



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DE LA CUENCA DEL RÍO
GARONA EN LA POBLACIÓN DE ARTIES, LLEIDA.

Presentado por

Villagrasa Lupón, Martín

Para la obtención del

Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2019/2020

Fecha: 10/07/2020

Tutor: D. Guillermo Cobos Campos





ÍNDICE DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE GRÁFICAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ANEJOS

ÍNDICE DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS

RESUMEN

ABSTRACT

1.	INTRODUCCIÓN.....	16
1.1	EMPLAZAMIENTO.....	17
1.2	ANTECEDENTES E INFORMACIÓN DE PARTIDA.....	18
1.2.1	Antecedentes y alcance.....	18
1.2.2	Marco Normativo.....	22
1.2.3	Estudios previos.....	24
1.2.4	Antecedentes históricos.....	25
1.3	CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA.....	33
1.3.1	Detalle de la zona de estudio.....	33
1.3.2	Topografía.....	37
1.3.3	Clima.....	39
1.3.4	Geología.....	42
1.3.5	Usos del suelo. rugosidad. usos agrícolas y forestales.....	43
1.3.6	Caudales ecológicos.....	53
1.3.7	Acuíferos.....	54
2.	ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	55
2.1	CAUDALES.....	55
3.	HIDRÁULICA.....	75
3.1	ESTUDIO HIDRÁULICO.....	75
3.2	MODELIZACIÓN HIDRÁULICA.....	75
3.3	HEC-RAS 5.0.....	77
3.3.1	Novedades de la nueva versión respecto de otras anteriores.....	77
3.3.2	Limitaciones del programa.....	78
3.3.3	Ecuaciones y sistema numérico.....	79



3.3.4	Interfaz de Hec-Ras 5.0.	80
3.3.5	Modelo digital del terreno.	84
3.3.6	Caudales.	85
3.3.7	Condiciones de contorno.	93
3.3.8	Mapa de los usos del suelo. Rugosidad.....	94
3.3.9	Zonas críticas.	98
3.3.10	Corrección de las zonas críticas.....	122
3.3.11	Introducción de edificios.	137
3.3.12	Introducción de las infraestructuras sobre los ríos Garona y Valarties en el tramo de estudio.	151
3.3.13	Introducción de motas y muretes.	163
3.3.14	Geometría de cálculo. Tamaño de malla.....	168
3.3.15	Refinado de la malla.	173
3.3.16	Proceso de simulación.....	175
4.	RESULTADOS.	181
4.1.1	Presentación de resultados.	181
4.2	ASPECTOS GENERALES.	181
4.3	CONCLUSIONES.	182
5.	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	195
6.	AGRADECIMIENTOS.....	197



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

al. y otros

ZFP Zona de Flujo Preferente

CAUMAX Mapa de Caudales Máximos en un régimen natural

CEDEX Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

C Centígrados

C- 28 Carretera Comarcal 28

CHE Confederación Hidrográfica del Ebro

ESE Dirección del viento Este Sureste

HEC-RAS Hydrological Engineering Center – River Analysis System

IGC Instituto Geológico y Cartográfico

IGME Instituto Geológico Minero Español

INUNCAT Pla especial d'emergències per inundacions de Catalunya

LIDAR Laser Imaging Detection and Ranging

MAGRAMA Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

MCO Máxima Crecida Ordinaria

MDE Model-driven Development Environment

MDT Mountain Daylight Time

M.O.P.U. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo

PNOT Plan Nacional de Observación del Territorio

RD Real Decreto

RDPH Reglamento de Dominio Público Hidráulico

SAIH Sistema Automático de Información Hidrológica

SCS Soil Conservation Service

SIG Sistema de información geográfica

SIOSE Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España

SNCZI Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables de la Demarcación Hidrográfica del Ebro.

TRLA Texto Refundido de la Ley de Aguas

TFM Trabajo Fin de Master



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS.

UTM Monitorización de tráfico de Urchin

USDA Natural Resources Conservation Service

WNW Dirección del viento Oeste Noroeste

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la zona de estudio	18
Figura 2. Definición de las distintas zonas asociadas a un cauce	20
Figura 3. Zonificación de la zona inundable	20
Figura 4. Gestión de los riesgos de inundación	21
Figura 5. Dominio Público Hidráulico en el entorno de Arties	21
Figura 6. Descripción de las inundaciones de 1907	25
Figura 7. Recorte mapa de las inundaciones de 1907	26
Figura 8. Descripción de las inundaciones de 1937	27
Figura 9. Mapa de las inundaciones de 1937	27
Figura 10. Recorte de la descripción de los daños en Arties	28
Figura 11. Recorte mapa de las inundaciones de 1963	28
Figura 12. Cabecera del apartado que relata la inundación	28
Figura 13. Descripción de la inundación de 1963	29
Figura 14. Recorte del mapa de las inundaciones de 1982	29
Figura 15. Descripción de los eventos de 1982	30
Figura 16. Recorte de las zonas afectadas	31
Figura 17. Recorte de la descripción de los daños en la cuenca del Garona	31
Figura 18. Afecciones de la avenida de 2013	32
Figura 19. Localización del río Garona	34
Figura 20. Localización de la zona de estudio. Situación general de la cabecera del río Garona	34
Figura 21. Localización de la zona de estudio	35
Figura 22. Esquema de masas valoradas del río Garona	36
Figura 23. Río Garona a su paso por la localidad de Arties	37
Figura 24. Topografía de la cabecera del río Garona	38
Figura 25. Delimitación de la zona de estudio. Elaboración propia	38
Figura 26. Tramos estudiados de los ríos Garona y Valarties. Elaboración propia	39
Figura 27. Régimen mensual de las precipitaciones de la cuenca del Ebro	40
Figura 28. Mapa de usos del suelo del año 2000 de la cabecera del río Garona (según Corine LandCover)	45
Figura 29. Mapa de los usos del suelo según Corine	47
Figura 30. Rugosidades introducidas en HEC-RAS según Corine	52
Figura 31. Interfaz del programa CAUMAX	55
Figura 32. Caudales para diferentes periodos de retorno	56
Figura 33. Informe de consulta de caudales del río Garona. Periodo de retorno 10 años. Caumax	58
Figura 34. Informe de consulta de caudales del río Garona. Periodo de retorno de 100 años. Caumax	59
Figura 35. Informe de consulta de caudales del río Garona. Periodo de retorno de 500 años. Caumax	60
Figura 36. Informe de consulta de caudales del río Garona. Período de retorno de 3.5 años. Caumax	61
Figura 37. Caudales para diferentes periodos de retorno (2)	62



Figura 38. Informe de consulta de caudales del río Valarties. Período de retorno de 10 años. Caumax.....	64
Figura 39. Informe de consulta de caudales del río Valarties. periodo de retorno de 100 años. Caumax.....	65
Figura 40. Informe de consulta de caudales del río Valarties. Periodo de retorno de 500 años. Caumax.....	66
Figura 41. Informe de consulta de caudales del río Valarties. Periodo de retorno de 3.5 años. Caumax.....	67
Figura 42. Informe de consulta de caudales en la confluencia. Período de retorno de 10 años. Caumax.....	69
Figura 43. Informe de consulta de caudales en la confluencia. Período de retorno de 100 años. Caumax.....	70
Figura 44. Informe de consulta de caudales en la confluencia. Período de retorno de 500 años. Caumax.....	71
Figura 45. Informe de consulta de caudales en la confluencia. Período de retorno de 3.5 años. Caumax.....	72
Figura 46. Interfaz de Hec-Ras. Elaboración propia	81
Figura 47. Implementación de un MDE. Elaboración propia	82
Figura 48. MDE de la zona de estudio.....	82
Figura 49. Mapa topográfico de la zona de estudio con curva de nivel desactivadas.....	83
Figura 50. Mapa topográfico de la zona de estudio.....	83
Figura 51. Modelo Digital del Terreno	84
Figura 52. Modelo Digital del Terreno de la zona de estudio	85
Figura 53. Menú de configuración de las condiciones del contorno	93
Figura 54. Introducción de la capa de rugosidades.....	97
Figura 55. Introducción de la capa de rugosidades (2).	97
Figura 56. Resultado de la introducción de la capa de rugosidades.....	98
Figura 57. Estructuras sobre el río Garona, en el tramo aguas arriba	99
Figura 58. Ortofoto de la estación de aforos del Garona en Arties	100
Figura 59. Ortofoto del puente municipal y la presa sobre el río Garona al comienzo de la zona de estudio.....	100
Figura 60. Ortofoto del puente municipal sobre el río Garona en Arties	101
Figura 61. Inventario de obras de fábrica en la cuenca del Ebro.....	102
Figura 62. Estación de aforos del Garona en Arties (1).....	103
Figura 63. Estación de aforos del Garona en Arties (2).....	103
Figura 64. Inventario de obras de fábrica en la cuenca del Ebro (2).....	104
Figura 65. Inventario de obras de fábrica en la cuenca del Ebro (3).....	105
Figura 66. Inventario de obras de fábrica en la cuenca del Ebro (4).....	106
Figura 67. Puentes y pasarelas sobre el río Valarties.....	111
Figura 68. Ortofoto del puente aguas arriba del Valarties.	111
Figura 69. Ortofoto de la estación de Aforos sobre el río Valarties.....	112
Figura 70. Fotografía de la estación de aforos del Valarties en Arties (1)	112
Figura 71. Fotografía de la estación de aforos del Valarties en Arties (2).	113
Figura 72. Ortofoto del puente municipal sobre el Valarties en Arties.	113



Figura 73. Obra de drenaje transversal en la carretera C-28, a la altura del Barranco del Salider.	114
Figura 74. Ortofoto de la obra de drenaje transversal en la carretera C-28, a la altura del Barranco del Salider.	114
Figura 75. Carretera C-28, que discurre de manera paralela al cauce del río Garona (1)	115
Figura 76. Carretera C-28, que discurre de manera paralela al cauce del río Garona (2).	115
Figura 77. Edificios y estructuras de Arties.	116
Figura 78. Perfil longitudinal de la estación de aforos del Garona en Arties.....	117
Figura 79. Perfil longitudinal del puente de acceso a la subestación de Arties.....	117
Figura 80. Perfil longitudinal de la presa de la central hidroeléctrica de Arties.	118
Figura 81. Perfil longitudinal del puente urbano de Arties sobre el Garona.	119
Figura 82. Perfil longitudinal del puente municipal de Arties sobre el Valarties. (Aguas arriba)	119
Figura 83. Perfil longitudinal de la estación de aforos del Valarties en Arties.	120
Figura 84. Perfil longitudinal del puente municipal de Arties sobre el Valarties.....	121
Figura 85. Perfil longitudinal de la Obra de Drenaje Transversal en la carretera C-28.....	121
Figura 86. Interfaz de HEC-RAS.	122
Figura 87. Creación de una nueva geometría (1).....	122
Figura 88. Figura 91. Creación de una nueva geometría (2).	123
Figura 89. Edición de la geometría.....	123
Figura 90. Edición de la geometría (2).	124
Figura 91. Edición de la geometría (3).	124
Figura 92. Edición de la geometría (4).	125
Figura 93. Edición de la geometría (5).	125
Figura 94. Exportación de la geometría creada (1).	126
Figura 95. Exportación de la geometría creada (2).	126
Figura 96. Creación del nuevo terreno (1).	127
Figura 97. Creación del nuevo terreno (2).	128
Figura 98. Nuevo terreno modificado.	128
Figura 99. Resultado de la modificación del terreno (1).....	129
Figura 100. Resultado de la modificación del terreno (2).....	129
Figura 101. Infraestructuras modificadas.	130
Figura 102. Resultado de la modificación del terreno del puente municipal del Garona en Arties (1).	130
Figura 103. Resultado de la modificación del terreno del puente municipal del Garona en Arties (2).	130
Figura 104. Resultado de la modificación del terreno de la estación de aforos del Garona en Arties (1).....	131
Figura 105. Resultado de la modificación del terreno de la estación de aforos del Garona en Arties (2).....	131
Figura 106. Resultado de la modificación del terreno de la presa de Arties y del puente de acceso a la subestación eléctrica (1).	132
Figura 107. Resultado de la modificación del terreno de la presa de Arties y del puente de acceso a la subestación eléctrica (2).	132



Figura 108. Resultado de la modificación del terreno del puente urbano de Arties sobre el Valarties (1).	133
Figura 109. Resultado de la modificación del terreno del puente urbano de Arties sobre el Valarties (2).	133
Figura 110. Resultado de la modificación del terreno en la estación de aforos del río Valarties en Arties (1).	134
Figura 111. Resultado de la modificación del terreno en la estación de aforos del río Valarties en Arties (2).	134
Figura 112. Puente municipal de Arties sobre el Valarties (1).	135
Figura 113. Puente municipal de Arties sobre el Valarties (2).	135
Figura 114. Resultado de la modificación del terreno para la obra de drenaje transversal en la carretera C-28 (1).	136
Figura 115. Resultado de la modificación del terreno para la obra de drenaje transversal en la carretera C-28 (2).	136
Figura 116. Geometrías creadas para la introducción de edificios.	138
Figura 117. Menú de RAS MAPPER en la interfaz de HEC-RAS.	138
Figura 118. Creación de la geometría de los edificios (1).	138
Figura 119. Creación de la geometría de los edificios (2).	139
Figura 120. Detalle de la geometría creada (1).	140
Figura 121. Creación de la geometría de los edificios (3).	140
Figura 122. Detalle de la geometría creada (2).	141
Figura 123. Creación de la geometría de los edificios (4).	141
Figura 124. Creación de la geometría de los edificios (5).	142
Figura 125. Creación de la geometría de los edificios (6).	142
Figura 126. Creación de la geometría de los edificios (7).	143
Figura 127. Creación de la geometría de los edificios (8).	143
Figura 128. Creación de la geometría de los edificios (9).	144
Figura 129. Creación de la geometría de los edificios (10).	145
Figura 130. Creación de la geometría de los edificios (11).	145
Figura 131. Creación de la geometría de los edificios (12).	146
Figura 132. Creación de la geometría de los edificios (13).	146
Figura 133. Creación de la geometría de los edificios (14).	146
Figura 134. Resultado del proceso de introducción de edificios.	147
Figura 135. Detalle de la cota de los edificios (1200m).	147
Figura 136. Detalle de la cota del terreno natural.	148
Figura 137. Geometría 'EDIFICIOS 1'.	148
Figura 138. Geometría 'EDIFICIOS 2'.	149
Figura 139. Geometría 'EDIFICIOS 3'.	149
Figura 140. Geometría 'EDIFICIOS 4'.	149
Figura 141. Geometría 'EDIFICIOS 5'.	150
Figura 142. Geometría 'EDIFICIOS 6'.	150
Figura 143. Geometría 'EDIFICIOS 7'.	150
Figura 144. Geometría 'EDIFICIOS 8'.	151
Figura 145. Introducción de los ejes de las estructuras.	152
Figura 146. Proceso de creación de las estructuras (1).	152



Figura 147. Proceso de creación de las estructuras (2).	153
Figura 148. Proceso de creación de las estructuras (3).	153
Figura 149. Proceso de creación de las estructuras (4).	154
Figura 150. Proceso de creación de las estructuras (5).	154
Figura 151. Proceso de creación de las estructuras (6).	155
Figura 152. Proceso de creación de las estructuras (7).	155
Figura 153. Proceso de creación de las estructuras (8).	156
Figura 154. Proceso de creación de las estructuras (9).	156
Figura 155. Proceso de creación de las estructuras (10).	157
Figura 156. Proceso de creación de las estructuras (11).	157
Figura 157. Proceso de creación de las estructuras (12).	158
Figura 158. Proceso de creación de las estructuras (13).	158
Figura 159. Proceso de creación de las estructuras (14).	159
Figura 160. Proceso de creación de las estructuras (15).	159
Figura 161. Proceso de creación de las estructuras (16).	160
Figura 162. Proceso de creación de las estructuras (17).	160
Figura 163. Proceso de creación de las estructuras (18).	161
Figura 164. Proceso de creación de las estructuras (19).	161
Figura 165. Proceso de creación de las estructuras (20).	162
Figura 166. Proceso de creación de las estructuras (21).	162
Figura 167. Identificación de muros y motas.	163
Figura 168. Vista general de los tramos modificados.	164
Figura 169. Detalle de la introducción de la geometría de los muros a la altura del puente urbano del Valarties.	164
Figura 170. Detalle de la introducción de las diferentes secciones transversales para cada muro.	165
Figura 171. Edición de la cota de los muros y motas introducidos.	165
Figura 172. Detalle de la modificación de la cota para una sección dada.	166
Figura 173. Excel de modificación de las cotas de los muros y motas.	166
Figura 174. Introducción de las cotas modificadas en HEC-RAS.	167
Figura 175. Detalle del resultado de la modificación de las secciones transversales.	167
Figura 176. Detalle del resultado final de las modificaciones del Modelo Digital del Terreno.	168
Figura 177. 'Geometric Data' en la interfaz de HEC-RAS.	168
Figura 178. Delimitación de la zona de estudio (1).	169
Figura 179. Delimitación de la zona de estudio (2).	169
Figura 180. Creación de la malla (1).	170
Figura 181. Creación de la malla (2).	170
Figura 182. Detalle de la malla.	171
Figura 183. Creación de las condiciones de contorno (1).	171
Figura 184. Creación de las condiciones de contorno (2).	172
Figura 185. Detalle del ajuste de las condiciones de contorno a la malla generada.	172
Figura 186. Proceso de refinado de la malla (1).	173
Figura 187. Proceso de refinado de la malla (2).	173
Figura 188. Proceso de refinado de la malla (3).	174
Figura 189. Proceso de refinado de la malla (4).	174



Figura 190. Proceso de refinado de la malla (5).....	175
Figura 191. Proceso de refinado de la malla (6).....	175
Figura 192. Introducción de las condiciones de contorno.	176
Figura 193. Condición de calado normal.....	176
Figura 194. Condición de hidrograma de flujo.....	177
Figura 195. Cálculo en régimen no permanente (1).	177
Figura 196. Cálculo en régimen no permanente (2).	178
Figura 197. Cálculo en régimen no permanente (3).	178
Figura 198. Máxima Crecida Ordinaria. Mapa de calados (2).	183
Figura 199. Máxima Crecida Ordinaria. Mapa de velocidades.	183
Figura 200. Zona inundable correspondiente a T=10 años. Mapa de calados (2).	184
Figura 201. Zona inundable correspondiente a T=10 años. Mapa de calados (3).	185
Figura 202. Zona inundable correspondiente a T=10 años. Mapa de velocidades.....	186
Figura 203. Zona inundable correspondiente a T=100 años. Mapa de calados (1).	187
Figura 204. Zona inundable correspondiente a T=100 años. Mapa de calados (2).	188
Figura 205. Zona inundable correspondiente a T=100 años. Mapa de calados (3).	188
Figura 206. Zona inundable correspondiente a T=100 años. Mapa de calados (4).	189
Figura 207. Zona inundable correspondiente a T=100 años. Mapa de velocidades.....	190
Figura 208. Zona inundable correspondiente a T=500 años. Mapa de calados (2).	191
Figura 209. Zona inundable correspondiente a T=500 años. Mapa de calados (3).	192
Figura 210. Zona inundable correspondiente a T=500 años. Mapa de calados (4).	193
Figura 211. Zona inundable correspondiente a T=500 años. Mapa de calados (5).	193
Figura 212. Zona inundable correspondiente a T=500 años. Mapa de velocidades.....	194



ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Temperaturas medias en Arties.....	41
Gráfica 2. Temperaturas máximas y mínimas en Arties.....	42
Gráfica 3. Perfil longitudinal de la estación de aforos del Garona en Arties.	116
Gráfica 4. Perfil longitudinal del puente de acceso a la central hidroeléctrica de Arties.	117
Gráfica 5. Perfil longitudinal de la presa de la central hidroeléctrica de Arties.....	118
Gráfica 6. Perfil longitudinal del puente urbano de Arties sobre el Garona.....	118
Gráfica 7. Perfil longitudinal del puente municipal de Arties sobre el Valarties. (Aguas arriba)	119
Gráfica 8. Perfil longitudinal de la estación de aforos del Valarties en Arties.	120
Gráfica 9. Perfil longitudinal del puente municipal de Arties sobre el Valarties.	120
Gráfica 10. Perfil longitudinal de la Obra de Drenaje Transversal en la carretera C-28.	121
Gráfica 11. Perfil del terreno del puente municipal sobre el Garona original y modificado. ...	131
Gráfica 12. Perfil del terreno de la estación de aforos del Garona en Arties original y modificado.	132
Gráfica 13. Perfil del terreno de la presa de Arties y del puente de acceso a la subestación eléctrica.....	133
Gráfica 14. Perfil del terreno del puente urbano de Arties sobre el Valarties original y modificado	134
Gráfica 15. Perfil del terreno de la estación de aforos del Valarties en Arties original y modificado.	135
Gráfica 16. Perfil del terreno del puente municipal de Arties sobre el Valarties original y modificado	136
Gráfica 17. Perfil del terreno de la obra de drenaje transversal original y modificado.....	137



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Temperatura de la estación de Arties	41
Tabla 2. Principales usos del suelo de la cabecera del Garona	44
Tabla 3. Identificación de los usos del suelo en la zona de estudio	48
Tabla 4. Caudales aportados (m ³ /s).	86
Tabla 5. Caudal aportado (m ³ /s) (2).	86
Tabla 6. Hidrograma T=10 años.	89
Tabla 7. Hidrograma T=100 años.	91
Tabla 8. Hidrograma T=100 años.	93
Tabla 9. Valores de rugosidad propuestos por la CHE para los diferentes usos del suelo.	96



ÍNDICE DE ANEJOS

Anejo 1. Estudio Geológico.

Anejo 2. Datos de las estaciones de aforo del Garona y Valarties en Arties.

Anejo 3. Calibración del modelo.

Anejo 4. Anejo fotográfico.

Anejo 5. Láminas.



RESUMEN

El presente documento "ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DE LA CUENCA DEL RÍO GARONA EN LA POBLACIÓN DE ARTIES, LLEIDA" es el Trabajo Final de Grado del alumno Martín Villagrasa Lupón, estudiante del Grado de Ingeniería Civil de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Valencia, tutelado por D. Guillermo Cobos Campos, Dr. Ing. Caminos Canales y Puertos.

En este trabajo se evalúa el riesgo de inundación en el término municipal de Arties (Vall D' Arán, Lérida) por el que pasan los ríos Garona y Valarties. Se combina la información recopilada y la generada para evaluar el riesgo que sufre la zona en la actualidad.

Se pretende, mediante la realización de mapas de peligrosidad, ayudar a la identificación de riesgos y vulnerabilidades, que ayuden a la toma de decisiones con el objetivo principal de reducir los costes humanos, económicos y medioambientales, en caso de que se produzca una inundación.

El objeto del presente estudio es determinar las zonas inundables para períodos de retorno de 3.5, 10, 100 y 500 años, asociados a la Máxima Crecida Ordinaria, eventos de alta media y baja frecuencia, respectivamente, y ver el comportamiento hidráulico observando los resultados obtenidos.



ABSTRACT

The following document "ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DE LA CUENCA DEL RÍO GARONA EN LA POBLACIÓN DE ARTIES, LLEIDA" (FLOOD STUDY FOR THE GARONA WATERSHED IN ARTIES, LLEIDA), is the final thesis of Martín Villagrasa Lupón, student of the degree in Civil Engineering of the Polytechnic University of Valencia (UPV), supervised by Mr. Guillermo Cobos Campos, Dr. Engineer of Caminos Canales y Puertos.

This final thesis evaluates flood risks in Arties (Vall D'Arán, Lleida) through which the Garona and Valarties rivers cross. The Information used for the elaboration of this final thesis is combined from the one known and collected from selected sources and the information newly elaborated in order to evaluate the real risk that the area faces.

It is intended to help to identify risks and weaknesses by the development of those flood maps, to help make decisions in order to minimize the human, economic and environmental loses, in the event of a flood.

The main objective of this work is to identify the floodable areas for the payback period of 3.5, 10, 100 and 500 years, associated to the Maximum Ordinary Flood, High frequency, Medium frequency and Low frequency respectively and monitoring the hydraulic behavior, and the results obtained.

1. INTRODUCCIÓN.

Las inundaciones se han desencadenado a lo largo de toda la historia, constituyendo uno de los desastres naturales más peligrosos en zonas de alta montaña y el riesgo natural de mayor frecuencia, lo que conlleva cuantiosas pérdidas tanto humanas, socioeconómicas como ambientales. Con el avance de la civilización, han ido aumentando los riesgos naturales inducidos por las acciones antrópicas. Es un hecho que el crecimiento urbanístico y el desarrollo conlleva el aumento de ese riesgo.

Las inundaciones son consideradas inmutables, aunque predecibles a corto plazo. Las situaciones de crisis que provocan se controlan mediante la reducción de la vulnerabilidad y una anticipación y preparación eficaz frente al riesgo, para lo que se deben elaborar nuevos planes urbanos. La planificación y ordenación del territorio cobra una importancia capital considerándola una medida preventiva idónea (Díez et al., 2008), los riesgos existentes han de ser valorados y eficazmente gestionados.

Los eventos de inundaciones pueden ser de diferentes tipos dependiendo su origen y características. Según El Plan Estatal de Protección Civil ante el riesgo de Inundaciones (2011) todos estos fenómenos se pueden agrupar en tres tipos de inundaciones: por precipitación in situ; por escorrentía, avenida o desbordamiento de cauces; o por rotura y/u operación incorrecta de obras de infraestructura hidráulica.

Según el informe del Plan Especial de Emergencias para las inundaciones en Cataluña, (INUNCAT) (2012), la peligrosidad por inundaciones viene determinada por la distribución espacial del fenómeno con su intensidad (magnitud) y frecuencia (periodo de retorno), el conocimiento de los efectos dominó (deslizamientos, afectación en estructuras hidráulicas...) y la identificación de puntos negros. De todos modos, lo correcto es la integración de estas técnicas.

Según el mismo informe, el análisis de vulnerabilidad es de vital importancia en los estudios de riesgo ya que evalúan los daños provocados por el fenómeno. Los factores principales a considerar que pueden afectar a los elementos vulnerables expuestos son el calado (altura de la lámina de agua), la velocidad de la corriente, la duración del evento y permanencia temporal, y la concentración de sedimentos (transporte de carga sólida).

El estudio para la reducción del riesgo se lleva a cabo de diferente forma dependiendo de la tipología del fenómeno estudiado. Para ello, uno de los estudios necesarios es la realización de mapas de riesgo, obtenidos mediante la combinación de estudios de peligrosidad, vulnerabilidad y exposición. Es por ello



que hoy en día cobran gran importancia los diferentes estudios y mapas de peligrosidad e inundaciones que se puedan realizar, así como, las medidas estructurales e infraestructuras hidráulicas que se ejecuten a raíz de los estudios realizados, de manera que se proteja de manera eficaz tanto la población, como el medio ambiente. El análisis de peligrosidad se puede llevar a cabo mediante diferentes métodos de análisis: históricos/paleohidrológicos, geológicos/geomorfológicos e hidrológicos/hidráulicos (Díez et al., 2008).

Para lograr esto, es esencial apoyarse en diversos programas informáticos que puedan facilitar estos estudios, consiguiendo una mayor precisión y, por ende, mayor calidad en ellos. En el caso de grandes avenidas, el saber qué ocurre en distintos puntos de interés puede llegar a resultar bastante útil si se modela el problema correctamente, por otro lado, ver la respuesta hidrológica e hidráulica en diferentes puntos de la zona de estudio puede llegar a facilitar la toma de decisiones a la hora de elegir una solución a un problema, pero, aun constituyendo una herramienta fundamental, se han de seleccionar cuidadosamente los datos e información empleada, de manera de que el modelo creado se ajuste lo máximo posible a la realidad. De lo contrario, se pueden obtener resultados muy distantes de la realidad, anulando la validez del estudio.

1.1 EMPLAZAMIENTO.

El Valle de Arán (La Vall d'Aran) se encuentra en la vertiente Norte del Pirineo Central. Esta comarca pirenaica, perteneciente a la provincia de Lleida, en la Comunidad Autónoma de Cataluña, tiene una extensión de 633.5 Km² aproximadamente.

El presente estudio se centra en Arties, situado en la confluencia entre el río Garona y su afluente Valarties, a 1144 metros de altitud, en esta comarca.

Arties, junto a Salardú, Gesa, Tredós y Bagergue conforman el municipio de Alto Arán, el más extenso y uno de los más importantes de todo el Valle de Arán junto con Vielha e Mijaran, capital de comarca.

Se estudia el tramo del río Garona que transcurre por el municipio de Arties, desde la estación de aforos (Punto de inicio aguas arriba), hasta el Barranco del Salider (aguas abajo), incluyendo el Valarties, que desemboca en el Garona en el propio municipio, siendo la longitud total del tramo de estudiado de 2 km aproximadamente.



Figura 1. Localización de la zona de estudio

1.2 ANTECEDENTES E INFORMACIÓN DE PARTIDA.

1.2.1 Antecedentes y alcance.

Entre enero de 2012 y diciembre de 2013 se elabora el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables en la Demarcación Hidrográfica del Ebro (en adelante SNCZI), en el que se elaboran los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación para el Área de Riesgo Potencial de Inundación Significativo del Garona.



En 2013 se produjo una gran avenida en la cuenca del Garona, ocasionando daños severos en El Valle de Arán. Se produjeron importantes daños materiales en edificaciones próximas al lecho del río, incluyendo el derrumbe de algunas de ellas, daños en infraestructuras y una notable modificación de la red fluvial con erosiones, transporte de materiales y sedimentaciones. Los factores que la originaron fueron las importantes reservas nivales existentes en la cuenca, las elevadas temperaturas los días previos a la avenida y las intensas precipitaciones en un muy corto período de tiempo. Uno de los tramos más afectados fue el tramo Arties – Vielha, por lo que se ha elegido Arties como área de estudio.

A parte de las modificaciones producidas por las inundaciones, se realizaron de manera adicional, entre 2013 y 2014, diversas actuaciones de emergencia tanto en el lecho del río como en las márgenes, con el objetivo de aumentar la seguridad de parte de las infraestructuras urbanas que habían quedado desprotegidas después de la riada de junio de 2013.

El de 29 de diciembre de 2016 se aprueba el Real Decreto 638/2016, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, el Reglamento de Planificación Hidrológica, aprobado por el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, y otros reglamentos en materia de gestión de riesgos de inundación, caudales ecológicos, reservas hidrológicas y vertidos de aguas residuales.

El alcance de este Trabajo de Fin de Grado es el desarrollo de un estudio de inundabilidad mediante el programa informático Hec-Ras, en la confluencia del río Garona con el Valarties, desde la estación de aforos aguas arriba hasta el Barranco del Salider, obteniendo así una evaluación de las zonas del territorio, la elaboración de mapas de peligrosidad de inundación para los períodos de Máxima Crecida Ordinaria, $T = 10$, $T = 100$ y $T = 500$ años, (este último período de retorno es el asociado al caudal que circula en zonas inundables), viendo el comportamiento hidráulico de la zona, la delimitación de la Zona de Flujo Preferente (ZFP), previo análisis de la zona de estudio, enmarcando características de la cuenca como su clima, cauces, relieve, geología o usos del suelo entre otros, analizando estudios y eventos de inundaciones previas, recreando los efectos de las crecidas.

A este respecto el texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA) y el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH) definen las distintas zonas asociadas al cauce de los ríos y las limitaciones a los usos que en ellas se desarrollen.

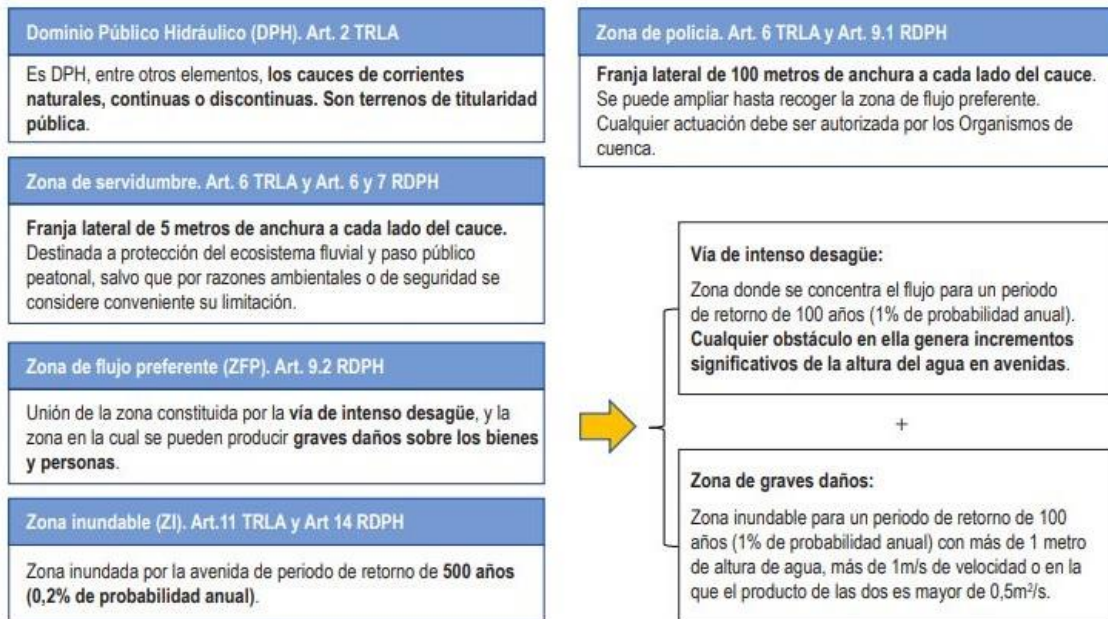


Figura 2. Definición de las distintas zonas asociadas a un cauce

En el siguiente gráfico se esquematiza la zonificación de la zona inundable:

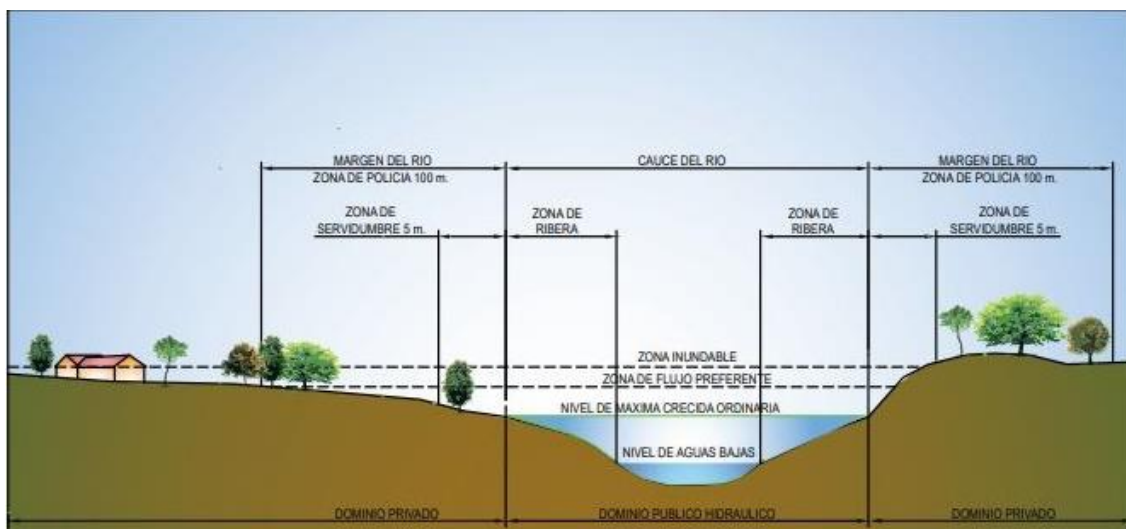


Figura 3. Zonificación de la zona inundable

Desde el punto de vista de las limitaciones de los usos, El RD 638/2016, publicado el 29 de diciembre de 2016, modifica el RDPH en diversos aspectos, entre los que se encuentra la gestión de los riesgos de inundación, a través de la identificación de aquellos usos y actividades vulnerables frente a avenidas distinguiendo:

<p>Por la zona en la que se encuentre:</p> <p><u>Zona de flujo preferente (ZFP):</u> limitaciones a los usos vulnerables frente a avenidas o que supongan una reducción de la capacidad de desagüe.</p> <p><u>Zona inundable (ZI):</u> criterios constructivos para las edificaciones destinadas a viviendas y recomendaciones de seguridad para otros usos.</p> <p><u>Régimen especial municipios alta inundabilidad:</u> para municipios con más de 1/3 de su superficie incluida en la ZFP, o que por la morfología de su territorio tengan una imposibilidad material para orientar sus futuros desarrollos hacia zonas no inundables.</p>	<p>Por la situación básica en la que se encuentre el suelo a fecha de 29 de diciembre de 2016 (según RDL 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana):</p> <ul style="list-style-type: none">⊙ <u>Suelo urbanizado:</u> el legalmente integrado en una malla urbana que esté edificado o el integrado en la red de dotaciones y servicios propios de los núcleos de población.⊙ <u>Suelo rural:</u> el resto de suelos.
---	---

Figura 4. Gestión de los riesgos de inundación

La zona de Dominio Público Hidráulico (cauce de corriente natural de titularidad pública), que además de estar determinada por la Máxima Crecida Ordinaria depende de las condiciones geomorfológicas y ambientales, está recogida en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables y se considera que su delimitación está actualizada a fecha del estudio. Esta cartografía se ha actualizado a fecha 2020.



Figura 5. Dominio Público Hidráulico en el entorno de Arties

1.2.2 Marco Normativo.

- Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- La Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación (en adelante, Directiva de Inundaciones) establece la necesidad de desarrollar herramientas para analizar y gestionar la problemática de las inundaciones, que constituyen principal riesgo natural en la Unión Europea. Esta directiva fue transpuesta al ordenamiento jurídico español mediante Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación.
- Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y de Procedimiento Administrativo Común.
- Ley 4/1999, de modificación de la Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y de Procedimiento Administrativo Común.
- Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.
- Ley 17/2015, de 9 de julio del Sistema Nacional de Protección Civil.
- Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, en desarrollo de los títulos II y III de la Ley de Aguas.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas y posteriores modificaciones.
- Real Decreto 125/2007, de 2 de febrero, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas y sus modificaciones.
- Real Decreto 126/2007, de 2 de febrero, por el que se regulan la composición, funcionamiento y atribuciones de los comités de autoridades competentes de las demarcaciones hidrográficas con cuencas intercomunitarias.
- Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.



- Real Decreto 1366/2011, de 7 de octubre, por el que se establece la composición, estructura y funcionamiento del Consejo del Agua de la demarcación de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Ebro.
- Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.

Se creó el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), que engloba todos los estudios de inundabilidad elaborados por el Ministerio de Medio Ambiente y sus organismos de cuenca, en colaboración con las correspondientes comunidades autónomas y, en su caso, con las administraciones locales afectadas

Introdujo también algunas novedades técnicas relevantes en relación con la zonificación del espacio inundable. Por un lado, se creó el concepto de zona de flujo preferente, que delimita el espacio fluvial en el que se registran condiciones de calado y velocidad por encima de unos determinados umbrales y cuya preservación resulta fundamental para que no se produzca un empeoramiento de la inundabilidad en el entorno. El Real Decreto 9/2008 también completó el concepto de cauce, que pasó de tener una definición estrictamente hidráulica a incorporar otros criterios de tipo geomorfológico e histórico.

- Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, modificado por el Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre.

Los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación se han elaborado de acuerdo con el Real Decreto 903/2010 de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación.

- Real Decreto 638/2016, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, el Reglamento de Planificación hidrológica, aprobado por el Real Decreto 907/2007 de 6 de julio, y otros reglamentos en materia de gestión de riesgos de inundación, caudales ecológicos, reservas hidrológicas y vertidos de aguas residuales.
- Reglamento del Dominio Público Hidráulico (en adelante RDPH), aprobado mediante Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, modificado por el Real Decreto 606/2003 del 23 de mayo, el Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, y el Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre.



- Plan Estatal de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones, aprobado por el Consejo de Ministros en su reunión del día 29 de julio de 2011.
- Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, aprobada por el Consejo de Ministros en su reunión del día 9 de diciembre de 1994.
- Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica.
- Resolución de 2 de agosto de 2011 de la Subsecretaría (BOE no 210 de 1 de septiembre) por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 29 de julio de 2011 por el que se aprueba el Plan Estatal de protección Civil.

1.2.3 Estudios previos.

Para la elaboración de la memoria se han tenido en cuenta los siguientes antecedentes técnicos:

- Estudi hidrològic, hidràulic i d'inundabilitat a la Garona. IGC. Octubre 2012.
- Informe de la avenida del 17 al 20 de junio de 2013 en la cuenca del río Garona. 2014. C.H.E.
- TFM (Memoria). Reconstrucción y análisis geomorfológico de la avenida de junio de 2013 entre Arties y Vielha (Val d'Aran): estudio del riesgo residual y dinámica del Garona. Ane Victoriano Lamariano.
- Estudio de inundabilidad y propuesta de soluciones para el edificio situado en Golf Salardú (Lleida). Octubre 2017. SPESA INGENIERÍA, S.A.

1.2.4 Antecedentes históricos.

En la zona de estudio de la cuenca del Garona se han dado a lo largo del siglo XX diferentes eventos relacionados con la dinámica fluvial con distintas implicaciones. Se destacan los siguientes sucesos:

- Octubre 1907. Con pluviometrías del orden de 300 mm en un solo evento, las afecciones no quedan claro qué alcance tuvieron.

FECHA: 22 - 25 de Octubre de 1.907

RIO: Aragón, Gállego, Cinca, Esera, Isábena, Alcanadre, Ebro, Segre, Noguera Pallaresa, Ara, Flamisell y Noguera Ribagorzana

En el mes de Octubre del año 1.907 se produjo una de las mayores riadas conocidas en la cuenca del Ebro que dejó un imborrable recuerdo en muchísimos lugares y poblaciones, en especial en Tortosa. La magnitud de la crecida fue superior a la del año 1.853, ya que en Vinebre se superó el nivel en 2 m.; los cauces de los ríos fueron insuficientes para tal magnitud de aguas y la corriente en su marcha turbulenta inundó valles y llanuras, arrasó cultivos de las márgenes, arrastró puentes y obras de defensa... Comenzaron las lluvias de forma esporádica los días 3 y 4 de Octubre, aumentando en intensidad durante el 8 y 9; del 11 al 17 fueron fuertes y extendidas, prolongándose hasta el día 26 de Octubre. Las magnitudes de estas tuvieron un máximo de 411 mm. en la localidad de Pont de Suert y de 300 en Viella, Pobla de Segur y Sort y sobrepasaron los 200 mm. en casi todos los pluviómetros de las cuencas del Segre, Cinca y Ara. Las isoyetas entre 100 y 250 mm. afectaron al Gállego, de Anzánigo hacia aguas arriba, quedando el alto Aragón de Yesa a Javierregay, por debajo de los 150 mm., volviendo a subir en la zona de Pamplona con un núcleo de cota máxima de 280 mm. que es el que produjo una avenida moderada en Peralta y aún más moderada en Caparrosó (ríos Arga y Aragón desde el Irati), determinantes de los 1.700 m³/seg. del Bocal, aunque ello no pudo calificarse más que de ligera crecida.

Los caudales medios más significativos registrados durante el intervalo de tiempo desde el día 22 al 25 fueron los siguientes:

Figura 6. Descripción de las inundaciones de 1907

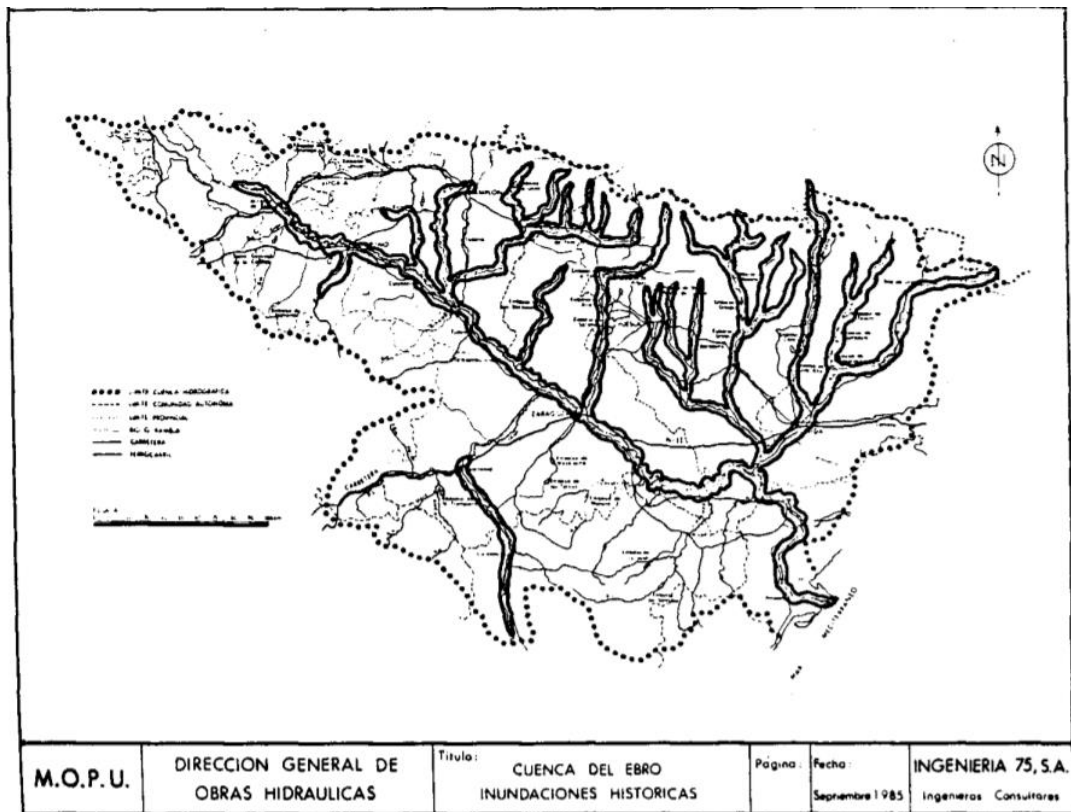


Figura 7. Recorte mapa de las inundaciones de 1907

- Octubre 1937. Un acta del Ayuntamiento de Vielha da fe de la gran cantidad de desperfectos ocasionados por el desbordamiento del Nere y Garona en Vielha, con un arrastre importante de material que acentuó los desperfectos ocasionados.

FECHA: 26 - 29 de Octubre de 1.937

RIO: Aragón, Irati, Salazar, Esca, Jalón, Jiloca, Gállego, Alcanadre, Cinca
Flamisell, Noguera Pallaresa, Segre, Ebro y Garona

Los días 26,27 y 28 de Octubre del año citado, tuvieron lugar precipitaciones extraordinarias generalizadas, sobre todo en el Alto Pirineo.

Las extraordinarias lluvias se produjeron por un frente cálido del S.S.E. que estaba estabilizado sobre el Mediterraneo, Cataluña y el sureste francés. Al Oeste estaba limitado por una masa de aire frío situada sobre Aragón. El día 26, las temperaturas se estabilizaron con un descenso de 2° en 24 horas al Oeste de una discontinuidad muy pronunciada y un aumento de 4° al este de este frente. La corriente citada, después de sobrepasar la depresión central catalana, se vió forzada a remontar las pendientes pirenaicas hasta los 3.000 metros de altitud.

Las lluvias se distribuyeron en tres máximas nocturnas separadas por mínimas relativas durante el 26 y 27 a lo largo del día. Los ríos se desbordaron y sobre todo el Flamisell, que alimenta las centrales hidroeléctricas del Alto Pallars, causaron serios daños en puntos vitales de las reservas eléctricas de Cataluña.

La máxima intensidad de lluvia que se anotó a las 8 horas del día 26 fue de 270 mm. en Seira; en L'Estany Gento 160 mm. y en Benasque, 168 mm; en cambio en Les, a sotavento de las montañas, no pasó de 20 mm. Durante la noche del 26 al 27 se reprodujo el cuadro de la noche anterior; a las 4 horas del 27 llovía en toda la mitad norte del país con un máximo de 181 mm. en Benasque. Durante el día disminuyeron de nuevo para volver a reproducirse en la noche del 27 al 28 temiéndose una máxima de 130 mm. en L'Estany Gento pero con una extensión mucho mayor que la del día anterior. El día 29 la situación atmosférica había cambiado ya. Las precipitaciones totales en los

Figura 8. Descripción de las inundaciones de 1937

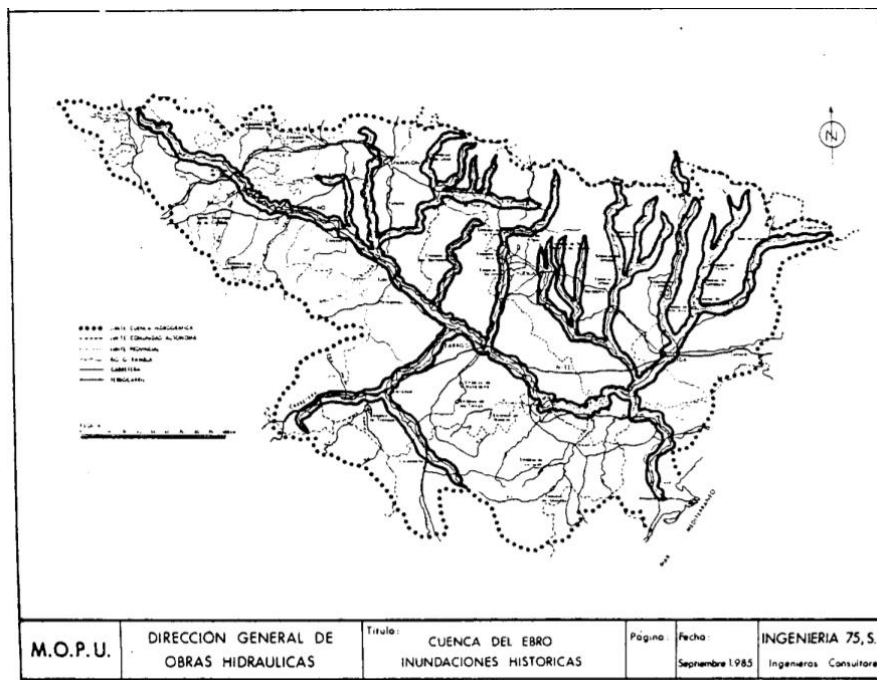


Figura 9. Mapa de las inundaciones de 1937

Otro río que produjo muchos daños en su crecida fue el Garona que se desbordó en Arties causando problemas en el puente y en la población; en la estación de aforos de Cledes se midieron $255 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y en Les $400 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Figura 10. Recorte de la descripción de los daños en Arties

- Octubre 1940. Evento generalizado a toda la vertiente norte de los Pirineos Orientales Catalanes.
- Agosto 1963. Importantes afecciones a los núcleos de Arties y Vielha. Garona habría aumentado sensiblemente la cantidad de material arrastrado y en suspensión.

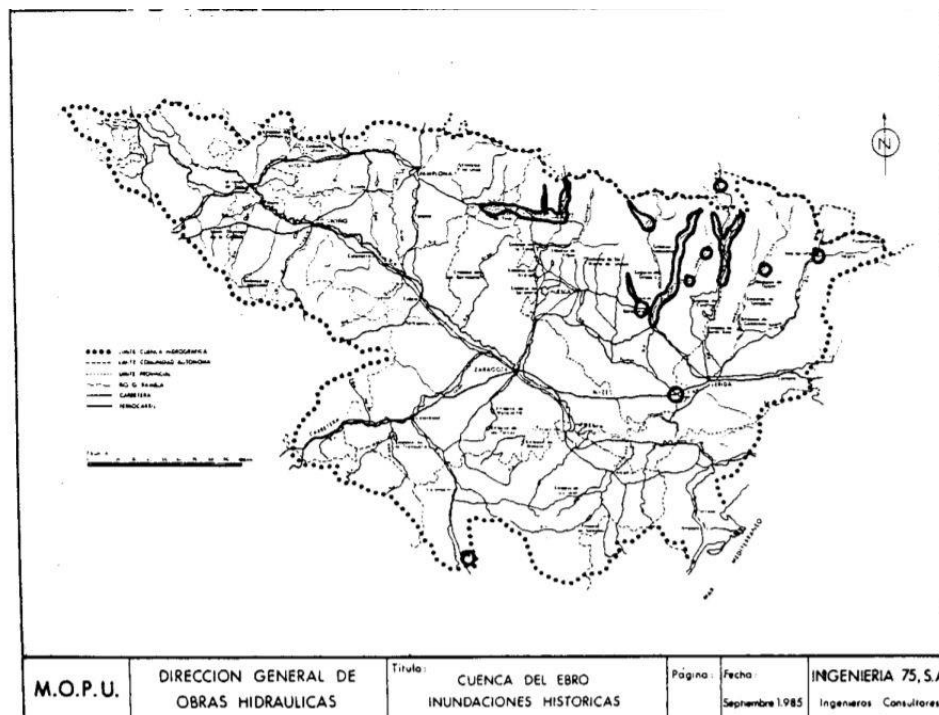


Figura 11. Recorte mapa de las inundaciones de 1963

FECHA: Julio - Agosto de 1.963

RIO: Rambla Celadas, Aragón-Subordan, Gállego, Cinca, Ara, Vero, Esera, Isábe-na, Segre, Noguera Ribagorzana, Noguera Tor, Baliera, Noguera Pallaresa, Balarties.

Figura 12. Cabecera del apartado que relata la inundación

<p>Por último el río Garona, que se dirige a tierras francesas , junto con algunos afluentes españoles, sufrieron también, a raíz de la gran tromba de agua caída en el alto pirineo, fuertes crecidas.</p> <p>El río Balarties se salió de madre desviándose de su curso normal y precipitándose en torrencera por el centro de la población de Arties, por donde arrastró enormes piedras de varias toneladas de peso y grandes cantidades de acarreo; la avenida fue prevista,</p>					
U.	DIRECCION GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS	Título: CUENCA DEL EBRO INUNDACIONES HISTORICAS	Página:	Fecha: Septiembre 1985	INGENIERIA 75, S.A. Ingenieros Consultores

Figura 13. Descripción de la inundación de 1963

- Noviembre 1982. Afecciones por desbordamientos de los cursos fluviales en Vielha, Arties, Bossòst, Les y Les Bordes (principalmente).

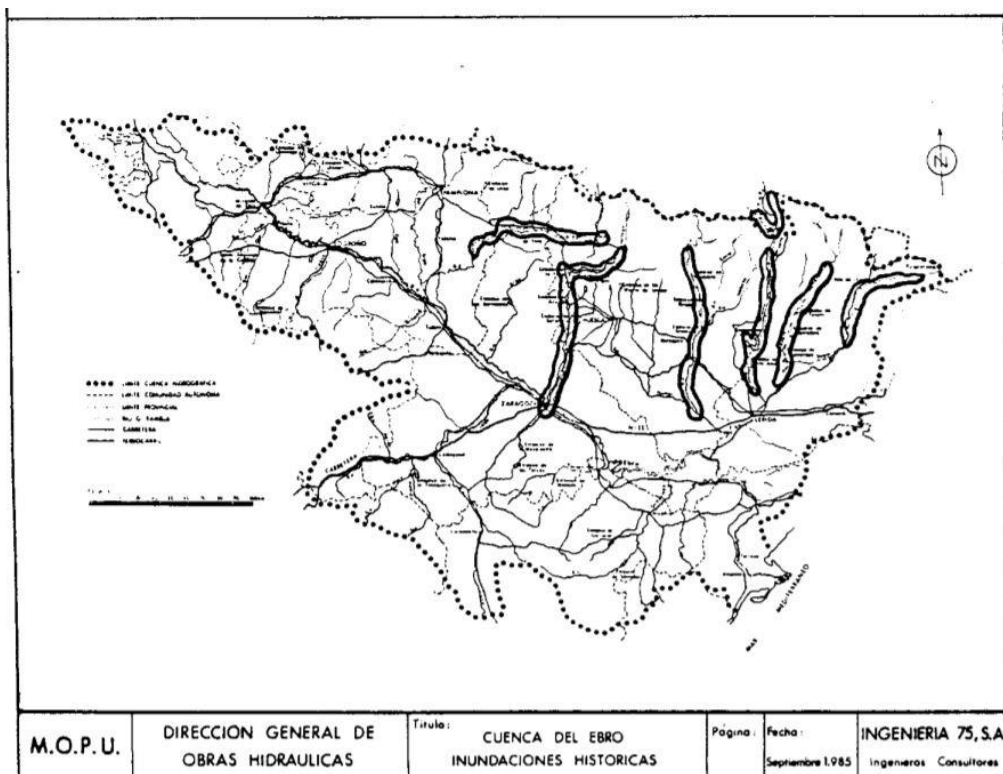


Figura 14. Recorte del mapa de las inundaciones de 1982

FECHA: 6 - 10 de Noviembre de 1.982

RIO: Cuencas del Aragón, Gállego, Segre y Cinca.

1.- INTRODUCCION

Durante la primera semana del mes de Noviembre de 1.982 se registraron unas precipitaciones de elevada cuantía e intensidad en los Pirineos Central y Oriental que fueron causa de importantes crecidas fluviales de diversa magnitud e impacto sobre las formas de los cauces, las comunicaciones, la agricultura y numerosas edificaciones, así como sobre la infraestructura industrial de muchísimas poblaciones.

El origen del fenómeno estuvo muy localizado en un embalsamiento de aire frío cuyos efectos se dejaron sentir con mayor fuerza en el Pirineo Catalán y que fue disipando su influencia hacia el Pirineo Occidental.

Los ríos aragoneses, no obstante, experimentaron un notable incremento de su caudal, siendo la cuenca del río Cinca la más afectada por los desbordamientos y fenómenos morfológicos de gran importancia que tuvieron lugar. Las lluvias del 6 al 8 de Noviembre estuvieron vinculadas a una clásica gota fría formada por inflexión de la corriente en chorro, que sobre la Península adquiere claro componente N-S. El embalsamiento de aire frío dió lugar en superficie a la constitución de una borrasca muy profunda que succionó vientos de S.W. y localmente del S. y S.E. en el Pirineo Oriental; hacia este último fluyeron masas de aire cálidas y húmedas procedentes del Mediterráneo según un esquema ya clásico en la formación de este tipo de fenómenos meteorológicos. Tales vientos, con un enorme potencial hídrico, chocaron con la vertiente meridional de los Pirineos y descargaron precipitaciones de gran intensidad, desde el cabo de Creus hasta la cabecera del río Aragón.

Figura 15. Descripción de los eventos de 1982

7. CUENCA DEL RIO GARONA

Las precipitaciones más significativas en la cuenca del Garona y sus afluentes el Jueu, Casau y el Negro ,fueron:

170 mm. en Viella

-162 mm. en Bossost

112 mm. en Artíes

En la localidad de Pont del Rey (en la frontera) el caudal registrado llegó a los 250 m³/seg. Los daños fueron muy importantes; enel valle de Arán, 30 de los 300 kms. de carreteras existentes, desaparecieron; otros muchos tipos de daños en agricultura, acequias y azudes de riego, gran cantidad de pérdidas en granjas (animales domésticos) etc..., se produjeron a lo largo de los cauces de estos ríos. Las poblaciones más afectadas fueron:

Viella: Los daños fueron producidos por el río Negro y el Casau.

- daños en defensas.
- daños en muchas fincas y en terrenos de labor y pastos.
- multitud de acequias y azudes destrozados.
- daños en caminos vecinales.
- daños en puentes: el de La Palanca, Pomarola, Puntanet, Capela.
- daños en un hotel.
- daños en vías de comunicación.
- daños en abastecimiento y saneamiento.

La valoración total de daños superó los 155 millones de pesetas.

Artíes: daños en defensas.

Bosost: daños en defensas en la margen derecha.

Lés: daños en defensas en la margen derecha.

Las Bordas: daños producidos por el Jueu y el Garona; este último se llevó un puente y dañó pistas forestales. También sufrió daños la toma de aguas potables.

M.O.P.U.	DIRECCION GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS	CUENCA DEL EBRO INUNDACIONES HISTORICAS	Página:	Fecha: Septiembre 1985	INGENIERIA 75, S.A. Ingenieros Consultores
----------	---	--	---------	---------------------------	---

Figura 16. Recorte de las zonas afectadas

Cuenca del río Garona.

Los daños fueron importantes en el valle de Arán, 30 de los 300 Kms. de carretera existentes, desaparecieron daños en agricultura, acequias, azudes de riego. Las poblaciones afectadas fueron: Viella, Artíes, Borost, Les, Las Bordas.

Figura 17. Recorte de la descripción de los daños en la cuenca del Garona

En los acontecimientos de los años 1963 y 1982, también consta actividad localizada en conos de deyección de barrancos, en afluentes en el Garona y del Valarties.

- Junio 2013. Afecciones en todo el río Garona y caudales ligeramente inferiores a un periodo de retorno de 50 años. Los factores que hicieron que alcanzara tal magnitud fueron las importantes reservas nivales existentes en la cuenca, las elevadas temperaturas los días previos a la avenida y las intensas precipitaciones en un muy corto período de tiempo. Se alcanzaron valores de 233 m³/s medidos justo después de la confluencia con el Valarties y de 145–170 m³/s en la presa de Arties.



Figura 18. Afecciones de la avenida de 2013

- Mayo 2018 Fuertes lluvias en periodo de deshielo provocaron una crecida del nivel del Garona, hasta el punto de superar el caudal los 100 metros cúbicos por segundo en determinadas localidades (Bossost, Vielha), a partir de los cuales se activa el plan de emergencias por riesgo de inundaciones.



Las presas de Arties, Benós y Vielha tuvieron que abrir para dejar paso libre al caudal y evitar la posibilidad de que objetos arrastrados por las aguas las obstruyeran. En el municipio de Arties registró un caudal de 25 metros cúbicos por segundo, asociado al período de retorno $T = 2$ años.

1.3 CARACTERIZACIÓN DEL CAUCE Y DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA.

1.3.1 Detalle de la zona de estudio.

El Pirineo es una cordillera montañosa situada al Norte de la península ibérica, constituyendo una frontera natural entre España y Francia. Se extiende en dirección WNW-ESE a lo largo de 435 km aproximadamente, desde el cabo de Creus en el mar Mediterráneo hasta su unión con la cordillera Cantábrica, En su parte central tiene una anchura de unos 150 km.

En esta cordillera se distinguen tres grandes zonas geográficas, los Pirineos Occidentales, Centrales y Orientales. La zona de estudio se sitúa en los Pirineos Centrales.

La cabecera del río Garona tiene una dirección Este-Oeste en su parte más alta, pasando posteriormente a una orientación Norte-Sur. Esta orientación no es casual en cuanto a que se debe a un control estructural de los cursos fluviales, con un componente Este-Oeste asociado a factores tectónicos como la fracturación y un componente Norte debido a la estructura de la propia cordillera.

El río Garona nace a 1.870 metros de altitud al noroeste del Pirineo catalán, en la comarca del Valle de Arán, recorriendo unos 50 km a lo largo de esta comarca hasta llegar a Francia y posteriormente desembocar en Bordeaux, en el estuario de La Gironda en el Océano Atlántico, atravesando el suroeste del territorio francés. Recorre un total de 647 Km y su cuenca hidrográfica es de 55.000 km², de los cuales el 1 % (578 km²) están en territorio español.



Figura 19. Localización del río Garona

En su margen derecha los afluentes principales son los ríos Unyola, Saliént, Varradòs y Toran, y en la margen izquierda Aiguamòg, Valarties, Negro y Joeu. También recibe aportaciones de agua subterránea procedentes del Aneto, en la cuenca del Esera, debido a la karstificación del macizo montañoso donde se encuentran estas dos cuencas.

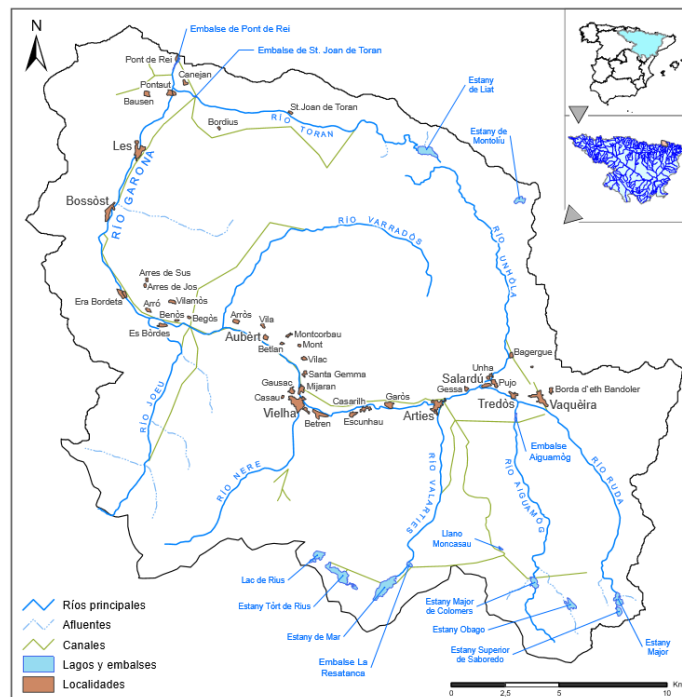


Figura 20. Localización de la zona de estudio. Situación general de la cabecera del río Garona

El flujo estacional del río es irregular, con altos niveles en su origen por las nieves de las montañas en primavera, con niveles más bajos en agosto y septiembre.

Los recursos de la cabecera de la cuenca del Garona se destinan principalmente a la generación de energía. La torrencialidad de sus aguas y su cauce encajado han favorecido al desarrollo de la industria hidroeléctrica, con más de 10 centrales en menos de 50 km de río.

La cabecera del río Garona no pertenece a la cuenca hidrográfica del Ebro, aunque su cabecera forma parte del ámbito del Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro.

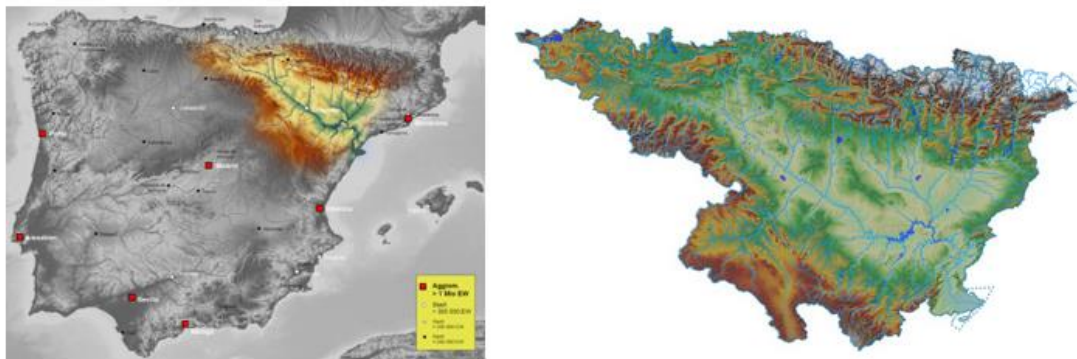


Figura 21. Localización de la zona de estudio

El río Garona tiene una longitud de 51,07 km en su recorrido por España. La altitud de su nacimiento se sitúa a 2.337 msnm y la del paso al territorio francés a 572 msnm. La pendiente media resultante es del 3,39%.

El nacimiento del río Garona se produce en una zona de alta montaña pirenaica recorriendo los primeros 6,5 km sin prácticamente impactos ni en el cauce ni en zonas cercanas. Posteriormente, el paso de infraestructuras y la aparición de núcleos de población hacen que los impactos se incrementen.

El río Garona tiene un total de siete masas según la clasificación de masas de agua de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Hay un total de tres puntos de muestreo biológico en su recorrido, ubicados en la cuarta, sexta y séptima masa de agua en el sentido de la corriente.

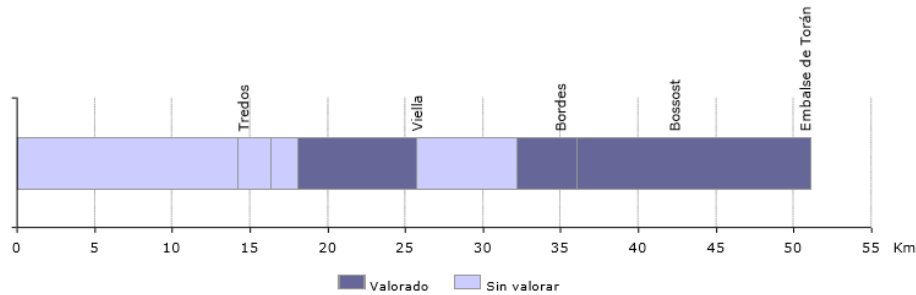


Figura 22. Esquema de masas valoradas del río Garona

El río Garona, pese a contar con estaciones hidroeléctricas a lo largo de su cauce, no tiene obras de regulación de tamaño notable. Pese a ello, sí que se han detectado derivaciones importantes junto con azudes para llevarlas a cabo, suponiendo una detracción importante de caudales en tramos puntuales.

En su avance el cauce del Garona presenta abundantes impactos, especialmente desde que toma dirección E-O. En esta zona se encuentra cercano a la carretera que vertebrada el valle de Arán y que da acceso al puerto de la Bonaigua y a la estación de esquí de Baqueira-Beret, lo que supone frecuentes puentes con defensas, escolleras contra la erosión y otro tipo de impactos. En los núcleos urbanos son habituales las canalizaciones totales, con alteración de margen y lecho.

El corredor ribereño del río Garona es estrecho. En las primeras masas de agua es prácticamente inexistente debido a la importante altura a la que se encuentran. Posteriormente el corredor suele estar constreñido por infraestructuras, como muretes o defensas, con escasa capacidad de movimiento lateral. Se trata de defensas longitudinales adosadas directamente al cauce y, en ocasiones, con movimiento de material del lecho y regularización de éste. Algunos tramos aparecen totalmente canalizados, como en la localidad de Arties o en la propia Viella. También se aprecian algunas escombreras o actuaciones cercanas al cauce que acaban limitando aún más su capacidad de generar cambios y dinámica. La concentración del flujo y la imposibilidad de movilidad lateral conlleva una cierta tendencia a la incisión lineal, reforzada por la importante pendiente de estas zonas aún cercanas a la cabecera del río. En municipios como Arties, la carretera circula paralela al cauce, limitando así el posible desarrollo del río.

Los caudales se encuentran escasamente alterados tanto en el apartado líquido como sólido. Sin embargo existen impactos notables en la llanura de inundación utilizada como eje vertebrador de infraestructuras de comunicación.



Figura 23. Río Garona a su paso por la localidad de Arties

1.3.2 Topografía.

Como se ha comentado anteriormente, la cuenca del río Garona, aunque no pertenece a la cuenca hidrográfica del Ebro, se incluye en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro. Sus aguas toman dirección norte desde su nacimiento para desembocar en el Océano Atlántico.

La cuenca del Garona es de alta montaña por encontrarse a más de 1000 msnm. Más del 30% del territorio de la cabecera del Garona se encuentra por encima de los 2.000 m de altitud, con combinaciones de picos que superan los 3.000 m, que dan paso a valles profundos y espesas masas forestales, pastos y lagos, siendo estos últimos, algunos de gran superficie y ubicados en zonas de erosión glaciaria, una de sus principales peculiaridades.

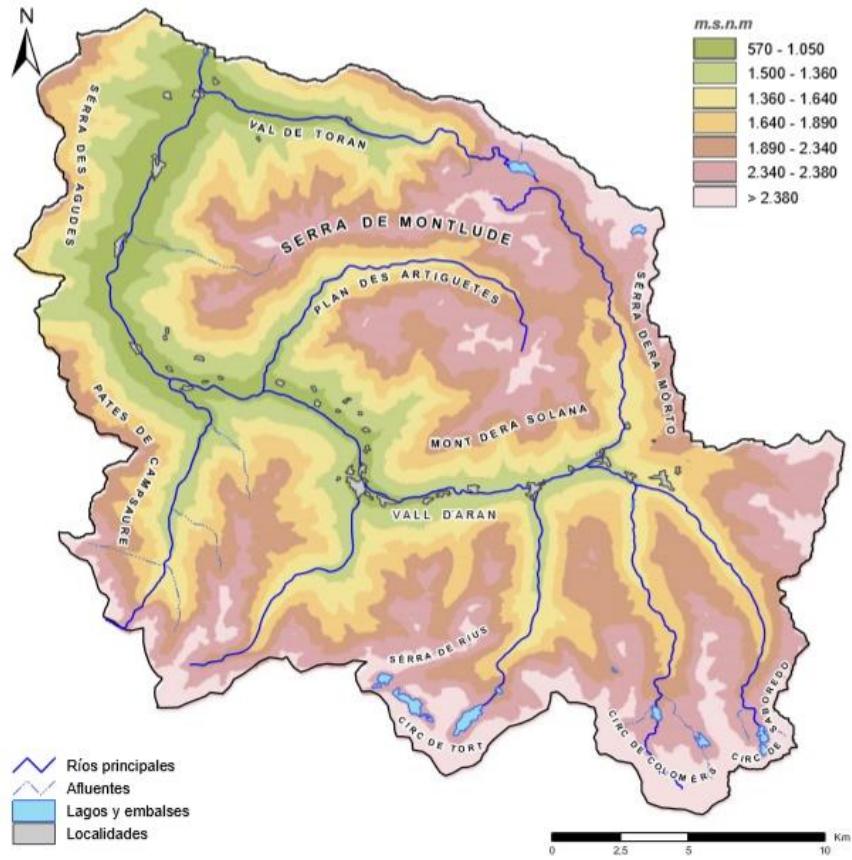


Figura 24. Topografía de la cabecera del río Garona

El área de estudio es de 1,75 km² aproximadamente, según se muestra en la siguiente fotografía:



Figura 25. Delimitación de la zona de estudio. Elaboración propia



Figura 26. Tramos estudiados de los ríos Garona y Valarties. Elaboración propia

El tramo del río Garona estudiado tiene una longitud de 1.750 m, siendo el tramo del Valarties de 1.500 metros aproximadamente. En general la morfología fluvial de la zona es de cauce único, sobre todo en sus pasos por los diferentes núcleos de población, donde se encuentra con frecuencia encajonado entre muretes o defensas, con escasa capacidad de movimiento lateral. En la confluencia de los ríos Garona y Valarties, (UTM 817630 – 4735225), el nivel es de 1.157 msnm.

Se ha realizado un levantamiento topográfico de la zona por medio de un Modelo Digital de Elevaciones con paso de malla de 2 m. De la misma manera se ha realizado un mallado 3D con software HEC-RAS, y a partir de esa topografía, se ha designado el área de estudio, teniendo en cuenta las singularidades.

1.3.3 Clima.

El Valle de Arán, situado en la vertiente norte de los Pirineos, tiene un clima completamente diferente al resto de Cataluña. Con gran parte del territorio por encima de los 2.000 m de altitud, la cuenca funciona como una barrera al aire húmedo del Atlántico, dando lugar a un ambiente húmedo y frío durante todo el año, con temperaturas más frías en comparación con el resto del país, pero similares a las del clima de Europa central. El clima es atlántico, con inviernos moderados, y en los fondos del valle, con ambientes húmedos y templados

incluso en verano. La temperatura media varía entre $8,6^{\circ}\text{C}$ en la cabecera y 10°C en el valle. Estos datos provienen de las estaciones de la Agencia Estatal de Meteorología, situadas a lo largo del valle.

En el Valle de Arán las precipitaciones son regulares durante todo el año, estando en torno a los 1.000 y 1.200 mm/año. Las montañas que rodean el valle retienen gran parte de la humedad del aire en forma de lluvia o de nieve.

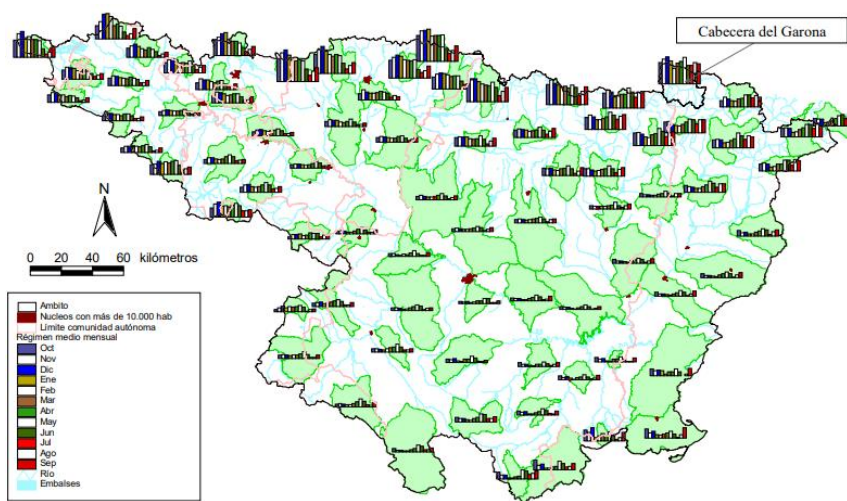


Figura 27. Régimen mensual de las precipitaciones de la cuenca del Ebro

Como se ha comentado existen diversas estaciones meteorológicas, de las que se han destacado las siguientes, situadas en las partes altas, medias y bajas del valle:

- La estación meteorológica de Vielha registra una temperatura media mensual de $9,7^{\circ}\text{C}$, con una oscilación media de temperaturas entre $15,5$ y 4°C . La temperatura máxima diaria observada en la estación ha sido de 41°C y la mínima de -20°C .

- La estación meteorológica de Benòs señala una temperatura media mensual de $8,6^{\circ}\text{C}$, con una oscilación media de temperaturas entre 14 y $3,2^{\circ}\text{C}$. La temperatura máxima diaria registrada en la estación ha sido de 39°C y la mínima de -19°C .

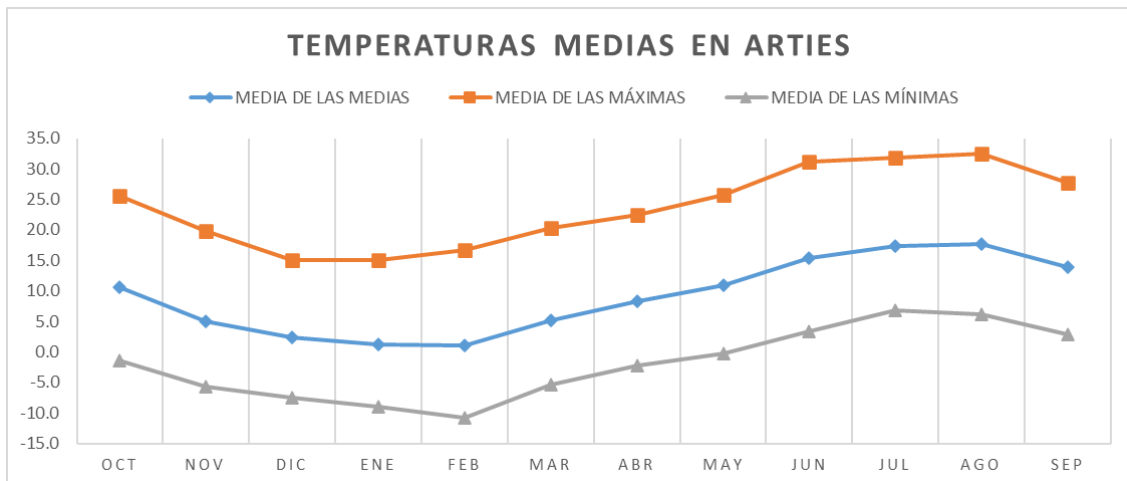
- La estación meteorológica de Bossòst presenta una temperatura media mensual de 10°C , con una oscilación media de temperaturas entre $15,8$ y $4,3^{\circ}\text{C}$. Señala una temperatura máxima diaria de 39°C y mínima de -17°C .

De la misma manera, se han analizado los datos recogidos en la estación de Arties, de la que se han obtenido datos de la Agencia Estatal de Meteorología, recreando las siguientes tablas y gráficas:

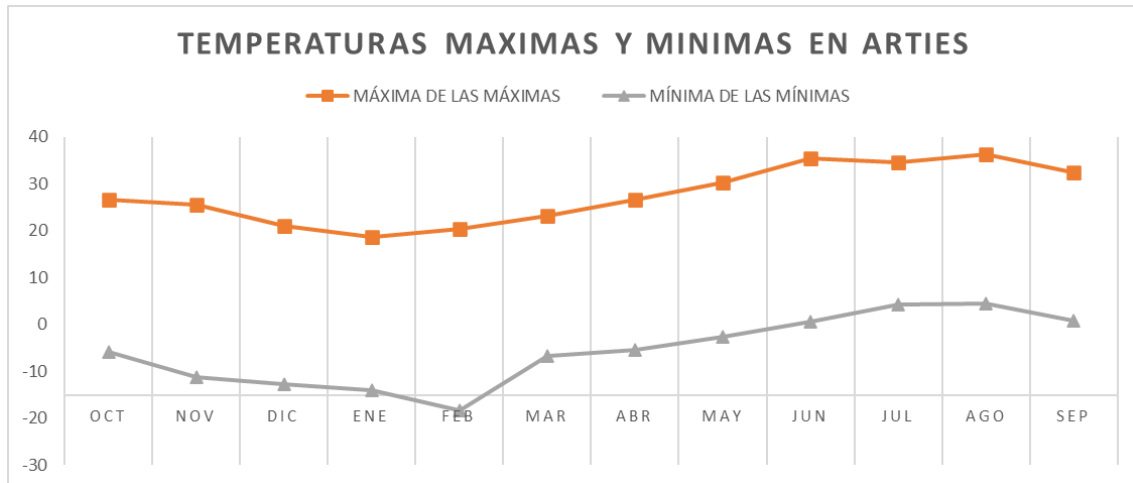
ESTADÍSTICAS DE LA ESTACIÓN DE ARTIES DE 2011 A 2020

TEMPERATURAS	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
MEDIA DE LAS MEDIAS	10.6	4.9	2.3	1.2	1.0	5.1	8.4	10.9	15.3	17.4	17.6	13.9
MEDIA DE LAS MÁXIMAS	25.6	19.8	15.0	15.1	16.7	20.3	22.4	25.8	31.2	31.8	32.4	27.7
MEDIA DE LAS MÍNIMAS	-1.4	-5.7	-7.5	-9.0	-10.7	-5.4	-2.3	-0.3	3.4	6.8	6.2	2.8
MÁXIMA DE LAS MÁXIMAS	26.7	25.5	21	18.7	20.3	23.1	26.7	30.2	35.4	34.5	36.3	32.4
MÍNIMA DE LAS MÍNIMAS	-5.8	-11.3	-12.8	-14.1	-18.3	-6.7	-5.5	-2.7	0.5	4.3	4.4	0.8

Tabla 1. Temperatura de la estación de Arties



Gráfica 1. Temperaturas medias en Arties



Gráfica 2. Temperaturas máximas y mínimas en Arties

Otro hecho a destacar es el carácter excedentario de la cuenca, donde la evapotranspiración media oscila entre los 500 mm/año en la parte alta y 600 mm/año en las partes más bajas del valle.

1.3.4 Geología.

Según la Carta Magna 50 N° 149-ISIL, del IGME, geográficamente, la cabecera del Garona se encuentra en la parte central de la Zona Axial de la Cordillera Pirenaica. Esta unidad es una franja de dirección E-O que se sitúa en la parte central del Pirineo y constituye el eje de la cadena. La estructura de esta zona axial es muy compleja, resultado de la superposición de las orogenias hercínica y alpina.

El Valle de Arán está constituido por los materiales más antiguos de la cordillera, que pueden agruparse en tres grandes unidades: el basamento o zócalo Paleozoico (las rocas más antiguas de la cordillera), la cobertera Mesozoica y Terciaria, y los terrenos post-orogénicos y Cuaternarios. Los materiales del basamento que afloran son rocas meta-sedimentarias del Paleozoico deformadas por la orogenia hercínica y alpina. Entre ellos, se encuentran materiales que van desde el Ordovício hasta el Pérmico, de variadas litologías como lutitas, calizas, cuarcitas, pizarras, filitas, calcosquistos, ampelitas y cuarcitas de la Maladeta. (La serie paleozoica se puede sintetizar en cinco sistemas de edades: Cambro – Ordovícico, Silúrico, Devónico, Carbonífero y Pérmico)

El Devónico representa la serie de mayor extensión superficial, de gran variedad litológica, lo que hace difícil determinar una correlación entre las diferentes unidades litoestratigráficas. En la cuenca se agrupan alternancias de areniscas



y lutitas, calizas y alternancias de calizas y pizarras, según una proporción variable y con potencias que pueden superar los 1.000 m.

Su orientación en la vertiente norte de los Pirineos favoreció la formación de glaciares cuaternarios que dejaron huella en el relieve actual del valle de Arán, algunos de ellos aún existen y constituyen los neveros de mayores dimensiones del Pirineo español.

En el Anejo 1 se analiza con mayor detalle la geología de la cuenca.

1.3.5 Usos del suelo. rugosidad. usos agrícolas y forestales.

Los usos del suelo comprenden las acciones, actividades e intervenciones que realizan las personas sobre un determinado tipo de superficie para producir, modificarla o mantenerla.

En un estudio de inundabilidad, cobra gran importancia el estudio de los usos del suelo de la zona, estimando las diferentes áreas dedicadas a diversas actividades. La rugosidad en la llanura de inundación depende fundamentalmente de los usos del suelo presentes en la misma.

A partir de herramientas como el SIOSE (Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España), integrado dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT) que genera una base de datos de Ocupación del Suelo para toda España a escala de referencia 1:25.000, se ha obtenido información de la cuenca hidrográfica del Río Garona, realizando una clasificación de ésta en cuanto a la vegetación y los usos de estos suelos.

La cabecera del río Garona presenta un paisaje poco intervenido. La ocupación del terreno está dominada por formaciones boscosas que comprenden el 50% del territorio, y prados y pastizales que representan el 35%.

Dentro de las formaciones boscosas predominan los bosques de coníferas con hojas aciculares, propios de las altas montañas. La extensión de estas masas de bosque sólo es superada por los pastizales supra forestales templado-oceánicos, presentes en el 29% del valle.

El riesgo de inundación de una zona no es invariable con el paso del tiempo, ya que se ve afectado tanto por cambios y episodios climáticos, como por las acciones antrópicas que se puedan desarrollar en el territorio. Son estas actividades antrópicas una de las causas principales, ya que cambian los usos del suelo, modificando la impermeabilización, rugosidad, aumentando la escorrentía, el transporte de sedimentos, la recepción y/o acumulación de aguas, o las canalizaciones e impermeabilizaciones del lecho que se suceden en varios municipios del valle, provocando con ello una sensación de seguridad

falsa. El aumento de la velocidad del flujo, así como, la concentración del caudal provoca una disminución de la rugosidad del lecho por la ausencia de vegetación y sedimentos. Todo esto supone un aumento de los efectos de las avenidas extremas.

Se ha de realizar un control y una planificación eficaz de estos usos del suelo y de la ocupación del territorio en cuanto a que las zonas de riesgo han de ser destinados a usos recreativos o de ocio al aire libre como parques o jardines, o usos agrícolas. Se ha de prever una llanura de inundación a la hora de realizar cualquier modificación de los usos del suelo.

DESCRIPCIÓN DE LOS USOS DEL SUELO	SUPERFICIE (Km2)	PORCENTAJE (%)
Pastizales supraforestales templado-oceánicos, pirenaicos y orocantábricos.	158.63	28.75%
Bosques de coníferas con hojas aciculares.	128.58	23.30%
Landas y matorrales en climas húmedos. Vegetación mesófila.	51.14	9.27%
Rocas desnudas con fuerte pendiente. (acantilados, etc.)	41.34	7.49%
Bosque mixto.	38.46	6.97%
Bosque de caducifolias y marcescentes.	35.78	6.48%
Prados y praderas.	24.43	4.43%
matorral boscoso de coníferas.	20.53	3.72%
Espacios orófilos altitudinales con vegetación escasa.	20	6.62%
Afloramientos rocosos y canchales.	11.1	2.01%
Otros pastizales templado oceánicos.	8.08	1.46%
* Usos menores al 1%	13.77	2.49%
TOTAL	551.81	100%

Tabla 2. Principales usos del suelo de la cabecera del Garona

* INCLUYE: "Embalses", "Lagos y lagunas", "Matorral boscoso de bosque mixto", "Matorral boscoso de frondosas", "Matorrales subarbustivos o arbustivos muy poco densos", "Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en secano", "Otros pastizales mediterráneos", "Tejido urbano continuo" y "Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas".

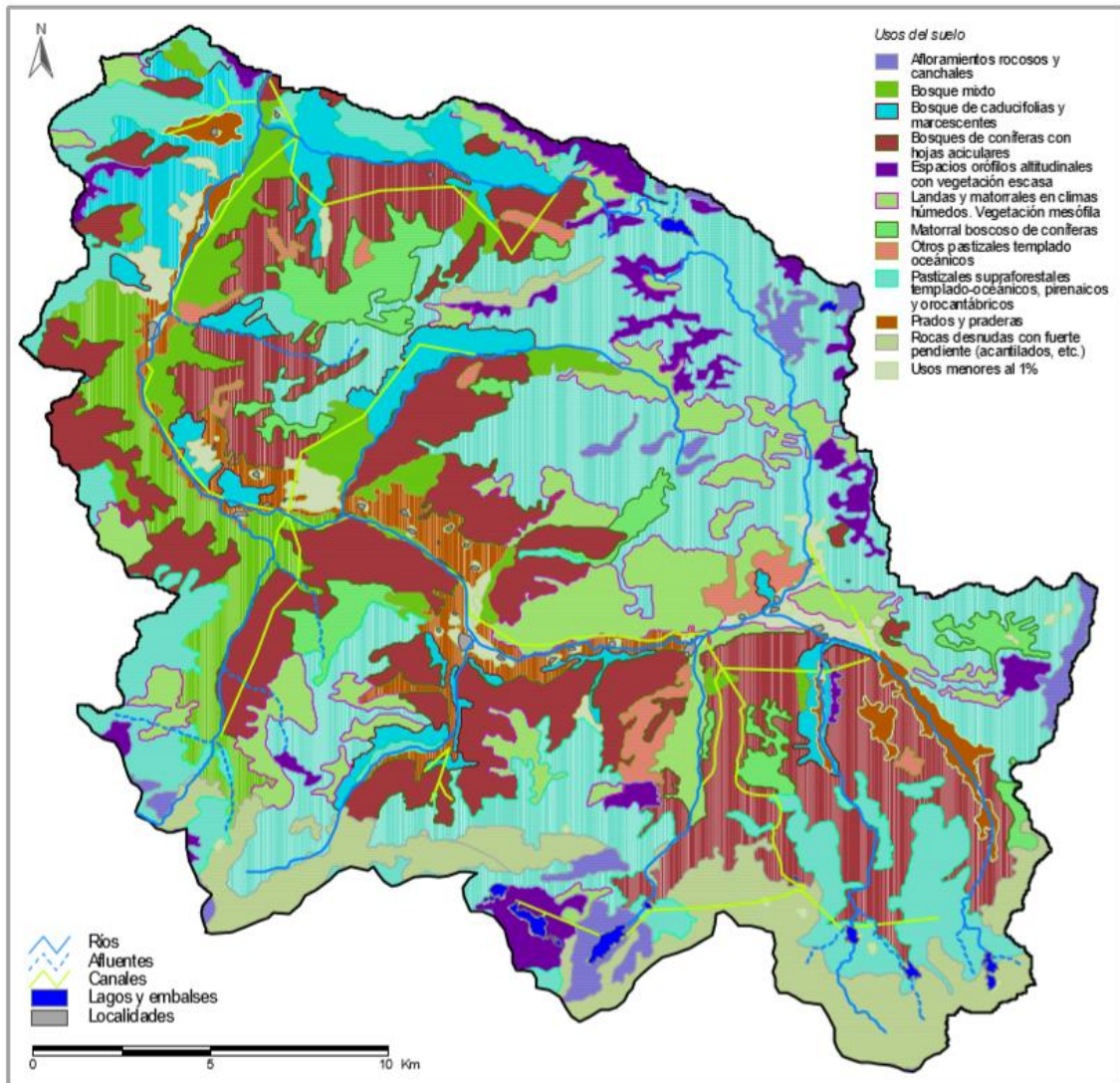


Figura 28. Mapa de usos del suelo del año 2000 de la cabecera del río Garona (según Corine LandCover)

A continuación, se muestra un mapa en detalle de los usos del suelo del término municipal de Arties. Posteriormente, se adjunta una leyenda en la que se identifican los diferentes usos más representativos según los números asociados a los diferentes elementos del mapa original.

- En el propio municipio, se aprecian usos del suelo urbanos (1, 2, 6) según la numeración asociada, tanto de zonas residenciales como sin uso económico, de infraestructuras de transporte (4), infraestructuras de suministro (5), incluso terciarios, asociados a servicios comerciales (3).
- En el margen derecho del río Garona, al norte del municipio, los usos se refieren exclusivamente a vegetación, diferenciando entre aquellos



dedicados a la agricultura y aquellos sin uso económico. Las zonas 10, 12, 13, 14 son las que no tienen uso económico. 10, 12, 13 son combinaciones de vegetación, mientras que 14 es exclusivamente arbolado forestal. Los usos dedicados a la agricultura, se asocian al número 11, cultivos herbáceos. De la misma manera, también se tienen prados (7).

- En la margen izquierda del río, al sur del municipio, se observan prados (7), arbolados forestales (8, 15), con usos del suelo forestales. También se aprecian combinaciones de vegetación sin uso económico (13) o infraestructura de residuos asociada a minas y canteras (16), debido a la existencia de una explotación minera en las orillas del Valarties.

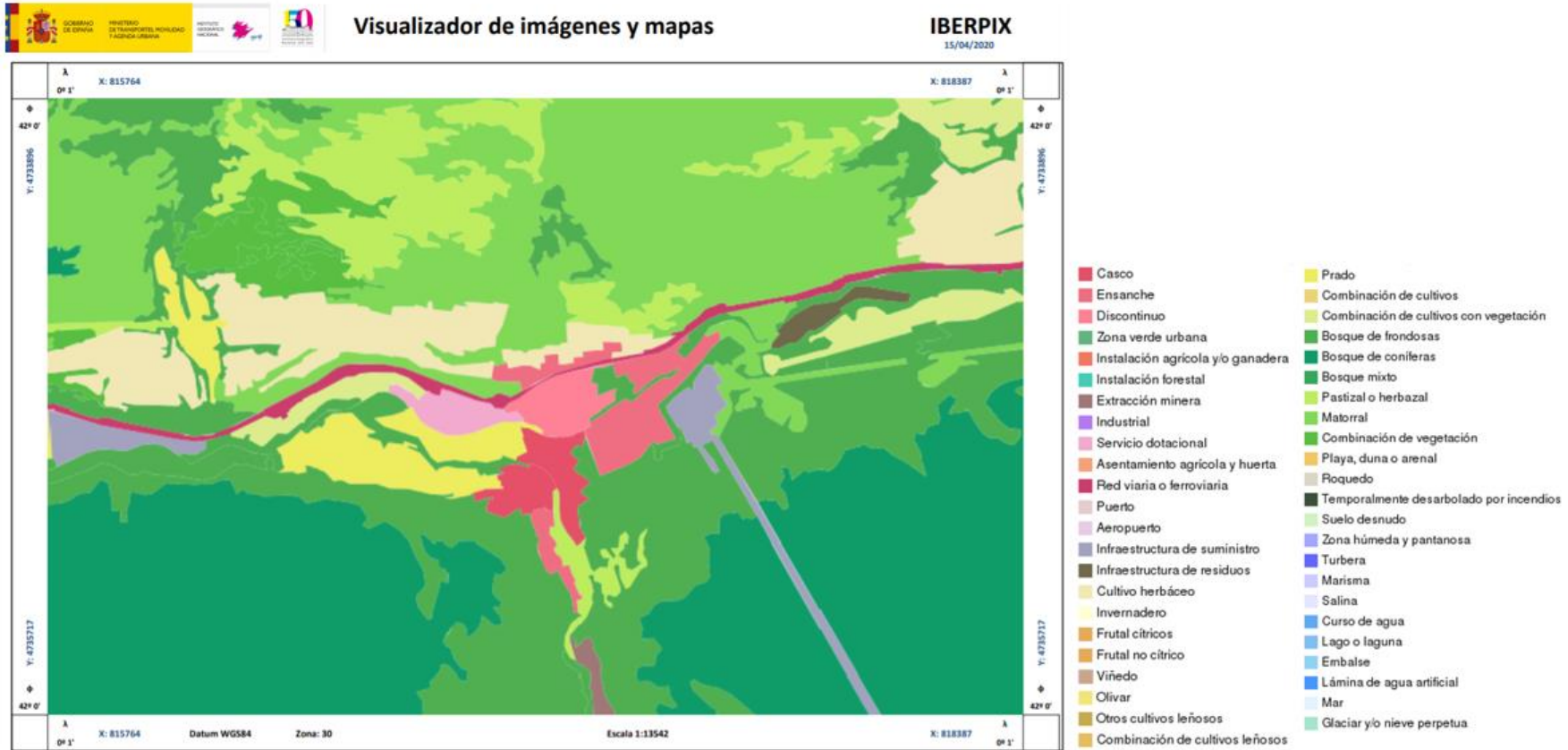


Figura 29. Mapa de los usos del suelo según Corine

En base al visualizador de imágenes de IBERPIX y la leyenda proporcionada se han identificado los siguientes usos del suelo:

	CODIGO IBERPIX	CUBIERTA TERRESTRE IBERPIX	CODIGO CODIIGE	CUBIERTA TERRESTRE CODIIGE	CODIGO USOS DEL SUELO	USOS DEL SUELO
1	810	Urbano	113	Discontinuo	660	Zonas terrestres sin uso económico
2	810	Urbano	112	Ensanche	500	Residencial
3	840	Terciario	140	Servicio dotacional	310	Servicios comerciales
4	880	Infraestructuras de transporte	161	Red viaria o ferroviaria	410	Redes de transporte
5	890910	Infraestructuras de suministro	171	Infraestructura de suministro	430	Utilidades
6	810	Urbano	111	Casco	500	RESidencial
7	290	Prados	240	Prado	110	Agricultura
8	310	Arbolado forestal	311	Bosque de frondosas	120	Forestal
9	200310	Combinaciones de Cultivos y Vegetación	260	Combinación de cultivos on vegetación	110	Agricultura
10	310320	Combinaciones de Vegetación.	330	Matorral	631	Zonas terrestres sin uso económico
11	210	Cultivos herbáceos	210	Cultivo herbáceo	110	Agricultura
12	310320	Combinaciones de Vegetación.	340	Combinación de vegetación	631	Zonas terrestres sin uso económico
13	310320	Combinaciones de Vegetación.	320	Patizal o herbazal	631	Zonas terrestres sin uso económico
14	310	Arbolado forestal	311	Bosque de frondosas	631	Zonas terrestres sin uso económico
15	310	Arbolado forestal	312	Bosque de coníferas	120	Forestal
16	890910	Infraestructuras de suministro	171	Infraestructuras de suministro	430	Utilidades
17	920	Infraestructuras de residuos	172	Infraestructura de residuos	130	Minas y canteras

Tabla 3. Identificación de los usos del suelo en la zona de estudio

Según Gurrera. J y Capdevila. S (2016), distinguen los distintos tipos de suelo:

Existen tres tipos de suelo urbano, urbanizable y no urbanizable.

Suelo urbano: Las Normas Subsidiarias precisan la ordenación física de forma detallada, a través de la delimitación de los suelos según sea su destino:

- a) viales y aparcamientos.
- b) jardines, parques urbanos y zonas deportivas.
- c) suelos de interés público y social susceptibles de edificación para dotaciones, equipamientos y edificios públicos.
- d) suelos privados y edificables.

Suelo urbanizable: Está integrado por las Áreas aptas para la Urbanización. Las Normas Subsidiarias determinan los sectores de desarrollo en Planes Parciales y los elementos fundamentales de la estructura urbana (los sistemas generales) y establecen, a través de la calificación urbanística en zonas, la regulación genérica de los diferentes usos globales y de sus niveles de intensidad.

En este tipo de suelo, la disposición detallada del suelo para red viaria, aparcamientos, jardines urbanos, dotaciones y edificación privada resultará de la ordenación que proponga el Plan Parcial de conformidad con estas Normas, si bien, estas últimas fijan en algunos casos de forma indicativa, la distribución de la red viaria y los servicios técnicos. Los Planes



Parciales deberán respetar las servidumbres de paso existentes para el acceso en zonas agrícolas adyacentes.

El suelo urbanizable, además de por el tipo de suelo, también se clasifica según su uso: por su función y por su naturaleza.

A – Según su función:

1. Uso residencial, que comprende el edificio destinado a vivienda o residencia familiar. Se establecen las categorías siguientes:

a) Vivienda unifamiliar. Es el edificio para vivienda situado en parcela independiente, en edificio aislado o agrupado horizontalmente y con acceso independiente o exclusivo.

b) Vivienda. Es el edificio para vivienda plurifamiliar con acceso y elementos comunes.

2. Uso hotelero, que comprende los edificios destinados a alojamiento temporal para transeúntes como pueden ser hoteles, apart-hoteles, moteles y, en general, los del ramo de hostelería.

3. Uso comercial. Es el uso que corresponde a locales abiertos al público destinados al comercio al por mayor y al detalle, almacenes exclusivamente comerciales y locales destinados a prestación de servicios privados al público, como pueden ser peluquerías, salones de belleza, lavado, planchado, bares, restaurantes y similares. Los usos comerciales que, por sus características –materias manipuladas o almacenadas o medios utilizados originen molestias o generen riesgos a la salubridad o a la seguridad de las personas o de las cosas, se registrarán por lo que se establece para el uso industrial.

4. Uso de oficina, que incluye el de las actividades administrativas y burocráticas de carácter público o privado, los de banca, bolsa y seguros y los que, con carácter análogo, pertenecen a empresas privadas o públicas y los despachos profesionales.

5. Uso industrial.

Comprende las siguientes categorías:

1ª Las industrias de obtención, transformación y transporte de bienes.

2ª Los almacenes destinados a la conservación, guarda y distribución de productos, con exclusivo abastecimiento a detallistas, mayoristas, instaladores, fabricantes o distribuidores o sin servicio de venta directa.

3ª Garajes.



4ª Los talleres de reparación y de las estaciones de servicio y lavado de vehículos.

5ª Las actividades que, por los materiales utilizados, manipulados o despachados, o por los elementos técnicos empleados, puedan ocasionar molestias, peligros o incomodidades a las personas, o daños a los bienes.

Diferentes de los usos industriales definidos en este artículo son los usos extractivos (de explotación de minas o pedreras), agrícolas, pecuarios, forestales que se regulan según lo dispuesto en la legislación específica en la materia y, en su caso, por lo que se dispone en estas Normas.

6. Uso sanitario-asistencial.

a) Uso sanitario-asistencial es el correspondiente al tratamiento o alojamiento de enfermos. Comprende los hospitales, sanatorios, clínicas, dispensarios, consultorios y similares.

b) El uso sanitario-asistencial también incluye las clínicas veterinarias y establecimientos similares.

c) También comprende los edificios destinados al alojamiento comunitario como asilos, hogares de ancianos, etc.

7. Uso educativo. Este uso comprende la enseñanza en todos los grados y modalidades.

8. Uso socio-cultural y religioso. Este uso comprende las instalaciones como museos, bibliotecas, salas de conferencias, salas de arte y similares, y el de actividades de tipo social y religioso, como pueden ser los centros de asociaciones, agrupaciones, colegios, templos y similares.

9. Uso recreativo. El uso recreativo es el referente a las manifestaciones comunitarias del descanso y el recreo no comprendido en ninguna otra calificación. Este uso incluye el de los espectáculos de toda clase, incluso los deportivos, así como los cámpines.

10. Uso deportivo. Este uso incluye el de los locales o edificios condicionados para la práctica y enseñanza de los ejercicios de cultura física y deportes.

11. Uso administrativo. Comprende las instalaciones y edificios referentes a cualquier Administración Pública.

12. Abastecimiento. Comprende instalaciones como mercados y mataderos.

13. Cementerio.



14. Uso agrícola, ganadero y forestal. Incluye todas las actividades de cultivo y directamente derivadas de éstas, así como las explotaciones forestales y ganaderas.

15. Uso de vialidad. Es el uso que corresponde a los espacios utilizados exclusivamente para el tránsito de vehículos y personas. También incluye los espacios y edificios utilizados para el aparcamiento de vehículos.

B – Por su naturaleza:

Por su naturaleza, los usos se dividen en públicos, colectivos y privados.

- a) Se consideran usos públicos, aquellos que se desarrollan en terrenos e instalaciones de propiedad pública.
- b) Se considera uso colectivo el de carácter privado relacionado con un grupo determinado de personas, relación que se define normalmente por el pago de cuotas, precios o tasas.
- c) Se considera uso privado el que se desarrolla en bienes de propiedad privada.

Suelo no urbanizable: Constituyen el suelo no urbanizable los terrenos que el planeamiento general no incluya en ninguna de las clases de suelo anteriores y, en particular, los espacios que dicho planeamiento determine para otorgarles una especial protección, en razón de su excepcional valor agrícola, forestal o ganadero, de las posibilidades de explotación de sus recursos naturales, de sus valores paisajísticos, históricos o culturales, o para la defensa de la fauna, la flora o el equilibrio ecológico. Estará sujeto a las limitaciones que establecen los artículos 86 (Planes Especiales de protección del paisaje) y 88 (Protección de otros espacios) de la Ley del Suelo Real Decreto Legislativo 1/1992, de 26 de junio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley sobre el Régimen del Suelo y Ordenación Urbana.

Las posibles ocupaciones del suelo vienen dadas por una clasificación de usos simples (cuando éstos sean únicos en el polígono) y compuestos (cuando éstos se encuentren formados por dos o más usos simples y/o compuestos a su vez) que pueden llevar atributos asociados. En función del tipo de combinación, el uso compuesto será asociación o mosaico. La asociación es la combinación de usos que se encuentran mezclados sin distribución geométrica ordenada. El mosaico es la combinación de usos cuya distribución geométrica y separación entre ellos es claramente perceptible.

El valor del coeficiente de rugosidad de Manning en el caso de los usos compuestos de tipo mosaico (regular e irregular) y de las asociaciones del SIOSE, se obtendrá como media de los números de Manning correspondientes a los usos simples que los integran ponderados según los porcentajes de superficie en los que están presentes.

Para su obtención se han realizado los siguientes pasos:

- Superposición de los polígonos del SIOSE con las herramientas de los SIG sobre la ortofoto suministrada con el MDT del LIDAR.
- Corrección de los polígonos de usos del suelo en caso necesario. En este caso se introdujeron los cambios asociados a las actuaciones y a las variaciones de la morfología del cauce producidas por la avenida.
- Asignación de valores del coeficiente de rugosidad de Manning a los polígonos de usos del suelo tomando como punto de partida los valores de las tablas que se adjuntan en la guía metodológica del SNCZI.
- Revisión de los valores del coeficiente de rugosidad de Manning en función de la densidad de la vegetación o de las edificaciones en la zona de estudio.

En base a los datos recabados se generará una capa de rugosidades asociada a los diferentes usos del suelo para la modelización en HEC-RAS 5.0.

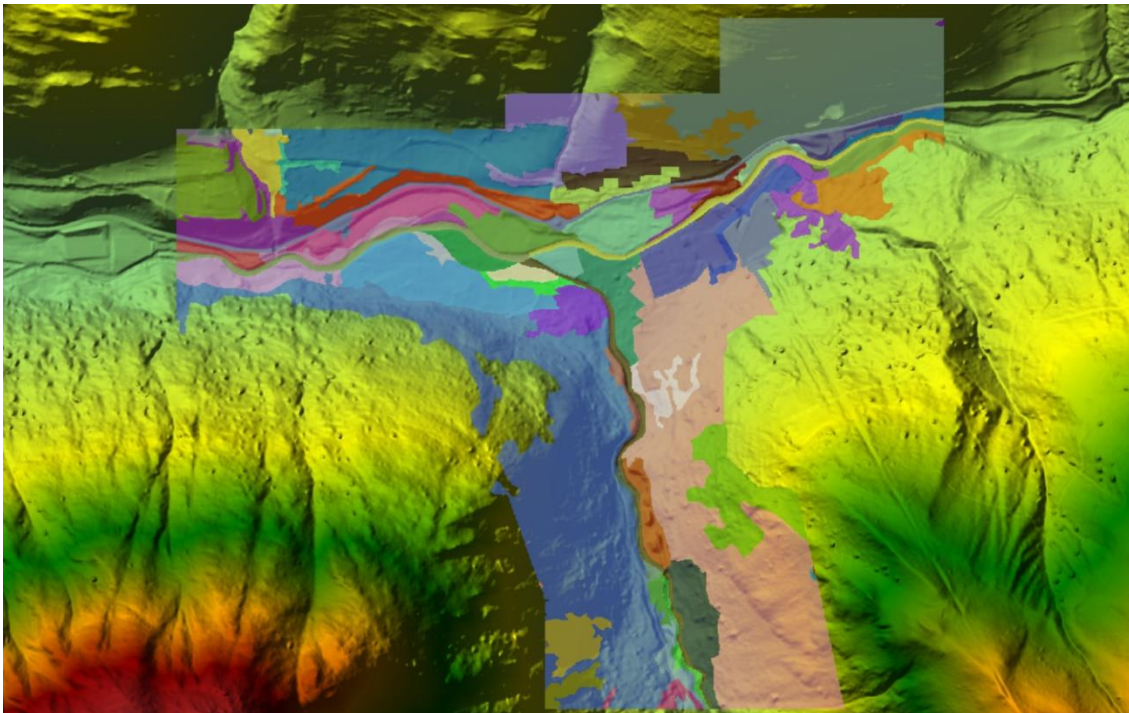


Figura 30. Rugosidades introducidas en HEC-RAS según Corine



1.3.6 Caudales ecológicos.

Actualmente, el caudal mínimo que se ha de respetar en el Garona, manteniendo así las condiciones ecológicas mínimas, corresponde al 10% de la aportación que circula en régimen natural, según el Plan Hidrológico de 1996. Estos caudales son de 740 l/s para el Garona y de 210 l/s para el Valarties (En las estaciones de aforo de Arties)

Comparando los registros de caudales medios, con el caudal ecológico establecido en el Plan de Cuenca, se obtiene una aproximación del estado de los ríos, en relación con los caudales ecológicos. A modo de conclusión:

- El río Garona, desde su nacimiento hasta Arties no cumple el caudal mínimo el 65% de los días del año, circulando con un déficit medio de 370 l/s, lo que supone la mitad del caudal ecológico establecido. Este hecho se debe a la derivación de caudal hacia la central hidroeléctrica de Arties.
- El río Valarties registra un elevado número de días en los que se incumplen los caudales mínimos, llegando a fallar el 60% de los días del año, faltando unos 70 – 95 l/s de media.

En la línea de lo que se comenta en el siguiente apartado, la irregularidad en estos caudales ecológicos puede llegar a explicarse por la permeabilidad del terreno o por los caudales que dependen de la fusión nival.

En los últimos años se han desarrollado nuevos métodos y parámetros para la determinación de los caudales mínimos, y en muchos casos, los valores obtenidos superan ampliamente el 10% propuesto en el Plan Hidrológico de Cuenca. El 'método del caudal básico' que se viene empleando actualmente en las estaciones de aforo, arroja unos valores de caudal ecológico desde el 30 hasta el 60% del caudal medio que circula en régimen natural, modulado mensualmente.

La aplicación de estos métodos para la obtención de los caudales mínimos requiere de un análisis riguroso de las disponibilidades reales del agua, y del estado de los derechos del agua. Es por ello que la propuesta de nuevos caudales mínimos debe realizarse en el marco de un proceso de concertación social con un análisis previo de los costes económicos que implicaría su modificación y aplicación.

Actualmente, en la cabecera del Garona, no se han realizado este tipo de aproximaciones globales a la definición de los caudales mínimos.



1.3.7 Acuíferos.

En este apartado se valora la existencia de acuíferos de importancia en la zona. Según el Plan Hidrológico de la Cabecera del Garona de la CHE, se han definido 105 masas de agua subterránea en la cuenca del Ebro.

La totalidad de la cabecera del Garona se encuentra dentro de la masa de agua subterránea *034 Macizo Axial Pirenaico*. La compleja estructura geológica de esta masa favorece la presencia de diversos niveles de acuíferos independientes. Predominan los acuíferos de alta montaña permeables por fisuración o carstificación (calizas del Paleozoico), de permeabilidad alta, y con menor importancia, los colusiones, morrenas y aluviales del Cuaternario.

Debido a las complicadas características geométricas de los niveles carbonatados fracturados y deformados presentes en una serie de baja permeabilidad, no se puede hablar de la existencia de un acuífero único.

En el valle de Arán se ha identificado un sistema kárstico independiente, con áreas de recarga y descarga propias. El mecanismo principal de recarga es la infiltración de la precipitación sobre las zonas de mayor permeabilidad relativa. Cobra una gran importancia la recarga por la fusión nival. Este hecho condiciona los caudales registrados, con mínimos registrados a finales de invierno, por la retención de la escorrentía por la helada, y los máximos entre finales de mayo y principios de junio, coincidiendo con el periodo de máxima fusión de nieve.

Por otra parte, la descarga de los acuíferos se da mediante manantiales que emergen en zonas de contacto con materiales con permeabilidades más bajas o bien, por la existencia de fracturas.

2. ESTUDIO HIDROLÓGICO.

2.1 CAUDALES.

En este apartado de Caudales, se realiza una comparación y discusión de los datos de caudales obtenidos de la página oficial de la CHE y del programa CAUMAX.

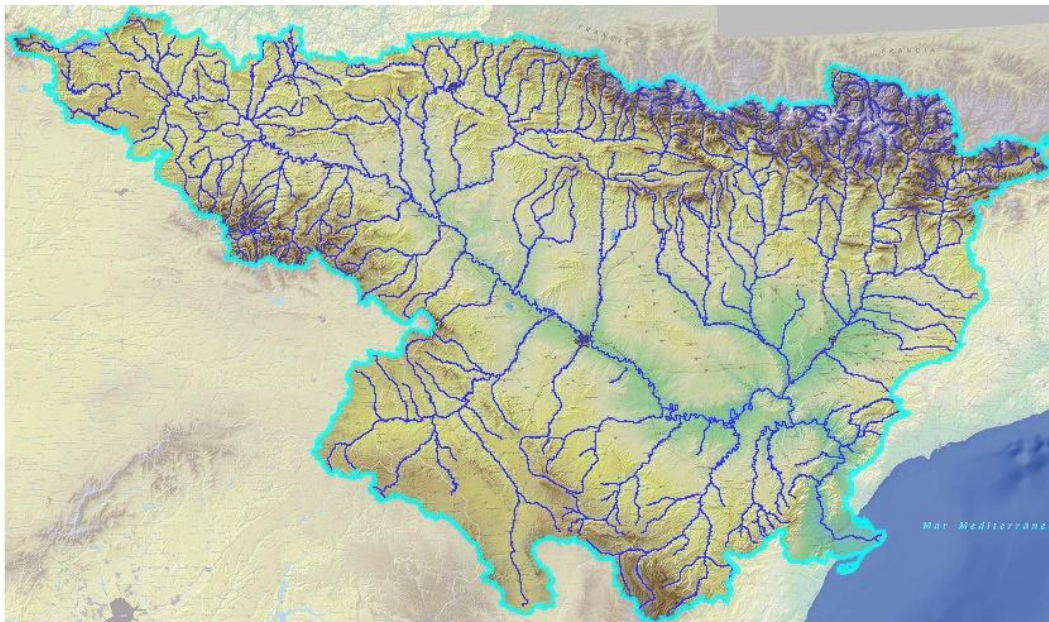


Figura 31. Interfaz del programa CAUMAX

Según la página web oficial SAIH de la Confederación Hidrográfica del Ebro, en la estación de aforos de Arties A143 del Garona en Arties, se han obtenido los siguientes datos de caudales para la máxima crecida ordinaria, asociada con un período de retorno de 3.5 años, así como los caudales asociados a los períodos de retorno de 10, 100 y 500 años, siendo 77, 243 y 422 m³/s, respectivamente. En el Anejo 2 se muestran los datos obtenidos del archivo de datos de la CHE.

Para este estudio se tomarán los datos para períodos de retorno de 3.5, 10, 100 y 500 años.

Description		Flow	comment			
Maximum ordinary flood		37	Associated with return period 3.5 Years			
Flood flows with return period of:						
Period	Flow	comment				
2 Years	24	Natural flow regime				
5 Years	50					
10 Years	77					
25 Years	133					
100 Years	243					
500 Years	422					
Maximum levels and flow rates recorded in the SAIH period (instantaneous maximum values) 2011 - actualidad						
By levels			By flow rate			
Date	Hiegh m	Flow	comment	Date	Hiegh m	Flow
18/06/2013	1,66	50	The sections of the gauging stations and flow conditions can change over time, so that the same level can be translated into different flow rates depending on the moment. The possible inconsistencies that can be observed between these two tables are due to the fact that the sections of the gauging stations and the flow conditions can change over time, either due to natural or anthropogenic processes. The consequence of this is the change in the rating curves that relate level and flow, so that the same level can be translated into different flow rates depending on the moment.	18/06/2013	1,66	50
27/05/2018	1,09	24		27/05/2018	1,09	24
20/12/2019	1,08	23		05/05/2015	1,05	23
08/05/2018	1,06	22		20/12/2019	1,08	23
05/05/2015	1,05	23		08/05/2018	1,06	22

Figura 32. Caudales para diferentes periodos de retorno

De la misma manera, en la parte baja de la Ilustración 1, se muestran los últimos 5 eventos significativos que se registraron en la estación, tanto de caudal como de altura de la lámina de agua a su paso por la estación.

Con el fin de elaborar un estudio hidrológico lo más fiable posible, con un mejor tratamiento de los datos empleados y, por ende, la obtención de resultados más ajustados para la simulación en Hec-Ras de las diferentes avenidas, también se ha hecho uso del programa CAUMAX del CEDEX, una aplicación informática desarrollada dentro de un Convenio de colaboración entre el MAGRAMA y el CEDEX para consultar los caudales máximos instantáneos en régimen natural asociados a distintos períodos de retorno para los cauces con una cuenca superior a 50 km²

Este programa permite la consulta de los mapas de caudales máximos para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 100 y 500 años. De la misma manera, calcula el caudal máximo de cualquier otro período de retorno entre 2 y 500 años interpolando los valores de los mapas ya definidos previamente. También proporciona una herramienta para la estimación de los caudales máximos en puntos de las cuencas menores de 50 km² de la red fluvial que no vienen incluidos en los mapas, como se verá que sucede para el río Valarties.

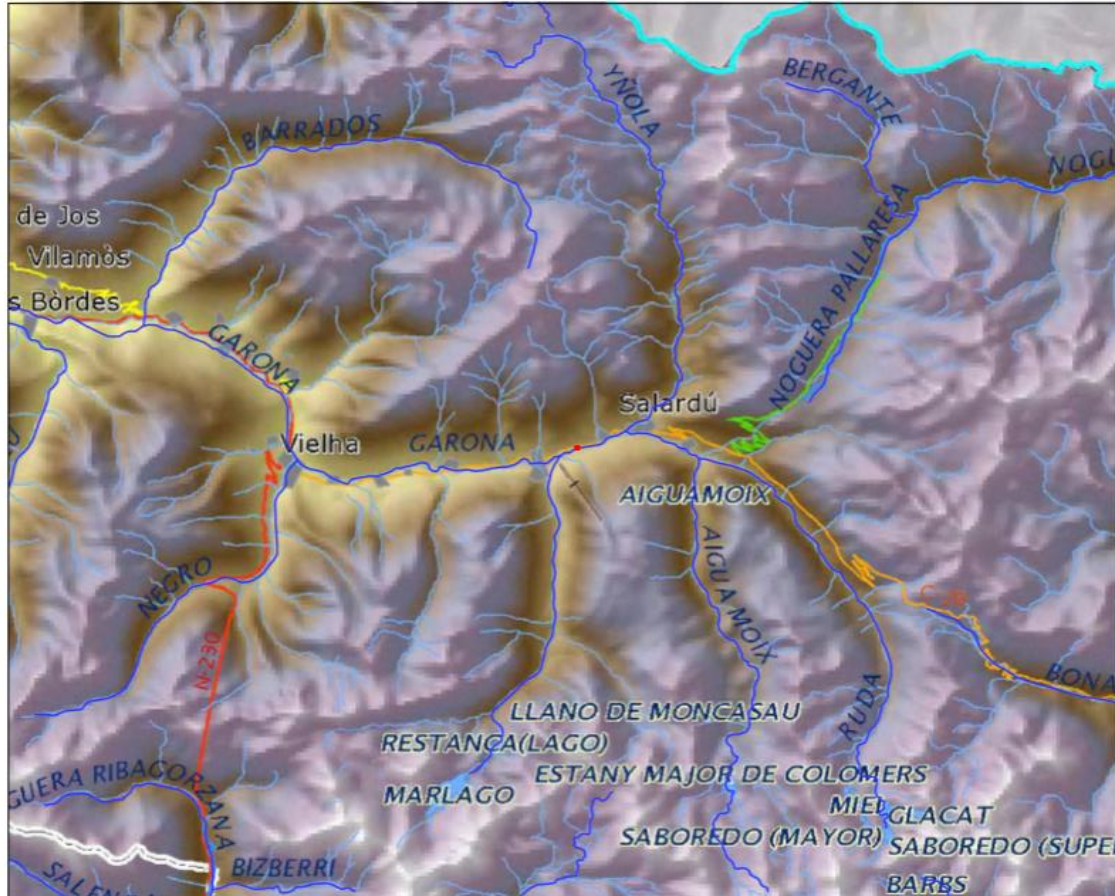


Esta aplicación resulta de gran utilidad en cuanto a que no limita los datos representados a una serie de puntos o estaciones predeterminados, si no que permite escoger cualquier punto de la cuenca con total libertad. Esto supone una gran ventaja para los casos en los que se quieran obtener una serie de parámetros de caudales o precipitaciones, entre otros, pero no se disponga de una estación de aforos.

Los resultados obtenidos en CAUMAX corresponden al régimen natural en cuanto a régimen de caudales, lo que significa que no se tiene en cuenta las minoraciones de los caudales máximos que producen los embalses y presas situados agua arriba de los tramos estudiados.

En las siguientes fichas se muestran los datos obtenidos para el río Garona, tanto en el punto de inicio de la zona de estudio aguas arriba, muy próximo a la estación de aforos, como en el punto final aguas abajo, en la confluencia del Garona con el Barranco del Salider, así como, del río Valarties a escasos metros de la confluencia con el Garona, buscando de esta manera una mayor exactitud en la medición, obteniendo los datos de la mayor parte de la cuenca.

Demarcación hidrográfica del Ebro



INFORME CONSULTA CAUDALES

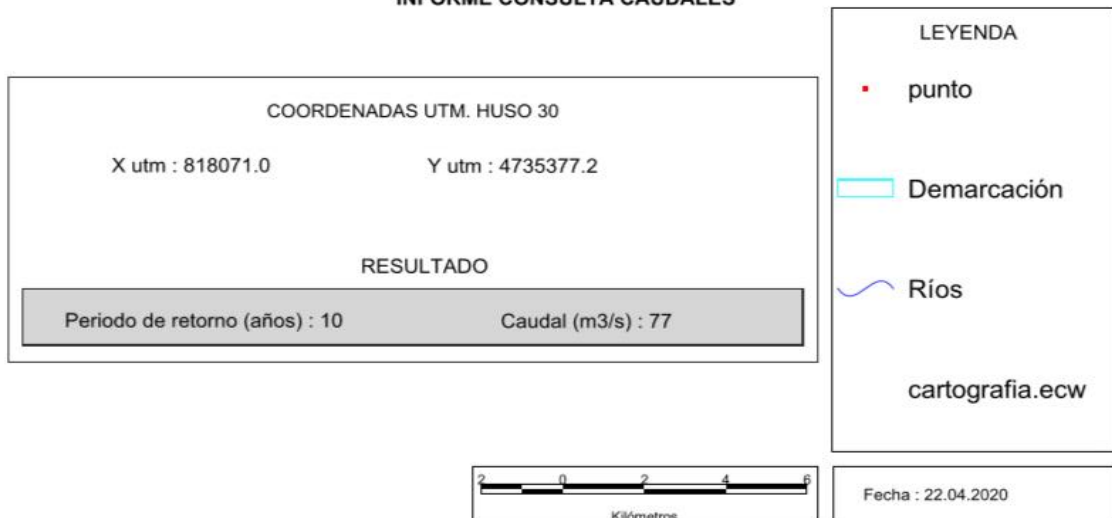
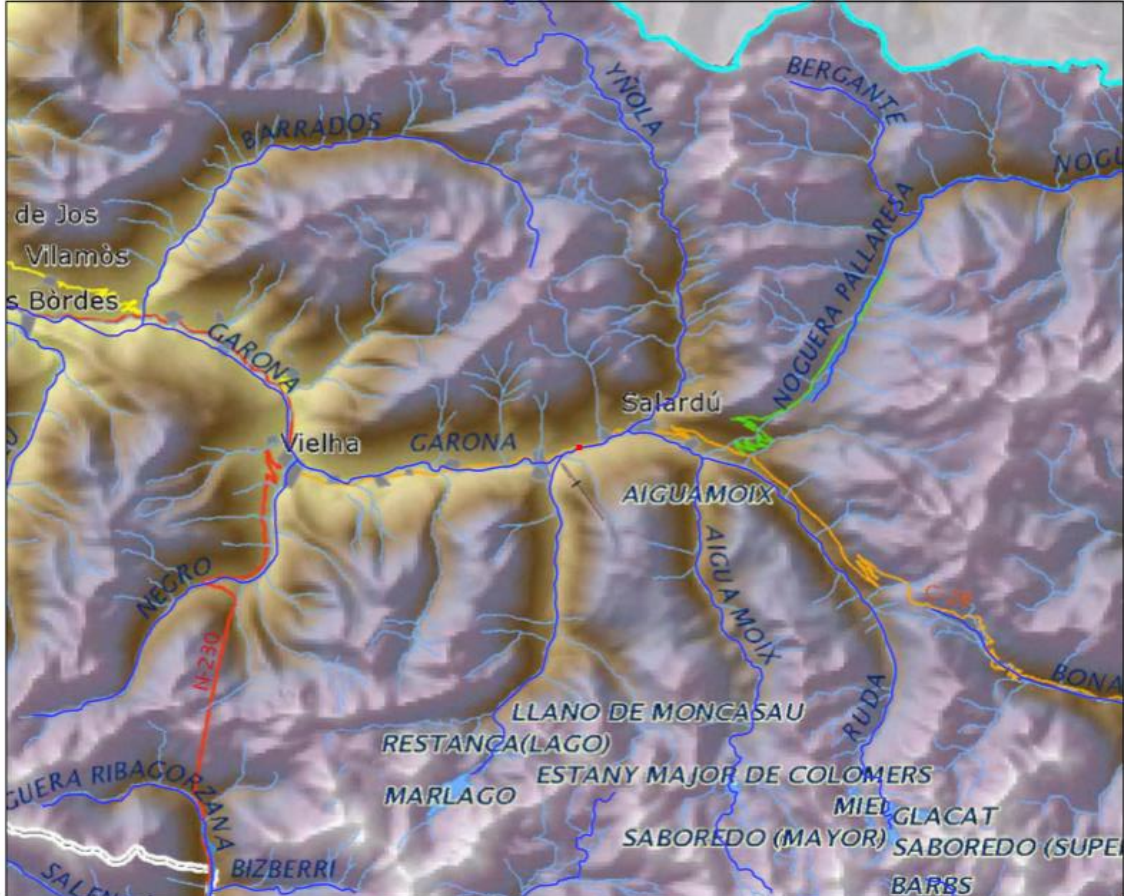


Figura 33. Informe de consulta de caudales del río Garona. Periodo de retorno 10 años. Caumax

Demarcación hidrográfica del Ebro



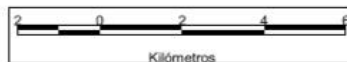
INFORME CONSULTA CAUDALES

COORDENADAS UTM. HUSO 30	
X utm : 818071.0	Y utm : 4735377.2
RESULTADO	
Periodo de retorno (años) : 100	Caudal (m3/s) : 243

LEYENDA

- punto
- Demarcación
- ~ Ríos

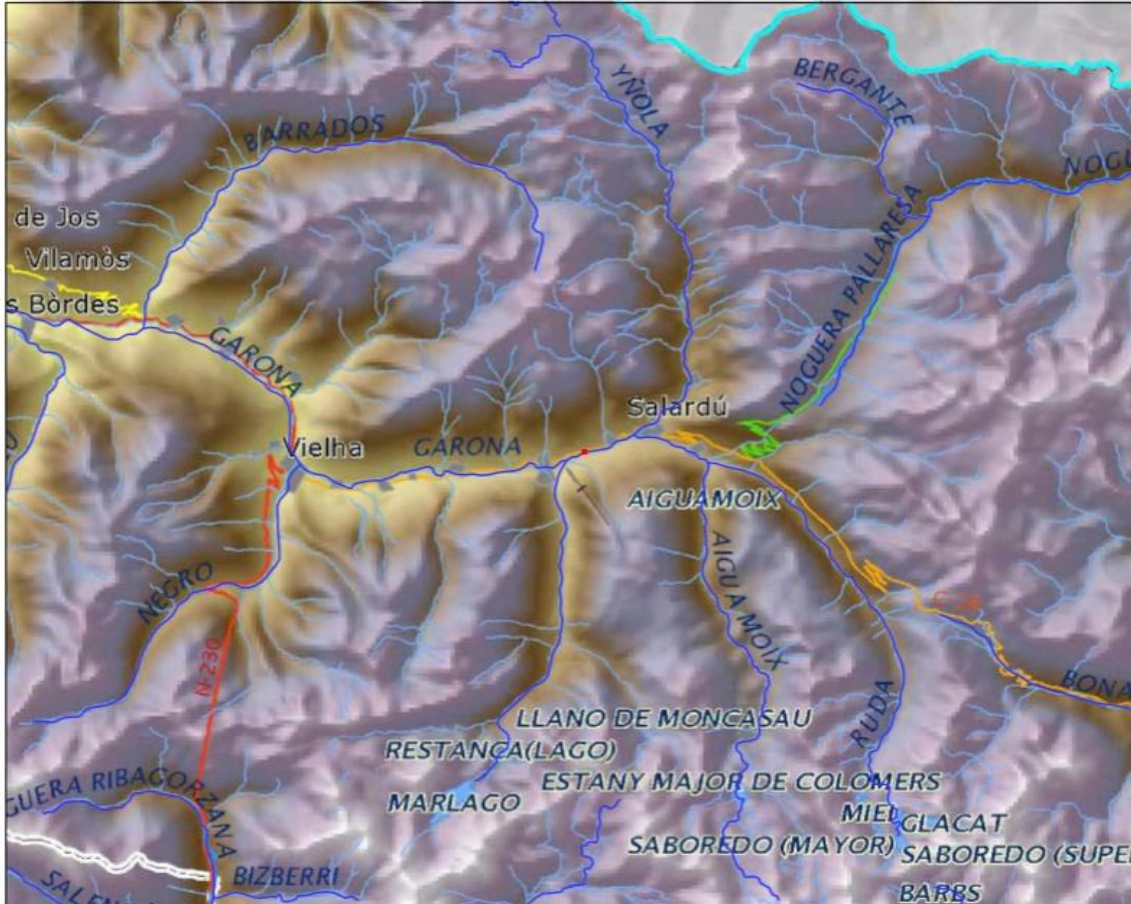
cartografia.ecw



Fecha : 22.04.2020

Figura 34. Informe de consulta de caudales del río Garona. Periodo de retorno de 100 años. Caumax

Demarcación hidrográfica del Ebro



INFORME CONSULTA CAUDALES

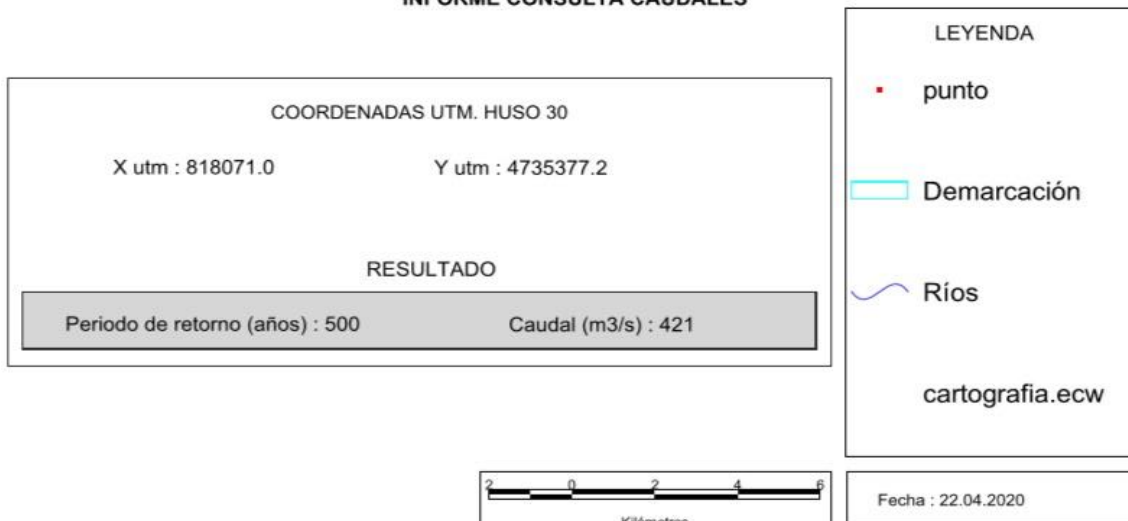


Figura 35. Informe de consulta de caudales del río Garona. Periodo de retorno de 500 años. Caumax

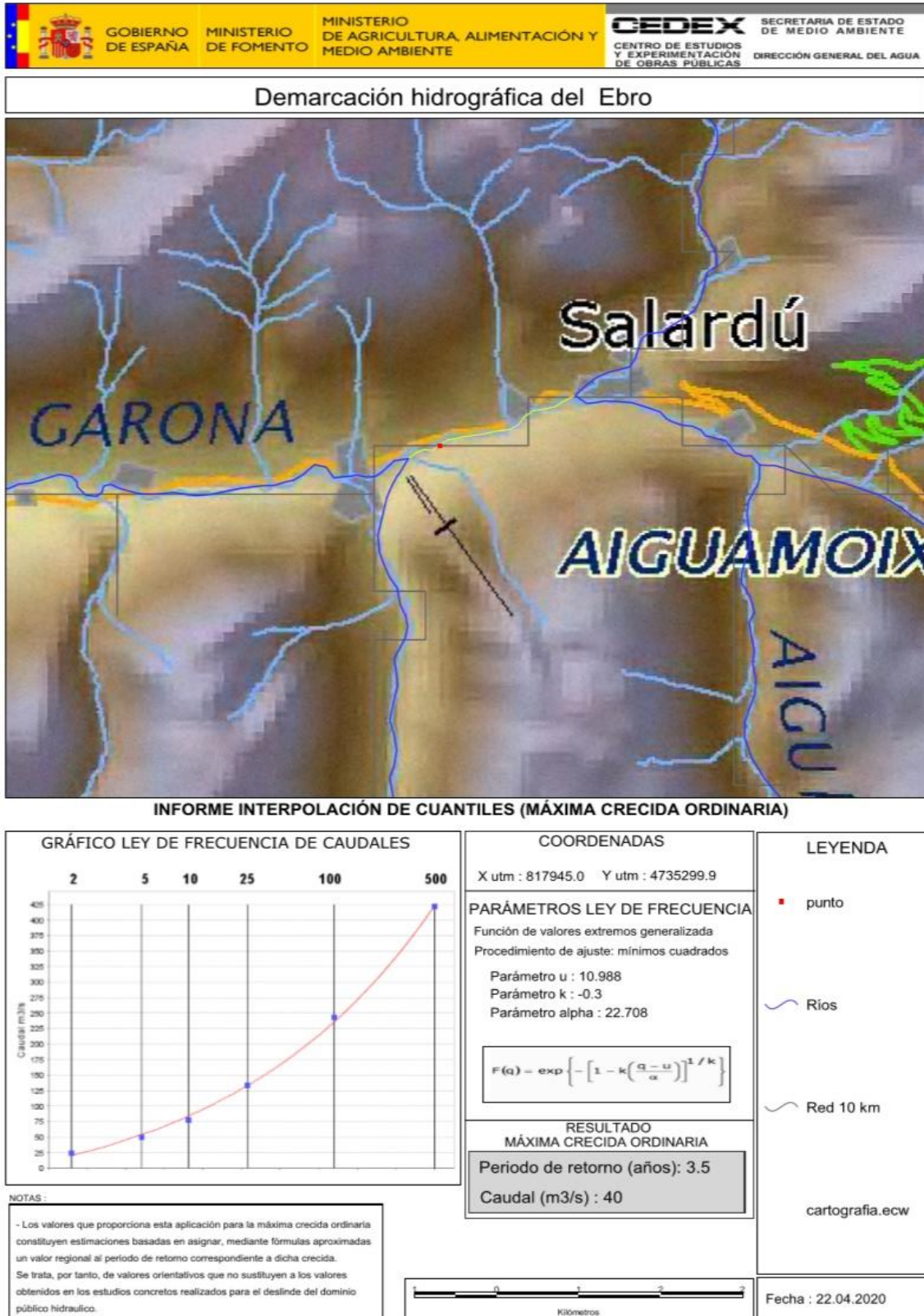


Figura 36. Informe de consulta de caudales del río Garona. Período de retorno de 3.5 años. Caumax

Como se observa en las fichas anteriores, los datos son prácticamente coincidentes con la estación de aforos, siendo los mismos para los períodos de retorno de 10 y 100 años, variando en 1 m³/s para el período de retorno de 500 años, y en 3 m³/s para la máxima crecida ordinaria.

A200 Río Valarties en Arties		Diagrams	Photos	Reference Flow Rate Information			
Reference Flow Rate Information							
Flow limiting the ordinary regime of extraordinary							
Description		Flow	comment				
Maximum ordinary flood		25	Associated with return period 3.5 Years				
Flood flows with return period of:							
Period		Flow	comment				
2 Years		16	Natural flow regime				
5 Years		34					
10 Years		52					
25 Years		90					
100 Years		164					
500 Years		284					
Maximum levels and flow rates recorded in the SAIH period (instantaneous maximum values) 2011 - actualidad							
By levels			comment		By flow rate		
Date	Hiegh m	Flow			Date	Hiegh m	Flow
18/06/2013	1,40	-	The sections of the gauging stations and flow conditions can change over time, so that the same level can be translated into different flow rates depending on the moment. The possible inconsistencies that can be observed between these two tables are due to the fact that the sections of the gauging stations and the flow conditions can change over time, either due to natural or anthropogenic processes. The consequence of this is the change in the rating curves that relate level and flow, so that the same level can be translated into different flow rates depending on the moment.			-	-
20/12/2019	0,60	-				-	-
23/10/2019	0,51	-				-	-
14/06/2013	0,49	-				-	-
16/01/2017	0,48	-				-	-
						-	-

Figura 37. Caudales para diferentes periodos de retorno (2)

En la imagen anterior se muestran los datos de la estación de aforos de Arties para el río Valarties A200, que siempre ha tenido problemas de funcionamiento, obteniendo datos no siempre representativos.

Para la máxima crecida ordinaria se han obtenido un caudal de 25 m³/s, y para los períodos de retorno de 10, 100 y 500 años 52, 164 y 284 m³/s, respectivamente. Como se ha comentado anteriormente, para este estudio se tomarán los datos para períodos de retorno de 10, 100 y 500 años.

Las siguientes fichas obtenidas por medio del programa CAUMAX hacen referencia al Valarties. El área de la cuenca es de 48 km², por lo que para el cálculo de los diferentes parámetros se ha empleado el método racional.

En la leyenda, se muestra información de la cuenca, así como los parámetros generales empleados para el cálculo:



- Distancia al punto más alejado(m)	16207.0
- Cota del punto más alejado (msnm)	2508.0
- Cota del punto de cálculo (msnm)	1211.0
- Tiempo de concentración (h)	4.03
- Factor de torrencialidad (I1/l _d)	10.0
- P0 (mm)	25.59
- Coeficiente corrector del P0	1.45
- P0 corregido(mm)	37.11
- Coeficiente de uniformidad (K)	1.29

Otros datos como precipitaciones, intensidades o los coeficientes de escorrentía (C), varían para los diferentes períodos de retorno.

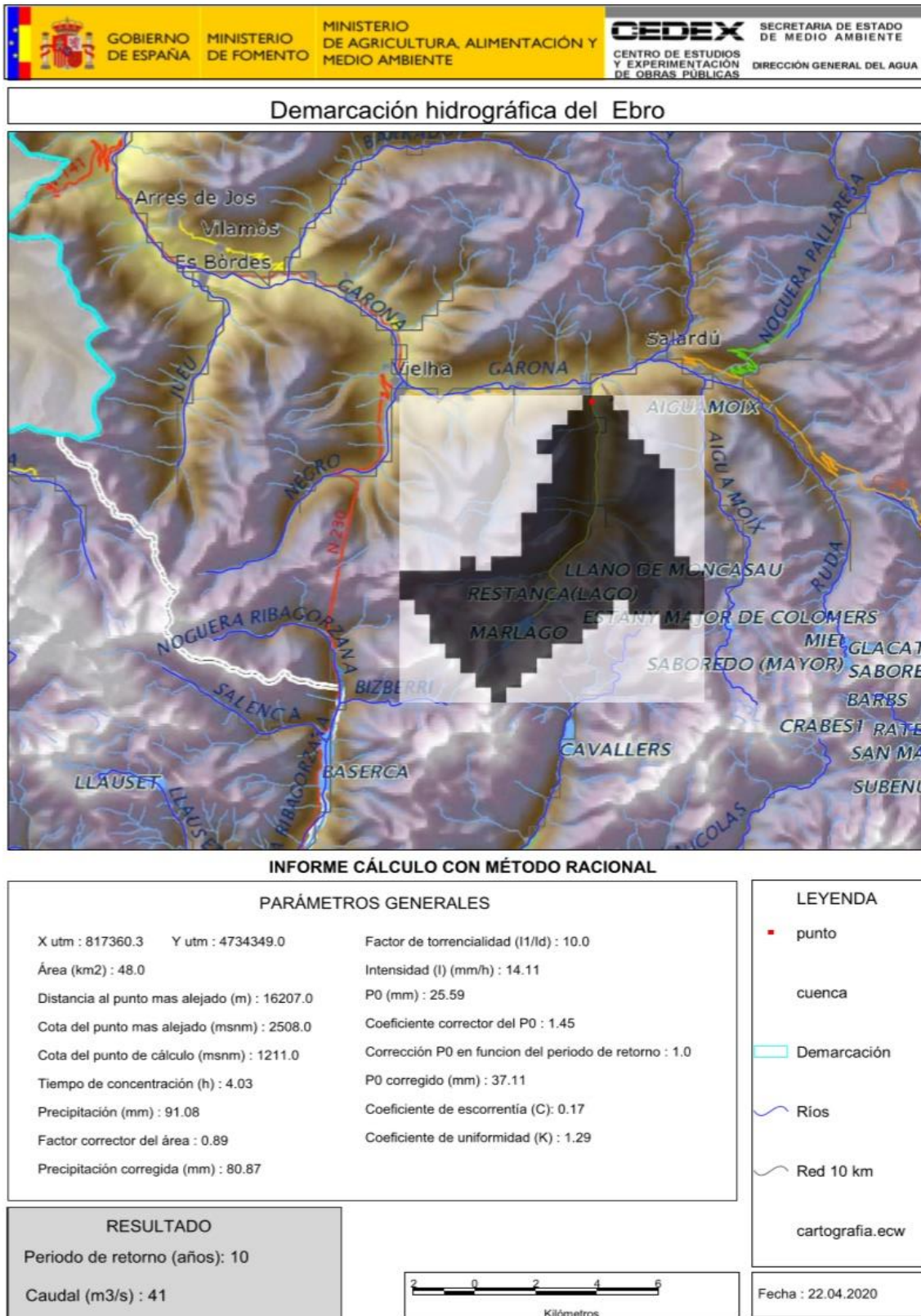
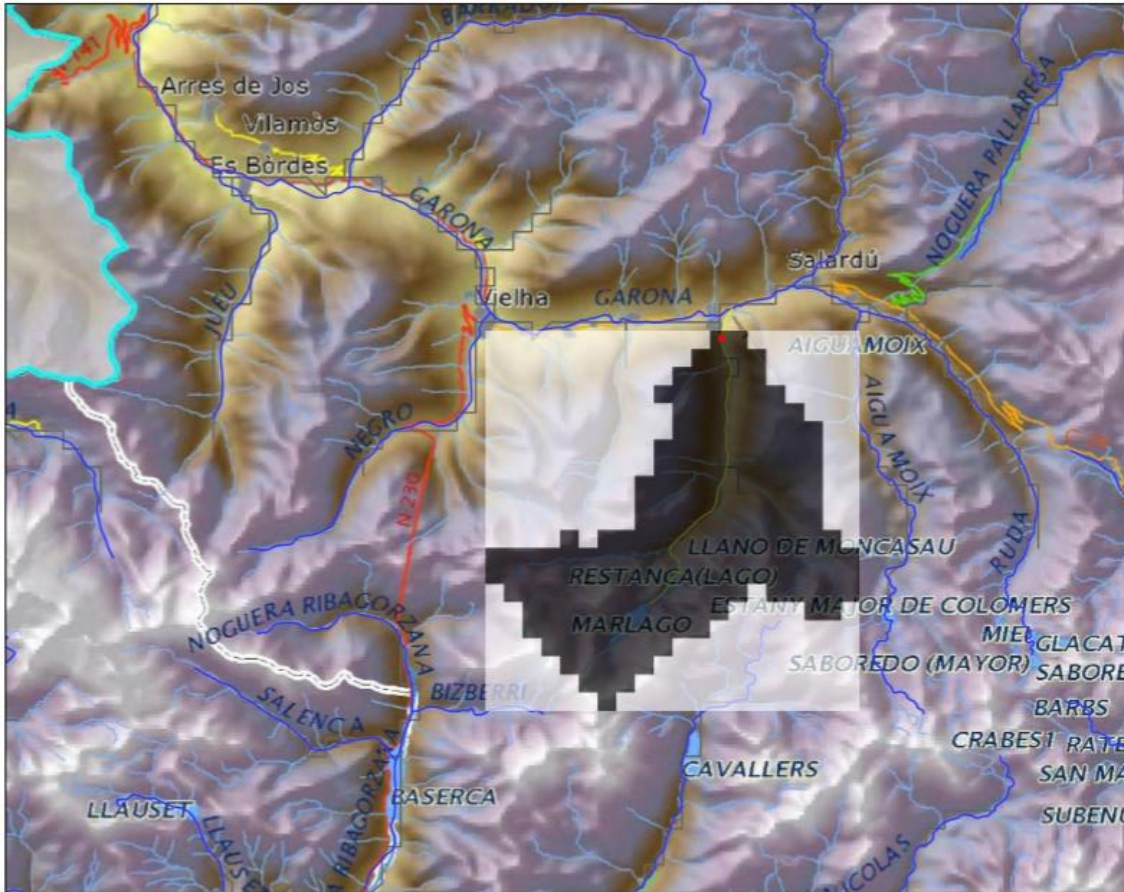


Figura 38. Informe de consulta de caudales del río Valarties. Período de retorno de 10 años. Caumax

Demarcación hidrográfica del Ebro

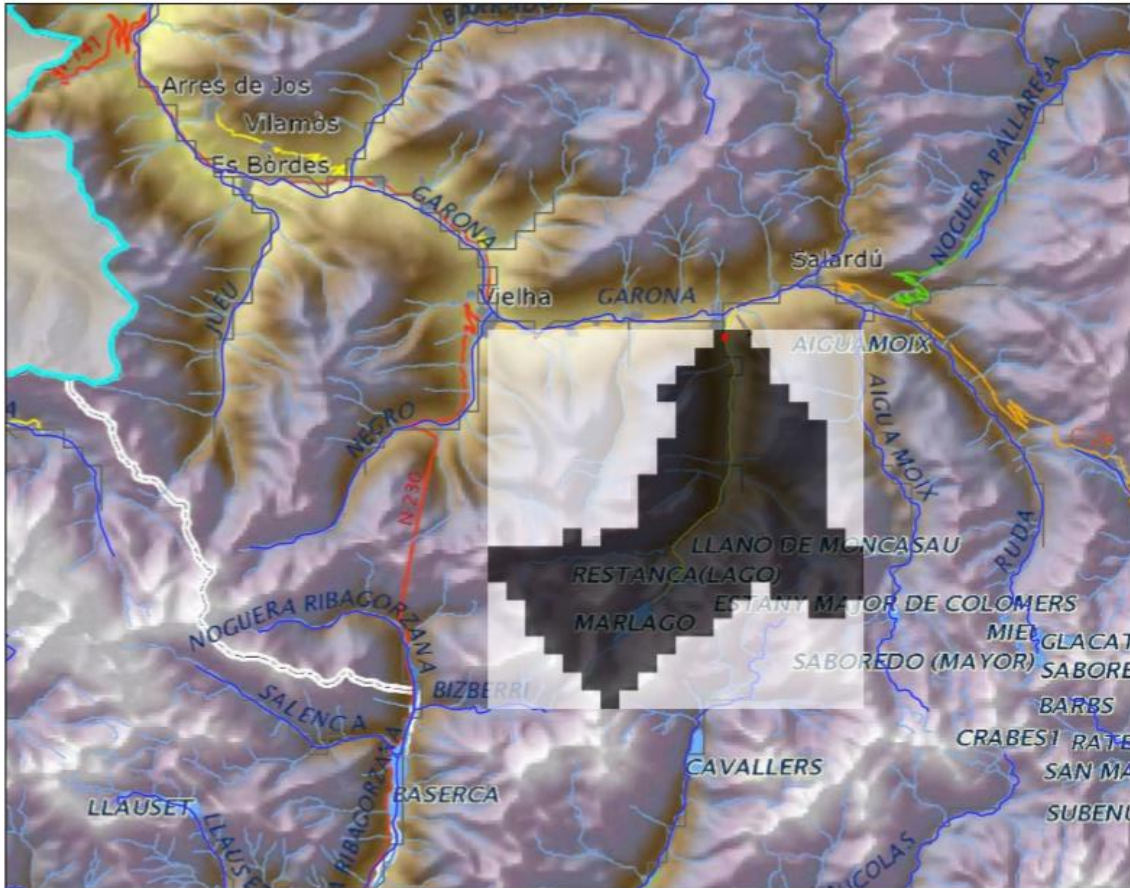


INFORME CÁLCULO CON MÉTODO RACIONAL

PARÁMETROS GENERALES		LEYENDA
X utm : 817360.3	Y utm : 4734349.0	
Área (km2) : 48.0		Intensidad (I) (mm/h) : 22.04
Distancia al punto mas alejado (m) : 16207.0		P0 (mm) : 25.59
Cota del punto mas alejado (msnm) : 2508.0		Coefficiente corrector del P0 : 1.45
Cota del punto de cálculo (msnm) : 1211.0		Corrección P0 en funcion del periodo de retorno : 1.0
Tiempo de concentración (h) : 4.03		P0 corregido (mm) : 37.11
Precipitación (mm) : 142.28		Coefficiente de escorrentía (C) : 0.31
Factor corrector del área : 0.89		Coefficiente de uniformidad (K) : 1.29
Precipitación corregida (mm) : 126.33		
RESULTADO		
Periodo de retorno (años): 100		
Caudal (m3/s) : 116		
		Fecha : 22.04.2020

Figura 39. Informe de consulta de caudales del río Valarties. periodo de retorno de 100 años. Caumax

Demarcación hidrográfica del Ebro



INFORME CÁLCULO CON MÉTODO RACIONAL

PARÁMETROS GENERALES		LEYENDA
X utm : 817360.3	Y utm : 4734349.0	
Área (km ²) : 48.0		Intensidad (I) (mm/h) : 28.56
Distancia al punto mas alejado (m) : 16207.0		P0 (mm) : 25.59
Cota del punto mas alejado (msnm) : 2508.0		Coefficiente corrector del P0 : 1.45
Cota del punto de cálculo (msnm) : 1211.0		Corrección P0 en funcion del periodo de retorno : 1.0
Tiempo de concentración (h) : 4.03		P0 corregido (mm) : 37.11
Precipitación (mm) : 184.42		Coefficiente de escorrentía (C) : 0.39
Factor corrector del área : 0.89		Coefficiente de uniformidad (K) : 1.29
Precipitación corregida (mm) : 163.75		
RESULTADO		
Periodo de retorno (años): 500		
Caudal (m ³ /s) : 193		
		Fecha : 22.04.2020

Figura 40. Informe de consulta de caudales del río Valarties. Periodo de retorno de 500 años. Caumax

Demarcación hidrográfica del Ebro



INFORME CÁLCULO MÉTODO RACIONAL Y MÁXIMA CRECIDA ORDINARIA

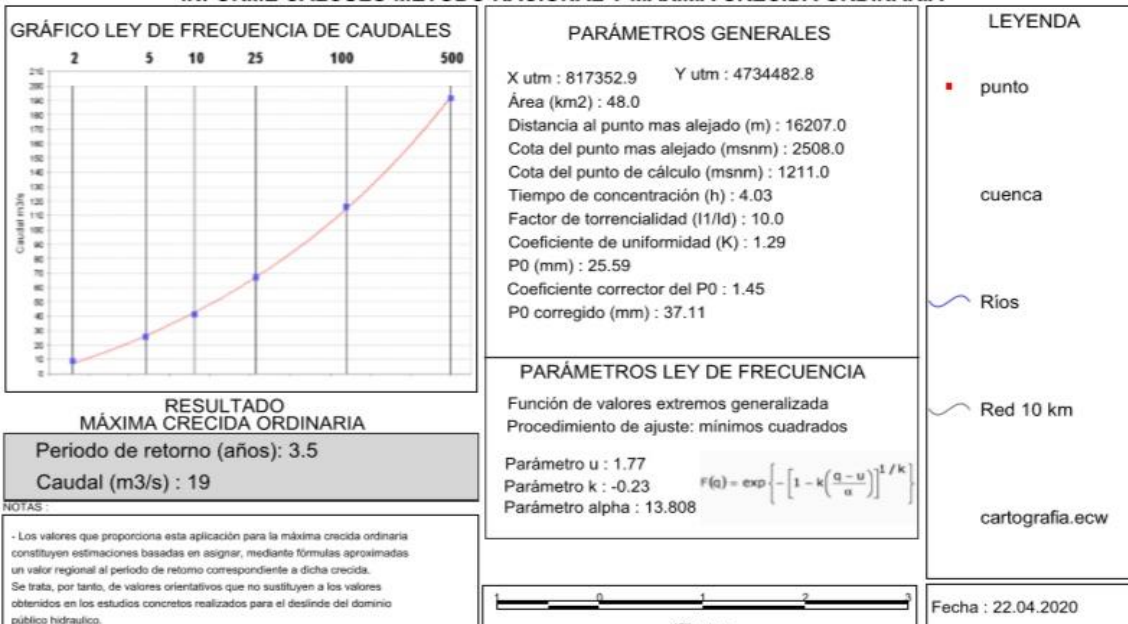


Figura 41. Informe de consulta de caudales del río Valarties. Periodo de retorno de 3.5 años. Caumax



En este caso, se aprecia una clara diferencia entre los caudales estimados por las mediciones de la estación de aforos del Valarties y los datos del programa CAUMAX.

- Frente a los 52 m³/s de la estación de aforos, en CAUMAX se han estimado 41 m³/s, para un período de retorno de 10 años.
- Frente a los 164 m³/s de la estación de aforos, en CAUMAX se han estimado 116 m³/s, para un período de retorno de 100 años.
- Frente a los 284 m³/s de la estación de aforos, en CAUMAX se han estimado 193 m³/s, para un período de retorno de 500 años.
- Frente a los 25 m³/s de la estación de aforos, en CAUMAX se han estimado 19 m³/s, para la máxima crecida ordinaria. (asociada a un período de retorno de 3.5 años)

A continuación, en las siguientes fichas del CAUMAX se muestran los datos de caudales para los diferentes períodos de retorno justo debajo de la confluencia del Garona con el Barranco del Salider, siendo éste el último punto del área de estudio, realizando una comparación con los caudales del punto inicial del estudio localizado aguas arriba, evaluando la influencia que pueda llegar a tener el Valarties con sus aportes de caudal, así como, los diferentes barrancos cuya cuenca vertiente desemboca en el tramo estudiado, tales como el Barranco de Artigues o el Barranco de Zedo.




En este punto aguas abajo, no hay una estación de aforo que pueda servir de referencia o de comparativa, los únicos datos disponibles son los conseguidos en CAUMAX.

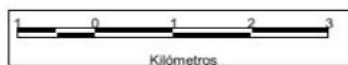
Demarcación hidrográfica del Ebro



INFORME CONSULTA CAUDALES

COORDENADAS UTM. HUSO 30	
X utm : 816222.9	Y utm : 4734896.1
RESULTADO	
Periodo de retorno (años) : 10	Caudal (m ³ /s) : 102

LEYENDA	
	punto
	Demarcación
	Ríos
cartografia.ecw	



Fecha : 22.04.2020

Figura 42. Informe de consulta de caudales en la confluencia. Período de retorno de 10 años. Caumax

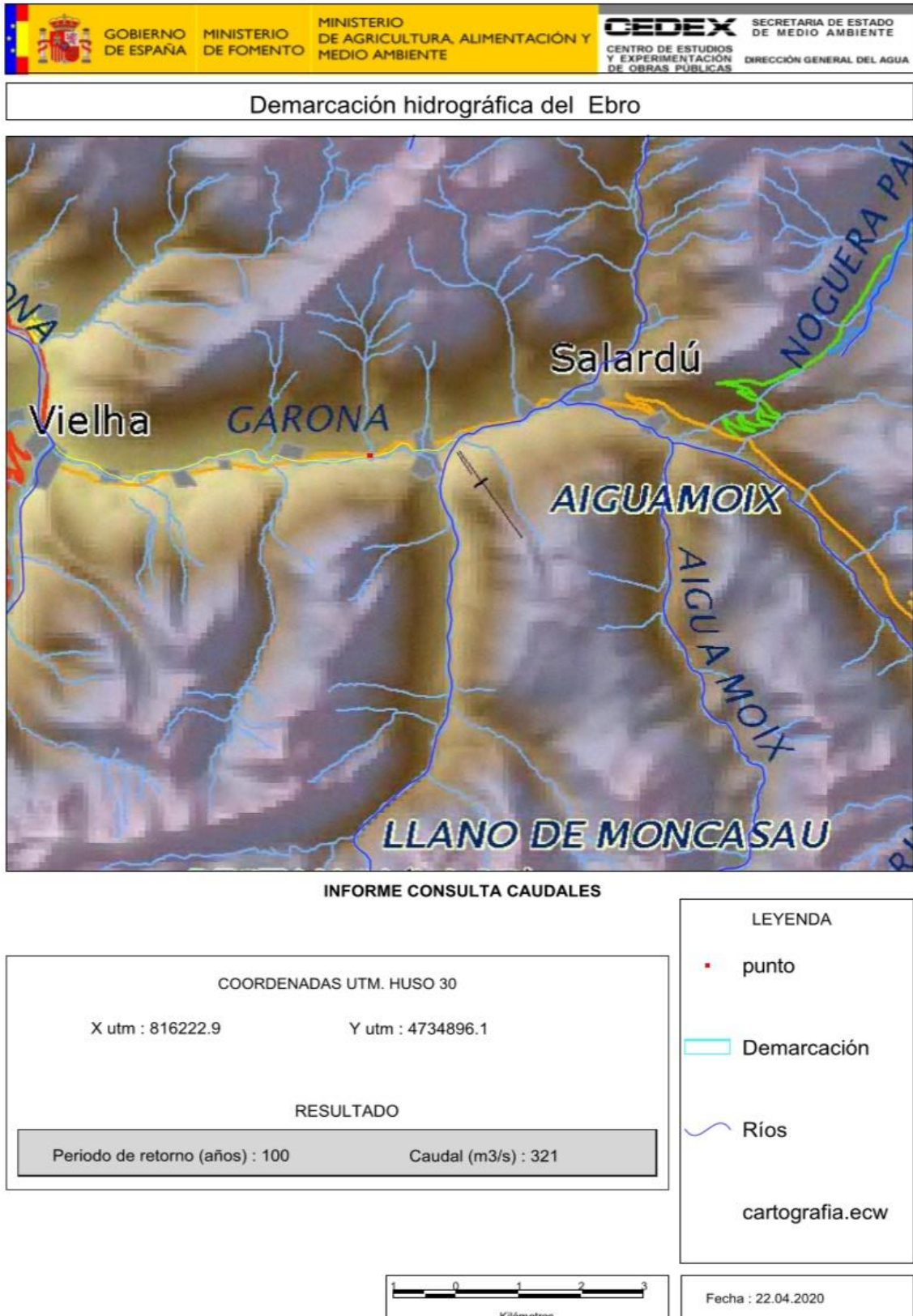


Figura 43. Informe de consulta de caudales en la confluencia. Período de retorno de 100 años. Caumax




Demarcación hidrográfica del Ebro



INFORME CONSULTA CAUDALES

COORDENADAS UTM. HUSO 30	
X utm : 816222.9	Y utm : 4734896.1
RESULTADO	
Periodo de retorno (años) : 500	Caudal (m ³ /s) : 554

LEYENDA

-  punto
-  Demarcación
-  Ríos

cartografia.ecw



Fecha : 22.04.2020

Figura 44. Informe de consulta de caudales en la confluencia. Período de retorno de 500 años. Caumax

Demarcación hidrográfica del Ebro



INFORME INTERPOLACIÓN DE CUANTILES (MÁXIMA CRECIDA ORDINARIA)

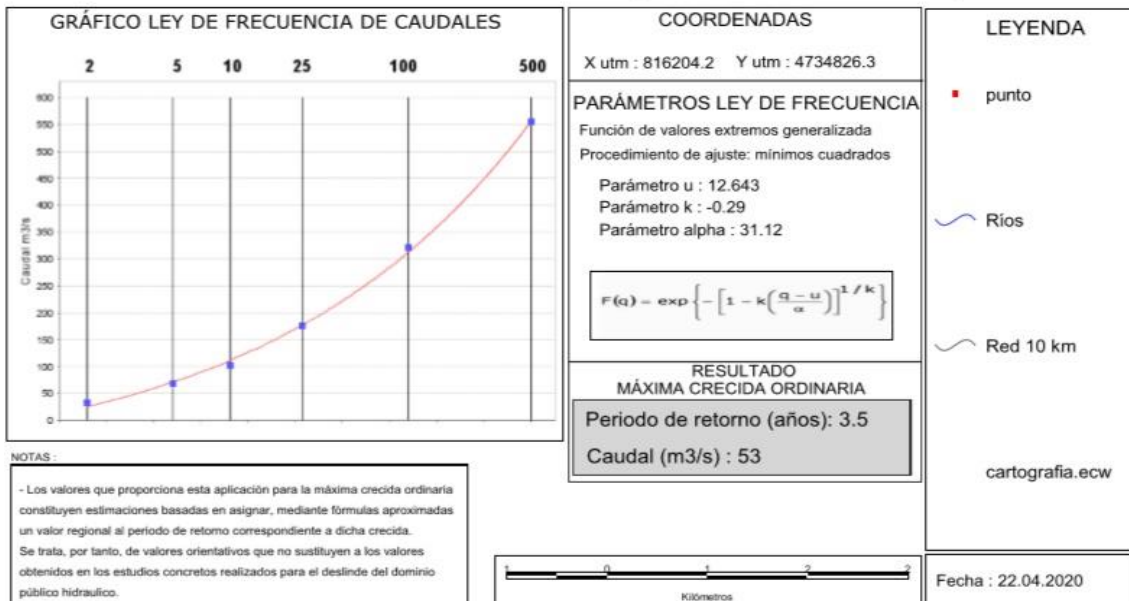


Figura 45. Informe de consulta de caudales en la confluencia. Periodo de retorno de 3.5 años. Caumax



Los datos obtenidos en esta aplicación CAUMAX son los siguientes:

- Para un período de retorno de 10 años, se ha obtenido un caudal de $102 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Para un período de retorno de 100 años, se ha obtenido un caudal de $321 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Para un período de retorno de 500 años, se ha obtenido un caudal de $554 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Para la máxima crecida ordinaria. (asociada a un período de retorno de 3.5 años) se ha obtenido un caudal de $53 \text{ m}^3/\text{s}$.

Estos datos son mucho mayores que los obtenidos en la estación de aforos aguas arriba, en torno a $30 \text{ m}^3/\text{s}$ para el de 10 años, de $80 \text{ m}^3/\text{s}$ para el de 100 y de $130 \text{ m}^3/\text{s}$ para el período de 500 años. Para la máxima crecida ordinaria, la diferencia es de unos $15 \text{ m}^3/\text{s}$.

Se aprecia que la diferencia de caudal obtenida entre los puntos aguas arriba y aguas abajo del Garona, son menores a las aportaciones del Valarties para los mismos períodos de retorno, que recordando los datos tenemos:

- Una variación de caudal entre aguas arriba y aguas abajo del Garona de $30 \text{ m}^3/\text{s}$, frente a una aportación de $41 \text{ m}^3/\text{s}$ del Valarties, para un período de retorno de 10 años.
- Una variación de caudal entre aguas arriba y aguas abajo del Garona de $80 \text{ m}^3/\text{s}$, frente a una aportación de $116 \text{ m}^3/\text{s}$ del Valarties, para un período de retorno de 100 años.
- Una variación de caudal entre aguas arriba y aguas abajo del Garona de $130 \text{ m}^3/\text{s}$, frente a una aportación de $193 \text{ m}^3/\text{s}$ del Valarties, para un período de retorno de 500 años.

Esta diferencia de caudales entre el punto final aforado y el valor acumulado de los caudales de los dos ríos se fundamenta en la diferencia del tiempo de concentración de ambas cuencas, siendo la del Garona mayor que la del Valarties. Esta diferencia hace que las puntas del hidrograma no se produzcan de manera simultánea. Por ser el tiempo de concentración de la cuenca del Valarties, es su hidrograma el que alcanzará la punta en primer lugar. A la hora



de introducir estos datos en el programa HEC-RAS se debe realizar un ajuste de ambos hidrogramas para obtener resultados fidedignos.



3. HIDRÁULICA.

3.1 ESTUDIO HIDRÁULICO.

En primer lugar, se obtienen los caudales máximos (m^3/s) de las aplicaciones del CAUMAX y de las estaciones de aforo situadas del Garona y Valarties en Arties. Se ha realizado una simulación hidráulica para con ello determinar los calados y las velocidades del agua en el cauce a su paso por Arties, para los períodos de retornos mencionados y analizados previamente, delimitando las zonas de inundación.

El estudio hidráulico se ha efectuado mediante el programa HEC-RAS 5.0 (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System).

Para este estudio se ha implementado un Modelo digital del Terreno (MDT), se ha delimitado la zona a analizar, así como, las condiciones de contorno relacionadas con la confluencia del Garona y el Valarties. Se ha modelizado un flujo para la máxima crecida ordinaria, asociada a un período de retorno de 3,5 años, y para las avenidas de 10, 100 y 500 años de período de retorno. De la misma manera, se han tenido en cuenta las diferentes estructuras como edificios, puentes, estaciones hidroeléctricas, incluso las Obras de Drenaje Transversal, que puedan no estar incluidas en el MDT.

Una vez modelizado el flujo con HEC-RAS, se obtendrán para cada uno de los períodos de retorno estudiados, una serie de mapas y perfiles donde se reflejen los valores de calados, identificando la zona inundada y la velocidad del flujo.

3.2 MODELIZACIÓN HIDRÁULICA.

La modelación de los sistemas hidráulicos como herramienta de diseño, revisión y toma de decisiones es actualmente una técnica indispensable en la ingeniería civil. Para emplearla adecuadamente es necesario optimizar recursos humanos, materiales y económicos.

Los fenómenos hidráulicos son complejos y difíciles de cuantificar. Por ello, son necesarias herramientas que ayuden a representar y conocer el comportamiento de los elementos ante los eventos que puedan llegar a producirse. En este caso, se usa la modelización para las obras hidráulicas y los ríos, buscando conocer el efecto producido en las estructuras y en el propio cauce por estos eventos, y el alcance que puedan tener. Se trata de determinar es el riesgo que existe en las zonas de inundación.



Actualmente, existen numerosos programas y metodologías que permiten cuantificar estos eventos, para poder anticiparlos y actuar en consecuencia. Para representar la realidad hidráulica se emplean varios modelos:

Modelos físicos.

Consiste en la creación de un modelo físico semejante simplificado reproduciendo la realidad a escala.

Modelos matemáticos.

Son aquellos que emplean ecuaciones o expresiones matemáticas que definen el fenómeno estudiado. Dentro los modelos matemáticos, se distinguen tres tipos diferentes.

- *Modelos determinísticos:* En estos modelos, los procesos físicos se expresan mediante relaciones fundamentales determinísticas sin tener en cuenta la probabilidad de que suceda un fenómeno determinado.
- *Modelos estocásticos:* Los procesos físicos se representan mediante variables aleatorias y probabilísticas.
- *Modelos de simulación numérica:* Se basan en el empleo de ecuaciones diferenciales y condiciones de contorno iniciales. Son métodos basados en diferencias finitas o elementos finitos. Hec-Ras, así como, otros muchos softwares de simulación hidráulica se basan en este modelo. Este trabajo se centra en este tipo de modelos.
 - o Métodos de diferencias finitas. Simulan procesos imposibles de resolver mediante el cálculo simple. Es el método numérico clásico que resuelve ecuaciones diferenciales.
 - o Métodos de elementos finitos. Se trata de la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales. Este método discretiza el área de estudio mediante una malla de elementos, pudiendo ser triangulares, cuadrangulares o irregulares. Estos elementos locales son ensamblados mediante los procedimientos de álgebra lineal en matrices globales, en los cuales el vector solución representa las soluciones nodales. Esta técnica útil y versátil se usa para representar geometrías complejas, permitiendo



acomodar el tamaño y la forma de los elementos a las necesidades de modelación.

3.3 HEC-RAS 5.0.

HEC-RAS 5.0 (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System). Es un programa desarrollado por el cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EEUU (Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers).

Este programa es de uso libre y está en continuo desarrollo, por lo que va implementando nuevas funciones en cada nueva versión. La primera versión de HEC-RAS (versión 1.0) se lanzó en julio de 1995.

HEC-RAS permite la simulación de flujos de agua tanto en canales artificiales o en cauces naturales de ríos, siendo este último el caso de aplicación, aunque parte del cauce se encuentre encauzado, como en el casco urbano de Arties.

Este programa posee cómodas interfaces gráficas para representar la geometría y ver los resultados, comparando distintas hipótesis de funcionamiento y realizar informes, y emplea un método matemático que permite realizar el análisis del flujo en lámina libre.

HEC-RAS es un software que permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua, con la posibilidad de incluir en el modelo la existencia de infraestructuras como puentes, conducciones o presas. HEC-RAS permite además realizar simulaciones hidráulicas unidimensionales en régimen permanente, cálculos hidráulicos en régimen no permanente en una y dos dimensiones en cauces fluviales, modelar el transporte de sedimentos, y el análisis de la temperatura y de la calidad del agua.

Mediante el programa se pueden obtener una gran variedad de resultados, como resultados por secciones, en forma de tablas, gráficos o la visualización de resultados sobre imágenes georreferenciadas, entre otros. Su objetivo final es el de permitir la realización de estudios de inundabilidad y determinar las zonas inundables.

3.3.1 Novedades de la nueva versión respecto de otras anteriores.

La nueva versión de HEC-RAS mantiene todas las funciones de versiones anteriores, pero incorpora nuevas funcionalidades muy potentes. Entre ellas destaca la posibilidad de realizar modelizaciones en 2D o una combinación entre los modelos 1D y 2D.



La nueva versión de HEC-RAS permite:

- Modelización 1D, 2D, y 1D y 2D de manera combinada. La modelización 2D es empleada en áreas en los que se requiere una mayor fidelidad hidrodinámica. La capacidad de trabajar con el modelo mixto tiene aplicación para tramos de estudio de gran superficie, usando la herramienta 1D para la modelización del propio cauce, y la 2D para las zonas que necesiten mayor detalle.
- En base a lo comentado en el apartado anterior, permite una modelización más precisa en cauces y playas de inundación.
- Resuelve las ecuaciones de Saint Venant y Onda Difusa para dos dimensiones.
- Realiza la modelización mediante el método de los volúmenes finitos implícitos.
- Permite el acople entre elementos 1D y 2D.
- Crea mallas estructuradas o no estructuradas para la computación.
- La herramienta Ras Mapper permite la visualización de mapas de inundación detallados y animaciones.

3.3.2 Limitaciones del programa.

El software de modelización 2D de HEC-RAS, presenta una serie de limitaciones, que serán incluidas en futuras versiones:

- A la hora de generar un mallado del terreno en 2D, se genera una malla automática. No existen herramientas que permitan la generación de una malla detallada. Sí que se permite la edición y modificación de la geometría de la malla en el caso en el que se produzcan errores, aunque la realización de este proceso con garantías en mallas de gran superficie es prácticamente imposible.
- El proceso de generación de estructuras hidráulicas en el área 2D no está optimizado, resultando un proceso muy laborioso y complejo para el usuario.



- En la modelización 2D, no se puede utilizar la herramienta de HEC-RAS para el modelado de los puentes, aunque permite el modelado de presas, ODT o alcantarillas.
- No es posible representar el transporte de sedimentos (erosión/ depósito) que se haya producido en las áreas 2D.
- No permite la representación de la calidad del agua en el modelado de áreas 2D.
- No permite conectar estaciones de bombeo en áreas 2D.

3.3.3 Ecuaciones y sistema numérico.

Para la simulación hidráulica se ha optado por un modelo bidimensional para todo el curso, considerando que es lo más preciso y realista en cuanto a los movimientos del flujo. De esta manera se tiene en cuenta la totalidad de la geometría real al representar de manera continua el dominio de cálculo. El algoritmo de modelado de flujo 2D en HEC-RAS tiene las siguientes capacidades:

- Puede realizar modelos 1D, 2D y 1D y 2D combinados.
La capacidad de realizar un modelado 1 D / 2D combinado dentro del mismo modelo de flujo inestable permitirá a los usuarios trabajar en sistemas fluviales más grandes, utilizando el modelado 1D cuando sea apropiado (por ejemplo, el sistema fluvial principal) y el modelado 2D en áreas que requieren un mayor nivel de fidelidad hidrodinámica.
- Ecuaciones de ondas de difusión o Saint-Venant en 2D.

El programa permite la elección entre las ecuaciones de Saint Venant o las ecuaciones de ondas de difusión 2D. En general, las ecuaciones de onda de difusión 2D hacen que el software se ejecute más rápido y tenga mayores propiedades de estabilidad. Las ecuaciones 2D de Saint-Venant son aplicables a una gama más amplia de problemas.

- Algoritmo de solución de volumen finito implícito.
Este método incrementa la estabilidad sobre las técnicas de diferencias finitas y elementos finitos. Admite analizar situaciones de flujo en regímenes Subcrítico, Supercrítico y Mixto.



- Algoritmo de solución para el acoplamiento de modelos 1D y 2D.
Consiste en la retroalimentación entre los elementos de flujo 1D y 2D en cada paso de tiempo.
- Mallas computacionales estructuradas y no estructuradas.
Pese a que HEC-RAS fue diseñado para trabajar con mallas no estructuradas, las celdas computacionales de una malla pueden ser triangulares, cuadrangulares, rectangulares o polígonos irregulares de hasta 8 lados.
- Tabla detallada de propiedades hidráulicas para celdas y contornos de celdas computaciones 2D.
Todas las celdas y sus contornos son pre-procesados para obtener tablas de propiedades hidráulicas que se basan en el terreno subyacente empleado en la modelización.
El pre-proceso calcula una relación entre Elevación-Volumen para cada celda, y para cada contorno de celda calcula la relación Elevación-Perímetro Mojado, Elevación-Área, o Elevación-Rugosidad, entre otras. Estas relaciones permiten crear celdas computacionales de gran tamaño conservando los detalles del terreno, reduciendo los tiempos de cálculo.
- Mapeo detallado de inundaciones y animaciones de las mismas.
El mapeo del área inundada, así como, las animaciones de la inundación se pueden hacer dentro de HEC-RAS utilizando las características del RAS Mapper. Este proceso se basa en el terreno subyacente y no en el tamaño de celda computacional de la malla.
- Algoritmo de solución basado en multiprocesador.
La solución computacional de área de flujo 2D se ha programado para aprovechar múltiples procesadores en una computadora, lo que le permite funcionar mucho más rápido que en un solo procesador.

Todo esto se puede encontrar en el manual de usuario de HEC-RAS (2016).

3.3.4 Interfaz de Hec-Ras 5.0.

HEC-RAS, aunque en continua actualización, presenta una interfaz similar a las versiones anteriores, tal y como se muestra en la siguiente figura. Como gran novedad en la última actualización, se ha introducido la función RAS MAPPER, desde la que se acceden a las nuevas funcionalidades del 2D. Esta nueva

función permite ejecutar modelos en 1D, 2D o una combinación de ambos. Este nuevo desplegable será fundamental a la hora de introducir mapas e imágenes georreferenciadas.

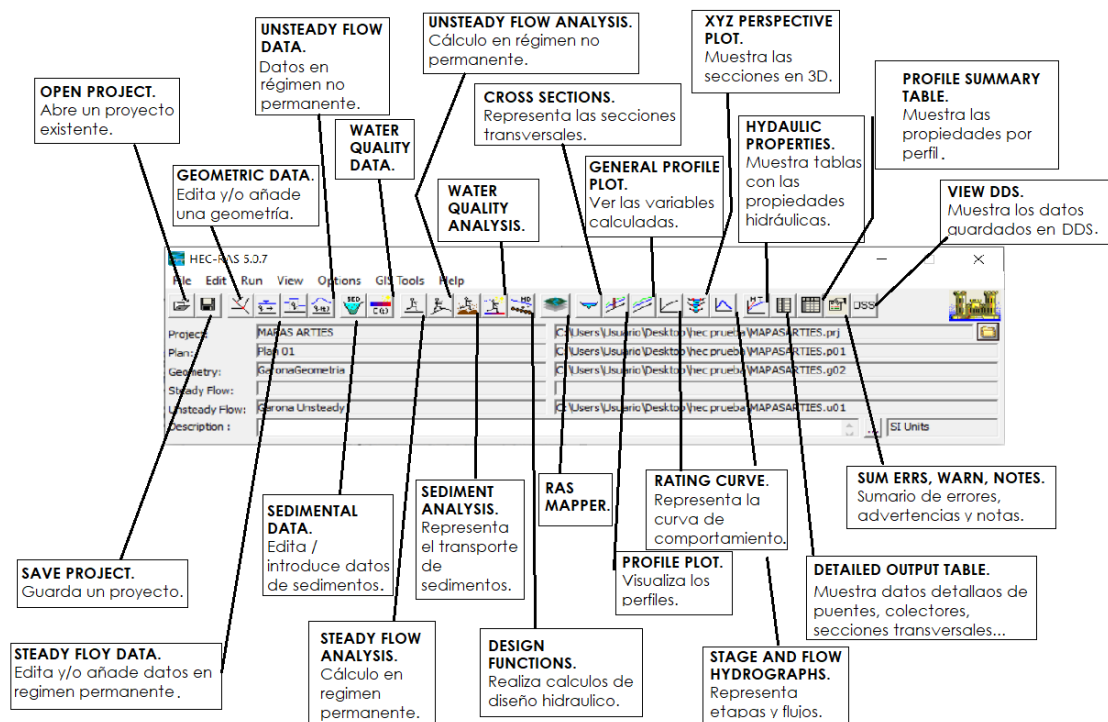


Figura 46. Interfaz de Hec-Ras. Elaboración propia

En la figura anterior se identifican las funciones de cada desplegable del programa en función de los parámetros que se deseen introducir o los resultados a obtener. El siguiente enlace que se adjunta lleva a la página donde se muestra el manual de usuario de HEC-RAS, evitando así exponer conceptos básicos acerca del programa. Únicamente se realizará una explicación de aquellos pasos seguidos, así como, de los nuevos elementos que no constaban en versiones anteriores.

Enlace al manual de HEC-RAS: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Users%20Manual.pdf>

Una de las principales herramientas que se van a emplear para este estudio es la herramienta Ras Mapper, recién incorporada en la última actualización. A través de esta herramienta se permite la creación y visualización de diferentes capas y terrenos, pudiendo implementar tanto Modelos Digitales de Elevaciones del terreno sobre los que poder crear una malla de la que extraer información topográfica de la zona de estudio, como mapas de rugosidades o implementar una geometría con las infraestructuras de la zona.

A continuación, se muestran una serie de capturas de pantalla del programa, una vez implementado el Modelo Digital de Elevaciones, o una capa georeferenciada donde se muestran todos los diferentes elementos e infraestructuras existentes sobre el medio natural a tener en cuenta a la hora de la simulación de las avenidas.

Para la creación de un nuevo terreno, se debe seleccionar la opción 'Create a New Ras Terrain' haciendo click sobre la pestaña 'Terrain', tal y como se muestra en las siguientes ilustraciones.

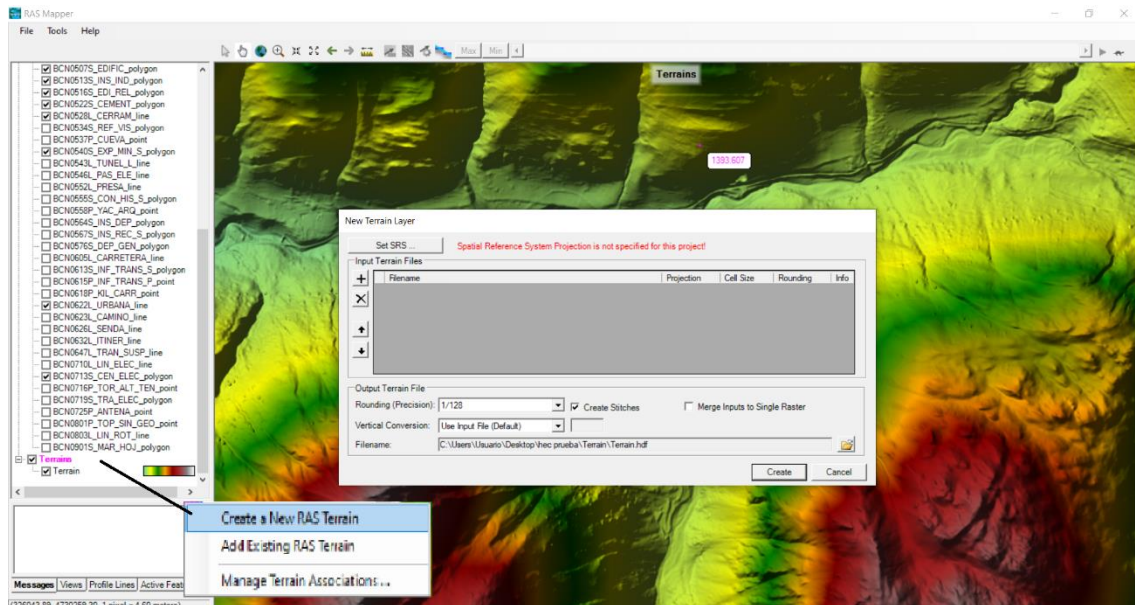


Figura 47. Implementación de un MDE. Elaboración propia

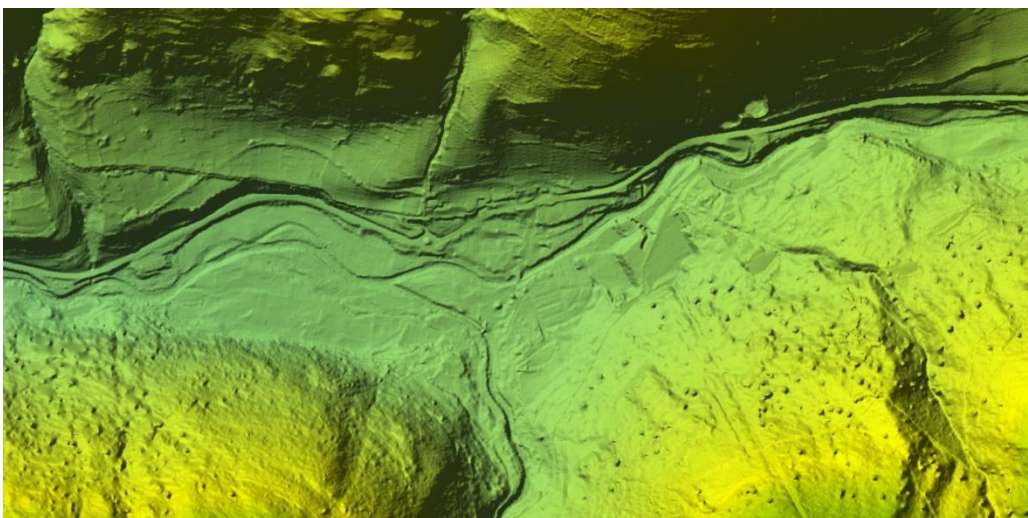


Figura 48. MDE de la zona de estudio

De la misma forma, se pueden introducir nuevas capas de mapas, como topográficos u ortofotos, entre otras. Estos mapas se pueden mostrar por separado o superpuestos, ya sea en su totalidad o por elementos (pudiendo diferenciar entre ríos y cauces, puentes, presas, edificios o infraestructuras de transporte entre otros, siendo estos los elementos más representativos).

A continuación, se muestran los mapas topográficos implementados con diferentes capas activadas para una mejor apreciación:

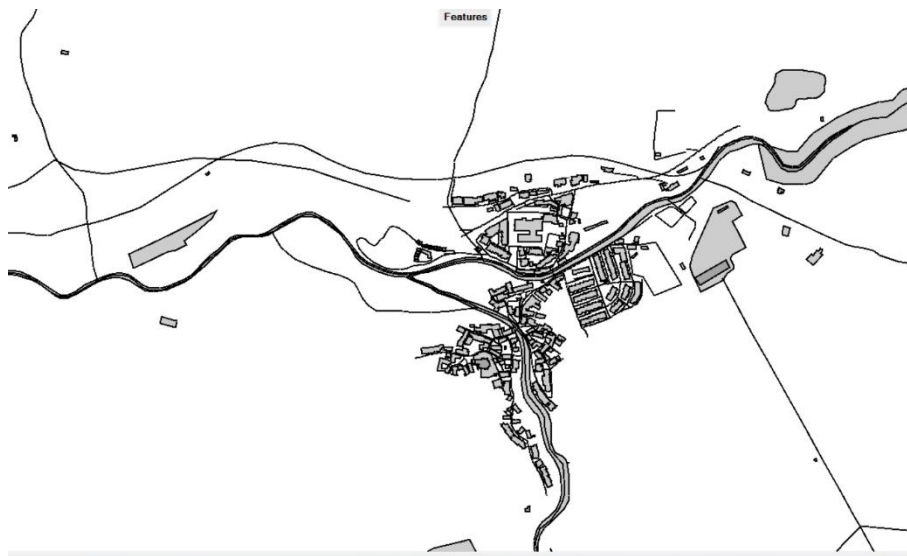


Figura 49. Mapa topográfico de la zona de estudio con curva de nivel desactivadas



Figura 50. Mapa topográfico de la zona de estudio

Otra de las funciones recientemente introducidas en el programa es la posibilidad de implementar un mapa de rugosidades. Este mapa relaciona el plano de usos del suelo con un número de Manning, asignando a cada punto un coeficiente de rugosidad.

Para la introducción de estos mapas, se ha de acceder también a la pestaña 'RAS Mapper', pero esta vez se ha de seleccionar la pestaña 'Map Layers'. Esta función permite implementar también otro tipo de mapas, como topográficos u ortofotos, como se ha comentado anteriormente. Para introducir un mapa de rugosidad se ha de presionar el botón derecho del ratón sobre la pestaña 'Map Layers' y seleccionar 'Add New Mannings's Layer', donde aparecerá una ventana desde la que cargar la capa de rugosidades obtenida.

3.3.5 Modelo digital del terreno.

Para la modelización hidráulica se ha empleado un Modelo Digital del Terreno con un paso de malla de precisión de 2x2 metros. Este Modelo Digital se ha obtenido de la página del Centro Nacional de Información Geográfica. Este modelo data del 2015, siendo la información más reciente que está disponible.

El modelo empleado ha sido procesado, en cuanto a que el original no incluía ni vegetación ni edificios, pero por el contrario sí que presentaba obras de paso sobre el río.

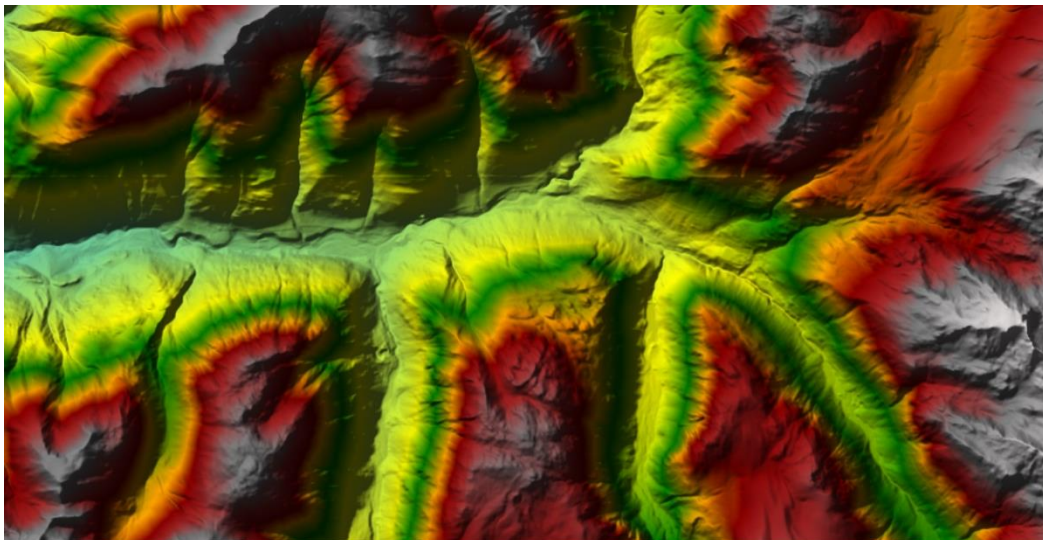


Figura 51. Modelo Digital del Terreno

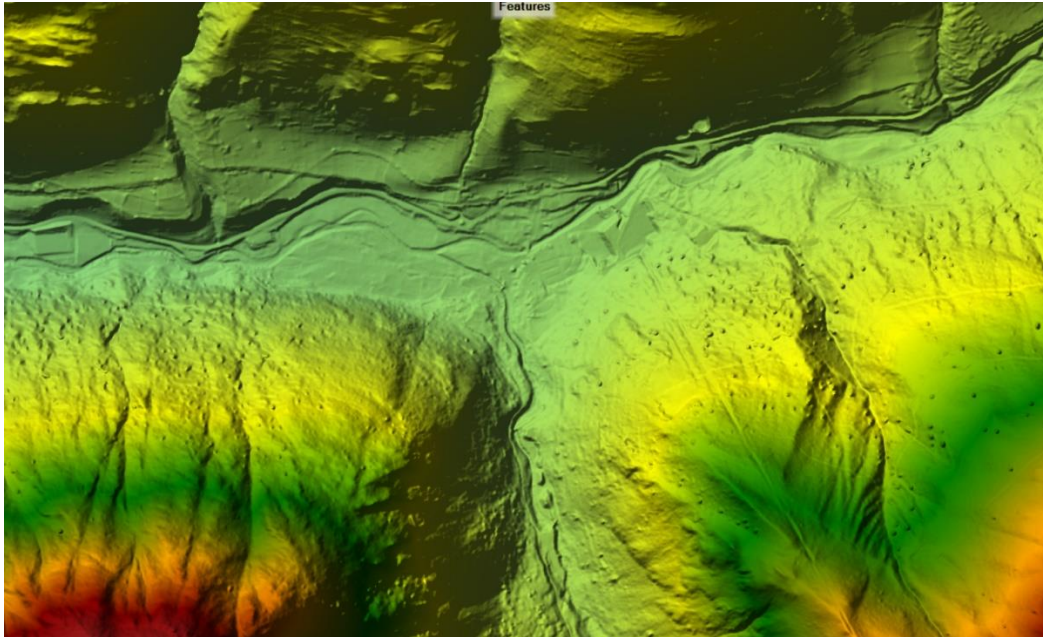


Figura 52. Modelo Digital del Terreno de la zona de estudio

El Modelo Digital del Terreno ha sido complementado y editado conforme a las diferentes estructuras que se encuentran en la zona.

3.3.6 Caudales.

Como se ha comentado en el apartado anterior de hidrología, se van a usar los caudales obtenidos del programa CAUMAX.

El Modelo Digital del Terreno considera la lámina de agua como el lecho del cauce. Esto supone una imprecisión, ya que, para obtener los datos reales, habría que considerar el caudal base registrado en los días de la toma de datos para la elaboración del mismo. Este caudal tendría que ser deducido de los caudales teóricos correspondientes a cada uno de los periodos de retorno estudiados. Pese a ello, no se conoce la fecha de realización del MDT, por lo que no se puede determinar el caudal base circulante en ese momento.

Aunque por medio de la aplicación CAUMAX se han obtenido los caudales máximos asociados a los diferentes periodos de retorno estudiados, se ha introducido un hidrograma sintético en HEC-RAS a la hora de realizar la simulación, en lugar de introducir un caudal constante máximo. Con ello se pretende representar el efecto laminador del cauce.

El hidrograma considerado es homotético al del SCS (Soil Conservation Service), actualmente USDA (Natural Resources Conservation Service). Para la altura de este hidrograma se considerará la caudal punta y para su anchura, el tiempo de concentración.

En el tramo de estudio se contemplan dos hidrogramas, el del río Garona y la contribución de un afluente, el Valarties. De esta manera, se adjunta la siguiente tabla que considera los caudales pico a introducir en el modelo del río Garona desde la estación de aforos del Garona en Arties, hasta el Barranco del Salider (aguas debajo del núcleo de Arties):

CAUDAL APORTADO (m ³ /s)					
RÍO	MCO (3,5 años)	T=5 años	T=10 años	T=100 años	T=500 años
Garona (Aguas arriba)	40	50	77	243	421
Valarties	19	26	41	116	193
ACUMULADO	59	76	118	359	614

Tabla 4. Caudales aportados (m³/s).

En esta tabla, se ha tomado el valor de los caudales aportados en la estación de Aforos de la Confederación Hidrográfica del Ebro A143 "río Garona en Arties", el punto donde comienza el tramo de estudio, así como, de su afluente el Valarties aguas arriba de las canteras de extracción de áridos existentes. Se han adoptado los datos del CAUMAX considerando que tienen mayor fiabilidad.

De la misma manera, se ha observado que, para el punto final del tramo estudiado, también mediante la aplicación CAUMAX, se han obtenido los siguientes resultados.

CAUDAL APORTADO (m ³ /s)					
RÍO	MCO (3,5 años)	T=5 años	T=10 años	T=100 años	T=500 años
Garona (Aguas abajo)	53	68	102	321	554

Tabla 5. Caudal aportado (m³/s) (2).

El valor acumulado del caudal de los dos ríos es mayor que el estimado en el punto final del área de estudio. Esto es así debido al tiempo de concentración de las diferentes cuencas que, al no ser idéntico, las puntas de caudal de ambos



ríos suceden en momentos diferentes. Por ello, se ha de realizar un ajuste a la hora de realizar los hidrogramas de estos ríos.

Se define la máxima crecida ordinaria como el valor medio de los máximos caudales anuales en su régimen natural, observado en 10 años consecutivos, que sean representativos del comportamiento hidráulico de la corriente.

A continuación, se adjuntan las tablas correspondientes a los hidrogramas de diseño para T= 10, T=100 y T=500 años. Para la Máxima Crecida Ordinaria se ha empleado un valor constante de acuerdo a los datos obtenidos de la CHE, adjuntos en el Anejo 2.

Para la Máxima crecida ordinaria se ha obtenido un caudal de 40 m³/s para el río Garona y de 19 m³/s para el Valarties.

HIDROGRAMAS T= 10 años.			
Intervalo: 0:05:53 Minutos			
TIEMPO	CAUDALES m ³ /s		
	GARONA	VALARTIES	ACUMULADO
00::00:00	0	5.77827648	5.778276481
00::00:05:53	7.61147172	19.6535009	27.26497262
00::00:11:46	8.67315769	22.4138241	31.08698175
00::00:17:39	9.93084723	25.2845601	35.21540737
00::00:23:32	11.2048704	28.1921005	39.39697093
00::00:29:25	12.4788936	31.0260323	43.50492587
00::00:35:18	14.6839336	33.6023339	48.28626758
00::00:41:41	16.8889737	35.8842011	52.77317482
00::00:47:04	18.1629969	37.7244165	55.88741342
00::00:52:57	19.4370201	39.1965889	58.63360894
00::00:58:50	20.7437105	40.1903052	60.9340157
00::01:04:43	21.8870646	40.7791741	62.66623876
00::01:10:36	23.0304187	41	64.03041873
00::01:16:29	23.2917568	41	64.29175682
00::01:22:22	23.5530949	41	64.5530949
00::01:28:15	23.814433	40.7791741	64.59360714
00::01:34:08	23.814433	40.1903052	64.0047382
00::01:40:01	47.3871283	39.1965889	86.58371712
00::01:45:54	47.4034619	37.7244165	85.1278784
00::01:51:47	47.4230622	35.8842011	83.30726331
00::01:57:40	47.4393959	33.6023339	81.0417298
00::02:03:33	47.4524628	31.0260323	78.47849509
00::02:09:26	47.4655297	28.1921005	75.65763021



00::02:15:19	47.5635315	26.0611311	73.62466252
00::02:21:12	47.6615332	26.0611311	73.7226643
00::02:27:05	47.7758687	26.0611311	73.83699971
00::02:32:58	47.8477366	26.0611311	73.90886768
00::02:38:51	47.8477366	26.0611311	73.90886768
00::02:44:44	47.8477366	26.0611311	73.90886768
00::02:50:37	48.0695473	26.0611311	74.13067838
00::02:56:30	48.3864198	26.0611311	74.44755081
00::03:02:23	48.7983539	26.0611311	74.85948497
00::03:08:16	49.4954733	26.0611311	75.55660431
00::03:14:16	50.2559671	26.0611311	76.31709814
00::03:20:02	51.1748971	26.0611311	77.23602818
00::03:25:55	52.2205761	26.0611311	78.28170719
00::03:31:48	53.3613169	26.0611311	79.42244793
00::03:37:41	54.7238683	26.0611311	80.78499937
00::03:43:34	56.1814815	26.0611311	82.24261254
00::03:49:27	57.7341564	26.0611311	83.79528744
00::03:55:20	59.4452675	26.0611311	85.50639855
00::04:01:13	61.3465021	26.0611311	87.40763312
00::04:07:06	63.3427984	26.0611311	89.40392941
00::04:12:59	65.4658436	26.0611311	91.52697468
00::04:18:52	67.5888889	26.0611311	93.65001995
00::04:24:45	69.6802469	26.0611311	95.74137797
00::04:30:38	71.5814815	26.0611311	97.64261254
00::04:36:31	73.2292181	26.0611311	99.29034917
00::04:42:24	74.5917695	26.0611311	100.6529006
00::04:48:17	75.6691358	26.0611311	101.7302669
00::04:54:10	76.3979424	26.0611311	102.4590734
00::05:00:03	76.8415638	26.0611311	102.9026948
00::05:05:56	77	26.0611311	103.0611311
00::05:11:49	77	26.0611311	103.0611311
00::05:17:42	77	26.0611311	103.0611311
00::05:23:35	76.8415638	26.0611311	102.9026948
00::05:29:28	76.3979424	26.0611311	102.4590734
00::05:35:21	75.6691358	26.0611311	101.7302669
00::05:41:14	74.5917695	26.0611311	100.6529006
00::05:47:07	73.2292181	26.0611311	99.29034917
00::05:53	71.5814815	26.0611311	97.64261254
00::05:58:53	69.6802469	26.0611311	95.74137797
00::06:04:46	67.5888889	26.0611311	93.65001995
00::06:10:39	65.4658436	26.0611311	91.52697468
00::06:16:32	63.3427984	26.0611311	89.40392941
00::06:22:25	61.3465021	26.0611311	87.40763312
00::06:28:18	59.4452675	26.0611311	85.50639855
00::06:34:11	57.7341564	26.0611311	83.79528744



00::06:40:04	56.1814815	26.0611311	82.24261254
00::06:45:57	54.7238683	26.0611311	80.78499937
00::06:51:50	53.3613169	26.0611311	79.42244793
00::06:57:43	52.2205761	26.0611311	78.28170719
00::07:03:36	51.1748971	26.0611311	77.23602818
00::07:09:29	50.2559671	26.0611311	76.31709814
00::07:15:22	49.4954733	26.0611311	75.55660431
00::07:21:15	48.7983539	26.0611311	74.85948497
00::07:27:08	48.3864198	26.0611311	74.44755081
00::07:33:01	48.0695473	26.0611311	74.13067838
00::07:38:54	47.8477366	26.0611311	73.90886768
00::07:44:47	47.8477366	26.0611311	73.90886768
00::07:50:40	47.8477366	26.0611311	73.90886768
00::07:56:33	47.8477366	26.0611311	73.90886768
00::08:02:26	46.8971193	26.0611311	72.9582504
00:08:08:19	46.8971193	26.0611311	72.9582504

Tabla 6. Hidrograma T=10 años.

HIDROGRAMAS T= 100 años.			
Intervalo: 0:05:53 Minutos			
TIEMPO	CAUDALES m3/s		
	GARONA	VALARTIES	ACUMULADO
00::00:00	0	15.7	15.7
00::00:05:53	23.3	53.4	76.7
00::00:11:46	26.55	60.9	87.45
00::00:17:39	30.4	68.7	99.1
00::00:23:32	34.3	76.6	110.9
00::00:29:25	38.2	84.3	122.5
00::00:35:18	44.95	91.3	136.25
00::00:41:41	51.7	97.5	149.2
00::00:47:04	55.6	102.5	158.1
00::00:52:57	59.5	106.5	166
00::00:58:50	63.5	109.2	172.7
00::01:04:43	67	110.8	177.8
00::01:10:36	70.5	111.4	181.9
00::01:16:29	71.3	111.4	182.7
00::01:22:22	72.1	111.4	183.5
00::01:28:15	72.9	110.8	183.7
00::01:34:08	72.9	109.2	182.1



00::01:40:01	145.06	106.5	251.56
00::01:45:54	145.11	102.5	247.61
00::01:51:47	145.17	97.5	242.67
00::01:57:40	145.22	91.3	236.52
00::02:03:33	145.26	84.3	229.56
00::02:09:26	145.3	76.6	221.9
00::02:15:19	145.6	70.81	216.41
00::02:21:12	145.9	70.81	216.71
00::02:27:05	146.25	70.81	217.06
00::02:32:58	146.47	70.81	217.28
00::02:38:51	146.47	70.81	217.28
00::02:44:44	146.47	70.81	217.28
00::02:50:37	147.149	70.81	217.959
00::02:56:30	148.119	70.81	218.929
00::03:02:23	149.38	70.81	220.19
00::03:08:16	151.514	70.81	222.324
00::03:14:16	153.842	70.81	224.652
00::03:20:02	156.655	70.81	227.465
00::03:25:55	159.856	70.81	230.666
00::03:31:48	163.348	70.81	234.158
00::03:37:41	167.519	70.81	238.329
00::03:43:34	171.981	70.81	242.791
00::03:49:27	176.734	70.81	247.544
00::03:55:20	181.972	70.81	252.782
00::04:01:13	187.792	70.81	258.602
00::04:07:06	193.903	70.81	264.713
00::04:12:59	200.402	70.81	271.212
00::04:18:52	206.901	70.81	277.711
00::04:24:45	213.303	70.81	284.113
00::04:30:38	219.123	70.81	289.933
00::04:36:31	224.167	70.81	294.977
00::04:42:24	228.338	70.81	299.148
00::04:48:17	231.636	70.81	302.446
00::04:54:10	233.867	70.81	304.677
00::05:00:03	235.225	70.81	306.035
00::05:05:56	235.71	70.81	306.52
00::05:11:49	235.71	70.81	306.52
00::05:17:42	235.71	70.81	306.52
00::05:23:35	235.225	70.81	306.035
00::05:29:28	233.867	70.81	304.677
00::05:35:21	231.636	70.81	302.446
00::05:41:14	228.338	70.81	299.148
00::05:47:07	224.167	70.81	294.977
00::05:53	219.123	70.81	289.933
00::05:58:53	213.303	70.81	284.113



00::06:04:46	206.901	70.81	277.711
00::06:10:39	200.402	70.81	271.212
00::06:16:32	193.903	70.81	264.713
00::06:22:25	187.792	70.81	258.602
00::06:28:18	181.972	70.81	252.782
00::06:34:11	176.734	70.81	247.544
00::06:40:04	171.981	70.81	242.791
00::06:45:57	167.519	70.81	238.329
00::06:51:50	163.348	70.81	234.158
00::06:57:43	159.856	70.81	230.666
00::07:03:36	156.655	70.81	227.465
00::07:09:29	153.842	70.81	224.652
00::07:15:22	151.514	70.81	222.324
00::07:21:15	149.38	70.81	220.19
00::07:27:08	148.119	70.81	218.929
00::07:33:01	147.149	70.81	217.959
00::07:38:54	146.47	70.81	217.28
00::07:44:47	146.47	70.81	217.28
00::07:50:40	146.47	70.81	217.28
00::07:56:33	146.47	70.81	217.28
00::08:02:26	143.56	70.81	214.37
00:08:08:19	143.56	70.81	214.37

Tabla 7. Hidrograma T=100 años.

HIDROGRAMAS T= 500 años.			
Intervalo: 0:05:53 Minutos			
TIEMPO	CAUDALES m3/s		
	GARONA	VALARTIES	ACUMULADO
00::00:00	0	0	0
00::00:05:53	132	105.4	237.4
00::00:11:46	132	119.1	251.1
00::00:17:39	132	132.8	264.8
00::00:23:32	132	146.1	278.1
00::00:29:25	132	158.3	290.3
00::00:35:18	132	169	301
00::00:41:41	132	177.7	309.7
00::00:47:04	132	184.4	316.4
00::00:52:57	132	189.2	321.2
00::00:58:50	132	192.1	324.1



00::01:04:43	132	193	325
00::01:10:36	145.1	193	338.1
00::01:16:29	176.6	193	369.6
00::01:22:22	208.1	192.1	400.2
00::01:28:15	239.6	189.2	428.8
00::01:34:08	271.1	184.4	455.5
00::01:40:01	271.3	177.7	449
00::01:45:54	271.4	169	440.4
00::01:51:47	271.6	158.3	429.9
00::01:57:40	271.7	146.1	417.8
00::02:03:33	271.7	132.8	404.5
00::02:09:26	271.7	124	395.7
00::02:15:19	271.7	124	395.7
00::02:21:12	271.7	124	395.7
00::02:27:05	271.7	124	395.7
00::02:32:58	279.2	124	403.2
00::02:38:51	282.7	124	406.7
00::02:44:44	286.2	124	410.2
00::02:50:37	289.7	124	413.7
00::02:56:30	306.4	124	430.4
00::03:02:23	323.1	124	447.1
00::03:08:16	339.8	124	463.8
00::03:14:16	365.5	124	489.5
00::03:20:02	369	124	493
00::03:25:55	382.3	124	506.3
00::03:31:48	395.2	124	519.2
00::03:37:41	408.1	124	532.1
00::03:43:34	415.6	124	539.6
00::03:49:27	423.0	124	547
00::03:55:20	430.5	124	554.5
00::04:01:13	437.9	124	561.9
00::04:07:06	438.1	124	562.1
00::04:12:59	438.5	124	562.5
00::04:18:52	438.7	124	562.7
00::04:24:45	438.8	124	562.75
00::04:30:38	439	124	563
00::04:36:31	434.0	124	558
00::04:42:24	429	124	553
00::04:48:17	424.2	124	548.2
00::04:54:10	419.2	124	543.2
00::05:00:03	410.0	124	534
00::05:05:56	400.8	124	524.8
00::05:11:49	391.6	124	515.6
00::05:17:42	382.3	124	506.3
00::05:23:35	373.1	124	497.1

00::05:29:28	364	124	488
00::05:35:21	354.7	124	478.7
00::05:41:14	345.5	124	469.5
00::05:47:07	338.6	124	462.6
00::05:53	331.7	124	455.7
00::05:58:53	324.9	124	448.9
00::06:04:46	318	124	442

Tabla 8. Hidrograma T=100 años.

3.3.7 Condiciones de contorno.

A la hora de establecer las diferentes condiciones de contorno para el modelo 2D, se tienen las siguientes posibilidades:

- Stage Hydrograph.
- Flow Hydrograph.
- Rating Curve.
- Normal Depth.

Stage Hydrograph y Flow Hydrograph son empleadas a la hora de introducir un flujo en el área 2D de estudio, mientras que Rating Curve y Normal Depth sirven para establecer las condiciones en las que el flujo abandona el área.

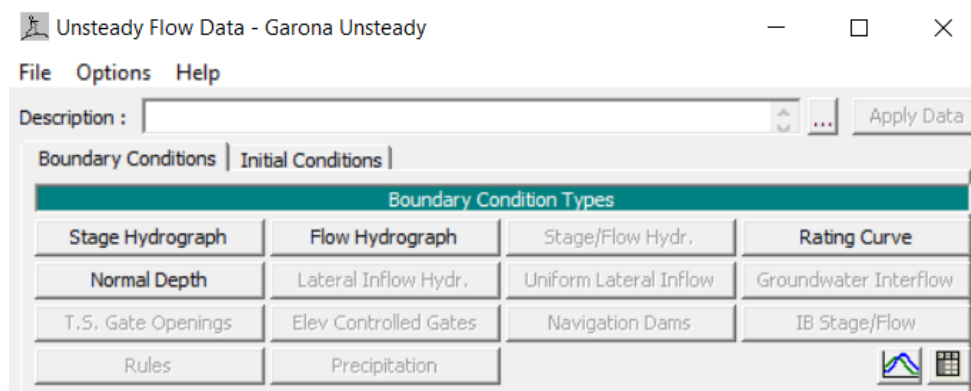


Figura 53. Menú de configuración de las condiciones del contorno

Para el modelo estudiado, se han elegido las siguientes condiciones de contorno:



- Condiciones de contorno aguas arriba:

Aguas arriba se establecen los caudales correspondientes al inicio del tramo. Se han aplicado hidrogramas de flujo como condiciones de condiciones de contorno.

- Condiciones de contorno intermedias:

Se tendrán en cuenta los caudales correspondientes al río Valarties, introduciendo un hidrograma de flujo.

- Condiciones de contorno aguas abajo:

Para la condición de contorno aguas abajo, en la confluencia del Garona con el Barranco del Salider, se considera la condición de calado normal. Dado que se trata de un modelo bidimensional, no es necesario introducir condiciones de contorno en la confluencia.

3.3.8 Mapa de los usos del suelo. Rugosidad.

La rugosidad en la llanura de inundación depende fundamentalmente de los usos del suelo presentes en la misma.

A la hora de realizar un correcto estudio de inundabilidad es preciso la elaboración de un mapa con los distintos usos del suelo a los que se les asocia una rugosidad o número de Manning a cada punto de la zona de estudio.

Aplicando la metodología expuesta en la "Guía Metodológica para el desarrollo del SNCZI" finalmente se han definido las rugosidades distribuidas de cada uno de los modelos hidráulicos.

Como información de partida se han empleado herramientas como el SIOSE (Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España), integrado dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT) que genera una base de datos de Ocupación del Suelo para toda España a escala de referencia 1:25.000, o del Instituto Geográfico Nacional (CORINE LANDCOVER). Se ha obtenido información de la cuenca hidrográfica del Río Garona, realizando una clasificación de ésta en cuanto a la vegetación y los usos de estos suelos.

El proceso a seguir es el siguiente:

- 1- Superponer los polígonos del SIOSE con las herramientas de los SIG sobre la ortofoto suministrada con el MDT del LIDAR.



- 2- Rectificar los polígonos de usos del suelo en caso necesario. En este caso se introdujeron los cambios asociados a las actuaciones y a las variaciones de la morfología del cauce producidas por la avenida.
- 3- Asignar valores del coeficiente de rugosidad de Manning a los polígonos de usos del suelo tomando como punto de partida los valores de las tablas que se adjuntan en la guía metodológica del SNCZI.
- 4- Revisar los valores del coeficiente de rugosidad de Manning en función de la densidad de la vegetación o de las edificaciones en la zona de estudio.

Para la generación del mapa de rugosidad en nuestro modelo, se ha empleado la herramienta 'Ras Mapper' anteriormente comentada.

Sobre la pestaña 'Map Layers' se ha de hacer clic con el botón izquierdo del ratón para posteriormente seleccionar 'Add new Land Cover', desde donde se podrá cargar el mapa de rugosidad. El resultado es el mapa de rugosidades mostrado a continuación en las siguientes capturas de pantalla del programa que ilustran el proceso.

De la Guía Metodológica para el desarrollo del SNCZI se ha obtenido la siguiente tabla para la selección de los números de Manning propuestos.



SNCZI EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

MEMORIA RESUMEN DE LOS MAPAS DE
PELIGROSIDAD Y RIESGO DE INUNDACIÓN

Cobertura simple	Etiqueta	Número de Manning propuesto
Arroz	CHA	0.04
Cultivos herbáceos distintos de arroz	CHL	0.04
Cítricos	LFC	0.06
Frutales no cítricos	LFN	0.06
Viñedo	LVI	0.05
Olivar	LOL	0.06
Otros cultivos leñosos	LOC	0.04
Prados	PRD	0.045
Pastizales	PST	0.045
Perennifolias	FDP	0.07
Caducifolias	FDC	0.07
Coníferas	CNF	0.07
Matorral	MTR	0.06
Playas, dunas y arenales	PDA	0.025
Ramblas	RMB	0.035
Roquedo	RQD	No existe
Acantilados marinos	ACM	0.025
Afloramientos rocosos y roquedos	ARR	0.035
Coladas lávicas cuaternarias	CLC	0.03
Canchales	CCH	0.035
Suelo desnudo	SDN	0.025
Zonas quemadas	ZQM	0.04
Glaciares y nieves permanentes	GNP	0.025
Edificación	EDF	Se propone distinguir entre 0,04 para el supuesto de modelización con edificios y 0,12 para modelización sin edificios
Zona verde artificial y arbolado urbano	ZAU	0.09
Lámina de agua artificial	LAA	0.015
Vial, aparcamiento, zona peatonal sin vegetación	VAP	0.04
Suelo no edificado	SNE	0.04
Otras construcciones	OCT	0.04
Zonas de extracción o vertido	ZEV	0.04
Zonas pantanosas	HPA	0.04
Turberas	HTU	0.04
Salinas continentales	HSA	0.04
Marismas	HMA	0.04
Salinas marinas	HSM	0.04
Cursos de agua	ACU	0.04
Lagos y lagunas	ALG	0.025
Embalses	AEM	0.025
Lagunas costeras	ALC	0.03
Estuarios	AES	0.03
Mares y océanos	AMO	0.025

Tabla 9. Valores de rugosidad propuestos por la CHE para los diferentes usos del suelo.

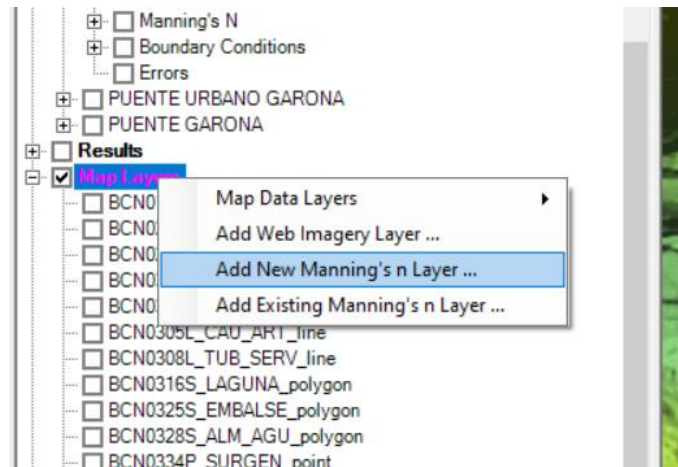


Figura 54. Introducción de la capa de rugosidades

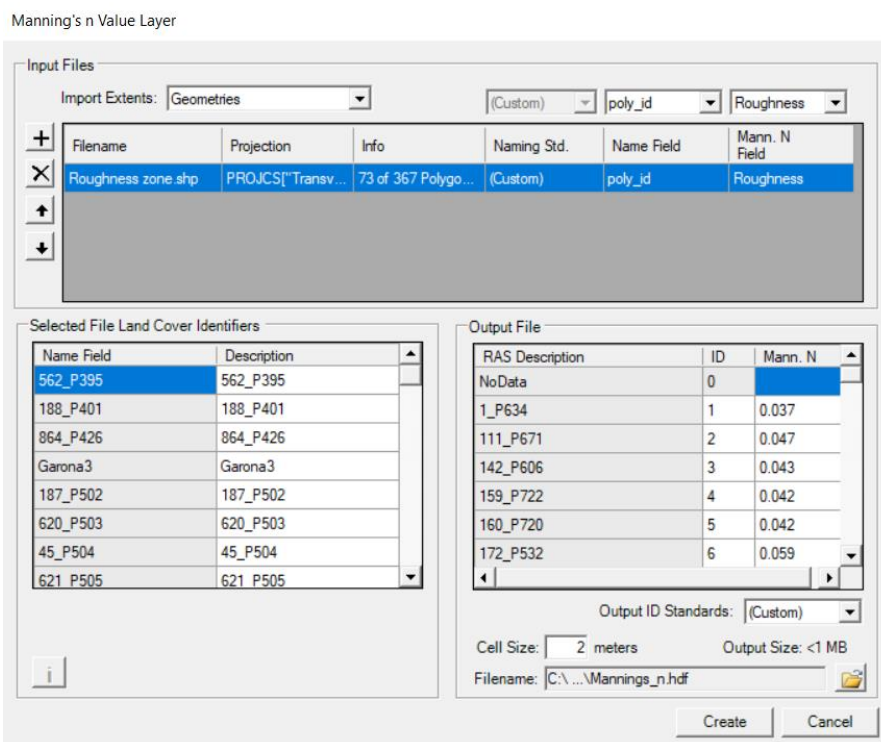


Figura 55. Introducción de la capa de rugosidades (2).

En esta pestaña se ha de seleccionar el archivo del mapa de los usos del suelo de la carpeta en la cual esté guardado. En la esquina superior derecha, se selecciona del desplegable la pestaña 'Roughness' para volcar sobre el mapa de los usos del suelo los diferentes números de Manning asociados a los mismos. Con ello, se obtiene el siguiente mapa de rugosidades:

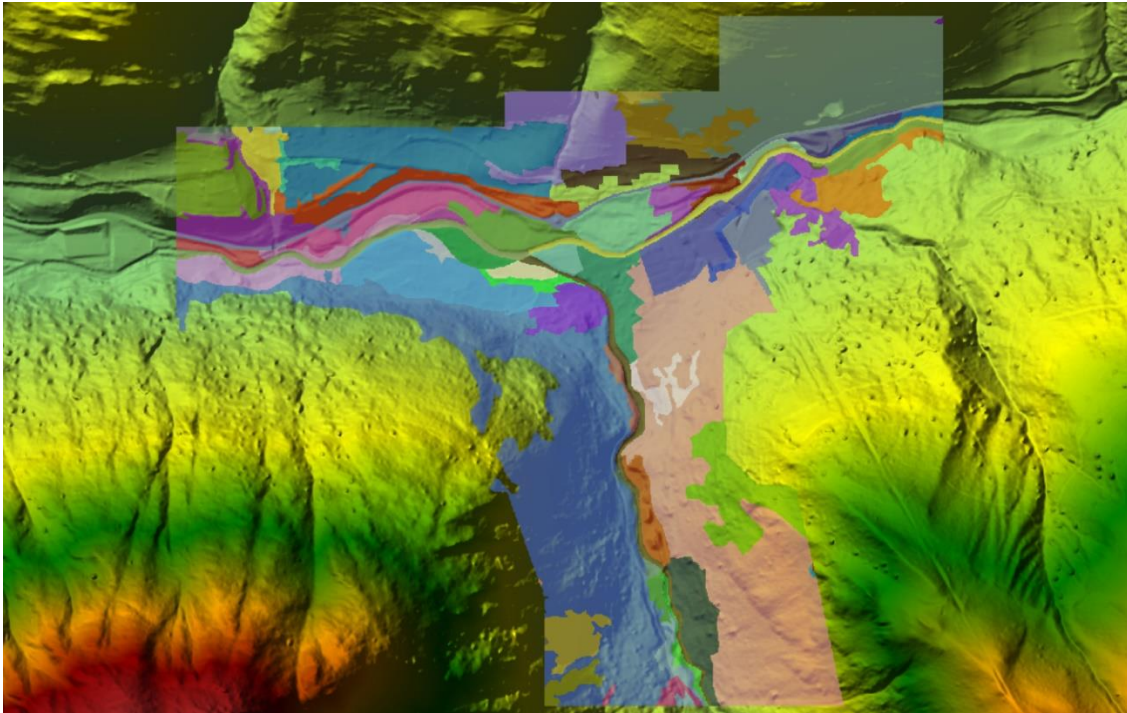


Figura 56. Resultado de la introducción de la capa de rugosidades.

3.3.9 Zonas críticas.

En este apartado se tratan los diferentes elementos que han de ser tenidos en cuenta debido a que no pueden extraerse íntegramente del MDE implementado, tales como puentes y pasarelas, presas, obras de drenaje transversal, los propios edificios, o diferentes infraestructuras viarias o de transporte, o de abastecimiento, entre otras. Dado que esta información no se puede extraer íntegramente del LIDAR o del MDE, ha sido necesario tomar esta información en campo.

Mediante el mapa topográfico implementado se han podido localizar las áreas críticas teniéndolas en cuenta para, si fuera necesario, poder corregir el MDT. Para la obtención de información acerca de las obras de fábrica de Arties se ha contactado con la CHE.

A lo largo del tramo de estudio se han detectado varias infraestructuras a tener en cuenta en el Modelo Digital de Elevaciones:

- Sobre el río Garona, al comienzo del tramo de estudio se distinguen cuatro obras lineales que lo cruzan:

- Estación de aforos del Garona en Arties.
 - Puente municipal de acceso a la central hidroeléctrica de Arties.
 - Presa de la central hidroeléctrica.
 - Puente municipal de la vía interior de Arties.
- Sobre el río Valarties, se distinguen también tres obras lineales:
 - Puente municipal sobre el Valarties.
 - Estación de aforos del Valarties en Arties.
 - Puente municipal de la vía interior de Arties.
- Una Obra de Drenaje Transversal, en la carretera C- 28, que permite evacuar el agua proveniente del Barranco del Salider.

A continuación, se adjuntan imágenes de las infraestructuras comentadas.

Las siguientes ilustraciones hacen referencia al primer tramo de la zona de estudio, desde la estación de aforo del Garona en Arties hasta el núcleo de Arties, donde se encuentra el puente municipal.

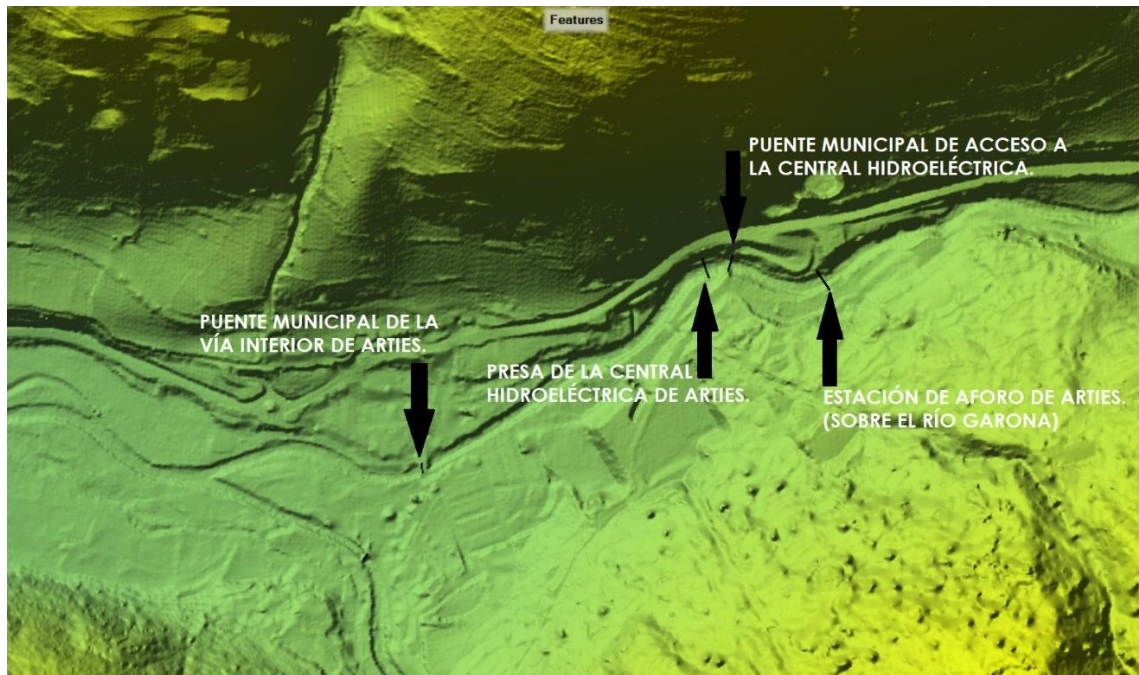


Figura 57. Estructuras sobre el río Garona, en el tramo aguas arriba



Figura 58. Ortofoto de la estación de aforos del Garona en Arties



Figura 59. Ortofoto del puente municipal y la presa sobre el río Garona al comienzo de la zona de estudio



Figura 60. Ortofoto del puente municipal sobre el río Garona en Arties

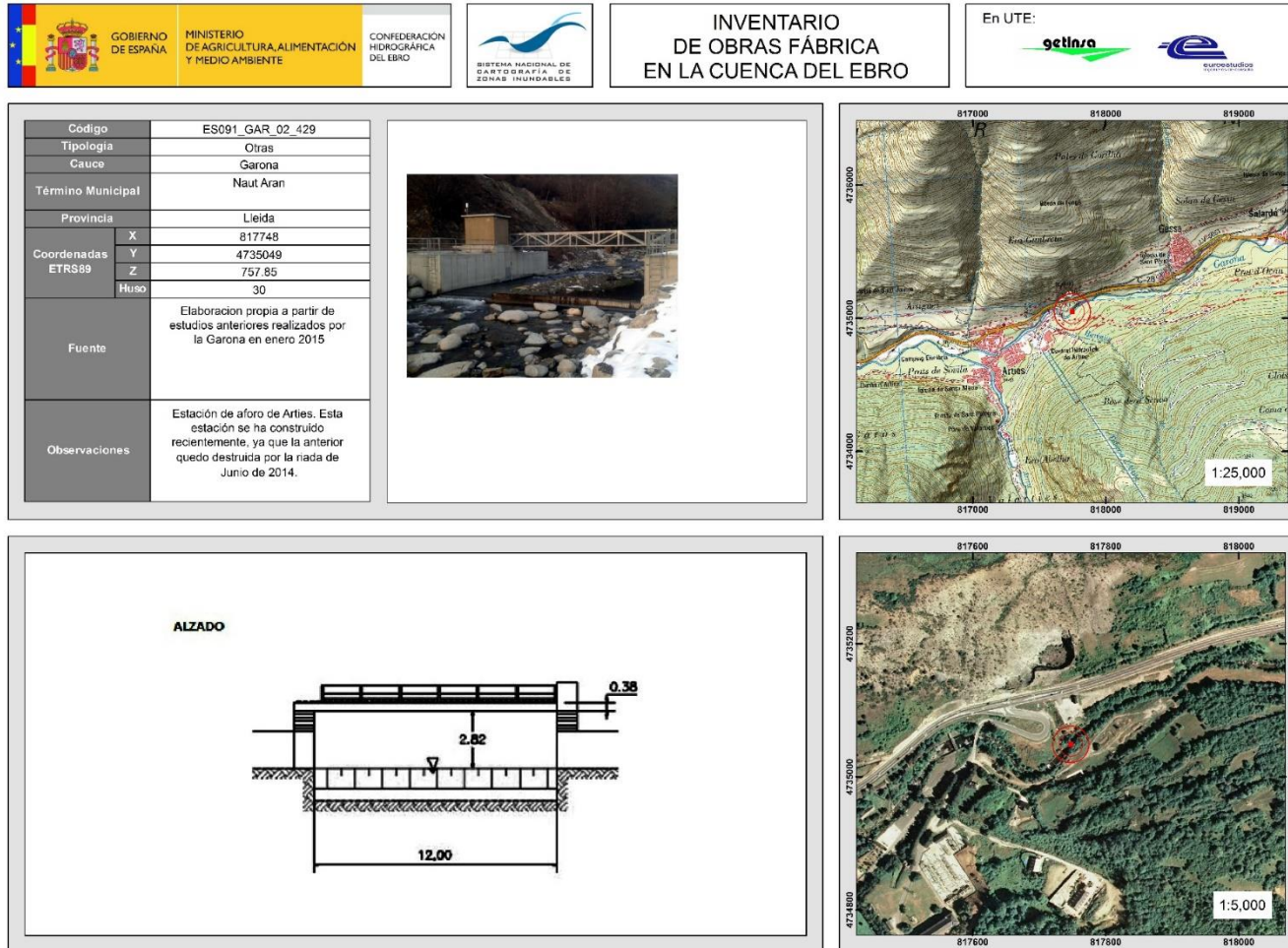


Figura 61. Inventario de obras de fábrica en la cuenca del Ebro



Figura 62. Estación de aforos del Garona en Arties (1)



Figura 63. Estación de aforos del Garona en Arties (2)

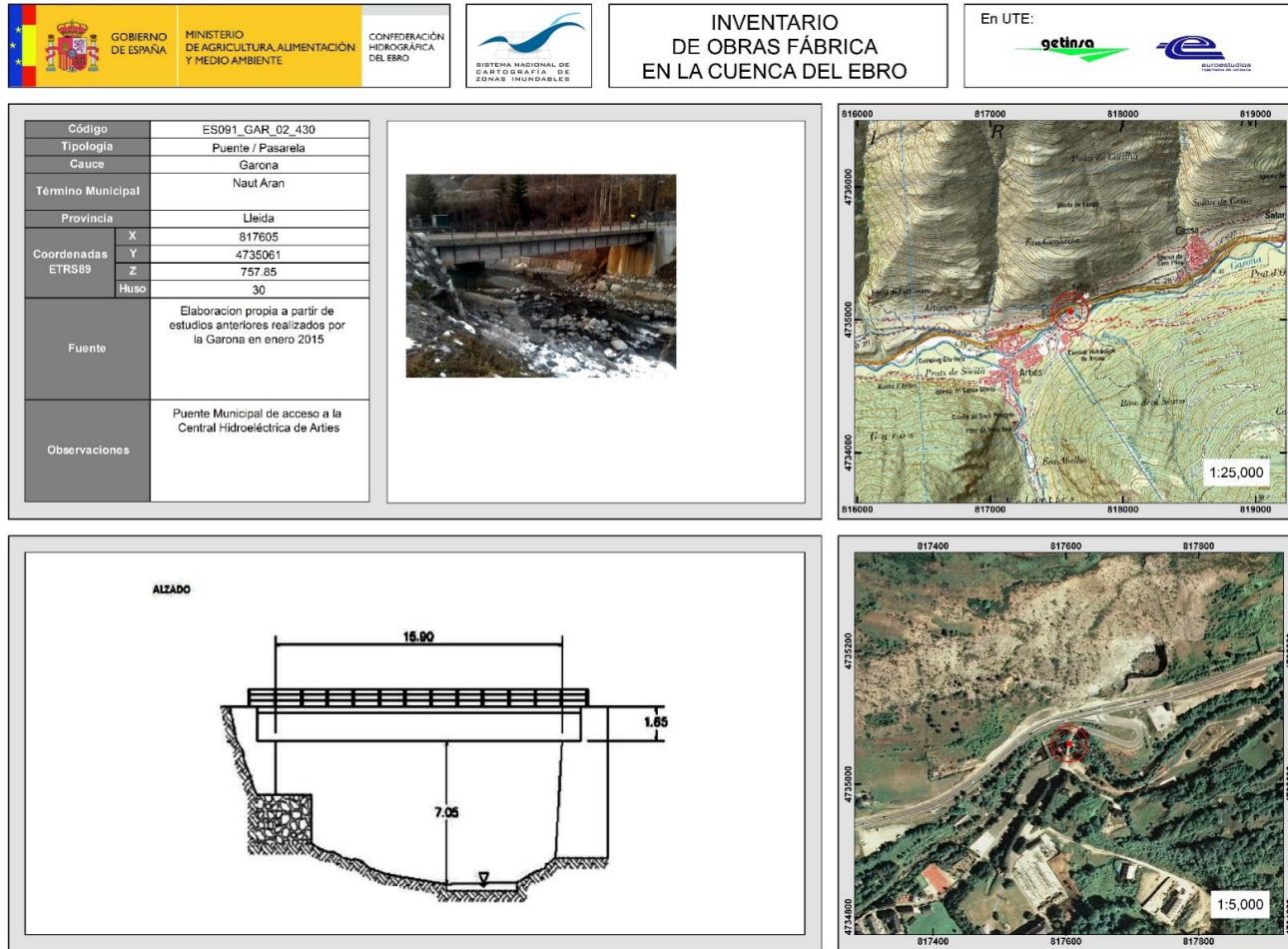


Figura 64. Inventario de obras de fábrica en la cuenca del Ebro (2)

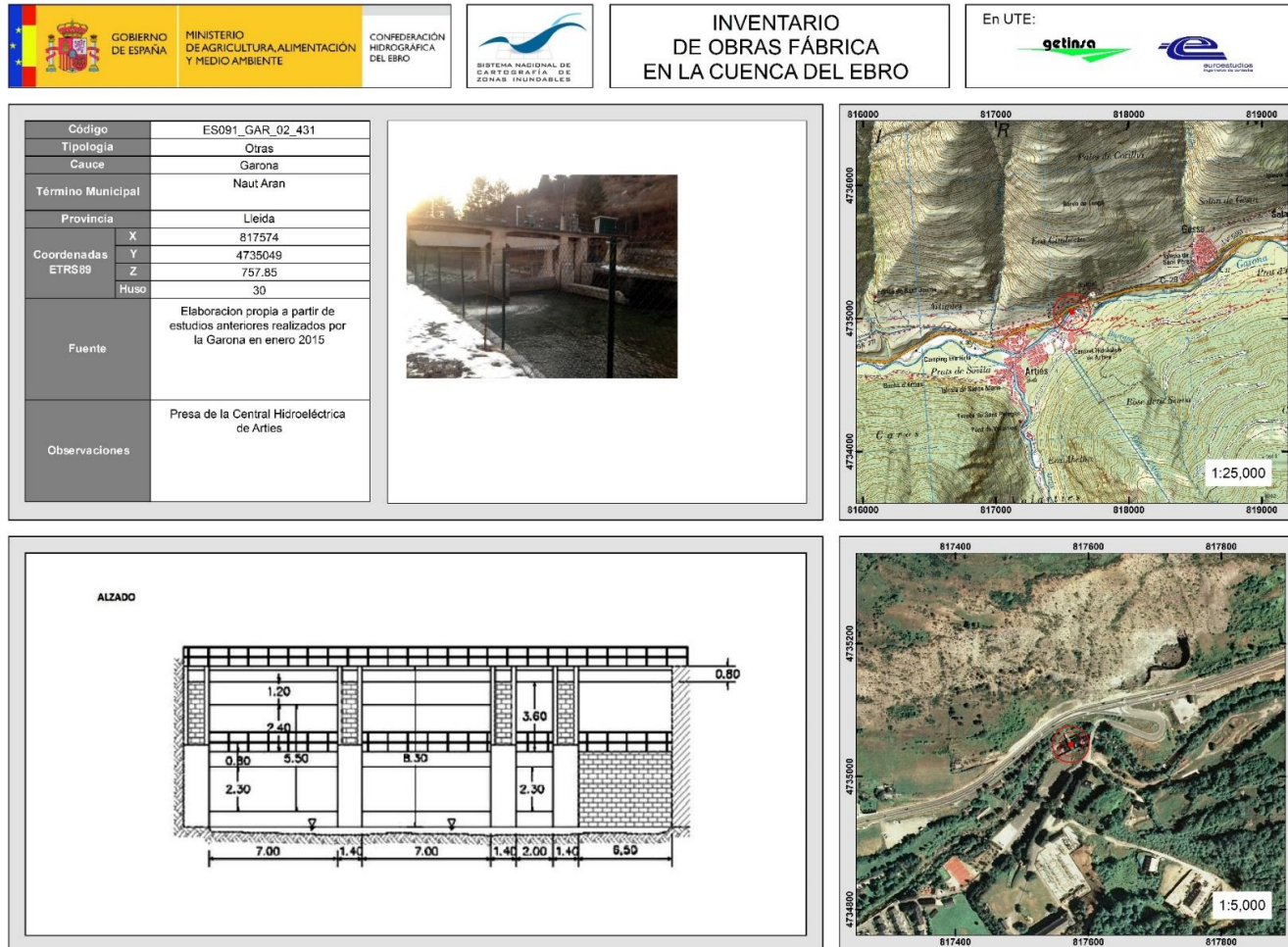


Figura 65. Inventario de obras de fábrica en la cuenca del Ebro (3)

 GOBIERNO DE ESPAÑA	MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE	CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO	 SISTEMA NACIONAL DE CARTOGRAFÍA DE ZONAS INUNDABLES	INVENTARIO DE OBRAS FÁBRICA EN LA CUENCA DEL EBRO	En UTE:
------------------------	--	-------------------------------------	---	--	-----------------

Código	ES091_GAR_02_432	
Tipología	Puente / Pasarela	
Cauce	Garona	
Término Municipal	Naut Aran	
Provincia	Lleida	
Coordenadas ETRS89	X	817197
	Y	4734746
	Z	757.85
	Huso	30
Fuente	Elaboracion propia a partir de estudios anteriores realizados por la Garona en enero 2015	
Observaciones	Puente Municipal de la via interior de Artes	


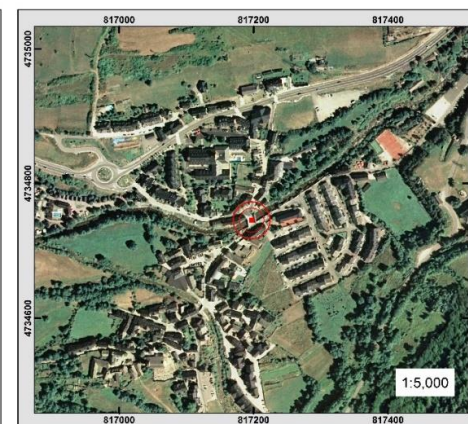
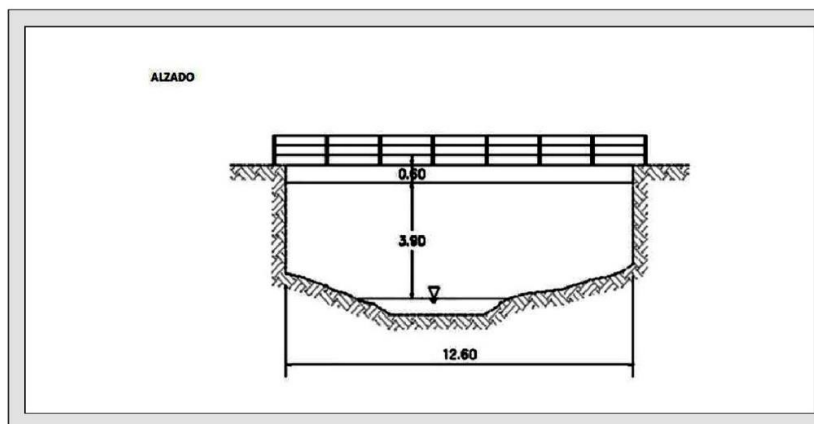
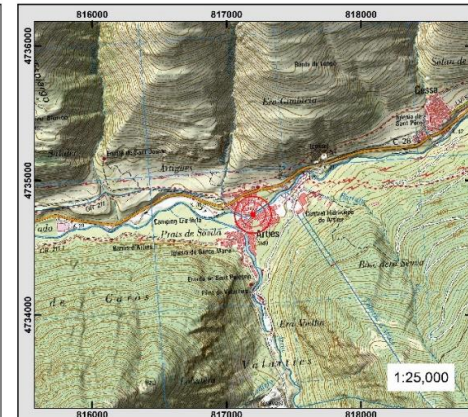



Figura 66. Inventario de obras de fábrica en la cuenca del Ebro (4)

Las siguientes imágenes son del Valarties que, desde el tramo estudiado hasta la confluencia, también consta de tres obras sobre el cauce. En el sentido de la corriente, la primera infraestructura es un puente que lo cruza, siendo la segunda un pequeño azud, donde se situaba la estación de aforo, ahora fuera de servicio, y siendo el último, otro puente que conecta las partes del municipio separadas por el cauce.

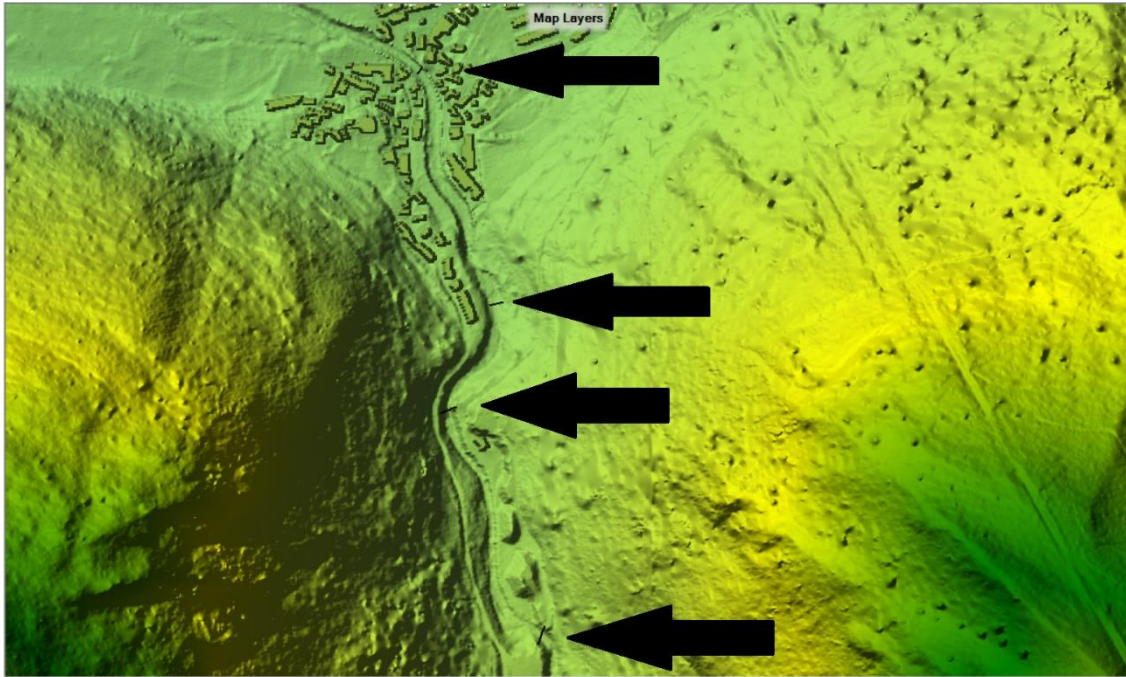


Figura 67. Puentes y pasarelas sobre el río Valarties.

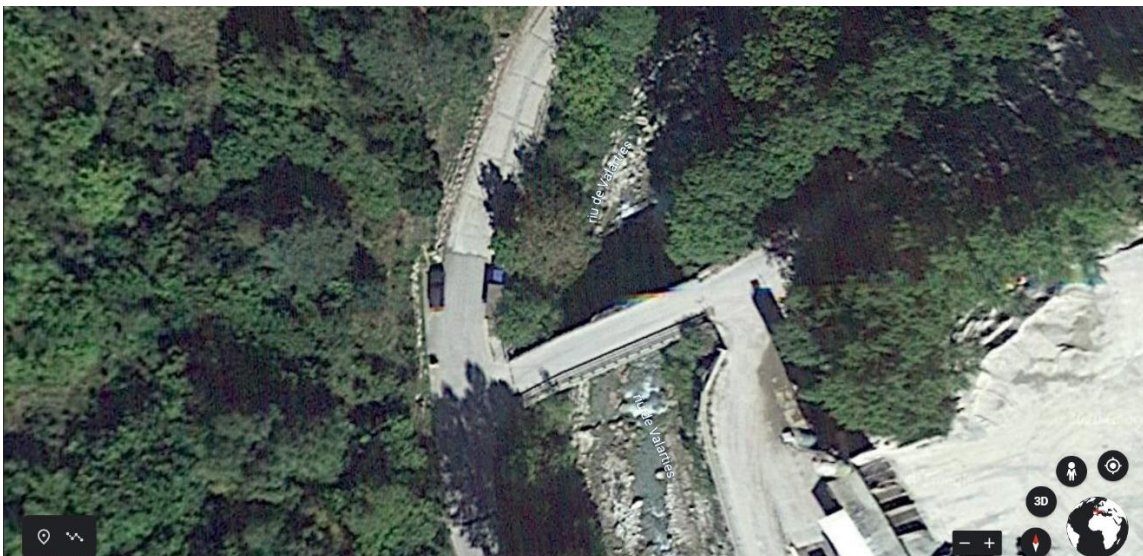


Figura 68. Ortofoto del puente aguas arriba del Valarties.



Figura 69. Ortofoto de la estación de Aforos sobre el río Valarties.



Figura 70. Fotografía de la estación de aforos del Valarties en Arties (1)



Figura 71. Fotografía de la estación de aforos del Valarties en Arties (2).



Figura 72. Ortofotografía del puente municipal sobre el Valarties en Arties.

La siguiente imagen muestra los dos puentes, comentados en las fotos anteriores, que conectan las diferentes partes de la localidad de Arties, atravesada tanto por el Garona como por el Valarties.

Aguas abajo, donde el Barranco del Salider desemboca en el Garona, se identifica una Obra de Drenaje Transversal en la carretera C-28, restituyendo la continuidad de la red de drenaje natural del terreno una vez ejecutadas las obras y permitiendo el paso de caudal a través.

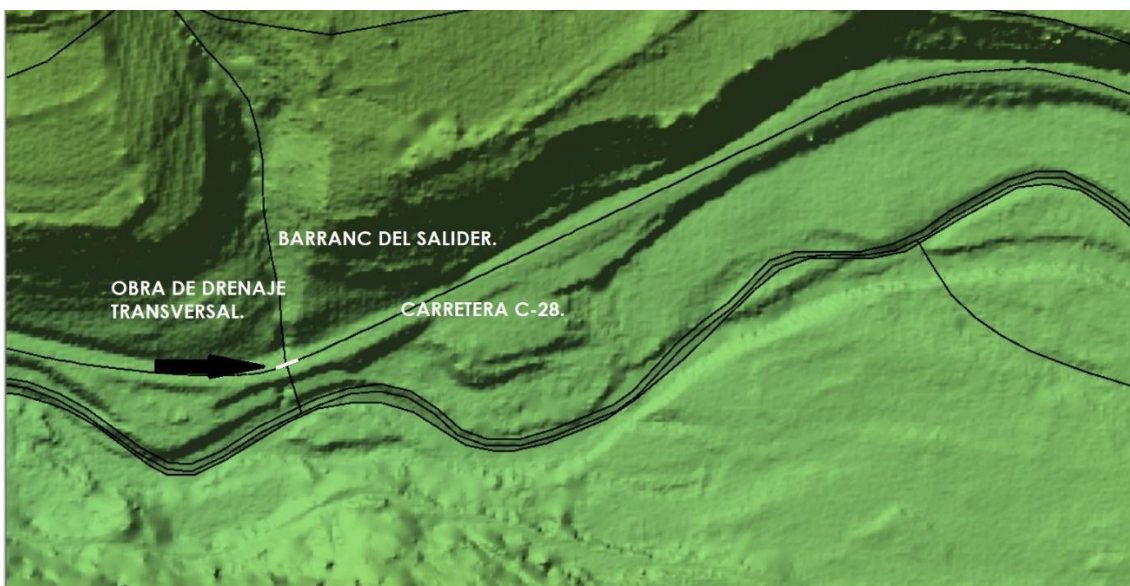


Figura 73. Obra de drenaje transversal en la carretera C-28, a la altura del Barranco del Salider.

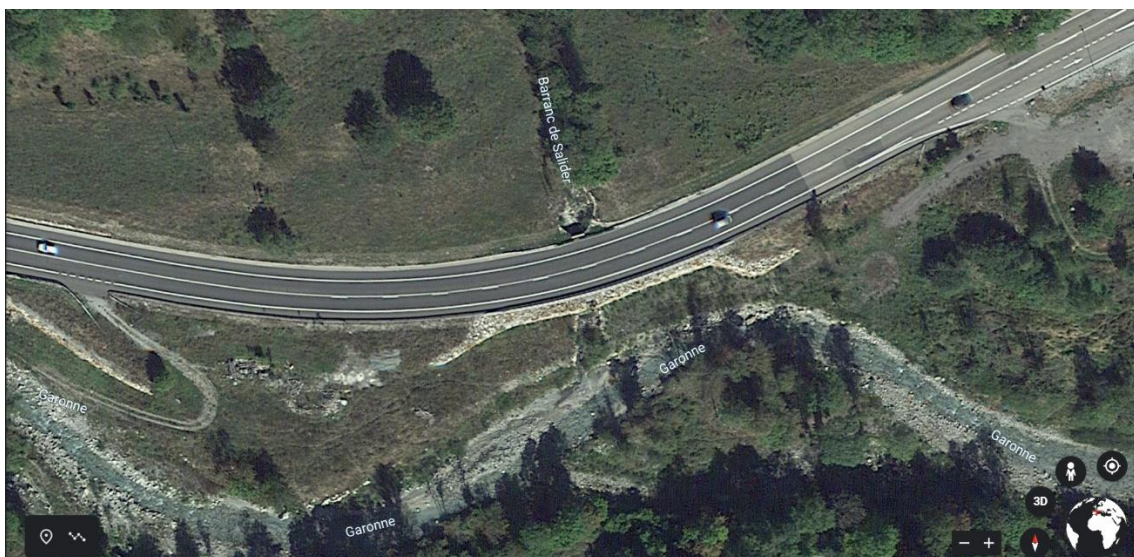


Figura 74. Ortofoto de la obra de drenaje transversal en la carretera C-28, a la altura del Barranco del Salider.

Muy próximo al cauce discurre de manera paralela la carretera C-28. La carretera C-28 es una carretera de la Red Básica Secundaria de Cataluña que conecta las comarcas del Valle de Arán y el Pallars Subirá. Se trata de una carretera convencional de calzada única. Esta carretera atraviesa el núcleo de Este a Oste.

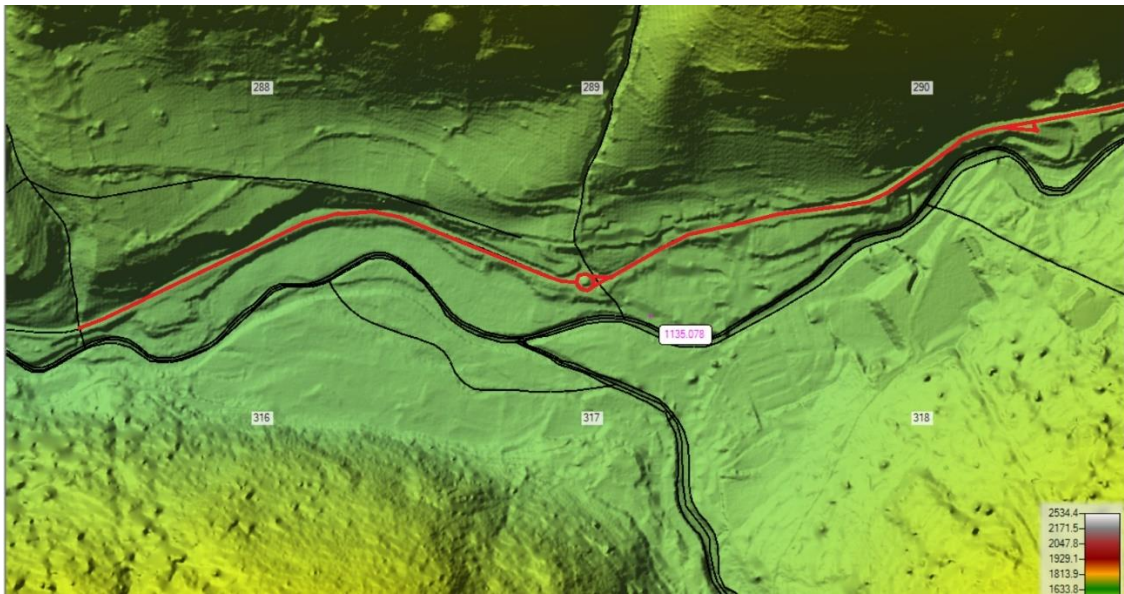


Figura 75. Carretera C-28, que discurre de manera paralela al cauce del río Garona (1)



Figura 76. Carretera C-28, que discurre de manera paralela al cauce del río Garona (2).

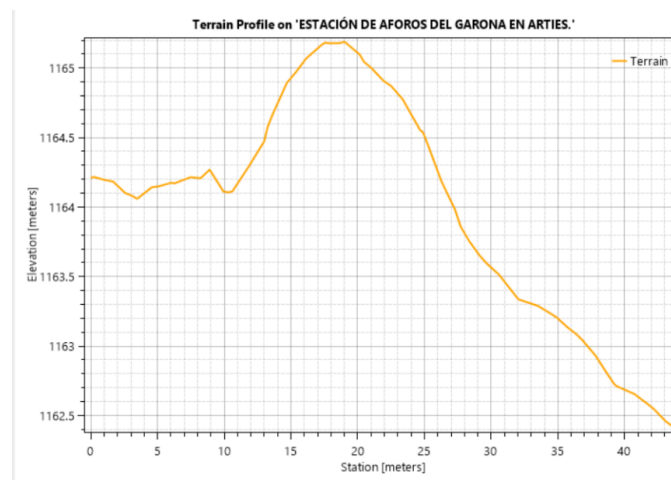
Por último, se muestran los diferentes edificios, estructuras y cerradas del núcleo de Arties, que una vez identificadas, se ha de trabajar en el modelo para establecer el área que ocupan como zonas de flujo inefectivo.



Figura 77. Edificios y estructuras de Arties.

Una vez detectadas las diferentes estructuras en la zona de estudio, se han revisado los perfiles longitudinales del terreno de los cauces del Garona y Valarties a su paso por las diferentes infraestructuras, determinando aquellas que suponen un problema a la hora de simular. En el modelo original, a la hora de capturar la elevación de estas infraestructuras, se muestra la cota superior del tablero, lo que equivale a una 'pequeña presa' teniendo que ser modificadas para una correcta simulación del modelo. A continuación, se muestran los diferentes perfiles:

- Estación de aforos del Garona en Arties.



Gráfica 3. Perfil longitudinal de la estación de aforos del Garona en Arties.

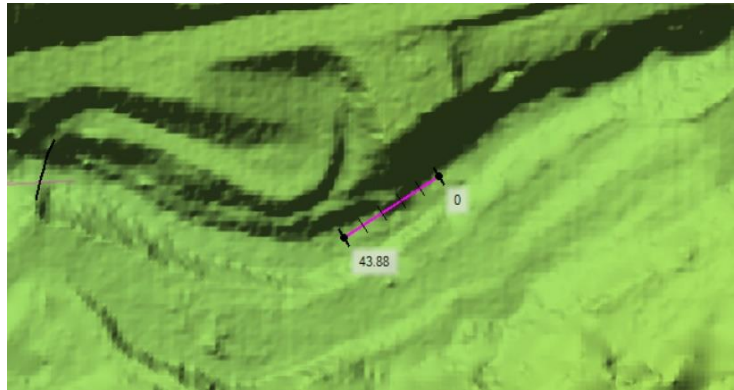
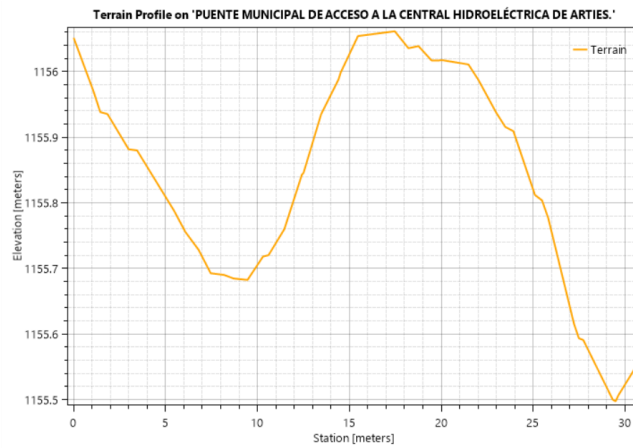


Figura 78. Perfil longitudinal de la estación de aforos del Garona en Arties.

- Puente municipal de acceso a la central hidroeléctrica de Arties.



Gráfica 4. Perfil longitudinal del puente de acceso a la central hidroeléctrica de Arties.

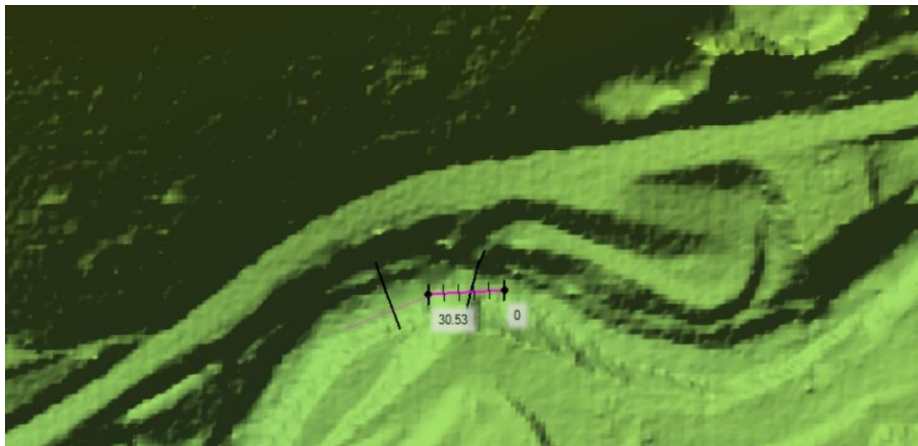
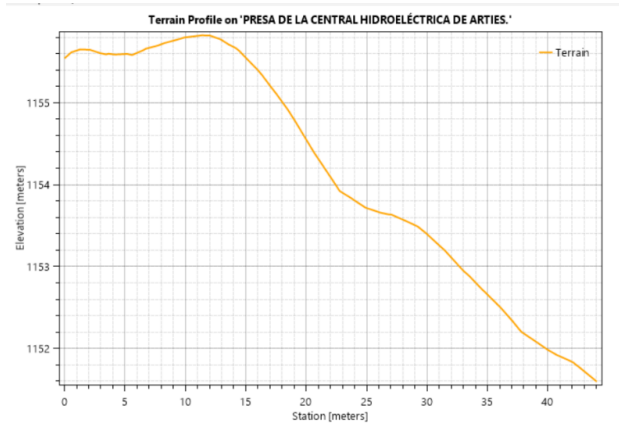


Figura 79. Perfil longitudinal del puente de acceso a la subestación de Arties.

- Presa de la central hidroeléctrica de Arties.



Gráfica 5. Perfil longitudinal de la presa de la central hidroeléctrica de Arties.

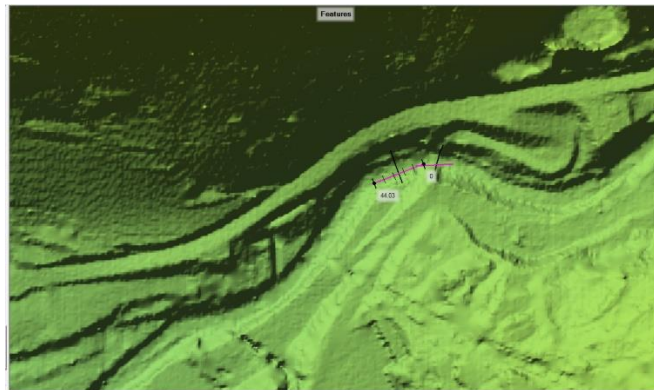
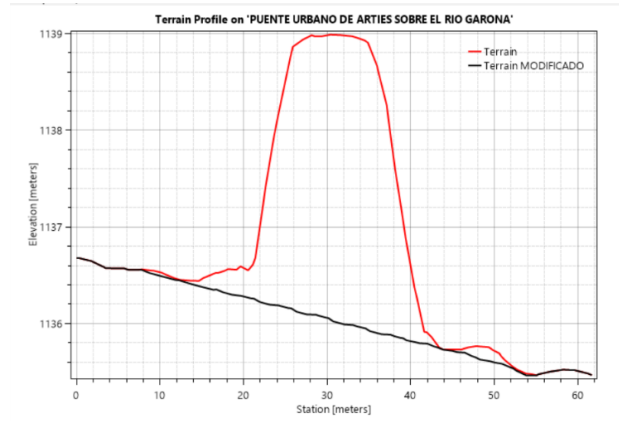


Figura 80. Perfil longitudinal de la presa de la central hidroeléctrica de Arties.

- Puente municipal de Arties sobre el Garona.



Gráfica 6. Perfil longitudinal del puente urbano de Arties sobre el Garona.

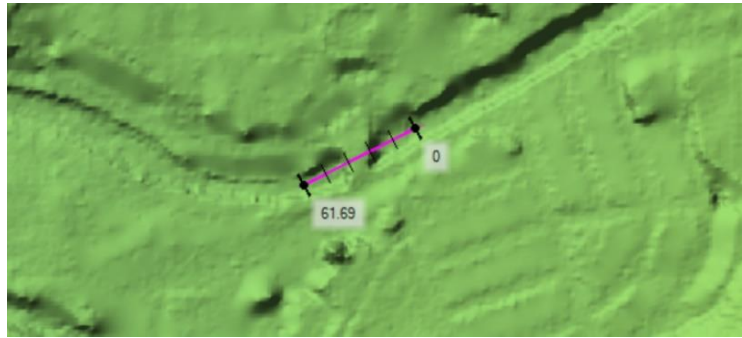
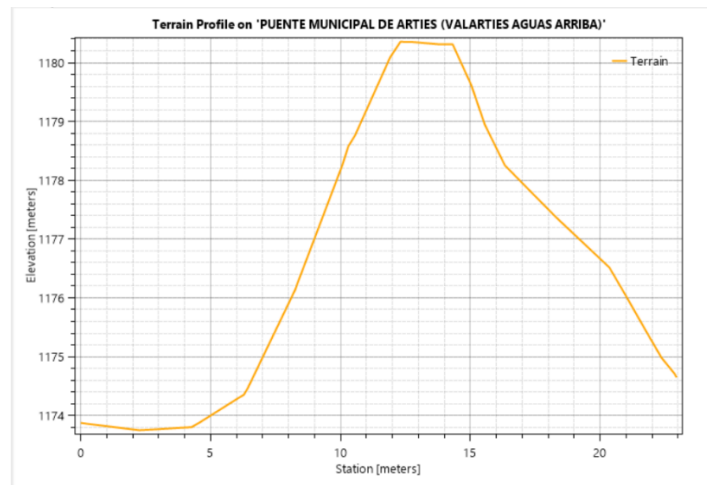


Figura 81. Perfil longitudinal del puente urbano de Arties sobre el Garona.

- Puente municipal de Arties sobre el Valarties. (Aguas arriba)



Gráfica 7. Perfil longitudinal del puente municipal de Arties sobre el Valarties. (Aguas arriba)

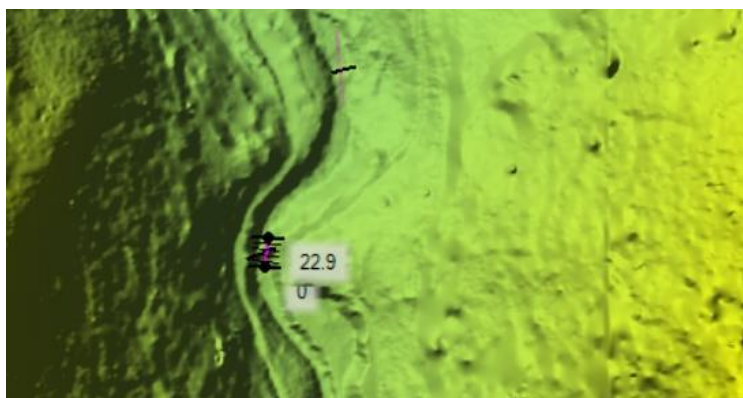
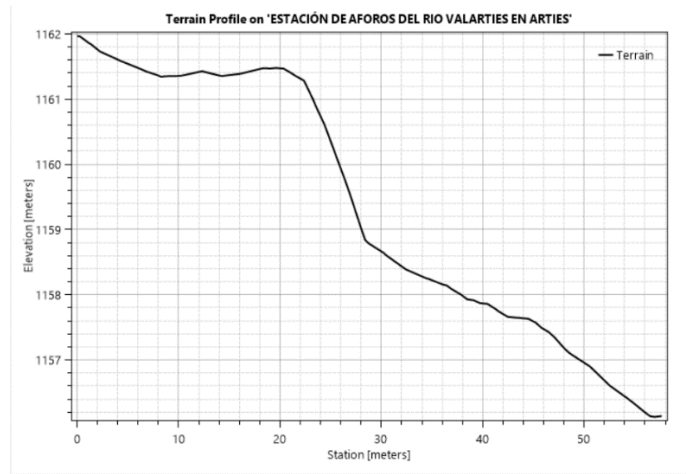


Figura 82. Perfil longitudinal del puente municipal de Arties sobre el Valarties. (Aguas arriba)

- Estación de aforos del río Valarties en Arties.



Gráfica 8. Perfil longitudinal de la estación de aforos del Valarties en Arties.

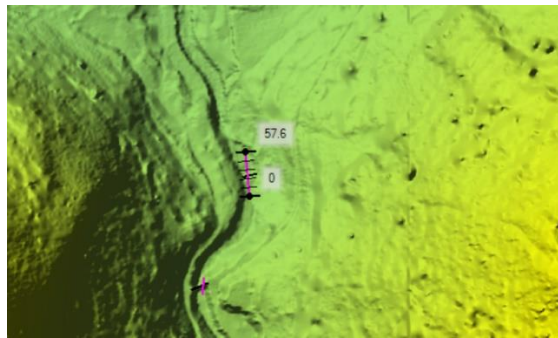
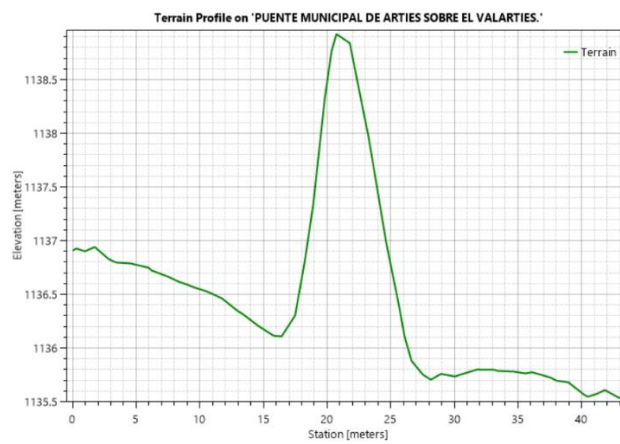


Figura 83. Perfil longitudinal de la estación de aforos del Valarties en Arties.

- Puente municipal de Arties sobre el Valarties.



Gráfica 9. Perfil longitudinal del puente municipal de Arties sobre el Valarties.

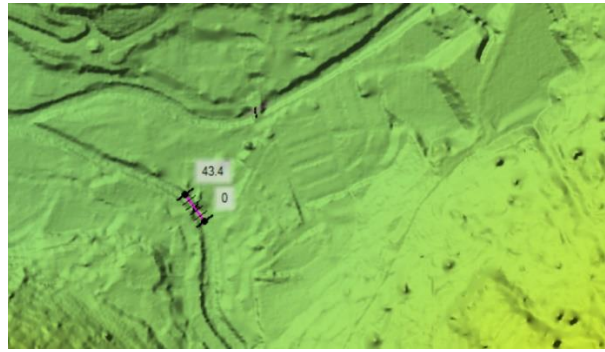
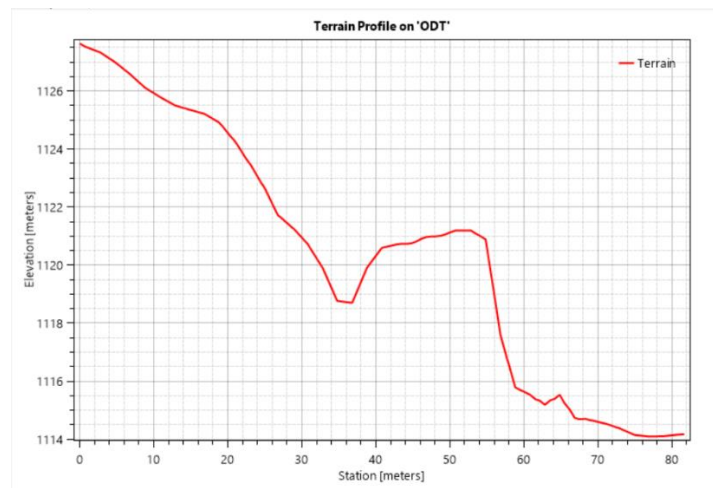


Figura 84. Perfil longitudinal del puente municipal de Arties sobre el Valarties.

- Obra de Drenaje Transversal en la carretera C-28.



Gráfica 10. Perfil longitudinal de la Obra de Drenaje Transversal en la carretera C-28.

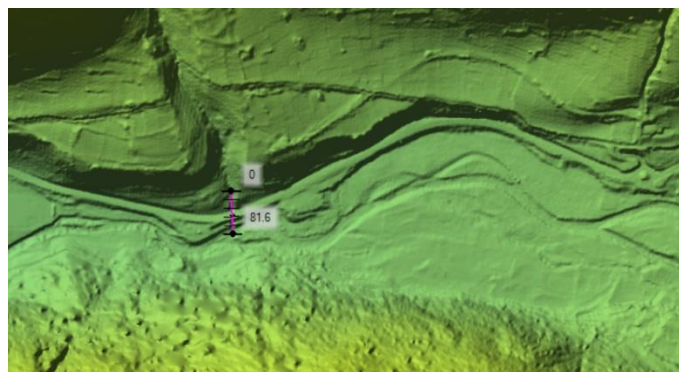


Figura 85. Perfil longitudinal de la Obra de Drenaje Transversal en la carretera C-28.

3.3.10 Corrección de las zonas críticas.

La corrección de las zonas críticas a la hora de la modelización hidráulica es fundamental para la elaboración de un modelo representativo, ya que, si no se efectúa esta corrección del MDT, el programa lo reconoce como un obstáculo, tratándolos como diques o presas entre otros. El objetivo es corregir las zonas críticas para que el flujo siga su curso normal, y no inunde zonas que no corresponden.

Para la realización de este ajuste, deberemos acceder a la herramienta 'RAS Mapper', en la interfaz del programa HEC-RAS.

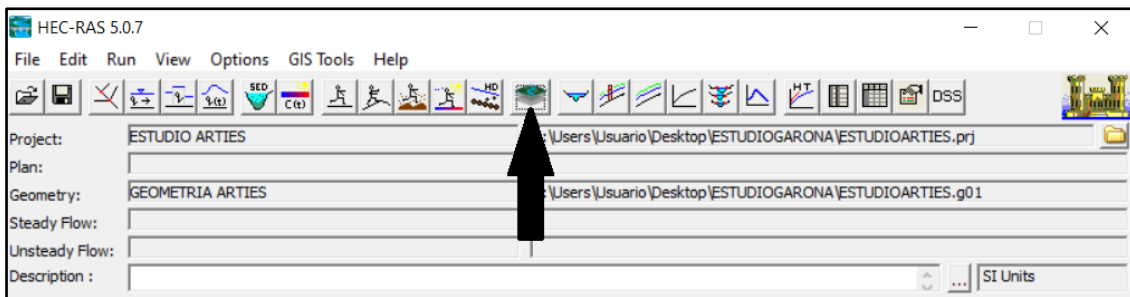


Figura 86. Interfaz de HEC-RAS.

Una vez se abre la ventana de RAS Mapper, se debe seleccionar con el botón derecho del ratón la ventana 'Geométricas', y posteriormente seleccionar 'Add New Geometry'.

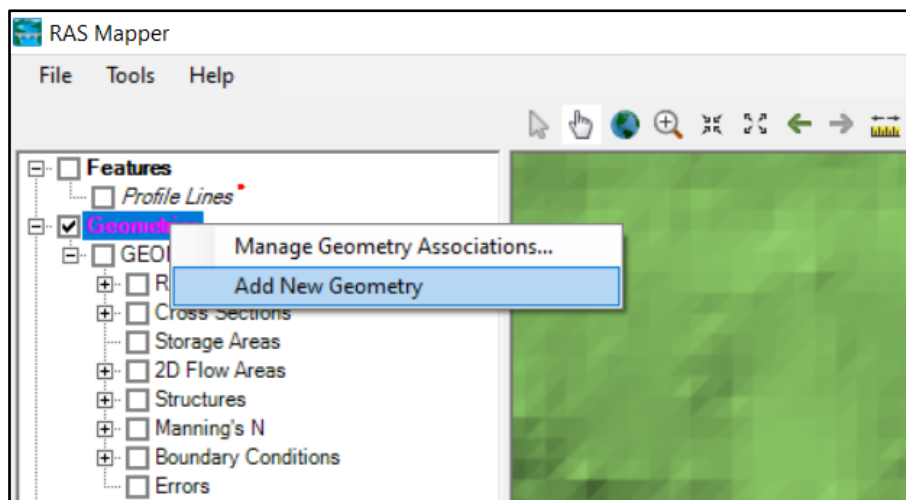


Figura 87. Creación de una nueva geometría (1).

A continuación, el programa solicita un nombre para la nueva geometría que se va a crear. Se ha elegido 'PUENTE URBANO GARONA' aludiendo a la corrección del puente municipal sobre el Garona en el propio municipio de Arties.

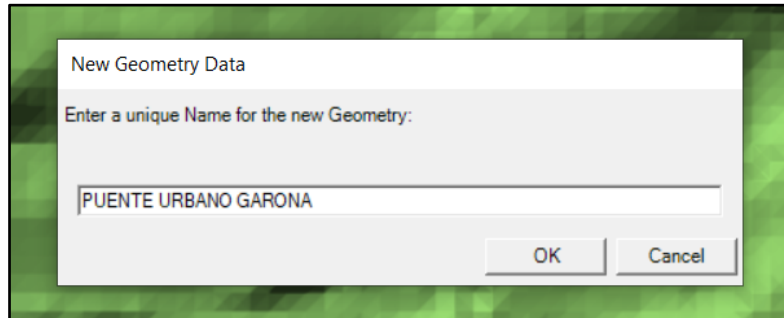


Figura 88. Figura 91. Creación de una nueva geometría (2).

El siguiente paso consiste en la selección de la pestaña 'Rivers'. De la misma manera que para el apartado anterior, se selecciona ésta con el botón derecho del ratón para introducir los diferentes ejes del río para las diferentes zonas que se desean corregir. Para ello se ha de seleccionar 'Edit Geometry'.

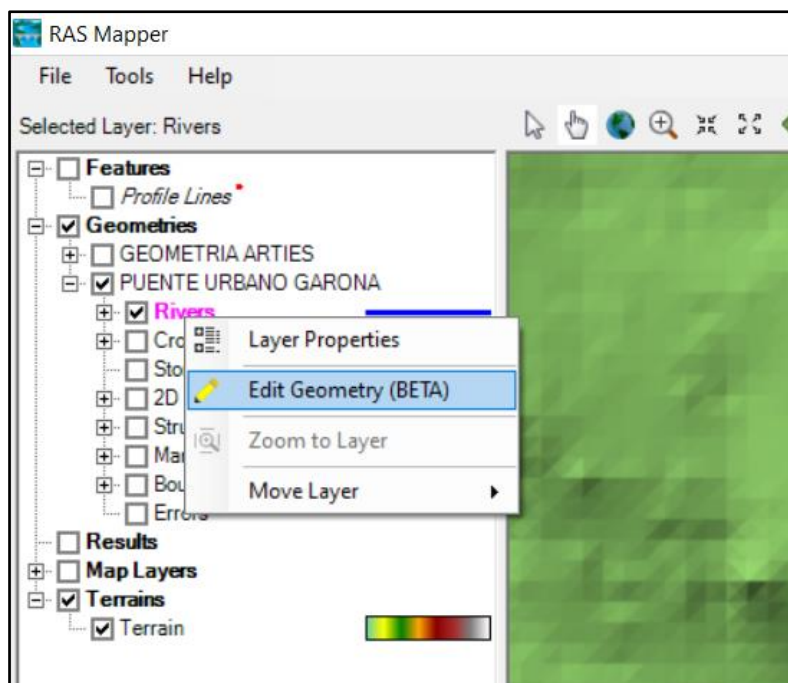


Figura 89. Edición de la geometría.

Cada vez que se determina un eje en uno de los ríos estudiados para los diferentes puntos, HEC-RAS solicita especificar de qué río se trata, así como, dar un nombre a la sección creada.

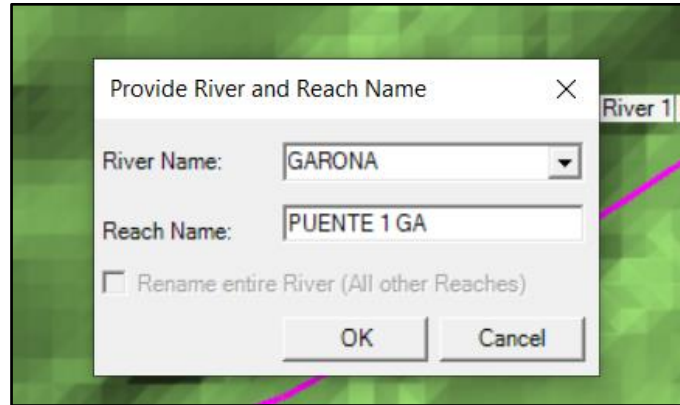


Figura 90. Edición de la geometría (2).

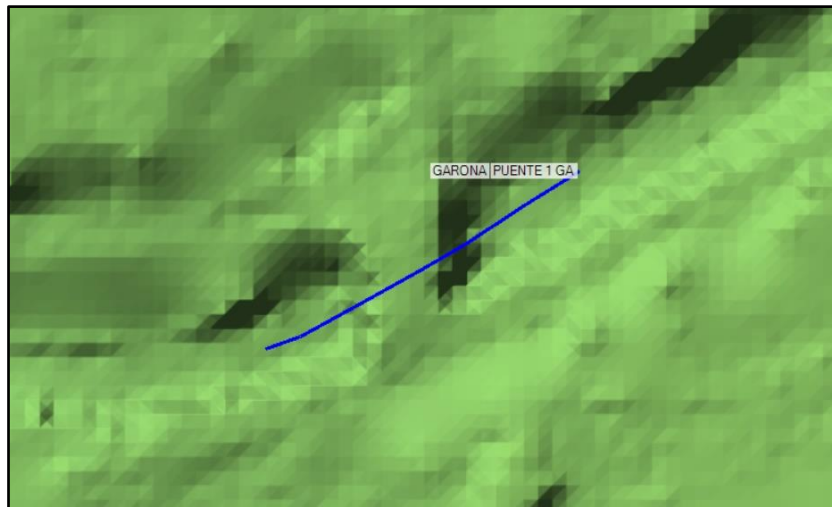


Figura 91. Edición de la geometría (3).

El siguiente paso es seleccionar con el botón derecho del ratón nuevamente, la opción 'Cross Sections' y 'Edit Geometry', para crear dos secciones una, aguas arriba y otra, aguas abajo, de acuerdo con las siguientes imágenes:

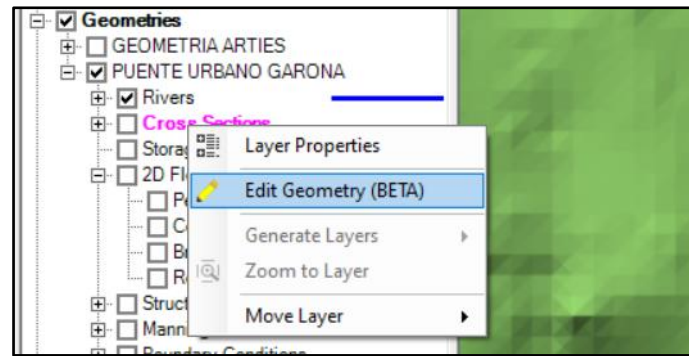


Figura 92. Edición de la geometría (4).

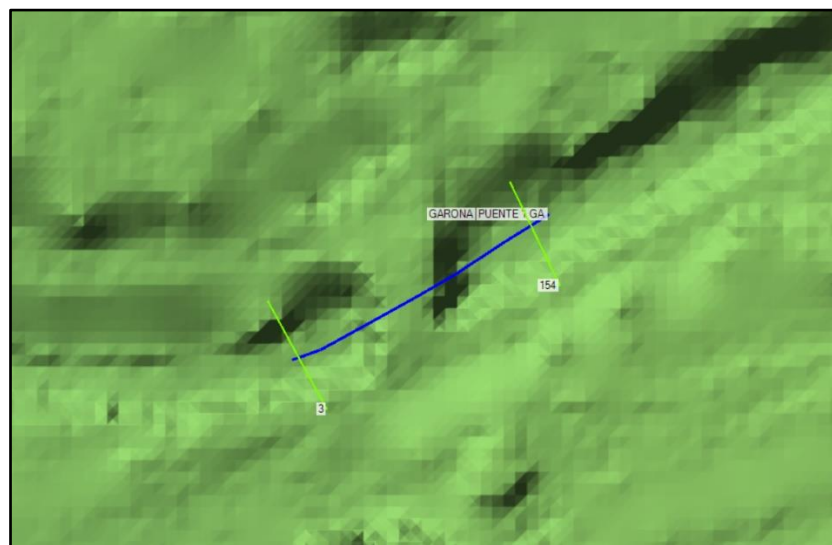


Figura 93. Edición de la geometría (5).

Una vez especificada la geometría a corregir, se ha de seleccionar la pestaña creada anteriormente, en este caso, 'Puente urbano Garona', y con el botón derecho del ratón hacer click, de la manera que se mostrará el siguiente desplegable, para así exportar la geometría creada, generando un nuevo documento que más tarde se superpondrá al MDT original:

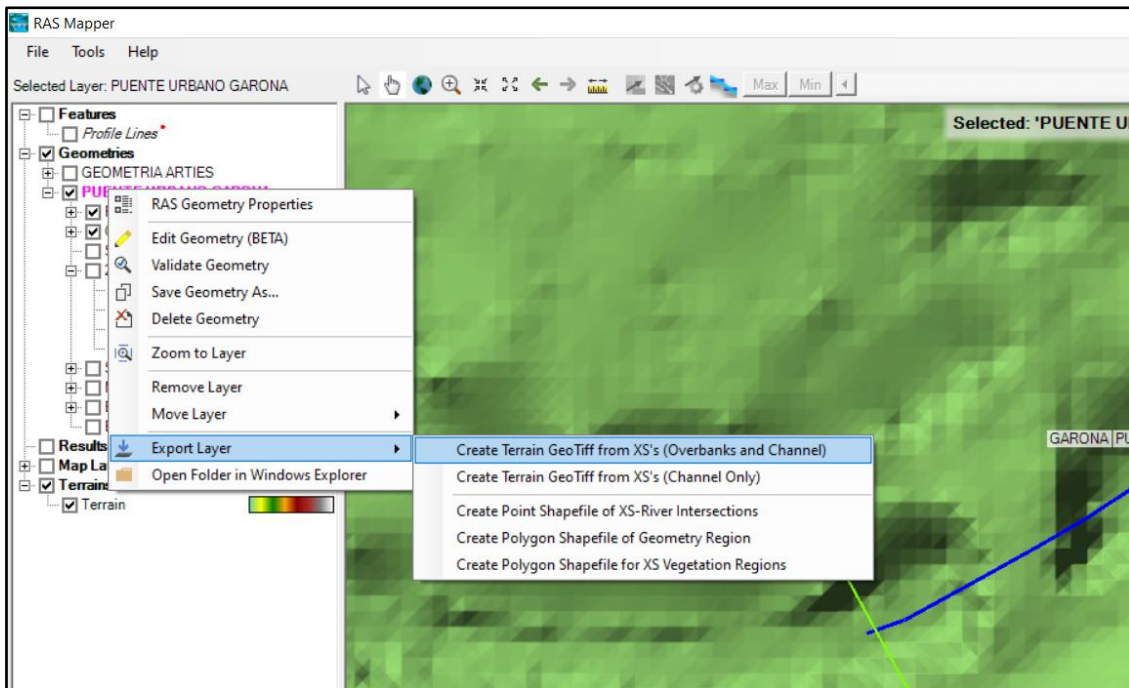


Figura 94. Exportación de la geometría creada (1).

El objetivo es crear una nueva capa que contenga las zonas críticas que se han delimitado hasta el momento. Para ello, se selecciona 'Export layer', y 'Create Terrain GeoTiff from XS's'. Una vez hecho esto, se abre un explorador de archivos de Windows, donde se elige la ruta donde se quiere guardar la modificación. Posteriormente, de haber guardado la geometría, hay que seleccionar el tipo de mallado, la precisión en metros de la malla que se va a generar en la interpolación de los puntos de las diferentes geometrías que se quieren modificar. En este caso se ha elegido una malla de 2x2 metros, siendo igual que el detalle del MDT o de la malla computacional generada de la zona de estudio.

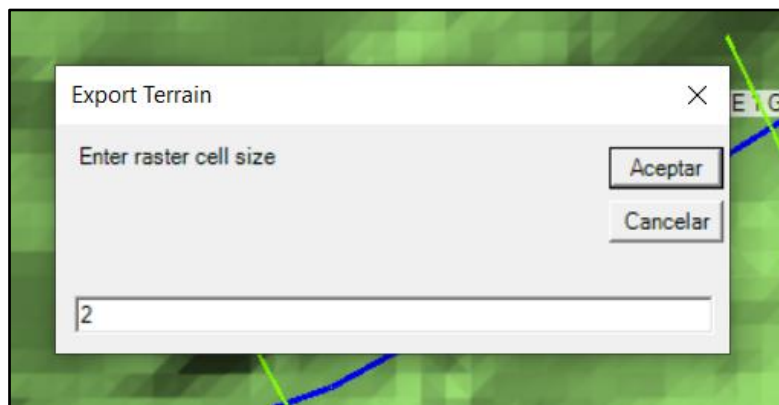


Figura 95. Exportación de la geometría creada (2).

El paso final para corregir estas áreas críticas es dirigirse a la opción 'Terrain', clicando con el botón derecho, y una vez ahí, entre las diferentes opciones se selecciona 'Create a New RAS Terrain'. Con esto se pretende implementar e integrar de manera definitiva los cambios deseados en un nuevo Modelo Digital del Terreno.

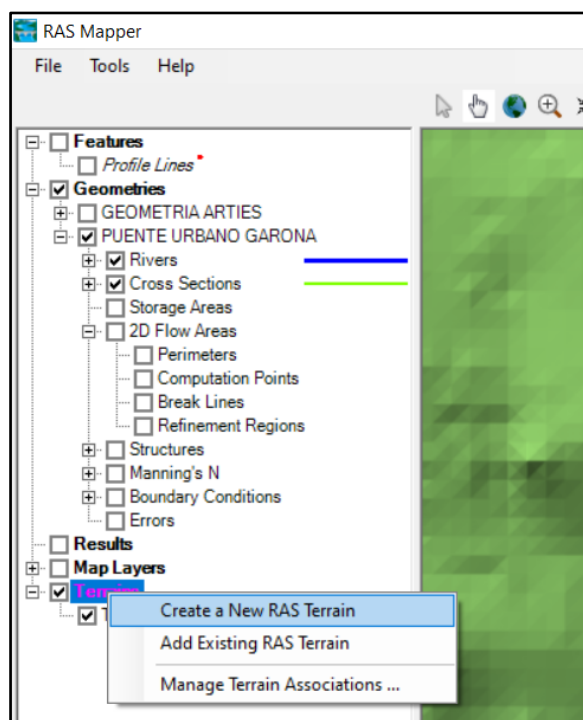


Figura 96. Creación del nuevo terreno (1).

Seleccionando la opción 'Create a New RAS Terrain', aparece el siguiente menú donde se superponen los dos ficheros seleccionados: uno el MDT original y el otro, el archivo con las diferentes modificaciones realizadas anteriormente. A este nuevo MDT se le llamará 'Terrain MODIFICADO'.

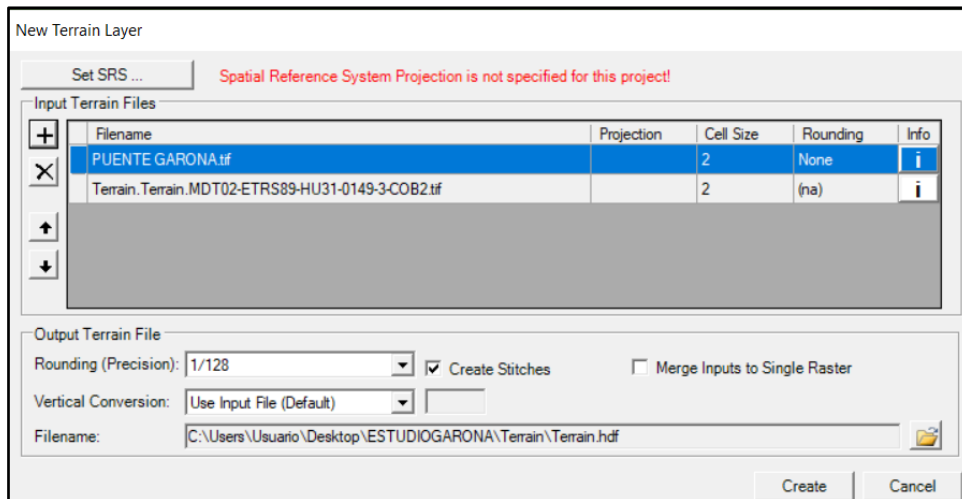


Figura 97. Creación del nuevo terreno (2).

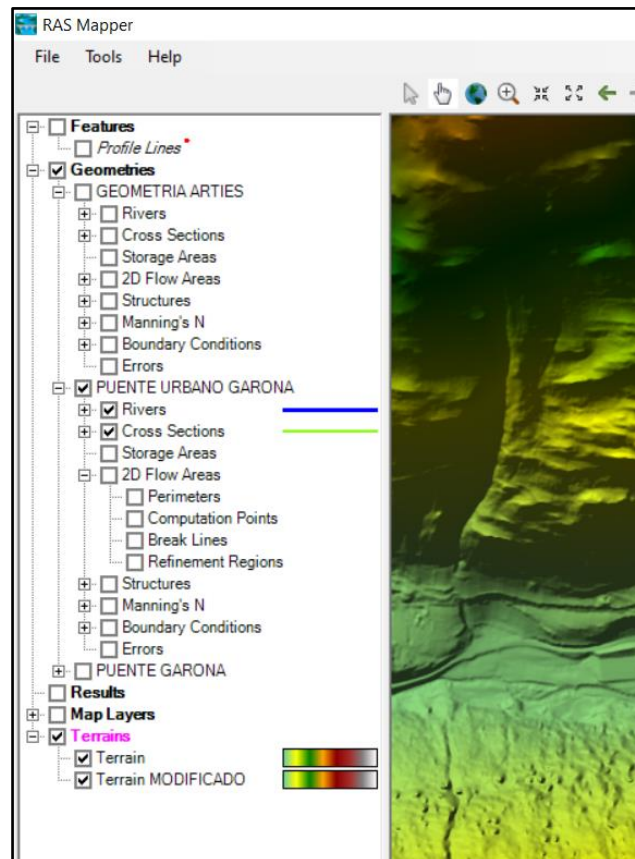


Figura 98. Nuevo terreno modificado.

En el menú de 'RAS Mapper', se podrá seleccionar qué capa visualizar, la original o la modificada. Ampliando el detalle del mapa generado, se puede observar con claridad que donde antes había un puente que actuaba como un dique, en el nuevo mapa el cauce está libre de infraestructuras.

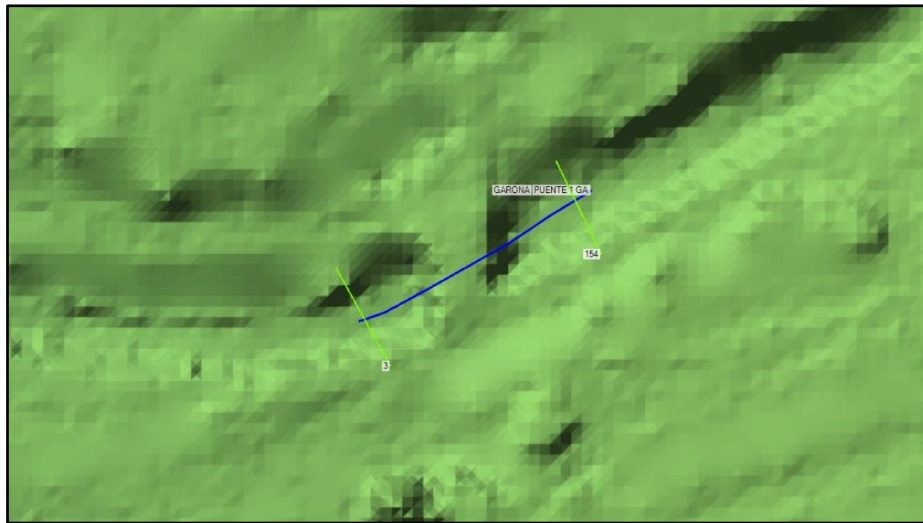


Figura 99. Resultado de la modificación del terreno (1).

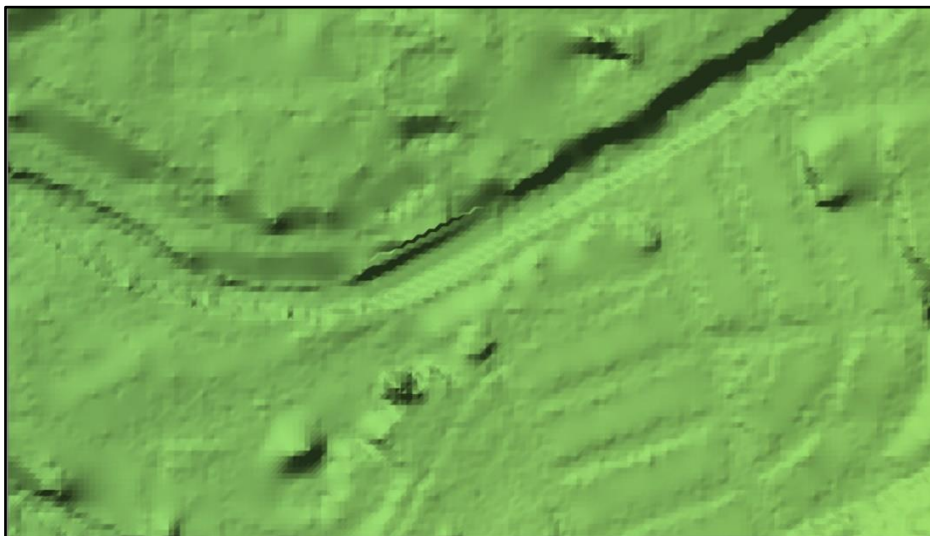


Figura 100. Resultado de la modificación del terreno (2).

A continuación, se muestran las capturas de pantalla del programa, mostrando las soluciones obtenidas para cada uno de los puntos críticos analizados y corregidos, así como, los perfiles transversales de los mismos donde se aprecia con claridad el perfil del terreno con infraestructuras y el modificado sin ellas.

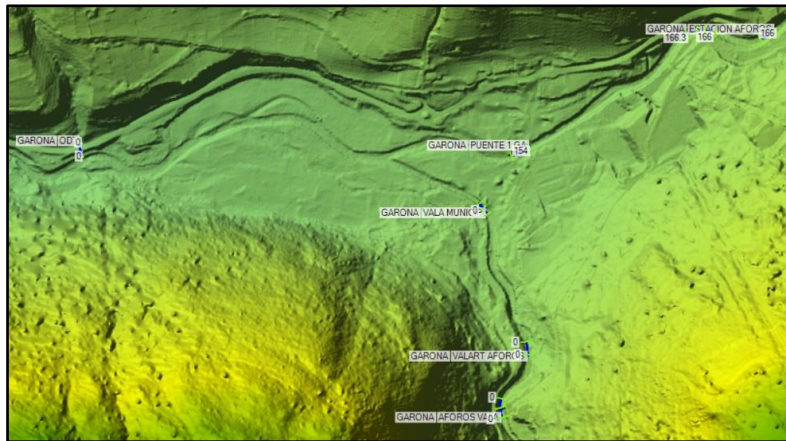


Figura 101. Infraestructuras modificadas.

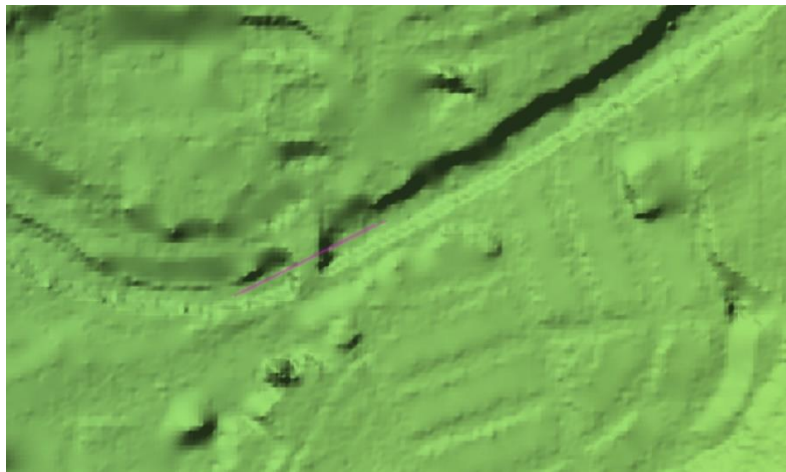


Figura 102. Resultado de la modificación del terreno del puente municipal del Garona en Arties (1).

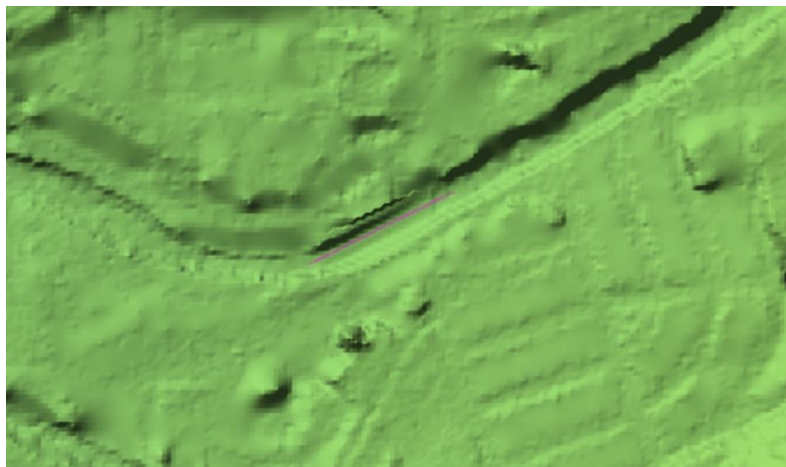
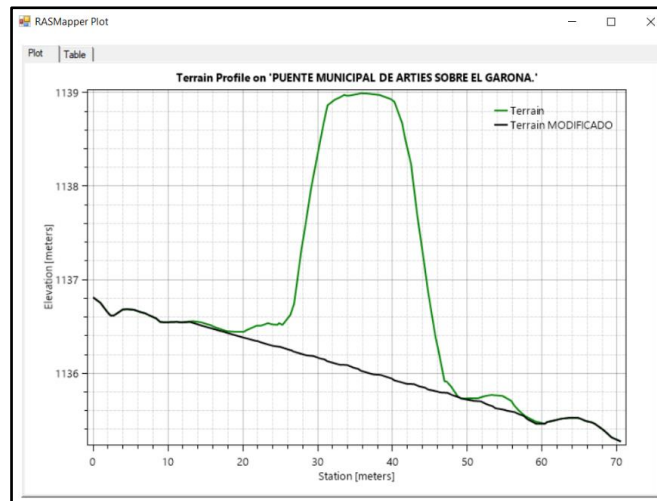


Figura 103. Resultado de la modificación del terreno del puente municipal del Garona en Arties (2).



Gráfica 11. Perfil del terreno del puente municipal sobre el Garona original y modificado.

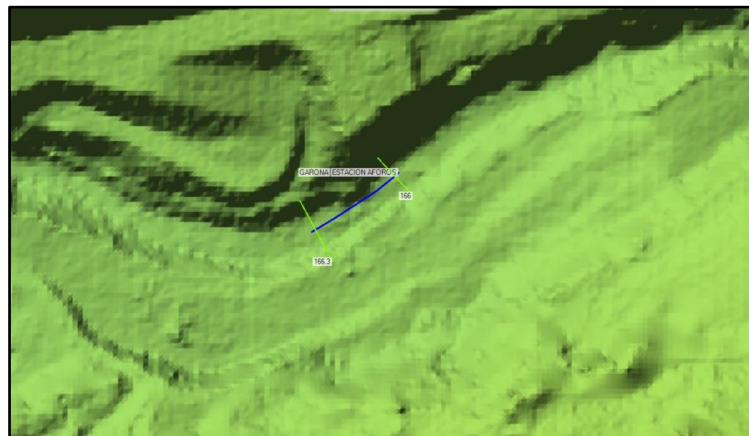


Figura 104. Resultado de la modificación del terreno de la estación de aforos del Garona en Arties (1)

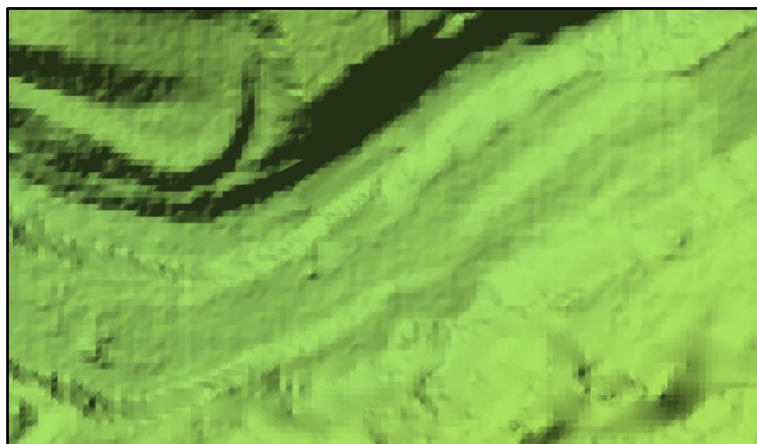
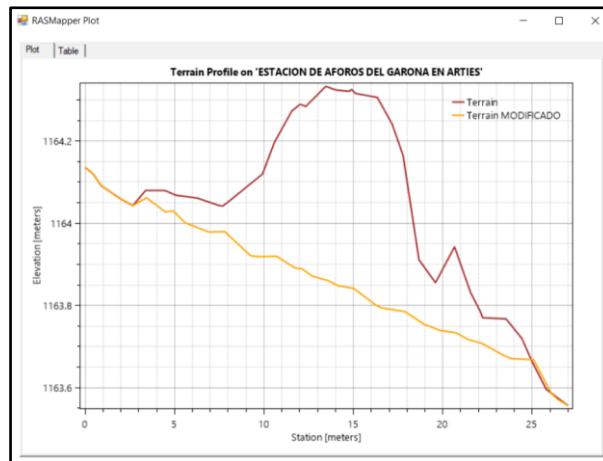


Figura 105. Resultado de la modificación del terreno de la estación de aforos del Garona en Arties (2).



Gráfica 12. Perfil del terreno de la estación de aforos del Garona en Arties original y modificado.

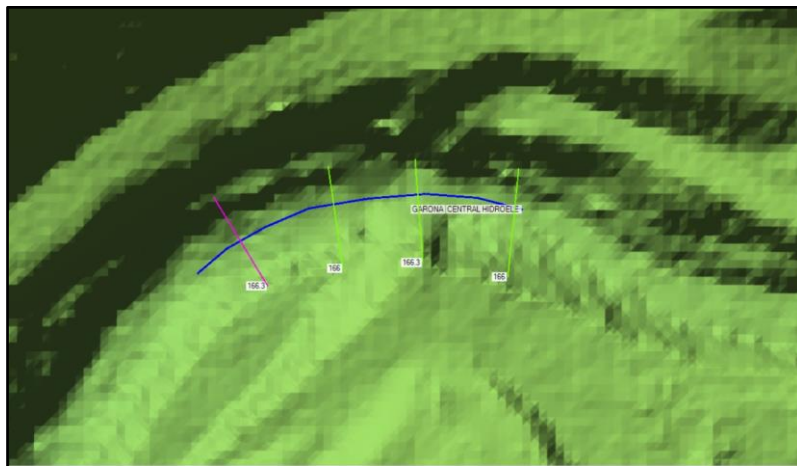


Figura 106. Resultado de la modificación del terreno de la presa de Arties y del puente de acceso a la subestación eléctrica (1).

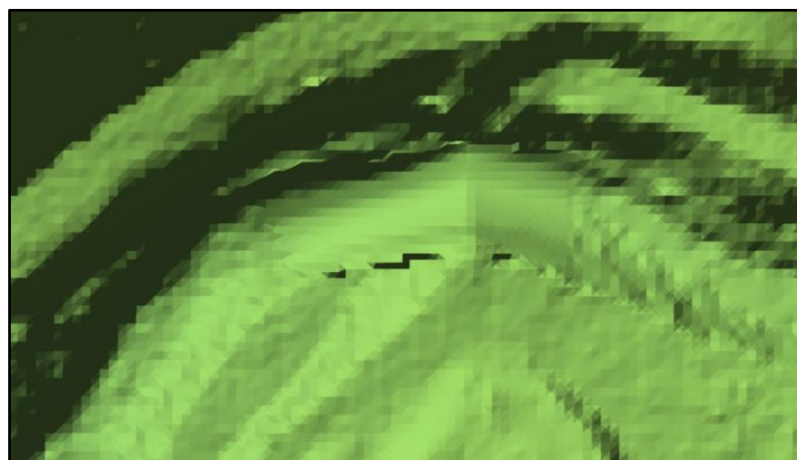
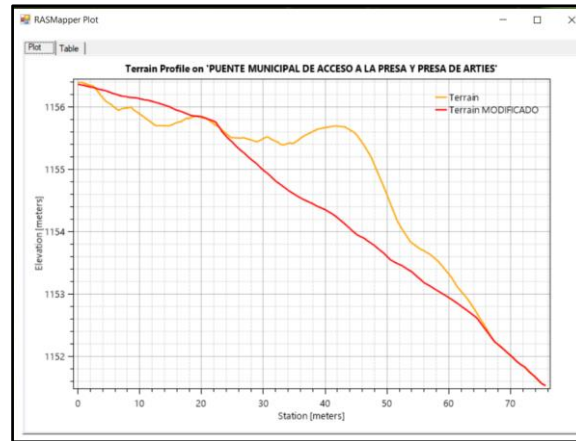


Figura 107. Resultado de la modificación del terreno de la presa de Arties y del puente de acceso a la subestación eléctrica (2).



Gráfica 13. Perfil del terreno de la presa de Arties y del puente de acceso a la subestación eléctrica.

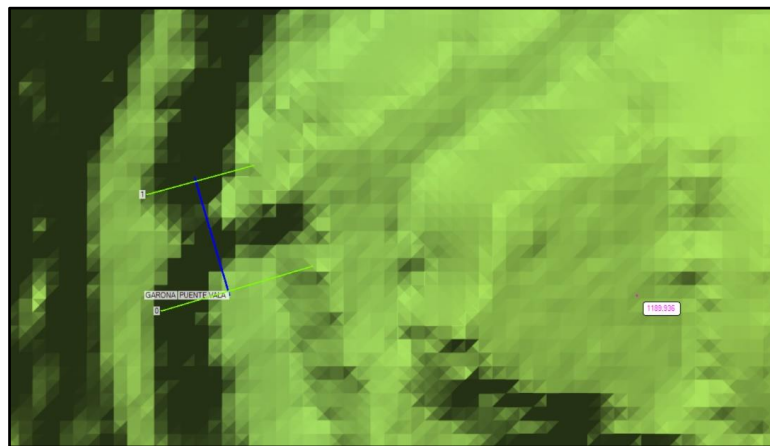


Figura 108. Resultado de la modificación del terreno del puente urbano de Arties sobre el Valarties (1).

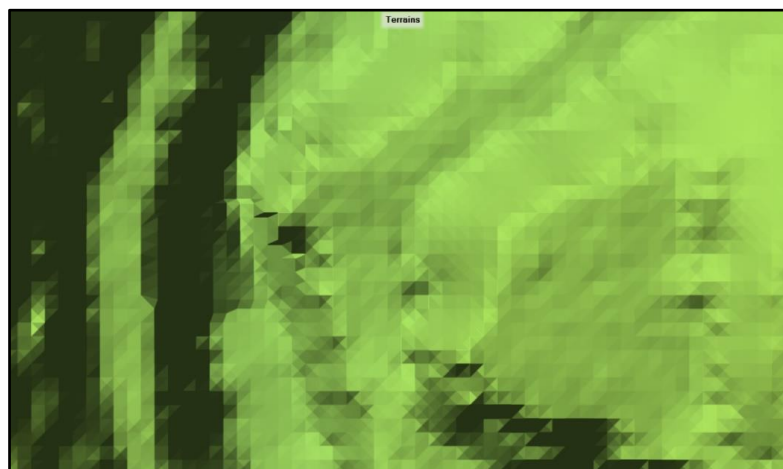
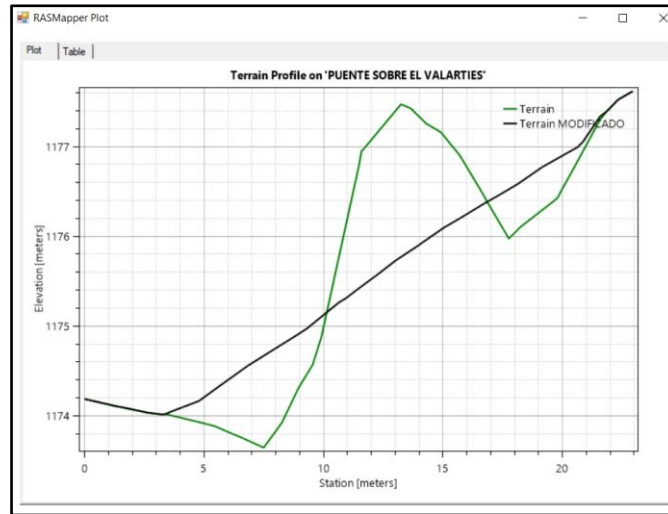


Figura 109. Resultado de la modificación del terreno del puente urbano de Arties sobre el Valarties (2).



Gráfica 14. Perfil del terreno del puente urbano de Arties sobre el Valarties original y modificado

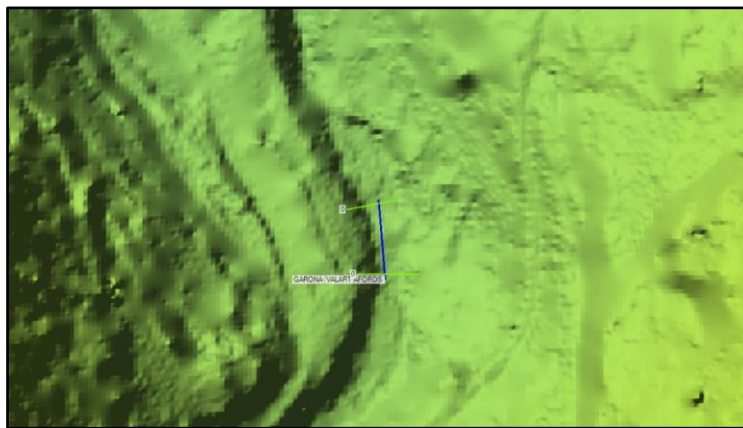


Figura 110. Resultado de la modificación del terreno en la estación de aforos del río Valarties en Arties (1).

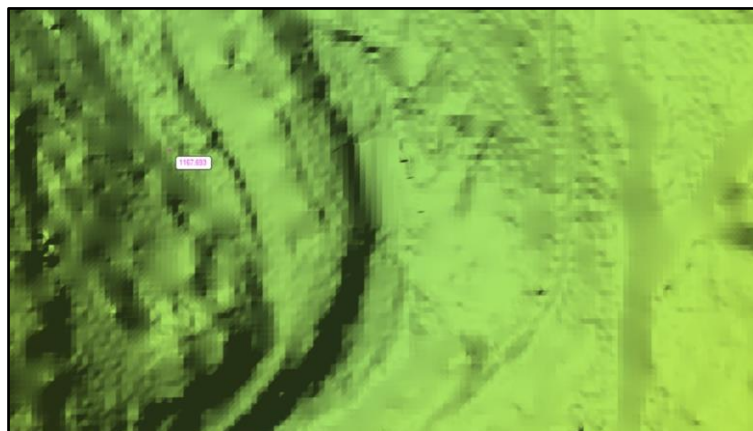
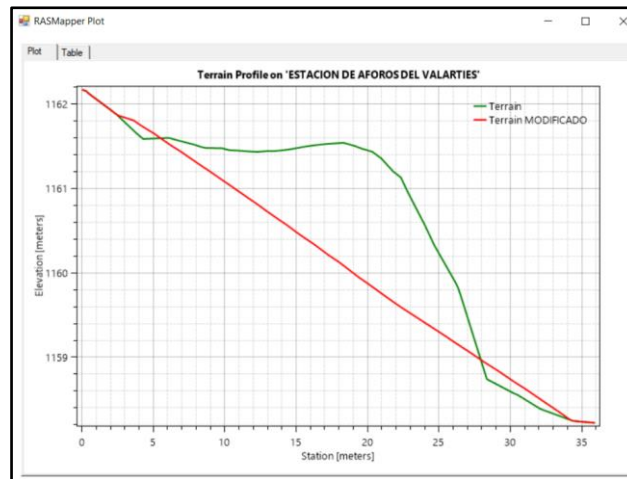


Figura 111. Resultado de la modificación del terreno en la estación de aforos del río Valarties en Arties (2).



Gráfica 15. Perfil del terreno de la estación de aforos del Valarties en Arties original y modificado.

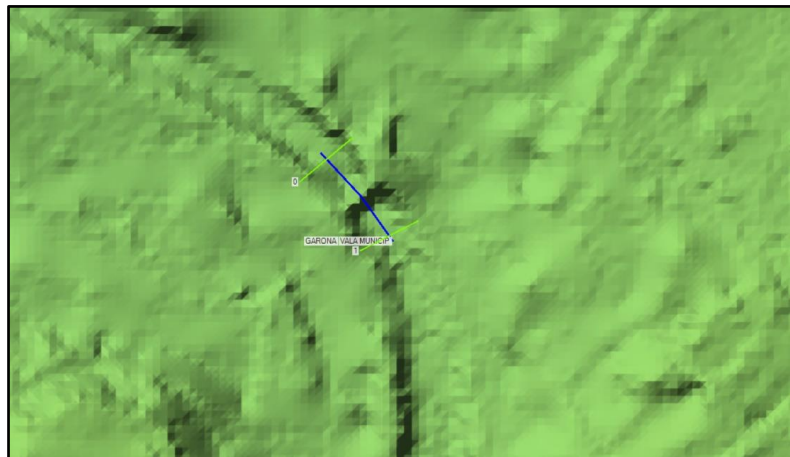


Figura 112. Puente municipal de Arties sobre el Valarties (1).

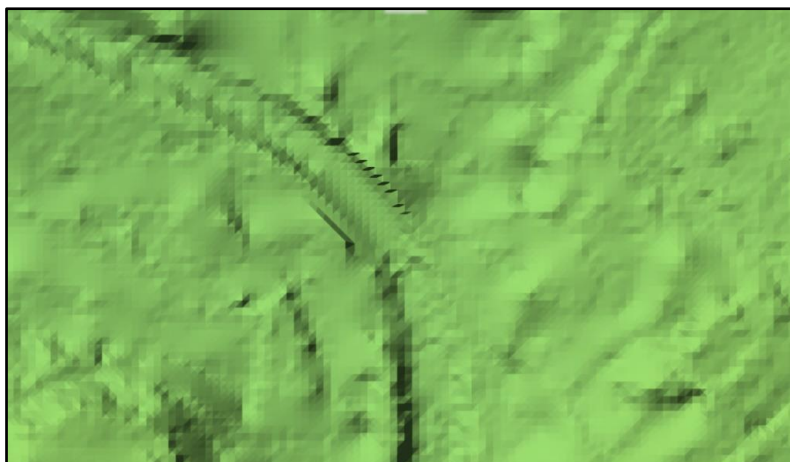
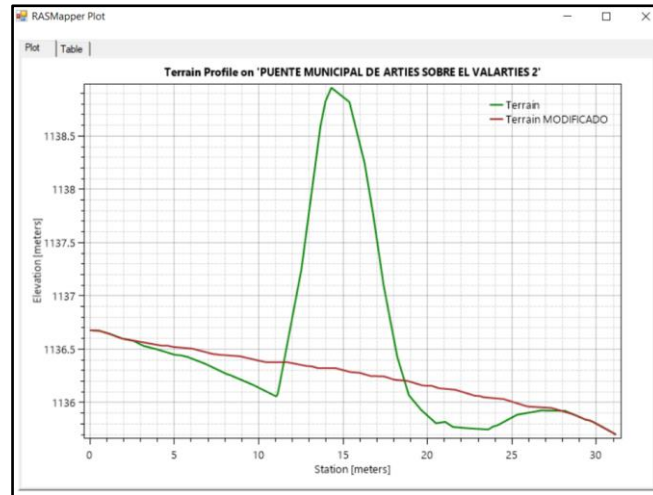


Figura 113. Puente municipal de Arties sobre el Valarties (2).



Gráfica 16. Perfil del terreno del puente municipal de Arties sobre el Valarties original y modificado

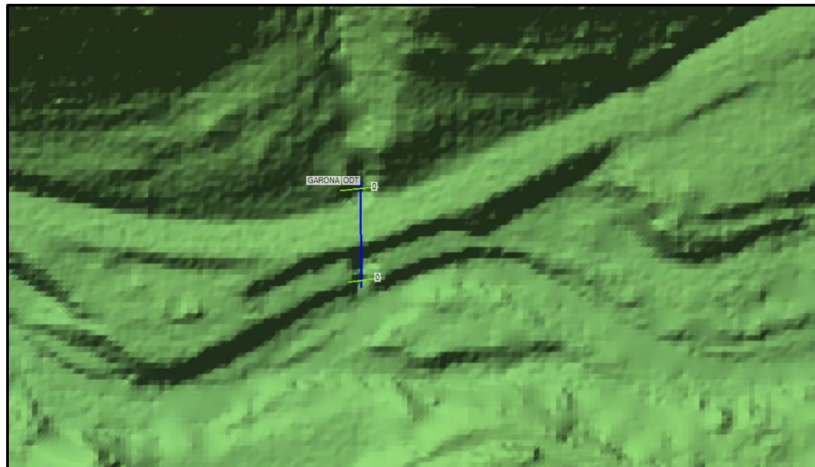


Figura 114. Resultado de la modificación del terreno para la obra de drenaje transversal en la carretera C-28 (1).

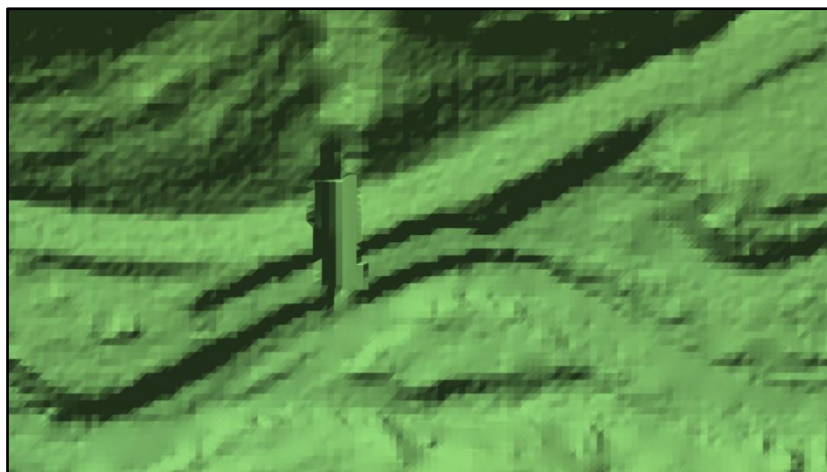
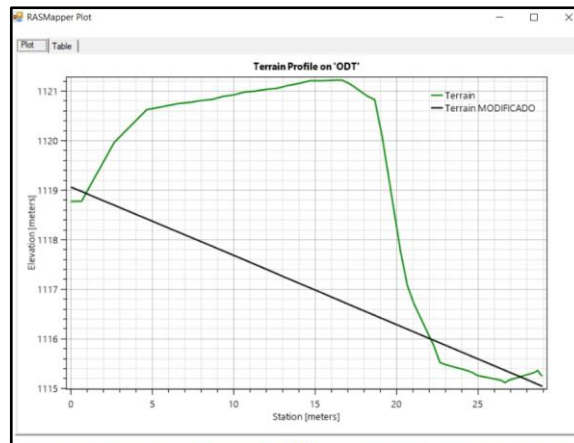


Figura 115. Resultado de la modificación del terreno para la obra de drenaje transversal en la carretera C-28 (2).



Gráfica 17. Perfil del terreno de la obra de drenaje transversal original y modificado.

3.3.11 Introducción de edificios.

Una vez se ha modificado la geometría del cauce, dejándolo libre de infraestructuras, queda la introducción de los diferentes puentes del municipio, presas o pequeños diques, estaciones de aforo, Obras de Drenaje Transversal y del conjunto de los edificios que conforman el municipio.

Para la introducción de edificios, se ha seguido un proceso muy similar al de la corrección de las zonas críticas, pero introduciendo algunas variantes. El primer paso es el mismo que para la modificación del cauce:

Se ha de acceder a la herramienta 'Ras Mapper' y una vez ahí se ha de crear una nueva geometría, clicando con el botón derecho del ratón en el desplegable 'Geometrics', y posteriormente en 'Add a New Geometry'. Siguiendo el mismo proceso que para la modificación del cauce, se ha de dar un nombre a la nueva geometría que se pretende crear.

Debido a las limitaciones del equipo de trabajo disponible, se ha dividido el área de estudio en 12 geometrías, conteniendo cada una de ellas un número reducido de edificios, ya que de cualquier otra manera el programa deja de responder repentinamente, perdiendo el trabajo que no se ha guardado. En la línea de esta medida, se han realizado otras buscando que esto no sucediera, asegurando cada escasos movimientos, el progreso realizado.

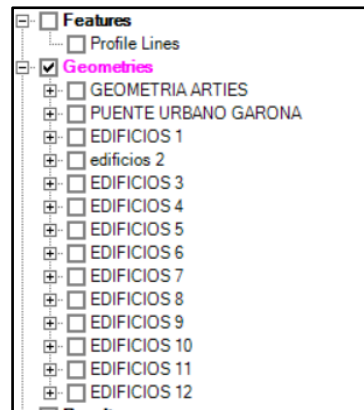


Figura 116. Geometrías creadas para la introducción de edificios.

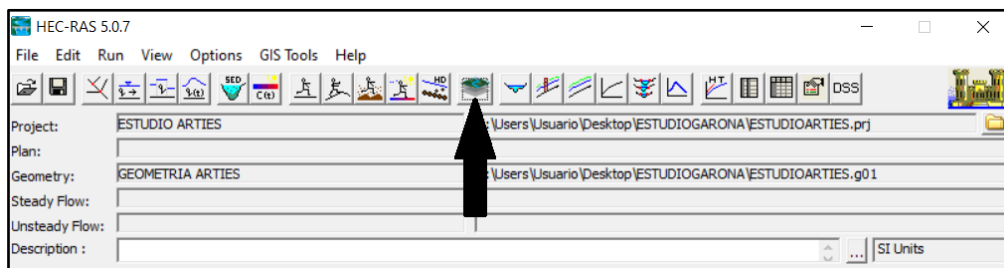


Figura 117. Menú de RAS MAPPER en la interfaz de HEC-RAS.

Una vez creada la geometría, sobre la pestaña 'Rivers' se clicca con el botón derecho del ratón, donde se introducen los ejes imaginarios de los edificios seleccionando 'Edit Geometry'.

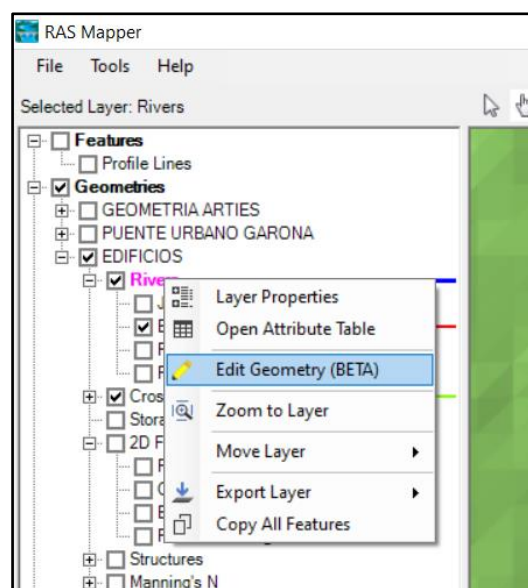


Figura 118. Creación de la geometría de los edificios (1).

A los diferentes ejes, uno por cada edificio, se les ha de dar un nombre determinado, para lo que se usarán números del 1 hasta 20 como máximo, creando de esta manera grupos de geometría de hasta 20 edificios. A partir de esta cifra, y dependiendo de la complejidad de la geometría de los ejes, el programa empieza a dar programas de rendimiento, teniendo que cerrar y volver a abrir la aplicación 'Ras Mapper' en numerosas ocasiones, retrasando mucho la ejecución del modelo, e incluso corrompiendo datos anteriores, provocando deformaciones, superposiciones e incluso eliminando algunos ejes introducidos anteriormente. En las imágenes capturadas del programa, estos ejes se identifican como líneas de color azul.

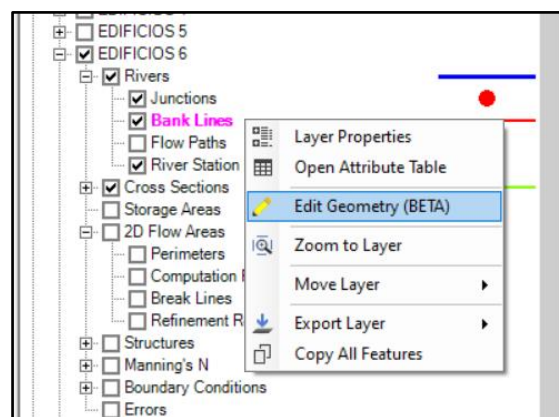


Figura 119. Creación de la geometría de los edificios (2).

A estos ejes que se han ido introduciendo, se les ha de introducir también unas líneas que delimiten la ribera (Bank Lines), que sirven para delimitar la anchura total del cauce. Para el caso de la introducción de los edificios, se establecen las dimensiones de los edificios que se quieren introducir. En los siguientes recortes del programa son las líneas rojas.

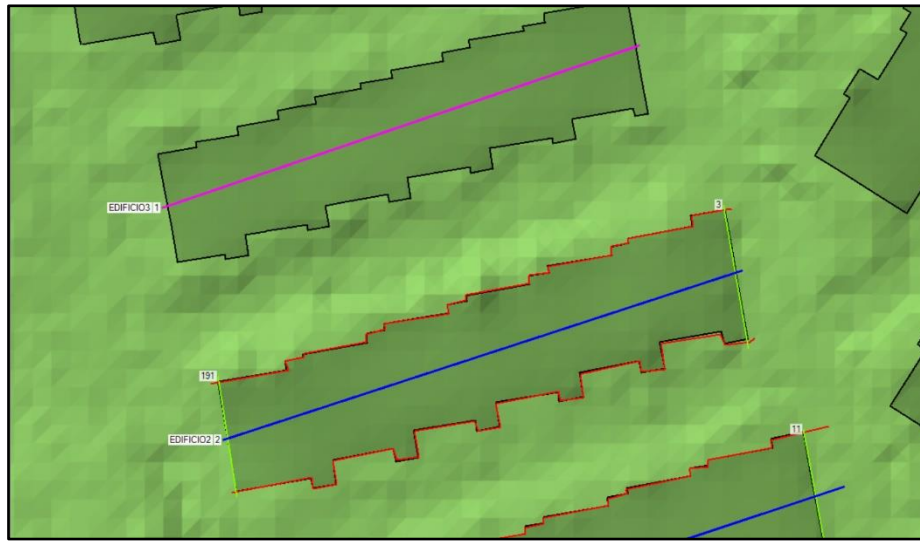


Figura 120. Detalle de la geometría creada (1).

El siguiente paso para introducir la geometría es la introducción de las secciones transversales, cerrando la geometría de los edificios, 'cerrando' el perímetro de los mismos al intersectar con las líneas de ribera. De la misma manera que para los casos anteriores, este comando se ejecuta clicando con el botón derecho del ratón sobre la pestaña 'Cross Sections' y en 'Edit Geometry'. En las imágenes se pueden reconocer como las líneas de color verde.

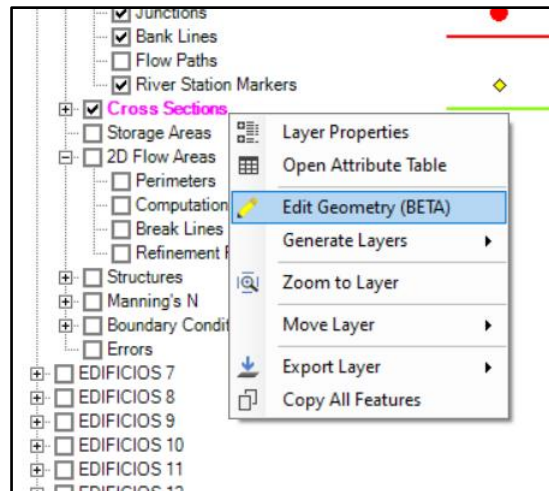


Figura 121. Creación de la geometría de los edificios (3).

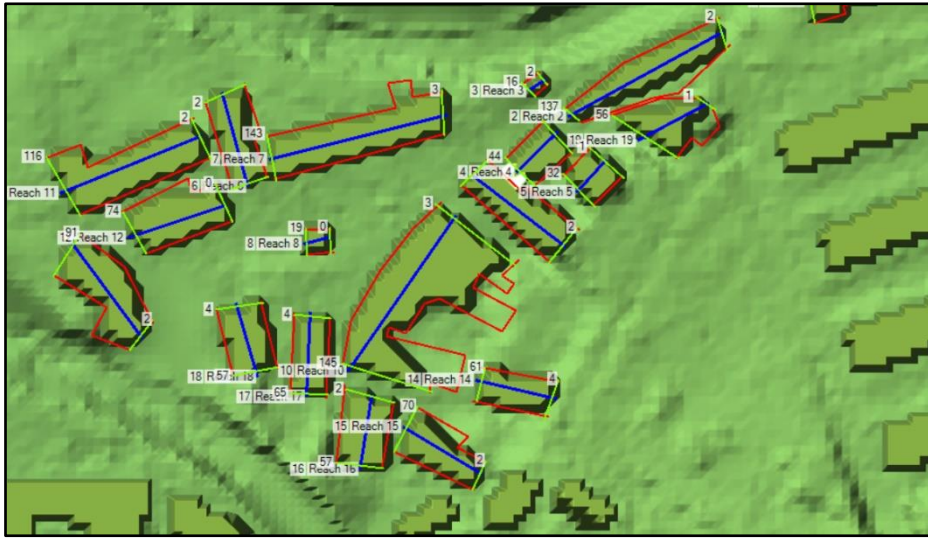


Figura 122. Detalle de la geometría creada (2).

Una vez se ha creado la geometría de los diferentes edificios, y guardado la capa generada, se ha de cerrar la pestaña 'Ras Mapper' para editar la geometría de cada uno de los edificios creados y dirigirse a 'Geometric Data' en la interfaz del programa.

Para la modificación de las diferentes geometrías creadas se ha de abrir la geometría deseada, según las siguientes imágenes.

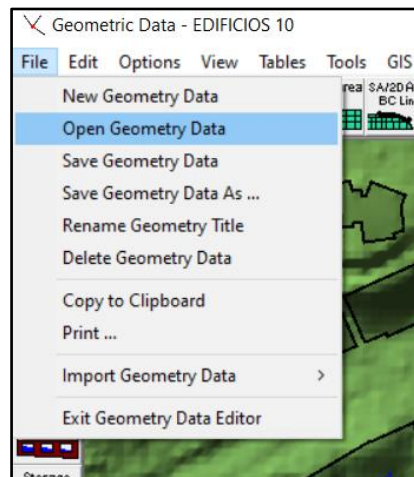


Figura 123. Creación de la geometría de los edificios (4).

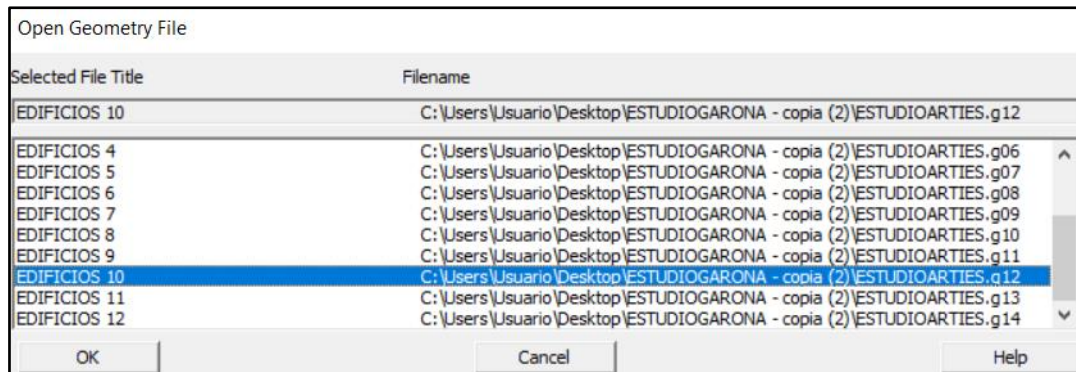


Figura 124. Creación de la geometría de los edificios (5).

Una vez seleccionada la geometría deseada, se abre el menú principal de 'Geometric Data'. Para crear los edificios como tal, se pretende modificar la elevación de las áreas establecidas, creando una superficie de terreno de una gran elevación, de tal manera que el agua, en caso de alcanzar la posición que ocupan estos edificios, nunca los rebase. El proceso consiste en seleccionar las secciones transversales creadas anteriormente (Cross Sections) y clicando sobre la pestaña de editar:

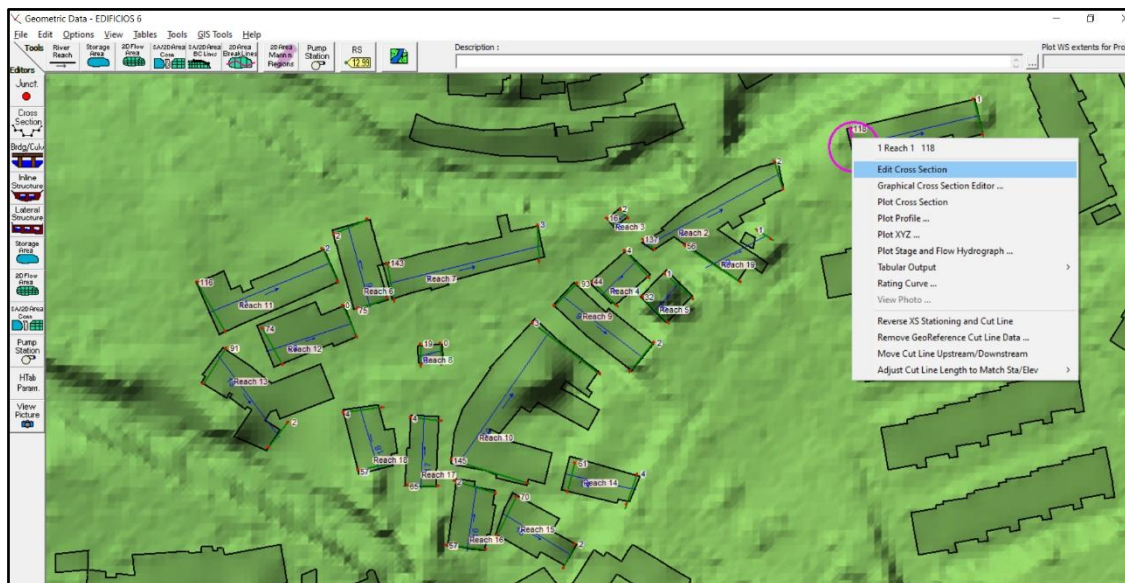


Figura 125. Creación de la geometría de los edificios (6).

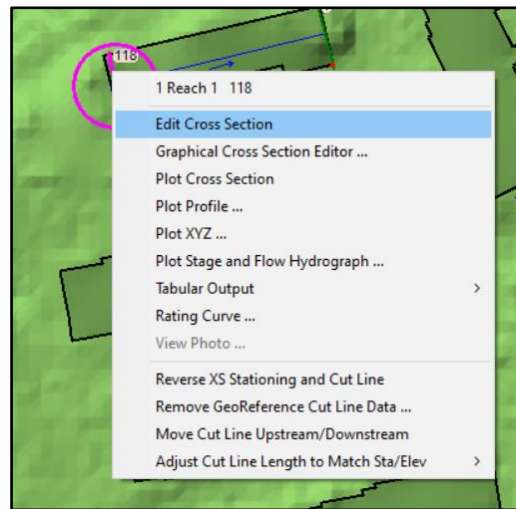


Figura 126 Creación de la geometría de los edificios (7).

Una vez seleccionado el comando de edición de las secciones transversales, se muestra el siguiente menú, donde en la parte superior izquierda, se puede seleccionar las secciones de los diferentes edificios que se quieren modificar. En la pestaña River, se elige el edificio, mientras que en la pestaña 'River Station' se eligen las secciones de los mismos.

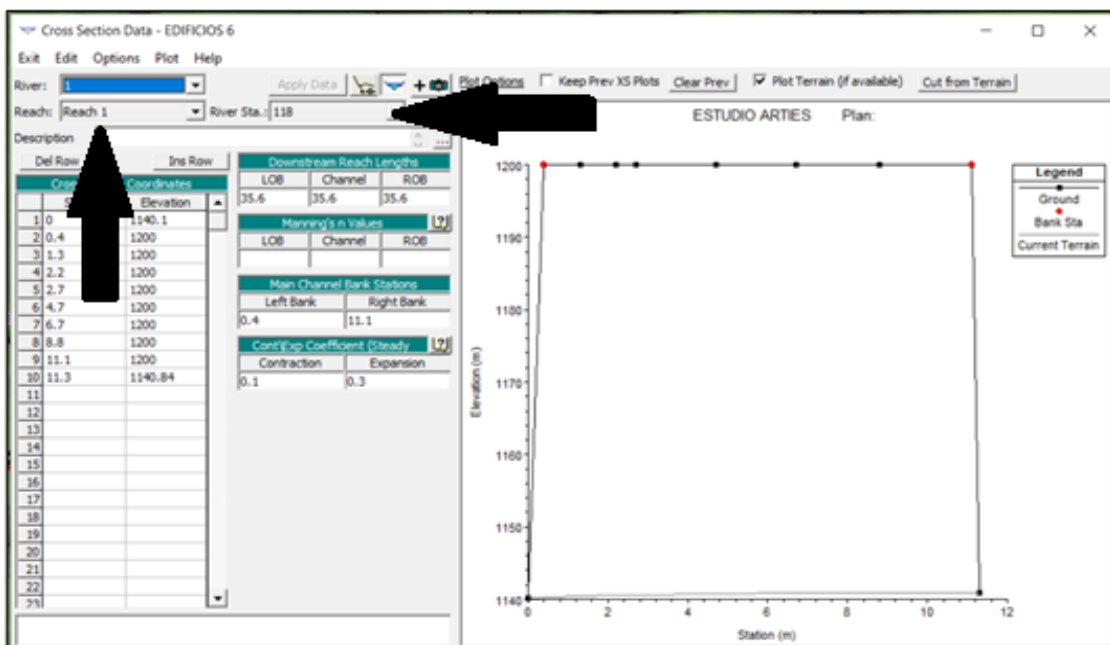


Figura 127. Creación de la geometría de los edificios (8).

En el recuadro de la siguiente imagen se puede observar como se ha modificado la elevación del terreno, viendo la sección en la parte derecha de la imagen. Este proceso de modificación se ha de realizar para todas las secciones transversales creadas. Se ha elegido una elevación de 1200 m sin distinción para todos los edificios, asegurando que nunca son rebasados y facilitando así la edición.

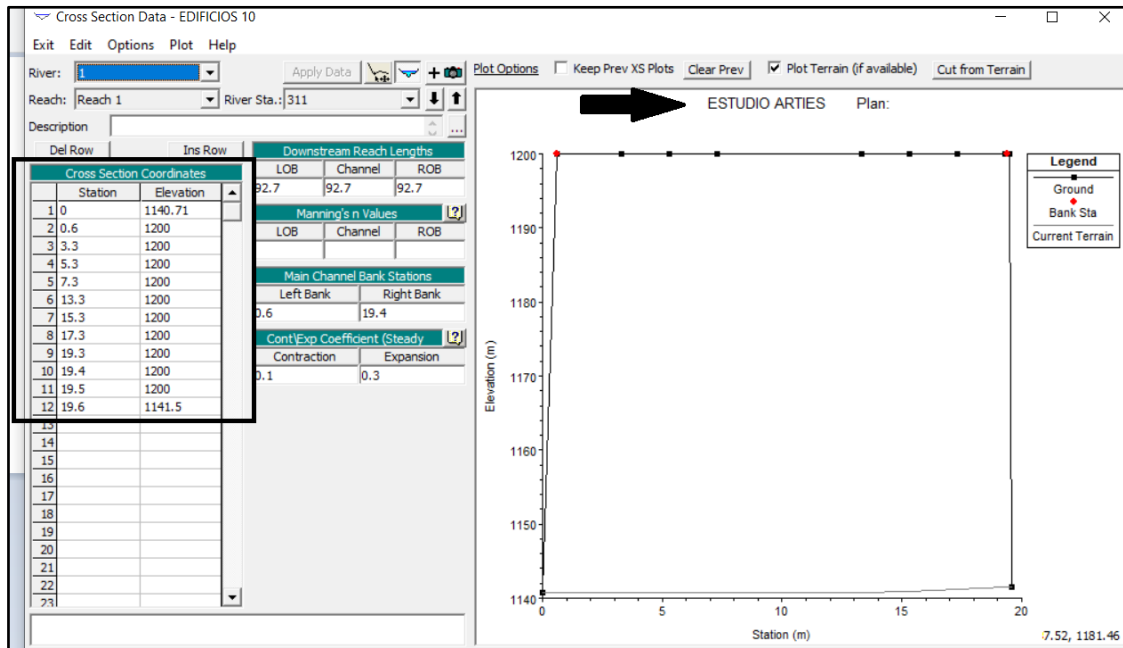


Figura 128. Creación de la geometría de los edificios (9).

Una vez modificada la geometría en la herramienta 'Geometric Data', se ha de volver a 'Ras Mapper'. Una vez ahí se han de exportar todas las capas creadas de las diferentes geometrías, seleccionando la opción de 'Create Terrain GeoTiff from XS's' y creando un archivo que toma los valores de los edificios introducidos. La opción 'Channel Only' evita que se creen orillas o riberas que suavicen las secciones introducidas, entendiendo el programa que se trata únicamente de un canal sin estos elementos comentados.

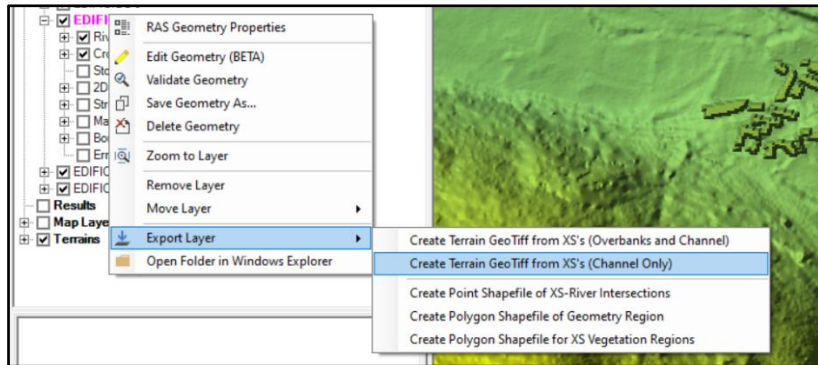


Figura 129. Creación de la geometría de los edificios (10).

Una vez exportadas y guardadas las geometrías, el programa solicita introducir el tamaño de la celda, para la elaboración del mapa deseado. Se ha elegido un tamaño de celda de 2m, ya que es el mismo tamaño del MDT original. En función de este tamaño de celda se tendrá un mapa más o menos detallado.

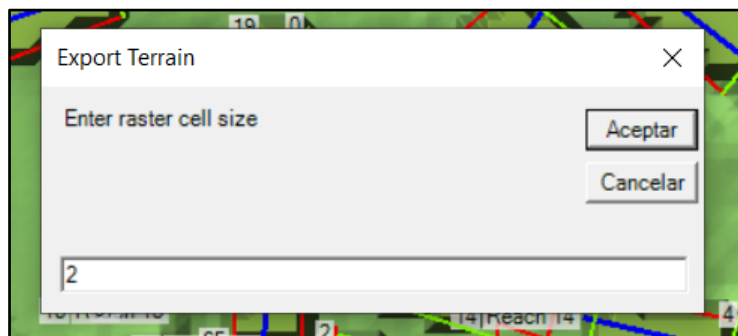


Figura 130. Creación de la geometría de los edificios (11).

Finalmente, queda la elaboración del Modelo Digital del Terreno definitivo que recoja todas las modificaciones realizadas. Para ello, en la herramienta 'Ras Mapper', se ha de seleccionar la pestaña 'Terrains', y con el botón derecho del ratón, seleccionar la opción 'Create a New Ras Terrain' para la creación del mapa, donde se abrirá la ventana 'New Terrain Layer', para la selección de archivos.



Figura 131. Creación de la geometría de los edificios (12).

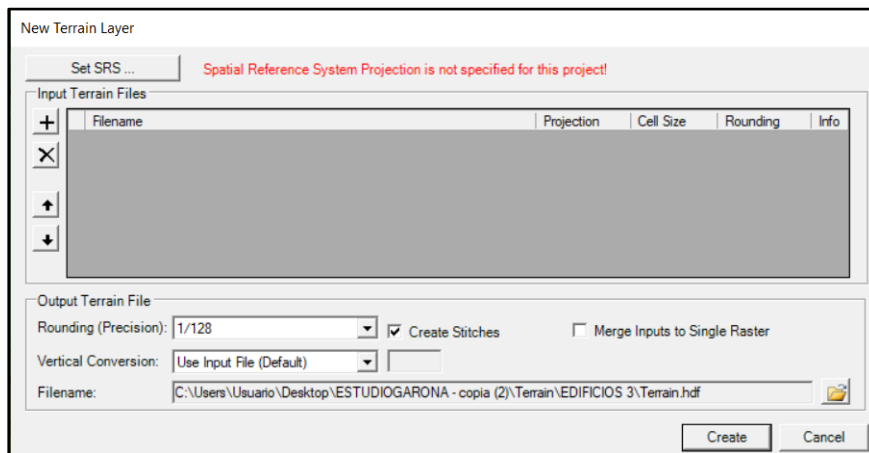


Figura 132. Creación de la geometría de los edificios (13).

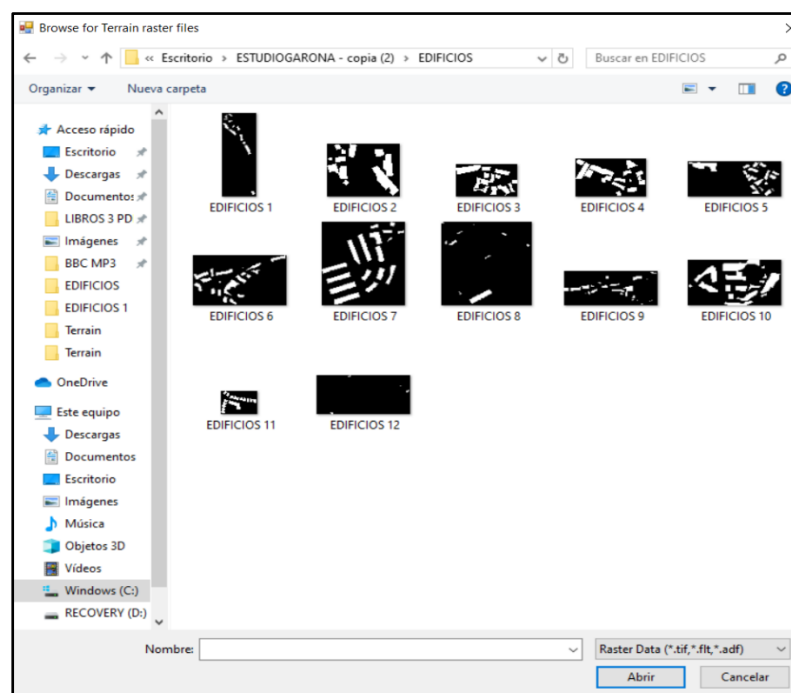


Figura 133. Creación de la geometría de los edificios (14).

El programa permite la selección de múltiples archivos, por lo que se puede generar en un solo paso el Modelo Digital del Terreno deseado, seleccionando los archivos de la geometría de los edificios generados, y un archivo base del MDT original, sobre el que se sobrescriben estos archivos.

Con ello, tenemos el terreno modificado generado tal y como se observa en la siguiente figura:



Figura 134. Resultado del proceso de introducción de edificios.

En las siguientes imágenes se puede apreciar en detalle la diferencia entre las cotas del terreno natural y el modificado de los edificios, corroborando que el Modelo Digital del Terreno ha sido modificado con éxito.



Figura 135. Detalle de la cota de los edificios (1200m).



Figura 136. Detalle de la cota del terreno natural.

A continuación, se muestran una serie de capturas de pantalla del resultado del mapa generado, observando que los diferentes edificios se han generado de manera correcta.

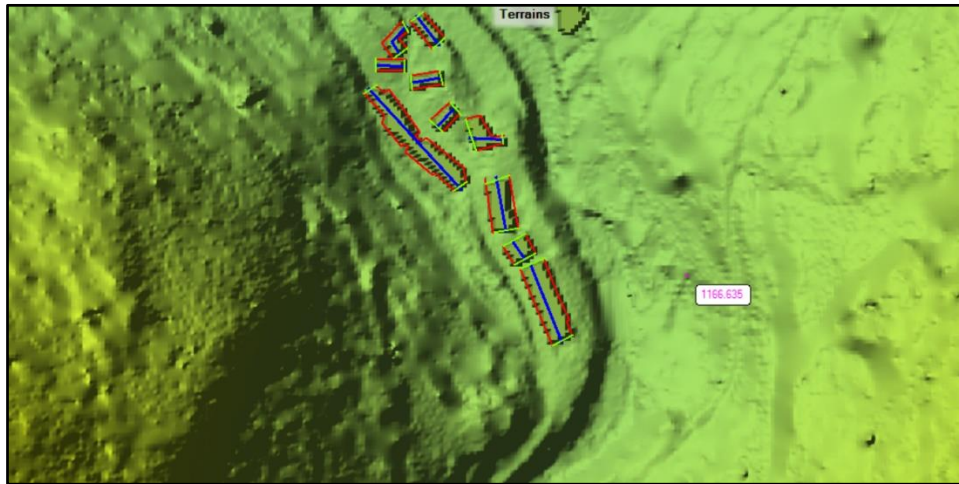


Figura 137. Geometría 'EDIFICIOS 1'.

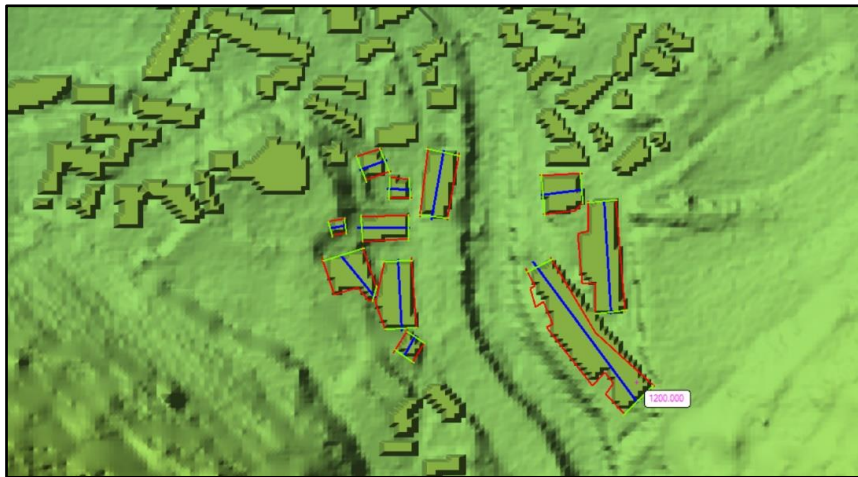


Figura 138. Geometría 'EDIFICIOS 2'.

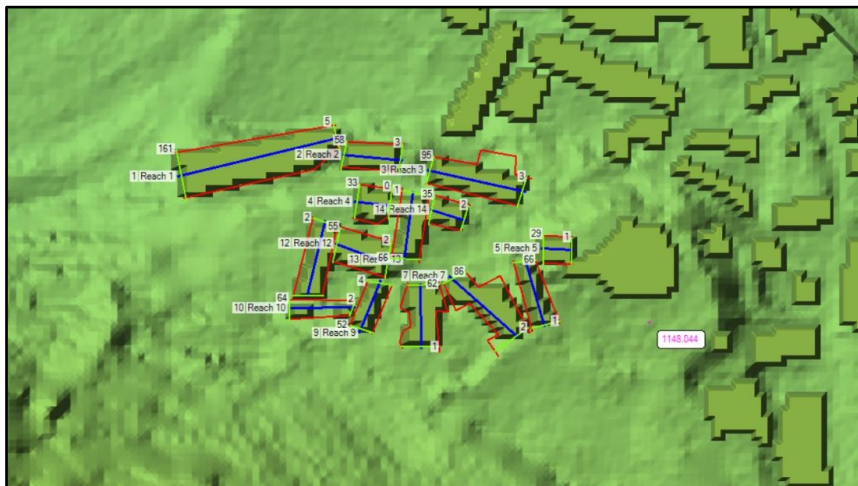


Figura 139. Geometría 'EDIFICIOS 3'.



Figura 140. Geometría 'EDIFICIOS 4'.

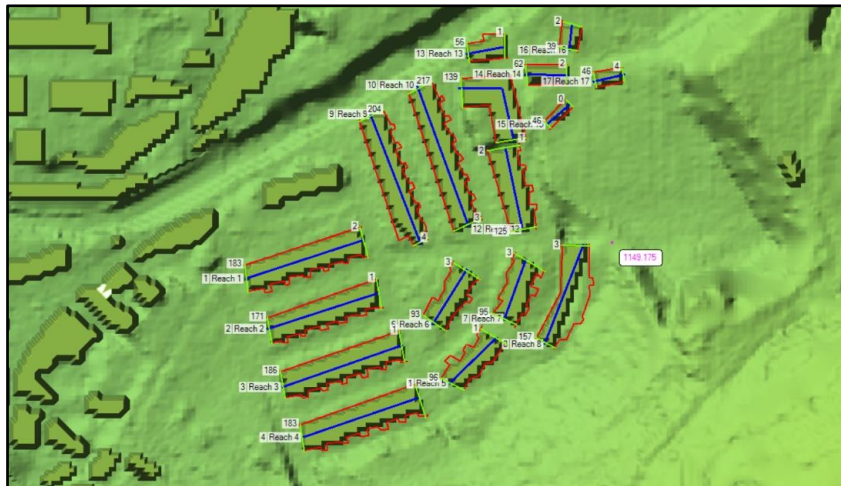


Figura 141. Geometría 'EDIFICIOS 5'.

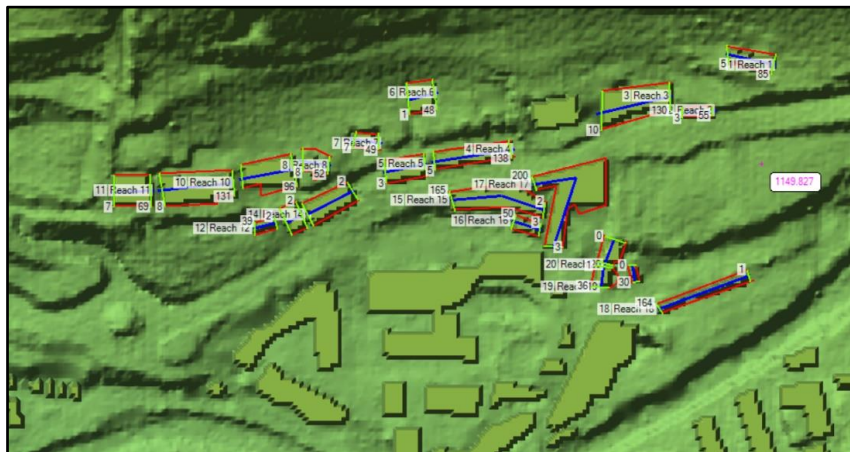


Figura 142. Geometría 'EDIFICIOS 6'.

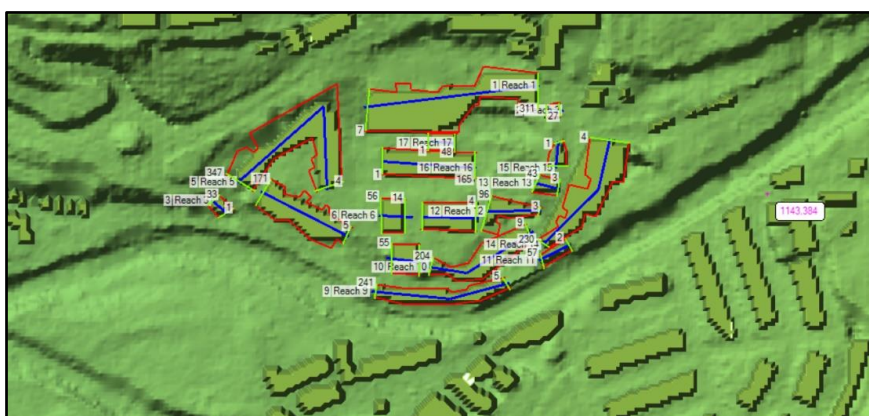


Figura 143. Geometría 'EDIFICIOS 7'.



Figura 144. Geometría 'EDIFICIOS 8'.

3.3.12 Introducción de las infraestructuras sobre los ríos Garona y Valarties en el tramo de estudio.

A pesar de que en un primer momento se modificó el Modelo Digital del Terreno original eliminando todas las obras de paso existentes, a la hora de crear un modelo lo más exacto posible se han recreado estas infraestructuras, con el objetivo de comprobar cómo la geometría de las mismas puede afectar o no al flujo, y en caso de desbordamiento, observar de la misma manera el comportamiento del flujo con la en presencia de los tableros de los puentes y demás infraestructuras.

Identificadas las infraestructuras existentes y en determinados casos la geometría exacta de las mismas, el proceso de introducción de estas infraestructuras en el modelo es el análogo al de la creación de una Obra de Drenaje Transversal.

Una vez creada la malla computacional, la introducción de las infraestructuras comienza en la pestaña 'Geometric Data'. Una vez allí se ha de seleccionar la herramienta 'SA/2D Area Connections' creando una línea que será el eje de la infraestructura introducida. En un primer momento esa línea se adapta al contorno de los datos generados en la malla computacional, si no se indica lo contrario.

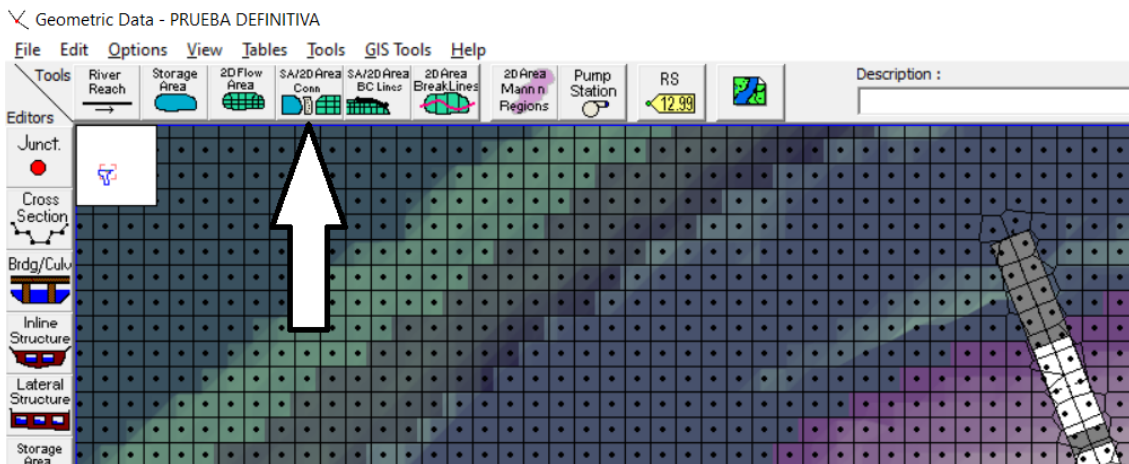


Figura 145. Introducción de los ejes de las estructuras.

Clicando sobre la Conexión recientemente creada (línea) con el botón derecho del ratón se abre un desplegable, donde seleccionando la opción 'Enforce Internal Connection as Breakline in 2D Flow Area' esta conexión se integra en la malla computacional modificando la geometría de los 'datos' de cálculo generados en un primer momento.

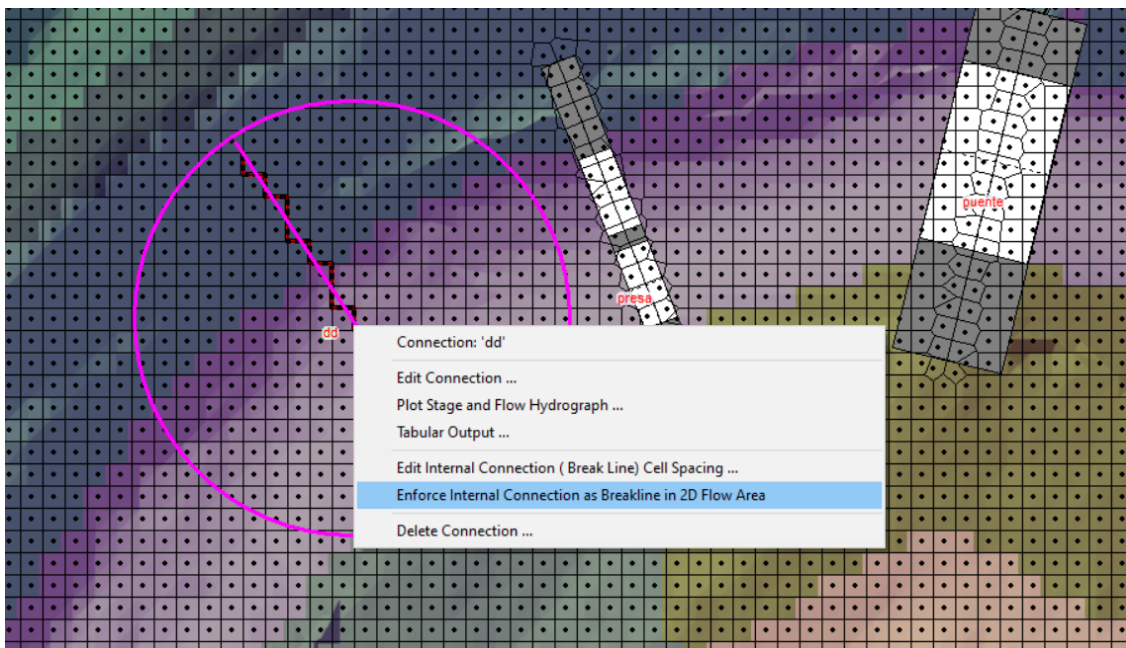


Figura 146. Proceso de creación de las estructuras (1).

Una vez creada la conexión, con el mismo clic se accede a la opción de 'Edit Connection' para introducir como tal las infraestructuras.

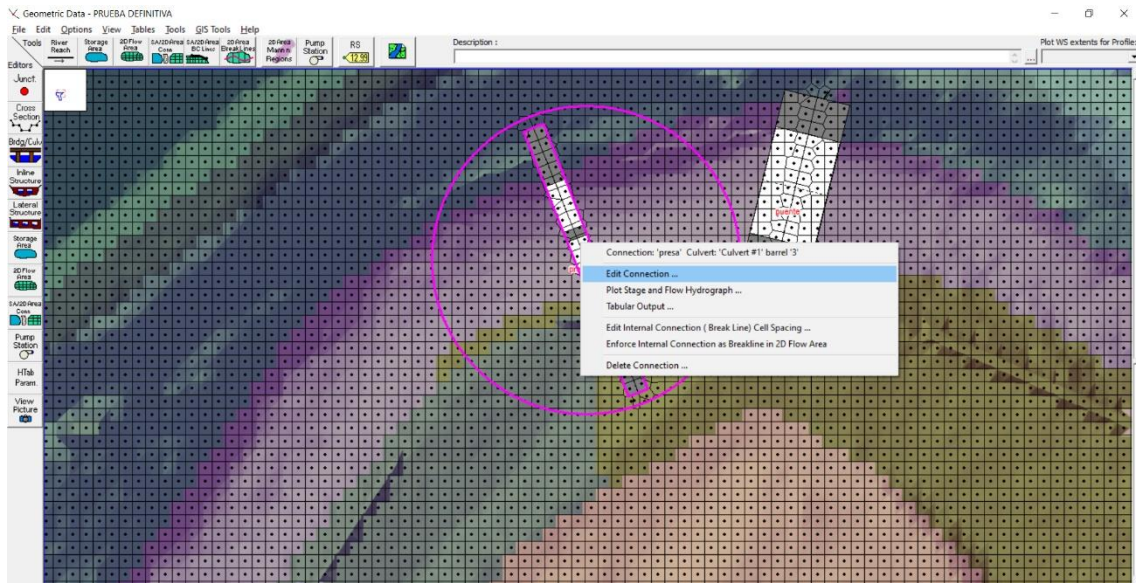


Figura 147. Proceso de creación de las estructuras (2).

El primer paso es seleccionar la pestaña 'Terrain Profile' donde se muestra tanto el perfil longitudinal del mismo, como las cotas (numéricamente) del terreno a lo largo de la conexión.

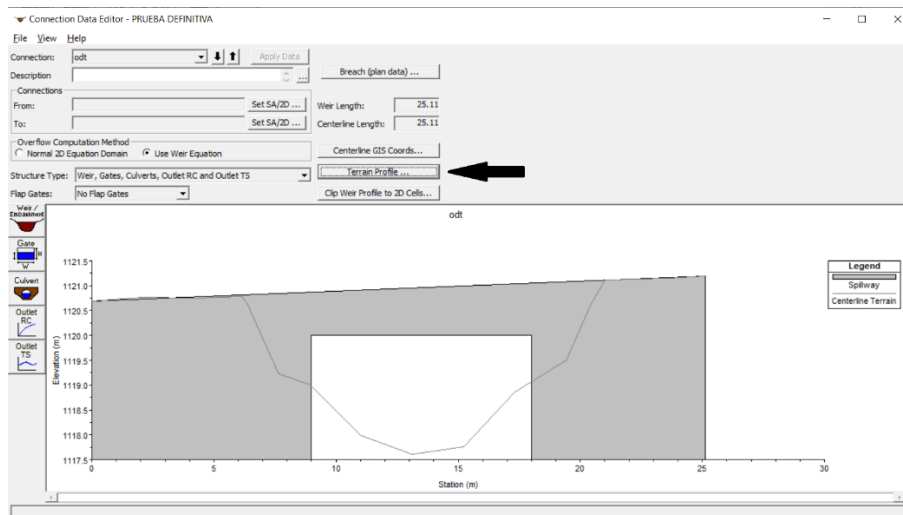


Figura 148. Proceso de creación de las estructuras (3).

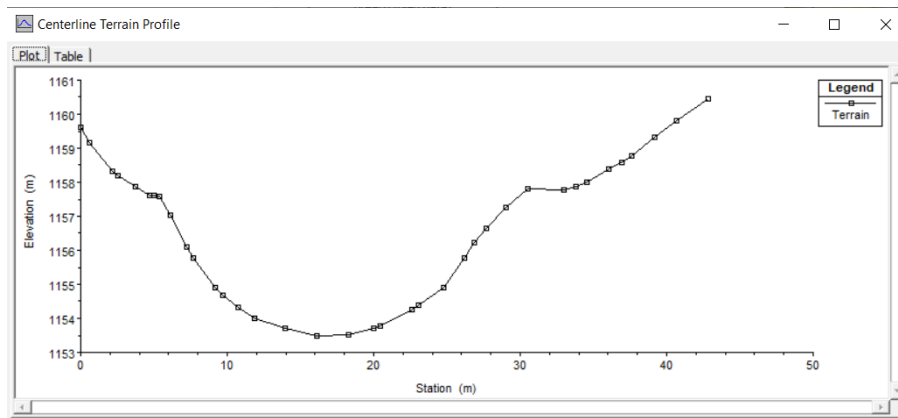


Figura 149. Proceso de creación de las estructuras (4).

	Terrain Station (m)	Terrain Elevation (m)
1	0.000	1159.618
2	0.625	1159.173
3	2.166	1158.332
4	2.548	1158.178
5	3.707	1157.886
6	4.699	1157.612
7	4.978	1157.610
8	5.389	1157.581
9	6.124	1157.033
10	7.252	1156.082
11	7.665	1155.764
12	9.206	1154.905
13	9.691	1154.662
14	10.747	1154.318
15	11.842	1153.986
16	13.992	1153.711
17	16.143	1153.469
18	18.294	1153.526
19	19.994	1153.697
20	20.445	1153.758
21	22.596	1154.258
22	23.076	1154.393
23	24.746	1154.917
24	26.158	1155.763
25	26.897	1156.240
26	27.700	1156.650
27	29.048	1157.255
28	30.508	1157.823
29	32.988	1157.771
30	33.820	1157.881
31	34.530	1158.012
32	36.071	1158.377
33	36.961	1158.566
34	37.612	1158.772
35	39.153	1159.312
36	40.694	1159.795
37	42.831	1160.439

Figura 150. Proceso de creación de las estructuras (5).

Se han de copiar todos los valores de la tabla de valores de la conexión creada, para luego introducirlos en el desplegable 'Weir/Enbankment'. Una vez ahí se modifican estos datos recientemente introducidos, eligiendo los necesarios para la creación del dado de hormigón sobre el que posteriormente se introducirán las aberturas. De la misma manera se introduce también la anchura de la infraestructura.

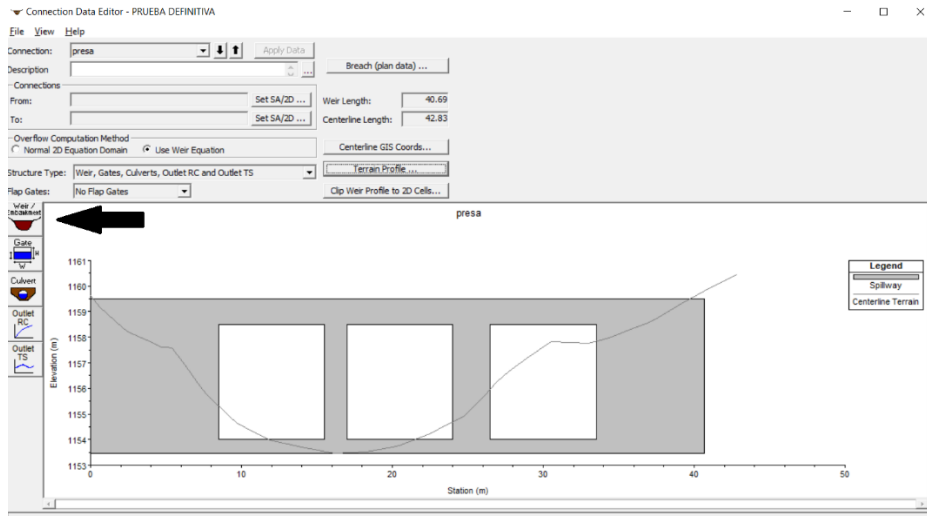


Figura 151. Proceso de creación de las estructuras (6).

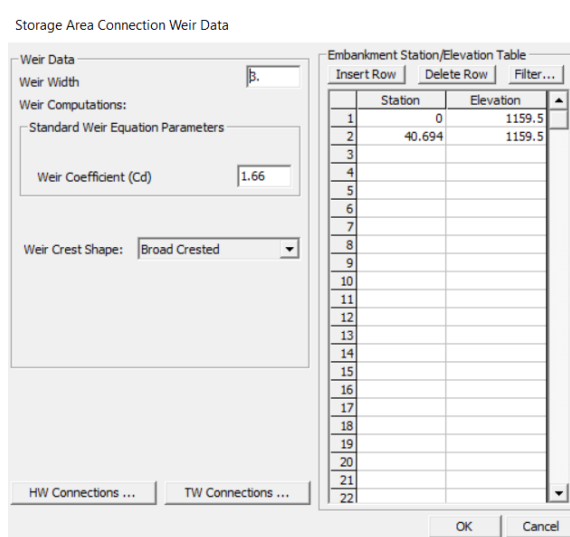


Figura 152. Proceso de creación de las estructuras (7).

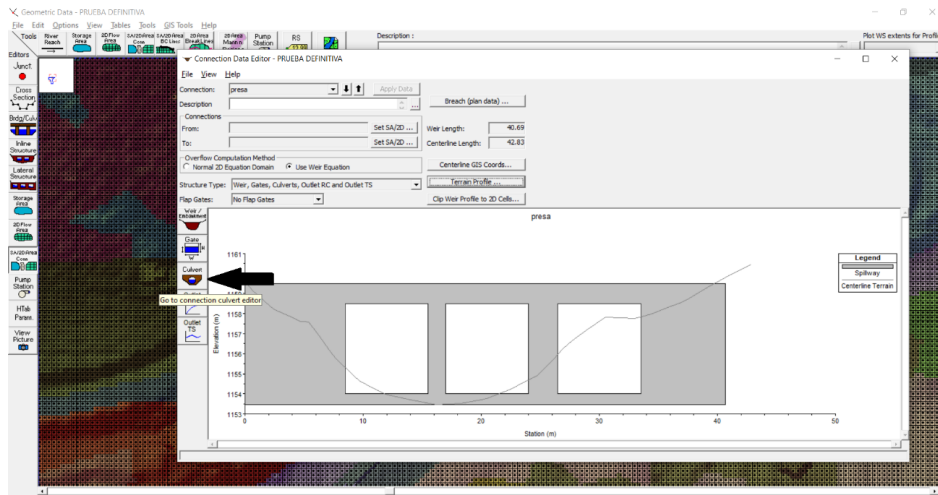


Figura 153. Proceso de creación de las estructuras (8).

Una vez introducido se accede a 'Culvert' para dimensionar la abertura y la geometría de las infraestructuras. En esta pestaña se introduce la anchura y altura de la abertura (Span y Rise, respectivamente), así como, la geometría de la abertura (Shape) pudiendo elegir entre marcos, aberturas circulares, elipses o semi-círculos, entre otros. De la misma manera se establece la cota de la base de la abertura, el número de Manning, (0.015 considerando que las infraestructuras son de hormigón) y en el caso de que existan aberturas múltiples, como es el caso de la presa de la subestación del municipio, en el apartado 'Barrel Centerline Stations' se establece el punto central de las diferentes aberturas creadas.

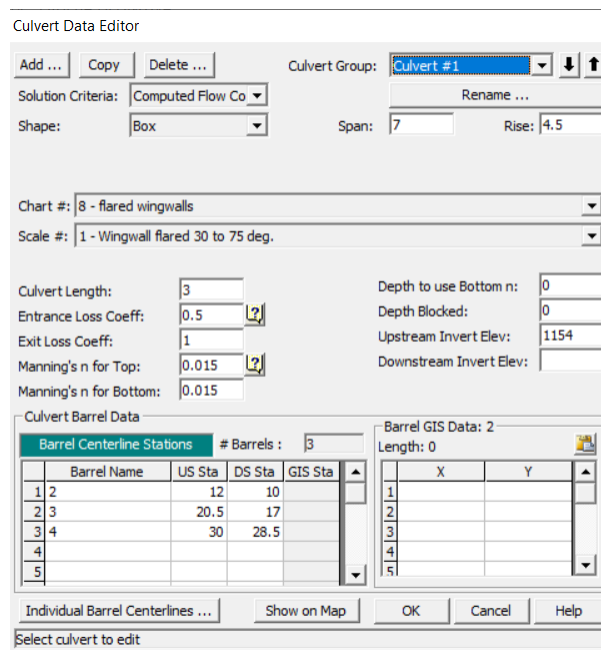


Figura 154. Proceso de creación de las estructuras (9).

Aunque el bloque de hormigón creado y sus aberturas tengan dimensiones superiores a las del terreno existente, esto no influye en su comportamiento, puesto que el Modelo Digital del Terreno no se modifica, preservándose la geometría original, siendo solo significativo cuando las geometrías creadas se encuentran por encima de la cota del terreno.

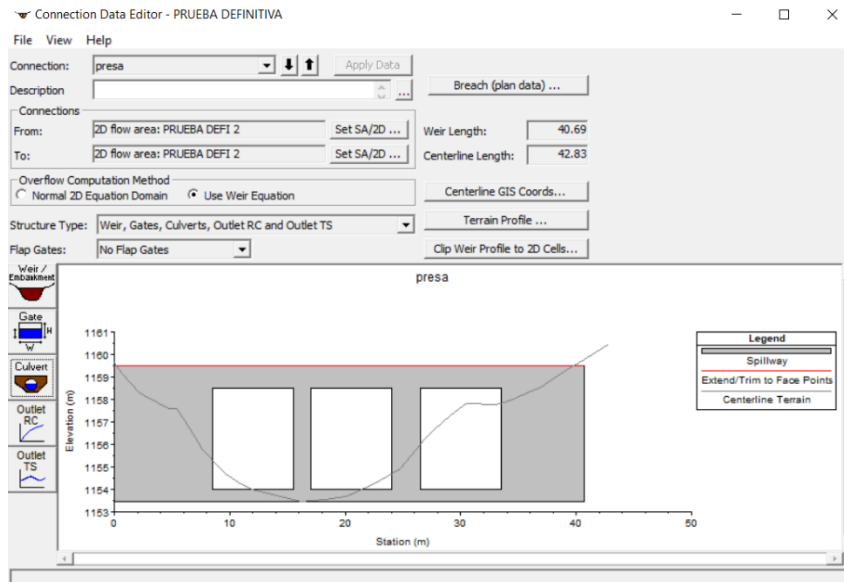


Figura 155. Proceso de creación de las estructuras (10).

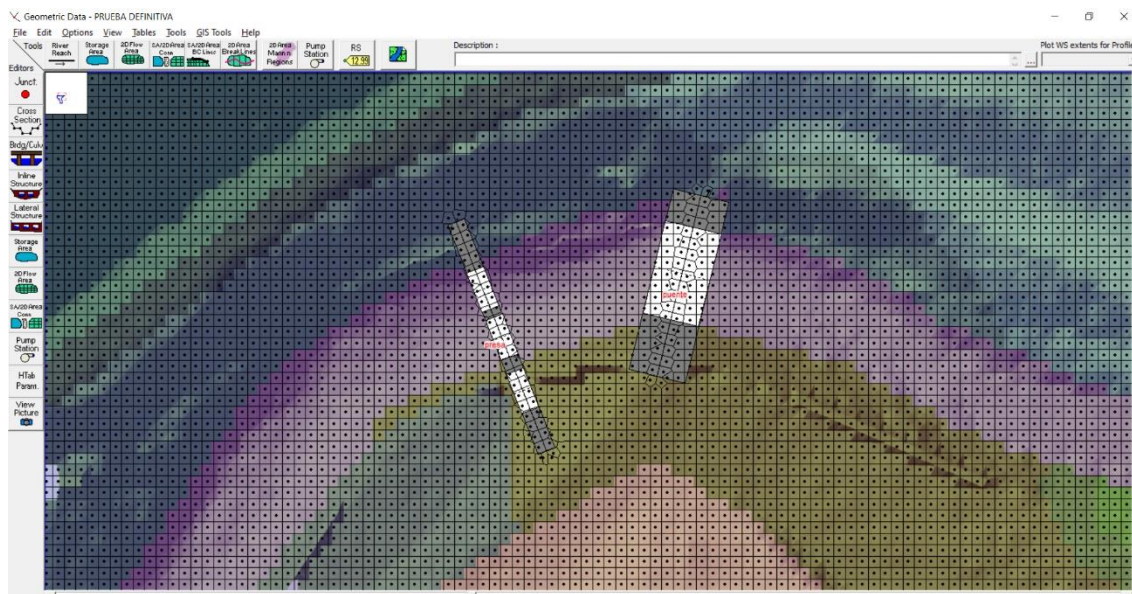


Figura 156. Proceso de creación de las estructuras (11).

A continuación, se ilustran las diferentes infraestructuras introducidas en el modelo:

ESTACION DE AFOROS DEL RÍO GARONA.

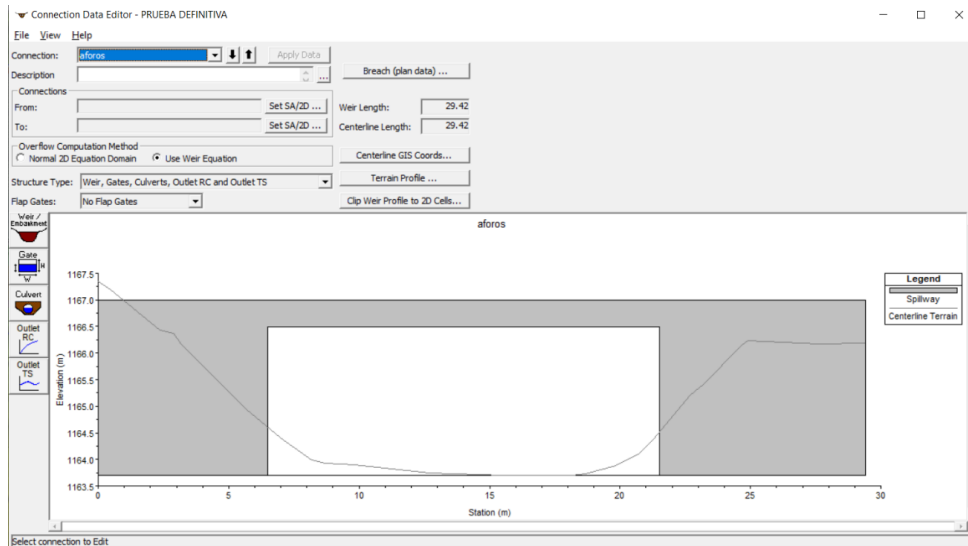


Figura 157. Proceso de creación de las estructuras (12).

PRESA DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DEL MUNICIPIO.

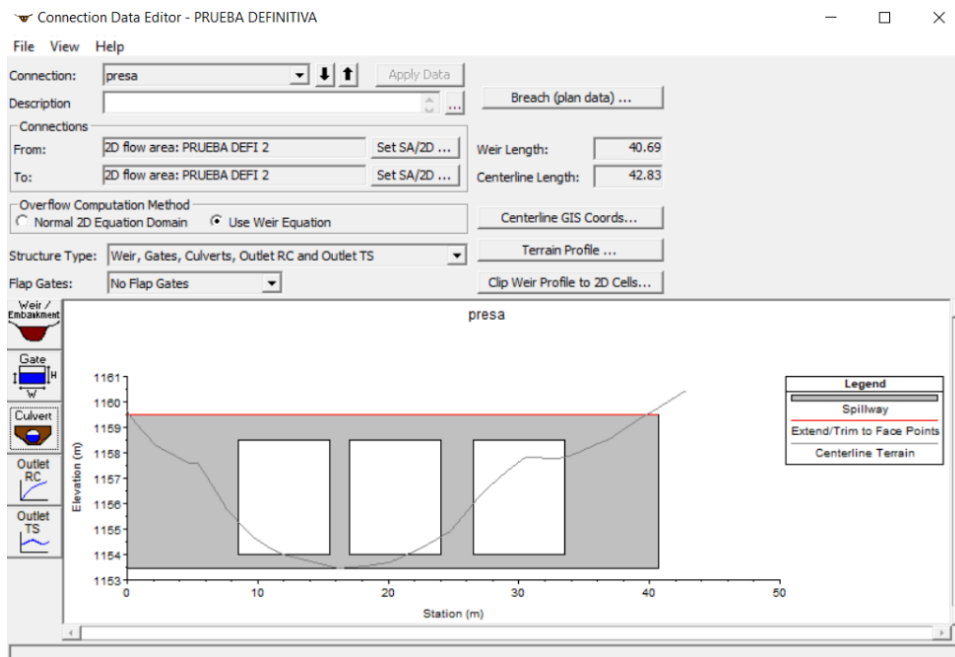


Figura 158. Proceso de creación de las estructuras (13).

PUENTE DE ACCESO A LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DEL MUNICIPIO.

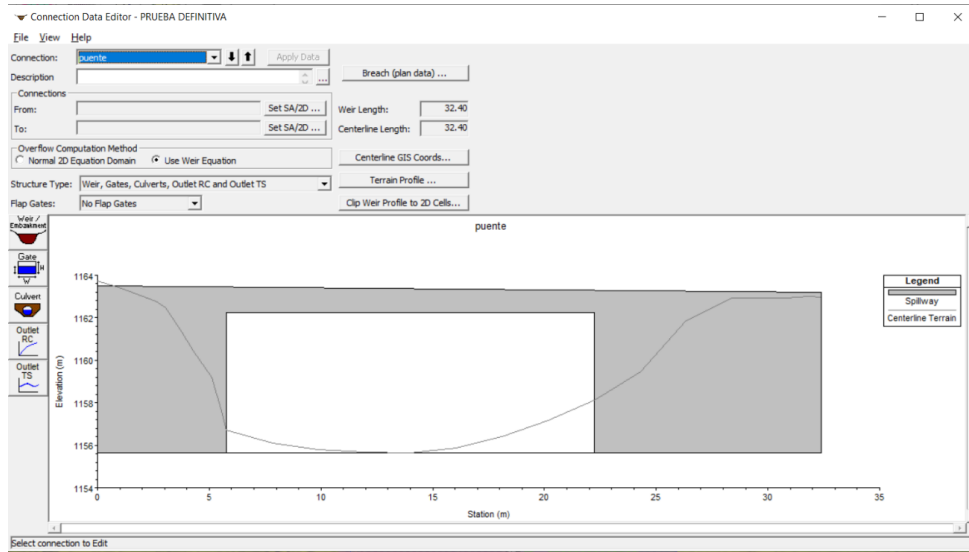


Figura 159. Proceso de creación de las estructuras (14).

PUENTE URBANO SOBRE EL GARONA EN ARTIES.

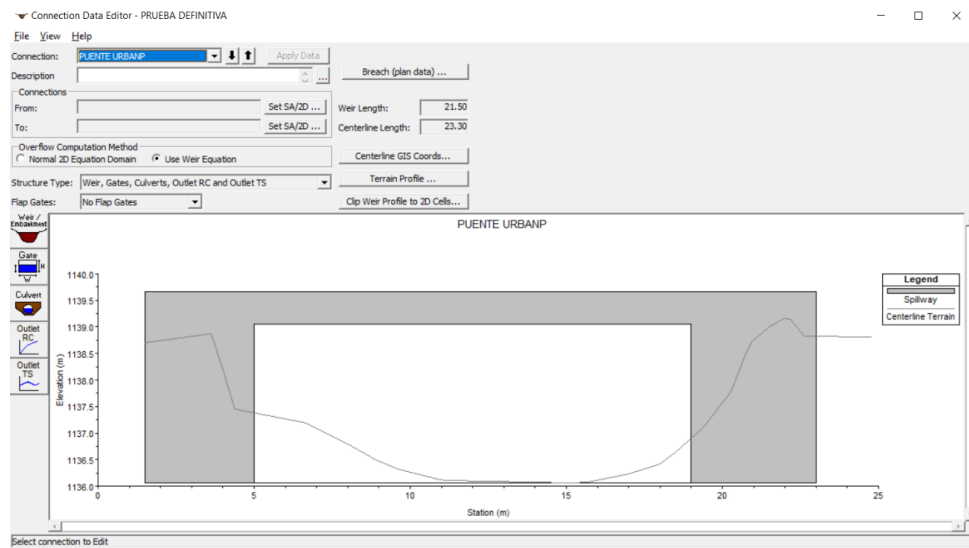


Figura 160. Proceso de creación de las estructuras (15).

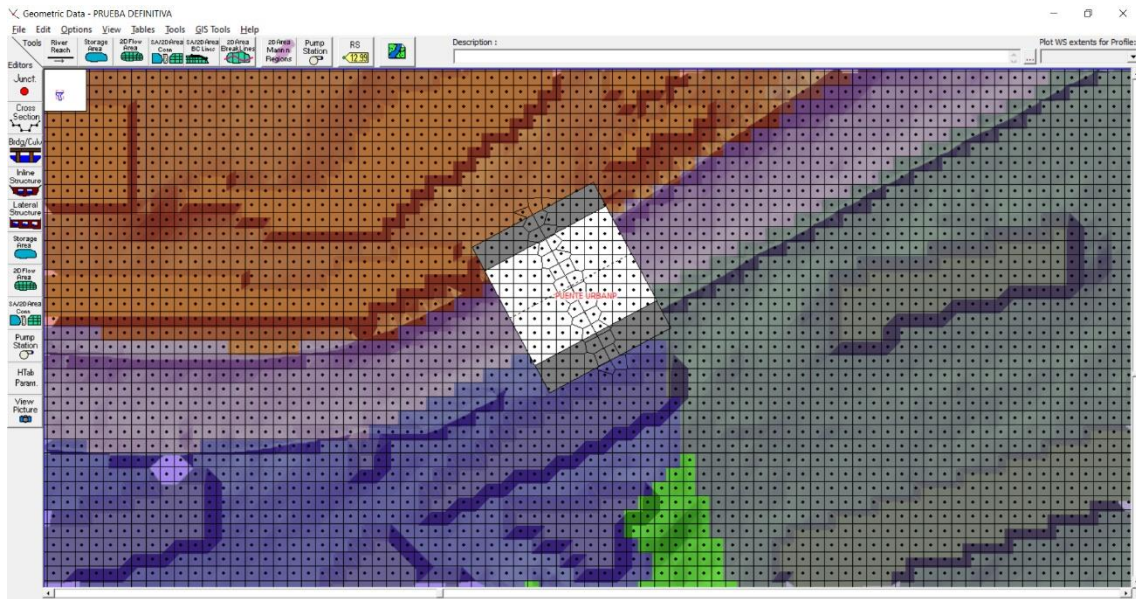


Figura 161. Proceso de creación de las estructuras (16).

PUENTE URBANO SOBRE EL VALARTIES EN ARTIES.

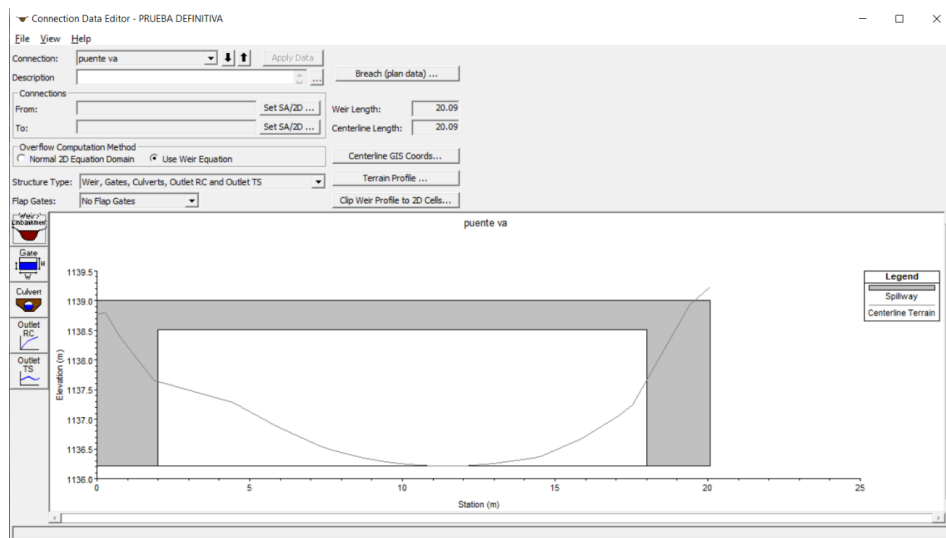


Figura 162. Proceso de creación de las estructuras (17).

ESTACION DE AFORO DEL VALARTIES.

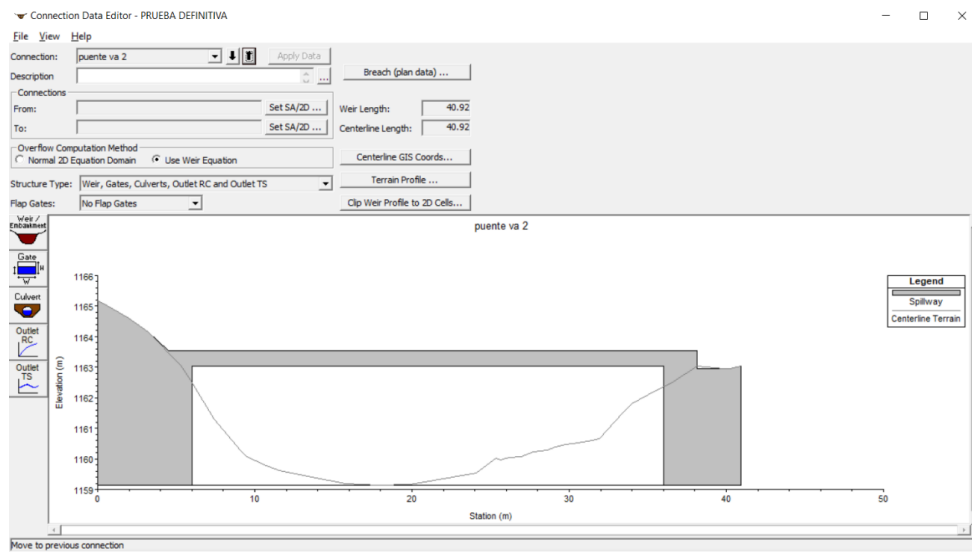


Figura 163. Proceso de creación de las estructuras (18).

PUENTE SOBRE EL VALARTIES.

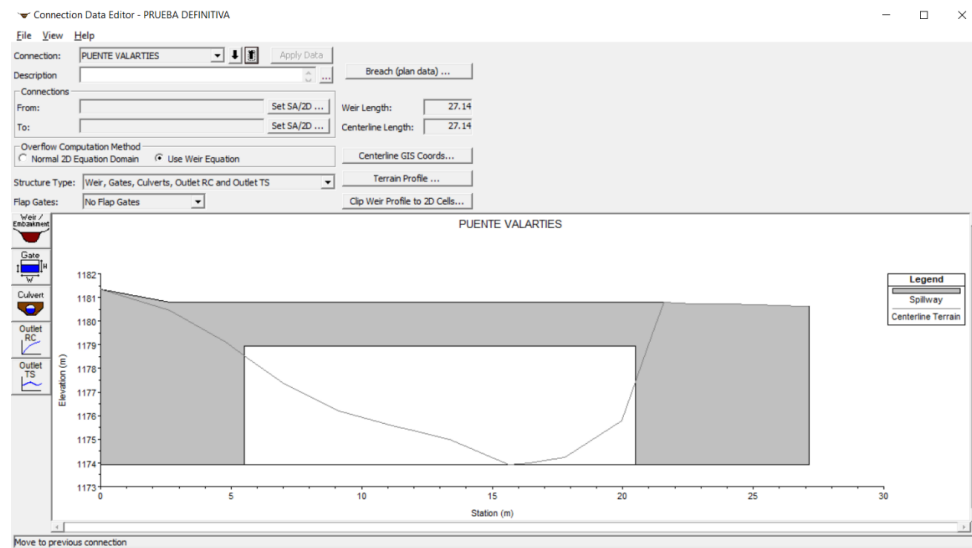


Figura 164. Proceso de creación de las estructuras (19).

PUENTE DEL RIO VALARTIES DE ACCESO A LA CANTERA.

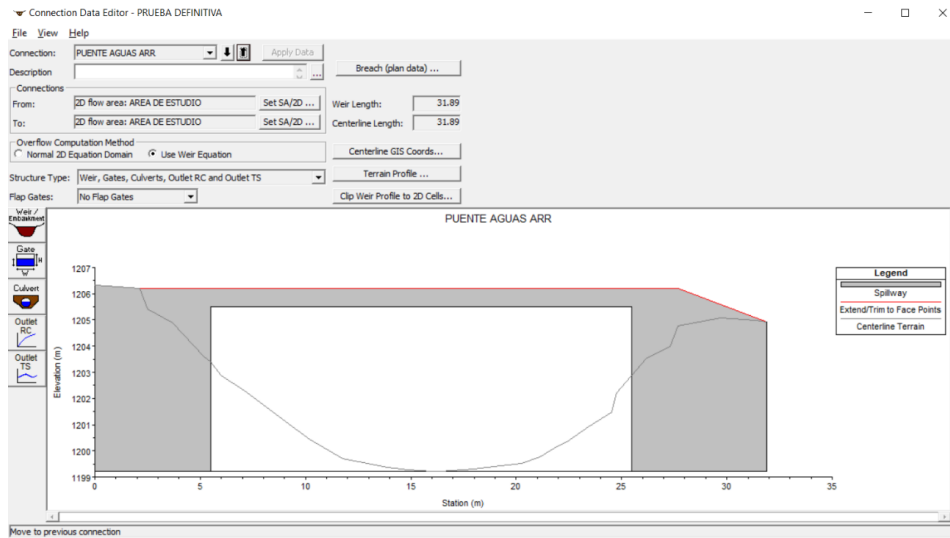


Figura 165. Proceso de creación de las estructuras (20).

OBRA DE DRENAJE TRANSVERSAL DE LA CARRETERA C-28.

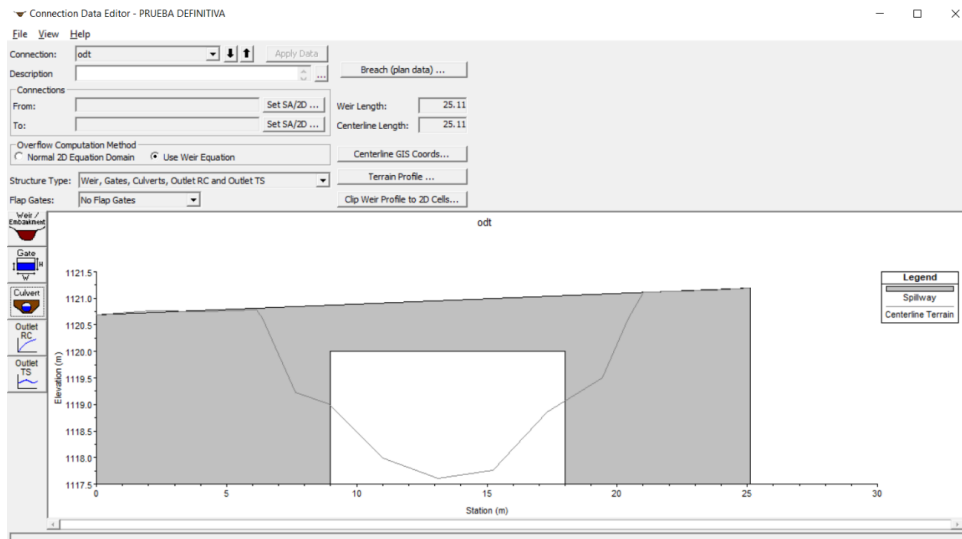


Figura 166. Proceso de creación de las estructuras (21).

3.3.13 Introducción de motas y muretes.

De la misma manera que se han introducido los edificios y estructuras del municipio de Arties, se ha repetido el proceso para la introducción del vallado municipal en torno al cauce de los ríos Garona y Valarties, así como, de las motas, encontrándose éstas en el entorno de la confluencia. El vallado municipal, tal y como se muestra en el anejo fotográfico, consiste en muretes de cierto espesor, con una altura y espesor uniformes en la mayoría de los tramos identificados.

Debido al espesor tanto de los muros como de las motas, estos no se ven reflejados en el Modelo Digital del Terreno, ya que la precisión de éste es menor (2x2 metros).

A pesar de la gran cantidad de mapas topográficos disponibles, no se ha encontrado ninguno con la suficiente precisión como para indicar la posición exacta de los muros y motas, su geometría o su cota. Tampoco se obtuvo una respuesta clarificadora por parte de los organismos consultados acerca de los mismos, por lo que se ha elegido una altura uniforme (0.8 metros) en la mayoría de los tramos localizados. Estos tramos han sido localizados mediante Google Earth Pro, y usando una herramienta propia del programa se ha podido dibujar la posición exacta de los mismos. La altura de los estos se ha establecido mediante la herramienta Street View que, aunque no es posible obtener esta con precisión, se ha identificado aquellos tramos de muros que presentan una altura uniforme, asociando una altura ya comentada de 0.8 metros. En los muros situados al Sur de la localidad, aguas arriba del puente urbano del río Valarties, su cota aumenta hasta los 1.5 metros aproximadamente.

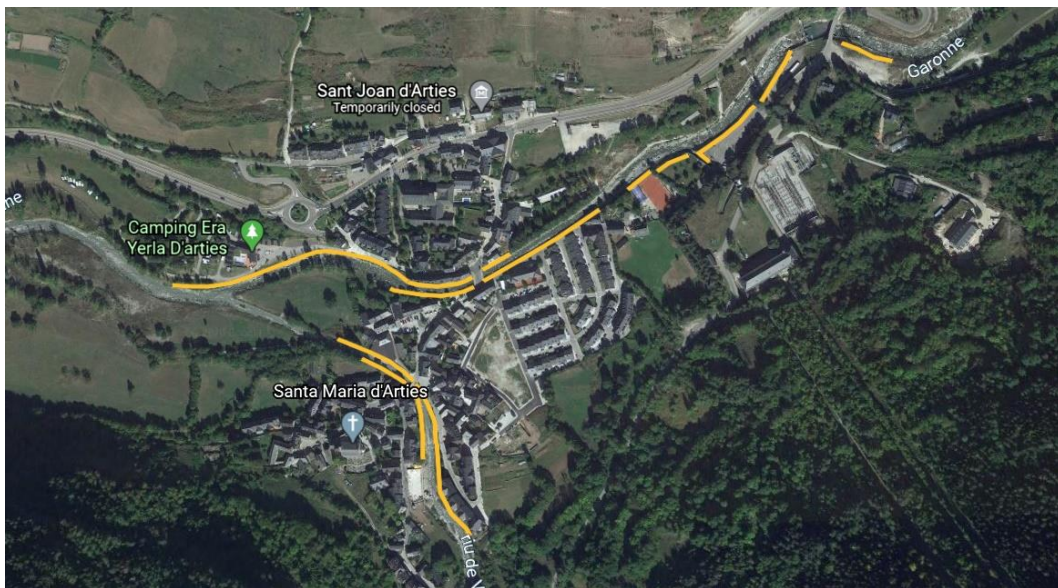


Figura 167. Identificación de muros y motas.

El proceso de generación de muros y motas es el mismo que para la introducción de edificios y estructuras, pero con pequeñas diferencias a la hora de creación de la geometría.

La principal diferencia a la hora de introducir la geometría es la creación de numerosas secciones transversales para con ello conseguir una mayor precisión, modificando el modelo digital cada escaso metro en lugar de crear un dado uniforme de principio a fin que obvie las fluctuaciones del terreno.



Figura 168. Vista general de los tramos modificados.



Figura 169. Detalle de la introducción de la geometría de los muros a la altura del puente urbano del Valarties.



Figura 170. Detalle de la introducción de las diferentes secciones transversales para cada muro.

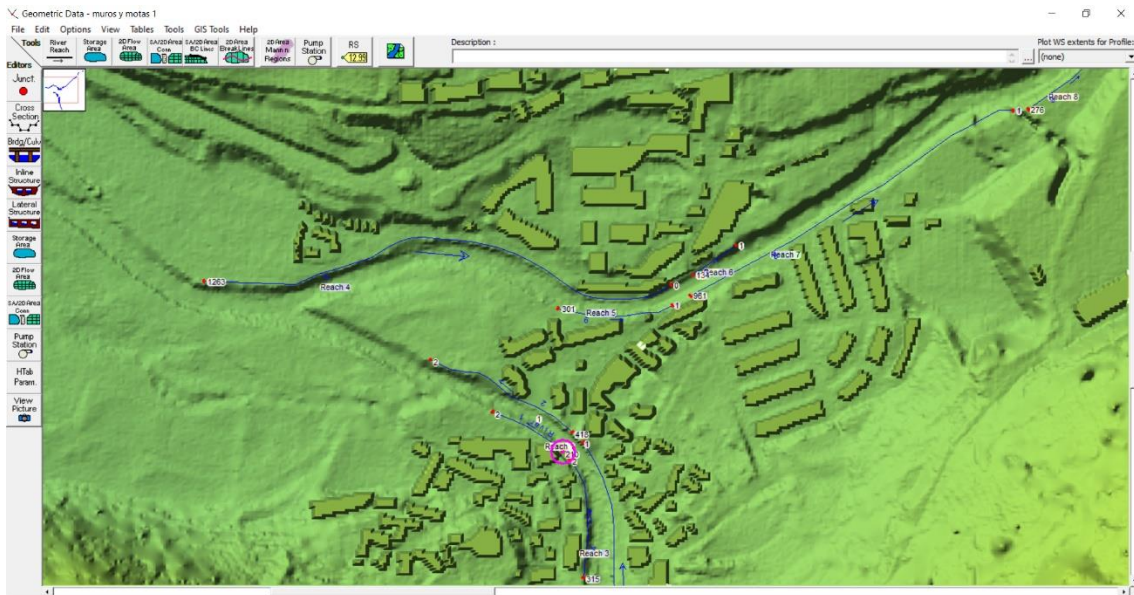


Figura 171. Edición de la cota de los muros y motas introducidos.



Figura 172. Detalle de la modificación de la cota para una sección dada.

Debido al gran número de secciones creadas, y a los diferentes datos que se han de modificar en cada una de ellas, se ha creado una hoja de Excel, donde en función del tramo se ha modificado la cota de las secciones. Posteriormente, estos datos modificados se introducen en HEC-RAS en la pestaña 'Cross Section Data' para cada una de las secciones.

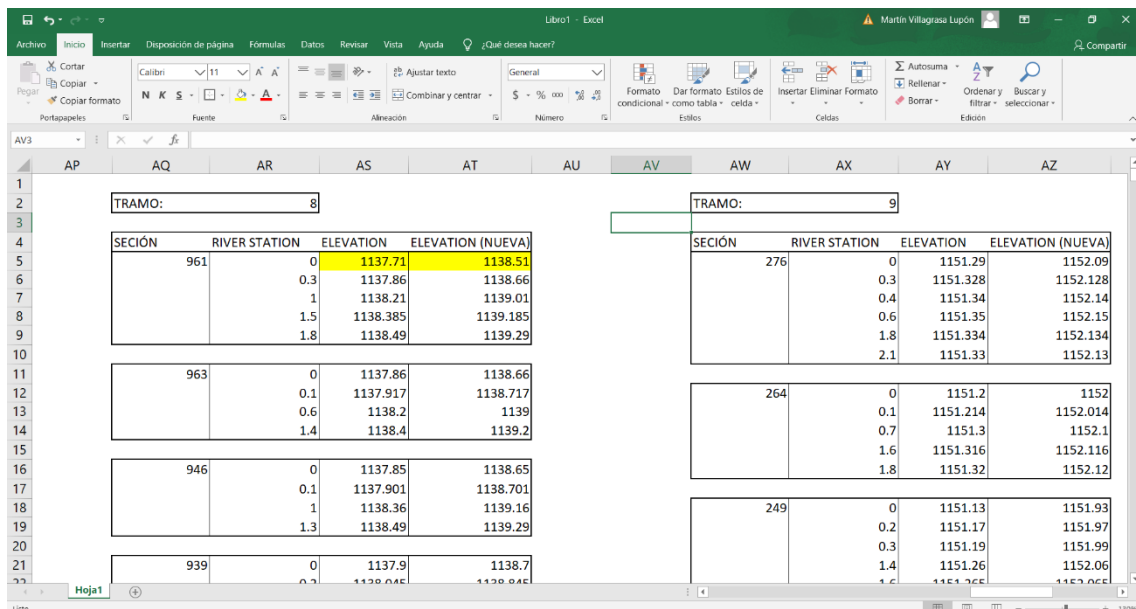


Figura 173. Excel de modificación de las cotas de los muros y motas.

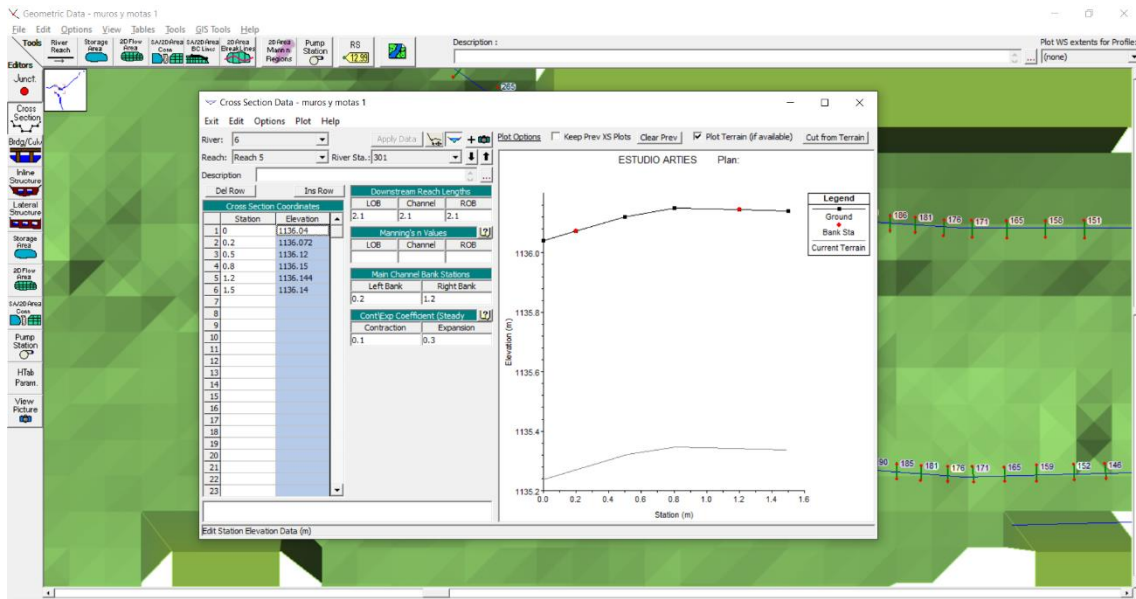


Figura 174. Introducción de las cotas modificadas en HEC-RAS.

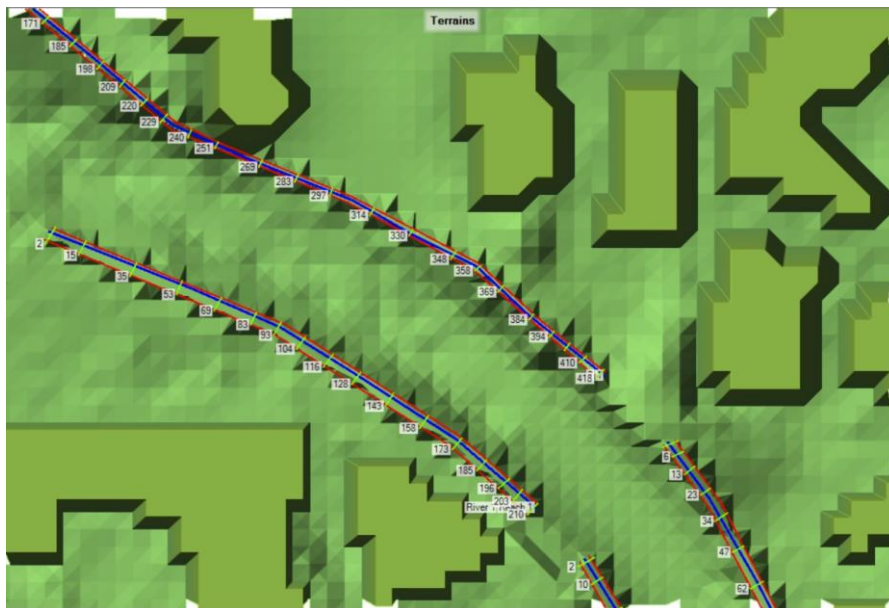


Figura 175. Detalle del resultado de la modificación de las secciones transversales.

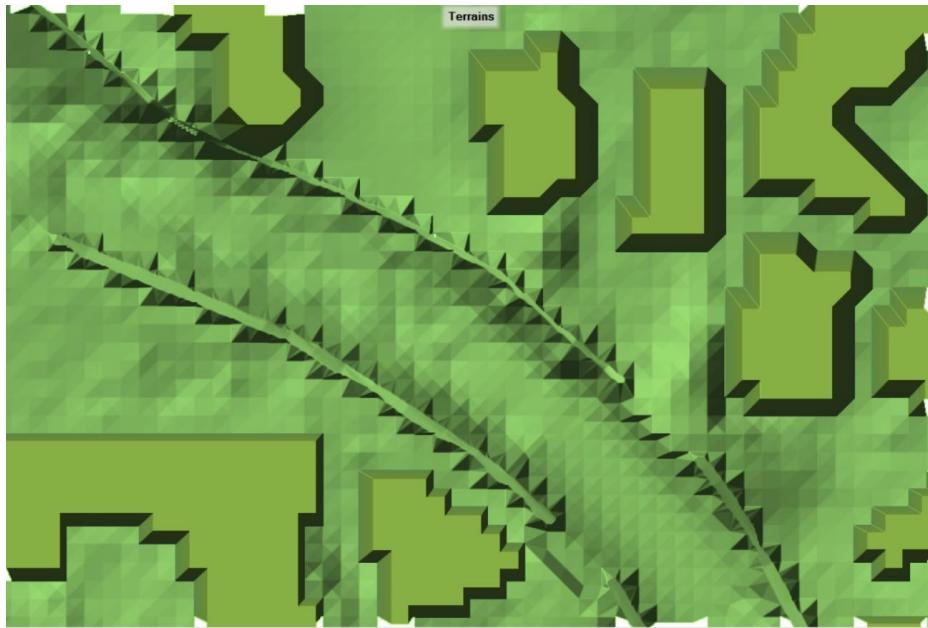


Figura 176. Detalle del resultado final de las modificaciones del Modelo Digital del Terreno.

3.3.14 Geometría de cálculo. Tamaño de malla

Se ha generado una geometría de cálculo para la zona de estudio tal y como se muestra en las siguientes ilustraciones.

Para realizar este mallado, se debe acceder la pestaña 'Geometric Data' en la interfaz del programa.

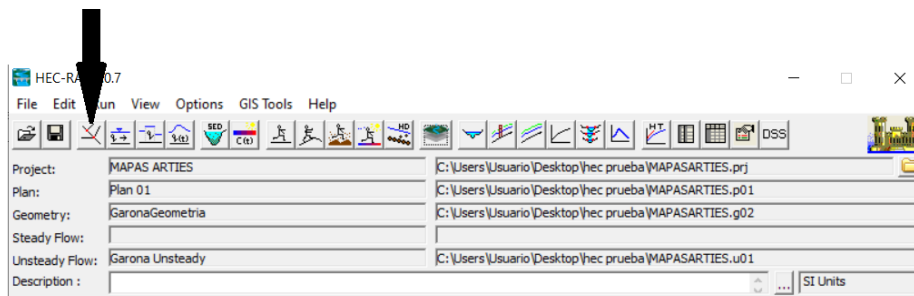
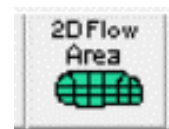


Figura 177. 'Geometric Data' en la interfaz de HEC-RAS.

Una vez abierto el visor de la geometría, se ha delimitado el área de estudio mediante la herramienta '2D Flow Area', de la que se va a realizar el mallado. Al clicar sobre esta herramienta, el cursor del ratón se convierte en un lápiz, con el que se va dibujando la geometría. Una vez delimitado el área, se realiza un doble clic, para cerrar la poligonal. Es entonces cuando aparece un cuadro de diálogo, en el que se pide especificar el nombre de la geometría creada.



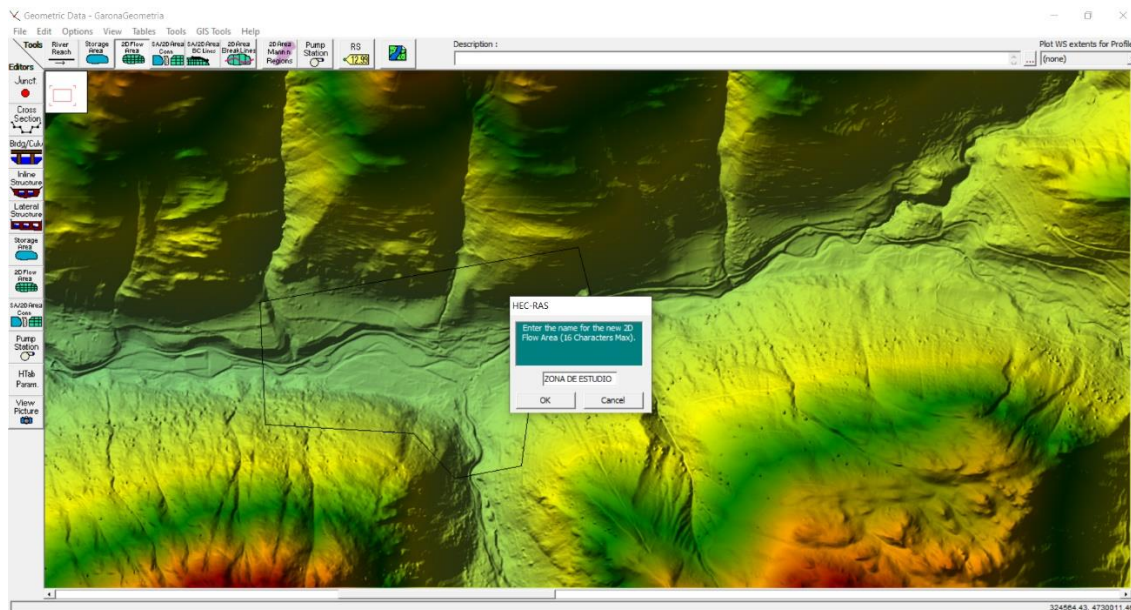


Figura 178. Delimitación de la zona de estudio (1).

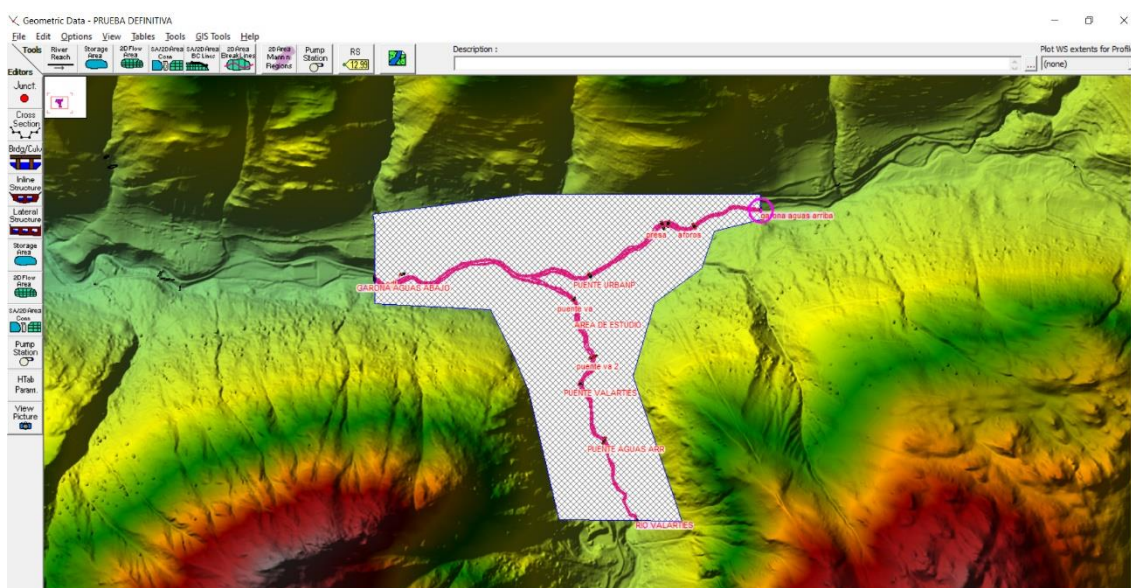


Figura 179. Delimitación de la zona de estudio (2).

Una vez creada la geometría, el siguiente paso es el de crear la malla. Para realizar este proceso, se ha de seleccionar la geometría creada, seleccionando la opción de editar la geometría para posteriormente, establecer el tamaño de la malla. Esto se realiza seleccionando la pestaña 'Generate Computation Point' son Regular Interval with All Breaklines' que abre el cuadro '2D Flow Area Generate Points' donde se da valor a las casillas de 'Computation point spacing'. Por el rendimiento del equipo informático disponible, no ha sido posible la creación de una malla de 2x2, en concordancia con la precisión del

Modelo Digital del Terreno implementado, por lo que se ha creado una de 4x4 metros, refinando el cauce a un tamaño de celda de 2x2 tras varias calibraciones y simulaciones, de acuerdo al Anejo 3. Para generar esta malla, se ejecuta finalmente el comando 'Force Mesh Computation'. El proceso se ilustra con las siguientes capturas de pantalla del programa.

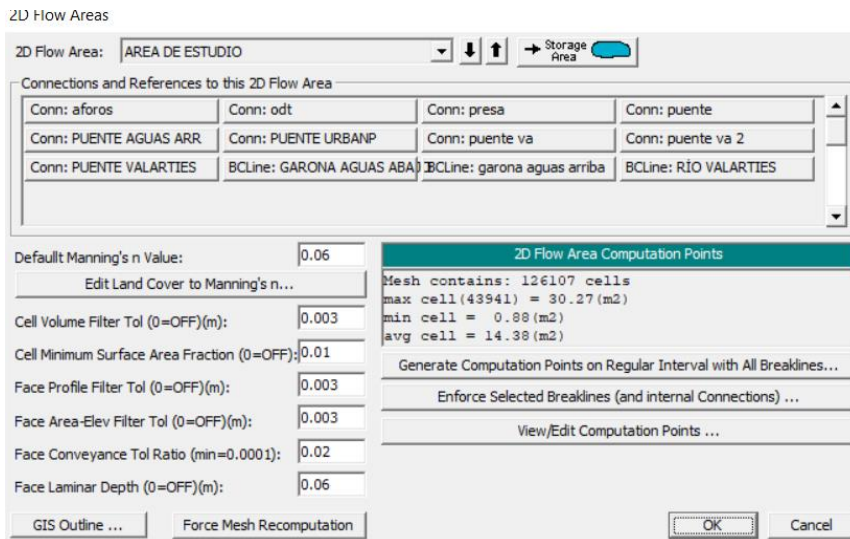


Figura 180. Creación de la malla (1).

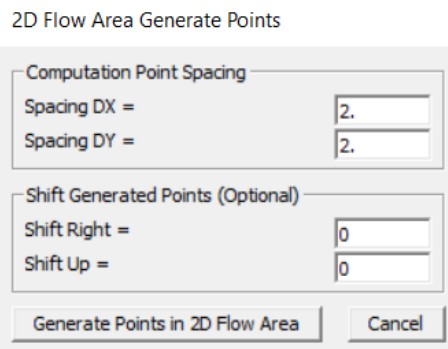


Figura 181. Creación de la malla (2).

Como resultado final se ha obtenido una malla con 375838 celdas, con un área media de 4.01 m², siendo la celda de mayor tamaño de 7.53 m², y la menor de 3.19 m².

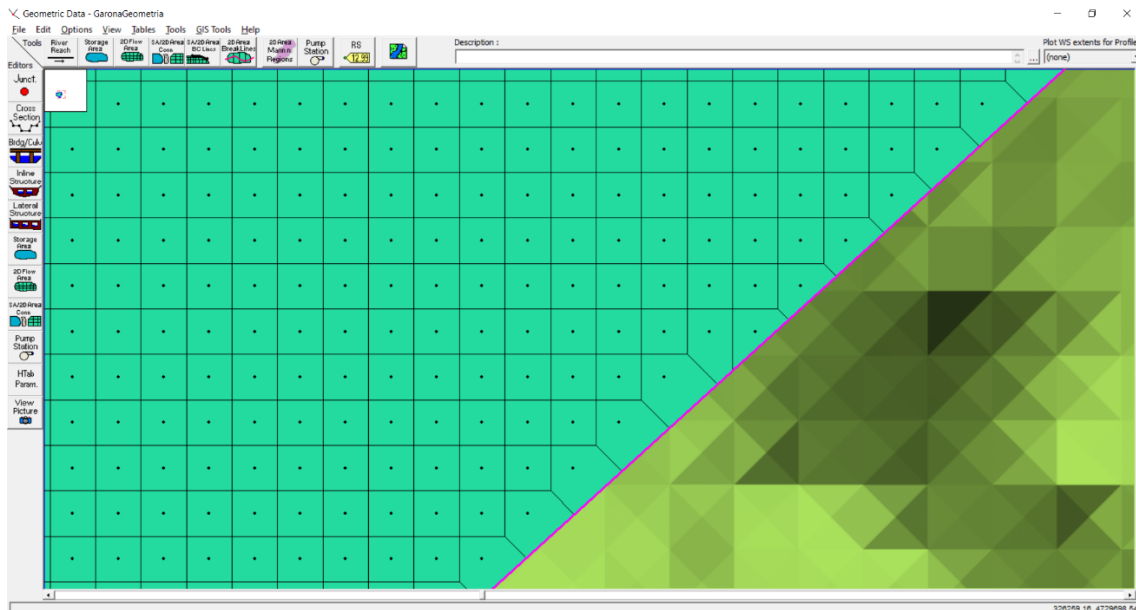


Figura 182. Detalle de la malla.

Para la creación de las condiciones de contorno, se ha seguido un proceso similar, también desde la pestaña 'Geometric Data', pero esta vez se ha seleccionado la herramienta 'SA/2D Area BC Lines'.

De la misma manera que para la generación de la geometría, se selecciona con el botón izquierdo del ratón el punto donde se quiere iniciar la edición de la condición de contorno. Una vez introducidos los puntos se finaliza la edición de la misma con un doble clic. Aparecerá un cuadro de diálogo, donde se nos pide introducir el nombre de la condición de contorno, así como, se indica que 'será conectada a SA/2D 'ZONA DE ESTUDIO'', que es la geometría creada anteriormente. Posteriormente, en el editor de los datos de flujo no permanente, se deberá elegir el tipo de condición de contorno, como hidrogramas o curvas de caudal.



Figura 183. Creación de las condiciones de contorno (1).

En las siguientes capturas de pantalla del programa se observa, de manera general la zona de estudio, junto con las tres condiciones de contorno que se han introducido:

- Río Garona Aguas Arriba.
- Río Garona Aguas Abajo.
- Río Valarties.

De la misma manera, en la segunda captura se muestra como las condiciones introducidas se ajustan a la geometría creada.

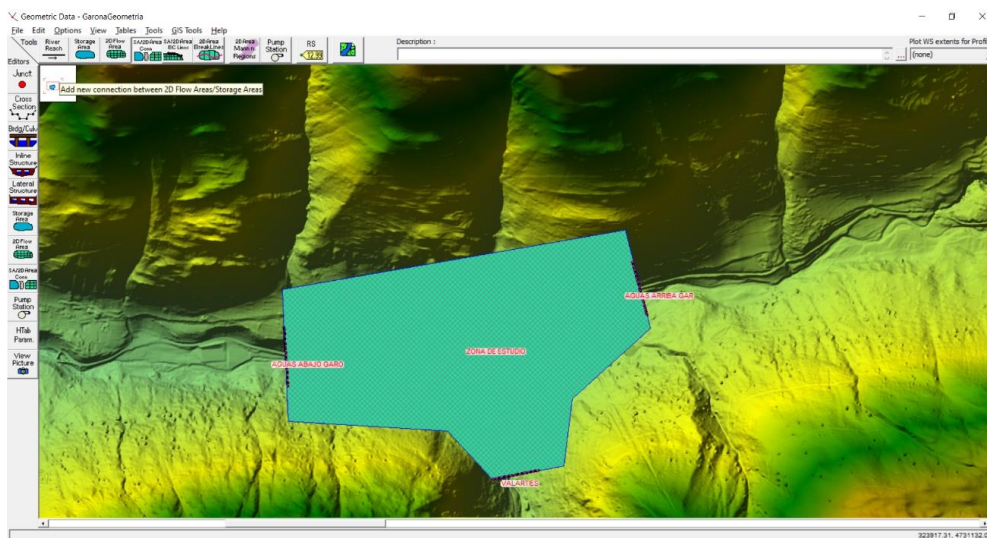


Figura 184. Creación de las condiciones de contorno (2).

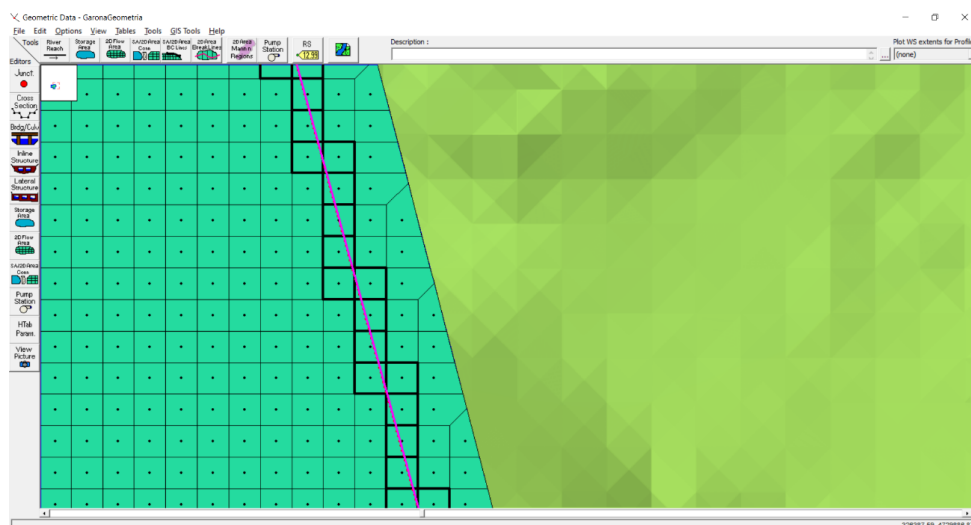


Figura 185. Detalle del ajuste de las condiciones de contorno a la malla generada.

3.3.15 Refinado de la malla.

Con el objetivo de mejorar los resultados obtenidos del modelo, se ha realizado un refinado de la malla de computación, reduciendo el área de los polígonos de cálculo, detallando la zona del cauce y sus riberas.

Para realizar este refinado ha de seleccionarse la herramienta '2D Area Break Lines' en el menú de 'Geometric Data' y se ha dibujado en el mapa las diferentes líneas a lo largo del cauce alrededor de las cuales se va a realizar el refinado. Debido a la variabilidad de la anchura del cauce, se ha seguido este proceso entre dos y cuatro veces, buscando una mayor uniformidad en los polígonos creados de la malla computacional.

Una vez se han dibujado estas líneas se ha de especificar el tamaño y espaciado de las celdas que se van a crear en torno a las mismas. Esto se realiza clicando sobre estas líneas y seleccionando la opción 'Edit Break Line Cell Spacing'.

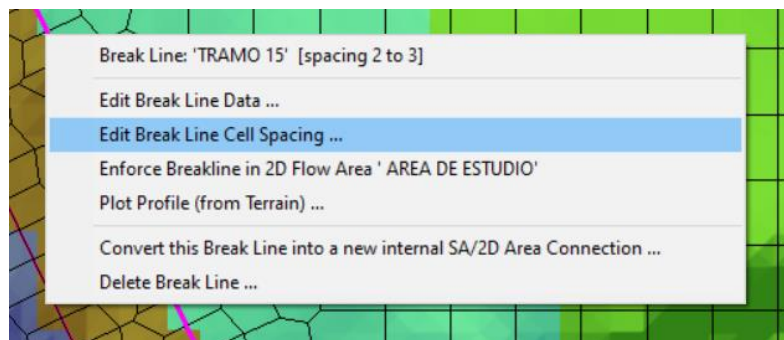


Figura 186. Proceso de refinado de la malla (1).

En este menú se ha elegido un espaciado mínimo de 2 metros y un máximo de 3, buscando un tamaño gradualmente mayor hasta llegar a los 4 metros de la malla regular creada por defecto.

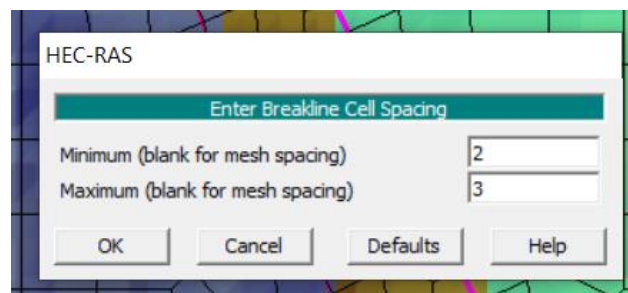


Figura 187. Proceso de refinado de la malla (2).

Una vez especificado la disposición de las celdas que se quiere obtener, se ha de clicar nuevamente sobre las líneas, pero esta vez seleccionando 'Enforce Breakline in 2D Flow Area', para crear definitivamente estas celdas.

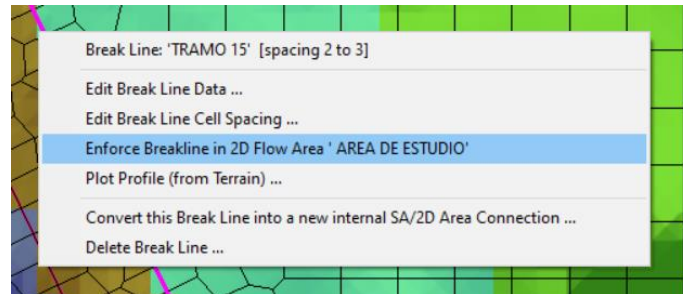


Figura 188. Proceso de refinado de la malla (3).

Es probable que en determinadas ocasiones aparezcan errores marcados con un círculo de color rojo, como se indica en la siguiente Figura. Estos errores se deben a que, en la creación de la nueva malla, se ha generado un polígono de más de 8 lados, que HEC-RAS no acepta en la malla computacional. Este problema se soluciona añadiendo nuevos puntos, rompiendo ese polígono en dos más pequeños, reduciendo el número de lados.

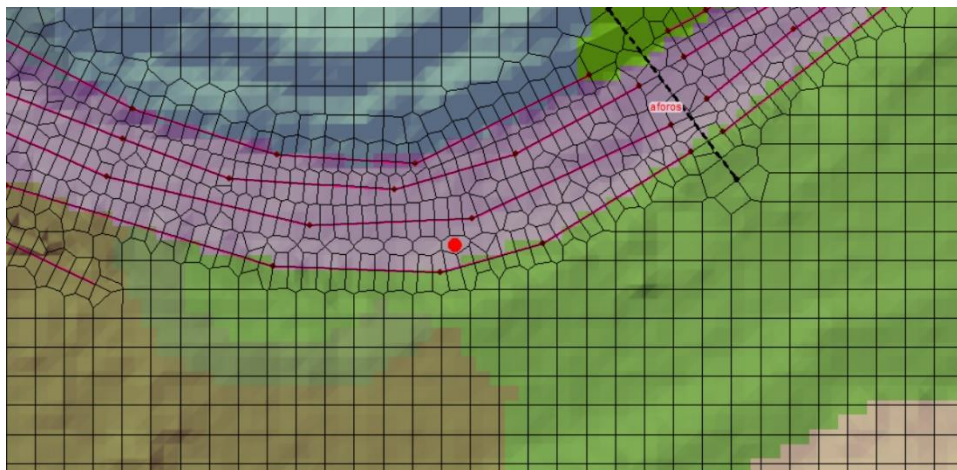


Figura 189. Proceso de refinado de la malla (4).

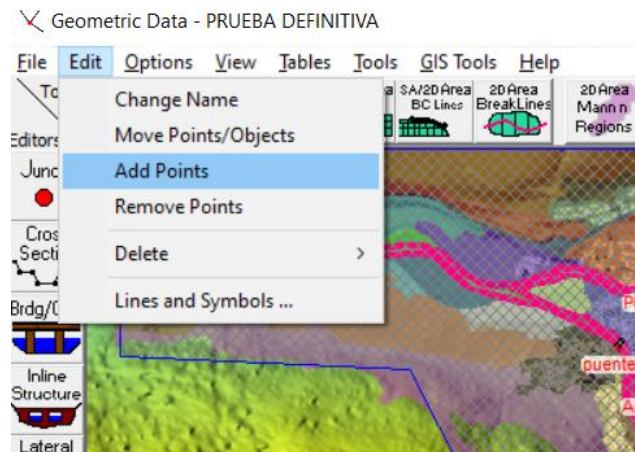


Figura 190. Proceso de refinado de la malla (5).

Con ello se termina el proceso de refinado de la malla de computación, tal como muestra el detalle de la siguiente Figura.

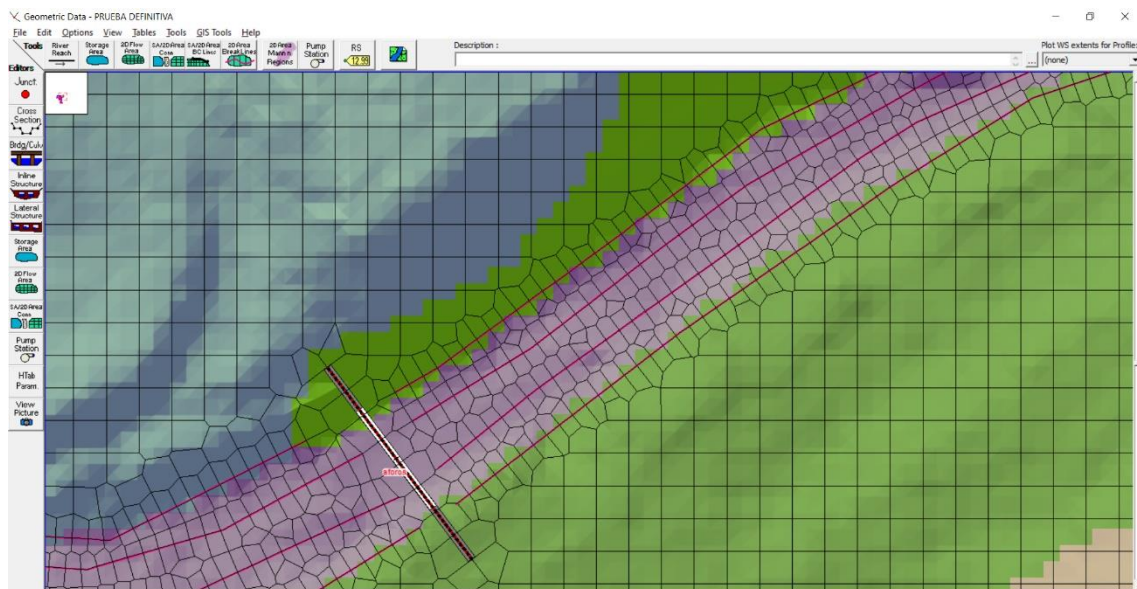


Figura 191. Proceso de refinado de la malla (6).

3.3.16 Proceso de simulación

Una vez se ha creado e introducido la geometría de la zona de estudio, y se han determinado las condiciones de contorno aguas arriba, aguas abajo y de la confluencia, se procede a la simulación del modelo.

El primer paso es editar los datos de las condiciones de contorno para el flujo en régimen no permanente, para lo que se va a la pestaña 'Unsteady Flow Data'. En esta pestaña, se introducen, de acuerdo al apartado ya descrito de 'Condiciones de contorno', los diferentes tipos de condiciones de contorno.

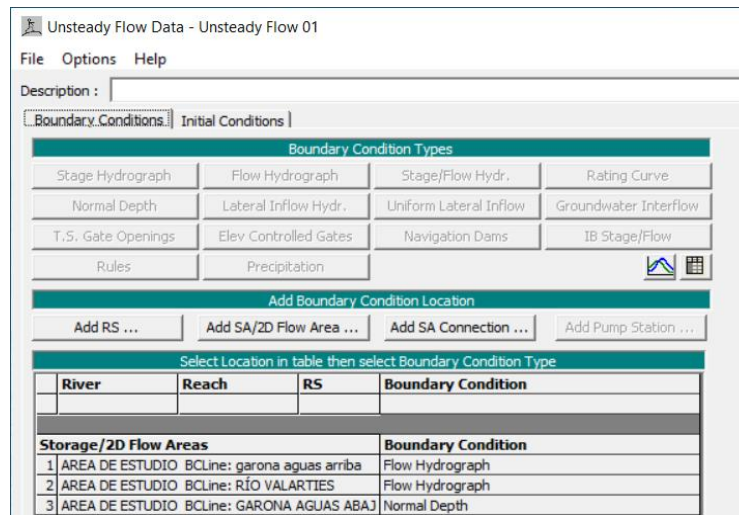


Figura 192. Introducción de las condiciones de contorno.

En el caso de 'Normal Depth' (Calado normal), basta con especificar el coeficiente de rugosidad, que se ha adoptado el propuesto para el propio cauce.

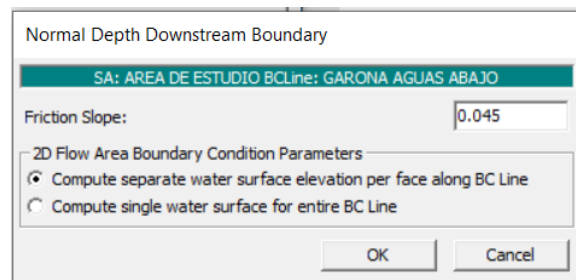


Figura 193. Condición de calado normal.

Para el caso de 'Flow Hydrograph' (Hidrograma de flujo). Se ha de especificar la fecha de inicio de la simulación, así como el intervalo cada el cual se introducen los datos. Para esta simulación se emplea un hidrograma con datos cada de 6 minutos.

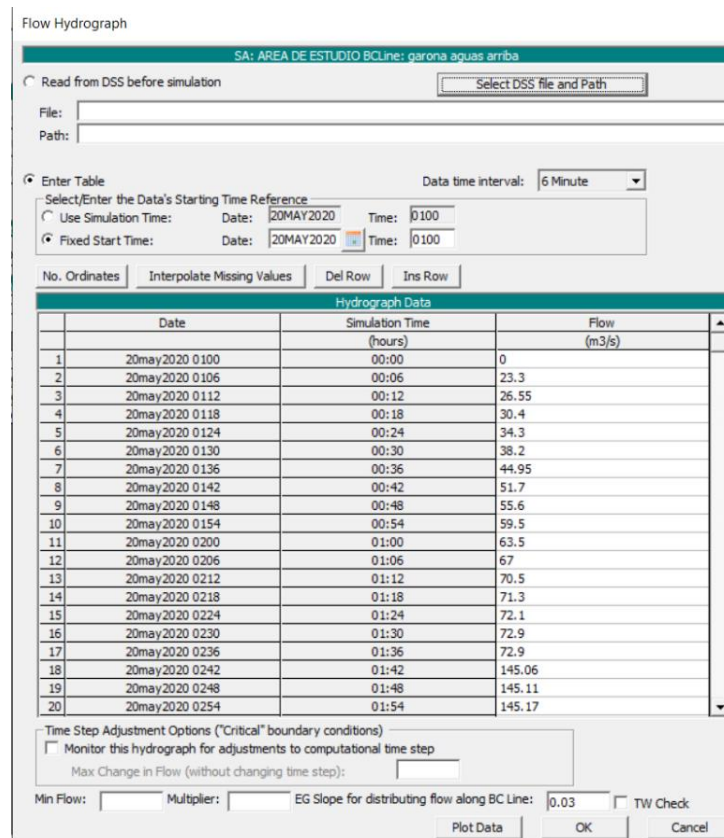


Figura 194. Condición de hidrograma de flujo.

Finalmente, para comenzar la simulación se ha de seleccionar el desplegable de 'Run' en la interfaz del programa y a continuación, se selecciona la pestaña 'Unsteady Flow Analysis' de cálculo en régimen no permanente, mostrándose la siguiente ventana.

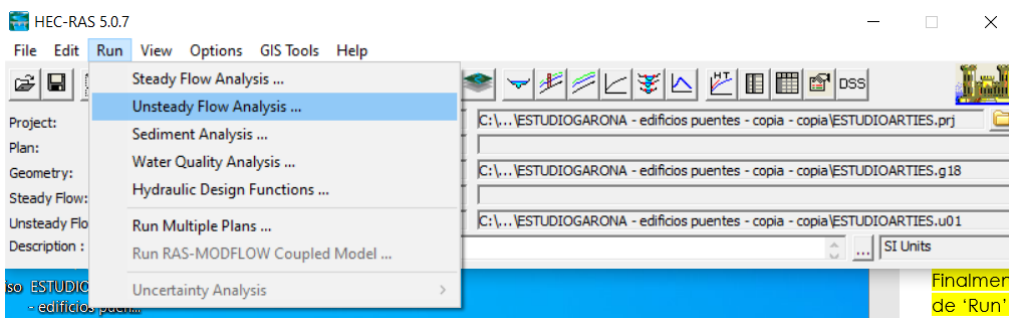


Figura 195. Cálculo en régimen no permanente (1).

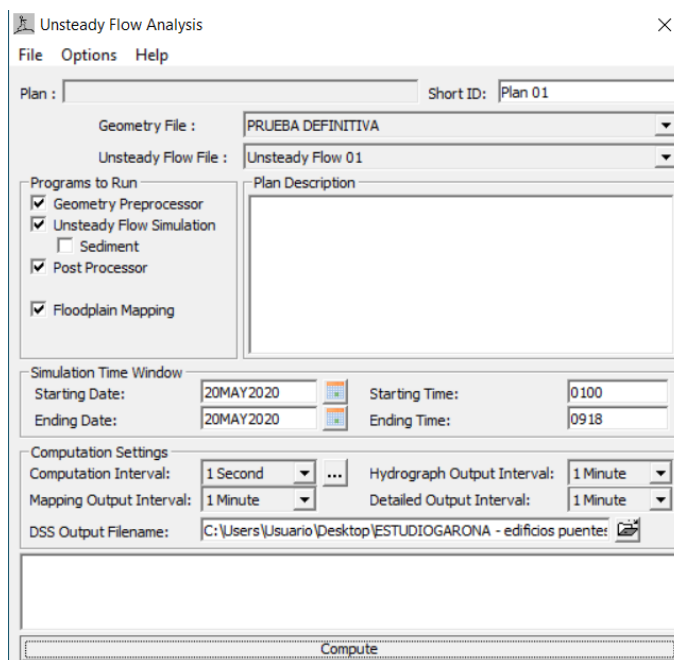


Figura 196. Cálculo en régimen no permanente (2).

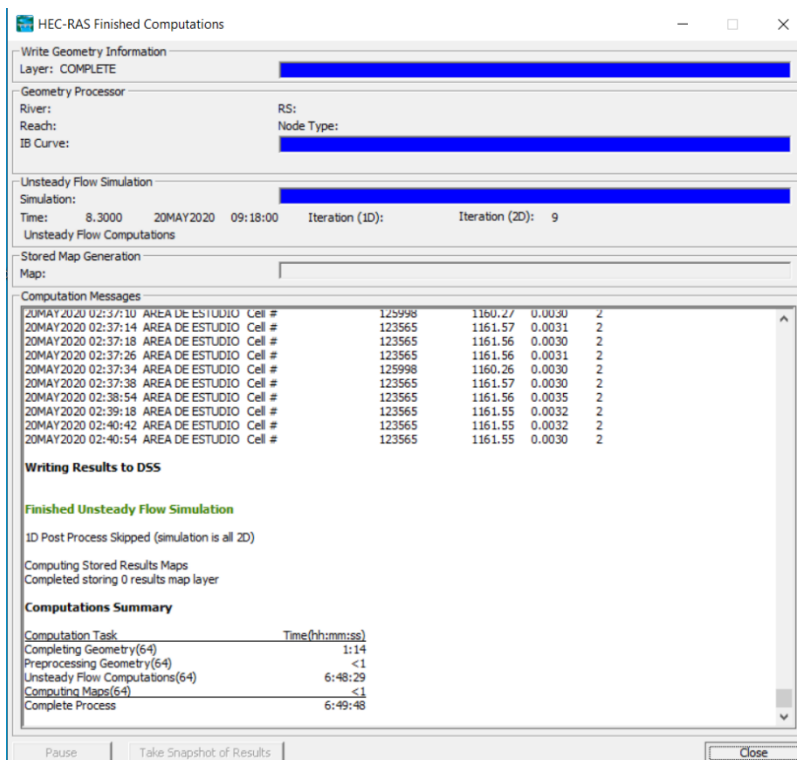


Figura 197. Cálculo en régimen no permanente (3).

En esta ventana, en la parte central izquierda se permite la selección de los programas que se quieren realizar. En este caso, no se va a realizar un estudio

de los sedimentos. Para mostrar la mancha de inundación se ha de seleccionar la casilla Floodplain Mapping. De la misma manera, se han de determinar parámetros acerca de los tiempos que son necesarios para realizar la simulación, siendo los siguientes:

- Intervalo de tiempo de simulación (Computation Interval). Es usado en el cálculo en régimen no permanente. Es uno de los parámetros más importantes del modelo. El valor escogido ha de ser escogido con cuidado, ya que tiene gran peso en la simulación. Este valor depende de diversos factores, debiendo ser un valor lo suficientemente pequeño como para describir la crecida y decrecida del hidrograma con exactitud. El manual de HEC-RAS recomienda que como mínimo fuera de 1/20 parte del tiempo que tarda en alcanzarse el pico del hidrograma. Este tiempo debe satisfacer también la condición de Courant. De este parámetro depende que el modelo sea estable y que aporte unos resultados realistas.
Se ha elegido un intervalo de 1 segundo.
- Intervalo de salida del hidrograma (Hydrograph output interval). Se usa para para definir qué intervalo de tiempo se escribe en el archivo HEC-DSS. Se refiere al intervalo de tiempo que se simula, debiendo ser igual o mayor que el tiempo de simulación que se haya seleccionado. De lo contrario no se representaría la totalidad del hidrograma.
Se ha elegido un intervalo de 1 minuto.
- Intervalo de salida detallado (Detailed output interval). Permite al usuario a visualización de los calados y caudales en un determinado intervalo de la simulación. De la misma manera que el intervalo de salida del hidrograma ha de ser igual o mayor que el tiempo de simulación.
Se ha elegido un intervalo de 1 minuto.
- Intervalo de la salida del mapa (Mapping output interval). Indica el intervalo de tiempo sobre el que se pueden visualizar los resultados en la ventana de Ras Mapper.
Se ha elegido un intervalo de 1 minuto

El desarrollo correcto del modelo para la obtención de resultados exactos y fiables constituye la parte más importante del estudio, por lo que es a la que más recursos se le ha dedicado. Cobra gran importancia la determinación y la obtención de parámetros adecuados o los tiempos e intervalos de simulación que se han de escoger. Hasta llegar a los resultados deseados, se han realizado gran cantidad de pruebas y simulaciones que no constan en esta memoria ni en sus respectivos anejos.

Dado que el estudio comprende los períodos de retorno de $T=10$ años, $T=100$ años y $T=500$ años, así como, el asociado a la máxima crecida ordinaria $T=3.5$

años, se han determinado primeramente los parámetros para las crecidas de $T=100$ y $T=500$ años, siendo los periodos de retorno que simulan las inundaciones y los que representan las condiciones más desfavorables. Esto se fundamenta en el hecho de que, si con estas simulaciones más desfavorables se consiguen datos correctos y escenarios estables, para los periodos de retorno de $T=3.5$ y $T=10$ años, se utilizarán los mismos parámetros, consiguiendo de la misma manera escenarios estables.

El período de tiempo simulado es de 8 horas 8 minutos y 20 segundos, según el hidrograma propuesto para los periodos de retorno de 10 y 100 años, y de 6 horas 4 minutos y 46 segundos para el de 500 años, considerado suficiente para poder visualizar con claridad la crecida y decrecida tanto del Garona como del Valarties en Arties. Para la MCO se ha establecido un caudal constante, un flujo estacionario, con el objetivo de delimitar mediante el nivel de la lámina de agua una primera aproximación, la línea del dominio público hidráulico.

De acuerdo al hidrograma de $T=100$ años, el pico del río Garona se produce a los 19080 segundos, o lo que es lo mismo, 5 horas, 17 minutos y 42 segundos desde el inicio del evento, y el del Valarties a la hora, 22 minutos y 22 segundos. En el hidrograma de $T=500$ esto sucede a las 4 horas, 30 minutos y 38 segundos para el Garona y a la hora, 4 minutos y 43 segundos para el Valarties. Es por ello por lo que únicamente un día de simulación resulta un intervalo suficiente para observar la totalidad de la avenida producida, observando los datos más desfavorables de calados como de velocidades.

Tal como se aprecia en los hidrogramas adjuntados anteriormente el tiempo de salida del hidrograma, es de 6 minutos. Por lo tanto, un tiempo de 1 minuto es acorde a la información de partida. Para tener unos resultados que permitan una buena visualización en Ras Mapper, se optó por utilizar un intervalo de salida del mapa de 1 minuto también.

Con respecto al tiempo de simulación, clave para obtener unos resultados estables, se buscó el tiempo óptimo en relación al tamaño de celda. Se probó con celdas de 10 metros, 5 metros y 4 metros, ya que, al tener una información de partida del terreno con una resolución de 2 metros, pareció que estos tamaños de celda proporcionarían buenos resultados. Así pues, se construyeron una serie de modelos y se simularon para diferentes intervalos de simulación.

La ejecución del modelo requiere una serie de configuraciones previas, lo que implica establecer tolerancias de cálculo que permitan obtener cálculos coherentes. Parte de estas pruebas se adjuntan en el Anejo 3.

4. RESULTADOS.

4.1.1 Presentación de resultados.

Como parte final del proceso de análisis del flujo queda mostrar los resultados obtenidos de las simulaciones, los cuales se visualizan en el desplegable 'Ras Mapper' ya comentado con anterioridad.

En esta pestaña, seleccionando el apartado resultados, se puede visualizar los planes generados (MCO, T=10, T=100 y T=500 años) pudiendo elegir entre la visualización de resultados de Calado, Velocidad o Elevación.

De acuerdo con el Artículo 8 del RD 903/2010, un estudio de inundabilidad ha de incluir mapas que contemplen los escenarios siguientes:

- Alta probabilidad, estableciéndose en el territorio nacional equivalente a 10 años de periodo de retorno.
- Probabilidad media, para un periodo de 100 años.
- Bajo probabilidad, para un escenario de eventos extremos con 500 años de periodo retorno.

LAS LÁMINAS DE LOS RESULTADOS SE MUESTRAN EN EL ANEJO 5.

4.2 ASPECTOS GENERALES.

Durante la realización del trabajo, se han observado varias cuestiones a analizar de cara a la posible realización de trabajos similares en el futuro.

A través de la herramienta RAS Mapper de HEC-RAS, se trabaja fácilmente en la edición y modificación del Modelo Digital del Terreno. Esta herramienta permite también la visualización de los diferentes resultados obtenidos en las diferentes modelizaciones con facilidad.

Mediante la Herramienta Geometric Data se permite introducir las diferentes estructuras, con relativa facilidad a la hora de la ejecución de comandos, ya que varios de ellos se repiten en diferentes procesos. Por otro lado, resulta un proceso muy dilatado la modificación de las estructuras, debido a la gran cantidad de pasos y repeticiones que se han de realizar para crear un modelo

fiable. A través de esta herramienta se genera la malla de computación 2D. Es posible editar los tamaños de malla según la precisión que se desee en cada caso, pero resulta un proceso largo y tedioso en grandes áreas.

También es importante la realización de varias pruebas o calibraciones del modelo, ya que, para diferentes tamaños de malla, las condiciones de cálculo del programa cambian, (la más importante el paso del tiempo computacional) dando lugar a soluciones inestables al no cumplir la condición de Courant y, por ende, erróneas, si estos modelos no son ensayados con anterioridad. Este proceso, aunque esclarecedor, requiere de mucho tiempo para el cálculo de cada simulación.

4.3 CONCLUSIONES.

Máxima Crecida Ordinaria (T=3.5 años).

Para la Máxima Crecida Ordinaria apenas se registran desbordamientos del cauce.

Hasta llegar al término municipal de Arties, el flujo no se desborda en ningún momento.

En el caso de río Garona, registra una pequeña mancha de inundación en el término municipal a la altura del puente municipal, así como, en jardines privados de las viviendas más próximas al cauce. Hasta pasada la confluencia, no se registra ninguna otra mancha de inundación.

En el río Valarties en cambio si que aprecia una mancha de inundación, mínima en la margen izquierda del mismo (con calados en torno a los 10 cm y menores), siendo un poco más relevantes en la margen derecha, con calados desde los 0.15 metros, hasta los 0.4 metros.

Es aguas abajo de la confluencia donde se registran pequeñas manchas de inundación que no afectan a ningún edificio o estructura. Estas manchas tienen un calado en torno a los 0.2 metros en la zona más próxima a la confluencia y, oscilando entre los 0.4 y 1.2 metros, en la zona final del área de estudio. Estos calados se asocian a que parte del caudal del cauce original se deriva a un cauce antiguo.

En cuanto a la velocidad en el cauce, los datos oscilan entre los 2 y los 4.5 m/s, siendo sensiblemente menor fuera del propio cauce, siempre menor de 1 m/s en este caso.

Debido a la irregularidad del cauce del Valarties, en diversas zonas se registra de manera puntual picos de velocidad, que rápidamente se estabilizan.

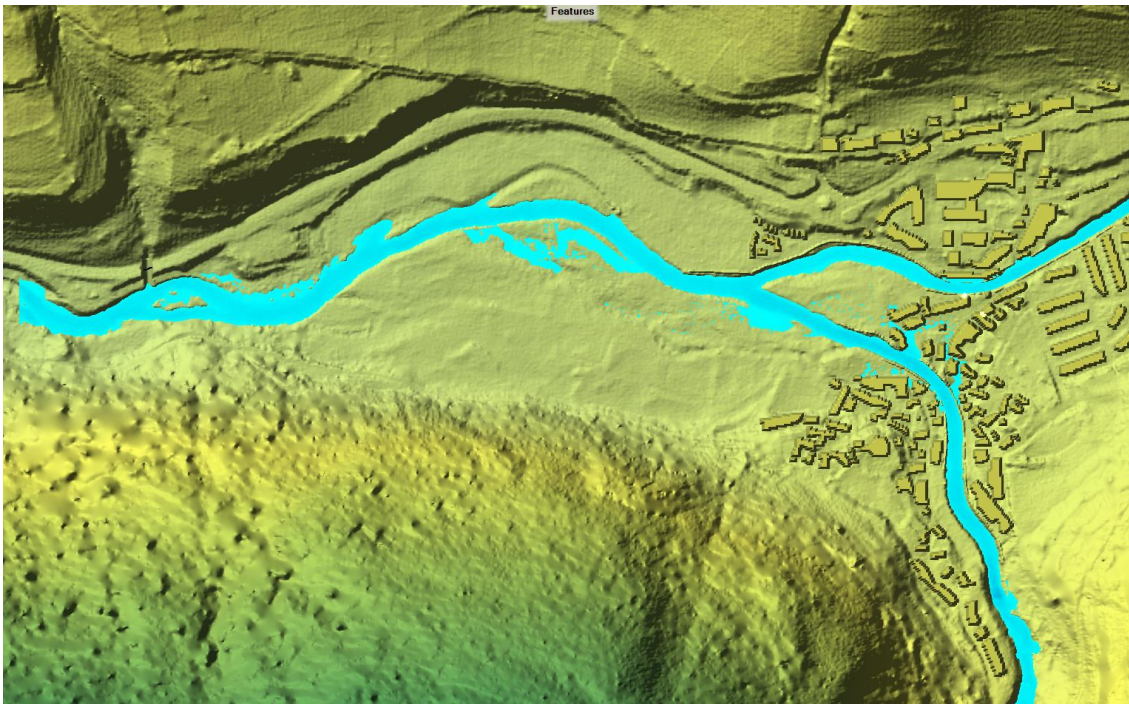


Figura 198. Máxima Crecida Ordinaria. Mapa de calados (2).

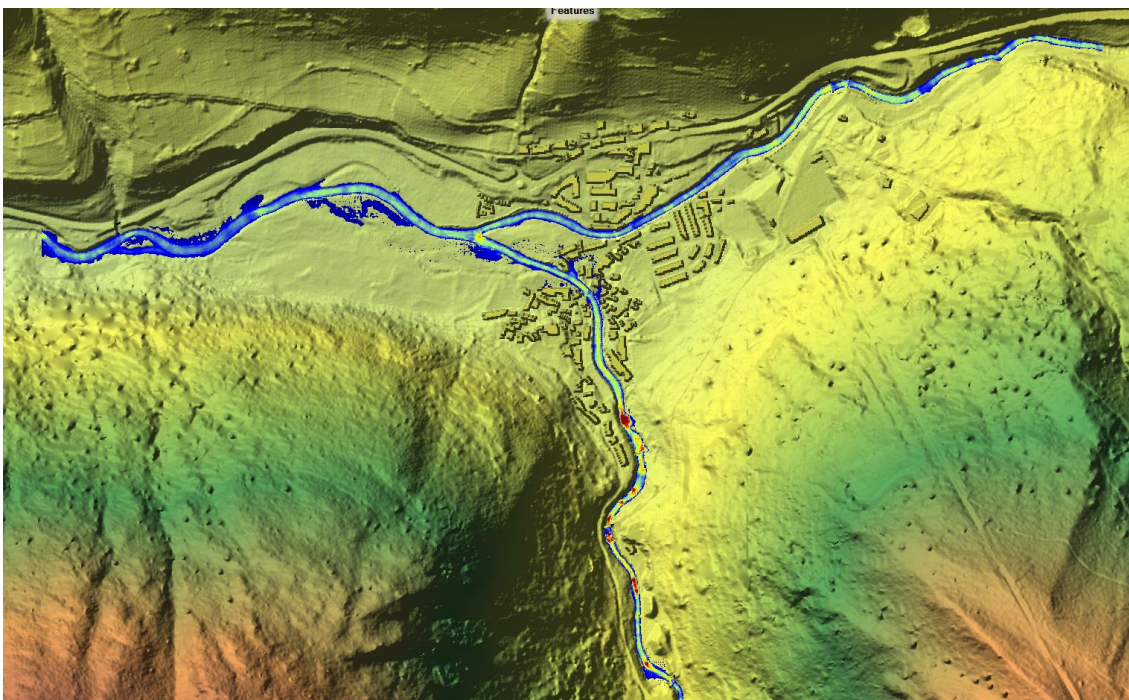


Figura 199. Máxima Crecida Ordinaria. Mapa de velocidades.

Eventos de alta probabilidad T=10 años.

La envolvente correspondiente a un período de retorno T=10 años no ocupa un espacio significativo dentro del núcleo urbano de Arties, únicamente aguas abajo de la población se produce un desbordamiento de los cauces.

En el comienzo del área de estudio, en el tramo del río Garona, no se observan manchas de inundación más allá del cauce natural del río. Hay que observar el centro del núcleo urbano para distinguir estas inundaciones que, en todo caso, tienen un calado muy bajo, siempre por debajo de los 0.4 metros. Apenas hay edificios afectados en la margen derecha del río Garona. Éstas se localizan en la margen izquierda.



Figura 200. Zona inundable correspondiente a T=10 años. Mapa de calados (2).

Es en el entorno de la confluencia donde la mancha de inundación se expande. El camping ve gran parte de su superficie afectada por la mancha de inundación, pero con unos calados muy reducidos, en torno a los 10 centímetros, nunca superando los 20.

En cuanto al cauce del Valarties, más irregular que el del Garona, no se registran desbordes a lo largo del tramo estudiado, salvo por la explanada donde se acumula material extraído de una explotación minera cercana, con afecciones mínimas, en torno a los 10 cm de calado.

El entorno del Valarties es el más afectado en ambas márgenes, a la altura del término municipal, con calados aproximadamente de 0.6 metros en el punto

más próximo al cauce, disminuyendo progresivamente conforme nos alejamos del eje del río.

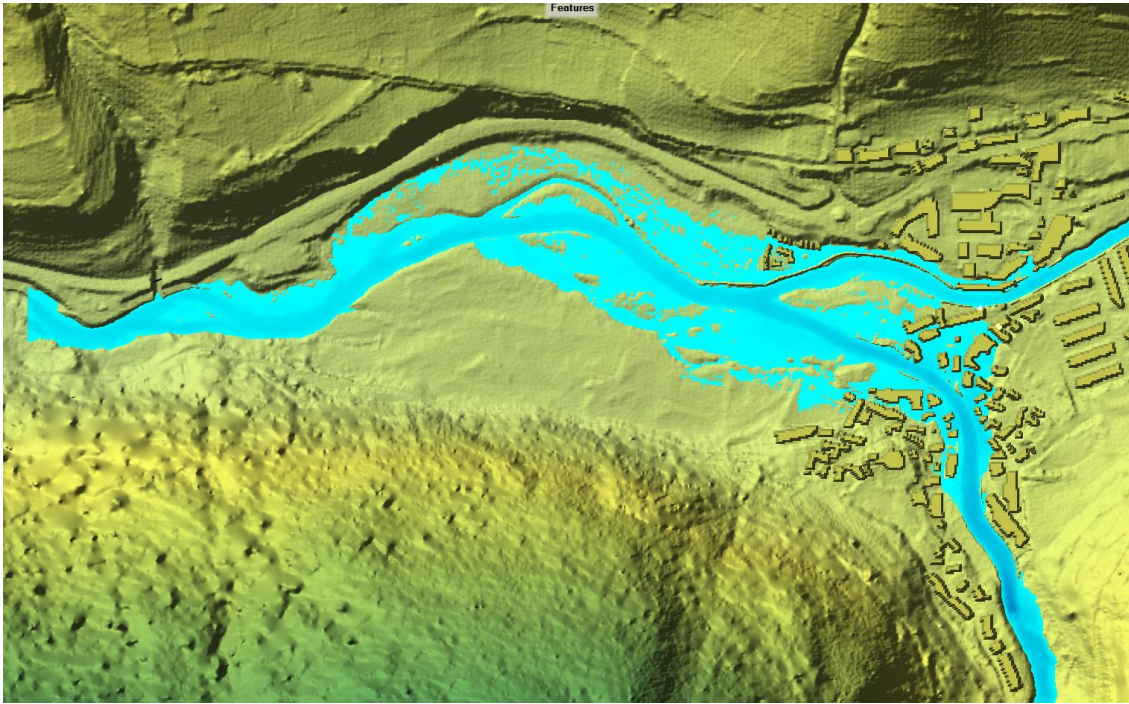


Figura 201. Zona inundable correspondiente a T=10 años. Mapa de calados (3).

Aguas abajo de la confluencia es donde se registra una mancha de inundación más extensa, pero con unos calados que oscilan entre los 0.1 y 0.5 metros. En esta zona no se registra ninguna afección a edificios o infraestructuras.

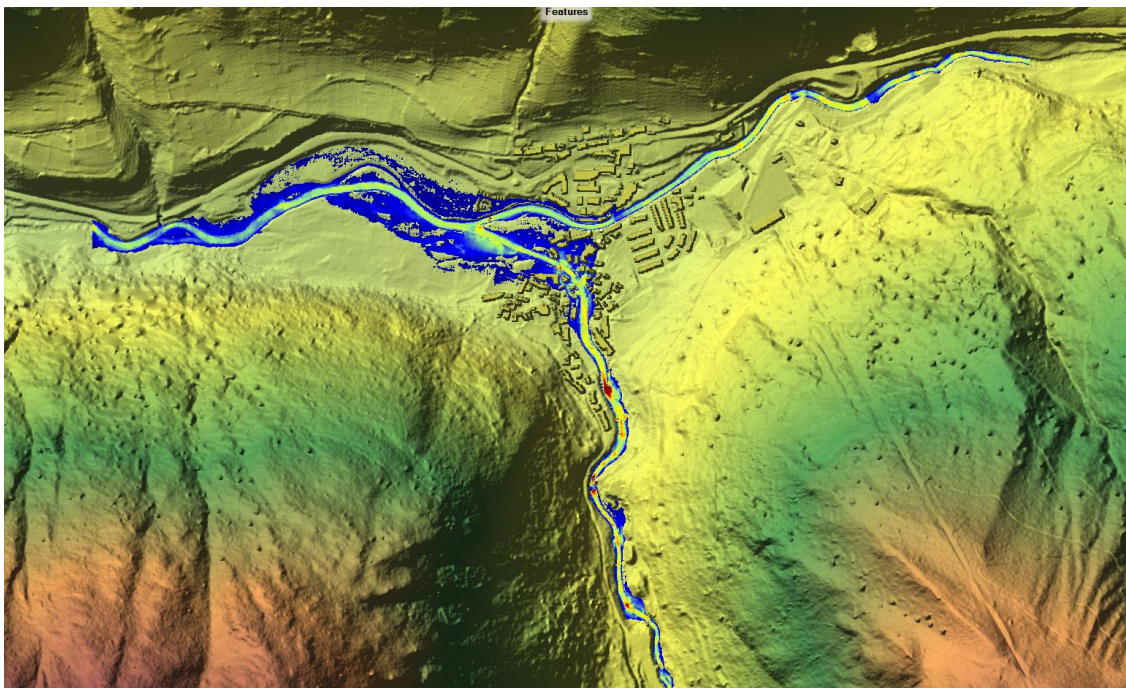


Figura 202. Zona inundable correspondiente a $T=10$ años. Mapa de velocidades.

En el cauce de estos ríos se registran unas velocidades medias en torno a los 4 m/s. Fuera del propio cauce se registran bajas velocidades, desde una velocidad prácticamente nula en la margen derecha del Garona o la izquierda del Valarties, hasta los 2 m/s aguas abajo de la confluencia y en el espacio urbano comprendido entre los dos ríos, instantes antes de alcanzar la confluencia.

Eventos de probabilidad media $T=100$ años.

La envolvente correspondiente a un período de retorno $T=100$ años ocupa un espacio significativo dentro del núcleo urbano de Arties, sobre todo aguas abajo de la población.

Tal como se observa en la zona aguas arriba del núcleo urbano de Arties, en el río Garona, no se observan desbordamientos importantes en la margen derecha del río, produciéndose estos en la izquierda. Hasta alcanzar el flujo la estación de aforos del río Garona únicamente se produce un pequeño desbordamiento, de escasa importancia tanto por su calado y área inundada, así como, por la no existencia de infraestructuras o edificios cercanos.

Con el caudal asociado a este período de retorno, se da la condición de rebase en la estación de aforos como en la presa de la subestación eléctrica. El puente municipal de acceso a esta subestación no se ve desbordado.

Aunque el calado del flujo, su altura, no es suficiente como para desbordar de manera 'uniforme', el hecho de que se alcance la cota del tablero del puente

de acceso a la subestación, pero no se llegue a rebasar provoca una derivación de caudal hacia la margen izquierda del río, inundando parcialmente un parking de buses y turismos y dos pistas deportivas de tenis y futbol sala, pero sin mayores afecciones a edificios e infraestructuras.

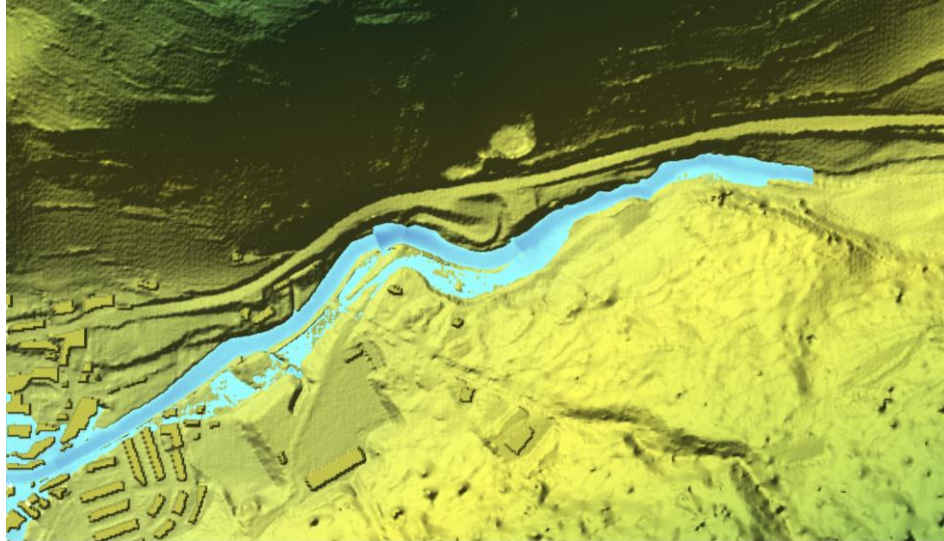


Figura 203. Zona inundable correspondiente a T=100 años. Mapa de calados (1).

Es en la llegada al centro del núcleo municipal donde se producen importantes afecciones a los diferentes edificios, inundando tanto la margen izquierda como derecha, aguas abajo del puente municipal del centro del municipio.

En la margen derecha se dan calados máximos de hasta un metro, que descienden progresivamente conforme la mancha de inundación se aleja del eje del río. En la margen izquierda se solapan los efectos tanto del Garona como del Valarties, siendo los de este último los más significativos, puesto que los calados más elevados son aquellos más cercanos a su eje, disminuyendo conforme la mancha de inundación se acerca hacia el eje del río Garona.

En el tramo estudiado del Valarties apenas se producen desbordamientos antes de llegar al término municipal. Únicamente lo hace parcialmente la explanada donde se acumula material extraído de una explotación minera cercana. No se producen problemas de rebases en los puentes existentes. No es hasta la entrada de la población cuando se producen los rebases de los muros que encauzan el río e invaden las calles aledañas. En la margen izquierda del Valarties se producen calados importantes, llegando a superar en algún caso el metro de calado.

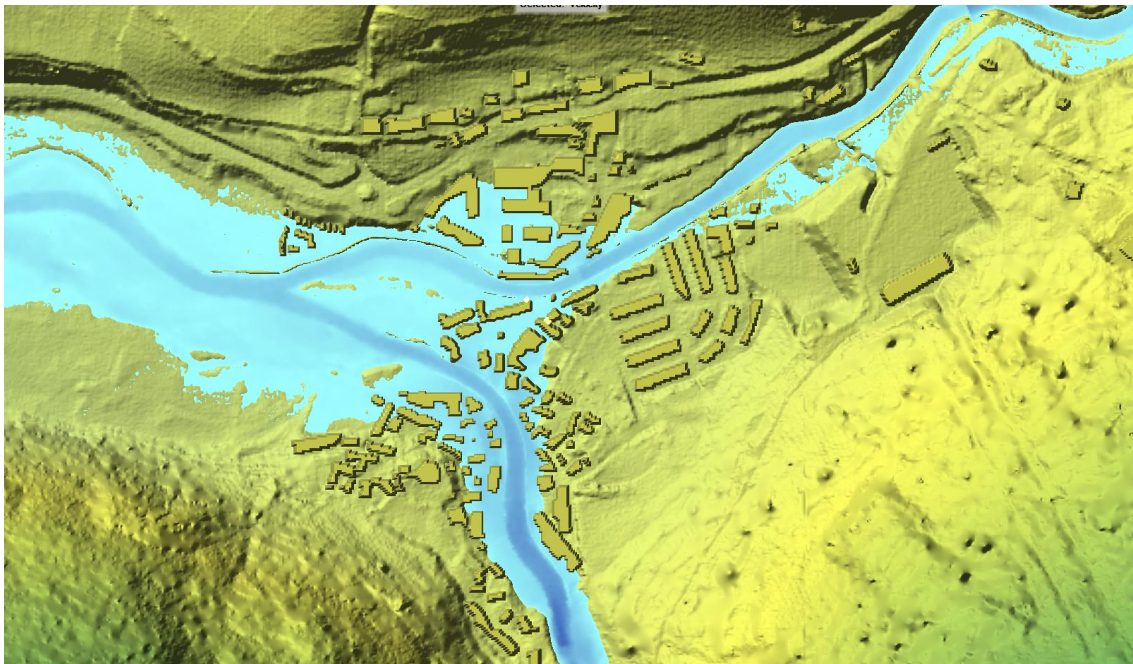


Figura 204. Zona inundable correspondiente a $T=100$ años. Mapa de calados (2).

En la confluencia es cuando la mancha de inundación se abre y expande prácticamente hasta el punto final del estudio. En la margen derecha de la confluencia se encuentra un camping que se afectado totalmente, pero con calados muy bajos, nunca superando los 0.2 metros de profundidad. Las motas de este entorno no son rebasadas, pero el agua proviene de la desbordada en el núcleo de la población.

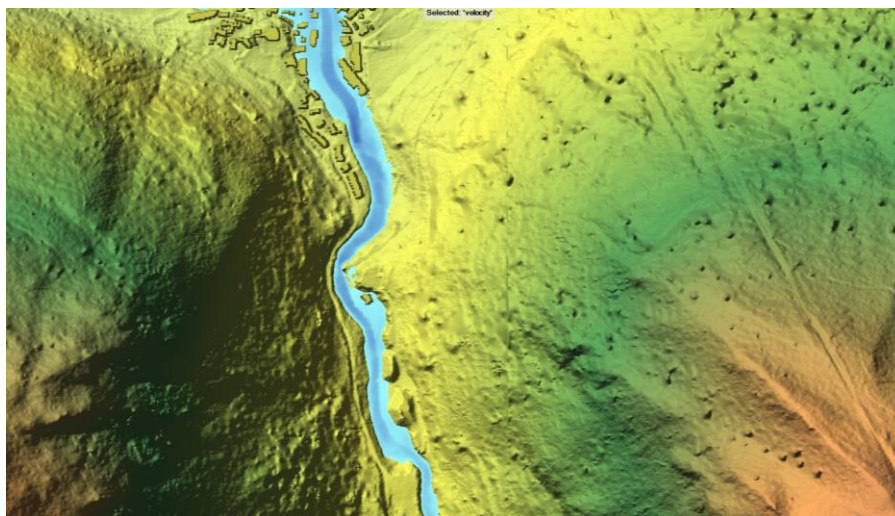


Figura 205. Zona inundable correspondiente a $T=100$ años. Mapa de calados (3).

Aguas abajo de la confluencia, como se ha comentado, la mancha de inundación se expande, pero sin afectar a ninguna infraestructura o edificio cercano. Aunque el calado de esta mancha es muy reducido, en casos puntuales, la mancha llega hasta el terraplén de la carretera C-28.

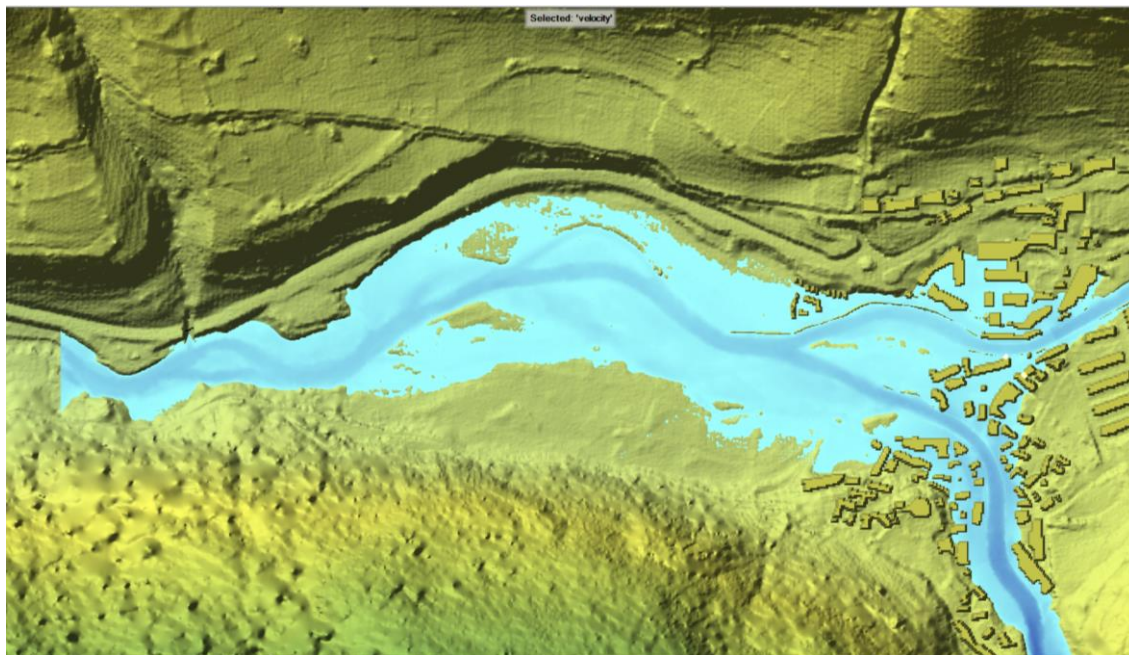


Figura 206. Zona inundable correspondiente a $T=100$ años. Mapa de calados (4).

En cuanto a las velocidades, se observa que en el cauce del río Garona se dan velocidades medias elevadas, variando en aquellos casos donde el flujo encuentra un obstáculo, como puentes o presas que son rebasadas, produciéndose una velocidad muy baja justo aguas arriba de los mismos, entendiéndose que el flujo se frena al encontrarse los tableros de los puentes, y justo aguas abajo, se produce una aceleración del mismo. Este efecto también se observa con claridad a la salida de la pequeña presa de la subestación eléctrica. En el cauce del Valarties, sensiblemente más irregular, y menos antropizado que el del Garona, se producen mayores oscilaciones de velocidad del flujo en el cauce.

Fuera del propio cauce, se registran bajas velocidades, desde una velocidad prácticamente nula hasta los 2 m/s en la mayoría de los casos, con picos de hasta 3 m/s en zonas singulares.

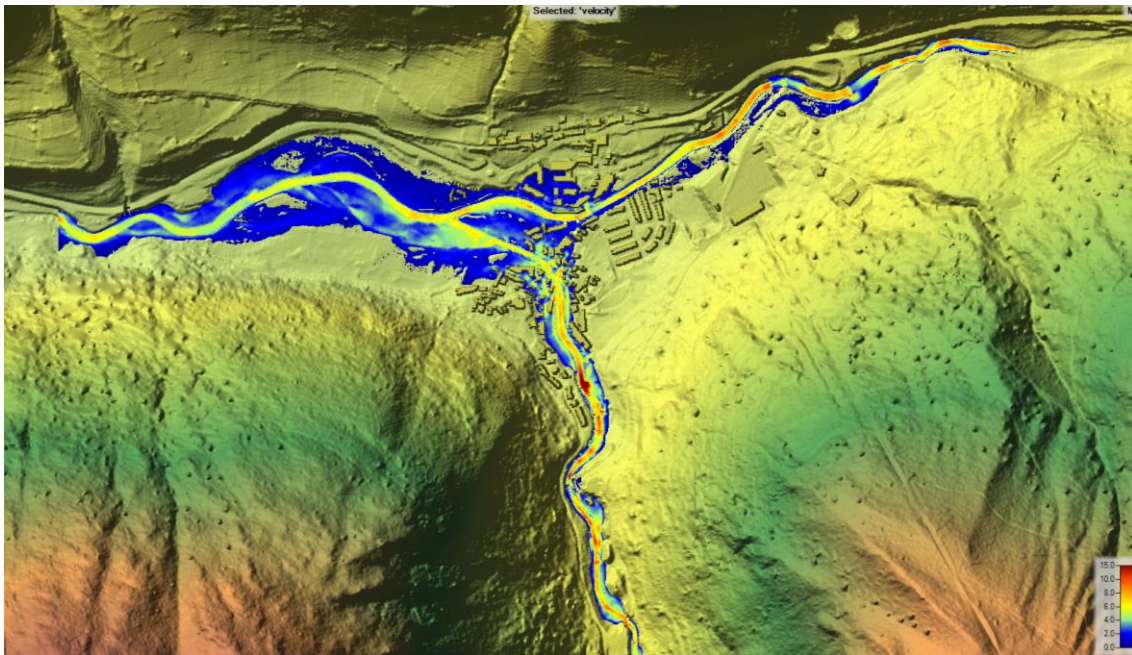


Figura 207. Zona inundable correspondiente a T=100 años. Mapa de velocidades.

Eventos de baja probabilidad T=500 años.

La zona de inundación, asociada a T=500 años incluye un espacio muy amplio del núcleo urbano.

En este caso se producen desbordamientos en el río Garona desde el comienzo de la zona de estudio, sobre todo, en la margen izquierda del río, ya que en la derecha se encuentran los terraplenes de la carretera C-28 y de la vía que da acceso a la subestación eléctrica del municipio.

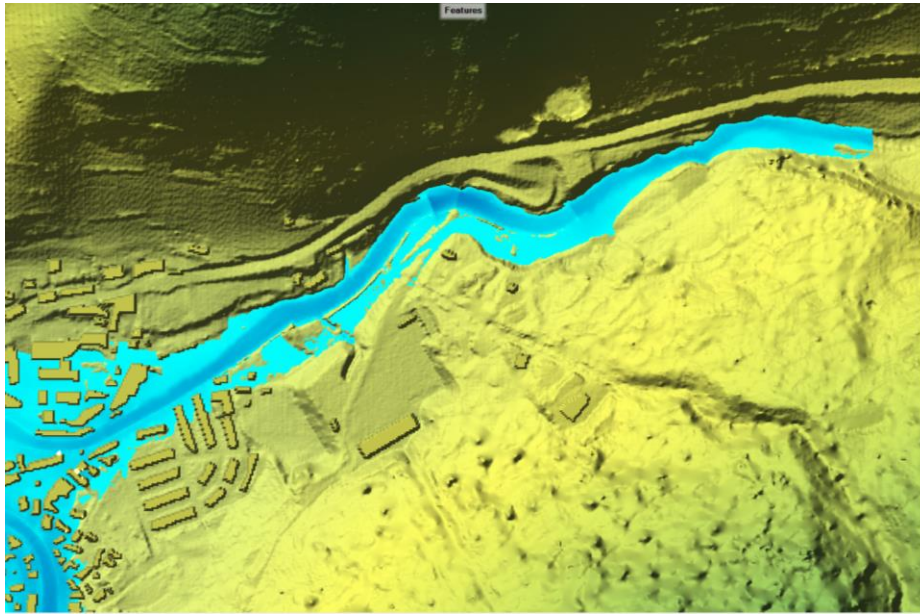


Figura 208. Zona inundable correspondiente a $T=500$ años. Mapa de calados (2).

A la altura de la estación de aforos, el puente de acceso y la presa, la explanada situada en la margen izquierda está inundada en su totalidad, aunque por la cota del terreno, esta inundación tiene poco calado, alrededor de los 0.2 metros. Es en la zona más baja de la misma (a la altura de la estación de aforos) donde se registra un mayor calado, en torno al metro o 1.2 metros.

De la misma manera que para el $T=100$, se inundan las pistas deportivas y sus alrededores.

En este caso, el Garona se desborda completamente justo antes de alcanzar el núcleo urbano, inundando gran parte de la población en la margen derecha, llegando a alcanzarse calados de hasta 2.5 metros en las zonas más próximas al cauce.

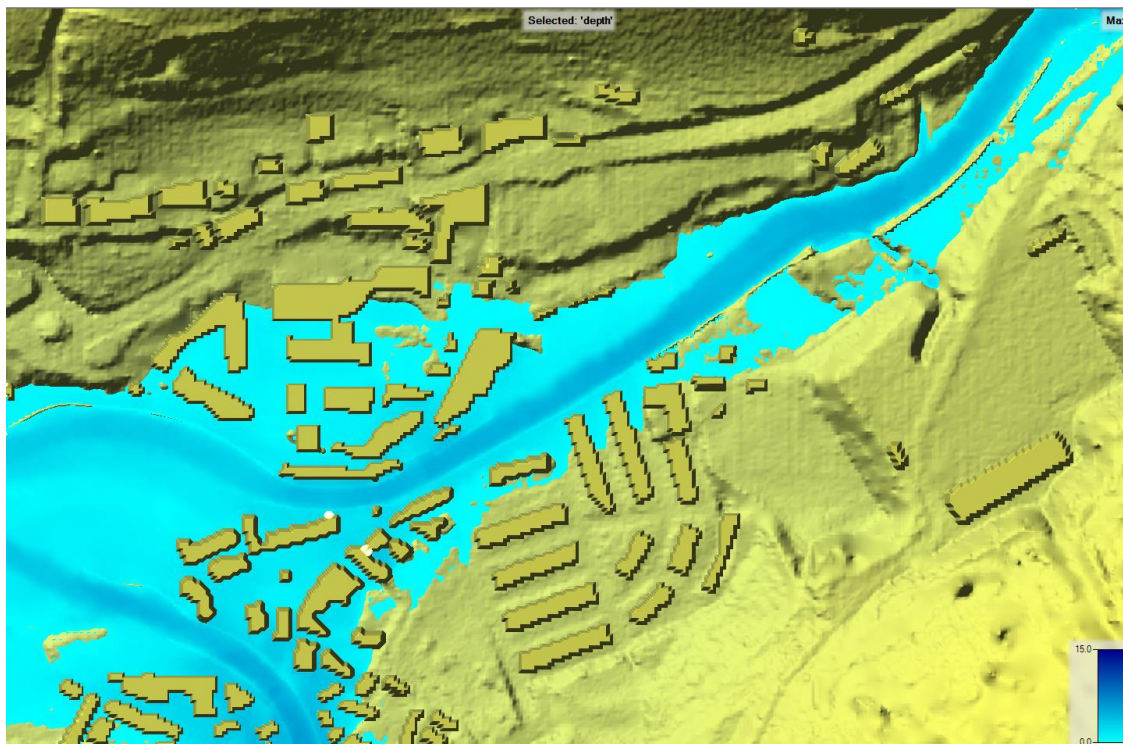


Figura 209. Zona inundable correspondiente a T=500 años. Mapa de calados (3).

La margen izquierda también se ve considerablemente afectada, de la misma manera que para T=100, pero con una mayor mancha de inundación y unos calados superiores en torno al medio metro respecto de los anteriores.

La zona de la confluencia se encuentra totalmente inundada, así como, el camping situado en la margen derecha, con calados de hasta un metro de profundidad.

Aguas abajo de la confluencia, la mancha de inundación llega hasta el terraplén de la carretera C-28, pero sin rebasarlo en ningún caso. En esta zona se encuentran importantes calados, superiores al metro de profundidad en gran parte de la margen derecha, siendo menores en la margen izquierda, a excepción del antiguo cauce del río, que se ve ocupado de nuevo.

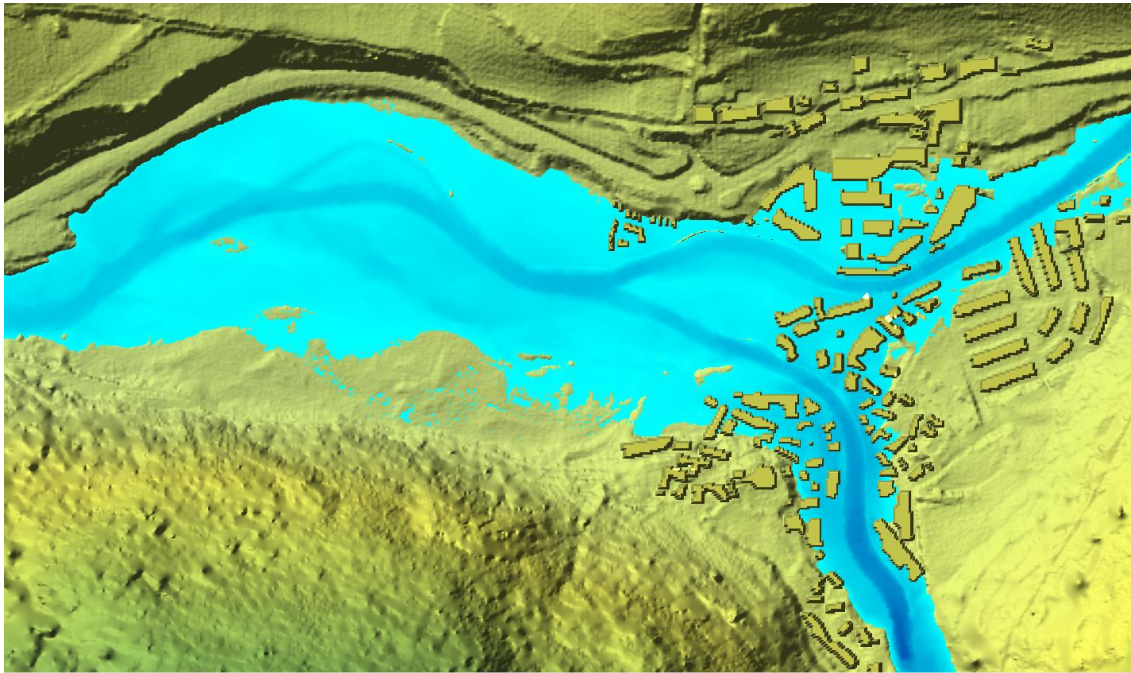


Figura 210. Zona inundable correspondiente a $T=500$ años. Mapa de calados (4).

Para el río Valarties se observa que, sin inundar grandes áreas, el nivel del río ha ascendido considerablemente, tanto es así que inunda por completo la explanada donde se almacenan los áridos de la explotación minera. Es a la llegada al municipio de Arties cuando la mancha de inundación comienza a expandirse, afectando a numerosos edificios de la población.

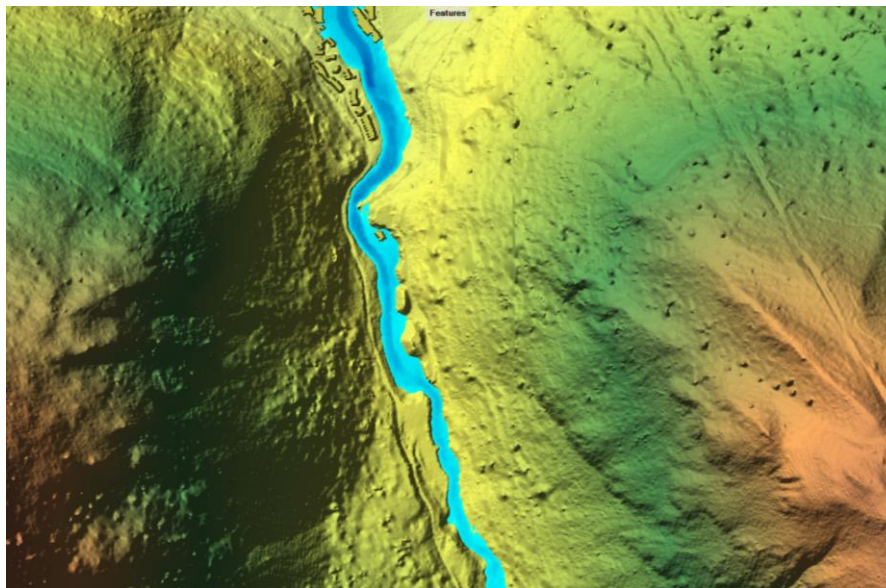


Figura 211. Zona inundable correspondiente a $T=500$ años. Mapa de calados (5).

En cuanto a las velocidades, se observa que en el cauce del río Garona se dan velocidades medias elevadas aguas debajo de la confluencia. Como ya se ha comentado con anterioridad, la velocidad es sensiblemente menor al encuentro con infraestructuras como las estaciones de paso o puentes, pero el flujo acelera una vez superados los obstáculos. El río Valarties, más irregular, registra mayores oscilaciones en sus velocidades.

Fuera del propio cauce se registran velocidades más bajas, en torno al metro o 1.2 m/s en las zonas más tranquilas, o de 3 m/s en zonas de la confluencia y del cauce antiguo.

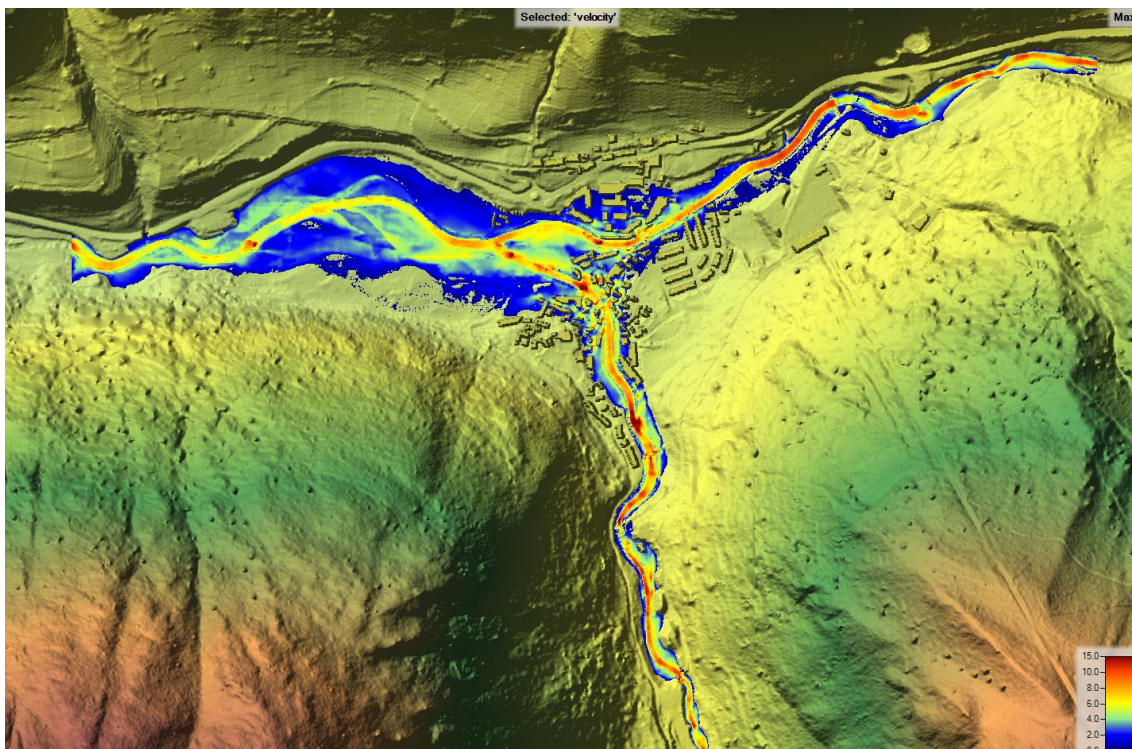


Figura 212. Zona inundable correspondiente a T=500 años. Mapa de velocidades.

5. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Autores

A. Díez Herrero y E. De Mora Jiménez (2008). Análisis del riesgo de inundación en localizaciones puntuales.

J. Gurrera Lluch y S. Capdevilla Torrodá (2016). Pla especial urbanistic d'ordenació i millora del camping Verneda.

Victoriano Lamariano, Anne (2013). TFM (Memoria). Reconstrucción y análisis geomorfológico de la avenida de junio de 2013 entre Arties y Vielha (Val d'Aran): estudio del riesgo residual y dinámica del Garona.

Ven Te Chow (1988). Manual. Coeficientes de rugosidad.

Organismos y entidades

Agència catalana de l'Aigua (Deseembre 2002). Estudi hidrològic i hidràulic del riu Garona al seu pas per Naut Aran. Autor.

Agència catalana de l'Aigua (abril 2004). Estudi d'inundabilitat per l'àmbit de Vielha e Mijaran. Autor.

Agència catalana de l'Aigua (abril 2004). Estudi hidrològic i hidràulic del riu Garona al Terçons de Quatre Lòcs i Lairissa. Autor.

Confederación Hidrográfica del Ebro (2014). Informe de la avenida del 17 al 20 de junio de 2013 en la cuenca del río Garona. Autor.

CHE. Aplicación del Índice Hidro geomorfológico IHG a la cuenca del Ebro. 56. Subcuenca del Río Garona.

IGME. Cartografía Geológica. Carta Magna 50. N° 49- ISIL

Institut Geològic i Cartogràfic (octubre 2012). Estudi hidrològic, hidràulic i d'inundabilitat a la Garona. Autor.

INUNCAT (2012). Informe de INUNCAT: La peligrosidad por inundaciones. Autor.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio rural y Marino (2008). Plan Hidrológico de la cabecera del río Garona. Borrador. Documentación previa para su análisis. Autor.

Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables en la Demarcación Hidrográfica del Ebro (entre enero de 2012 y diciembre de 2013). Autor.

SPESA INGENIERÍA, S.A. (octubre 2017). Estudio de inundabilidad y propuesta de soluciones para el edificio situado en Golf Salardú (Lleida).

Planes y Programas

Plan Estatal de Protección Civil ante el riesgo de Inundaciones (2011). Autor.

Programa Europeo Copernicus: Proyecto CORINE LandCover (CLC) (2018). Instituto de Geografía Nacional. Base de datos europea de ocupación del suelo a escala 1:100.000 para el análisis territorial y la gestión de políticas europeas. Autor.

Publicaciones web

Anejo II Ficha de inundaciones históricas. Recuperado de http://www.proteccioncivil.es/catalogo/naturales/cnih/cnih2014/PDF/B6/Documenta2/CTEI_EBRO.pdf

Guía Metodológica para el desarrollo del SNCZI". Recuperado de: https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/guia_metodologica_ZI.aspx

Modelación Hidráulica. Capítulo 2. Recuperado de: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_123_183_81_1150.pdf

R. RAMÍREZ (2018). Alerta en Aran por la crecida del Garona y Balaguer cierra su potabilizadora. Recuperado de: https://www.segre.com/es/noticias/comarcas/2018/04/30/alerta_aran_por_crecida_del_garona_balaguer_cierra_potabilizadora_45231_1091.html

Revista Aqua-LAC - Año 1 - No.1 - Garcia-Salas, J.; Chocat, B., La modelación en el campo de la ingeniería hidráulica: reflexiones y discusión sobre las causas de error y sus consecuencias. Recuperado de: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/images/AquaLAC-Numero1-Vol1-54-64.pdf>

Sitios web

Agencia Estatal de Meteorología. Datos históricos de temperatura. http://www.aemet.es/es/lineas_de_interes/datos_y_estadistica

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO. CEDEX. Centro de Estudios y experimentación de Obras Públicas. Secretaría de Estado de Medio Ambiente, Dirección General del Agua. http://www.cedex.es/CEDEX/lang_castellano/

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO.SAIH. <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/SAIH/>

SIOSE (Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España), integrado dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT). <https://www.siose.es/en>

6. AGRADECIMIENTOS

A D. Guillermo Cobos, tutor de este trabajo por su guía y asistencia al momento de resolver las dudas e inquietudes académicas a lo largo de la realización de este trabajo.

A mis padres Pilar y Mariano, por vuestro apoyo incondicional, el esfuerzo, la ayuda y paciencia en la distancia.

A mi familia en general, que siempre se ha preocupado y ha mostrado interés por mis estudios.

A los amigos de siempre, con quienes aprovechamos hasta el último minuto de los ratos que nos podemos ver.

Finalmente, a los amigos que he conocido en esta ciudad, con los que he compartido estos cuatro años, que seguro serán muchos más.