

ANEXO IV.- ESTUDO HIDROLÓXICO E HIDRÁULICO

ANEXO IV.- ESTUDO HIDROLÓXICO E HIDRÁULICO

ÍNDICE

1. OBXECTO.....	1
2. NORMATIVA.....	1
3. HIDROLOXÍA.....	1
3.1 CUNCA DE APORTACIÓN.....	1
3.2 CÁLCULO DO CAUDAL.....	2
4. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA.....	19
4.1 MODELO NUMÉRICO.....	19
4.2 MODELIZACIÓN DA ZONA DE ESTUDO NO MODELO HIDRÁULICO IBER.....	19
4.3 RESULTADOS.....	21
5. CONCLUSIÓN.....	23

ANEXOS:

ANEXO Nº 1: TÁBOAS E GRÁFICOS

ANEXO Nº 2: ANEXO FOTOGRÁFICO

ANEXO Nº 3: PLANOS

1. OBXECTO

Co obxecto de comprobar se a zona de estudo se verá afectada polas escorrentías e regos que se xeran coa pluviosidade elaboraranse os cálculos hidrolóxicos-hidráulicos, xustificativos e definitorios da zona de fluxo preferente e da cota alcanzada e terreos inundados pola avenida de período de retorno de 500 anos. Neste estudio non se evalúa unha corrente de auga en concreto, se non que se evalúa o conxunto de todas as correntes que afectan ao ámbito, para evaluar todo o conxunto.

2. NORMATIVA

Para o cálculo do caudal empregouse a seguinte normativa:

- Instrucción 5.2-IC Drenaxe Superficial
- Instrucións Técnicas para Obras Hidráulicas de Galicia
- Máximas luvias diarias en la España Peninsular (Ministerio de Fomento)
- Hidraulica de Canales Abiertos (Ven Te Chow)
- Optimización del cálculo de la Vía de Intenso Desagüe con criterios hidráulicos (Sanz-Ramos, M., Bladé, E., Escolano, E.).

3. HIDROLOXÍA

3.1 CUNCA DE APORTACIÓN

Para a delimitación da cunca de aportación dos cursos de auga ue afectan ao ámbito empregouse a cartografía procedente dos datos MDT200 do IGN.

Tras consultar a cartografía da web de Augas de Galicia, en referencia á Rede fluvial detallada (actualización 2019) obsérvase que no ámbito de estudio aparecen 3 cursos de auga, tendo un deles dúas ramas de similar importancia. Debido a isto, decidise avaliar 4 subconcas no ámbito, de tal maneira que cada unha aportará o caudal recollido a cada unas das escorrentías.

A partir desta delimitación, representada no plano 01 do anexo desta memoria, obtéñense os seguintes datos empregados no cálculo dos caudais de aportación:

	ÁREA (m2)	ÁREA (km2)	ÁREA (ha)	LONXITUDE (km)	COTA SUP (m)	COTA INF (m)	PENDENTE MEDIA (%)
Subconca 1	223103	0,223103	22,3103	0,7025	78	1	0,109608541
Subconca 2	561164	0,561164	56,1164	1,699	136	1	0,079458505
Subconca 3	549087	0,549087	54,9087	1,263	134	15,5	0,093824228
Subconca 4	995738	0,995738	99,5738	1,893	136,5	1	0,071579503
Conca	2329092	2,329092	232,9092				

Os datos incluídos na táboa corresponden ós percorridos da auga dentro da subconca de

aportación que aporta un maior tempo de concentración, como indica a instrucción 5.2-IC Drenaxe Superficial publicada polo Ministerio de Obras Públicas.

3.2 CÁLCULO DO CAUDAL

Como anteriormente se mencionou, o ámbito está dividido en varias correntes de auga. Cada unha das mesmas, recibe auga da súa propia subconca, de tal maneira que cada unha terá un propio caudal, que virá dado polas propias características de cada conca (tamaño, pendente, umbral de escorrentía, etc).

Desta maneira, procedese a calculo por separado de cada un dos caudais.

3.2.1 Subconca 1

Para o cálculo do caudal empregárase o método Racional.

Este método hidrometeorolóxico foi deseñado para calcular o caudal máximo de avenida en cuncas pequenas (tempo de concentración baixo) e para unha duración da precipitación maior que o tempo de concentración da conca.

Admite que a única compoñente da precipitación que intervéen na xeración de caudais máximos é a escorrentía superficial. En cuncas grandes perde precisión.

O Método Racional calcula o caudal punta en función da intensidade de precipitación, da área da conca e o coeficiente de escorrentía da mesma:

$$Q = \frac{C * I * A_c}{3.6}$$

Onde A é a área da conca (km²), Q é o caudal punta (m³/s), I a intensidade media máxima (mm/h) para o período de retorno T asociada ao tempo de concentración da conca e C é o coeficiente de escorrentía medio.

Precipitación máxima diaria asociada a un período de retorno.

O cálculo da precipitación máxima diaria asociada a un período de retorno calcularase mediante o procedemento exposto na publicación *Máximas lluvias diarias en la España Peninsular, 1999* (Ministerio de Fomento).

$$P_d = K_t * \bar{P}$$

O valor \bar{P} e o factor K_t obtéranse a partir dos Gráficos 1,2 e a Táboa 1 adxuntos ao final do documento, extraídos da publicación mencionada anteriormente.

O valor de \bar{P} obtido do Gráfico 1 para a zona de estudio corresponde a 47 mm/día.

Factor K_t en función do período de retorno obtido da Táboa1 para o valor C_v asociado a conca de 0,35:

	5	10	25	50	100	200	500
Kt	1,217	1,438	1,732	1,961	2,22	2,48	2,831

Polo tanto, os valores correspondentes a P_d (mm/día) son os seguintes:

	5	10	25	50	100	200	500
P_d	57,199	67,586	81,404	92,167	104,34	116,56	133,057

INTENSIDADE MEDIA MÁXIMA PARA O PERÍODO DE RETORNO

Para o cálculo da intensidade media máxima para un determinado período de retorno empréganse as seguintes expresións extraídas da Instrución 5.2-IC Drenaxe Superficial publicada polo Ministerio de Obras Públicas e das ITOHG publicadas por Augas de Galicia:

$$I_t = I_d \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0.1-tc^{0.1}}}{28^{0.1}-1}}$$

Sendo I_t (mm/h) a Intensidade media máxima para o período de retorno asociado.

T_c (h) fai referencia ó tempo de concentración da cunca, obtido pola fórmula de Témez, recomendada na instrución:

$$T_c = 0.3 \frac{L^{0.76}}{i^{0.25}}$$

Sendo nesta fórmula L (Km) o valor da lonxitude do cauce e i a pendente media do mesmo, en tanto por un.

O valor de I_d (mm/h) calcúlase a partir de P_t (mm/día), sendo $I_d = P_t / 24$.

O último dos valores empregados é a relación $\frac{I_1}{I_d}$ obtida no Gráfico 3.

Os valores e resultados son os seguintes:

	L= 0,7025
Tc=0,3*(L/(i^0,25))^0,76	i= 0,109608541
Id=Pd/24	Tc= 0,349141947
I1/Id=	8
It=Id*((I1/Id)^(((28^0,1)- (Tc^0,1))/((28^0,1)-1)))	

	5	10	25	50	100	200	500
Pd=	57,199	67,586	81,404	92,167	104,34	116,56	133,057
Id=	2,38329167	2,816083333	3,391833333	3,840291667	4,3475	4,856666667	5,544041667
It=	32,2375115	38,09165282	45,87951508	51,94557106	58,80630686	65,69353199	74,99128591

COEFICIENTE MEDIO DE ESCORRENTÍA

O coeficiente C de escorrentía define a proporción da compoñente superficial da precipitación de intensidade I, e depende da razón entre a precipitación diaria correspondente ao período de retorno e o limiar de escorrentía Po, a partir do cal se inicia esta:

$$C = \frac{\left[\left(\frac{Pd}{Po}\right) - 1\right] * \left[\left(\frac{Pd}{Po}\right) + 23\right]}{\left[\left(\frac{Pd}{Po}\right) + 11\right]^2}$$

O limiar de escorrentía Po obtense da Instrución 5.2-IC Drenaxe Superficial publicada polo Ministerio de Obras Públicas e das ITOHG publicadas por Augas de Galicia. Tendo en conta o Gráfico 5, a zona de estudo trátase do grupo hidrolóxico B. Ao ser unha cunca heteroxénea dividirase en áreas parciais con coeficientes de escorrentía independentes e obterase un coeficiente composto para a área total da cunca.

Na seguinte táboa resúmense os valores de Poi (mm), valores iniciais do limiar de escorrentía, aos que posteriormente se aplicará o coeficiente corrector:

Código 5.2.IC	Uso solo	Pendente %	P0i (mm)	Área (Km2)	% respecto a Atotal	P0i (mm) ponderado
24310	Combinación de cultivos con vexetación	> 3	11	0,1895	0,849383469	9,343218155
31300	Bosque mixto	> 3	31	0,0124	0,05557971	1,722971004
32110	Praia, duna o areal	> 3	152	0,0042	0,018825386	2,861458609
52300	Mar	> 3	0	0,000001	4,48223E-06	0

Área Total=	0,223103	km2
P0i=	13,92764777	mm

Para a determinación dos usos do solo na cunca de aportación empregáronse os datos dos mapas de ocupación do solo en España SIOSE, descargados do IGN.

O cálculo ponderado de P0i segundo cada uso do solo e o porcentaxe de área que representa na

conca ofrece o valor de 13,93 mm. Aplicando o factor corrector β correspondente á zona 11 asignada na instrucción 5.2-IC como se mostra no Gráfico 6, obtense o valor final de P0 (mm) para cada período de retorno.

Calcúlase o factor β da seguinte forma: $\beta = \beta_m \cdot F_T$ onde:

β_m é o valor medio na rexión do coeficiente corrector, que no caso da rexión 11 corresponde a un valor $\beta=0,90$

F_T é o factor función do período de Retorno.

T(anos)	5	10	25	50	100	200	500
F_T	0,90	0,96		1,13	1,34	1,40	1,59
b=	0,81	0,864	1,017	1,08	1,206	1,26	1,431
P0(mm)	11,28	12,03	14,16	15,04	16,80	17,55	19,93

Volvendo a anterior formula do valor da C de escorrentía, obtense o seguinte:

	5	10	25	50	100	200	500
Pd=	57,20	67,59	81,40	92,17	104,34	116,56	133,06
P0=	11,28	12,03	14,16	15,04	16,80	17,55	19,93

	5	10	25	50	100	200	500
C=	0,44	0,48	0,49	0,51	0,51	0,54	0,54

RESULTADOS

Período de retorno	5	10	25	50	100	200	500
Kt	1,217	1,438	1,732	1,961	2,22	2,48	2,831
Pd (mm)	57,199	67,586	81,404	92,167	104,34	116,56	133,057
ld (mm)	2,383	2,816	3,392	3,840	4,348	4,857	5,544
ll/ld	8	8	8	8	8	8	8
lt	32,238	38,092	45,880	51,946	58,806	65,694	74,991
P0 (mm)	11,281	12,033	14,164	15,042	16,797	17,549	19,930
C	0,442	0,478	0,487	0,509	0,514	0,537	0,539
Q (m3/s)	0,884	1,129	1,383	1,639	1,873	2,188	2,506

3.2.2 Subconca 2

Con esta conca, procedédesse do mesmo xeito que se procede una conca 1, co emprego do método racional.

Precipitación máxima diaria asociada a un período de retorno.

O cálculo da precipitación máxima diaria asociada a un período de retorno calcularase mediante o procedemento exposto na publicación *Máximas lluvias diarias en la España Peninsular, 1999* (Ministerio de Fomento).

$$P_d = K_t * \bar{P}$$

O valor \bar{P} e o factor Kt obteranse a partir dos Gráficos 1,2 e a Táboa 1 adxuntos ao final do documento, extraídos da publicación mencionada anteriormente.

O valor de \bar{P} obtido do Gráfico 1 para a zona de estudio corresponde a 47 mm/día.

Factor Kt en función do período de retorno obtido da Táboa1 para o valor Cv asociado a conca de 0,35:

	5	10	25	50	100	200	500
Kt	1,217	1,438	1,732	1,961	2,22	2,48	2,831

Polo tanto, os valores correspondentes a P_d (mm/día) son os seguintes:

	5	10	25	50	100	200	500
P _d	57,199	67,586	81,404	92,167	104,34	116,56	133,057

INTENSIDADE MEDIA MÁXIMA PARA O PERÍODO DE RETORNO

Para o cálculo da intensidade media máxima para un determinado período de retorno empréganse as seguintes expresións extraídas da Instrución 5.2-IC Drenaxe Superficial publicada polo Ministerio de Obras Públicas e das ITOHG publicadas por Augas de Galicia:

$$I_t = I_d \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0.1-tc^{0.1}}}{28^{0.1}-1}}$$

Sendo I_t (mm/h) a Intensidade media máxima para o período de retorno asociado.

T_c (h) fai referencia ó tempo de concentración da cunca, obtido pola fórmula de Témez, recomendada na instrución:

$$T_c = 0.3 \frac{L^{0.76}}{i^{0.25}}$$

Sendo nesta fórmula L (Km) o valor da lonxitude do cauce e i a pendente media do mesmo, en tanto por un.

O valor de I_d (mm/h) calcúlase a partir de P_t (mm/día), sendo I_d=P_t/24.

O último dos valores empregados é a relación $\frac{I_1}{I_d}$ obtida no Gráfico 3.

Os valores e resultados son os seguintes:

L= 1,699

$$T_c = 0,3 * (L / (i^{0,25}))^{0,76}$$

i= 0,079458505

T_c= 0,726175427

$$I_d = P_d / 24$$

I₁/I_d= 8

$$I_t = I_d * ((I_1 / I_d)^{((28^{0,1}) - (T_c^{0,1})) / ((28^{0,1}) - 1)})$$

	5	10	25	50	100	200	500
Pd=	57,199	67,586	81,404	92,167	104,340	116,560	133,057
Id=	2,383	2,816	3,392	3,840	4,348	4,857	5,544
It=	22,500	26,586	32,021	36,255	41,043	45,850	52,339

COEFICIENTE MEDIO DE ESCORRENTÍA

O coeficiente C de escorrentía define a proporción da compoñente superficial da precipitación de intensidade I, e depende da razón entre a precipitación diaria correspondente ao período de retorno e ó limiar de escorrentía Po, a partir do cal se inicia esta:

$$C = \frac{\left[\left(\frac{Pd}{Po}\right) - 1\right] * \left[\left(\frac{Pd}{Po}\right) + 23\right]}{\left[\left(\frac{Pd}{Po}\right) + 11\right]^2}$$

O limiar de escorrentía Po obtense da Instrución 5.2-IC Drenaxe Superficial publicada polo Ministerio de Obras Públicas e das ITOHG publicadas por Augas de Galicia. Tendo en conta o Gráfico 5, a zona de estudo trátase do grupo hidrolóxico B. Ao ser unha cunca heteroxénea dividirase en áreas parciais con coeficientes de escorrentía independentes e obterase un coeficiente composto para a área total da cunca.

Na seguinte táboa resúmense os valores de P_{0i} (mm), valores iniciais do limiar de escorrentía, aos que posteriormente se aplicará o coeficiente corrector:

Código 5.2.IC	Uso solo	Pendente %	P0i (mm)	Área (Km2)	% respecto a Atotal	P0i (mm) ponderado
24310	Combinación de cultivos con vexetación	> 3	11	0,274	0,489	5,379
31300	Bosque mixto		31	0,169	0,302	9,347
32110	Praia, duna o areal		152	0,009	0,016	2,357
52300	Mar		0	0,000	0,000	0,000
21210	Cultivos herbáceos en regadío	< 3	16	0,020	0,036	0,570
11200	Descontinuo		8	0,089	0,158	1,262

Área Total=	0,561	km2
-------------	-------	-----

P0i=	18,914	mm
------	--------	----

Para a determinación dos usos do solo na cunca de aportación empregáronse os datos dos mapas de ocupación do solo en España SIOSE, descargados do IGN.

O cálculo ponderado de P0i segundo cada uso do solo e o porcentaxe de área que representa na cunca ofrece o valor de 18,91 mm. Aplicando o factor corrector β correspondente á zona 11 asignada na instrucción 5.2-IC como se mostra no Gráfico 6, obtense o valor final de P0 (mm) para cada período de retorno.

Calcúlase o factor β da seguinte forma: $\beta = \beta_m \cdot F_T$ onde:

β_m é o valor medio na rexión do coeficiente corrector, que no caso da rexión 11 corresponde a un valor $\beta=0,90$

F_T é o factor función do período de Retorno.

T(anos)	5	10	25	50	100	200	500
F_T	0,90	0,96		1,13	1,34	1,40	1,59
b=	0,81	0,864	1,017	1,08	1,206	1,26	1,431
P0(mm)	15,321	16,342	19,236	20,427	22,811	23,832	27,066

Volvendo a anterior formula do valor da C de escorrentía, obtense o seguinte:

	5	10	25	50	100	200	500
Pd=	57,199	67,586	81,404	92,167	104,340	116,560	133,057
P0=	15,321	16,342	19,236	20,427	22,811	23,832	27,066

	5	10	25	50	100	200	500
C=	0,337	0,371	0,379	0,402	0,406	0,430	0,432

RESULTADOS

Período de retorno	5	10	25	50	100	200	500
Kt	1,217	1,438	1,732	1,961	2,220	2,480	2,831
Pd (mm)	57,199	67,586	81,404	92,167	104,340	116,560	133,057
ld (mm)	2,383	2,816	3,392	3,840	4,348	4,857	5,544
l1/ld	8	8	8	8	8	8	8
lt	22,500	26,586	32,021	36,255	41,043	45,850	52,339
P0 (mm)	15,321	16,342	19,236	20,427	22,811	23,832	27,066
C	0,337	0,371	0,379	0,402	0,406	0,430	0,432
Q (m3/s)	1,181	1,539	1,893	2,269	2,600	3,071	3,521

3.2.3 Subconca 3

Con esta conca, procédese do mesmo xeito que se procede una conca 1, co emprego do método racional.

Precipitación máxima diaria asociada a un período de retorno.

O cálculo da precipitación máxima diaria asociada a un período de retorno calcularase mediante o procedemento exposto na publicación *Máximas lluvias diarias en la España Peninsular, 1999* (Ministerio de Fomento).

$$P_d = K_t * \bar{P}$$

O valor \bar{P} e o factor Kt obteranse a partir dos Gráficos 1,2 e a Táboa 1 adxuntos ao final do documento, extraídos da publicación mencionada anteriormente.

O valor de \bar{P} obtido do Gráfico 1 para a zona de estudio corresponde a 47 mm/día.

Factor Kt en función do período de retorno obtido da Táboa1 para o valor Cv asociado a conca de 0,35:

	5	10	25	50	100	200	500
Kt	1,217	1,438	1,732	1,961	2,22	2,48	2,831

Polo tanto, os valores correspondentes a P_d (mm/día) son os seguintes:

	5	10	25	50	100	200	500
P _d	57,199	67,586	81,404	92,167	104,34	116,56	133,057

INTENSIDADE MEDIA MÁXIMA PARA O PERÍODO DE RETORNO

Para o cálculo da intensidade media máxima para un determinado período de retorno empréganse as seguintes expresións extraídas da Instrución 5.2-IC Drenaxe Superficial publicada polo Ministerio de Obras Públicas e das ITOHG publicadas por Augas de Galicia:

$$I_t = I_d \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0.1-tc^{0.1}}}{28^{0.1}-1}}$$

Sendo I_t (mm/h) a Intensidade media máxima para o período de retorno asociado.

T_c (h) fai referencia ó tempo de concentración da cunca, obtido pola fórmula de Témez, recomendada na instrución:

$$T_c = 0.3 \frac{L^{0.76}}{i^{0.25}}$$

Sendo nesta fórmula L (Km) o valor da lonxitude do cauce e i a pendente media do mesmo, en tanto por un.

O valor de I_d (mm/h) calcúlase a partir de P_f (mm/día), sendo I_d=P_f/24.

O último dos valores empregados é a relación $\frac{I_1}{I_d}$ obtida no Gráfico 3.

Os valores e resultados son os seguintes:

$$L = 1,263$$

$$T_c = 0,3 * (L / (i^{0,25}))^{0,76}$$

$$i = 0,093824228$$

$$T_c = 0,561626965$$

$$I_d = P_d / 24$$

$$I_1 / I_d = 8$$

$$I_t = I_d * ((I_1 / I_d)^{((28^{0,1}) - (T_c^{0,1})) / ((28^{0,1}) - 1)})$$

	5	10	25	50	100	200	500
Pd=	57,199	67,586	81,404	92,167	104,340	116,560	133,057
ld=	2,383	2,816	3,392	3,840	4,348	4,857	5,544
lt=	25,603	30,252	36,437	41,255	46,704	52,173	59,558

COEFICIENTE MEDIO DE ESCORRENTÍA

O coeficiente C de escorrentía define a proporción da compoñente superficial da precipitación de intensidade I, e depende da razón entre a precipitación diaria correspondente ao período de retorno e ó limiar de escorrentía Po, a partir do cal se inicia esta:

$$C = \frac{\left[\left(\frac{Pd}{Po}\right) - 1\right] * \left[\left(\frac{Pd}{Po}\right) + 23\right]}{\left[\left(\frac{Pd}{Po}\right) + 11\right]^2}$$

O limiar de escorrentía Po obtense da Instrución 5.2-IC Drenaxe Superficial publicada polo Ministerio de Obras Públicas e das ITOHG publicadas por Augas de Galicia. Tendo en conta o Gráfico 5, a zona de estudo trátase do grupo hidrolóxico B. Ao ser unha cunca heteroxénea divídase en áreas parciais con coeficientes de escorrentía independentes e obterase un coeficiente composto para a área total da cunca.

Na seguinte táboa resúmense os valores de Poi (mm), valores iniciais do limiar de escorrentía, aos que posteriormente se aplicará o coeficiente corrector:

Código 5.2.IC	Uso solo	Pendente %	Poi (mm)	Área (Km2)	% respecto a Atotal	Poi (mm) ponderado
24310	Combinación de cultivos con vexetación	> 3	11	0,029	0,053	0,583
31300	Bosque mixto		31	0,508	0,926	28,697
11200	Descontinuo		8	0,012	0,021	0,169

Área Total=	0,549	km2
Poi=	29,449	mm

Para a determinación dos usos do solo na cunca de aportación empregáronse os datos dos mapas

de ocupación do solo en España SIOSE, descargados do IGN.

O cálculo ponderado de $P0_i$ segundo cada uso do solo e o porcentaxe de área que representa na conca ofrece o valor de 29,45 mm. Aplicando o factor corrector β correspondente á zona 11 asignada na instrución 5.2-IC como se mostra no Gráfico 6, obtense o valor final de $P0$ (mm) para cada período de retorno.

Calcúlase o factor β da seguinte forma: $\beta = \beta_m \cdot F_T$ onde:

β_m é o valor medio na rexión do coeficiente corrector, que no caso da rexión 11 corresponde a un valor $\beta=0,90$

F_T é o factor función do período de Retorno.

T(anos)	5	10	25	50	100	200	500
F_T	0,90	0,96		1,13	1,34	1,40	1,59
b=	0,81	0,864	1,017	1,08	1,206	1,26	1,431
$P0$ (mm)	23,854	25,444	29,950	31,805	35,516	37,106	42,142

Volvendo a anterior formula do valor da C de escorrentía, obtense o seguinte:

	5	10	25	50	100	200	500
$Pd=$	57,199	67,586	81,404	92,167	104,340	116,560	133,057
$P0=$	23,854	25,444	29,950	31,805	35,516	37,106	42,142

	5	10	25	50	100	200	500
$C=$	0,198	0,228	0,235	0,254	0,259	0,280	0,282

RESULTADOS

Período de retorno	5	10	25	50	100	200	500
Kt	1,217	1,438	1,732	1,961	2,220	2,480	2,831
Pd (mm)	57,199	67,586	81,404	92,167	104,340	116,560	133,057
ld (mm)	2,383	2,816	3,392	3,840	4,348	4,857	5,544
l1/ld	8	8	8	8	8	8	8
lt	25,603	30,252	36,437	41,255	46,704	52,173	59,558
P0 (mm)	23,854	25,444	29,950	31,805	35,516	37,106	42,142
C	0,198	0,228	0,235	0,254	0,259	0,280	0,282
Q (m3/s)	0,772	1,051	1,305	1,601	1,843	2,227	2,558

3.2.4 Subconca 4

Con esta conca, procedemos do mesmo xeito que se procede una conca 1, co emprego do método racional.

Precipitación máxima diaria asociada a un período de retorno.

O cálculo da precipitación máxima diaria asociada a un período de retorno calcularase mediante o procedemento exposto na publicación *Máximas lluvias diarias en la España Peninsular, 1999* (Ministerio de Fomento).

$$P_d = K_t * \bar{P}$$

O valor \bar{P} e o factor Kt obteranse a partir dos Gráficos 1,2 e a Táboa 1 adxuntos ao final do documento, extraídos da publicación mencionada anteriormente.

O valor de \bar{P} obtido do Gráfico 1 para a zona de estudio corresponde a 47 mm/día.

Factor Kt en función do período de retorno obtido da Táboa1 para o valor Cv asociado a conca de 0,35:

	5	10	25	50	100	200	500
Kt	1,217	1,438	1,732	1,961	2,22	2,48	2,831

Polo tanto, os valores correspondentes a P_d (mm/día) son os seguintes:

	5	10	25	50	100	200	500
P_d	57,199	67,586	81,404	92,167	104,34	116,56	133,057

INTENSIDADE MEDIA MÁXIMA PARA O PERÍODO DE RETORNO

Para o cálculo da intensidade media máxima para un determinado período de retorno empréganse as seguintes expresións extraídas da Instrución 5.2-IC Drenaxe Superficial publicada polo Ministerio de Obras Públicas e das ITOHG publicadas por Augas de Galicia:

$$I_t = I_d \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

Sendo I_t (mm/h) a Intensidade media máxima para o período de retorno asociado.

T_c (h) fai referencia ó tempo de concentración da cunca, obtido pola fórmula de Témez, recomendada na instrución:

$$T_c = 0.3 \frac{L^{0.76}}{i^{0.25}}$$

Sendo nesta fórmula L (Km) o valor da lonxitude do cauce e i a pendente media do mesmo, en tanto por un.

O valor de I_d (mm/h) calcúlase a partir de P_t (mm/día), sendo $I_d = P_t / 24$.

O último dos valores empregados é a relación $\frac{I_1}{I_d}$ obtida no Gráfico 3.

Os valores e resultados son os seguintes:

$$L = 1,893$$

$$T_c = 0,3 * (L / (i^{0,25}))^{0,76}$$

$$i = 0,072$$

$$T_c = 0,804$$

$$I_d = P_d / 24$$

$$I_1 / I_d = 8$$

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

	5	10	25	50	100	200	500
Pd=	57,199	67,586	81,404	92,167	104,340	116,560	133,057
ld=	2,383	2,816	3,392	3,840	4,348	4,857	5,544
lt=	21,355	25,233	30,392	34,410	38,955	43,517	49,676

COEFICIENTE MEDIO DE ESCORRENTÍA

O coeficiente C de escorrentía define a proporción da compoñente superficial da precipitación de intensidade I, e depende da razón entre a precipitación diaria correspondente ao período de retorno e o limiar de escorrentía Po, a partir do cal se inicia esta:

$$C = \frac{\left[\left(\frac{Pd}{Po}\right) - 1\right] * \left[\left(\frac{Pd}{Po}\right) + 23\right]}{\left[\left(\frac{Pd}{Po}\right) + 11\right]^2}$$

O limiar de escorrentía Po obtense da Instrución 5.2-IC Drenaxe Superficial publicada polo Ministerio de Obras Públicas e das ITOHG publicadas por Augas de Galicia. Tendo en conta o Gráfico 5, a zona de estudo trátase do grupo hidrolóxico B. Ao ser unha cunca heteroxénea divídese en áreas parciais con coeficientes de escorrentía independentes e obtérase un coeficiente composto para a área total da cunca.

Na seguinte táboa resúmense os valores de Poi (mm), valores iniciais do limiar de escorrentía, aos que posteriormente se aplicará o coeficiente corrector:

Código 5.2.IC	Uso solo	Pendiente %	P0i (mm)	Área (Km2)	% respecto a Atotal	P0i (mm) ponderado
24310	Combinación de cultivos con vexetación	> 3	11	0,034	0,034	0,374
31300	Bosque mixto		31	0,798	0,802	24,850
11200	Descontinuo		8	0,124	0,125	0,999
14100	Zonas verdes urbanas		14	0,012	0,012	0,169
32110	Praias e dunas		152	0,026	0,026	3,893
33200	Rochedo		2	0,004	0,004	0,008
52300	Mares e océanos		0	0,000	0,000	0,000

Área Total=	0,996	km2
P0i=	30,293	mm

Para a determinación dos usos do solo na cunca de aportación empregáronse os datos dos mapas de ocupación do solo en España SIOSE, descargados do IGN.

O cálculo ponderado de P0i segundo cada uso do solo e o porcentaxe de área que representa na cunca ofrece o valor de 30,293 mm. Aplicando o factor corrector β correspondente á zona 11 asignada na instrución 5.2-IC como se mostra no Gráfico 6, obtense o valor final de P0 (mm) para cada período de retorno.

Calcúlase o factor β da seguinte forma: $\beta = \beta_m \cdot F_T$ onde:

β_m é o valor medio na rexión do coeficiente corrector, que no caso da rexión 11 corresponde a un valor $\beta=0,90$

F_T é o factor función do período de Retorno.

T(anos)	5	10	25	50	100	200	500
F_T	0,90	0,96		1,13	1,34	1,40	1,59
b=	0,81	0,864	1,017	1,08	1,206	1,26	1,431
P0(mm)	24,537	26,173	30,808	32,716	36,533	38,169	43,349

Volvendo a anterior formula do valor da C de escorrentía, obtense o seguinte:

	5	10	25	50	100	200	500
Pd=	57,199	67,586	81,404	92,167	104,340	116,560	133,057
P0=	24,537	26,173	30,808	32,716	36,533	38,169	43,349

	5	10	25	50	100	200	500
C=	0,190	0,219	0,226	0,246	0,250	0,271	0,273

RESULTADOS

Período de retorno	5	10	25	50	100	200	500
Kt	1,217	1,438	1,732	1,961	2,220	2,480	2,831
Pd (mm)	57,199	67,586	81,404	92,167	104,340	116,560	133,057
ld (mm)	2,383	2,816	3,392	3,840	4,348	4,857	5,544
ll/ld	8	8	8	8	8	8	8
lt	21,355	25,233	30,392	34,410	38,955	43,517	49,676
P0 (mm)	24,537	26,173	30,808	32,716	36,533	38,169	43,349
C	0,190	0,219	0,226	0,246	0,250	0,271	0,273
Q (m3/s)	1,121	1,531	1,902	2,339	2,693	3,261	3,745

3.2.5 Resumo de concas

Despois de efectuar todos eses cálculos, os resumos das concas son os seguintes:

Q (m3/s)	Período de retorno							Tc (h)	Tc (s)
	5	10	25	50	100	200	500		
Subconca 1	0,884	1,129	1,383	1,639	1,873	2,188	2,506	0,349	1257
Subconca 2	1,181	1,539	1,893	2,269	2,600	3,071	3,521	0,726	2614
Subconca 3	0,772	1,051	1,305	1,601	1,843	2,227	2,558	0,562	2022
Subconca 4	1,121	1,531	1,902	2,339	2,693	3,261	3,745	0,804	2895
TOTAL	3,958	5,251	6,484	7,848	9,009	10,747	12,329		

4. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA

4.1 MODELO NUMÉRICO

O modelo matemático do programa Iber foi o empregado no desenvolvemento do cálculo.

Iber conta cun modelo matemático bidimensional cun módulo hidrodinámico que resolve as ecuacións bidimensionais de auga someras promediadas en profundidade, tamén coñecidas como ecuacións de St. Venant 2D.

Estas ecuacións asumen as hipóteses de distribución de presión hidrostática e distribución uniforme de velocidade en profundidade. Ambas hipóteses cúmprense habitualmente no fluxo de ríos polo que se considera válido o modelo para realizar o estudo.

4.2 MODELIZACIÓN DA ZONA DE ESTUDIO NO MODELO HIDRÁULICO IBER

4.2.1 Xeometría e altimetría

Os datos empregados para a modelización da zona de estudo foron os seguintes:

- Ortofoto PNOA máxima actualidade do ámbito.
- Modelo Dixital do Terreo MDT02

A zona de estudo modelizouse nunha malla irregular con elementos triangulares, xerada a partir do modelo dixital do terreo. Non se establecen os elementos de condución auga, para poder coñecer o comportamento das correntes en condicións de non encauzamento e para poder recoñecer as zonas de laminación.

4.2.2 Datos hidrodinámicos

Os datos empregados para levar a cabo o cálculo son os seguintes para todos os cálculos levados a cabo:

- Condicións iniciais: O cálculo comeza coa condición de calado 0 metros en toda a malla para introducir no primeiro paso de cálculo o caudal axeitado.
- Condicións de contorno:
 - Entrada: Establécese no cauce augas arriba a condición de entrada caudal constante en réxime crítico/subcrítico cos valores amosados nas táboas segundo o caso que corresponda.

Q (m ³ /s)	Período de retorno	
	100	500
Subconca 1	1,873	2,506
Subconca 2	2,600	3,521
Subconca 3	1,843	2,558
Subconca 4	2,693	3,745

- Saída: Imponse saída con fluxo supercrítico no punto de augas abaixo dos cauces, perto e antes das súas desembocaduras nas praias.

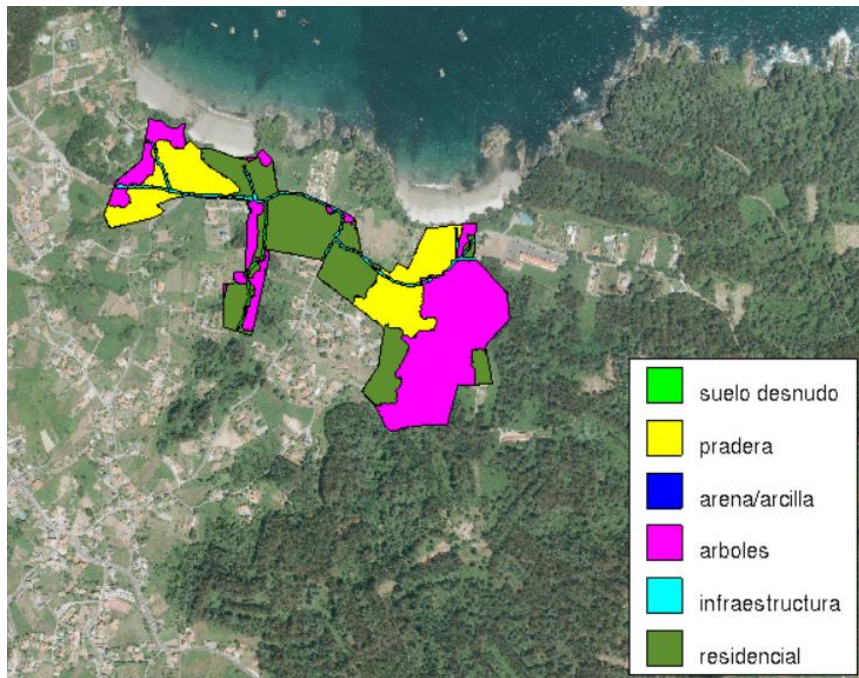
- Rugosidade:

Para a asignación do coeficiente de Manning ó modelo, dividiuse a zona de estudo en varias áreas, asignando a cada unha delas os seguintes valores:

- Pradaría :0,05
- Árbores: 0,12
- Infraestruturas: 0,02
- Area / Arxila: 0,023
- Residencial: 0,15
- Solo descuberto: 0,023

Os valores do coeficiente de Manning están axustados tomando como referencia as táboas pertencentes á publicación "Hidráulica de canales abiertos" Chow, 1991 e valores propostos polo propio programa Iber.

Na seguinte imaxe pode apreciarse a asignación dos distintos coeficientes de Manning segundo o tipo de superficie:



- Parámetros temporais:

Establécese un intervalo de 60 segundos para o cálculo, e asígnase un tempo final superior o tempo de concentración da propia cunca para poder ver o total desenrolo da crecida.

4.3 **RESULTADOS**

Cabe mencionar antes de analizar os resultados a utilización no modelo do caudal punta como caudal constante de entrada ó longo do tempo de cálculo:

Na realidade o caudal punta no é constante durante períodos longos de tempo, xa que representa o máximo valor da avenida e vese reducido co paso da chuvia. Polo tanto os resultados serán máis desfavorables se se toman como referencia os obtidos para tempos moi superiores ó tempo de concentración da cunca. É por este motivo que os resultados analizados serán os obtidos para os valores temporais da orde do tempo de concentración da cunca.

No anexo 3 a este documento podéñse atopar os planos obtidos cos resultados do análise.

4.3.1 **Periodo de Retorno 100 anos**

Para o período de 100 anos obtéñense os seguintes resultados:

- Calado (m):

Nos planos amósase o calado obtido pola avenida de 100 anos, sendo no ámbito de estudo de estudo de 1,04 metros o calado máximo acadado, e 0,67 m o caudal máximo en zonas próximas aos núcleos rurais e as praias, aínda que estas se produce dentro do cauce do río. Fora do mesmo, onde se laminan máis as avenidas, non se alcanzan os 25 cm.

- Vía de Intenso Desaugadoiro:

No plano 5 expónse a Vía de Intenso Desaugadoiro definida así no RD 9/2008:

Enténdese por vía de intenso desaugadoiro a zona pola que pasaría a avenida de 100 anos de período de retorno sen producir unha sobreelevación maior que 0,30 metros, respecto á cota de lámina de auga que se produciría con esa mesma avenida considerando toda a chaira de inundación existente.

Para esta vía, na cal se poden obter infinitas solucións, efectúouse un cálculo por medios gráficos, no que se debuxaron as seccións máis características de cada corrente, e nelas se fixo o cálculo por áreas gráficas da VID.

- Perigosidade:

Para este período de retorno tamén se calcula o risco, segundo os parámetros establecidos no Real Decreto 9/2008, de 11 de xaneiro, polo que se modifica o Regulamento do Dominio Público Hidráulico, aprobado polo Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.

Así, ós efectos da aplicación da definición anterior, considerarase que poden producirse graves danos sobre as persoas e os bens cando as condicións hidráulicas durante a avenida satisfagan un ou máis dos seguintes criterios:

- Que o calado sexa superior a 1 m.
- Que a velocidade sexa superior a 1 m/s.

- Que o produto de ambas variables sexa superior a $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$.

As zonas que compren estes criterios pódense apreciar no plano de perigosidade 4.

- Zona de fluxo preferente:

Definida segundo o RD 9/2008 como a unión da vía de intenso desaugadoiro e as zonas que compren os criterios de perigosidade mencionados no punto anterior. No plano 6 expónse a área que delimita a zona de fluxo preferente.

4.3.2 Período de Retorno 500 anos

Os resultados obtidos para o período de retorno de 500 anos amosan que algunhas zonas do ámbito. O ámbito de estudo ó completo vese afectada pola zona inundable, alcanzando un calado máximo de 0,20 metros estando a cota de lámina de auga a 35,13 con calados diversos, e en diversos puntos, os cales Terán maior ou menor relevancia.

Estes resultados están representados nos planos do apartado P03.

5. CONCLUSIÓNS

As zonas próximas a costa vense afectadas pola lámina de inundación de T=500, aínda que este efecto é mínimo, non tendo calados nin velocidades perigosas.

Obsérvase tamén nas zonas próximas á costa, áreas sinaladas como de riscos de inundación, especialmente na baixada a Praia de San Pedro e na zona de solo rural ao sur da Praia de Cirro. Porén, en ambos casos estes caudais están canalizados, eliminando este risco. Aínda así, recoméndase unha nova avaliación da recollida da auga nestas zonas para comprobar que se reduce esa peligrosidade.

En canto á inundabilidade pola avenida de 500 anos ao sur da estrada que discurre paralela a costa, atópase unha parcela ao sur da Praia de San Pedro afectada polos regos do leste. Nesta prodúcese calado por confluencia das dúas correntes, e previamente á súa canalización. Deberá plantexarse a recollida previa a esta parcela das correntes de auga e de adquirir uso residencial, algo non previsto na actualidade polo PXOM nin polo PEPOID que o desenvolve, deberán elevarse 0,25 metros, destinando as plantas baixas a garaxes e solos, sempre que se garanta a estanquidade do recinto e se realicen os estudos específicos para evitar o colapso das edificacións, de conformidade co disposto no artigo 9 ter do Regulamento do Dominio Público Hidráulico, aprobado polo Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.

Porén, no encontro das dúas correntes sitas máis ao leste do ámbito, recoméndase valorar algunha opción para minimizar o encontro desordenado das correntes, que orixinan un punto de peligrosidade.

Nas zonas afectadas pola inundación de T500 dos regos do oeste, compre sinalar que estes tramos se atopan canalizados na actualidade, evitando así ese calado.

As zonas de altos calados e velocidades máis ao sur, corresponden aos cauces dos regos preto do seu nacemento, sen que existan desbordamentos relevantes.

Asina:



Adrián Lorenzo Castiñeiras
Enxeñeiro de Camiños, Canais e Portos



ALFONSO
BOTANA



CONCELLO DE SADA

ANEXOS



ANEXO 1º: TÁBOAS E GRÁFICAS

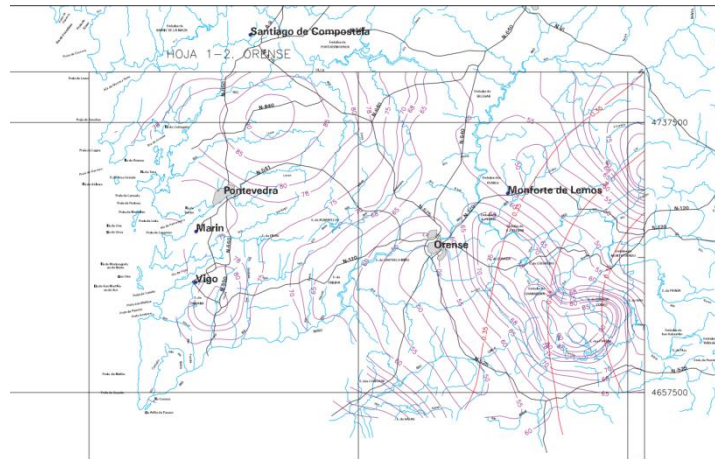


Gráfico 1- Folla 1.2 Plano isolínea \bar{P} . Máximas choivas diarias na España Peninsular, 1999 (Ministerio de Fomento).



Gráfico 2- Isolíneas valor CV. Máximas choivas diarias na España Peninsular, 1999 (Ministerio de Fomento).

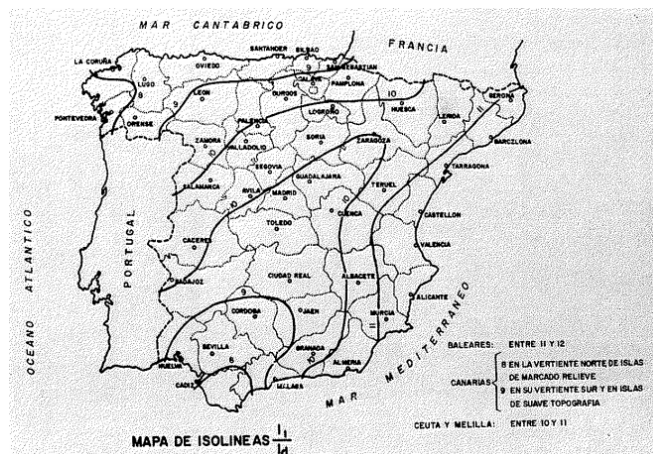


Gráfico 3- Mapa isólineas Ide/It. Instrucción 5.2-1C



Gráfico 4- Mapa do coeficiente corrector do limiar de escorrentía. Instrucción 5.2-1C.

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

Tabla 7.1 - Cuantiles Y₁ de la Ley SQRT-ET max. también denominados Factores de Amplificación K₁, en el "Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular" (1997).

Táboa 1- Valor Kt en función de Cv e período de retorno. Máximas choivas diarias na España Peninsular, 1999 (Ministerio de Fomento).

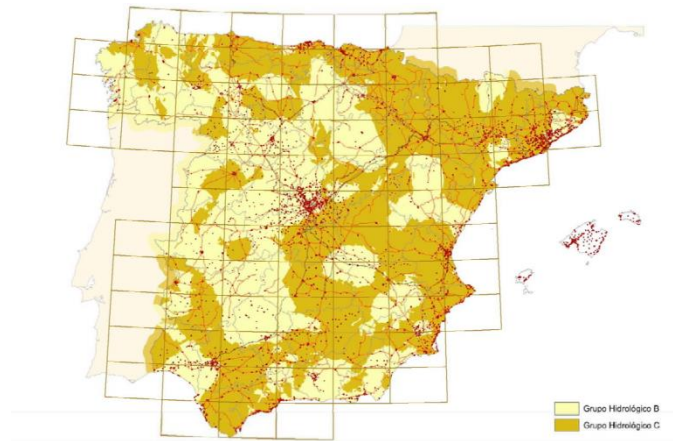


Gráfico 5- Clasificación a efectos do limiar de escorrentía. Instrución 5.2-IC.



Gráfico 6- Rexións consideradas para a caracterización do coeficiente corrector do limiar de escorrentía. Instrución 5.2-IC.

ANEXO 2º: ANEXO FOTOGRÁFICO



Imaxe 1: Ámbito de estudo en San Pedro



Imaxes 2 e 3: Chegada do cauce á Praia de San Pedro



Imaxes 4 e 5: Ámbito de estudo en Cirro



Imaxes 6 e 7: Chegada dos cauces á Praia de Cirro

ANEXO 3º: PLANOS

ÍNDICE

Nº DE PLANO	TÍTULO DO PLANO	ESCALA	NÚMERO DE FOLLAS
01	CUNCA E SUBCUNCAS	1:10.000	1
02	CALADO T=500 ANOS	1:3.000	1
03	VELOCIDADE T=500	1:3.000	1
04	ZONA INUNDACIÓN PERIGOSA	1:3.000	1
05	VÍA DE INTENSO DESAUGADOIRO	1:3.000	1
06	ZONA DE FLUXO PREFERENTE (T=100)	1:3.000	1