

Anejo Nº 6

CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA

1. ESTUDIO CLIMATOLÓGICO

1.1. Introducción

1.2. Datos Climáticos

Resumen de los datos térmicos del C.M. territorial de CyL

Determinación del Régimen Térmico

Resumen de los datos pluviométricos del C.M territorial de CyL

1.3. Clasificación Climática

Índice de Dantin-Revenge

Índice de Lang

Índice de Martonne

1.4. Cálculo de Días Trabajables

2. ESTUDIO HIDROLÓGICO

2.1. Metodología

2.2. Estación pluviométrica

2.3. Cálculo de Precipitaciones máximas anuales en 24 horas

2.4. Cálculo de las Precipitaciones máximas en 24 horas, PD por el Método Gumbel

2.4.1. Aplicación del método de Gumbel

2.4.2. Cálculo de la línea de mejor ajuste (Método de CHOW)

2.4.3. Precipitaciones totales en 24 horas, PD

2.5. Cálculo de Precipitaciones máximas mediante distribución SQRT-ET MAX

2.6. Comparación de resultados

2.7. Cálculos Hidrológicos

2.7.1. Estudio de las Cuencas

2.7.2. Periodos de Retorno

2.7.3. Cálculo del Coeficiente de Escorrentía

2.7.4. Cálculo del Tiempo de Concentración

2.7.5. Cálculo de la Intensidad media de Precipitación, IT

2.7.6. Cálculo de Caudales

ANEXO I: Plano de Cuencas

1. ESTUDIO CLIMATOLÓGICO

1.1 Introducción

El estudio climatológico de la zona de actuación se ha realizado a partir de los datos obtenidos del Centro Meteorológico Territorial de Castilla y León, dependiente del Instituto Nacional de Meteorología (Ministerio de Medio Ambiente).

Se consulto al Centro Meteorológico territorial de Castilla y León sobre la proximidad de la estación más cercana a la zona de proyecto. La estación termopluviométrica elegida fue la de **Villar de Gallimazo**, en la provincia de Salamanca.

Nº ESTACIÓN	NOMBRE	ALTITUD	LONGITUD	LATITUD	DATOS térmicos	DATOS precipitaciones
2552	Villar de Gallimazo	841	5-81-37 W	40-58-45 N	1969-2006 38 años	1969-2006 38 años

1.2 Datos Climáticos

Resumen de los datos térmicos del C.M. territorial de CyL

Ya analizados los datos térmicos se calculan los siguientes valores representativos:

Temperatura máxima absoluta mensual y anual

Temperatura mínima absoluta mensual y anual

Temperatura media de las máximas mensual y anual

Temperatura media de las mínimas mensual y anual

Tabla 1-Resumen de datos térmicos

	Máximas absolutas	Media máximas	Mínimas absolutas	Media mínimas	Media
Enero	13,42	7,72	-9,03	-1,58	3,08
Febrero	16,97	10,48	-7,82	-0,82	4,85
Marzo	20,70	13,21	-6,11	0,54	6,89
Abril	24,45	15,73	-4,57	2,07	8,90
Mayo	29,51	20,23	-1,00	5,33	12,80
Junio	35,84	27,52	3,15	9,54	18,54
Julio	37,39	30,55	5,74	11,27	20,92
Agosto	38,66	31,73	5,63	11,31	21,53
Septiembre	34,00	26,08	2,58	8,62	17,36
Octubre	27,26	19,21	-1,77	5,30	12,28
Noviembre	19,30	12,68	-5,66	1,28	6,99
Diciembre	14,65	8,60	-7,32	-0,74	3,94
	38,66	18,65	-9,03	4,34	11,51

Figura 1-Gráfico de las temperaturas absolutas

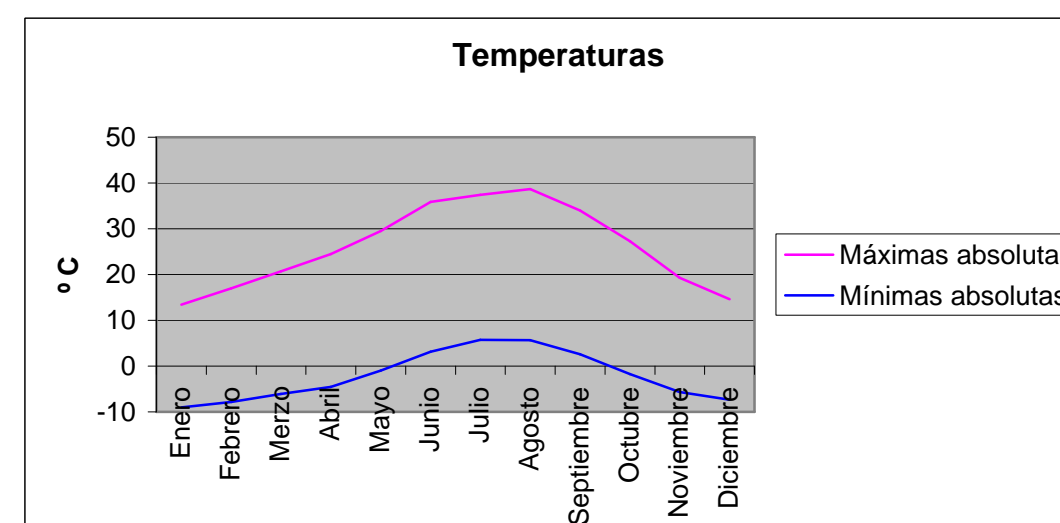
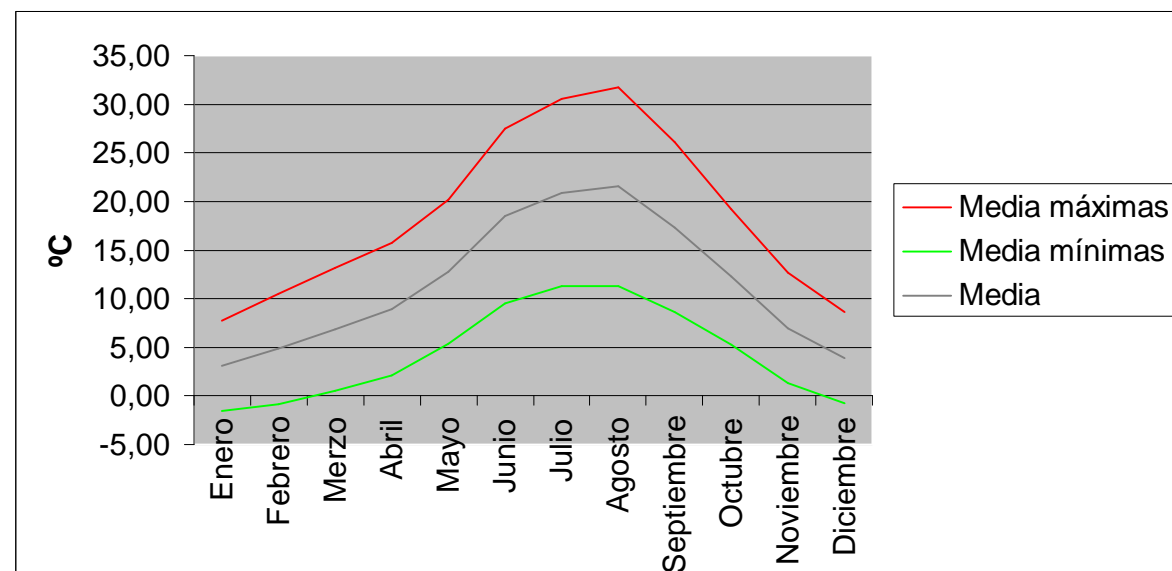


Figura 2-Gráfico de las temperaturas medias



Se puede observar que el régimen térmico de la zona se caracteriza por las extremas temperaturas del invierno y del verano, con mínimas absolutas de -9,03°C en enero y máximas con 38,66°C en agosto.

La temperatura media anual se sitúa en los 11,51 C, variando a lo largo del año entre los 3,08°C de enero y los 21,53°C de agosto.

La media de las mínimas es inferior a 0°C en los meses de invierno, en los demás es superior a 0°C. el mes más frío es enero con -1,58°

Determinación del Régimen Térmico

Para la determinación del régimen térmico de la zona se utilizan los siguientes índices térmicos obtenidos de los datos del Centro Meteorológico territorial de Castilla y León anteriormente expuestos:

- Índice de temperatura media (It)

$$It = \frac{TM + Tm}{2}$$

- Índice de continuidad (Ic)

$$Ic = TM - Tm$$

Siendo:

TM: Temperatura máxima diaria

Tm: Temperatura mínima diaria

A partir de los anteriores índices y teniendo en cuenta los siguientes valores que definen el clima:

FRÍO	TEMPLADO	CÁLIDO
$It < 13^{\circ}C$	$13^{\circ}C < It < 18^{\circ}C$	$18^{\circ}C < It$

MARITIMO	SEMICONTINENTAL	CONTINENTAL
$Ic < 28^{\circ}C$	$28^{\circ}C < Ic < 32^{\circ}C$	$32^{\circ}C < Ic$

$$TM = 38,66^{\circ}C$$

$$Tm = -9,03^{\circ}C$$

$$It = \frac{38,66 + (-9,03)}{2} = 14,815^{\circ}C$$

$$I_c = 38,66 - (-9,03) = 47,69 \text{ } ^\circ C$$

Por tanto el régimen térmico de la zona de proyecto es **templado** y **continental**.

Tabla 2-Resumen de datos pluviométricos

Resumen de los datos pluviométricos del C.M territorial de CyL

A continuación se presenta un resumen de los datos pluviométricos pertenecientes a la estación 2552 de Villar de Gallimazo (Salamanca). Las variables recogidas son las siguientes:

Precipitación media mensual

Precipitación máxima en 24 horas

Días de lluvia

Días de nieve

Días de granizo

Días de tormenta

Días de niebla

Días de rocío

Días de escarcha

Las precipitaciones van en mm.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Prec. Media	41,85	31,91	27,68	42,68	53,07	32,91	13,64	12,45	31,49	49,49	46,14	43,12	426,34
Prec. Máx24h	34,00	36,20	26,00	44,00	40,50	56,00	38,00	31,00	61,70	63,20	61,50	58,00	550,00
Nº días lluvia	7,65	5,81	6,05	7,73	9,51	5,78	2,92	2,59	4,81	8,62	7,97	7,27	76,71
Nº días nieve	1,03	1,14	0,76	0,41	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,68	4,40
Nº días granizo	0,16	0,32	0,54	0,70	0,70	0,27	0,22	0,14	0,00	0,05	0,03	0,11	3,24
Nº días tormenta	0,05	0,05	0,41	0,95	3,35	4,19	3,03	2,32	1,92	0,35	0,08	0,05	16,75
Nº días niebla	6,92	2,89	1,73	1,08	0,86	0,84	0,38	0,84	0,86	2,89	5,73	8,32	33,34
Nº días rocío	1,27	0,76	3,14	5,46	7,92	4,38	3,08	4,86	4,46	6,46	2,76	1,27	45,82
Nº días escarcha	17,27	16,32	12,81	9,03	3,57	0,41	0,22	0,24	1,00	4,92	12,86	16,38	95,03

Figura 3-Datos de Precipitaciones

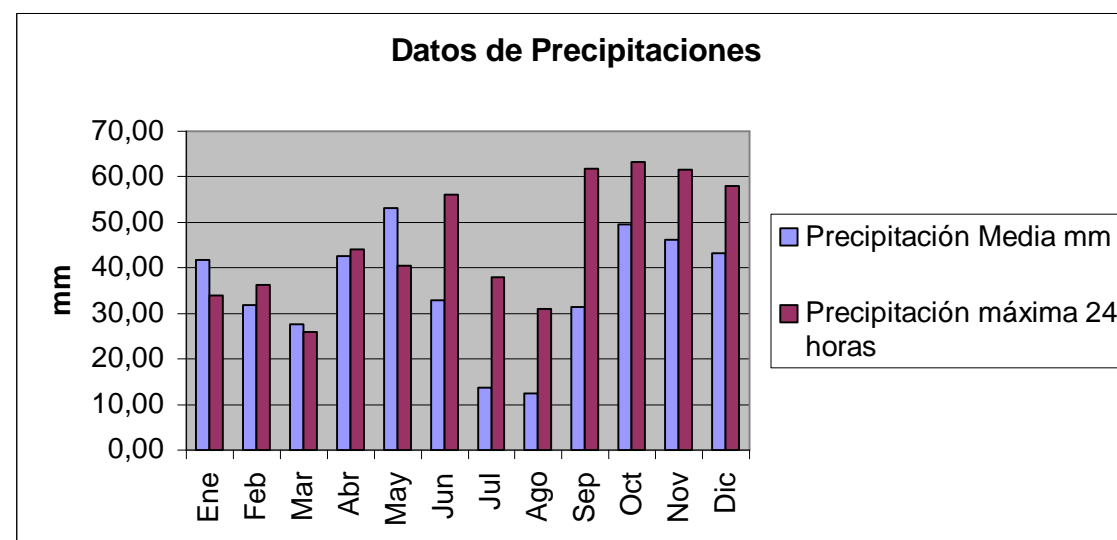
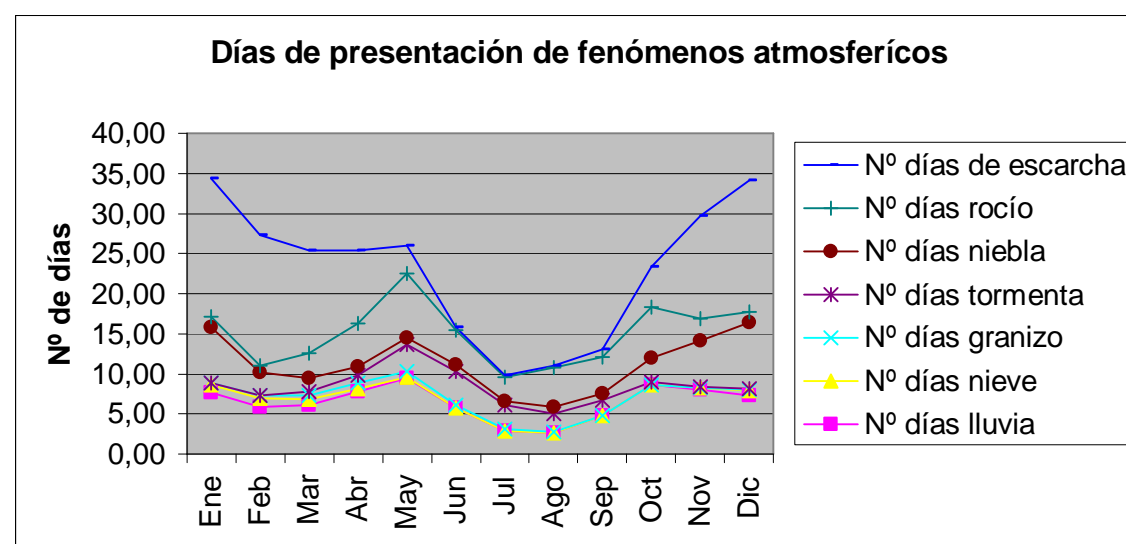


Figura 4-Datos de días de presentación de fenómenos atmosféricos



El régimen pluviométrico pone de manifiesto la existencia de un máximo absoluto en otoño (octubre). Los valores mínimos corresponden a los meses de marzo y agosto.

Por otro lado las precipitaciones en forma de nieve son casi inexistentes a lo largo del año alcanzando su valor máximo en el mes de febrero pero con un valor de 1,14, valor casi insignificante.

Los aguaceros de tipo tormentoso son más frecuentes y suelen registrarse con mayor intensidad en el periodo de mayo-septiembre, siendo mayo el más frecuente con un valor de 3,35.

En cuanto a los días de escarcha presentan valores altos, superiores a 4 días, desde octubre hasta abril.

1.3 Clasificación climática

Para desarrollarla hemos recurrido a la utilización de 3 índices térmicos que tienen en cuenta los datos de temperaturas y precipitaciones medias. Éstos índices son el de Dantin-Revenge, el de Lang y el de Martonne.

Índice Termo-Pluviométrico de Dantin-Revenge (IDR)

Éste se obtiene a partir de los datos de pluviometría y temperaturas medias anuales de la estación correspondiente y viene dado por la siguiente fórmula:

$$IDR = \frac{100 * Temp .media .anual}{Pr ec .media .anual}$$

Su criterio es el siguiente:

0 < IDR < 2 Climas húmedos
2 < IDR < 4 Climas semiáridos y secos
IDR > 4 Climas áridos

Aplicando dicho índice a nuestro caso se obtiene el resultado siguiente:

Temperatura media anual (°C): 11,51
Precipitación media anual (mm): 426,34
Índice de Dantin-Revenga: **2,69**

El valor de 2,69 pone de manifiesto que el clima de la zona pertenece a la categoría de **clima semiárido y seco**.

Índice de Lang (IL)

Viene dado por la siguiente expresión:

$$IL = \frac{Pr_{ec}.media_{anual}.en.(mm)}{Temp_{media}.anual.en.(^{\circ}C)}$$

Siendo:

0 < IL < 20 Zona de desiertos
20 < IL < 40 Zona árida
40 < IL < 60 Zona húmeda de estepas y sabanas
60 < IL < 100 Zona húmeda de bosques ralos
100 < IL < 160 Zona húmeda de bosques densos
IL > 160 Zona hiperhúmeda de prados y tundras

Para nuestro caso concreto tenemos:

Temperaturas media anual (°C): 11,51
Precipitación media anual (mm): 426,34
Índice de Lang: **37,04**

Lo que corresponde a una **zona árida**.

Índice de Martonne (IM)

Su expresión es:

$$IM = \frac{Pr_{ec}.media_{anual}}{Temp_{media}.anual + 10^{\circ}C}$$

Siendo:

0 < IM < 5 Desiertos
5 < IM < 10 Semidesiertos
10 < IM < 20 Estepas y países secos mediterráneos
20 < IM < 30 Región del olivo y los cereales
30 < IM < 40 Regiones subhúmedas, prados y bosques
IM > 40 Zonas húmedas o muy húmedas con exceso de agua

Para la zona de actuación se tienen los siguientes valores:

Temperaturas media anual (°C): 11,51
Precipitación media anual (mm): 426,34
Índice de Lang: **19,82**

Se puede decir por tanto que la zona se incluye dentro de las **Estepas y países secos mediterráneos**.

1.4 Cálculo de Días Trabajables

Para cada clase de obra, se entiende por día trabajable, en lo que a clima se refiere, el día en el que las precipitaciones y las temperaturas ambientes sean inferiores y superiores, respectivamente, a los límites que más adelante se fijan.

Se define como temperatura límite ambiente para la ejecución de riegos, tratamientos superficiales y mezclas bituminosas aquella que normalmente se acepta como límite, por debajo de la cual no puede ponerse en obra dicha unidad. En este estudio se ha considerado como temperatura límite de puesta en obra de riegos, tratamientos superficiales o por penetración la de 10°C, mientras que para mezclas bituminosas se ha reducido a la de 5°C.

Se define como temperatura límite ambiente para la manipulación de materiales naturales húmedos la de 0°C.

En cuanto a las precipitaciones, se establecen dos valores límites, el de 1 mm y el de 10 mm diarios. El primer valor se refiere al trabajo de ciertas unidades sensibles a una pequeña lluvia, en tanto que el segundo limita el resto de trabajos, ya que se entiende que con precipitaciones superiores no puede realizarse ningún trabajo a la intemperie sin protecciones especiales.

Para calcular el número de días trabajables útiles en las distintas clases de obra, se establecen unos coeficientes de reducción, a aplicar al número de días laborables de cada mes.

Se define el coeficiente de reducción por helada η_m , como el coeficiente del número de días del mes "m" en que la temperatura mínima es superior a 0°C y el número de días del mes.

Se define el coeficiente de reducción por la temperatura límite de riegos, tratamientos superficiales o por penetración, τ_m , como el cociente entre el número de días en que la temperatura a las 9 de la mañana es igual o superior a 10°C y el número de días del mes.

Se define el coeficiente de reducción por temperatura límite de mezclas bituminosas, τ'_m como el cociente entre el número de días en que la temperatura a las 9 de la mañana es igual o superior a 5°C y el número de días del mes.

Se define el coeficiente de reducción por lluvia límite de trabajo, λ_m como el cociente en que la precipitación es superior a 10 mm y el número de días del mes.

Se define el coeficiente de reducción por lluvia límite de trabajo, λ'_m como el cociente entre el número de días en que la precipitación es inferior a 1 mm y el número de días del mes.

Para el cálculo de los coeficientes medios aplicar en cada apartado en que se puede subdividir la obra, se determinan los factores ambientales que les afecten, para posteriormente integrarlos por medio de unas formulas.

	Factores ambientales que afectan a la obra				
	0°C	10 mm	1 mm	10°C	5°C
Hormigones hidráulicos	x	x			
Movimientos de tierras	x	x	x		
Áridos		x			
Riegos y tratamientos superficiales o por penetración			x	x	
Mezclas bituminosas			x		x

Dado que se trata de fenómenos cuya probabilidad es independiente, y como quiera el trabajo habría de suspenderse en el caso de que concurriera alguna de las condiciones adversas, a cada una de las unidades de obra se le aplican los coeficientes de reducción correspondientes, quedando lo siguiente:

Clase de obra	Coefficiente
Hormigones hidráulicos	$C_m = \eta_m * \lambda_m$
Movimientos de tierras	$C_m = \eta_m * (\lambda_m + \lambda'_m) / 2$
Áridos	$C_m = \lambda_m$
Riegos y tratamientos superficiales o por penetración	$C_m = \tau_m * \lambda'_m$
Mezclas bituminosas	$C_m = \tau'_m * \lambda'_m$

Para el cálculo de los días trabajables netos de cada mes hay que tener en cuenta dos reducciones:

-Los días de climatología adversa, que ya están definidos por los coeficientes C_m , para cada clase de obra.

- Los días festivos, variables según el año y la localidad. Su coeficiente reductor se puede establecer a la vista del calendario laboral.

Puesto que los días festivos pueden ser días adversos climatológicamente, para realizar la transformación de días calendario en días-trabajables, se propone seguir el siguiente criterio:

Para un mes determinado, C_f el coeficiente de reducción de días festivos y C_m el coeficiente de reducción climatológico para una unidad de obra determinada. La probabilidad de que un día cualquiera del mes presente una climatología adversa, para dicha unidad de obra, será $(1-C_m)$ y $(1-C_m)*C_f$ la probabilidad de que un día laborable presente una climatología adversa. Por lo tanto el coeficiente de reducción total será:

$$C_t = 1 - (1 - C_m) * C_f$$

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Nº días total	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Nº días $T^{a}_{mín} > 0^{\circ}C$	12	12	19	21	29	30	31	31	30	28	18	13
Nº días $P < 1mm$	25	23	26	24	23	26	30	30	27	25	24	25
Nº días $P > 10mm$	2	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
Nº días $T^a_{9h} > 5^{\circ}C$	4	6	12	18	26	30	31	31	30	24	16	7
Nº días $T^a_{9h} > 10^{\circ}C$	2	3	5	8	19	28	31	31	29	17	7	4

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
η_m	0,387	0,428	0,613	0,700	0,935	1,000	1,000	1,000	1,000	0,903	0,600	0,419
λ_m	0,806	0,821	0,838	0,800	0,742	0,866	0,967	0,967	0,900	0,806	0,800	0,806
λ_m	0,064	0,036	0,032	0,064	0,064	0,066	0,033	0,033	0,033	0,064	0,066	0,064
τ_m	0,13	0,21	0,39	0,60	0,84	1,00	1,00	1,00	1,00	0,77	0,53	0,23
τ_m	0,06	0,11	0,16	0,27	0,61	0,93	1,00	1,00	0,97	0,55	0,23	0,13

En función de estos coeficientes, puede obtenerse el valor C_m para cada una de las unidades de obra descritas y para cada uno de los meses:

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Hormigones hidráulicos	0,025	0,015	0,019	0,040	0,059	0,066	0,033	0,033	0,033	0,058	0,039	0,027
Movimientos de tierras	0,168	0,183	0,266	0,302	0,377	0,466	0,500	0,500	0,467	0,393	0,259	0,182
Áridos	0,064	0,036	0,032	0,064	0,064	0,066	0,033	0,033	0,033	0,064	0,066	0,064
Riegos y tratamientos superficiales o por penetración	0,048	0,090	0,134	0,216	0,452	0,805	0,967	0,967	0,900	0,443	0,184	0,105
Mezclas bituminosas	0,105	0,172	0,327	0,480	0,623	0,866	0,967	0,967	0,900	0,621	0,424	0,185

La tabla resumen sería la siguiente:

Actividad	Hormigón	Movimientos de Tierra	Áridos	MBC	Riegos y Tratamientos
Útiles /laborables	0,437	0,339	0,452	0,553	0,443

Hay que hacer constar que los valores de los cuadros anteriores no están afectados por el coeficiente C_f , por lo que los porcentajes expresan el número de días útiles de trabajo a partir del número de días totales.

2. ESTUDIO HIDROLÓGICO

2.1 Metodología

Para el cálculo de los caudales asociados a cada una de las cuencas que intervienen en el presente proyecto, se ha seguido una versión modificada del método hidrometeorológico propuesto por la Instrucción 5.2-I.C., "Drenaje Superficial". Del Ministerio de Fomento.

En el presente anejo, se han seguido dos metodologías independientes para obtener la P_d . Por un lado, se aplica el método tradicional de Gumbel y por otro, se utiliza la publicación del Ministerio de Fomento "Máximas lluvias diarias en la España peninsular" de diciembre de 1999, mediante aplicación de la distribución SQRT-ET MAX.

En el método de Gumbel, primeramente se han obtenido las precipitaciones máximas anuales en 24 horas a partir de la estación pluviométrica elegida, dentro de las existentes que están cerca de la zona de proyecto.

A continuación, se obtiene la precipitación total en 24 horas P_d como media de los resultados obtenidos para la estación analizada y para cada uno de los posibles periodos

de retorno, aplicando el método de Gumbel y comprobando si la serie de valores máximos anuales se ajusta a ésta mediante el papel de probabilidad extrema.

Por su parte, el método aplicado en la publicación “Máximas lluvias diarias en la España peninsular” utiliza como función de distribución para la determinación de la Pd la SQRT-ETmax, por las siguientes razones:

- Proporciona resultados más conservadores que la tradicional de Gumbel.
- Conduce a resultados más conservadores que otros modelos de ley tradicionalmente empleados en estos estudios.
- Demuestra una buena capacidad para reproducir las propiedades estadísticas observadas en los datos.

La determinación de los cuantiles locales X_t en un determinado punto, se reduce a reescalar los cuantiles regionales Y_t con la media local \bar{P} , según la siguiente expresión:

$$X_t = Y_t * \bar{P}$$

Utilizando la hoja que corresponde a la zona del proyecto, obtendremos el coeficiente de variación C_v , el cual nos permite determinar el cuantil Y_t en función del dato anterior y el periodo de retorno.

En el cálculo de caudales, se ha utilizado el mayor de los dos valores Pd, obtenido por los métodos antes mencionados, para cada periodo de retorno.

Los pasos siguientes se basan ya en seguir lo especificado en la Instrucción 5.2-I.C. de Drenaje Superficial. Conocida Pd y como consecuencia, la intensidad media diaria de precipitación I_d , correspondiente a cada periodo de retorno considerado, se definen las características de cada una de las cuencas, es decir, superficie, longitud y pendiente, para llegar a conocer el caudal que aporta cada una en el punto de cruce con la vía proyectada.

Seguidamente se define el periodo de retorno de acuerdo con la tabla 1.2 de la Instrucción 5.2-I.C. Análogamente se calcula el tiempo de concentración para cada una de las cuencas según el apartado 2.4 de la citada Instrucción.

A continuación se obtiene el coeficiente de escurrimiento para cada una de las cuencas según el apartado 2.5 de la Instrucción mencionada.

Después se calcula la intensidad media de precipitación para el periodo de retorno definido y para cada uno de los tiempos de duración del aguacero definidos, según el apartado 2.3 de la Instrucción de Drenaje.

Finalmente se procede a calcular los caudales asociados a cada una de las cuencas mediante la fórmula propuesta en el apartado 2.2 de la Instrucción.

2.2 Estacione Pluviométrica

Los datos pluviométricos han sido proporcionados por el Servicio de Datos del Instituto Nacional de Meteorología, en mi caso por el Centro Meteorológico territorial de Castilla y León. Los datos constituyen una serie suficientemente amplia como para permitir realizar extrapolaciones estadísticas con los mismos.

La estación pluviométrica elegida, cercana a mi zona de proyecto es la siguiente:

Nº ESTACIÓN	NOMBRE	ALTITUD	LONGITUD	LATITUD	DATOS térmicos	DATOS precipitaciones
2552	Villar de Gallimazo	841	5-81-37 W	40-58-45 N	1969-2006 38 años	1969-2006 38 años

Se adjunta un plano de situación, sin escala, de la estación elegida.



2.3 Cálculo de Precipitaciones máximas anuales en 24 horas

A partir de los datos proporcionados por el Servicio de Datos del Instituto Nacional de Meteorología, en mi caso por el Centro Meteorológico territorial de Castilla y León, se ha extraído la precipitación máxima diaria que, multiplicada por el coeficiente $K=1,13$ adoptado universalmente, ha permitido conocer la precipitación máxima en 24 horas dentro de la serie de años considerada para la estación.

ESTACION PLUVIOMÉTRICA		
2552 VILLAR DE GALLIMAZO		
AÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)	PRECIPITACIÓN MÁXIMA CORREGIDA (mm)
1969	19,50	20,03
1970	20,20	22,83
1971	44,00	49,72
1972	34,40	38,87
1973	26,00	29,38
1974	21,00	23,73
1975	17,70	20,00
1976	34,50	38,99
1977	29,20	33,00
1978	28,50	32,21
1979	29,20	33,00
1980	23,80	26,89
1981	35,50	40,12
1982	26,50	29,95
1983	18,00	20,34
1984	29,30	33,40
1985	24,90	28,14
1986	38,00	42,94
1987	26,00	29,38
1988	24,00	27,12
1989	56,00	63,28
1990	31,00	35,03

1991	24,50	27,69
1992	26,00	29,38
1993	63,20	71,42
1994	23,50	26,56
1995	30,20	34,13
1996	38,80	43,84
1997	61,50	69,50
1998	20,00	22,60
1999	61,70	69,72
2000	25,00	28,25
2001	34,00	38,42
2002	36,00	40,68
2003	37,80	42,71
2004	40,50	45,77
2005	21,20	23,96
2006	46,50	52,55

2.4 Cálculo de las Precipitaciones máximas en 24 horas, Pd por el Método Gumbel

2.4.1 Aplicación del método de Gumbel

Para la aplicación del método de Gumbel se procede a ordenar de menor a mayor las precipitaciones máximas anuales en 24 horas x_t de la estación considerada.

A continuación se calcula la media de las precipitaciones x_t con el fin de obtener el valor $(x_t - \bar{x})^2$. Seguidamente se obtiene la probabilidad extrema:

$$100 \left(\frac{n}{N + 1} \right)$$

Siendo:

- n = El número de orden de la precipitación máxima en 24 horas
- N = Número total de años de la serie

Y la variable reducida:

$$Y_t = - \ln \left(\ln \frac{N + 1}{n} \right)$$

$$(y_t - \bar{y})^2$$

Y la media Y para cada una de las estaciones consideradas, con el fin de obtener el valor

Con todos estos datos se obtiene la desviación típica de los valores extremos:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_t - \bar{x})^2}{N}}$$

y la desviación típica de la variable reducida:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (y_t - \bar{y})^2}{N}}$$

Nº	Pret. máx corregida	$(x_t - \bar{x})^2$	$100 \left(\frac{n}{N + 1} \right)$	$Y_t = - \ln \left(\ln \frac{N + 1}{n} \right)$	$(y_t - \bar{y})^2$
1	20,00	271,84	2,564	-1,298	3,389
2	20,03	270,93	5,128	-1,089	2,659

3	20,34	260,82	7,692	-0,942	2,202
4	22,60	192,93	10,256	-0,823	1,863
5	22,83	186,60	12,821	-0,720	1,592
6	23,73	162,82	15,385	-0,627	1,366
7	23,96	157,00	17,949	-0,541	1,173
8	26,56	98,60	20,513	-0,460	1,004
9	26,89	92,16	23,077	-0,383	0,855
10	27,12	87,80	25,641	-0,308	0,723
11	27,69	77,44	28,205	-0,236	0,605
12	28,14	69,72	30,769	-0,164	0,499
13	28,25	67,90	33,333	-0,094	0,405
14	29,38	50,55	35,897	-0,024	0,321
15	29,38	50,55	38,462	0,046	0,247
16	29,38	50,55	41,026	0,115	0,182
17	29,95	42,77	43,590	0,186	0,127
18	32,21	18,32	46,154	0,257	0,081
19	33,00	12,18	48,718	0,330	0,045
20	33,00	12,18	51,282	0,404	0,019
21	33,40	9,55	53,846	0,484	0,004
22	34,13	5,57	56,410	0,558	0,000
23	35,03	2,13	58,974	0,639	0,009
24	38,42	3,72	61,538	0,723	0,033
25	38,87	5,66	64,103	0,810	0,072
26	38,99	6,25	66,607	0,903	0,130
27	40,12	13,18	69,231	1,000	0,210
28	40,68	17,56	71,795	1,105	0,316
29	42,71	38,69	74,359	1,216	0,455
30	42,94	41,60	76,923	1,338	0,634

31	43,84	54,02	79,487	1,472	0,864
32	45,77	86,12	82,051	1,620	1,163
33	49,72	175,03	84,615	1,789	1,556
34	52,55	257,92	87,179	1,986	2,086
35	63,28	717,70	89,744	2,224	2,828
36	69,50	1089,66	92,308	2,525	3,933
37	69,72	1104,23	94,872	2,944	5,771
38	71,49	1220,10	97,436	3,651	9,663
MEDIA DE LAS PRECIPITACIONES					36,49
DESVIACIÓN TÍPICA DE LOS VALORES EXTREMOS					13,652
MEDIA DE LAS VARIABLES REDUCIDAS					0,542
DESVIACIÓN TÍPICA DE LA VARIABLE REDUCIDA					1,136

2.4.2 Cálculo de la línea de mejor ajuste (Método de CHOW)

Para el cálculo de la línea de mejor ajuste se ha desarrollado un método que es una variante del de números cuadrados (método de Chow). La línea de mejor ajuste viene dada por las fórmulas:

$$X_t = \bar{x} + \frac{Y_t - \bar{Y}}{\sigma_y} * \sigma_x$$

Donde:

X = Media de los valores extremos

Y = Media de las variables reducidas, definidas anteriormente

Y_t = Variable reducida para distintos periodos de retorno (T) dada por:

$$Y_t = - \ln \left(\ln \frac{T}{T-1} \right)$$

σ_x = Desviación típica de los valores extremos, definida anteriormente

σ_y = Desviación típica de la variable reducida, definida anteriormente

Las ecuaciones de las rectas de mejor ajuste son:

$$X_t = 36,49 + \frac{Y_t - 0,542}{1,136} * 13,652 \quad X_t = 29,976 + 12,017 Y_t$$

2.4.3 Precipitaciones totales en 24 horas, Pd

Adoptando la siguiente serie de periodos de retorno:

T (años)	10	25	50	100	500
Y_t	2,25	3,20	3,90	4,60	6,21

Estación		Periodo de retorno T (años)				
Pluviométrica		10	25	50	100	500
Villar de Gallimazo (2552)	X_t	57,01	68,43	76,84	85,25	104,60

La precipitación total en 24 horas Pd para la zona de estudio es la X_t de la estación pluviométrica analizada.

T (años)	10	25	50	100	500
PD (mm)	57,01	68,43	76,84	85,25	104,60

2.5 Cálculo de Precipitaciones máximas mediante distribución SQRT-ET MAX

Para definir las precipitaciones máximas se va a aplicar la distribución SQRT-ET MAX.

En el siguiente cuadro se muestran los datos extraídos de la publicación del Ministerio referidas a la zona objeto de proyecto. Del diario, los mapas de isolíneas de dicha publicación hemos obtenido la estimación del valor medio P de la máxima precipitación diaria anual (35mm/día) y el coeficiente de variación Cv = 0,34.

Esta publicación se basa en una distribución SQRT-ET máx, cuya función de distribución es:

$$F(x) = e^{-k(1+\sqrt{\alpha * x}) * e^{\sqrt{\alpha * x}}}$$

Con esta función de distribución se definen los cuantiles Y_t estimados para cada periodo de retorno estudiado.

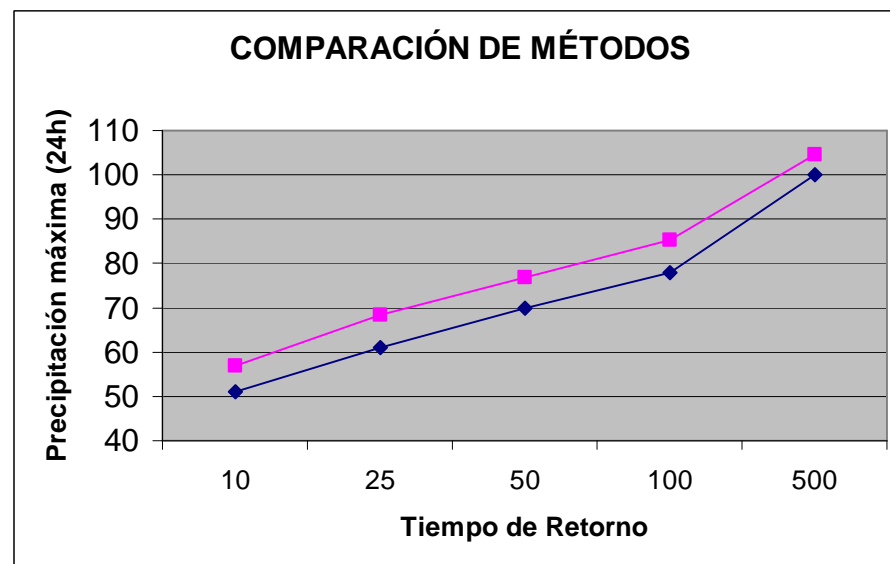
Ajuste según el mapa de isolíneas de precipitaciones máximas previsibles					
Periodo de Retorno	10	25	50	100	500
Precipitación diaria	51	61	70	78	100

2.6 Comparación de resultados

De los estudios anteriores se desprende que existen diferencias entre los resultados efectuados mediante los ajustes de Gumbel y mediante la distribución SQRT-ET MAX.

T (años)	GUMBEL	ISOLINEAS	MAXIMO
10	57,01	51	57,01
25	68,43	61	68,43
50	76,84	70	76,84
100	85,25	78	85,25
500	104,60	100	104,60

Debido a que los valores obtenidos mediante el método de Gumbel son superiores a los correspondientes a los mapas de isolineas, se tomará para cada periodo de retorno T los correspondientes al método de Gumbel.

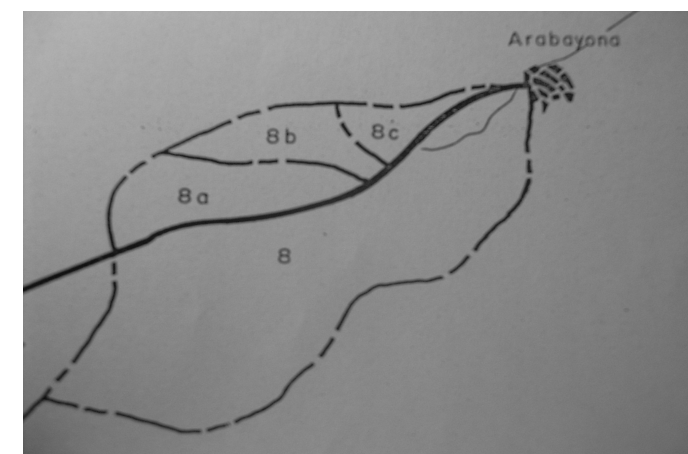


2.7 Cálculos Hidrológicos

Para el cálculo de los caudales punta se emplea una versión modificada del método hidrometeorológico utilizado en la 5.2-I.C.

2.7.1 Estudio de las Cuencas

Para la determinación de las cuencas se ha consultado el anterior proyecto de la carretera SA-804 comprendida en el término municipal de Arabayona de Mógica. Por lo tanto se determina de la existencia de 4 cuencas, como se establece en la foto adjunta.



Fotografía de las cuencas

2.7.2 Periodos de Retorno

De acuerdo con la Instrucción 5.2-I.C. del Ministerio de Fomento, para obras de drenaje transversal se adopta un periodo de retorno de 100 años y de 10 años para el longitudinal. Estos periodos de retornos vienen determinados en parte por la IMD de la carretera.

2.7.3 Cálculo del Coeficiente de Escorrentía

Según el apartado 2.5, "Escorrentía", de la 5.2-I.C., del Ministerio de Fomento de mayo del 1990, el coeficiente de escorrentía depende de la razón entre la precipitación diaria P_d correspondiente al periodo de retorno y el umbral de escorrentía P_o , a partir del cual se inicia éste.

Para determinar el coeficiente de escorrentía entramos en la tabla correspondiente con el valor de P_d / P_o una vez calculados los anteriores por medio de las tablas correspondientes y con el P_d correspondiente a nuestro periodo de retorno.

Para obtener el umbral de escorrentía correspondiente a cada cuenca, se ha utilizado el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, adjunto en el anexo 1.

Como el terreno en el que se sitúa el proyecto en cuestión está formado por material areno-limoso y de acuerdo con la tabla 2.2 de la Instrucción 5.2-I.C., para una textura areno-limosa tenemos lo siguiente:

Grupo	Infiltración	Potencia	Drenaje
A	Rápido	Grande	Perfecto

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, los umbrales de escorrentía a utilizar son los siguientes:

Uso de la Tierra	Pendiente	Carac. Hidrológicas	Grupo de suelo	Po (mm)	Coefi. corrector	Po* (mm)
Barbecho	>3%	N	A	17	2	34
	<3%	R/N	A	20	2	40
Rot cultivos pobres	>3%	R	A	26	2	54
	<3%	R/N	A	30	2	60
Rot. Cultivos densos	>3%	R	A	37	2	74
Masas Forestales		Media	A	--	2	--

Para cuencas con distintos usos del suelo, el umbral de escorrentía asignado a cada cuenca se obtiene realizando una media ponderada, en función de cada tipo de superficie. En nuestro caso el umbral de escorrentía, como media ponderada es **44 mm**.

La fórmula a utilizar es.

$$C = \frac{((P_d / P_o) - 1) * ((P_d / P_o) + 23)}{((P_d / P_o) + 11)^2}$$

Con estos datos y entrando en las tablas obtendremos unos coeficientes de escorrentía, que para nuestro caso son:

Periodo de Retorno	P_d	P_o (corregido)	P_d / P_o	Coeficiente de Escorrentía
T =10 años	57,01	44	1,29	0,047
T =100 años	85,25	44	1,93	0,139

2.7.4 Cálculo del Tiempo de Concentración

Para el tiempo de concentración se ha utilizado la fórmula recomendada en el apartado 2.4, “Tiempos de concentración”, de la Instrucción 5.2-I.C. del Ministerio de Fomento.

$$T_c = 0,30 + \left(\frac{L}{J^{\frac{1}{4}}} \right)^{0,76}$$

T_c = Tiempo de concentración en horas

L = Longitud de recorrido del curso principal en km

J = Pendiente media del curso principal en m/m

Nomenclatura cuenca antigua	Nomenclatura cuenca nueva	Área (Ha)	Longitud (km)	Desnivel (m)	Pendiente (m/m)	T_c (horas)
8	1	662,1	4,600	42	0,0163	2,09
8-a	2	95,6	1,600	18	0,0184	0,92
8-b	3	62,00	1,575	18	0,0228	0,87
8-c	4	35,9	0,650	13	0,0217	0,45

$$Pendiente = \left(\frac{Desnivel}{\sqrt{Área}} \right) / 100$$

2.7.5 Cálculo de la Intensidad media de Precipitación, I_T

La intensidad media de precipitación para el periodo de retorno considerado se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\frac{I_T}{I_D} = \left[\frac{I_1}{I_D} \right]^{\left[\frac{28^{0,1-T^{0,1}}}{28^{0,1}-1} \right]}$$

Donde:

I_D , es la intensidad media diaria de precipitación correspondiente al periodo de retorno considerado, expresado en mm/h. $P_d / 24$.

I_T , es la intensidad horaria correspondiente al periodo de retorno considerado, expresado en mm/h.

T es la duración de la precipitación, que se toma igual al tiempo de concentración

La expresión $\left[\frac{I_1}{I_D} \right]$ se podrá tomar de la figura 2.2 de la Instrucción de Drenaje

Superficial 5.2-I.C., que en nuestro caso vale **10**.

Cuencas	$\left[\frac{I_1}{I_D} \right]$	$T = T_c$	$\left[\frac{I_T}{I_D} \right]$	I_T T = 10 años	I_T T = 100 años
1	10	2,09	6,405	15,214	22,751
2	10	0,92	10,495	24,930	37,279
3	10	0,87	10,838	25,745	38,497
4	10	0,45	15,634	37,137	55,533

2.7.6 Cálculo de Caudales

El caudal punta de avenida, en el punto de cruce de la vaguada con el trazado, para cada periodo de retorno, se obtienen mediante la expresión:

$$Q = \frac{C * A * I_T}{3}$$

C= El coeficiente de escorrentía de la cuenca definido en el apartado 2.7.3

A= El área de la cuenca en km^2

I_T = La intensidad media de precipitación correspondiente al periodo de retorno considerado y un intervalo igual al tiempo de concentración definido en el apartado 2.7.5.

A continuación se adjuntan los cuadros correspondientes a los cálculos de caudales para cada una de las cuencas y periodos de retorno considerados, de acuerdo con el método expuesto.

Cuenca	Periodo de Retorno	Coeficiente de escorrentía	Área de la cuenca km^2	I_T mm/h	Caudal m^3 / sg
1	10	0,047	6,621	15,214	1,57
2	10	0,047	0,956	24,930	0,37
3	10	0,047	0,620	25,745	0,25
4	10	0,047	0,359	37,137	0,21

Cuenca	Periodo de Retorno	Coeficiente de escorrentía	Área de la cuenca km^2	I_T mm/h	Caudal m^3 / sg
1	100	0,139	6,621	22,751	7,013
2	100	0,139	0,956	37,279	1,65
3	100	0,139	0,620	38,497	1,10
4	100	0,139	0,359	55,533	0,92

Observaciones

Hoy en día en la cuenca nº 1 existe una obra de fábrica formada por un marco de 3x2, el cual se sitúa dentro del casco urbano de Arabayona de Mógica. Por lo que no se considera como obra de fábrica de desarrollo para el presente proyecto al situarse dentro del casco urbano.



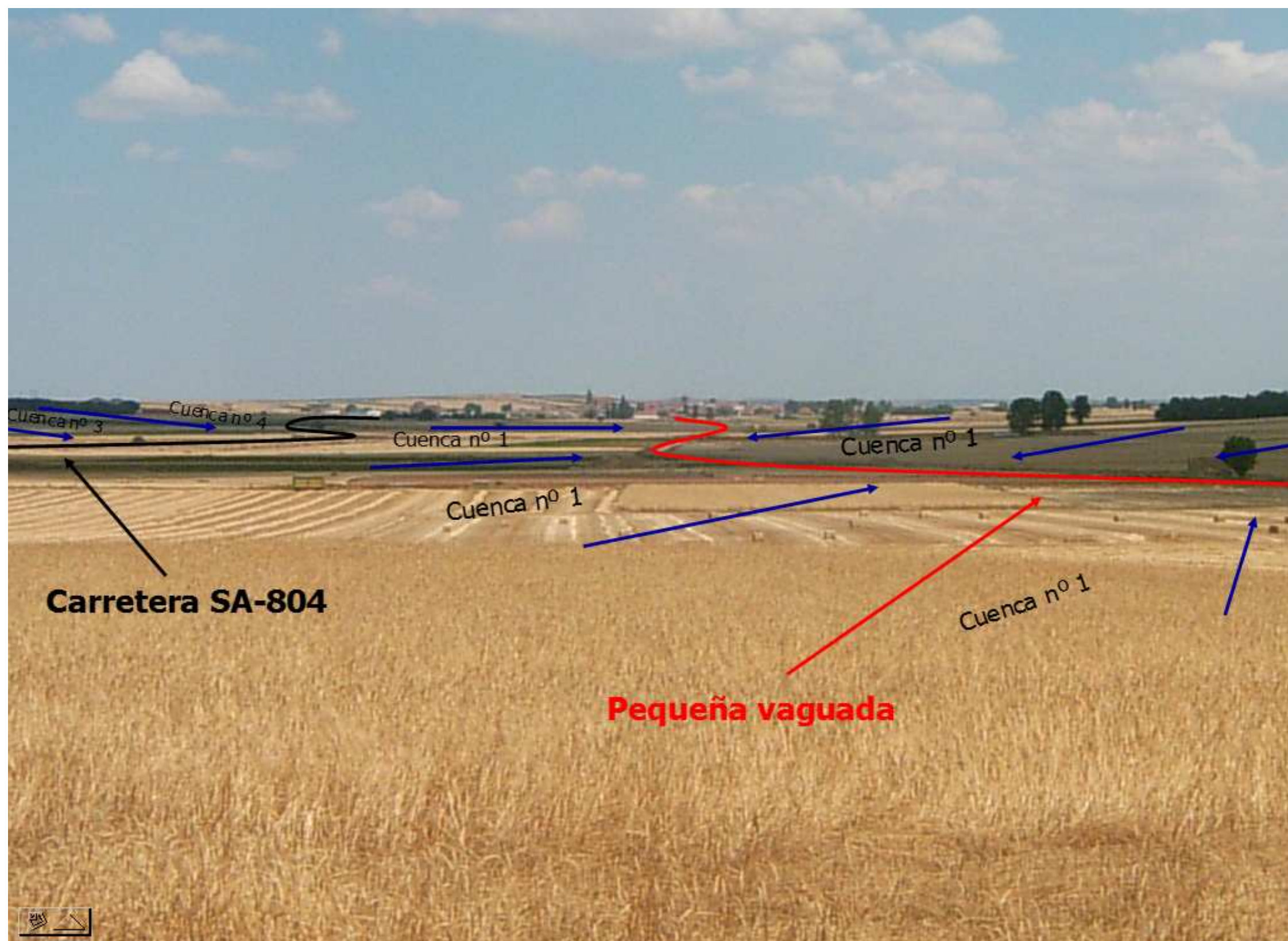


Los motivos por los que la cuenca nº 1 no se tiene en cuenta son los siguientes:

Por que la topografía de la zona hace que el agua de la cuenca nº 1 no circule entorno a la carretera sino por la pequeña vaguada que puede verse en la siguiente imagen.

Por que el caudal de la cuenca nº 1 es recogido por la canalización del Regato de los Charcones, mostrado en la imagen anterior.

Por último, por que dicho regato atraviesa la carretera dentro del casco urbano de Arabayona de Mógica, lo cual ya no es nuestra competencia.





ANEXO I: PLANO DE CUENCAS