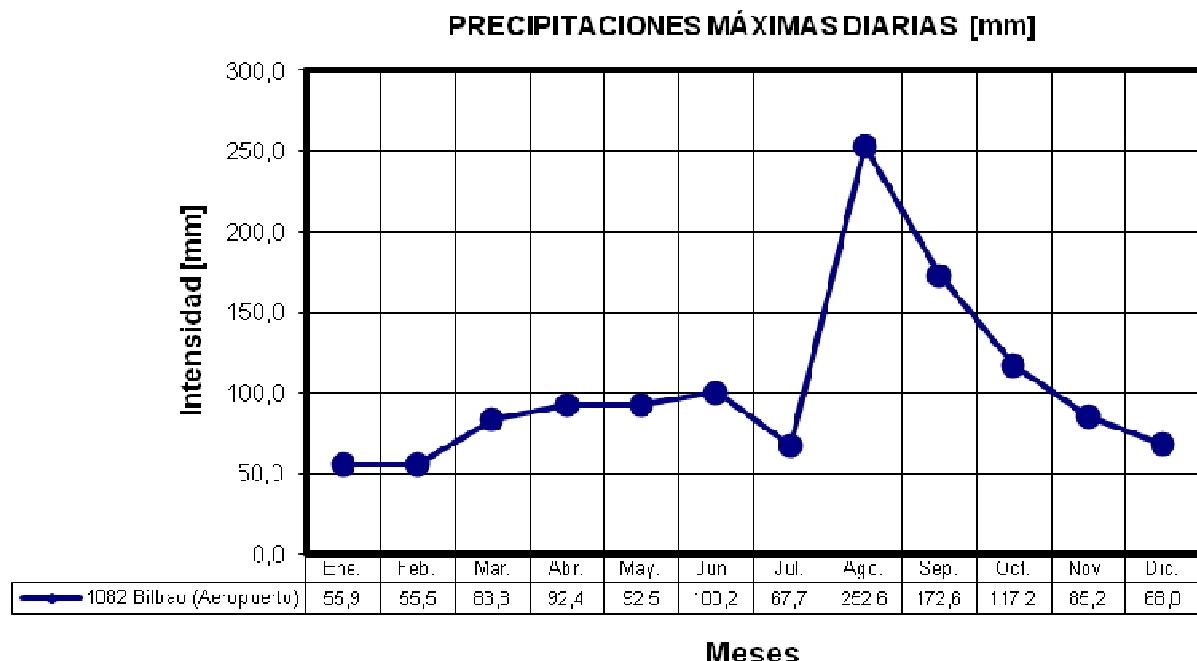
Observando las precipitaciones medias estacionales de la tabla que se adjunta a continuación y teniendo en cuenta los meses asignados a cada una de ellas (primavera: marzo, abril y mayo; verano: junio, julio y agosto; otoño: septiembre, octubre y noviembre; invierno: diciembre, enero y febrero.), se confirma lo dicho anteriormente, es decir, una estación seca

en verano, y una precipitación prácticamente constante alrededor de los 100 mm en otoño, invierno y primavera.

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
1082 Bilbao (Aeropuerto)	97,24	63,58	119,56	120,14

2.3.3.- PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA

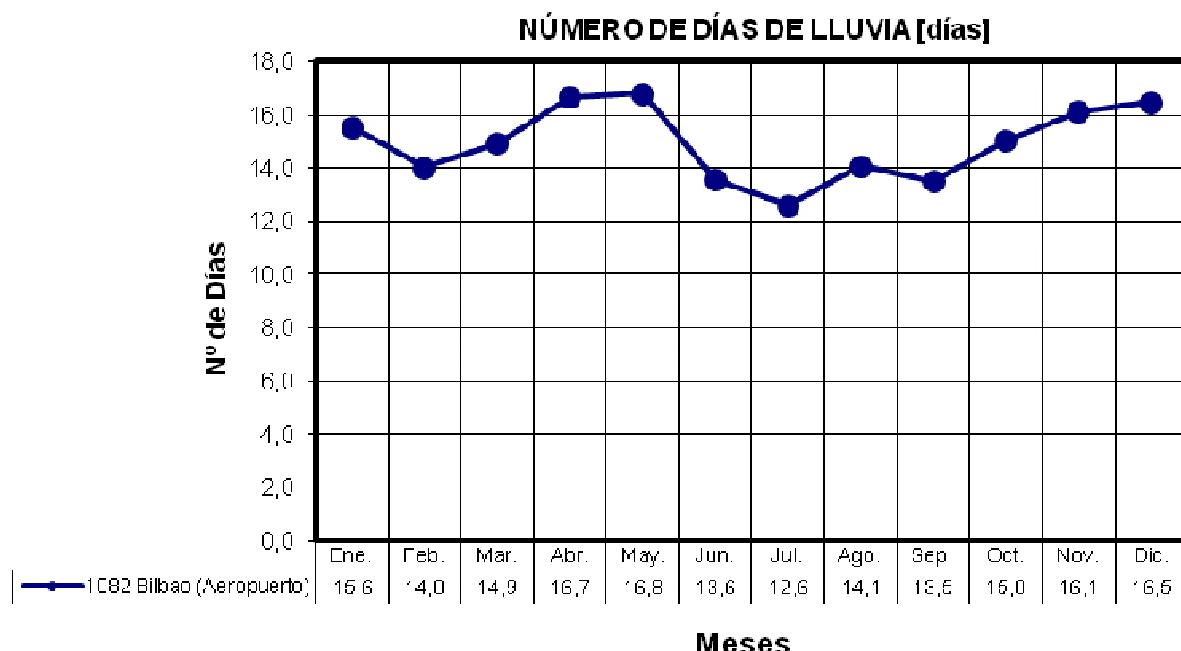
En el siguiente gráfico se pueden observar los valores correspondientes a precipitaciones máximas diarias.



La máxima precipitación registrada en un día es de 252,6 mm, registrada en el mes de agosto. Dado que este mes está dentro del período seco, tal precipitación es debida a una fuerte tormenta.

2.3.3 NÚMERO DE DÍAS DE LLUVIA

Esta variable se analiza por separado al tener una especial incidencia en el desarrollo de las obras.



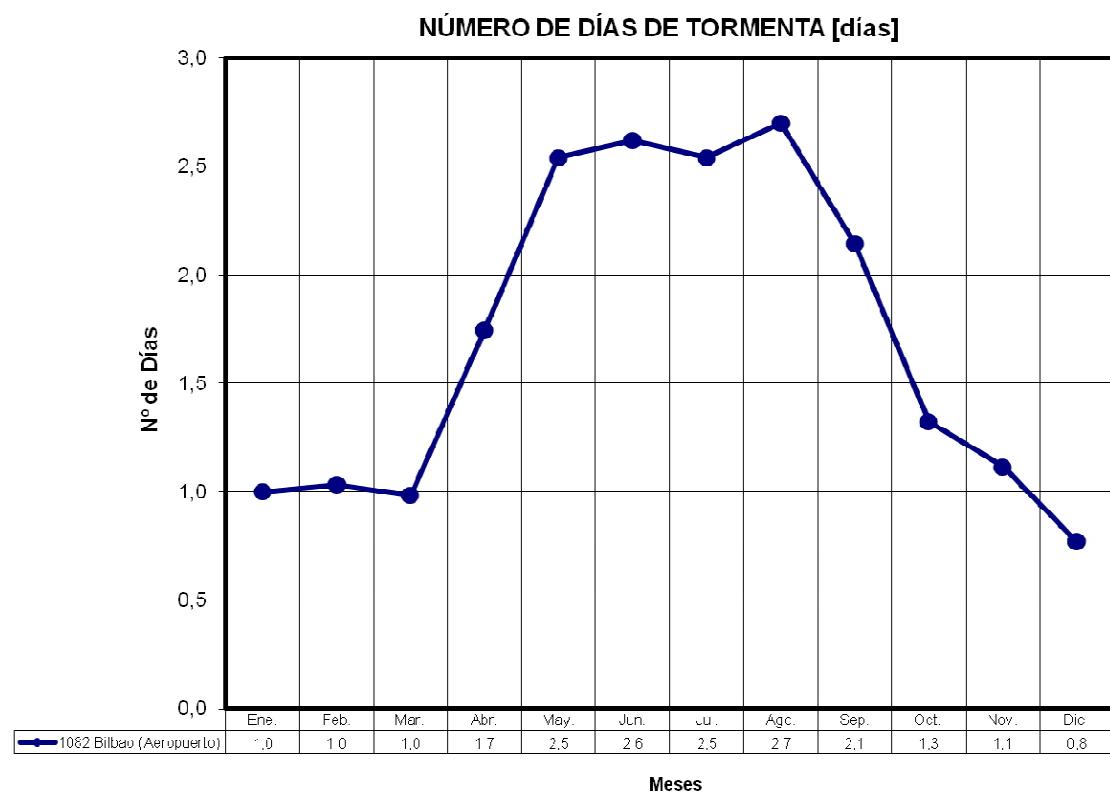
La media del número de días de lluvias al año es de 179,3 (14,9 días al mes).

Como se puede comprobar son mayo y abril los meses que tiene un mayor número de días de lluvia seguidos de noviembre y diciembre.

2.3.4 DIARIO METEOROLÓGICO

Se exponen a continuación una serie de tablas con las variables que comprenden el diario meteorológico:

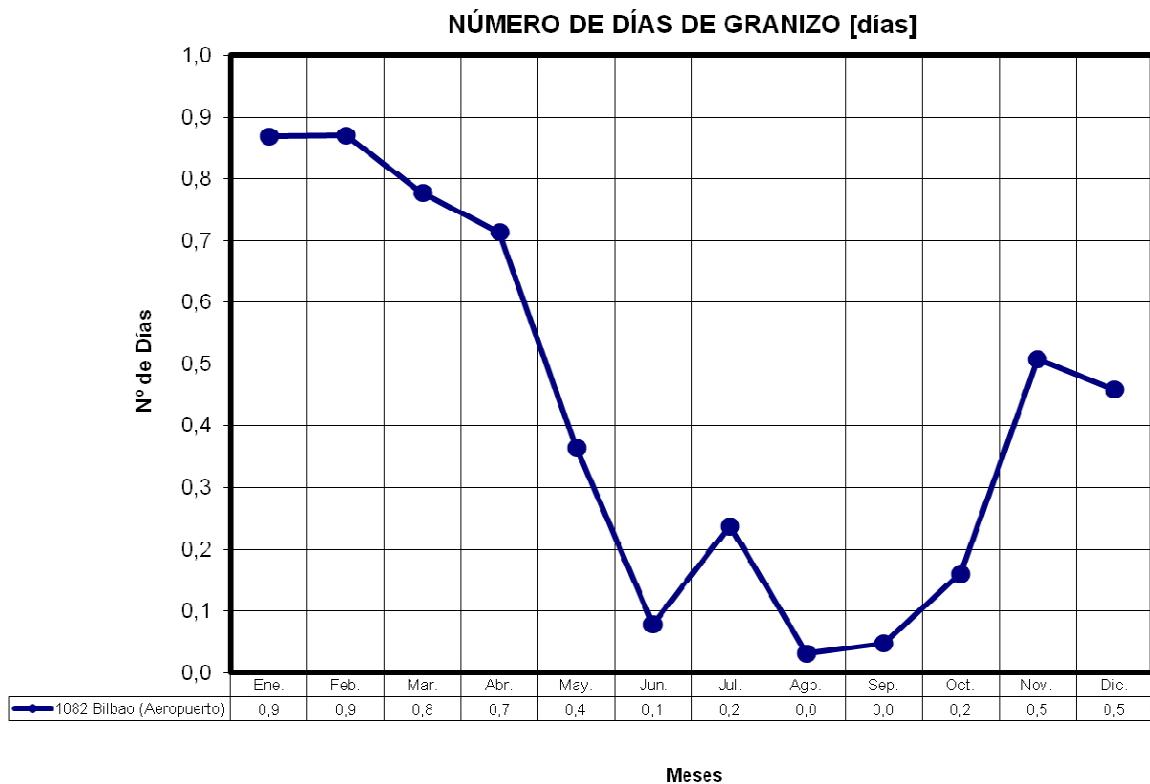
La concentración de tormentas se centra en los meses de verano, en el período de mayo a septiembre, en todos ellos superando los 2 días de tormenta, y llegando a su máximo en agosto con 2,7 días de tormenta. Contrastando estos datos con el máximo de precipitaciones diarias, se deduce que las tormentas son de una intensidad importante ya que se supera la media de las precipitaciones máximas diarias.



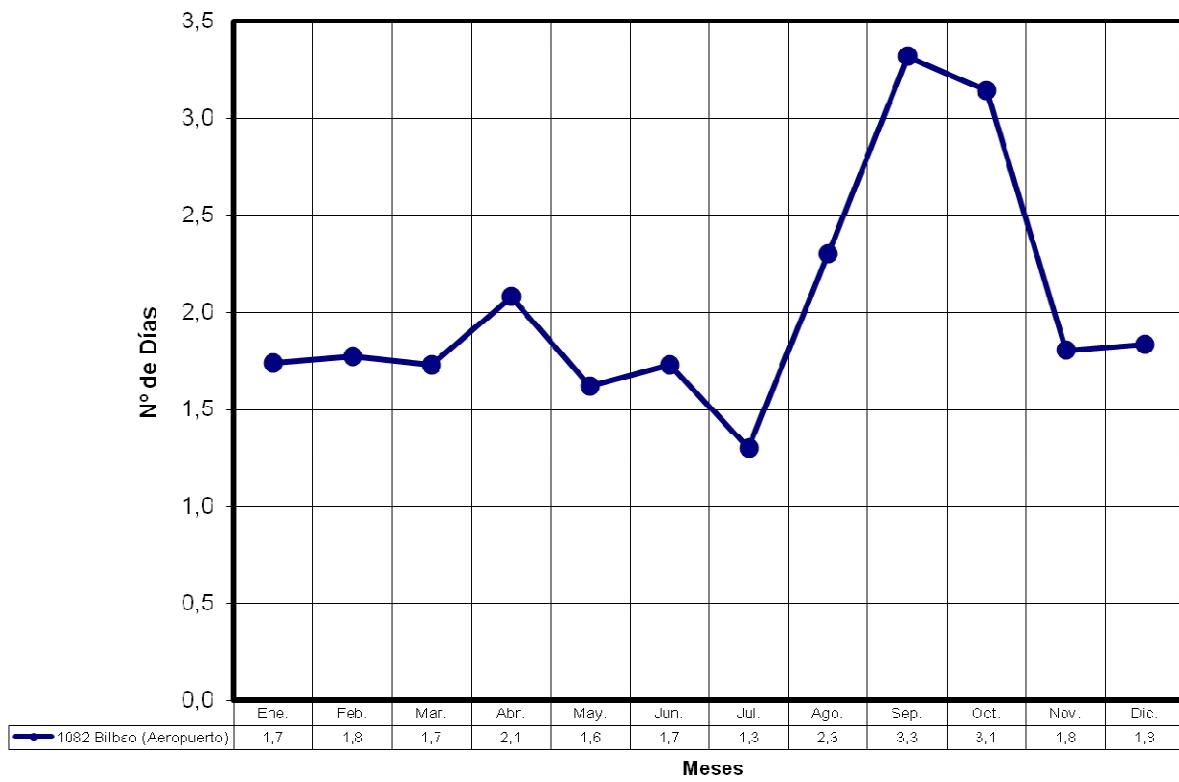
En cuanto a las nevadas, estamos en una zona donde se puede producir de media una nevada al mes, en los meses de invierno.



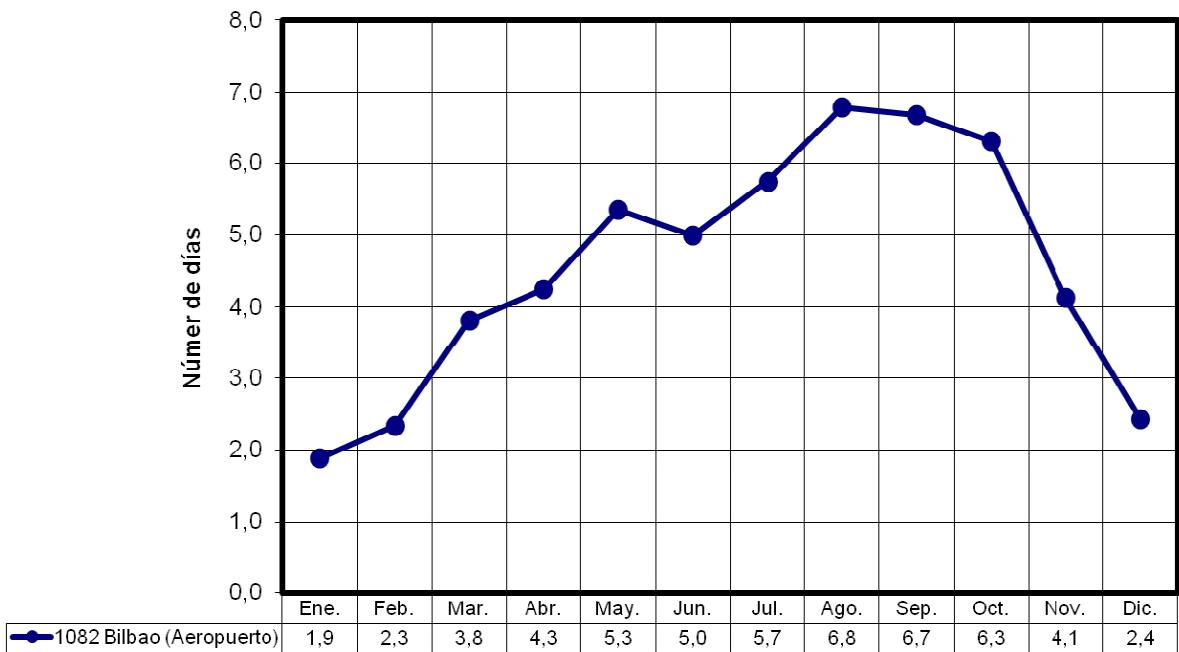
Durante los meses de invierno podemos encontrar al menos un día de granizo, teniendo el máximo en el mes de febrero, seguido de enero. En los meses de agosto y septiembre los valores son prácticamente 0.



En la zona en la que se encuentra el proyecto, es bastante habitual el fenómeno de la niebla, teniendo un total de 24,4 días de niebla en un año tipo. Este fenómeno se produce independientemente de la estación, ya que el valor mínimo de días de niebla se produce en el mes de julio, siendo de 1,3 días.

NÚMERO DE DÍAS DE NIEBLA [días]


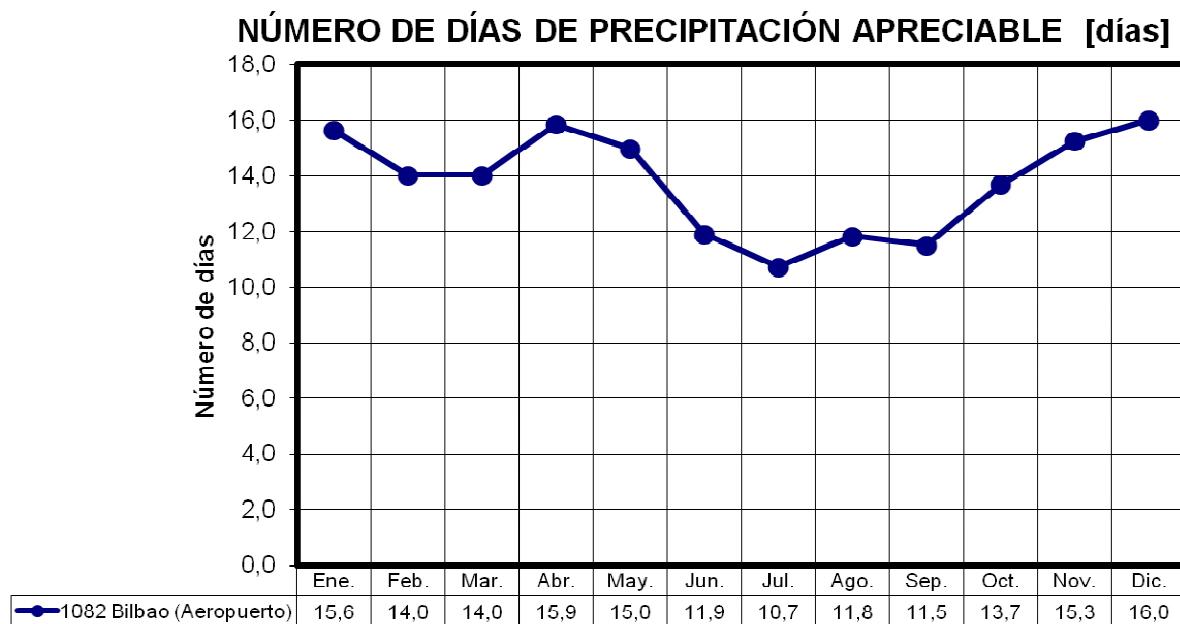
El fenómeno del rocío tiene su punto más alto en el período de agosto a octubre, en los que hay más de 6 días en cada uno de estos meses en los que se da el rocío.

NÚMERO DE DÍAS DE ROCÍO


El fenómeno de la escarcha se concentra en el período invernal, de noviembre a marzo, con más de un día mensual. En los meses restantes es prácticamente inexistente.

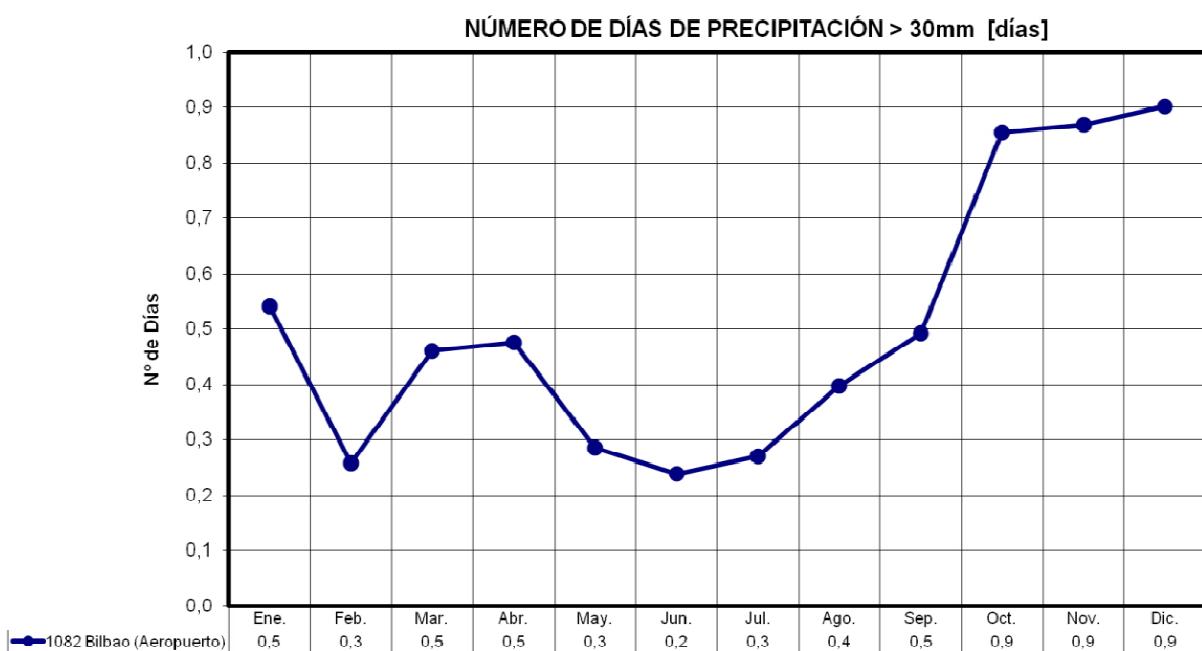
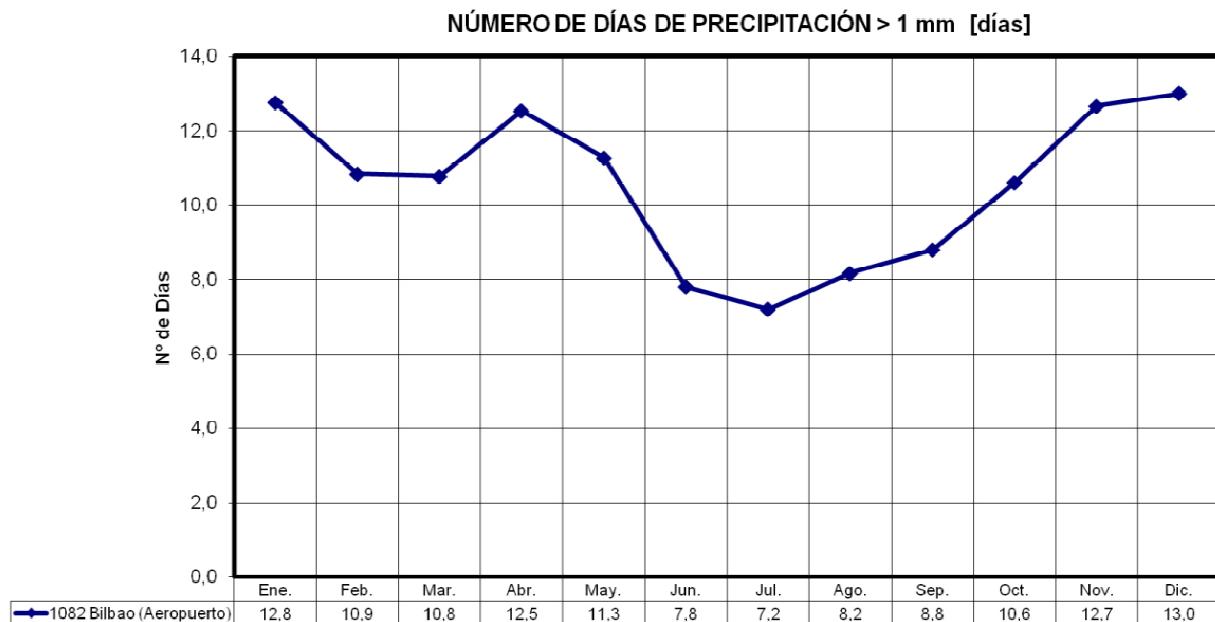


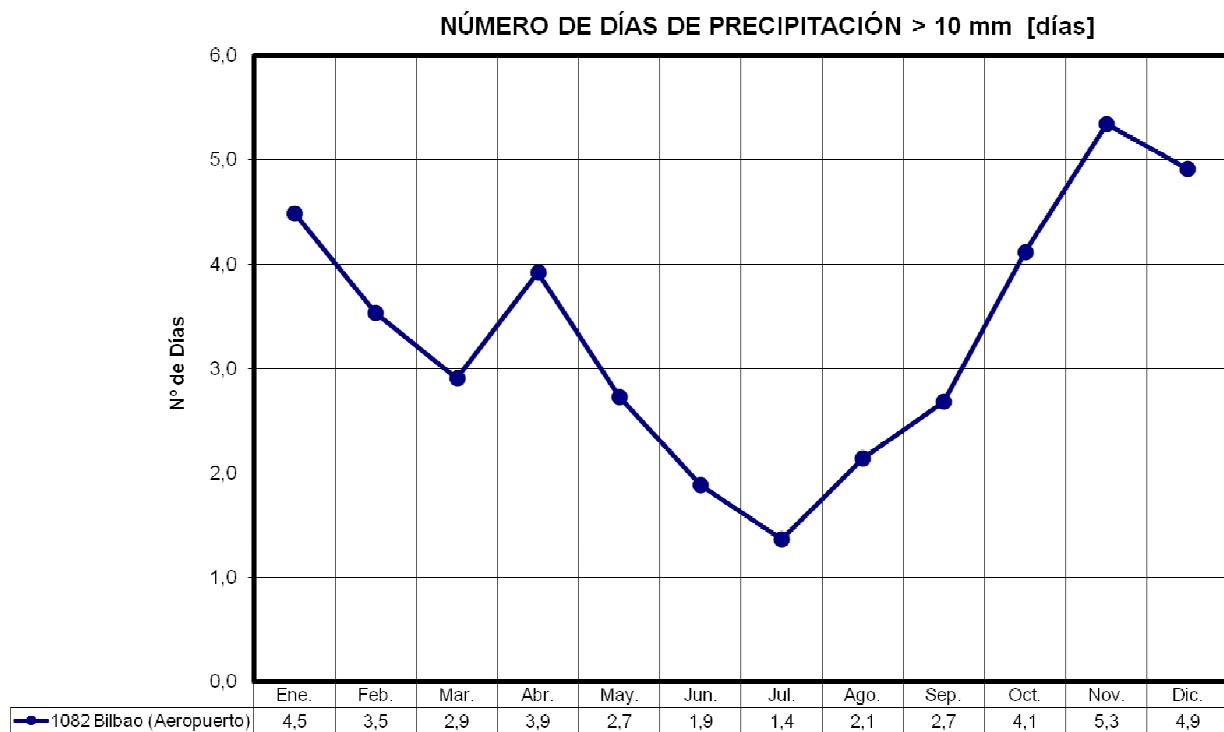
Se refiere el número de días de precipitación apreciable a aquellas precipitaciones superiores a los 0,1 milímetros de lluvia. La media de días en los que se produce precipitación apreciable es de 13,8 días al mes, alcanzando el máximo en diciembre con 16 días y el mínimo en julio con menos de 11 días.



A continuación se adjuntan una serie de gráficas que contienen los días en los que se supera una determinada cantidad de lluvia, correspondiente a:

- Precipitación > 1 mm.
- Precipitación > 10 mm.
- Precipitación > 30 mm.





Como se pueden observar en las gráficas, la media son 10,3 días los que se superan el milímetro de precipitación, 3,3 días en los que se superan los 10 mm y 0,5 días los que se superan los 30 mm.

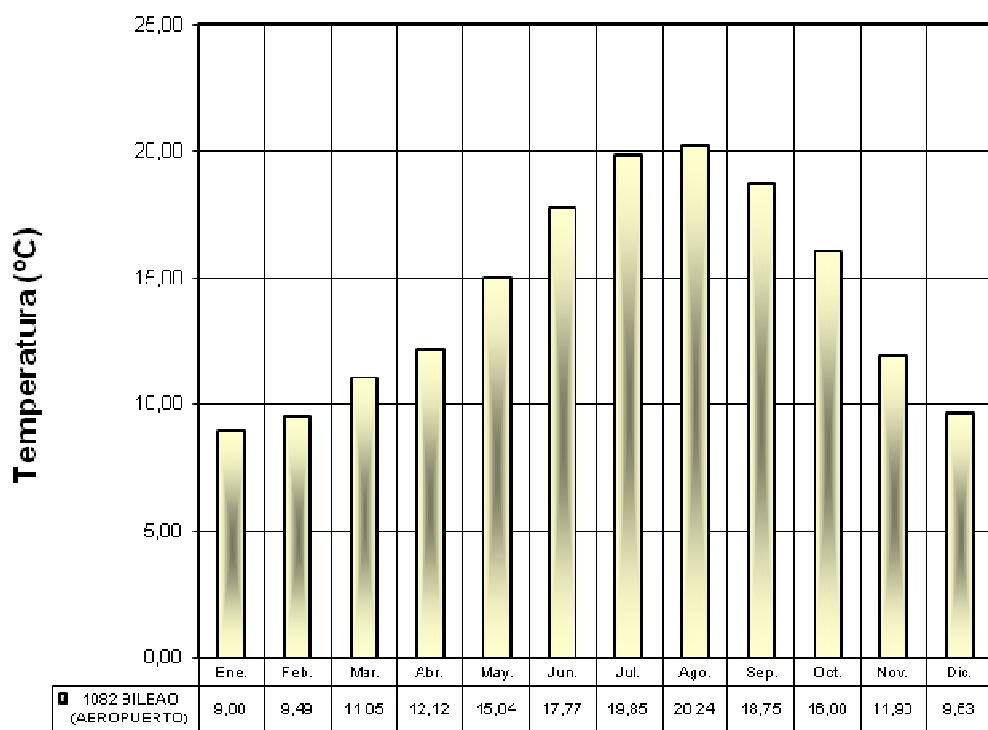
2.4 CARACTÉRISTICAS TERMOMÉTRICAS

Para estudiar las variables térmicas se ha utilizado la estación 1082 Bilbao (Aeropuerto).

2.4.1 TEMPERATURA MEDIA MENSUAL Y ANUAL.

En la siguiente tabla se reflejan los datos de temperaturas medias mensuales y la media anual.

Temperatura media mensual



De los datos se deduce que tanto el invierno como el verano son suaves, ya que la temperatura media invernal ronda los 10 °C, y en los meses más calurosos a penas se llega a los 20 °C.

2.4.2 TEMPERATURA MEDIA ESTACIONAL Y OSCILACIÓN INVIERNO-VERANO.

Estaciones	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
1082 BILBAO (AEROPUERTO)	12,74	19,28	15,55	9,37

La temperatura en invierno es moderada, cercana a los 10 °C. Es destacable que la media de temperaturas de otoño es más elevada que la de primavera. Con lo que podemos deducir que las estaciones están desplazadas con respecto al mes teórico de comienzo y final.

OSCILACIÓN INVIERNO-VERANO [°C]			
Estaciones	Invierno	Verano	Oscilación
1082 BILBAO (AEROPUERTO)	9,37	19,28	9,91

Destaca por otro lado, la oscilación de temperaturas Verano – Invierno, con una media de 9,91 °C, que si bien nos dice que no hay un cambio extremadamente alto nos indica clara-

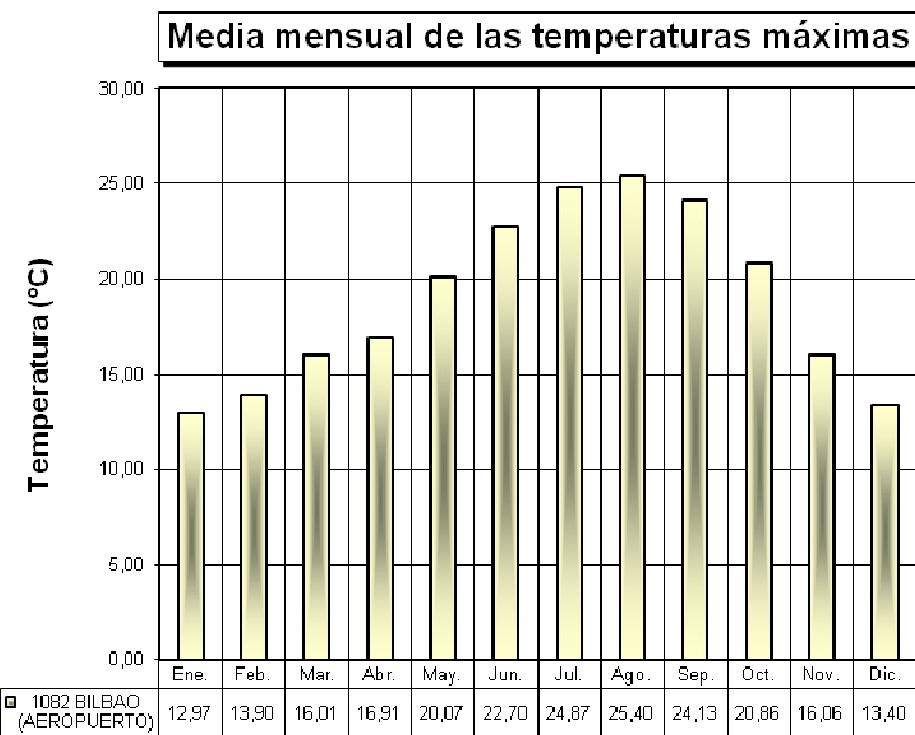
mente que los veranos son frescos, con temperaturas medias inferiores a los 20 °C, pero aún más destacable es el hecho que la temperatura media invernal roce los 10 °C.

2.4.3 TEMPERATURA MEDIA DE LAS MÁXIMAS Y LAS MÍNIMAS.

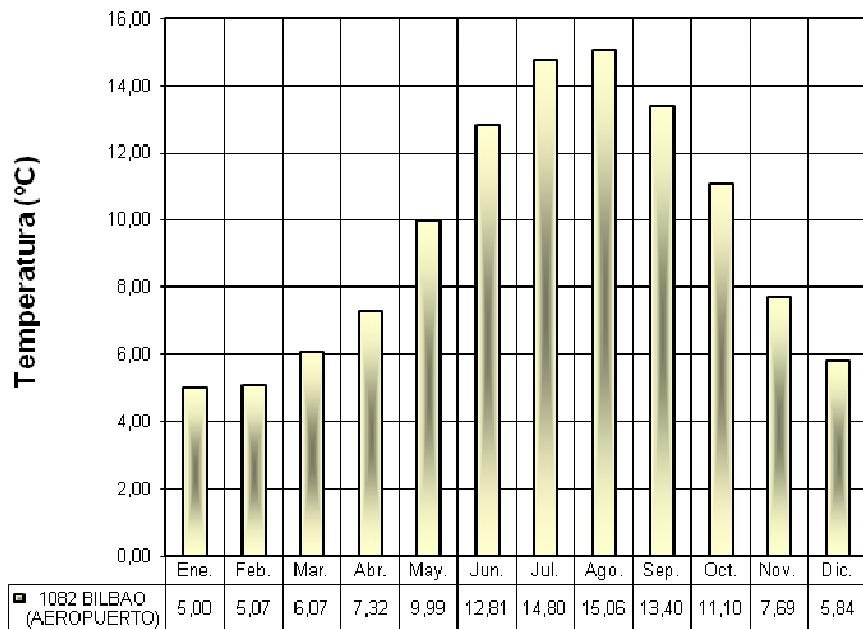
Las temperaturas medias de las máximas y de las mínimas se incluyen en las siguientes las medias anuales, calculadas a partir de las medias mensuales de temperatura, que se incluyen en las gráficas adjuntas.

Temperatura máxima media	
Estaciones	Temperatura
1082 BILBAO (AEROPUERTO)	25,4
Temperatura media mínima	
1082 BILBAO (AEROPUERTO)	5

En la tabla se exponen la máxima de las temperaturas máximas medias mensuales y la mínima de las temperaturas medias mínimas mensuales.



Media mensual de las temperaturas mínimas



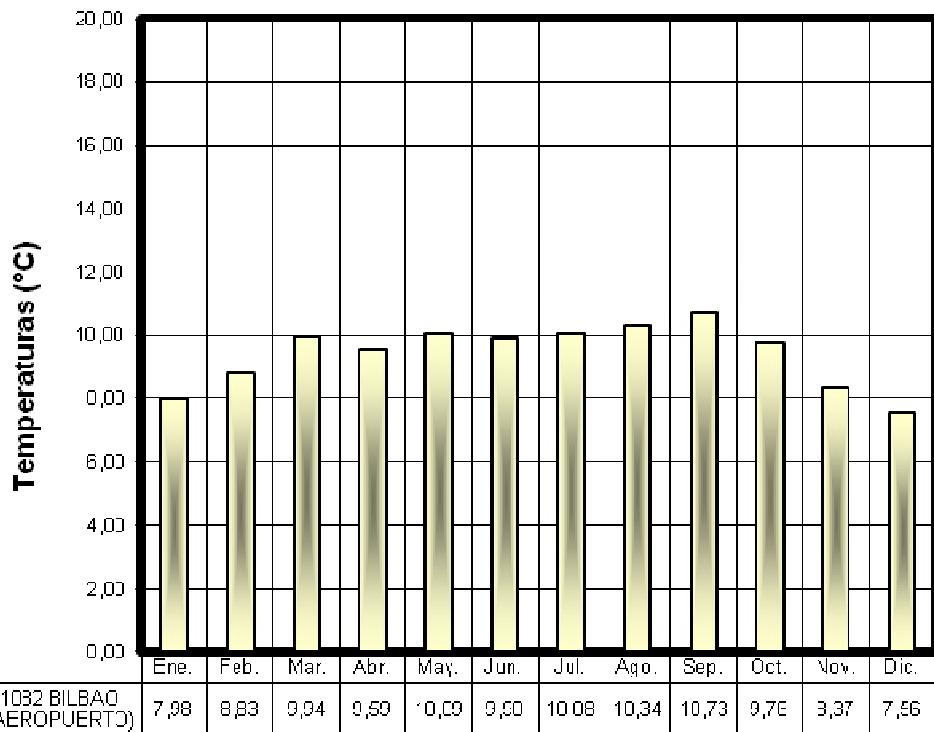
En la tabla se exponen la máxima de las temperaturas máximas medias mensuales y la mínima de las temperaturas medias mínimas mensuales.

El entorno físico en el que nos encontramos hace que las temperaturas máximas en el verano ronden los 25 °C, mientras que las mínimas invernales no resultan demasiado bajas, rondando los 5 °C.

De estos datos se deducen unas oscilaciones entre máximas y mínimas poco acusadas, siendo la oscilación del entorno de los 9,3 °C.

Asimismo, en verano la temperatura media ronda los 20°C en contraste con los casi 25,5 °C de máxima, lo que denota la tendencia a los veranos no muy calurosos, si observamos las gráficas de precipitación deducimos que los veranos son tormentosos, dejando una media de 63,6 mm de precipitación, por debajo de la media, pero no despreciable.

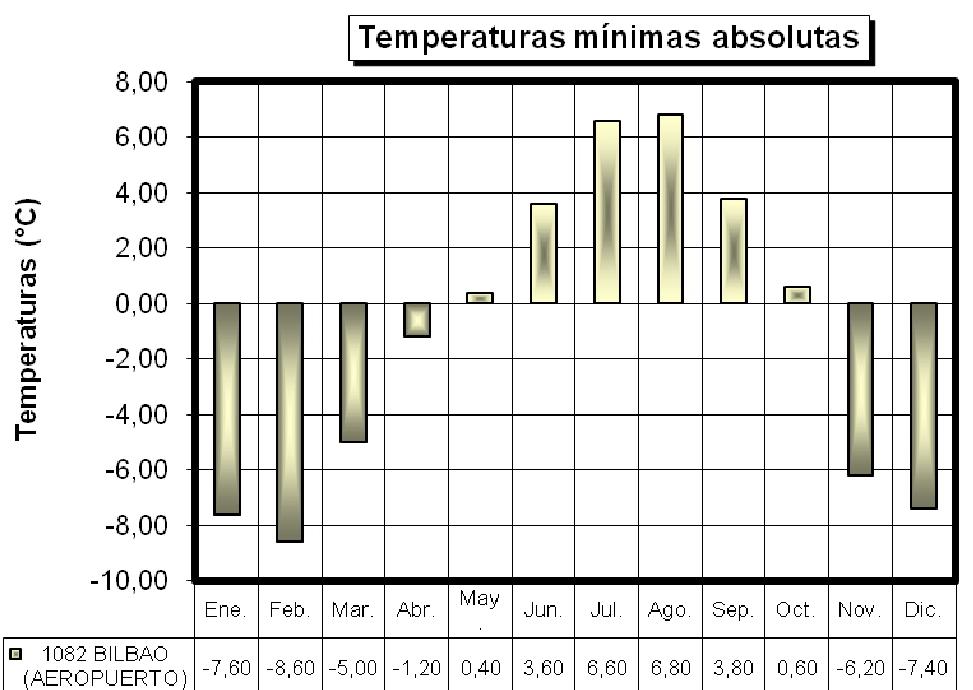
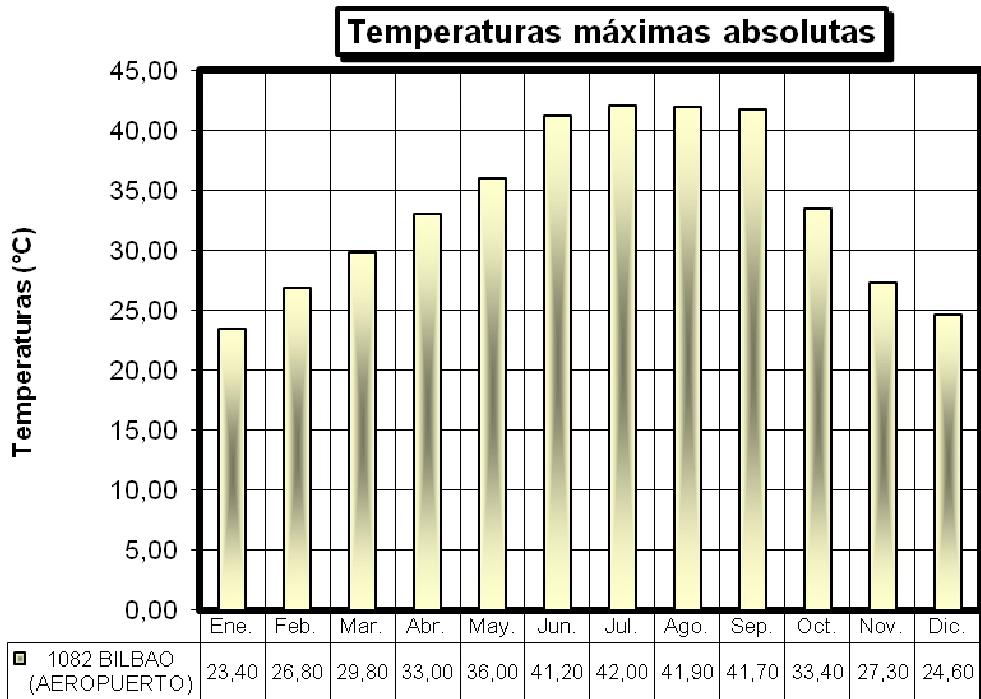
Oscilación de las temperaturas extremas



Lo más destacable de la gráfica es la poca variación de las oscilaciones entre los meses, lo que significa una tendencia del clima de estudio a solaparse las estaciones de otoño y primavera con las de verano e invierno, respectivamente.

2.5.4.- .TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS ABSOLUTAS.

A la vista de los resultados se confirma la extensión de las dos principales estaciones – invierno y verano- sobre las otras dos –otoño y primavera.



Así pues, una vez analizadas las variables termopluviométricas podemos afirmar que la zona objeto de estudio queda encuadrada dentro del tipo climático oceánico templado, con las lluvias repartidas durante todo el año, si bien es cierto que las precipitaciones son menores en el período estival, no podemos decir que sea un período seco.

2.5.5.- OTROS DATOS DE INTERÉS.

Además de las variables climatológicas analizadas hasta ahora, se van a incluir en este apartado otros datos que pueden resultar interesantes, para dicho estudio climatológico, como son: humedad media relativa, evaporación media diaria, número medio de días de sol y un análisis de los vientos dominantes.

La evaporación está influída por diversos factores, entre los que se pueden citar el tipo de suelo (composición, color, estructura...) y otros factores climáticos (radiación, humedad del aire, viento...). Esta dependencia de los factores edáficos y climáticos exige una cierta estandarización a la hora de tomar medidas que se puedan comparar. Por ello, resulta conveniente la introducción del concepto evaporación potencial, que se define como la cantidad de agua evaporada por unidad de tiempo y superficie libre del líquido.

La determinación de la evaporación potencial puede realizarse por medida directa, mediante el empleo de evaporímetro y bandejas de evaporación, o por cálculo. En el presente estudio se va a emplear el método de cálculo de LANGBEIN, basado en la temperatura media anual, que propone la fórmula:

$$Eo = 325 + 21 t + 0,9 t^2$$

Siendo Eo la evaporación (milímetros/año) y t la temperatura media anual en grados centígrados.

Como para el conjunto de estaciones termométricas estudiada la temperatura media anual resulta de 14,24°C, la evaporación que obtenemos es la siguiente:

$$ETR = 325 + 21 * 14,24 + 0,9 * 14,24^2$$

$$ETR = 596,54 \text{ mm/año}$$

Si se calcula mediante la fórmula de Turc:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.90 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Donde:

- P : Precipitación anual (mm)
- $L = 300 + 25 \cdot t + 0,05 \cdot t^3$
- t : temperatura media anual (°C)

Para P=1201,6 mm y una t de 14,24°C,

$$ETR=676,61 \text{ mm/año}$$

Concluyendo, se puede estimar que la evapotranspiración anual alcanza valores entre 600-700 mm/año.

2.5 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

El objetivo de la clasificación del clima es establecer tipos climáticos (conjuntos homogéneos de condiciones climáticas), con los cuales definir regiones climáticas y proceder así a caracterizar el área en estudio, calculados a partir de los datos medios procedentes de las estaciones seleccionadas.

Una gran mayoría de los índices, diagramas y clasificaciones climáticas usuales hacen referencia a la influencia del clima sobre las comunidades vegetales: son los índices fitoclimáticos. Teniendo en cuenta los objetivos del presente estudio climatológico y el conjunto de datos disponibles, se propone la elaboración de los siguientes índices y clasificaciones climáticas:

- Clasificación Climática General de la Zona
- Índices:
 - Índice de Aridez de Martonne.
 - Índice Termopluviométrico de Cereceda y Carbonell.
 - Índice de pluviosidad de Lang.
 - Índice de humedad.
 - Índice bioclimático de Vernet.
 - Índice de continentalidad de Johansson.
 - Índice termoplumiometro de Danting – Revenga.
 - Índice de Emberger.
 - Índice termopluviométrico de Knoche.
 - Índice de precipitación efectiva de Thornthwaite.
 - Índice de temperatura efectiva de Thornthwaite.
- Clasificaciones:
 - Clasificación Climática de Köppen.
 - Clasificación del Suelo según Gasparín.

2.5.1 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA GENERAL DE LA ZONA

A partir de los datos básicos presentados a lo largo del presente apartado de descripción del clima propio de la zona de proyecto, puede realizarse una clasificación climática general de dicha área. Este nuevo elemento permite a su vez una mejor caracterización de los aspectos meteorológicos más destacables en el clima propio de la zona de proyecto.

Para la clasificación climática de la zona se usan dos índices térmicos, el de Temperatura Media y el de Continuidad, cuyo valor se calcula a partir de los datos del AEMet. Estos dos índices se definen por:

$$\text{Índice de Temperatura Media:} \dots \text{It} = \frac{TM - Tm}{2}$$

$$\text{Índice de Continuidad:} \dots \text{Ic} = TM - Tm$$

Donde TM es Temperatura Máxima diaria y Tm es Temperatura Mínima Diaria. A partir de los índices anteriores y considerando distintos intervalos de valores, el clima puede clasificarse en:

$I_t > 18^{\circ}\text{C}$ CÁLIDO	$13^{\circ}\text{C} < I_t < 18^{\circ}\text{C}$ TEMPLADO	$I_t < 13^{\circ}\text{C}$ FRÍO
$I_c > 32^{\circ}\text{C}$ Continental	$28^{\circ}\text{C} < I_c < 32^{\circ}\text{C}$ Semicontinental	$I_c < 28^{\circ}\text{C}$ Marítimo

Los valores de los citados índices para la zona objeto de estudio son los siguientes:

$$TM = 25,40^{\circ}\text{C} \dots Tm = 5,00^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Índice de Temperatura Media:} \dots I_t = 10,20^{\circ}\text{C} \quad (< 13^{\circ}\text{C})$$

$$\text{Índice de Continuidad:} \dots I_c = 24,40^{\circ}\text{C} \quad (< 28^{\circ}\text{C})$$

Comparando con los límites establecidos, el resultado de esta clasificación climática general es que el clima de la zona de estudio es Marítimo frío.

2.5.2 ÍNDICE DE ARIDEZ DE MARTONNE

$$I = \frac{P}{t + 10}$$

- P = Precipitación media anual en mm.
- t = Temperatura media anual en °C.

Las regiones climáticas se clasifican como:

Servicio para la redacción del Estudio Informativo de las cocheras de Arriagas de ETS-RFV

- Desierto: $I = 0 - 5$
- Semidesierto: $I = 5 - 10$
- Mediterráneo seco: $I = 10 - 20$
- Secano: $I = 20 - 40$
- Aguacero tropical y monzón: $I = 40 - 60$

De los datos anteriores obtenemos que:

$$I = \frac{1201,6}{14,24 + 10} = 49,57$$

Por este resultado decimos que la zona de estudio se encuentra en la región climática de Aguacero tropical y monzón.

2.5.3 ÍNDICE TERMOPLUVIOMÉTRICO DE CERECEDA Y CARBONELL

El índice termopluviométrico se expresa por:

$$I_{tp} = 100 \times \frac{T}{P}$$

- $I_{tp} = 0 - 2$, El clima es húmedo
- $2 - 3$, El clima es semiárido
- $3 - 6$, El clima es árido
- $6 -$, El clima es subdesértico

En el área de estudio $I_{tp} = 100 \times \frac{14,24}{1021,60} = 1,18$ que corresponde con un clima húmedo.

2.5.4 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE BLAIR

La Clasificación Climática de Blair únicamente considera la pluviometría de la zona tratada y, concretamente, la precipitación media anual en el periodo considerado. En función de ésta define cinco tipos climáticos distintos, a saber:

- Árido; con escasa precipitaciones, menores a 250 mm anuales
- Semiárido; con precipitaciones ligeras, entre 250 y 500 mm anuales
- Subhúmedo; con precipitaciones moderadas, de entre 500 y 1.000 mm
- Húmedo; con fuertes precipitaciones entre 1.000 y 2.000 mm
- Muy Húmedo; con precipitaciones muy elevadas, >2000 mm

En la zona de proyecto la precipitación media es de 1201,6 mm anuales, lo que situaría el área de estudio en la zona Húmedo.

2.5.5 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE KÖPPEN

Este sistema de clasificación se basa en las medias mensuales y anuales de temperatura y precipitación, escogidas por su función de valores críticos para la vegetación. Así pues, Köppen utiliza la vegetación como indicador del clima. Los límites que establece determinan 11 tipos climáticos, que vienen designados por la combinación de dos letras:

Köppen define el índice climático K como:

- $K = 2 \times T + 14$, Si el régimen pluviométrico es uniforme.
- $K = 2 \times T + 28$, Si el régimen pluviométrico presenta un máximo en verano.
- $K = 2 \times T$, Si el régimen pluviométrico presenta un máximo en invierno.
- Siendo T la temperatura media anual.

Los climas se clasifican en primer lugar en 5 tipos que se subdividen a su vez en un total de 11 tipos.

Tipo A o tropical lluvioso: La temperatura media del mes más frío es superior a 18°C y la precipitación media anual es mayor de 75 cm.

- Af = Selva tropical; lluvioso todo el año.
- An = Sabana; lluvioso en verano.

Tipo B o seco: La precipitación media anual (cm) es menor que K.

- Bs = Estepa; la precipitación anual es mayor que K/2
- Bw = Desierto; la precipitación anual es menor que K/2.

Tipo C o templado lluvioso: La temperatura del mes más frío es superior a -3°C e inferior a 18°C. La precipitación media anual (cm) es mayor que K.

- Cf = Mesotermal templado húmedo; lluvioso todo el año.
- Cw = Mesotermal templado húmedo con invierno seco; lluvioso todo el año.
- Cs = Mesotermal templado húmedo con verano seco; lluvioso en invierno.

Tipo D o frío: La temperatura media del mes más frío es inferior a -3°C y la del mes más cálido es superior a 10°C. La precipitación media anual (cm) es mayor que K.

- Df = Microtermal húmedo; lluvioso todo el año.
- Dw = Microtermal frío con invierno seco; lluvioso en verano.

Tipo E o polar: La temperatura media anual es inferior a -3°C. La precipitación media anual es mayor que K.

- Et = Tundra; con temperatura del mes más cálido mayor que 0°C.
- Ef = Helado; con temperatura del mes más cálido menor que 0°C.

La precipitación media anual de la zona de estudio es la media de las precipitaciones medias anuales de cada estación lo que equivale a un valor de 40,02 cm. La media de la temperatura

media anual de las estaciones anteriormente consideradas es de 14,25°C y la temperatura media del mes más frío es 5,79°C.

Como se expuso en el epígrafe de precipitaciones, el régimen pluviométrico es bastante uniforme, por lo que la fórmula a emplear para el índice climático K es:

$$K = 2 \times T$$

$$K = 2 \times 14,24 = 28,5 \quad 120,16 > 28,5 = K$$

Así pues, teniendo en cuenta que la precipitación media anual es superior a K y se producen lluvias regularmente durante todo el año, y además la temperatura media del mes más frío es de 9,00 °C, podemos afirmar que nos encontramos ante un “tipo C o templado lluvioso” y dentro de este en el subtipo “Cf Mesotermal”.

2.5.6 CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN GASPARÍN

Gasparín considera que la variable fundamental para caracterizar un suelo desde el punto de vista climatológico viene dada por la expresión:

$$I = \frac{R}{50 \cdot t}$$

Donde el valor de R es la precipitación media anual en milímetros y t es la temperatura media anual en °C. En función de este índice, Gasparín distingue cuatro tipos de suelos:

$I < 0,5$	Suelo muy seco
$0,5 < I < 1$	Suelo seco
$1 < I < 1,5$	Suelo húmedo
$I > 1,5$	Suelo muy húmedo

En la zona de proyecto, el valor de índice del suelo según Gasparín es el siguiente:

$$I = \frac{1201,60}{50 \times 14,24} = 1,69$$

Por tanto, puede considerarse que estamos en una zona de “suelo muy húmedo”.

2.5.7 ÍNDICE DE PLUVIOSIDAD DE LANG

El valor de este índice se expresa por la ecuación:

$$I = \frac{P}{t} = \frac{1201,60}{14,24} = 84,38$$

Donde:

- P = Precipitación anual, en mm
- t = Temperatura media anual, en °C

Este índice divide el clima en tres grupos:

I menor de 40	Clima árido.
I entre 40 y 160	Clima húmedo.
I mayor de 160	Clima superhúmedo.

De acuerdo con la clasificación de este índice, nuestro clima es “húmedo”.

2.5.8 ÍNDICE DE HUMEDAD

Se determina según la expresión: $Ln = \frac{P}{E}$

- Ln: Índice de humedad
- P: Precipitación media anual, en mm
- E: Evapotranspiración potencial, en mm

Para nuestro caso:

- P= 1201,60
- E= 806,54
- Ln= 1,49

2.5.9 ÍNDICE BIOCLIMÁTICO DE VERNET

Se define como:

$$I = \pm 100 \cdot \frac{H - h}{P} \cdot \frac{M_v}{P_v} = \pm 100 \cdot \frac{120,14 - 63,58}{1201,60} \cdot \frac{25,40}{63,58} = -1,88$$

Donde:

- P = Precipitación anual en mm
- Pv = Precipitación estival en mm
- H= Precipitación de la estación más lluviosa en mm
- h = Precipitación de la estación más seca en mm
- Mv =Media de las temperaturas máximas estivales en °C

I>2..... Continental

2>I>0..... Oceánico Continental

0>I>-1	Oceánico
-1>I>-2	Pseudo Oceánico
-2>I>-3	Oceánico mediterráneo
-3>I>-4	Submediterráneo
I<-4	Mediterráneo

El resultado es un clima pseudo Oceánico.

2.5.10 ÍNDICE DE CONTINENTALIDAD DE JOHANSSON

Los valores extremos de las temperaturas son menores en la proximidad del mar que en el interior del continente, por otra parte el contraste térmico anual es mayor cuanto más alta sea la latitud, y por lo tanto, un mismo valor de diferencia térmica significará tanta mayor continentalidad cuanto menor sea la altitud.

Johansson establece un índice K para cuantificar este fenómeno:

$$K = 1,6 \cdot \left(\frac{T_{12} - t_1}{\operatorname{sen} J} \right) - 14 = 1,6 \cdot \left(\frac{20,24 - 9,00}{\operatorname{sen} 43} \right) - 14 = 12,37$$

donde:

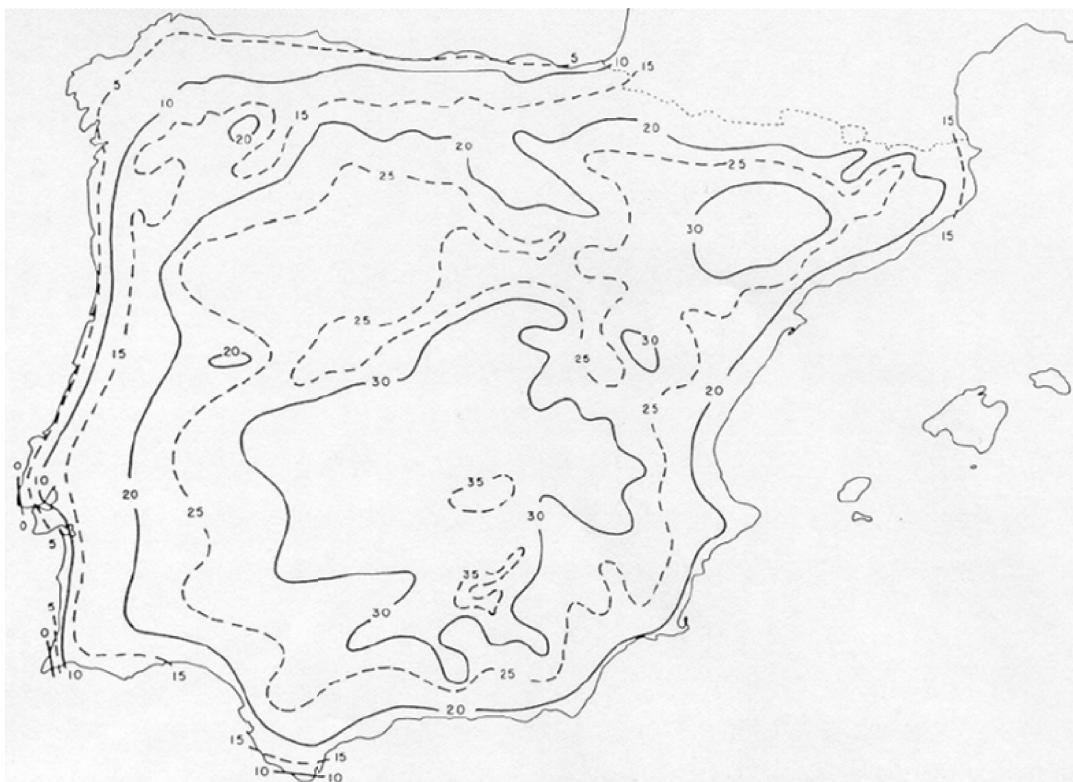
T_{12} : temperatura media del mes más cálido (en °C)

t_1 : temperatura media del mes más frío (en °C)

J: Latitud de la zona en grados.

Según Font Tullot (1983), este índice en la península ibérica varía entre 0 en la costa occidental y 35 en la depresión del Ebro y zonas centrales de la meseta sur. Por debajo de 10, las condiciones climáticas son claramente oceánicas, por encima de 20 netamente oceánicas y superando el valor de 30 continentales extremadas.

Servicio para la redacción del Estudio Informativo de las cocheras de Arriagas de ETS-RFV



Por tanto, el ámbito de estudio tiene condiciones climáticas oceánicas.

2.5.11 ÍNDICE DE EMBERGER

El índice de Emberger se obtiene considerando la precipitación media anual, la temperatura media de las máximas del mes más cálido y la temperatura media de las mínimas del mes más frío. El índice de Emberger ó cociente pluviotérmico se calcula mediante la expresión:

$$Q = \frac{100 \cdot P}{(T_{12} + t_1) \cdot (T_{12} - t_1)} \text{ con } T_{12} \text{ y } t_1 \text{ en } ^\circ\text{C}$$

donde:

- Q : índice de Emberger o cociente pluviotérmico
- P : precipitación media anual en mm
- T_{12} : temperatura media de las máximas del mes más cálido (en $^\circ\text{C}$)
- t_1 : temperatura media de las mínimas del mes más frío (en $^\circ\text{C}$)

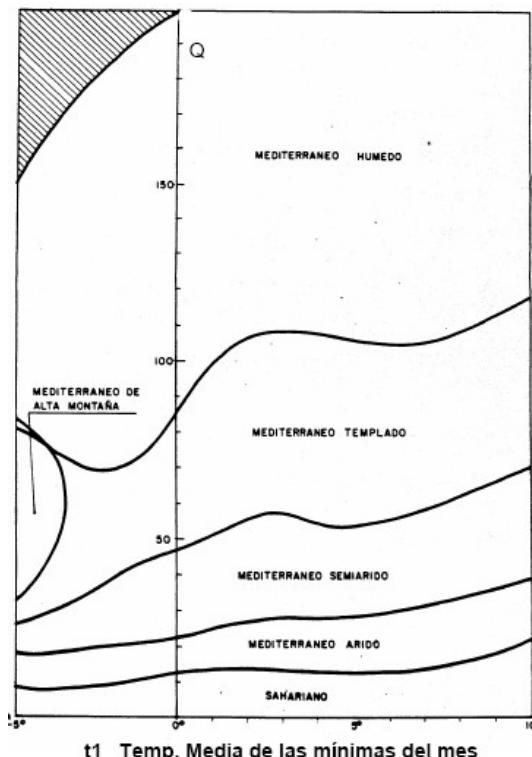
En 1955, Emberger introduce una nueva expresión para cuando el valor de t_1 ($^\circ\text{C}$) sea menor que cero. La expresión del índice de Emberger modificado es:

Servicio para la redacción del Estudio Informativo de las cocheras de Arriagás de ETS-RFV

$$Q = \frac{2000 \cdot P}{(T_{12} + t_1) \cdot (T_{12} - t_1)}$$

Con T_{12} y t_1 en °K para $t_1 < 0$

El empleo del índice (eje Y) y de la temperatura media de las mínimas del mes más frío, distingue las cinco subregiones climáticas o géneros según el siguiente gráfico:



En nuestro caso, corresponde a la segunda expresión, al ser $t_1=5$ °C

Por tanto, $Q = \frac{100 \cdot 1201,6}{(25,40 + 5,00) \cdot (25,40 - 5,00)} = 193,75$

por lo que equivale a Mediterráneo húmedo.

2.5.12 ÍNDICE TERMOPLUVIOMÉTRICO DE KNOCHE

El índice pluviométrico de Knoche se define como:

$$I = \frac{n \cdot P}{100 \cdot (T + 10)}$$

donde:

n: número de días de lluvia

P: Precipitación media anual (mm)

T: temperatura media anual (°C)

Para la zona de proyecto se obtiene un resultado de:

$$I = \frac{n \cdot P}{100 \cdot (T + 10)} = \frac{179,3 \cdot 1201,60}{100 \cdot (14,24 + 10)} = 88,88$$

En función del valor de I, se puede interpretar la aridez del ámbito del estudio:

I	ARIDEZ
0-25	Extrema
25-50	Severa
50-75	Normal
75-100	Moderada
>100	Pequeña

En el ámbito del estudio la aridez se clasifica como “moderada”.

2.5.13 ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN EFECTIVA DE THORNTHWAITE

Según este autor, el clima se puede caracterizar según su pluviometría mediante la expresión:

$$PE = \sum_i^{12} \left(\frac{2,82 \cdot P_i}{1,8 \cdot T_i + 22} \right)^{\frac{10}{9}}$$

donde:

T_i : temperatura media mensual ($^{\circ}\text{C}$)

P_i : Precipitación media mensual (mm).

De acuerdo con los resultados, el clima y vegetación se pueden clasificar como:

PE	CLIMA	VEGETACIÓN
>125	Superhúmedo	Floresta acusada
65-125	Húmedo	Floresta media
30-65	Semihúmedo	Sabana
15-30	Semiárido	Estepa
0-15	Árido	Desierto

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
P_i	124,57	93,82	93,45	111,35	86,93	63,52	51,36	75,87	89,79	123	145,88	142,02

Ti	9	9,49	11,05	12,12	15,04	17,77	19,85	20,24	18,75	16	11,9	9,63
Parcial		11,77	8,37	7,72	8,92	5,97	3,79	2,78	4,23	5,37	8,45	12,16
PE	92,72											

Con el resultado de PE obtenido podemos decir que el clima es “Húmedo” con vegetación “Floresta media”.

2.5.14 ÍNDICE DE TEMPERATURA EFECTIVA DE THORNTHWAITE

Según este autor, el clima se puede caracterizar según su termometría mediante la expresión:

$$TE = 5,4 \times T$$

Siendo T la temperatura media anual (°C)

TE	CLIMA	VEGETACIÓN
>125	Macrotermal	Floresta tropical
65-125	Mesotermal	Floresta media
30-65	Microtermal	Floresta microtermal
15-30	Taiga (frío)	Floresta de coníferas
0-15	Tundra (muy frío)	Tundra (musgo)

Por tanto, para una T de 14,24 °C, se obtiene un TE de 76,90 clasificándose el clima como “Mesotermal”.y la vegetación “Floresta media”..

2.5.15 CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados de las clasificaciones debidas a los índices climáticos en la zona de proyecto puede resumirse en la siguiente tabla de resultados:

Índice	Tipo de Clima
Índice de Temp. media	Frío
Índice de Continuidad	Marítimo
Martonne	Aguacero tropical y monzón
Cereceda y Carbonell	Húmedo
Blair	Húmedo
Koppen	Cf Mesotermal
Gasparín	Suelo muy húmedo
Índice de pluviosidad de Lang	Húmedo

Índice de humedad	Ln= 1,49
Índice bioclimático de Vernet	Pseudo Oceánico
Índice de continentalidad de Johansson	Oceánica
Emberger	Mediterráneo húmedo
Knoche	Moderada
PE de Thornthwaite	Húmedo
TE de Thornthwaite	Mesotermal

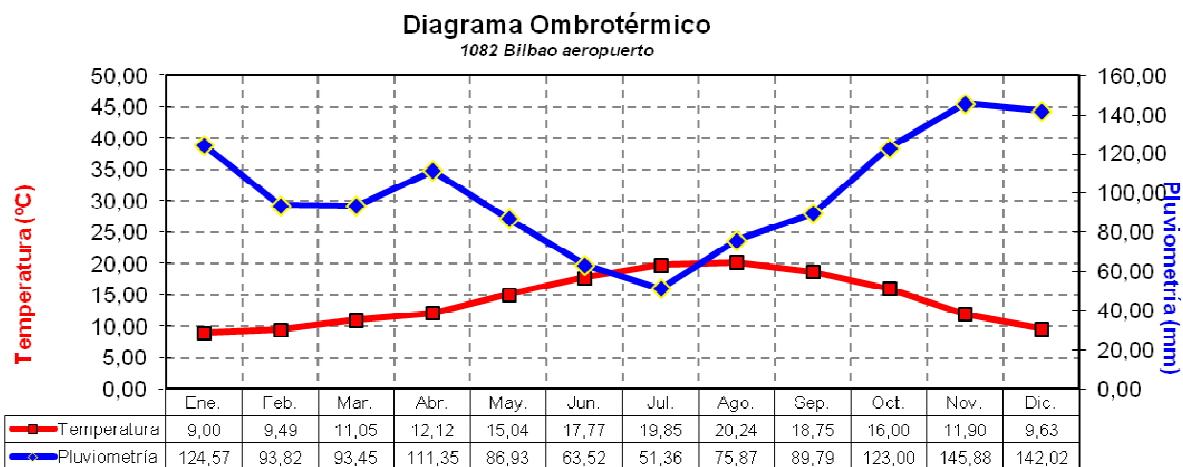
2.6 CLIMODIAGRAMAS DE WALTER-GAUSSEN.

Los climodiagramas constituyen una forma clásica de representar el clima de una región, que facilita la comparación de localidades distintas, poniendo en evidencia rápidamente las diferencias y similitudes climáticas.

En el diagrama ombrotérmico se reflejan los datos de temperatura y precipitación medios mensuales.

Para cada uno de los meses del año se refleja en abcisas el valor de la temperatura en grados centígrados, junto con el valor de la precipitación en mm. Se elige, para la representación gráfica, una escala de precipitaciones en mm doble que la de temperaturas en grados centígrados, según la hipótesis de GAUSSEN (1954-1955), de equivalencia entre 2 mm de precipitación y 1 °C de temperatura.

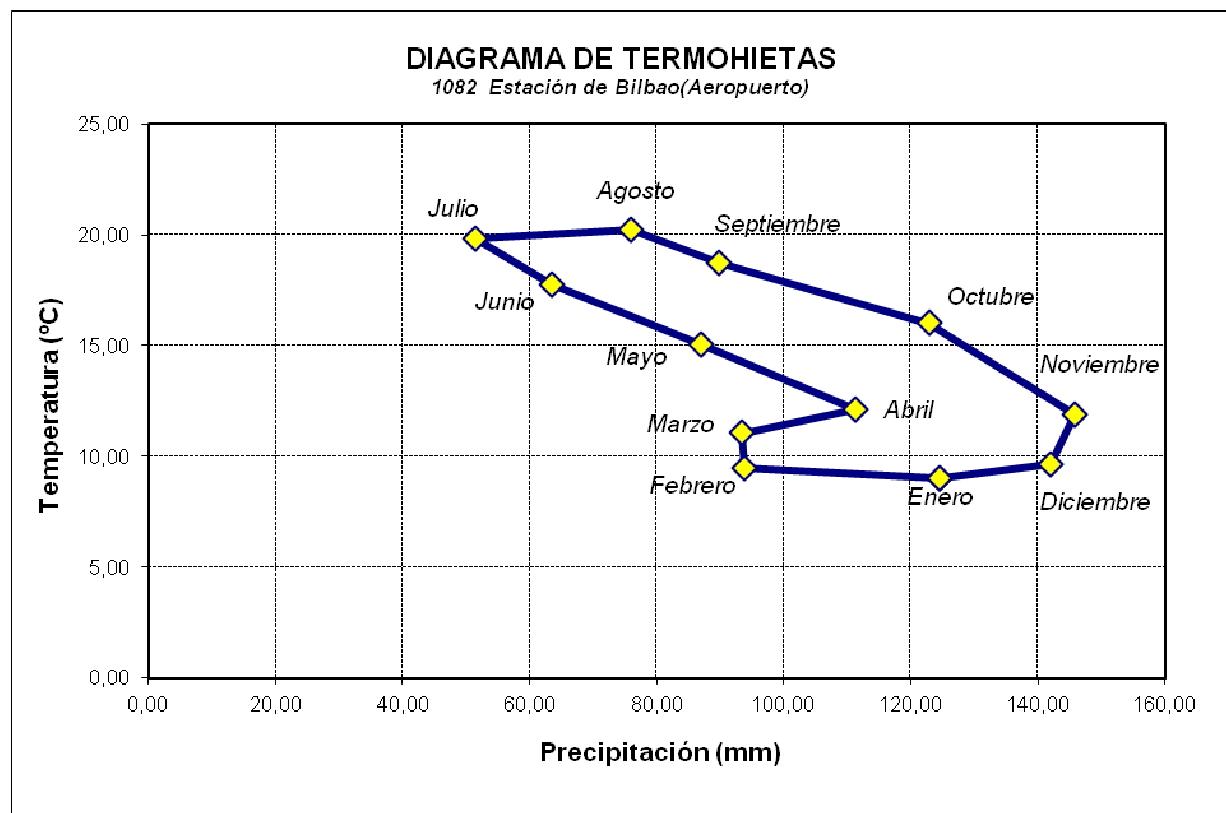
En los períodos húmedos la curva de precipitación, dibujada con arreglo a la escala definida, queda por encima de la curva de temperaturas; en los períodos secos sucede a la inversa. El diagrama permite apreciar, para un año medio, las duraciones relativas de uno y otro período y los meses que en término medio presentan el carácter de húmedos o secos.



A la vista del diagrama, la época seca se reduce al mes de julio, pudiéndose prolongar en junio y en agosto.

2.7 DIAGRAMA DE TERMOHIEITAS

Este tipo de diagramas permite una visión rápida del clima del lugar. Se construye tomando un sistema de coordenadas cartesiano cuyo eje vertical (y) representa las temperaturas y el eje horizontal (x) las precipitaciones medias mensuales. Los doce puntos obtenidos, correspondientes a cada mes, se unen mediante una poligonal cerrada que permite observar la variación de las variables climáticas a lo largo del año



El clima que se desprende de estos diagramas es de temperaturas suaves durante todo el año, con las lluvias repartidas durante todo el año, alcanzando los máximos en los meses de invierno.

3. HIDROLOGÍA

El objeto del presente apartado es el cálculo de la precipitación de diseño que servirá para el posterior análisis de los caudales interceptados.

Se calcula esta precipitación de proyecto a partir, fundamentalmente, de los datos pluviométricos de las estaciones meteorológicas, suministrados por la Agencia Estatal de Meteorología. Estos datos se han revisado y, cuando ha sido posible, completado.

Se han considerado la estación, 1082 Bilbao (Aeropuerto), con la siguiente serie de datos

Nº de dato	Registro	Frecuencia	P. retorno
m	x	F _n (x)	T
1	252,6	0,9844	64
2	172,6	0,9688	32
3	143,5	0,9531	21,33
4	137,2	0,9375	16
5	100,2	0,9219	12,8
6	92,5	0,9063	10,67
7	92,4	0,8906	9,14
8	90,1	0,875	8
9	87,3	0,8594	7,11
10	85,2	0,8438	6,4
11	84,6	0,8281	5,82
12	83,8	0,8125	5,33
13	82,6	0,7969	4,92
14	77,1	0,7813	4,57
15	68	0,7656	4,27
16	67,7	0,75	4
17	67,4	0,7344	3,76
18	67,3	0,7188	3,56
19	66,9	0,7031	3,37
20	66,2	0,6875	3,2
21	65,7	0,6719	3,05
22	64,5	0,6563	2,91
23	63,7	0,6406	2,78
24	62,6	0,625	2,67
25	62,4	0,6094	2,56
26	62	0,5938	2,46
27	62	0,5781	2,37
28	61,8	0,5625	2,29
29	61,7	0,5469	2,21

Nº de dato	Registro	Frecuencia	P. retorno
m	x	F _n (x)	T
30	61,6	0,5313	2,13
31	61,4	0,5156	2,06
32	59	0,5	2
33	58,8	0,4844	1,94
34	58,8	0,4688	1,88
35	57,6	0,4531	1,83
36	56,1	0,4375	1,78
37	55,9	0,4219	1,73
38	55,6	0,4063	1,68
39	53,7	0,3906	1,64
40	53,5	0,375	1,6
41	53	0,3594	1,56
42	53	0,3438	1,52
43	52,6	0,3281	1,49
44	52,4	0,3125	1,45
45	51,1	0,2969	1,42
46	51	0,2813	1,39
47	50,2	0,2656	1,36
48	49,5	0,25	1,33
49	48,9	0,2344	1,31
50	48,8	0,2188	1,28
51	48	0,2031	1,25
52	47,7	0,1875	1,23
53	46,4	0,1719	1,21
54	46,4	0,1563	1,19
55	46,4	0,1406	1,16
56	44,1	0,125	1,14
57	43,4	0,1094	1,12
58	43,4	0,0938	1,1

Nº de dato	Registro	Frecuencia	P. retorno
m	x	F _n (x)	T
59	41,4	0,0781	1,08
60	41,1	0,0625	1,07
61	37,1	0,0469	1,05
62	32,9	0,0313	1,03
63	32,1	0,0156	1,02

3.1 MÉTODO DE GUMBEL

La distribución Gumbel se ha utilizado con buenos resultados para el cálculo de valores extremos de variables meteorológicas, entre ellas precipitaciones y caudales máximos, y es el método más empleado por el Ministerio de Agricultura. También este método de ajuste es el empleado por el Ministerio de Medio Ambiente (AEMET) para su estudio por regiones de la precipitaciones máximas en 24 horas.

En el estudio de valores extremos para diferentes períodos de retorno, es frecuente expresar la variable mediante la expresión:

$$X_t = \bar{x} + k \cdot \sigma_{n-1}$$

donde T es el período de retorno, x es la media de la serie de valores máximos de los que se dispone, k es el factor de frecuencia (número de veces de desviación típica en que el valor extremo considerado excede a la media de la serie) y σ_{n-1} es la desviación típica de los valores extremos.

La Ley de Distribución de Gumbel viene definida por la siguiente expresión:

$$F(x) = e^{[-e^{(-\alpha(x-u))}]} \quad -\infty \leq x \leq \infty$$

tal que en papel de logaritmo doble da una recta (recta de Gumbel), que facilita su uso y extrapolación. Para estimar los parámetros de la distribución, α y u , pueden utilizarse varios métodos, si bien los más usuales son el gráfico y el analítico.

En cualquier caso, siendo T el periodo de retorno, definimos éste como la inversa de la probabilidad (p) de que una magnitud exceda un determinado valor: $T = 1/p$.

Si en la función de distribución de Gumbel, definimos la variable $y = \alpha(x-u)$, la probabilidad de que dicha variable tome un valor inferior al definido para el periodo de retorno T será:

$$\text{Prob}(y < yT) = \frac{1}{T}$$

Servicio para la redacción del Estudio Informativo de las cocheras de Arriagás de ETS-RFV

$$\Pr{ob(y < yT)} = e^{-e(-yT)}$$

Y por tanto $yT = -\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))$, que es la variable de Gumbel para el período de retorno T.

Se obtendrán los resultados mediante la resolución del método gráfico, consistente en los siguientes pasos:

Ordenamos de forma decreciente los datos de precipitación máxima anual en 24h y le asignamos a cada uno un número de orden p (de 1 a N).

A cada uno de dichos valores se les asigna una probabilidad de que dicho valor sea superado, que vendrá definida por $P = p/N+1$, de modo que la probabilidad de que no sea superado dicho valor será $(1-P)$.

Si en papel de Gumbel dibujamos las parejas de valores dadas por $(P_{\text{máx}24}, (1-P))$ obtendremos una nube de puntos cuyo ajuste debe ser una recta, definida por las variables de Gumbel mediante la siguiente relación:

$$y = K1 * x - K0 ; \text{ donde } K1 \text{ es el parámetro } \alpha \text{ de Gumbel y } K0 \text{ es el producto } (\alpha * u).$$

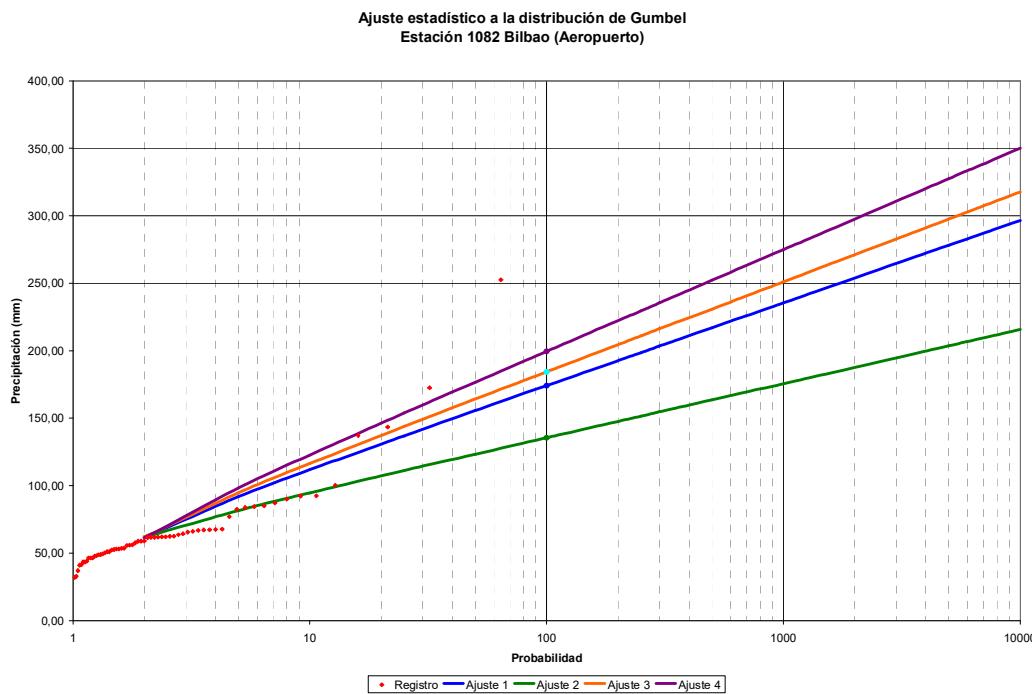
El análisis de la regresión lineal obtenida se puede con diferentes criterios; en este caso se han utilizado:

Ajuste 1: Método de los momentos

Ajuste 2: Método de la máxima verosimilitud

Ajuste 3: Método de mínimos cuadrados con la distancia según una recta de pendiente contraria.

Ajuste 4: Método de mínimos cuadrados con la distancia según la normal.

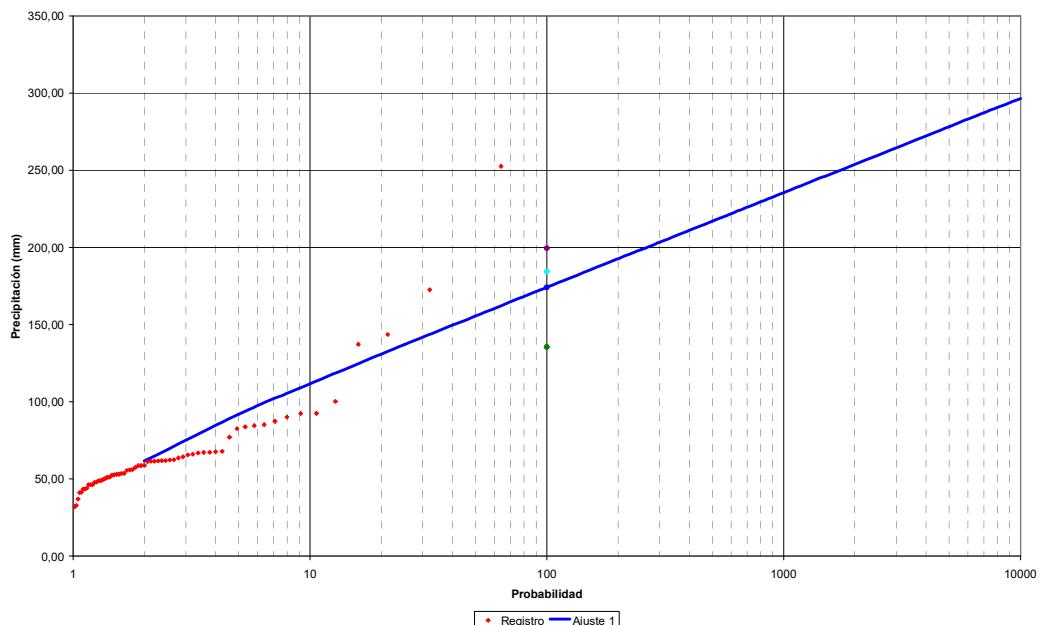


Para esta serie Gumbel, se ha realizado la prueba de Kolmogorov-Smirnov:

Ajuste	Prueba de Kolmogorov		
	D _{max}	z	P(z)
1	0,18773	1,49002	0,0236
2	0,15309	1,21514	0,10438
3	0,19607	1,55625	0,01578
4	0,21386	1,69744	0,0063

El valor de la D crítica para una probabilidad del 5% es $1.36 / \sqrt{N}$ para este número de registros es de 0,171, con lo que cumplen todos los ajustes menos el ajuste 2 de máxima verosimilitud, elegimos el cálculo mediante los el método de los momentos.

Ajuste estadístico a la distribución de Gumbel
Estación 1082 Bilbao Aeropuerto



P. retorno	Frecuencia	Ajuste 1		
		T	F(x)	x
2	0,5			61,779
5	0,8			91,87
10	0,9			111,793
25	0,96			136,965
50	0,98			155,64
100	0,99			174,176
250	0,996			198,583
300	0,9967			203,432
500	0,998			217,012

3.2 LEY DE DISTRIBUCIÓN SQRT-ET

Esta ley utiliza funciones de distribución de dos parámetros y presenta una gran estabilidad ante nuevos datos. Tiene la siguiente expresión:

$$F(x) = \text{Prob}(X \leq x) = e^{-\lambda(1+\sqrt{\beta x})e^{-\sqrt{\beta x}}} \quad (1)$$

$F(x)$ = probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una determinada tormenta.

x = cuantil de precipitación máxima correspondiente a un período de retorno dado

λ y β = parámetro de frecuencia y escala, respectivamente. Definen la ley y deben ser ajustados a los datos existentes.

Para el ajuste de esta función de distribución se emplea el método de la máxima verosimilitud, que consiste en maximizar el funcional de verosimilitud o su equivalente función logaritmo de la verosimilitud.

La función logarítmica de verosimilitud L , tiene la siguiente expresión:

$$L = \sum_{i=1}^N \ln f(x_i) \quad (2)$$

donde $f(x)$ es la función densidad de probabilidad, que para la ley SQRT-ET tiene la siguiente expresión:

$$f(x) = \frac{\lambda}{1-e^{-\lambda}} h(x) F(x) \quad (3)$$

siendo:

$$h(x) = \frac{\beta}{2} e^{-\sqrt{\beta x}} \quad (4)$$

Los parámetros λ y β que mejor ajustan la ley son aquellos que hacen máxima la función logaritmo de verosimilitud, por lo que se obtienen derivando L respecto de ambos e igualando a cero. Para ello, se deriva primero respecto de β y se iguala a cero, resultando una expresión de λ función del β óptimo, que es la siguiente:

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^N \sqrt{\beta \cdot x_i - 2N}}{\sum_{i=1}^N \sqrt{\beta \cdot x_i} e^{-\sqrt{\beta x_i}}} \quad (5) \text{ donde}$$

x_i = valor de la precipitación en el lugar "i" ordenados de menor a mayor.

N = número de datos.

Se sustituye (5) en (2), con lo cual ésta queda en función de β .

Servicio para la redacción del Estudio Informativo de las cocheras de Arriagás de ETS-RFV

Se obtiene el valor de β que maximiza (2).

Se obtiene el valor de λ mediante (5).

De esta forma queda ajustada la ley de distribución SQRT-ET.

Igualmente se ha indicado la probabilidad muestral de los valores ordenados, definida por la expresión:

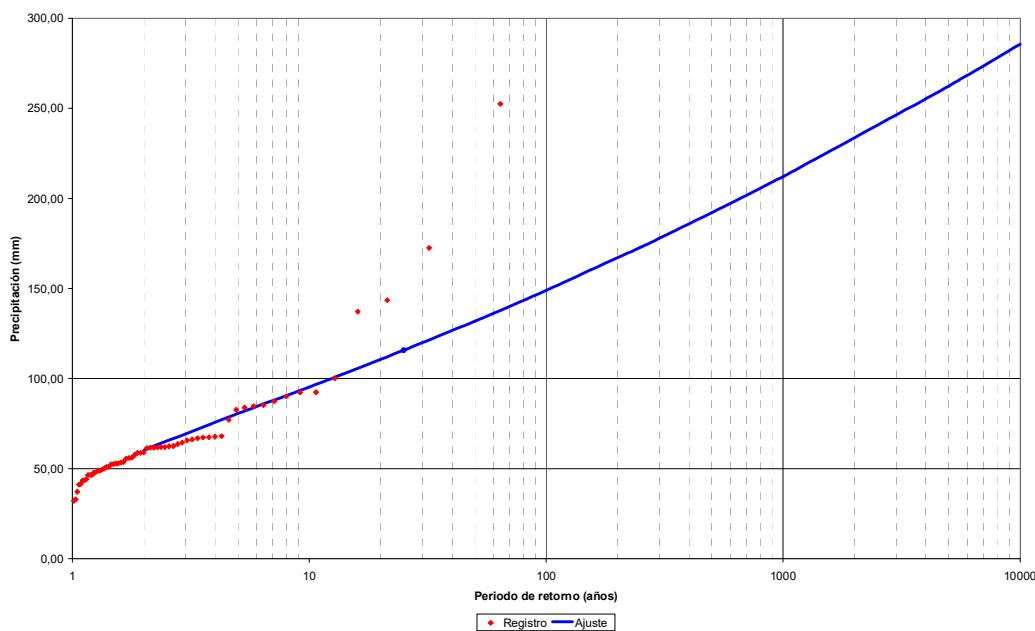
$$\text{Prob. } (x \leq x_i) = \frac{2i-1}{2N}$$

Utilizando la serie de datos de la estación 1082 Bilbao, se calculan los parámetros de la serie:

Parámetros de la serie	
Media	D. Típica
x	s
67,37	34,05

Parámetros del ajuste		Prueba de Kolmogorov		
Lambda	Alfa	Dmax	z	P(z)
258,90594	1,0962	0,12414	0,98531	0,28616

Ajuste estadístico a la distribución SQRT
Estación 1082 Bilbao Aeropuerto

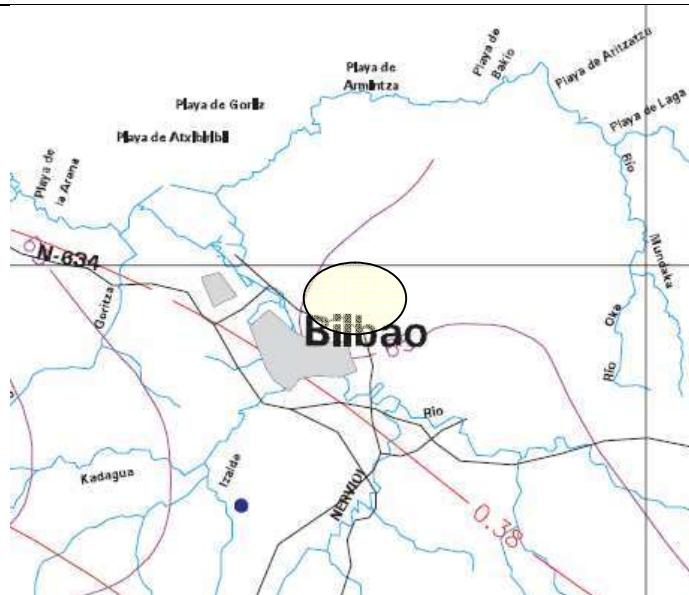


P. retorno	Frecuencia	Ajuste
T	F(x)	x
2	0,5	60,372
5	0,8	80,572
10	0,9	95,375
25	0,96	115,691
50	0,98	131,917
100	0,99	148,991
250	0,996	172,933
300	0,9967	177,887
500	0,998	192,108

3.3 Método de la DGC

La publicación de la Dirección General de Carreteras “Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular” permite calcular la precipitación diaria de diseño para un determinado periodo de retorno.

Una vez localizado en el mapa el área de proyecto, se estima el valor del coeficiente de variación Cv y el valor medio de la máxima precipitación diaria anual P . En función del periodo de retorno y del valor del coeficiente de variación, se obtiene un factor de amplificación K_T que permite el cálculo de la precipitación diaria máxima para el periodo de retorno deseado.



La forma de obtener la precipitación es mediante la fórmula:

$$PT = P \cdot KT (T; Cv)$$

La tabla para con los valores de KT es la siguiente:

Cv	Período de retorno en años							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0,3	0,935	1,194	1,377	1,625	1,823	2,022	2,251	2,541
0,31	0,932	1,198	1,385	1,64	1,854	2,068	2,296	2,602
0,32	0,929	1,202	1,4	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	1,93	2,174	2,434	2,785
0,35	0,921	1,217	1,438	1,732	1,961	2,22	2,48	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	1,24	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
0,4	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	2,48	2,8	3,25
0,43	0,901	1,263	1,534	1,9	2,205	2,51	2,846	3,311
0,44	0,898	1,27	1,541	1,915	2,22	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	0,89	1,289	1,595	2,007	2,342	2,708	3,098	3,616

Servicio para la redacción del Estudio Informativo de las cocheras de Arriagas de ETS-RFV

Cv	Período de retorno en años							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0,49	0,887	1,293	1,603	2,022	2,373	2,739	3,128	3,677
0,5	0,885	1,297	1,61	2,052	2,403	2,785	3,189	3,738
0,51	0,883	1,301	1,625	2,068	2,434	2,815	3,22	3,799
0,52	0,881	1,308	1,64	2,098	2,464	2,861	3,281	3,86

1082 Bilbao Aeropuerto			
T	P media	Cv	Pt
2	65	0,381	59
5	65	0,381	80
10	65	0,381	95
25	65	0,381	117
50	65	0,381	133
100	65	0,381	152
250	65	0,381	176
300	65	0,381	181
500	65	0,381	196

3.4 CONCLUSIONES

A continuación se comparan los tres métodos de cálculo, para obtener las precipitaciones máximas diarias que se emplearán en los cálculos:

1082 Bilbao Aeropuerto				
T	GÜMBEL	SQRT-ET	DGC	Pmax (mm)
2	62	60	59	60
5	92	81	80	81
10	112	95	95	95
25	137	116	117	117
50	156	132	133	133
100	174	149	152	152
250	199	173	176	176
300	203	178	181	181
500	217	192	196	196

Servicio para la redacción del Estudio Informativo de las cocheras de Arriagas de ETS-RFV

Vistos los resultados el método de la DGC y el de SQRT-ET arrojan resultados muy similares, mientras que el método de Gumbel es excesivamente conservador, por lo que se opta por descartarlo.

Finalmente, se tomarán los máximos de precipitación para cada periodo de retorno que se hayan obtenido mediante la aplicación de los dos métodos, SQRT-ET y método de la DGC.

T	Pmax (mm)
2	60
5	81
10	95
25	117
50	133
100	152
250	176
300	181
500	196

Una vez obtenida la precipitación máxima diaria (P_d), hay que definir la precipitación máxima diaria real sobre la cuenca. De esta manera, se tiene en cuenta la no simultaneidad de las lluvias máximas de un mismo periodo de retorno en toda la superficie.

La formulación de este coeficiente según la Norma 5.2-IC de 2016 será:

$$P_d^* = P_d \cdot KA = P_d \left[1 - \frac{\log A}{15} \right] \quad \text{para } A \geq 1 \text{ km}^2$$

$$P_d^* = P_d \quad \text{para } A < 1 \text{ km}^2$$

- P_d^* → Precipitación máxima diaria modificada correspondiente a un periodo de retorno T (mm).
- P_d → Precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno T .
- $\log A$ → Logaritmo decimal de la superficie de la cuenca A (km^2).

Ya que el área de las cuencas es en todo caso menor a 1 km^2 , se establece que $P_d^* = P_d$.

4. CÁLCULO DE CAUDALES

El objetivo de este apartado es obtener los caudales máximos que generan las cuencas interceptadas por la actuación asociado a sus diversas frecuencias. Los resultados se emplean fundamentalmente para proyectar el sistema de drenaje transversal y el sistema de drenaje longitudinal.

Estas cuencas carecen de registros de caudales y es preciso, por tanto, aplicar métodos hidrológicos de cálculo basados en los datos de precipitaciones máximas y en las características físicas de las cuencas.

Conforme a la Instrucción 5.2-IC (Orden FOM/298/2016), el caudal de diseño según el Método Racional es el resultante de la fórmula siguiente:

$$Q_T = \frac{I(T, t_c) \cdot C \cdot A \cdot K_t}{3,6}$$

donde:

- Q_T (m^3/s) → Caudal máximo anual correspondiente al periodo de retorno T , en el punto de desagüe de la cuenca.
- $I(T, t_c)$ (mm/h) → Intensidad de precipitación correspondiente al periodo de retorno T , para una duración del aguacero igual al tiempo de concentración t_c de la cuenca.
- C ($adim$) → Coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o superficie considerada.
- A (km^2) → Área de la cuenca o superficie considerada.
- K_t ($adim$) → Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación.

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS INTERCEPTADAS

El proyecto consiste en la definición de un complejo ferroviario, con grandes superficies pavimentadas u ocupadas por edificios. Únicamente las cabeceras de las vías de estacionamiento estarán sobre un terreno sin pavimentar. En todo caso, las cuencas funcionarán en flujo difuso, hasta que entren en la red de drenaje.

La zona de proyecto se encuentra en el Grupo hidrológico “C”, con infiltración lenta, conforme a la figura 2.7 de la Norma 5.2-IC (2016)

4.2 PERÍODO DE RETORNO

Se adopta un periodo de retorno de 25 años, correspondiente a drenajes de plataforma y márgenes.

4.3 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

El proyecto consiste en una obra eminentemente de urbanización, con grandes superficies pavimentadas u ocupadas por edificios. Únicamente las cabeceras de las vías de estacionamiento estarán sobre un terreno sin pavimentar. En todo caso, las cuencas funcionarán en flujo difuso, hasta que entren en la red de drenaje.

El coeficiente de escorrentía C , se define como la parte de la precipitación de intensidad $I(T, t_c)$ que genera el caudal de avenida en el punto de desagüe de la cuenca.

Este coeficiente se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$C = \frac{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} - 1 \right) \cdot \left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 23 \right)}{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 11 \right)}$$

donde:

- K_A (adim.) Factor reductor de la precipitación por área de cuenca (ver 2.2.2.3. de la Instrucción 5.2-IC (2016)).
- P_d (mm) Precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno T .
- P_0 (mm) Umbral de escorrentía.

En este caso particular $K_A=1$, como se ha visto en el apartado 3.4.

El umbral de escorrentía P_0 se calcula obtiene a través de la tabla 2.3 de la Norma 5.2.-IC (2016). Toda la zona de proyecto se puede considerar como un complejo ferroviario (capa Corine 12220), para un grupo hidrológico “C” se obtendrá un valor de P_0 de 8.

Aplicando la fórmula para las diferentes precipitaciones de proyecto y un $P_0=8$, se obtiene los siguientes resultados:

T (años)	C
25	0,91

4.4 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Visto que las cuencas son en flujo difuso y las apenas tienen pendiente, se tomará el tiempo de concentración de 5 minutos, de acuerdo a lo indicado en el apartado 2.2.2.5 de la Norma 5.2-IC (2016).

Uso del suelo	P_0 (Grupo C)
25	8

4.5 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD K_t

El coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación, queda definido por la siguiente fórmula:

$$K_t = 1 + \frac{t_c^{1,25}}{t_c^{1,25} + 14},$$

siendo t_c el tiempo de concentración en horas.

Para un $t_c = 5$ minutos,

$$K_t = 1$$

4.6 INTENSIDAD DE LLUVIA

El aguacero a efectos de cálculo quedará definido por la intensidad I (mm/hora) de precipitación media, función de la duración del intervalo considerado (la duración que se considera en los cálculos de I es igual al tiempo de concentración de la cuenca) y de la intensidad de precipitación media diaria $I_d = (P_d^*/24)$ para el período de retorno de referencia.

La intensidad de precipitación media para un período de retorno dado se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$I(T, t_c) = I_d \cdot F_{int}$$

donde:

$I(T, t_c)$ (mm/h) Intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno T , para una duración del aguacero igual al tiempo de concentración t_c , de la cuenca.

I_d (mm/h) Intensidad media diaria de precipitación corregida al período de retorno T .

F_{int} (adim.) Factor de intensidad.

4.6.1 CÁLCULO DE LA INTENSIDAD MEDIA DIARIA (I_d)

La intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al período de retorno T , se obtiene mediante la fórmula:

$$I_d = \frac{P_d \cdot K_A}{24}$$

donde:

I_d (mm/h) Intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al período de retorno T .

P_d (mm) Precipitación diaria correspondiente al período de retorno T .

K_A (adim.) Factor reductor de la precipitación por área de cuenca.

Para un periodo de retorno de 25 años,

$$I_d = \frac{P_d \cdot K_A}{24} = \frac{117 \cdot 1}{24} = 4,87 \text{ mm/h}$$

4.6.2 CÁLCULO DEL FACTOR DE INTENSIDAD (F_{INT})

El factor de intensidad introduce la torrencialidad de la lluvia en el área de estudio y depende de la duración del aguacero (t) y el periodo de retorno (T).

Para determinar este factor se tomará el valor de los obtenidos de entre los que se indican a continuación:

$$F_{int} = \max(F_a, F_b)$$

donde:

F_a (adim.) Factor obtenido a partir del índice de torrencialidad (I_l/I_d).

F_b (adim.) Factor obtenido a partir de curvas IDF de un pluviógrafo próximo.

Para obtener F_a se aplicara la formula siguiente:

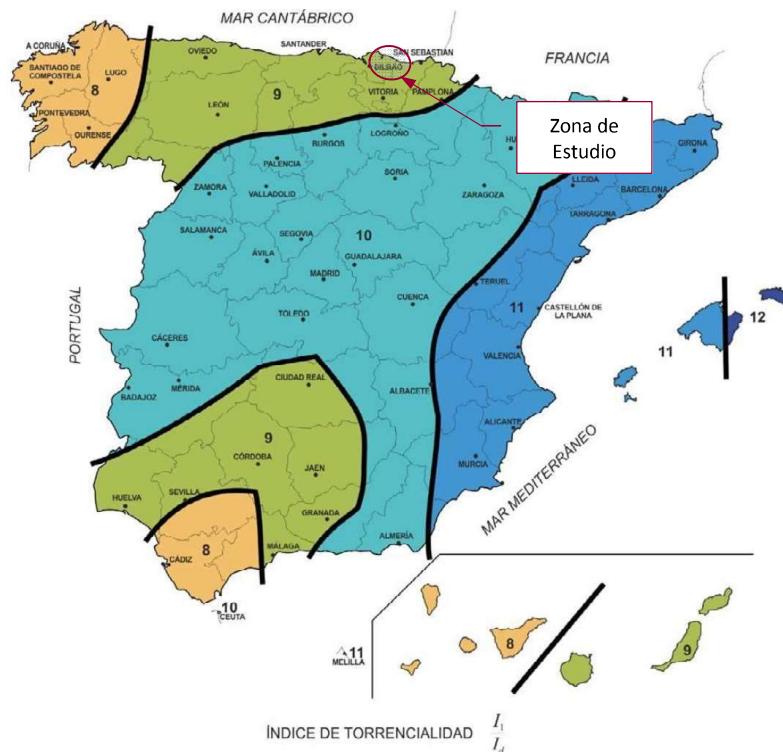
$$F_a = (I_l/I_d)^{3,5287 - 2,5287 \cdot t^{0,1}}$$

donde:

t (h) Duración aguacero. Se considera que la duración del aguacero es igual a tiempo de concentración ($t=t_c$).

I_l/I_d (adim.) Índice de torrencialidad que expresa la relación entre la intensidad de precipitación horaria y la media diaria corregida. Su valor se determina en función de la zona geográfica, a partir del siguiente mapa.

Mapa del Índice de Torrencialidad – (Figura 2.4. - Norma 5.2-IC Drenaje)



El valor que se obtiene según la figura es el valor 8 para la zona de estudio. Por tanto:

$$F_a = (I_1/I_d)^{3,5287 - 2,5287 \cdot t^{0,1}} = (8)^{3,5287 - 2,5287 \cdot 0,083^{0,1}} = 25,44$$

El valor de F_b, se calcula con la expresión:

$$F_b = k_b \cdot \frac{I_{IDF}(T, t_c)}{I_{IDF}(T, 24)}$$

donde:

F_b (adimensional)

Factor obtenido a partir de las curvas IDF de un pluviógrafo próximo..

I_{IDF}(T, t_c) (mm/h)

Intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno T y al tiempo de concentración t_c, obtenido a través de las curvas IDF .

I_{IDF}(T, 24) (mm/h)

Intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno T y a un tiempo de aguacero igual a veinticuatro horas, obtenido a través de curvas IDF.

K_b (adimensional)	Factor que tiene en cuenta la relación entre la intensidad máxima anual en un período de veinticuatro horas y la intensidad máxima anual diaria. En defecto de un cálculo específico se puede tomar $K_b = 1,13$ (L.L. Wells).
----------------------	--

Para obtener F_b , es necesario disponer, por tanto, de las curvas IDF (Intensidad – duración – frecuencia) de un pluviógrafo próximo. Dado que no se dispone de dicha información, se recurrirá a la “Nueva formulación para cualquier duración a partir de la precipitación diaria en la España peninsular”, (Salas, 2005 y Salas y Fernández, 2006).

Según este método,

$$I_{IDF}(T, t_c) = I_{24} \cdot \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{24^a - t^a}{24^a - 1}} \cdot h(T)$$

Siendo a , $h(T)$ y I_1/I_d , parámetros calculados según los mapas y fórmulas de dicha publicación. Por tanto,

$$\frac{I_{IDF}(T, t_c)}{I_{IDF}(T, 24)} = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{24^a - t^a}{24^a - 1}}$$

Para el caso de Bilbao (Zona 2, según los mapas de esta publicación), se tendrán los siguientes valores:

a	I1/Id
0,075	7

$$\frac{I_{IDF}(T, t_c)}{I_{IDF}(T, 24)} = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{24^a - t^a}{24^a - 1}} = 24,01$$

Por tanto,

$$F_b = k_b \cdot \frac{I_{IDF}(T, t_c)}{I_{IDF}(T, 24)} = 1,13 \cdot 24,01 = 27,14$$

De esta forma, ya se puede obtener el factor de intensidad:

$$F_{int} = \max(F_a, F_b) = 27,14$$

Y la intensidad de lluvia:

$$I(T, t) = I(25,0,083) = 4,87 \cdot 27,14 = 132,18 \text{ mm/h}$$

4.7 CONCLUSIONES

Una vez obtenidos todos los parámetros necesarios para el cálculo del caudal, se aplicará la fórmula de la Norma 5.2-IC (Orden FOM/298/2016), por unidad de superficie:

El caudal de diseño según el Método Racional es el resultante de la fórmula siguiente:

$$Q_T = \frac{I(T, t_c) \cdot C \cdot A \cdot K_t}{3,6} = \frac{132,18 \cdot 0,91 \cdot 1 \cdot 1}{3,6} = 33,41 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$$

Es decir,

$$Q = 0,0334 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$$

5. DRENAJE

La red de drenaje a diseñar se ha dividido en dos zonas independientes, una la correspondiente a la plataforma ferroviaria y otra la red de drenaje de la urbanización.

La capacidad de desagüe de todos los elementos que se proyecten se realizará mediante la fórmula de Manning.

$$V = \frac{1}{n} \cdot S \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot J^{\frac{1}{2}} \text{ y la de continuidad } Q = V \cdot S$$

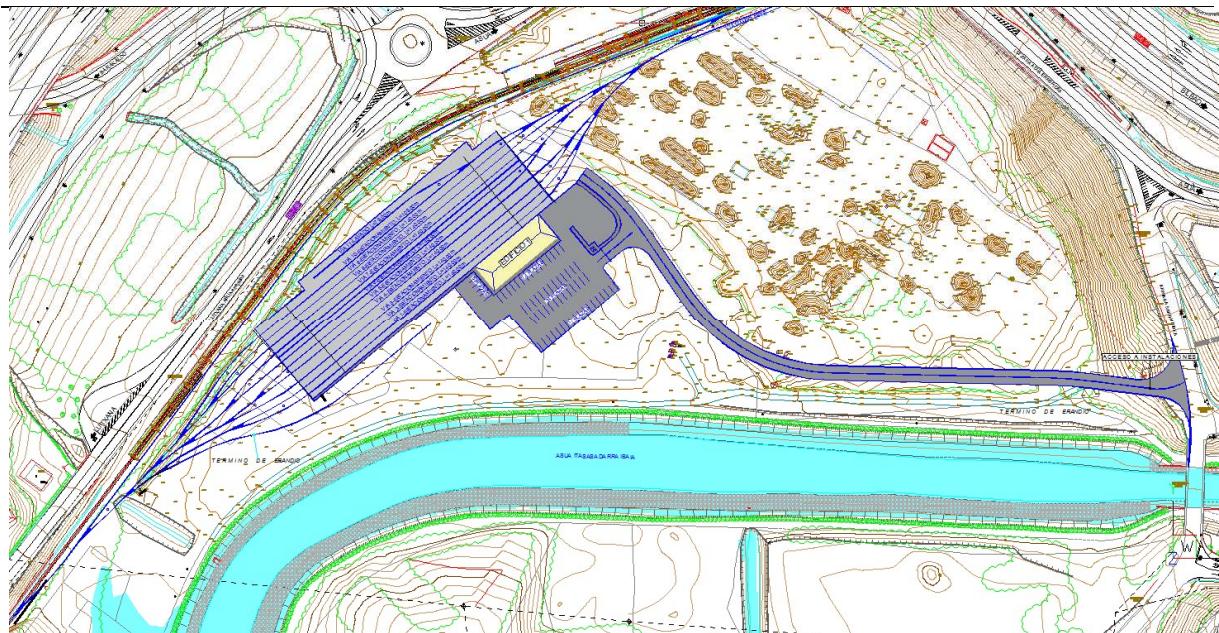
donde:

- V: Velocidad en m/seg.
- R: Radio hidráulico.
- J: Pendiente en tanto por uno. En este caso 1,00%, la misma que en la red existente.
- n: Coeficiente de Manning. En este caso n=0,010 para el PVC
- S: Superficie mojada de la sección de cálculo.

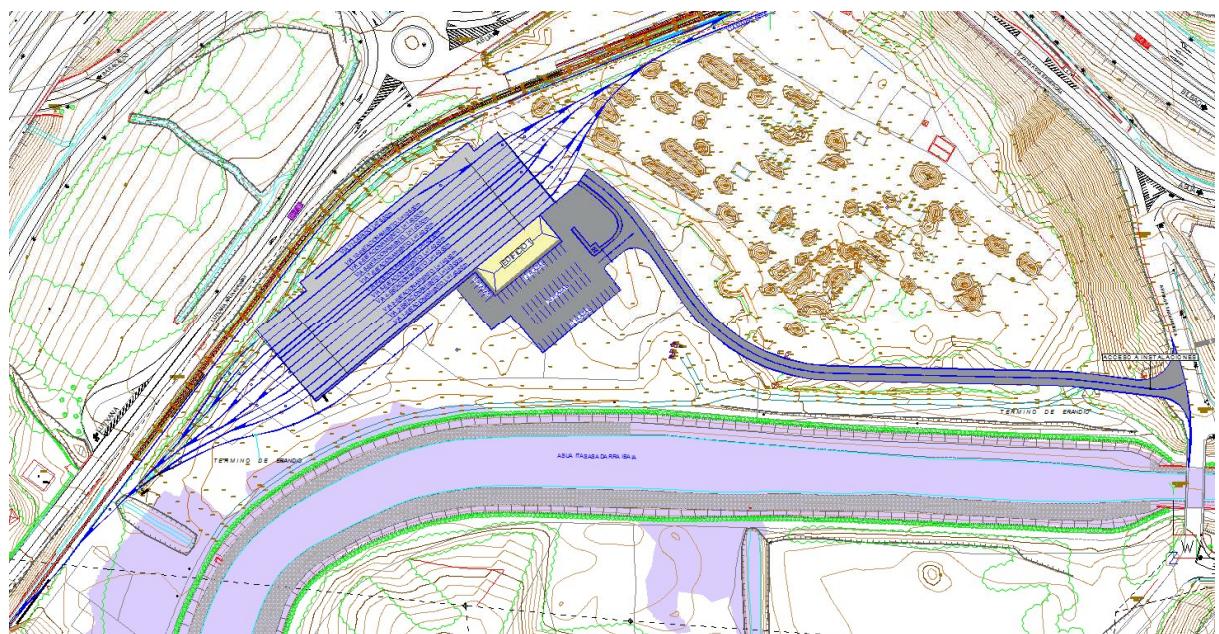
5.1 INUNDABILIDAD DEL RÍO ASUA

Se ha obtenido de la Agencia Vasca del Agua (URA) la distribución de los calados de agua en las márgenes del río Asua en la zona de estudio para los períodos de retorno de 10, 100 y 500 años, según se representa en las siguientes imágenes.

Servicio para la redacción del Estudio Informativo de las cocheras de Arriagas de ETS-RFV

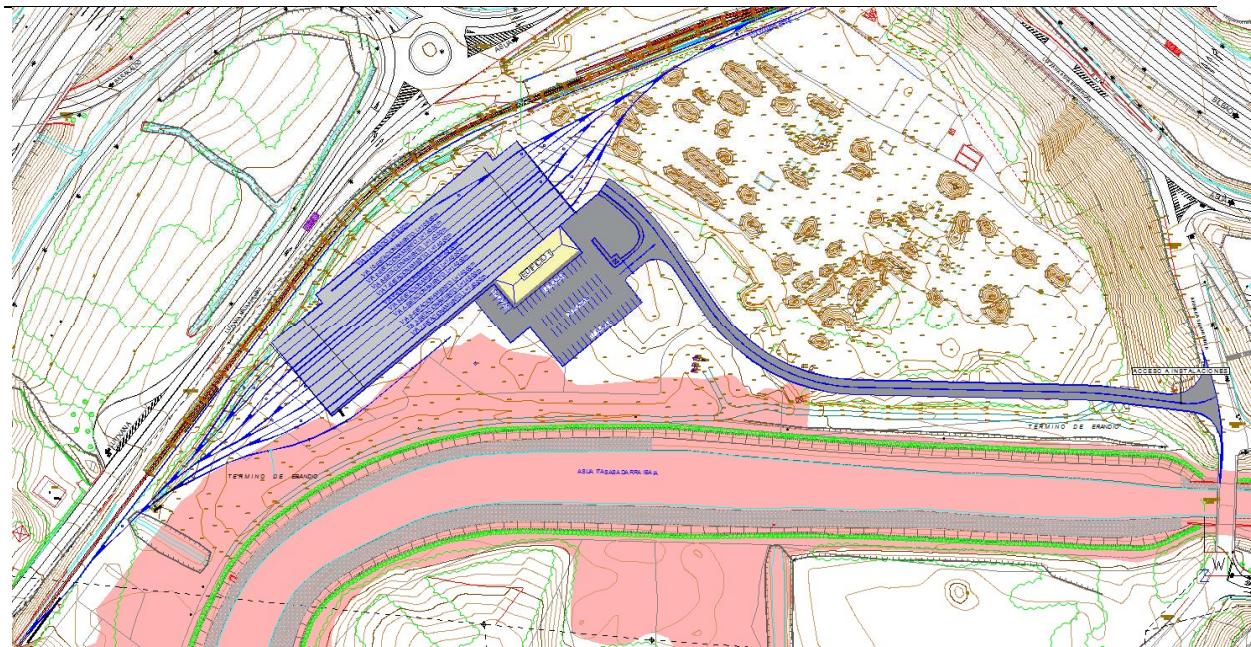


Mancha de inundación del río Asua para $T=10$ años



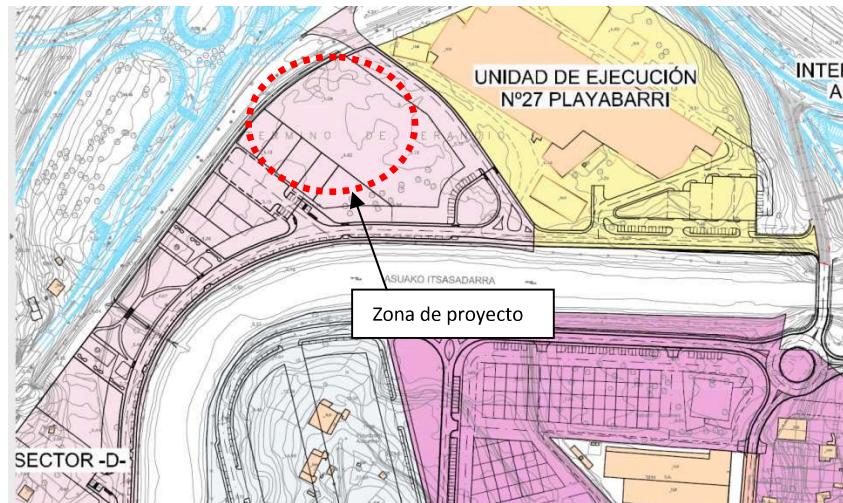
Mancha de inundación del río Asua para $T=100$ años

Servicio para la redacción del Estudio Informativo de las cocheras de Arriagas de ETS-RFV



Mancha de inundación del río Asua para T=500 años

Se comprueba que solo la vía de mantenimiento, exterior al complejo, ocupará parcialmente una zona inundable a 500 años. Esta situación se mantendrá provisionalmente al estar prevista la completa urbanización de la parcela, conforme al “Plan Especial de Infraestructuras relativo al entorno de Plaibarri-Sakoni de Erandio”, aprobado inicialmente con fecha de 8 de junio de 2017.



Ubicación de la zona de proyecto en el Sector D del Plan Especial

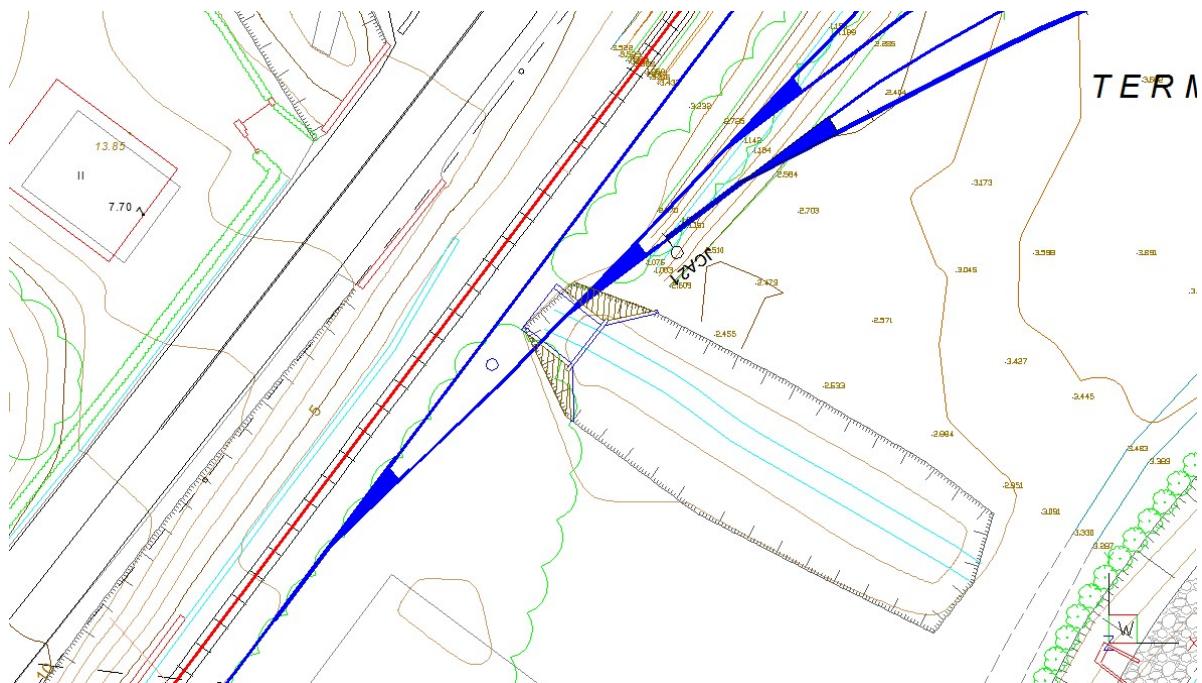
Servicio para la redacción del Estudio Informativo de las cocheras de Arriagas de ETS-RFV

5.2 DESCRIPCIÓN DE LA RED DE DRENAGE

5.2.1 DRENAJE TRANSVERSAL

Se plantea como actuación de drenaje transversal la prolongación de la obra de fábrica situada bajo la carretera BI-735 y el ferrocarril para permitir la conexión ferroviaria del haz sur proyectado con la vía general.

Se prolongará la obra de drenaje 5 metros de longitud aguas abajo del cauce, mediante un marco de hormigón de 4x2 m.



Prolongación de obra de drenaje existente

5.2.2 DRENAJE LONGITUDINAL

Se ha previsto una red de drenaje para la infraestructura proyectada, consistente en un sistema de dren-colector y cunetas que evacuarán el agua de escorrentía captada por las zonas urbanizadas, las cabeceras ferroviarias y el parking del complejo.

La red de drenaje planteada se puede dividir las siguientes partes

- Cabecera ferroviaria Sur.
 - Cabecera ferroviaria Norte.
 - Vías de estacionamiento y lavado.
 - Parking del complejo ferroviario

5.2.2.1 Cabeceras ferroviarias norte y sur.

Los caudales totales a desaguar serán los correspondientes al área de cada una de las cabeceras, estimadas según los planos en 2460 y 3450 m², para las cabeceras norte y sur, respectivamente.

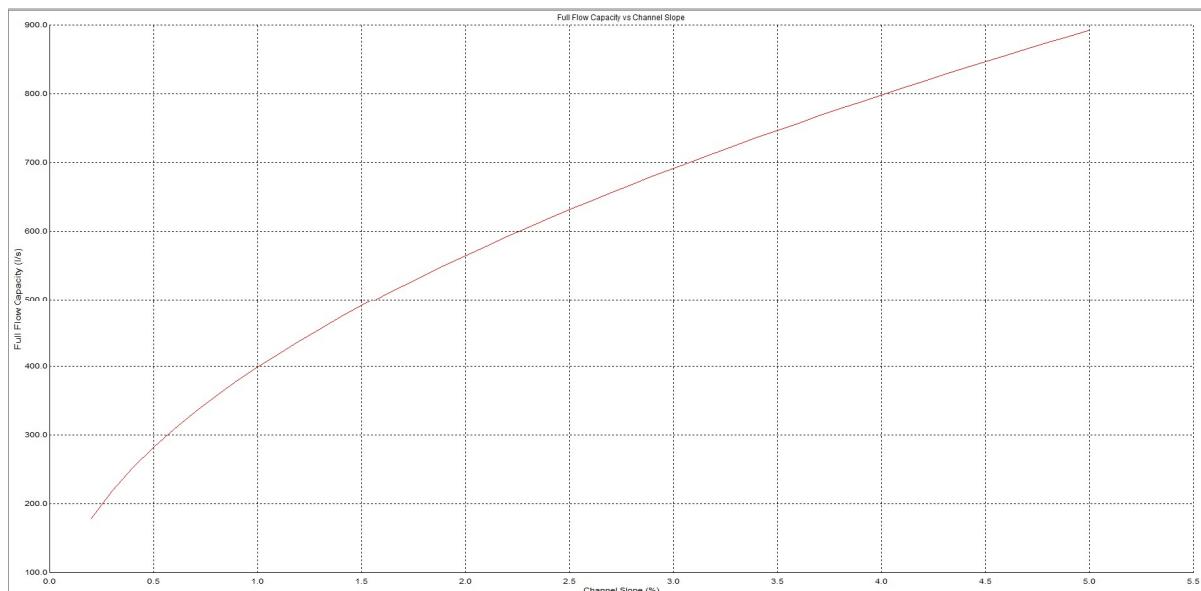
A estas áreas de aportación habrá que añadir el agua recogida por la cubierta del edificio de cocheras, que se estima que la mitad va a cada cabecera, 3550 m². Por tanto, los caudales totales serán:

CABECERA	ÁREAS			DOTACIÓN (L/S·M ²)	Q (L/S)
	FERROVIARIAS	COCHERA	TOTAL		
NORTE	2460	3550	6010	0,0334	201
SUR	3450	3500	6950	0,0334	232

El drenaje se resolverá mediante cunetas rectangulares de 0,30x0,30, situadas en las entrevías con drenes ranurados de PVC 110 bajo las mismas.

Toda la red de cunetas-dren desaguará un colector transversal de 600 mm. mediante arquetas de hormigón de 100x100 cm.

La capacidad del colector general de desagüe, según Manning, será:

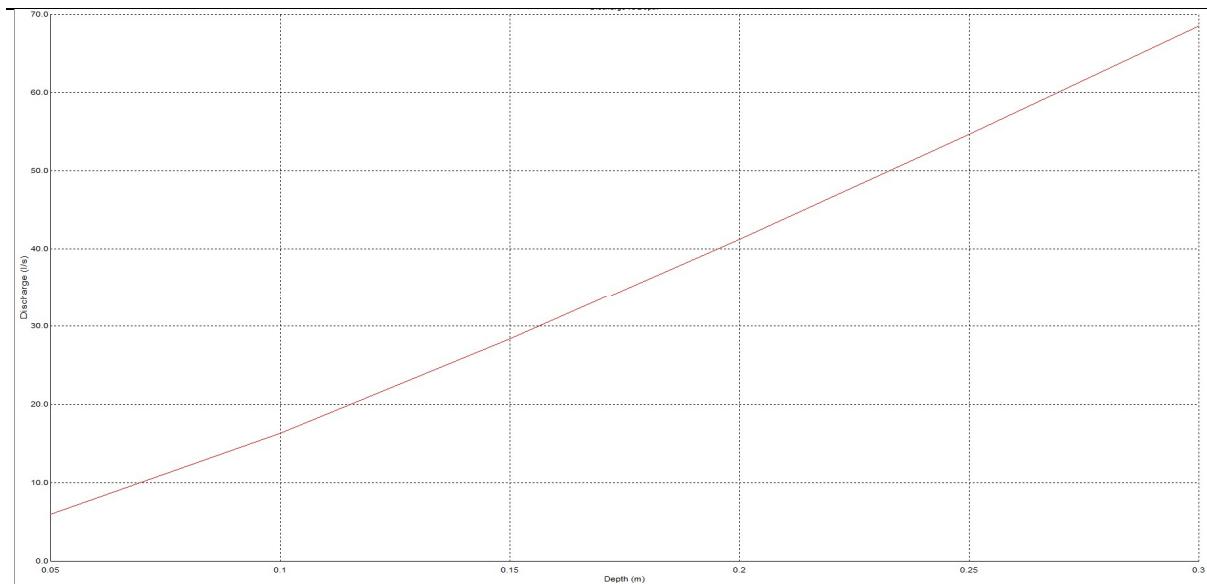


Curva pendiente-caudal máximo (n=0,020) para tubos de 600 mm.

Se comprueba que la capacidad máxima del tubo es de 303 l/s, y 282 l/s para el caso de funcionar a sección llena con una pendiente mínima de 0,50%, por lo que la sección será válida en todos los casos.

En cuanto a las cunetas, la capacidad evoluciona a través de la siguiente curva:

Servicio para la redacción del Estudio Informativo de las cocheras de Arriagas de ETS-RFV



Curva calado-caudal (n=0,020) para cunetas .

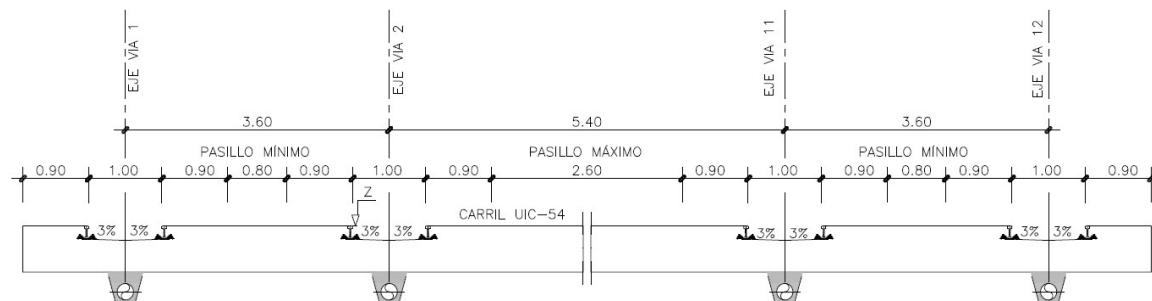
El caudal máximo que llevará la cuneta será la recogida en las entrevías para una longitud, que en ningún caso sobrepasa los 100 m.

$$Q_{\max} = 100 \cdot (7) \cdot 0,0334 \left(\frac{l}{s \cdot m^2} \right) = 24 \text{ l/s}$$

La capacidad máxima de la cuneta para una pendiente de 0,50% es de 68 l/s, por lo que no será necesario recurrir a colectores bajo las mismas para compensar una falta de capacidad hidráulica. En todos los casos se empleará la sección definida.

5.2.2.2 Vías de estacionamiento y lavado.

Las red de drenaje de las vías de estacionamiento y lavado consiste en una serie de colectores de 300 mm. situados en el eje de cada vía, bajo las cunas que formadas por el hormigón de la vía en placa.



Sección tipo con el sistema de drenaje proyectado

Servicio para la redacción del Estudio Informativo de las cocheras de Arriagás de ETS-RFV

Estos colectores desaguarán en sumideros de rejilla, colocados en las cunas, y conectados a un colector transversal que evacuará la totalidad del agua captada hacia la red de drenaje de las cabeceras.

5.2.2.3 Parking del complejo ferroviario

El parking del complejo se drenará mediante un sistema de sumideros y colectores. El caudal total a evacuar será:

$$Q_{\max} = 3700 \cdot 0,0334 \left(\frac{l}{s \cdot m^2} \right) = 126 \text{ l/s}$$

El colector principal de desagüe será un tubo de 600 mm. mientras que los secundarios que parten de los sumideros serán de 300 mm.

5.2.3 DRENAJE DEL VIAL DE ACCESO.

El drenaje del vial de acceso se resolverá mediante cunetas de desmonte triangulares revestidas, con talud 1:1 y obras transversales de drenaje longitudinal que las desaguarán hacia el río Alsasua.

La escorrentía provendrá de la plataforma y márgenes del vial, estimándose como área de captación máxima una franja de 4 metros de ancho, ocupada por los taludes más la calzada (7 m.), a lo largo de toda la longitud del vial (300m.), por tanto:

Caudal total del sistema:

$$Q_{\max} = 300 \cdot (4+7) \cdot 0,0334 \left(\frac{l}{s \cdot m^2} \right) = 110 \text{ l/s}$$

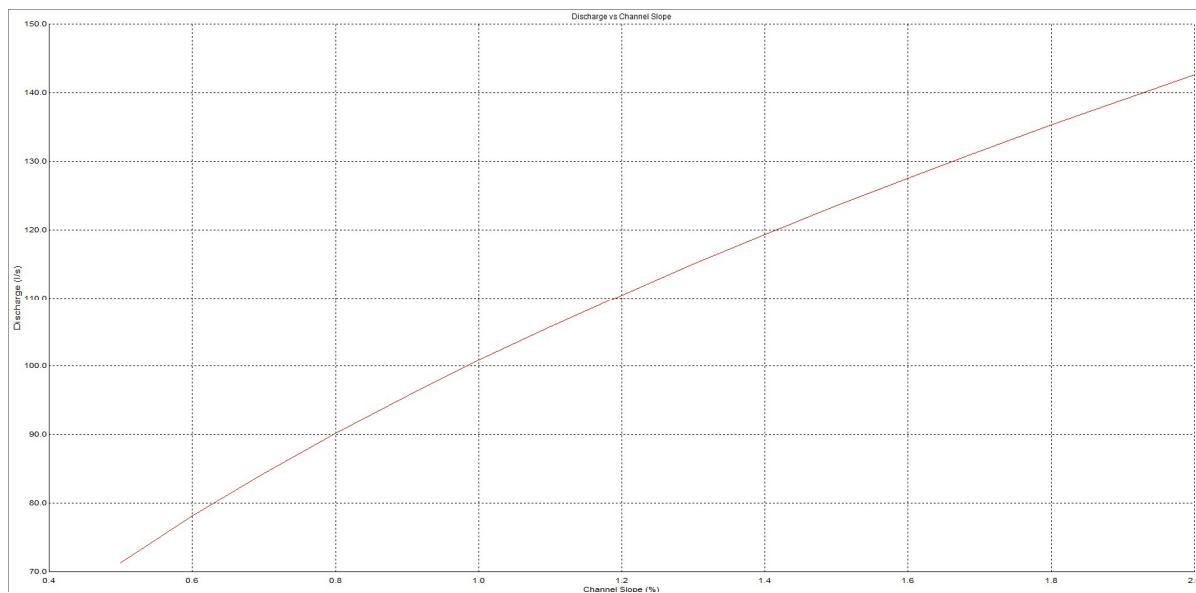
Para el caso de las cunetas, el tramo de mayor caudal sería el de la cuneta situada en el tramo en recta del vial, es decir con la aportación de la mitad de la calzada en una longitud de unos 200 metros.

Caudal máximo en cunetas:

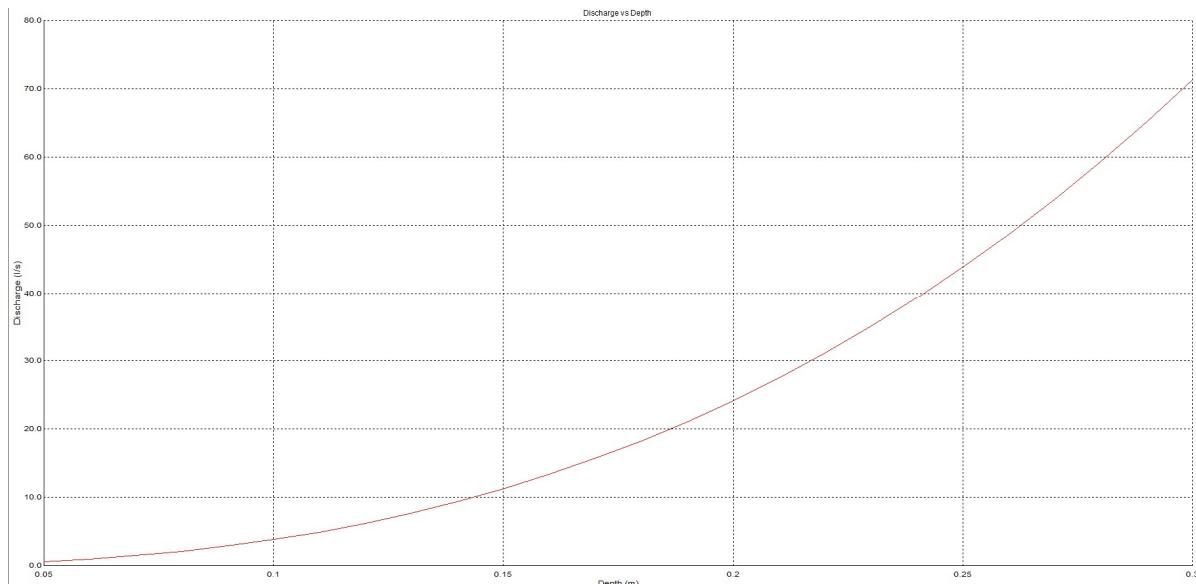
$$Q_{\max} = 200 \cdot (4+3) \cdot 0,0334 \left(\frac{l}{s \cdot m^2} \right) = 47 \text{ l/s}$$

Caudal de la cuneta de máxima longitud (Con este caudal máximo, se predimensionan los elementos del drenaje del vial, empleándose la fórmula de Manning con un coeficiente de 0,020.

5.2.3.1 Cunetas de vial.



Curva pendiente-caudal ($n=0,020$) para cunetas de vial



Curva calado-caudal ($n=0,020$) para cunetas de vial

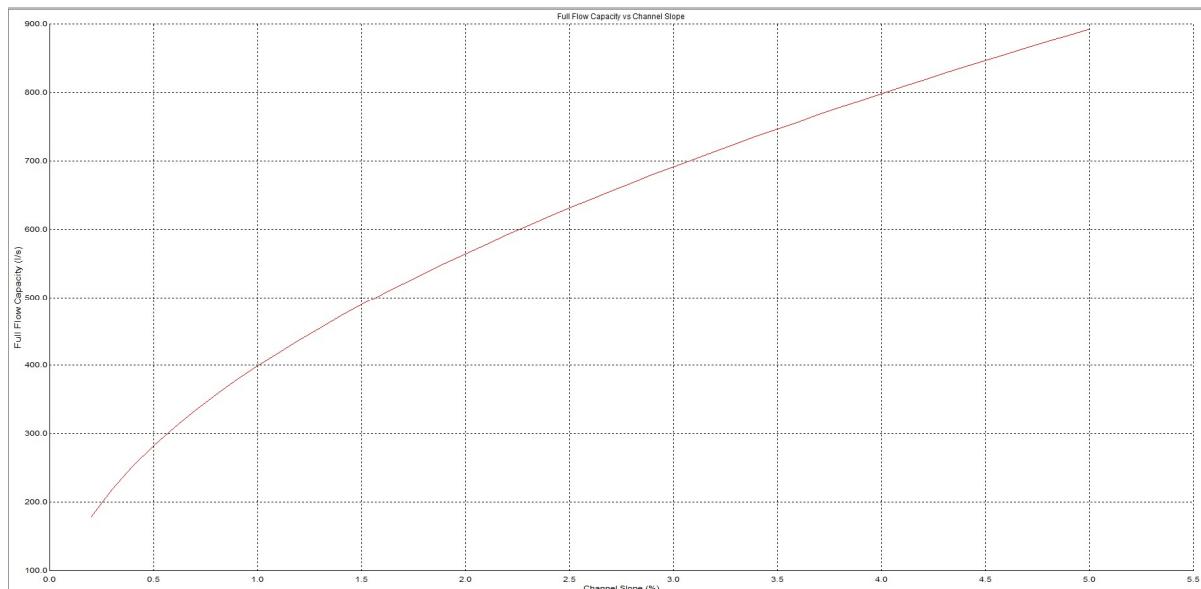
La capacidad de las cunetas para pendiente mínima de 0,50% es de 71 l/s y velocidad 0,72 m/s, por lo que la sección es válida en cualquier punto del vial.

Por otro lado, para el caudal máximo de 47 l/s, para una pendiente mínima el calado alcanzado será de 26 cm.

Servicio para la redacción del Estudio Informativo de las cocheras de Arriagas de ETS-RFV

5.2.3.2 Obras transversales de drenaje longitudinal

Se emplearán tubos de 600 mm. de diámetro en hormigón para esta función, con una pendiente mínima del 0,50%.



Curva pendiente-caudal máximo ($n=0,020$) para tubos de 600 mm.

Se comprueba que la capacidad máxima del tubo es de 303 l/s, y 282 l/s para el caso de funcionar a sección llena, por lo que la sección será válida en todos los casos.