



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



**TFG: DISEÑO DE LAS ACTUACIONES DE INGENIERÍA
FLUVIAL EN EL RÍO BERGANTES PARA LA DEFENSA
CONTRA INUNDACIONES DEL COMPLEJO DE LA FÁBRICA
GINER EN MORELLA (CASTELLÓN)**

**SUBTÍTULO: ESTUDIO DE SOLUCIONES Y ESTUDIO HIDRÁULICO PARA
LA DEFENSA CONTRA INUNDACIONES DEL RÍO BERGANTES EN EL
COMPLEJO DE LA FÁBRICA GINER EN MORELLA (CASTELLÓN).**

**TOMO I DE II
MEMORIA Y ANEJOS**

**TRABAJO FINAL DE GRADO JUNIO 2014
GRADO EN INGENIERÍA CIVIL
CURSO ACADÉMICO 2013/2014**

**ALUMNO: MARÍA CASTEJÓN ZAPATA
TUTOR :FCO. J. VALLÉS MORÁN**

ÍNDICE GENERAL

TOMO I

MEMORIA

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II. ANTECEDENTES E INFORMACIÓN CONSULTADA

CAPÍTULO III. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO.

CAPÍTULO IV. ESTUDIO AMBIENTAL

CAPÍTULO V. ESTUDIO HIDROLÓGICO

CAPÍTULO VI. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

CAPÍTULO VII. ESTUDIO DE SOLUCIONES

CAPÍTULO VIII. ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

CAPÍTULO IX. VALORACIÓN ECONÓMICA

CAPÍTULO X. CONCLUSIÓN

CAPÍTULO XI. BIBLIOGRAFÍA

ANEJO I. ESTUDIO AMBIENTAL

ANEJO II. ESTUDIO HIDROLÓGICO DE CRECIDAS

ANEJO III. DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

ANEJO IV. ESTUDIO DE SOLUCIONES

ANEJO V. ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

ANEJO VI. VALORACIÓN ECONÓMICA

TOMO II

PLANOS

PLANO 01. LOCALIZACIÓN

PLANO 02. EMPLAZAMIENTO

PLANO 03. TOPOGRAFÍA:PLANTA GENERAL

PLANO 04. ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

PLANO 05. ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA T = 25 AÑOS

PLANO 06. ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA T = 50 AÑOS

PLANO 07. ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA T = 100 AÑOS

PLANO 08. ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA T = 200AÑOS

PLANO 09. ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA T = 500 AÑOS

PLANO 10. SOLUCIÓN PROPUESTA PLANTA GENERAL

PLANO 11. SOLUCIÓN PROPUESTA SECCIÓN 1

PLANO 12. SOLUCIÓN PROPUESTA SECCIÓN 2

PLANO 13. SOLUCIÓN PROPUESTA SECCIÓN 2

PLANO 14. SOLUCIÓN PROPUESTA PERFIL LONGITUDINAL 1

PLANO 15. SOLUCIÓN PROPUESTA PERFIL LONGITUDINAL 2

PLANO 16. SOLUCIÓN PROPUESTA PERFIL LONGITUDINAL 3

ÍNDICE

TOMO I

MEMORIA

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II. ANTECEDENTES E INFORMACIÓN CONSULTADA

CAPÍTULO III. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO.

CAPÍTULO IV. ESTUDIO AMBIENTAL

CAPÍTULO V. ESTUDIO HIDROLÓGICO

CAPÍTULO VI. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

CAPÍTULO VII. ESTUDIO DE SOLUCIONES

CAPÍTULO VIII. ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

CAPÍTULO IX. VALORACIÓN ECONÓMICA

CAPÍTULO X. CONCLUSIÓN

CAPÍTULO XI. BIBLIOGRAFÍA

ANEJO I. ESTUDIO AMBIENTAL

APÉNDICE I. MAGNA 1:50.000 HOJA 545 (MORELLA).

APÉNDICE II. INFORME SEG. JULIO 2007.

APÉNDICE III. PERFILES DE SUELO CERCA DE LA ZONA DE ESTUDIO.

APÉNDICE IV. CALIDAD DEL AIRE.

APÉNDICE V. FICHAS FLORA (INFORMACIÓN PREVIA).

APÉNDICE VI. FICHAS FAUNA ESPECIES PRIORITARIAS (BDBC).

APÉNDICE VII. PATRICOVA.

APÉNDICE VIII. PATRIMONIO HISTÓRICO-ARTÍSTICO (CONSELLERÍA DE EDUCACIÓN CULTURA Y DEPORTE DE LA COMUNIDAD VALENCIANA).

ANEJO II. ESTUDIO HIDROLÓGICO DE CRECIDAS

ANEJO III. DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

APÉNDICE III.1. ESTUDIO DE RUGOSIDADES

APÉNDICE III.2. RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

ANEJO IV. ESTUDIO DE SOLUCIONES

ANEJO V. ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

APÉNDICE V.1. COMPROBACIONES DEL MURO DE GAVIONES

APÉNDICE V.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

ANEJO VI. VALORACIÓN ECONÓMICA

MEMORIA

ÍNDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO ANTECEDENTES E INFOMACIÓN CONSULTADA

CAPÍTULO III. ANTECEDENTES E INFOMACIÓN CONSULTADA

CAPÍTULO IV. ESTUDIO AMBIENTAL

4.1. INTRODUCCIÓN

4.2. ANÁLISIS DEL MEDIO

4.3. FACTORES CLAVE

4.3.1. Condicionantes que afectan al diseño de la solución propuesta

4.3.2. Condicionantes durante la ejecución de la solución

4.5. PREVISIÓN DE IMPACTOS

4.5.1. Estimación de impactos sobre los diferentes factores ambientales

4.6. CONCLUSIONES

CAPÍTULO V. ESTUDIO HIDROLÓGICO

5.1. INTRODUCCIÓN

5.2 ESTUDIO DE PRECIPITACIONES EXTREMAS

5.2.1 Información pluviométrica existente

5.2.2 Análisis de frecuencia de la serie de máximos

5.2.3 Análisis estadístico de la serie de máximos anuales

5.2.4 Conclusión

5.3. MODELO HIDROLÓGICO AGREGADO

5.3.1. Características morfométricas

5.3.2. Modelo de producción

5.3.3. Resultados

5.4. MODELO PSEUDO-DISTRIBUIDO

5.4.1. Introducción

5.4.2. Transformación precipitación-escorrentía

5.4.3. Caracterización morfométrica

5.4.4. Obtención del parámetro de producción

5.4.5. Modelo de propagación

5.4.5.2. Modelo de propagación a nivel de subcuenca

5.4.5.2. Modelo de propagación de cauces

5.4.6. Tormentas de diseño

5.4.6. Simulaciones

5.5. CONCLUSIÓN

CAPÍTULO VI. DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

6.1. INTRODUCCIÓN

6.2. GEOMORFOLOGÍA DEL CAUCE

6.3. MODELACIONES HIDRÁULICAS DEL CAUCE EN SU ESTADO ACTUAL

6.3.1. Datos requeridos por el Hec – Ras

6.3.2. Análisis del sistema hidráulico de la situación actual y determinación del umbral de protección estructural

6.3.3. Comportamiento hidráulico del cauce para las avenidas de 200 años de periodo de retorno y evaluación de su peligrosidad.

6.4 CONCLUSIÓN

CAPÍTULO VII. ESTUDIO DE SOLUCIONES

7.1. INTRODUCCIÓN

7.2. CONDICIONANTES PARA EL DISEÑO

7.2.1. Condicionantes ambientales

7.2.2. Condicionantes sociales

7.2.3. Condicionantes hidráulicos

7.2.4. Condicionantes económicos

7.3. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS VIABLES

7.3.1. Aumento de capacidad hidráulica

7.3.1.1. Alternativa 1: ampliación de la sección mediante la eliminación de barras y construcción de mota

7.3.1.2. Alternativa 2: Ampliación de la sección, tendido de talud 3H:1V en terreno natural y basculamiento de pendiente

7.3.1.3. Alternativa 3: Ampliación de la sección, tendido de talud 2H:1V en terreno natural y basculamiento de pendiente

7.3.1.4. Selección de la solución óptima: análisis multicriterio

7.3.2. Análisis preliminar del tipo de revestimiento

7.3.2.1. Protección del lecho

7.3.2.2. Protección del margen derecho

7.3.2.3. Protección del margen izquierdo

7.4. CONCLUSIONES

CAPÍTULO VIII. ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

8.1. INTRODUCCIÓN

8.2. DEFINICIÓN DE LAS ACTUACIONES PROPUESTAS

8.2.1. Subtramo 1: Morella Medio

8.2.2. Subtramo 2: Morella Alto

8.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

8.3.2. Escenario 1: Caudal punta de avenida de diseño en Río Bergantes

8.3.3. Escenario 2: Caudal punta de avenida de diseño en Afluente Margen derecha

8.4. CONCLUSIÓN

CAPÍTULO IX. VALORACIÓN ECONÓMICA

CAPÍTULO X. CONCLUSIÓN

CAPÍTULO XI. BIBLIOGRAFÍA

ANEJO I. ESTUDIO AMBIENTAL

ANEJO II. ESTUDIO HIDROLÓGICO DE CRECIDAS

ANEJO III. DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

ANEJO IV. ESTUDIO DE SOLUCIONES

ANEJO V. ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

ANEJO VI. VALORACIÓN ECONÓMICA

PLANOS

PLANO 01. LOCALIZACIÓN

PLANO 02. EMPLAZAMIENTO

PLANO 03. TOPOGRAFÍA. PLANTA GENERAL

PLANO 04. ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

PLANO 05. ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA T = 25 AÑOS

PLANO 06. ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA T = 50 AÑOS

PLANO 07. ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA T = 100 AÑOS

PLANO 08. ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA T = 200AÑOS

PLANO 09. ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA T = 500 AÑOS

PLANO 10. SOLUCIÓN PROPUESTA PLANTA GENERAL

PLANO 11. SOLUCIÓN PROPUESTA SECCIÓN 1

PLANO 12. SOLUCIÓN PROPUESTA SECCIÓN 2

PLANO 13. SOLUCIÓN PROPUESTA SECCIÓN 2

PLANO 14. SOLUCIÓN PROPUESTA PERFIL LONGITUDINAL 1

PLANO 15. SOLUCIÓN PROPUESTA PERFIL LONGITUDINAL 2

PLANO 16. SOLUCIÓN PROPUESTA PERFIL LONGITUDINAL 3

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo “DISEÑO DE LAS ACTUACIONES DE INGENIERÍA FLUVIAL EN EL RÍO BERGANTES PARA LA DEFENSA CONTRA INUNDACIONES DEL COMPLEJO DE LA FÁBRICA GINER EN MORELLA (CASTELLÓN)” consiste en tres estudios principales de carácter hidrológico, ambiental e hidráulico del tramo del río Bergantes situado en el término municipal de Morella, junto al complejo de ocio llamado “La Fábrica Giner”.

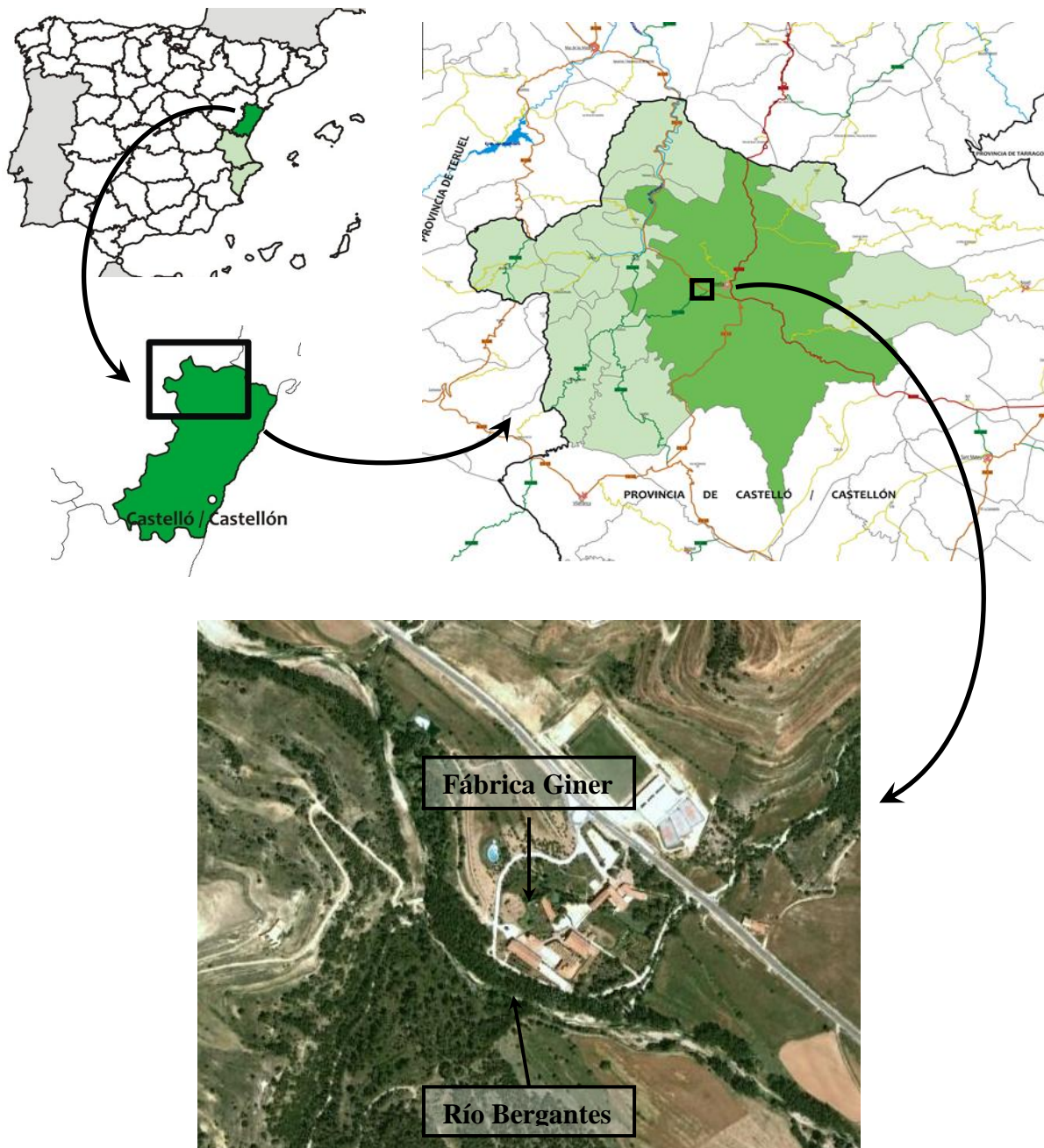


Figura 1.1. Localización Fábrica Giner

Esta actuación fluvial nace de la necesidad de proteger la Fábrica Giner contra inundaciones, ya que se ha planteado la restauración de las naves industriales que hace años formaron la gran industria textil que centró la actividad económica de la zona para adecuarlas y que puedan albergar el nuevo “Museo Dinomanía de Morella”.

CAPÍTULO II. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO

El principal objeto del presente estudio es la definición del diseño hidráulico del encauzamiento del tramo del río Bergantes que discurre en el entorno de la Fábrica Giner para resolver el problema de inundación al que está expuesta.

Con motivo de dar solución a la problemática planteada, se persiguen los siguientes objetivos:

- Aumento de la capacidad hidráulica del cauce favoreciendo así la defensa contra avenidas.
- Protección del lecho y los márgenes frente a la erosión y sedimentación localizadas, así como garantizar un régimen subcrítico.
- Tratamiento de las márgenes del cauce para garantizar la estabilidad evitando deslizamientos y aterramientos que dificulten el funcionamiento hidráulico del cauce.
- Empleo de técnicas de restitución del cauce naturales, que utilicen la vegetación como elemento principal de estabilización y control de la erosión.
- Integración paisajística de las actuaciones en el entorno facilitando la accesibilidad para un uso recreativo.

Para el adecuado cumplimiento de estos objetivos y con el fin de garantizar la solución más apropiada se han realizado los siguientes estudios en el entorno de afección que se detallan más adelante.

- Estudio ambiental con el objetivo de detectar los principales condicionantes ambientales que deben cumplir las actuaciones.
- Estudio hidrológico.
- Diagnóstico hidráulico de la situación actual.
- Estudio de soluciones.
- Análisis de la solución propuesta. Diseño y valoración de las actuaciones de protección estructural.

CAPÍTULO III. ANTECEDENTES E INFORMACIÓN DE PARTIDA

En primer lugar se han recopilado los distintos estudios realizados a lo largo de la cuenca hidrográfica del río Bergantes, sin embargo, ninguno de ellos presenta información relevante de la zona de estudio.

Por otro lado, se ha consultado el Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre la prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana (PATRICOVA), el cual se encuentra en vigor en todo el ámbito de la Comunidad Valenciana desde su aprobación por acuerdo del Consell de la Generalitat, el 28 de enero de 2003.

En dicho plan, se diferencia entre riesgo de inundación y peligrosidad de inundación, diferenciándose varios niveles de peligrosidad.

NIVEL	FRECUENCIA	CALADO
1	Alta (25 años)	Alto (>0.8 m)
2	Media (100 años)	Alto (>0.8 m)
3	Alta (25 años)	Bajo (<0.8 m)
4	Media (100 años)	Bajo (<0.8 m)
5	Baja (500 años)	Alto (>0.8 m)
6	Baja (500 años)	Bajo (<0.8 m)
Sin riesgo	Nula	-

Tabla 3.1. Criterios y niveles de peligrosidad de inundación.

Con la revisión realizada en el 2013 del PATRICOVA la zona de actuación en el municipio de Morella presenta una peligrosidad de inundación nivel 5 y un riesgo muy bajo. Sin embargo se han registrado a lo largo de los años múltiples episodios de inundación en el entorno arquitectónico de la Fábrica Giner.

Por tanto, el que dicho plan (realizado a escala regional 1:50.000) considere un riesgo muy bajo no significa que éste no pueda ser mayor, como posteriormente se pone de manifiesto.

En lo que se refiere a la información de partida empleada, consiste en:

- Cartografía de uso del suelo en soporte digital (cobertura ARCMAP) a escala 1:50.000, proporcionado por el Departamento de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Cartografía de capacidad de uso del suelo en soporte digital (cobertura ARCMAP) a escala 1:50.000, proporcionado por el Departamento de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Topografía de la zona de estudio proporcionada mediante archivo Autocad y para uso en el modelo hidráulico (Hec-Ras).
- Serie de precipitación diaria máxima mensual de la estación pluviométrica Morella (código 9562), suministrada por la Agencia Estatal de Meteorología.
- Estudio de Máximas lluvias diarias en la España Peninsular, de la Dirección General de Carreteras, editado por el Ministerio de Fomento en 1999.
- “Estudio de estabilidad de la margen izquierda del Río Bergantes, Fábrica Giner, Morella, Castellón. Informe previo”. Sondeos, Estructuras y Geotecnia S.A. SEG. Julio de 2007”.
- “Caracterización de la flora en el entorno de la Fábrica Giner de Morella”. I.I.A.M.A. Junio de 2007.

CAPÍTULO IV. ESTUDIO AMBIENTAL

4.1. INTRODUCCIÓN

Como paso previo a la determinación de posibles soluciones para resolver el problema de riesgo de inundación, es necesario realizar un estudio exhaustivo del medio con el fin de detectar aquellos factores clave del entorno que suponen exigencias medioambientales para su conservación y preservación.

A su vez, para obtener una solución óptima al problema planteado, se deben cumplir los condicionantes derivados de las exigencias medioambientales detectadas.

Por último, se realiza una estimación de la repercusión que supondrán los efectos generados sobre los factores ambientales para comprobar si cumpliendo con los condicionantes impuestos el grado de incidencia es asumible.

En el *Anejo I. Estudio Ambiental* se desarrolla detalladamente lo expuesto a continuación.

4.2. ANÁLISIS DEL MEDIO

En primer lugar, se realiza un análisis de los diferentes factores que pueden influir en las actuaciones desde un enfoque tanto ambiental como socioeconómico y cultural.

Los diferentes factores estudiados detenidamente en el *Epígrafe A.1. del Anejo I* son la geología, geotecnia, fisiografía y relieve, edafología, capacidad agrológica del suelo, hidrología, accesibilidad a los recursos hídricos, calidad del aire, áreas de interés para la conservación de la naturaleza, flora, fauna, riesgos o azares medioambientales, patrimonio cultural y medio socioeconómico.

4.3. FACTORES CLAVE

En segundo lugar, se identifican qué factores van a tener una relevancia fundamental en la actuación que se va a llevar a cabo, enumerados a continuación, y cuáles de ellos no son restrictivos a la hora de definir las posibles alternativas sobre la intervención fluvial.

- Nutria; una de las especies que mayor atención está recibiendo en la Comunidad Valenciana debido a su estado legal, y es que aparece desde hace bastantes años como una especie casi amenazada en el Libro Rojo (UICN) y

como una especie vulnerable (Anexo I) en el Catálogo Valenciano de Especies de Fauna Amenazadas.

- Especies avícolas, de las cuales aparecen diecisiete como prioritarias, es decir, aquellas incluidas o bien en el Anexo I de la Directiva de Aves o en cualquiera de las categorías UICN, ya que al presentar un mayor grado de protección, son las que imponen mayores condicionantes.
- Ictiofauna presente tanto en la zona de actuación como aguas abajo en el Río Bergantes.
- Áreas de especial interés para la naturaleza (LIC y ZEPA).

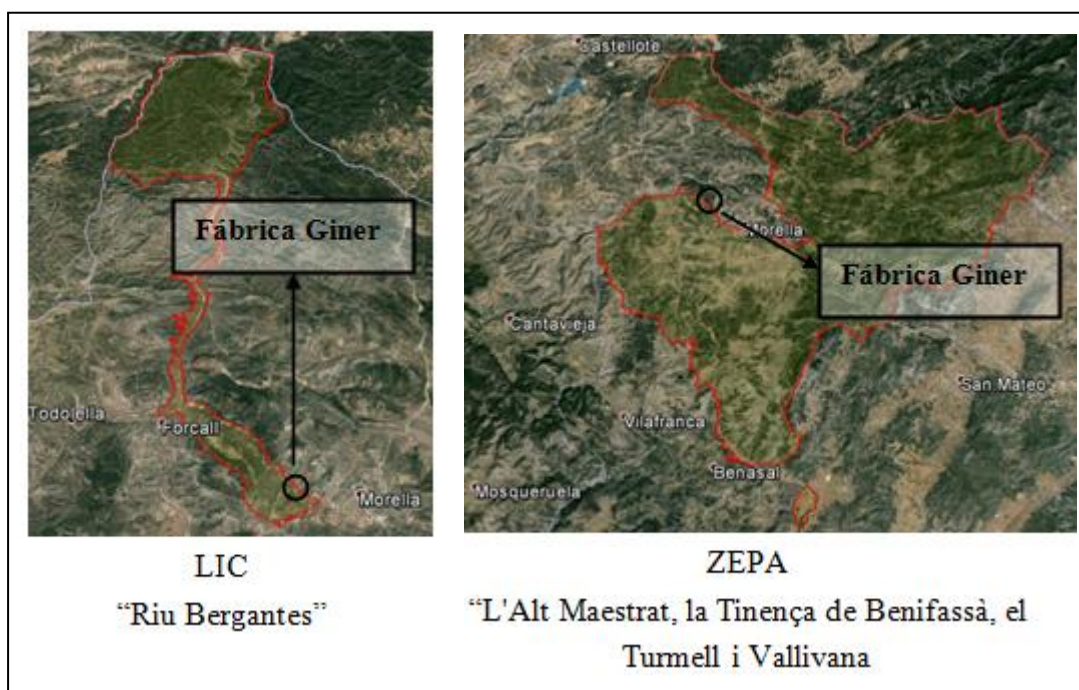


Figura 4.1. Espacios Red Natura 2000

- Hidrología superficial, afectada por la naturaleza propia de las actuaciones.
- Paisaje en el que se localiza la Fàbrica Giner, ya que presenta un marco visual idílico, con variedad de ejemplares naturales selectos que se deben preservar.



Figura 4.2. Río Bergantes a su paso por la Fábrica Giner

- Inestabilidad de ladera de margen izquierda, ya que como se puede apreciar presenta inestabilidad de ladera.



Figura 4.3. Desprendimientos a pie de ladera

En el *Epígrafe A.1.2. del Anejo I*, se describen las características de estos factores que tienen relación con las actuaciones, así como las exigencias medioambientales que precisan para causar la mínima afección.

Una vez analizados cuidadosamente, es primordial realizar una síntesis de los condicionantes derivados, ya que teniendo en cuenta que se trata de un cauce fluvial, las actuaciones no repercutirán únicamente al lugar donde se realiza la intervención si no que tendrán una influencia significativa en la zona de aguas abajo.

A continuación se describen los principales condicionantes que afectan tanto a la fase de diseño de la solución y a la fase de funcionamiento de la misma, como a la fase de ejecución de la misma.

4.3.1. Condicionantes que afectan al diseño de la solución propuesta

[1] La solución final deberá estar lo más integrada posible, es decir, a la hora de realizar las actuaciones correspondientes para garantizar que el cauce no se desborde y atendiendo a la dureza de los materiales que se prevean colocar para la estabilización de los márgenes, se deberá evitar el uso de materiales duros como el hormigón, y se adecuará el uso de soluciones como geomalla o geoceldas con vegetación autóctona.

Esta geomalla, ayudará también a preservar la vegetación del lugar evitando que se altere o degrade el paisaje, aunque el efecto de dicha solución no se hará efectiva hasta años después.

[2] Realización de un exhaustivo estudio geotécnico (*SEG. Julio 2007*) y adecuación de un sistema de estabilización (bulonado, apeos de hormigón o muros de gaviones) que, aunque no sea especialmente apropiado desde el punto de vista medioambiental, es estrictamente necesario en términos de protección y seguridad ya que existe riesgo de inestabilidad de ladera (deslizamientos y desprendimientos).

[3] Los niveles de agua en el entorno de afección no podrán variar sensiblemente una vez terminada la obra y las secciones no podrán incrementar notablemente su ancho actual, ya que esto supondría disminuir el calado excesivamente y pondría en peligro la riqueza ecológica del cauce, en especial de la ictiofauna que lo coloniza, lo cual supondría además una incidencia directa en algunas especies clave de la zona como la nutria, el águila real, el alimoche común, etc.

[4] Adecuación morfológica de los taludes intentando mantener la forma del cauce con una morfología similar a la natural; no realizar encajonamientos del cauce del río.

[5] Vertido de la escollera oportuna, intentando aprovechar áridos de río extraídos en el movimiento de tierras o en caso de que sea posible, traer árido rodado de cantera. Si esto no es factible, se utilizará escollera vertida procedente de préstamo, eligiendo siempre la de menor D_m que se adapte a la solución.

[6] La magnitud de las actuaciones (modificaciones en la sección transversal, longitud de tramo afectada, período de ejecución de las obras, etc.) deberá ser, en cualquier caso, mínima para hacerla compatible con el nivel de exigencia ambiental que impone la catalogación de espacio protegido en el que se encuentra la zona de la actuación. Ello condiciona la solución a adoptar en origen, pues evidentemente, marca el nivel de protección (período de retorno) alcanzable por la intervención fluvial que deberá ser escogido minuciosamente para estar integrado desde el punto de vista ambiental e hidráulico.

[7] En la medida de lo posible se evitará la tala de especies de porte arbóreo ya que de esta manera se modifica sustancialmente el tipo hábitat predilecto de la fauna del lugar.

[8] Se dispondrán perímetros de protección en caso de detectar nidos o madrigueras de especies protegidas con el fin de no destruirlos. Con el mismo fin, sería recomendable ahuyentar a las especies que puedan verse más afectadas por las obras y que sean capaces de desplazarse a zonas cercanas con un tipo de hábitat similar.

4.3.2. Condicionantes durante la ejecución de la solución

[1] Realización de un desvío del caudal del cauce para garantizar la continuidad del caudal aguas abajo de la zona de actuación.

Se recomienda dimensionar correctamente este desvío puesto que al realizarse las obras en el periodo de mayor probabilidad de crecida (otoño - invierno) existe un riesgo añadido; cuando se desmonte el talud de margen izquierda para ser protegido mediante apeos de hormigón o con muros de gaviones, este será más vulnerable a los efectos erosivos del agua, y si se produjera una crecida que desbordase el encauzamiento provisional, podrían sucederse desprendimientos que conllevan un gran peligro.

Adicionalmente, sería recomendable la suelta de especies de las que se alimenta la nutria (como es el caso de los barbos colirrojos) aguas abajo de la actuación en caso de la población de éstos se vea afectada por la intervención.

[2] Realización de los trabajos en horario diurno con el fin de minimizar las molestias y por consiguiente la alteración del comportamiento de la fauna.

[3] Adaptación del calendario de obra al ciclo de vida de las principales especies de interés.

Para adaptar correctamente el cronograma de la obra fuera del período reproductor de las especies prioritarias, es necesario realizar un inciso sobre cuándo se produce dicho periodo reproductor.

En lo que se refiere a la nutria, y como se ha comentado anteriormente, aunque suele reproducirse a comienzos de la primavera, puede hacerlo durante cualquier mes del año, por lo que presenta una gran adaptabilidad y no condiciona en gran medida la época de ejecución de las actuaciones.

Por otro lado, los peces que colonizan el Bergantes, se reproducen entre marzo y agosto, mientras que el período de reproducción de las aves a las que prestaremos más atención se localiza entre febrero y septiembre. Esto se debe a que, en términos generales, a partir de febrero empieza la puesta de huevos, el período de incubación durará unos 25 días y la permanencia de los polluelos en el nido se extenderá entre 40 y 70 días dependiendo del ave.

Así, el periodo de realización de las actuaciones se establece de principios de febrero a principios de septiembre.

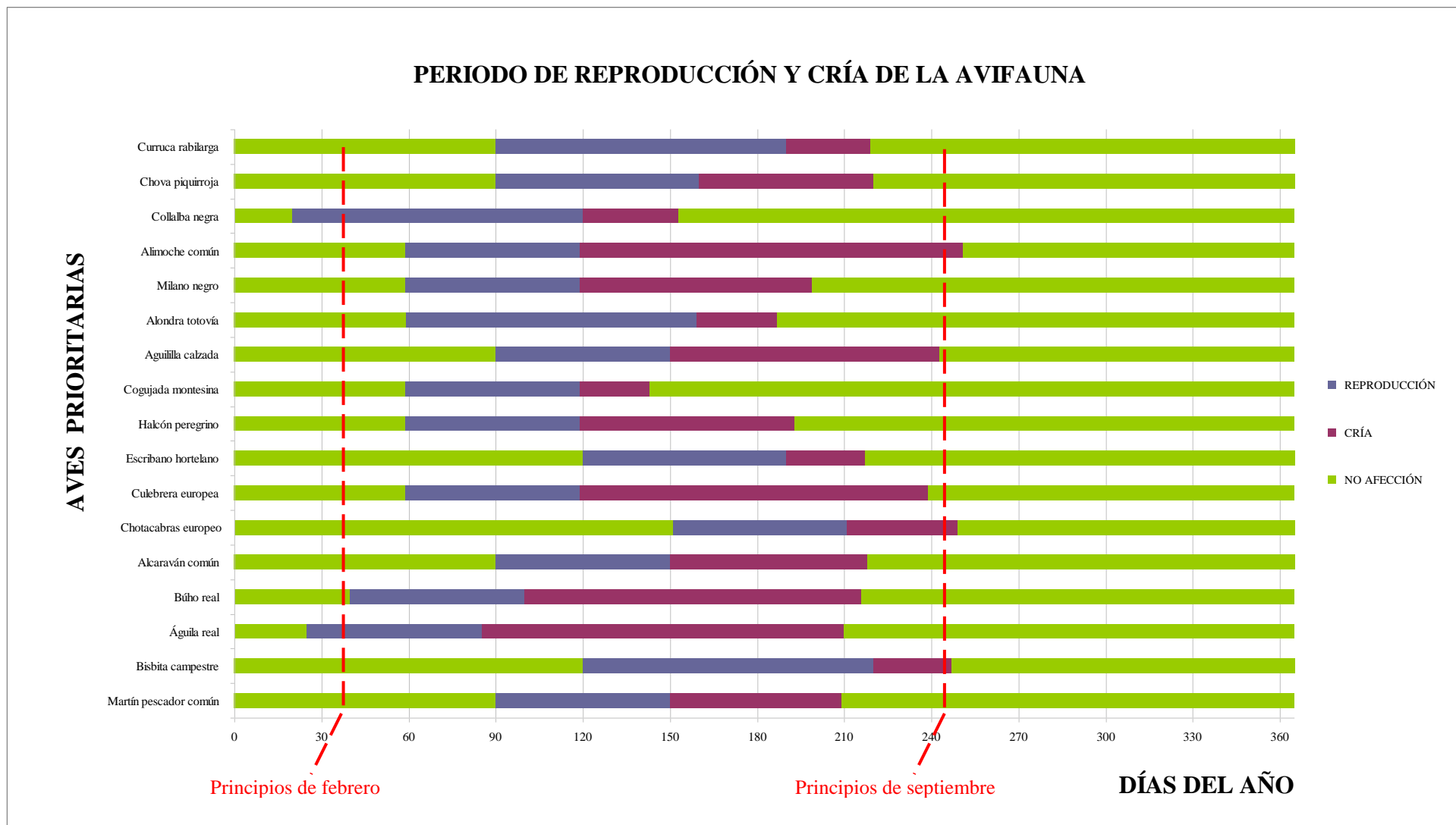


Figura 4.4. Periodo de reproducción y cría de las aves con especial interés en la zona de estudio

4.5. ESTIMACIÓN DE IMPACTOS

En último lugar, se pretende determinar cuál será el carácter de los impactos generados una vez se han tenido en cuenta las exigencias que requieren los factores clave, los condicionantes que éstos suponen a la hora de elegir una alternativa u otra y su repercusión sobre el diseño hidráulico final.

El primer paso consiste en identificar las acciones susceptibles de causar impactos para después realizar una estimación del carácter de los mismos.

El proceso se facilita realizando una distinción entre la fase de obra, la fase de funcionamiento o explotación y la fase de abandono (aunque esta última no se considera por las características de la obra), así como entre los diferentes factores ambientales afectados.

4.5.1. Estimación de impactos sobre los factores ambientales

Conocidos y catalogados los efectos producidos por cada una de las acciones consideradas sobre los factores medioambientales, se caracterizan los mismos según sean positivos, compatibles, moderados, severos o críticos para determinar el grado de repercusión sobre cada uno de los elementos del medio.

Atmósfera

En la fase de ejecución se espera un impacto general **compatible**. Esto se debe a que los impactos identificados como el aumento de la inmisión de polvo y otros residuos gaseosos o el aumento de los niveles sonoros y vibraciones se esperan de poca intensidad ya que las actuaciones se realizarán en un periodo de duración relativamente corto. Además, por lo general tienen carácter discontinuo, no acumulativo y reversible, lo cual quiere decir que aunque el medio en el que se ejecutará la obra tiene un elevado valor ambiental estos impactos no serán especialmente agresivos.

En la fase de explotación no se identifican impactos.

Suelos

En la fase de construcción se pueden distinguir fundamentalmente dos grupos de efectos:

- Impactos que provienen de la erosión debida a la alteración de la dinámica fluvial y de la modificación de las características fisicoquímicas por vertidos accidentales o por la compactación. Se espera que sean **compatibles** siempre que se cumplan las exigencias oportunas.
- La pérdida de suelo vegetal debido a la ampliación del cauce se considera **severo** ya que será necesario destruir una zona repleta de vegetación de un alto nivel ambiental. No se considera crítico ya que es un impacto recuperable si se cumplen exigencias como la colocación de geomalla en la margen derecha o la replantación a partir de vegetación autóctona. En las demás zonas ocupadas temporalmente se podrá proceder a la restauración y revegetación una vez finalizada la obra.

En la fase de explotación no se identifican impactos.

Hidrología

En la fase de construcción destacan tres impactos principalmente:

- La alteración de la dinámica fluvial causada por la necesidad de realizar un desvío que permita mantener el régimen de caudales se considera un impacto **moderado** si éste se dimensiona correctamente. Con motivo de no afectar a los periodos de reproducción de las especies prioritarias, las actuaciones tendrán lugar en la época de mayor probabilidad de crecidas, por tanto se deberá estudiar detenidamente la dimensión del mismo para un periodo de retorno que sea suficiente.
- La disminución de la calidad del agua por el aumento de sólidos en suspensión o por la contaminación debida a vertidos directos, se estima **moderado** ya que aún tomando las medidas oportunas de control, este es un impacto que afecta no solo a la zona de actuación, si no también a la zona de aguas abajo de la misma.

- Los posibles efectos negativos sobre aguas subterráneas se consideran **compatibles** ya que la zona es de bajo riesgo de vulnerabilidad y además la obra no supone la impermeabilización ni del lecho ni de las márgenes. Por ello, siempre que se tomen las medidas oportunas para evitar vertidos accidentales estos efectos se consideran mínimos.

En la fase de explotación ni siquiera se identifican impactos si se cumplen las exigencias dispuestas, pues se espera que no se modifique sensiblemente el régimen hídrico, es decir, que en el periodo de aguas bajas los niveles no se vean mermados.

Vegetación y paisaje

En la fase de construcción este impacto se distinguen principalmente dos grupos de efectos:

- El que causa directamente la destrucción de la vegetación de la zona como es el caso de la eliminación del suelo vegetal en la margen derecha, que producirá la destrucción del bosque ripario de *Populus sp.* hasta el punto de disminuir su profundidad a la mitad en algunas zonas, se considera un efecto **severo**. Aún así, cumpliendo con las exigencias medioambientales se puede considerar como recuperable ya que el terreno con el paso del tiempo recuperará un estado de vegetación estable que volverá a dotar al entorno del valor paisajístico que lo caracteriza.
- El impacto de degradación de la vegetación producido por efectos indirectos como puede ser el trasiego de personal o de maquinaria, así como vertidos accidentales que influyan sobre la vegetación de la ribera es tratado como **moderado** ya que es reversible y de baja magnitud pero se produce durante toda la obra.

En la fase de explotación no se identifican impactos.

Fauna

En la fase de construcción se distinguen, al igual que en lo visto en la flora, dos tipos de impacto, el ligado a la destrucción del hábitat de especies acuáticas y terrestres

asociadas a las zonas en las que se lleve a cabo la eliminación de suelo fértil y vegetación, y otro derivado de las molestias y alteraciones inherentes a la ejecución tanto en las proximidades de la obra (generación de polvo, incremento de niveles sonoros, etc.) como en el ecosistema fluvial aguas abajo (aumento del riesgo de contaminación de las aguas del Bergantes).

La zona del río Bergantes tiene un elevado valor ambiental en relación a la fauna que la habita como ya se ha visto en el capítulo III, donde los principales factores claves son la nutria, que mantiene una población estable aguas abajo de la fábrica, la avifauna y los diferentes tipos de peces, que a su vez sirven de alimento a la nutria. Sin embargo, si se cumplen las exigencias previstas, en especial, adecuando el calendario de la obra a los periodos fuera del ciclo reproductor de estas especies, el impacto previsible alcanza el grado de **moderado**.

En la fase de explotación y puesto que se va a tratar de garantizar la conservación del medio por encima de todo, así como el mantenimiento del régimen natural del río, no se identifican impactos sobre la fauna.

Áreas de especial interés

En la fase de construcción, inevitablemente, se va a repercutir a las zonas de protección LIC y ZEPA en las que se enmarca la obra. Sin embargo, desde el primer momento se tiene en cuenta este hecho y por tanto las actuaciones se realizarán asumiendo la gran riqueza ecológica del lugar y tratando de minimizar los efectos que se pueden dar con el fin de garantizar la conservación y preservación del medio.

Los impactos que tienen lugar son por regla general reversibles y recuperables, afectando de forma temporal sobre estas áreas, por lo que cumpliendo con las correspondientes exigencias (que marcan fundamentalmente las especies prioritarias) se espera un impacto **compatible**.

En la fase de explotación no se prevén impactos sobre estas áreas ya que se promueve la vuelta al estado natural en que se encuentran antes de realizar la actuación.

Riesgos naturales (inundación y deslizamientos)

Los riesgos principales que aparecen en la zona de actuación son el de inundación y el de deslizamiento de ladera de margen izquierda.

En fase de ejecución la inestabilidad de ladera puede verse afectada por la alteración de la dinámica fluvial, en caso de que durante el desmonte del talud para la ejecución de los muros, hubiera una crecida de carácter extraordinario. No obstante, a parte de que la probabilidad de ocurrencia del efecto es muy reducida, su magnitud se puede minimizar adoptando las medidas oportunas. Por ello el impacto se considera **compatible**.

Por otro lado, en lo que se refiere al riesgo de inundación, puede considerarse un impacto **compatible** debido a que este apenas se ve modificado por alguna acción de la obra durante la fase de ejecución, es decir, posiblemente el desbroce y limpieza del margen así como de la orilla antes de empezar el movimiento de tierras, sería la única acción que modificaría ligeramente la extensión o la magnitud de la inundación sobre la zona en caso de ocurrencia de una crecida (la vegetación no actuaría de pantalla).

En la fase de funcionamiento o explotación se distingue un impacto **positivo**, ya que el objetivo de la intervención fluvial es disminuir precisamente el riesgo de inundación en la Fábrica Giner y en consecuencia, el riesgo de deslizamientos del talud de la margen izquierda del cauce.

Medio socioeconómico

En la fase de construcción se consideran impactos sobre la población debido tanto a las expropiaciones que sean necesarias para acceder al cauce aguas arriba como al coste económico de la misma, sin embargo, estos impactos son mínimos por la magnitud de las obras así que los efectos son **compatibles**.

Por otro lado, se genera mínimamente un incremento de la mano de obra en la zona como consecuencia del conjunto de las actuaciones, lo cual se considera **positivo**.

En la fase de explotación puede decirse que las obras de intervención fluvial permitirán que el complejo de la Fábrica Giner acoja un nuevo museo de dinosaurios (MUDIM), es decir, la disminución de los riesgos de inundación e inestabilidad de ladera permitirán

indirectamente un aumento de visitantes a la zona, consiguiendo crear un área de índole lúdica y cultural; esto hace que los impactos identificados se consideren **positivos**.

Patrimonio cultural

En la fase de construcción no se prevén impactos sobre el patrimonio histórico-artístico, ya que ninguna acción del proyecto supone efecto alguno sobre ningún tipo de yacimiento o bien cultural.

En la fase de explotación se espera un impacto **positivo** ya que el objetivo primordial de la obra es la disminución del riesgo de inundación sobre los elementos patrimoniales de la Fábrica Giner.

FACTOR AMBIENTAL	IMPACTOS IDENTIFICADOS	FASE DE EJECUCIÓN	FASE DE FUNCIONAMIENTO
Atmósfera	Ruidos y vibraciones	Compatible	-----
	Disminución calidad del aire		
Suelos	Compactación	Compatible	-----
	Contaminación		
	Erosión		
	Pérdida suelo vegetal	Severo	
Hidrología	Alteración dinámica fluvial	Moderado	-----
	Calidad agua superficial	Moderado	
	Calidad agua subterránea	Compatible	
Vegetación y paisaje	Destrucción directa	Severo	-----
	Degradación	Moderado	
Fauna	Destrucción directa	Moderado	-----
	Degradación		
	Alteración del comportamiento		
Áreas de interés	Degradación	Compatible	-----
Riegos naturales	Inundación	Compatible	Positivo
	Inestabilidad de ladera		
Medio socioeconómico	Sobre la población	Positivo	Positivo
	expropiaciones	Compatible	
Patrimonio Cultural	Destrucción	-----	Positivo

Tabla. 4.1. Resumen estimación de impactos

4.6. CONCLUSIONES

Si se toman en consideración las exigencias que suponen los factores ambientales clave y se cumple con las restricciones que éstos imponen en la ejecución de las actuaciones, se observa cómo ningún impacto producido adquiere el carácter de crítico, mientras que únicamente en algunos casos llegan a alcanzar el carácter de severo. Esto es, por lo general se producen impactos compatibles o moderados que no repercuten sustancialmente en el entorno y que son asumibles para el medio.

Por último, como es evidente, la actuación implica ciertos impactos positivos puesto que el principal objetivo consiste en mitigar el riesgo de inundación al que está expuesto gran parte del complejo arquitectónico de la Fábrica Giner.

CAPÍTULO V. ESTUDIO HIDROLÓGICO

5.1. INTRODUCCIÓN

El estudio hidrológico se ha extendido a la cuenca del río Bergantes seleccionando como punto de desagüe el entorno arquitectónico de la Fábrica Giner, con el fin de obtener los valores de caudal esperables en el tramo de estudio, provenientes tanto del cauce principal como del afluente de margen derecha.

Ante la falta de aforos directos de caudal en la zona de interés, el estudio hidrológico se ha realizado por métodos hidrometeorológicos, con los que se determinan los caudales de avenida así como sus hidrogramas correspondientes a partir de valores extremos de precipitación, mediante la simulación del proceso precipitación-escorrentía.

La metodología empleada cuyos fundamentos teóricos, así como la justificación de los valores adoptados y cálculos realizados se encuentra en el *Anejo II. Estudio Hidrológico*, se sintetiza a continuación:

- En primer lugar se calculan las precipitaciones máximas anuales asociadas a distintos periodos de retorno para 24 horas de duración. La estimación se ha abordado mediante un análisis estadístico de la serie de precipitaciones máximas anuales recogidas en la estación pluviométrica de Morella.
- En segundo lugar se ha realizado el cálculo de los caudales punta empleando un modelo agregado: el Método Racional Modificado por Témez, suficientemente preciso dadas las características de la cuenca de estudio.
- En tercer lugar se ha implementado un modelo pseudo-distribuido, dividiendo la cuenca total en cuatro subcuencas con el fin de obtener un modelo conceptual conjunto de la cuenca que se aproxime lo más posible a la realidad. A partir de las precipitaciones de proyecto se definen las tormentas de diseño mediante el método de bloques alternos. Por último se emplea el método del SCS para la obtención de los hidrogramas de avenida. El proceso descrito anteriormente se ha implementado en el programa HEC-HMS desarrollado por el Army Corps of Engineers de los EE.UU.

5.2. ESTUDIO DE PRECIPITACIONES EXTREMAS

5.2.1. Información pluviométrica existente

El método más directo de estimar el riesgo de una avenida es recurrir a una estación de aforos, desafortunadamente, no existen estas instalaciones en las proximidades de Fábrica Giner por lo que se ha realizado un estudio de precipitaciones extremas a partir de la serie diaria de precipitación acumulada (mm) registrada en la estación pluviométrica AEMET de Morella (código 9562).

Descripción:	Pluviómetro en Morella	Coordenadas UTM:	Huso	X	Y	Z
			30	746116	4499818	992,2
Comunidad autónoma:	VALENCIA	Municipio:	MORELLA			
Provincia:	CASTELLON	Río:	Bergantes			

Tabla 5.1. Estación pluviométrica AEMET de Morella

5.2.2. Análisis de frecuencia de la serie de máximos

La serie de datos proporcionada abarca registros desde el año 1916 hasta el 2007, sin embargo la serie en este periodo no es íntegra. Esta falta de datos nos obliga a realizar un sesgo de aquellos años hidrológicos que por no estar completos no sean representativos, para ello se ha realizado el análisis de frecuencia de la serie de máximos.

A continuación se muestran los meses, ordenados de mayor a menor probabilidad de presentación de la máxima precipitación anual (considerando años hidrológicos).

Mes	Probabilidad (%)
Octubre	28.571
Febrero	8.929
Mayo	8.929
Junio	8.929
Agosto	8.929
Septiembre	7.143
Noviembre	7.143
Diciembre	7.143
Abril	5.357
rzo	3.571
Julio	3.571
Enero	1.786

Tabla 5.2. Meses ordenados de mayor a menor probabilidad de presentar el máximo

A partir de los resultados del análisis de frecuencia, se han establecido los criterios de validez para la serie de máximas precipitaciones diarias anuales. Posteriormente se ha comprobado la fiabilidad de los valores extraordinarios que condicionan en gran medida los cuantiles de precipitación resultantes. Obteniendo, finalmente, una serie de 61 datos de longitud.

Haciendo uso de la herramienta *AFINS 2.0* (Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medioambiente de la Universidad Politécnica de Valencia) se han obtenido los parámetros estadísticos que caracterizan la serie de datos adoptada:

Media (mm)	69.45
Varianza (mm²)	1457.44
Desviación estándar (mm)	38.18
Coef. Asimetría	2.55
Coef. Variación	0.55
Kurtosis	9.51

Tabla 5.3. Parámetros estadísticos

5.2.3. Análisis estadístico de la serie de máximos anuales

Para el análisis estadístico se han comparado los ajustes de las distribuciones de probabilidad comúnmente utilizadas en el ámbito hidrológico, concretamente en los estudios de crecidas.

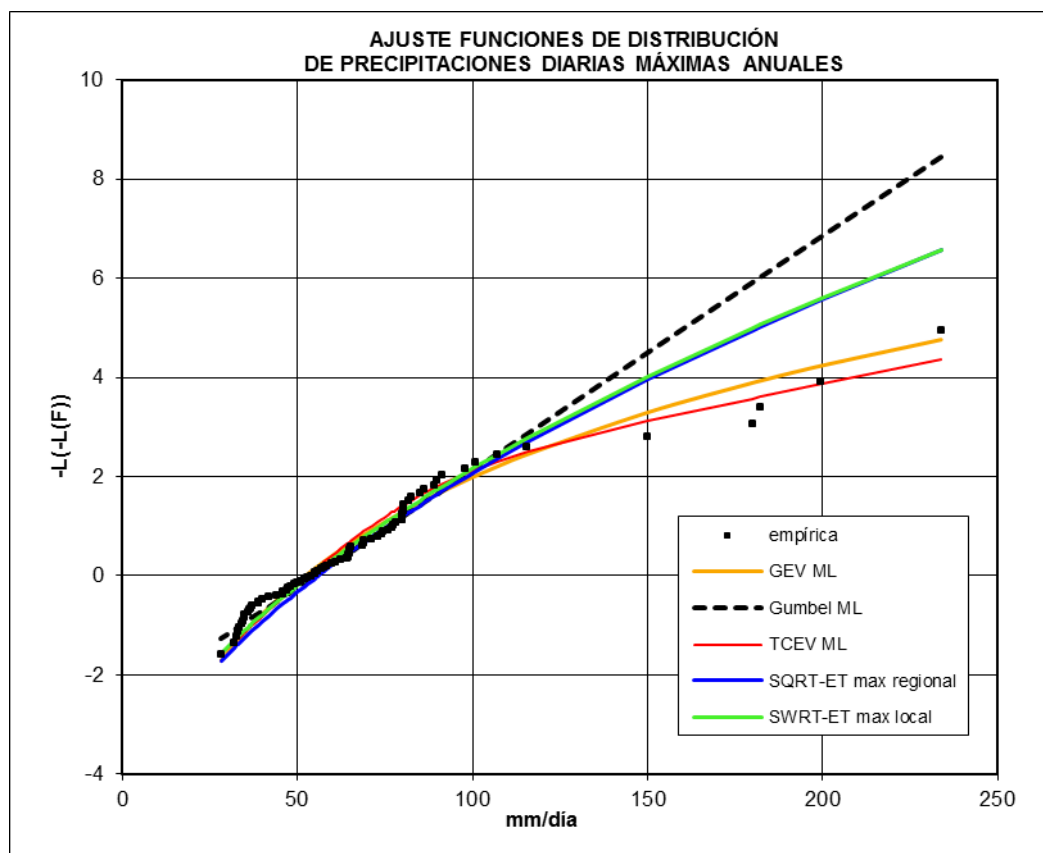
- Análisis estadístico Local
 - Gumbel
 - GEV (General Extreme Value)
 - TCEV (Two Component Extreme Value)
 - SQRT-ET max (Square-Root Exponential Type Distribution of the maximum)
- Análisis estadístico Regional
 - SQRT-ET max (Square-Root Exponential Type Distribution of the maximum).

A continuación se presentan los valores de los parámetros de las distribuciones probabilísticas obtenidos para la serie de datos válidos registrados en la estación

pluviométrica de Morella y la gráfica con la comparación entre ajustes de funciones de distribución.

	Distribución	Parámetros				Verosimilitud
		λ		θ		
Análisis local	Gumbel	13.3882		0.0472380		-287.778
		X_0		α		
	GEV	52.2798		-0.286828		-281.961
		λ_1		θ_1		
	TCEV	33.1604		0.0699825		-281.177
λ_2		θ_2				
SQRT-ET max	K		α		-283.391	
	101.982		0.826480			
Análisis regional	SQRT-ET max	K		α		-
		127.249		0.8533751		

Tabla 5.4. Parámetros de las funciones de distribución de máximos



Gráfica 5.1. Comparación entre ajustes de funciones de distribución

En primer lugar, a la vista de los resultados y mediante el análisis de los ajustes representados, se observa que los modelos Gumbel y SQRT-ET max, tanto para el análisis local como regional, claramente infraestiman los cuantiles de retorno superiores a 100 años, quedando significativamente del lado de la inseguridad para periodos de recurrencia elevados.

Los modelos que presentan gráficamente un mejor ajuste a la CDF Empírica son las distribuciones GEV y TCEV. Sin embargo, la función de distribución TCEV sobreestima los cuantiles de precipitación para periodos de retorno en torno a los 200 años y presenta, como principal inconveniente el elevado número de parámetros de la expresión, que aumenta la incertidumbre en la aproximación y disminuye la robustez del modelo.

Por los motivos expuestos, la función de distribución finalmente seleccionada es la GEV (General Extreme Value), capaz de representar fielmente los dos mecanismos distintos que se originan en las avenidas de los ríos mediterráneos.

5.2.4. Conclusión

La siguiente tabla recoge los cuantiles de precipitación diaria máxima anual asociados a distintos periodos de retorno finalmente adoptados, tanto para el cálculo de la intensidad media de precipitación, necesaria para el cálculo de caudales circulantes por el cauce del río Bergantes en el entorno de la Fábrica Giner, como para el diseño de las tormentas de proyecto.

Periodo de retorno T (años)	25	50	100	200	500
Pd máxima anual (mm)	145.727	180.518	222.739	274.114	359.647

Tabla 5.5. Cuantiles de precipitación máxima anual

5.3. MODELO HIDROLÓGICO AGREGADO

Para realizar el cálculo de los caudales punta se utiliza el Método Racional Modificado, al cual se le aplican las variaciones propuestas por J.R Témez.

La aplicación de este método para la obtención de los caudales pico de crecida en la zona de actuación está justificada, dado que las características de nuestra cuenca

satisfacen las restricciones impuestas, tanto de tiempo de concentración como de superficie de la cuenca.

El caudal pico de referencia Q asociado a un periodo de retorno en el punto de desagüe de la cuenca de estudio se obtendrá mediante la fórmula siguiente:

$$Q = \frac{C \cdot A \cdot I_t}{3,6} \cdot K$$

Donde:

Q : caudal en m^3/s

C : coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o superficie drenada

A : Área de la cuenca en km^2

I_t : Intensidad media de precipitación correspondiente al periodo de retorno considerado y asociada a una duración t (tiempo de concentración) en mm/h

K : coeficiente de uniformidad temporal (función de t_c)

5.3.1. Características morfométricas

La cuenca del río Bergantes considerada, cuyo punto de desagüe se emplaza en el entorno de la Fábrica Giner, a una altitud de 757 m, tiene una superficie total de 54 km^2 y la longitud del cauce principal es de unos 21.65 km. El caudal en los cauces de la cuenca de drenaje del río Bergantes presenta una alta variabilidad, tanto temporal como espacial pues sus afluentes de cabecera discurren habitualmente casi secos, salvo en episodios de crecidas.

Para la obtención de la superficie de la cuenca, la longitud del cauce principal y la máxima diferencia de cotas se ha empleado la herramienta *ArcGis*. Haciendo uso de la fórmula empírica de Témez para el cálculo del tiempo de concentración t_c (horas).

$$t_c = 0,3 \cdot \left(\frac{L}{J^{1/4}} \right)^{0,76}$$

Donde:

L : longitud del cauce principal, en km

J : pendiente media (m/m)

La tabla siguiente muestra las características morfométricas principales que definen la cuenca vertiente de estudio:

S (km ²)	Lr (km)	Δ COTA (H)	Jr (%)	t _c (h)
54.02	21.65	516.1	0.0238	6.32

Tabla 5.6. Características morfométricas de la cuenca

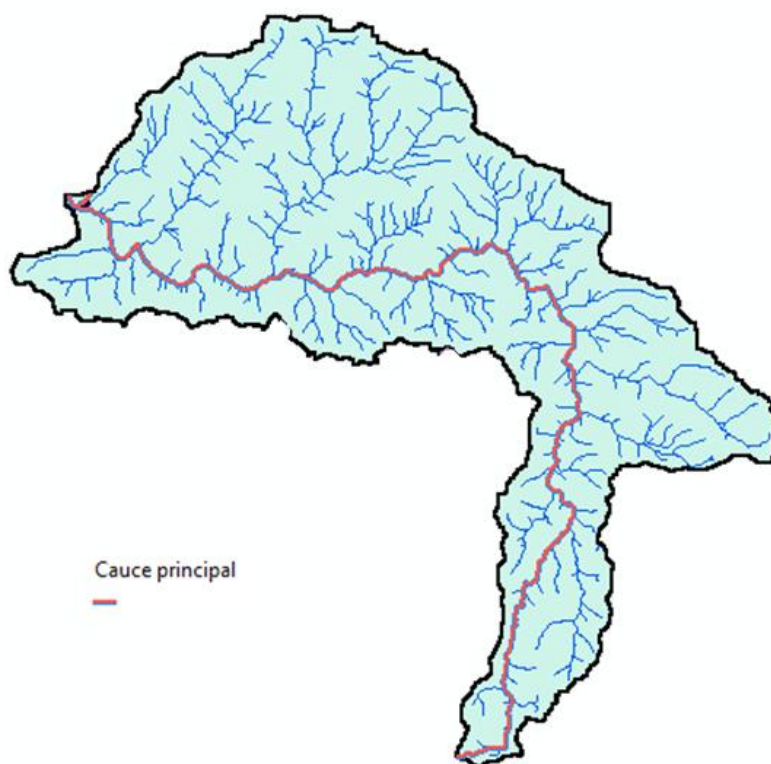


Figura 5.1. Delimitación y cauce principal de la cuenca del río Bergantes

Además, para un análisis morfológico más completo de la cuenca se han obtenido los parámetros de forma comúnmente empleados en este ámbito.

Índice de Gravelius.	1.877
Factor de forma de Horton.	0.115
Ratio de circularidad de Miller	0.28

Tabla 5.7. Factores de forma

5.3.2. Modelo de producción

El umbral de escorrentía es el parámetro del modelo de producción, que nos permite estimar la parte de precipitación que provocará escorrentía, es decir, la lluvia neta.

El valor del umbral de escorrentía es función de las siguientes variables:

- I. Tipo y uso del suelo.
- II. Grado de desarrollo de la cubierta vegetal.
- III. Pendientes del terreno.
- IV. Condiciones iniciales de humedad del complejo suelo vegetación

La relación entre el umbral de escorrentía y las tres primeras variables es de tipo tabular; los valores de escorrentía así calculados son en condiciones de humedad medias, lo que se denomina como AMC II (*“Antecedent Moisture Condition”*). Debiendo corregirse en función de la cuarta variable.

La determinación del umbral de escorrentía se ha realizado mediante la superposición de los mapas correspondientes a cada una de las variables de las que depende tabularmente, apoyándose en la utilización de los sistemas de información geográfica, en particular de la aplicación *ArcGis*.

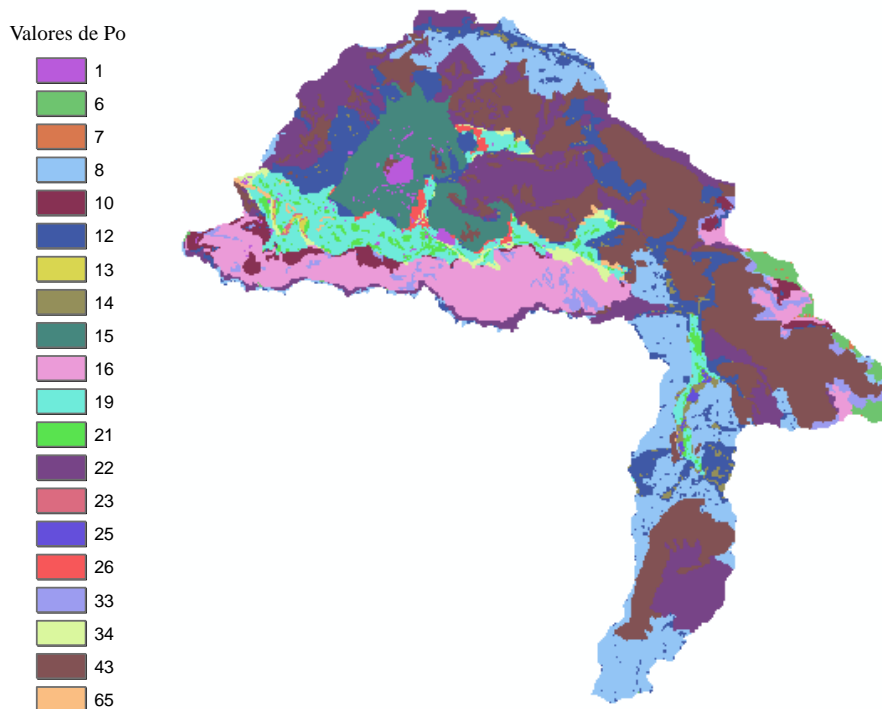


Figura 5.2. Valores del umbral de escorrentía P_o

El umbral de escorrentía obtenido debe corregirse mediante un factor que tiene en cuenta la humedad antecedente del complejo suelo-vegetación. Se ha recurrido a la versión actualizada del mapa proporcionado por el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU, 1990), basada en un contraste experimental, que corrige los valores propuestos por la Instrucción. El valor corrector para la zona de estudio es $\beta = 2.05$.

El valor medio ponderado del umbral de escorrentía P_0 de la cuenca del río Bergantes obtenido es 22.6 mm; asumiendo un coeficiente corrector de humedad de 2.05, el valor final de P_0 es 46.33 mm.

5.3.3. Resultados

Los caudales circulantes por el cauce del río Bergantes en el entorno de la Fábrica Giner asociados a distintos periodos de retorno se muestran en la siguiente tabla:

Periodo de retorno T (años)	25	50	100	200	500
Caudal (m ³ /s)	89	141.3	214.4	314	498.6

Tabla 5.8. Caudales asociadas a distintos periodos de retorno T

5.4. MODELO PSEUDO-DISTRIBUIDO

5.4.1. Introducción

El objetivo de este capítulo es la construcción de un modelo hidrológico pseudo-distribuido que reproduzca fielmente la respuesta del sistema, con tal de obtener los hidrogramas de crecida, que proporcionan una mayor información del comportamiento del régimen de caudales en la cuenca del Bergantes durante los episodios de avenidas.

Se ha calibrado la condición de humedad inicial de diseño en el modelo pseudo-distribuido para la obtención de los caudales punta resultantes del método de Témez modificado. Para ello se ha empleado el software *HEC-HMS 3.5*, desarrollado por *U.S.Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center*.

5.4.2. Transformación precipitación-escorrentía

El modelo de producción empleado ha sido el conocido como el Número de Curva del SCS (Soil Conservation Service), es uno de los métodos más extendido y experimentado de los modelos empíricos para la estimación de los volúmenes de infiltración; su éxito se debe a que tiene en cuenta, con un solo parámetro las principales características de la cuenca que producen la escorrentía, como son la pendiente y el uso y tipo de suelo.

El método se basa en la ecuación de balance hídrico y en dos hipótesis fundamentales. La primera establece que la relación entre el volumen de escorrentía directa y la escorrentía potencial máxima, correspondiente a una superficie impermeable, es igual a la relación entre la infiltración real y la infiltración potencial máxima. La segunda hipótesis establece que la infiltración inicial es una fracción de la retención potencial.

5.4.3. Caracterización morfométrica

Para una correcta modelización del comportamiento de la cuenca del Bergantes durante los episodios de crecidas, en primer lugar se realiza la división de la misma en una serie de subcuencas. La elección del número y delimitación de las subcuencas tiene como objetivo obtener un modelo conceptual conjunto de la cuenca de estudio que se aproxime lo máximo posible a la realidad. El esquema pseudo-distribuido finalmente adoptado se compone de 4 subcuencas.



Figura 5.3. Esquema pseudo-distribuido

Para cada una de las subcuencas se han obtenido las características morfométricas mediante la herramienta *ArcGis*, empleando la extensión *HEC-GeoHMS* y la fórmula de Témez para el cálculo del tiempo de concentración.

	S (km ²)	L _{rp} (km)	J _{rp} (m/m)	t _c (h)
SC1	8.98	8.01	0.159723	2.1
SC2	20.79	11.3	0.053166	3.3
SC3	22.88	10.9	0.046804	3.3
SC4	1.37	2.85	0.103166	1.0

Tabla 5.9. Características morfométricas y t_c de las subcuencas

5.4.4. Obtención del parámetro de producción

El proceso de obtención del parámetro de producción para condiciones medias de humedad es análogo al mencionado para el modelo agregado. A continuación se adjunta una tabla con los valores del umbral de escorrentía P₀ de cada subcuenca.

	P₀ (mm)
SC1	18.79
SC2	27.59
SC3	19.44
SC4	25.59

Tabla 5.10. Umbral de escorrentía para condiciones medias de humedad

5.4.5. Modelo de propagación

5.4.5.1. Modelo de propagación a nivel de subcuenca

El proceso de transformación lluvia neta en escorrentía superficial en todas las subcuencas ha sido modelado en términos de la teoría lineal de los sistemas hidrológicos, empleando hidrogramas unitarios para la representación de la respuesta hidrológica. La formulación adoptada, así como la elección de los valores de parámetros como la duración de la lluvia neta, se han basado en las recomendaciones del SCS.

La elección de la duración del intervalo de tiempo computacional se basa en la recomendación del SCS, que propone para una correcta simulación que el Δt seleccionado sea inferior al 29% del t_{dp} . Para la reproducción de una respuesta más rápida de la cuenca, generalmente, se estima el tiempo entre picos como $0.35 t_c$.

Por tanto, la duración del intervalo de tiempo computacional seleccionada es de 10 minutos y el tiempo de desfase entre picos es de 2.2 horas.

5.4.5.2. Modelo de propagación de cauces

Entre los distintos modelos de propagación de cauces que permite emplear el programa *HEC-HMS*, se ha seleccionado para modelar la propagación del hidrograma de crecida a través del cauce principal del río Bergantes, el método de Muskingum, que requiere de tres parámetros K , X y n (número de subtramos) para modelar la laminación.

Por tanto, los resultados obtenidos para los dos tramos de propagación de la cuenca, asumiendo una velocidad promedio de la onda de avenida de 1 m/s, son:

	X	K	n
TRAMO 1	0.2	2.2	10
TRAMO 2	0.2	1.6	8

Tabla 5.11. Parámetros del método de Muskingum

5.4.6. Tormentas de diseño

Partiendo de las precipitaciones máximas diarias asociadas a distintos periodos de retorno, se definen las tormentas de diseño por el método de bloques alternos de una duración de 12 horas en intervalos quinceminutales (Apéndice 3).

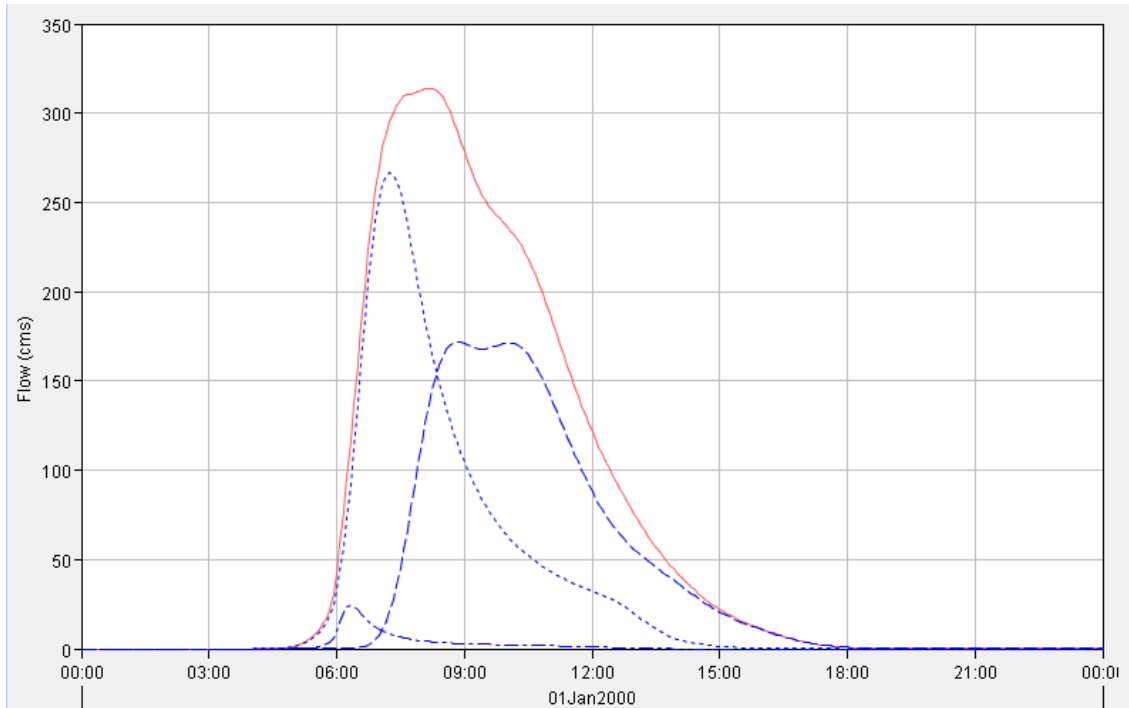
5.4.7. Simulaciones

Las características de la cuenca objeto de estudio nos aseguran la idoneidad del Método Racional Modificado, por lo que los resultados obtenidos se pueden emplear para la calibración de la condición inicial de humedad del complejo suelo-vegetación del modelo pseudo-distribuido.

La obtención de los hidrogramas se ha realizado con el programa *HEC-HMS* desarrollado por el Army Corps of Engineers de los EE.UU, empleando un proceso iterativo hasta la convergencia de los caudales pico de los hidrogramas de crecida en la Fábrica (punto de desagüe de la cuenca analizada) con los obtenidos anteriormente por el método de Témez Modificado.

Calibrado el modelo, se obtienen los hidrogramas de avenida necesarios para el estudio hidráulico en el que se analizan los dos escenarios más desfavorables, el primero en el que el caudal pico circula por el cauce del río Bergantes, y un segundo escenario en el que circula por el afluente Margen Derecha.

A continuación a modo de ilustración se presenta el hidrogramas para periodo de retorno $T = 200$ años en las proximidades de la Fábrica Giner.



Gráfica 5.2. Hidrograma para periodo de retorno $T = 200$ años

Del análisis de los resultados se puede concluir que la aportación de la subcuenca SC4 (afluente margen derecha) no influye prácticamente en el hidrograma del Bergantes en el entorno de la Fábrica, por lo que el caudal pico en el Escenario 1 viene definido básicamente por la aportación del cauce principal.

CAPÍTULO VI. DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

6.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se va a llevar a cabo una evaluación del funcionamiento hidráulico del cauce del río Bergantes, en su estado actual, es decir, se va a comprobar el comportamiento hidráulico para caudales asociados a diferentes periodos de retorno. Una vez expuestos los resultados, se escogerá el umbral de protección estructural más razonable.

Las metodologías empleadas, figuras, detalles y datos, se expondrán más exhaustivamente en el *Anejo III. Diagnóstico de la situación actual*.

Tanto para los cálculos, como para la visualización de los resultados, se ha utilizado el programa informático *Hec-Ras* del U.S Army of Corps of Engineers, programa de modelación hidráulica cuasibidimensional del flujo en cauces abiertos.

6.2. GEOMORFOLOGÍA DEL CAUCE

Tanto para este, como para los posteriores estudios, se divide el cauce del río Bergantes, teniendo en cuenta la red fluvial, en 3 subtramos, como se muestra en la *figura 6.1*, de aguas arriba a aguas abajo: *Morella alto*, *Morella Medio* y *Morella Bajo*. A su vez, se llama al afluente que delimita *Morella Alto* con *Morella Medio*, afluente *Margen Derecha*, siendo el afluente *Tributar* el que determina el final de *Morella Medio* y el inicio de *Morella Bajo*.



Figura 6.1. Delimitación de los tramos de estudio

El tramo de *Morella Medio* será el principal objeto del estudio hidráulico, ya que la Fábrica Giner se encuentra localizada en la margen derecha de este tramo, abarcando una longitud de aproximadamente 300 m.

El cauce morfológicamente definido, es el correspondiente cauce de aguas bajas, de capacidad insuficiente para los caudales correspondientes a avenidas extraordinarias. Además la margen izquierda del cauce en el entorno de afección de la Fábrica Giner, presenta problemas de inestabilidad, incluso con zonas con desplomes.

6.3. MODELACIONES HIDRÁULICAS DEL CAUCE EN SU ESTADO ACTUAL

6.3.1 Datos requeridos por el Hec – Ras

Para este primer estudio, el programa *Hec-Ras* requiere ciertos datos, expuestos a continuación:

- Datos hidrológicos: Se va a hacer uso los caudales pico de avenida asociados a diferentes periodos de retorno, y provenientes del estudio hidrológico, basado en el Método de Témez, “*Capítulo V. Estudio hidrológico*”. Estos caudales serán distintos para el cauce del río Bergantes y para el afluente *Margen Derecha*, siendo los respectivos caudales pico los siguientes:

T (años)	25	50	100	200	500
Q (m3/s)	89.0397491	141.353371	214.3620569	314.023215	498.6180144

Tabla 6.1. Caudales pico de avenida del río Bergantes

T (años)	25	50	100	200	500
Q (m3/s)	6.49729321	10.0953396	15.05418488	21.7445743	33.97967239

Tabla 6.2. Caudales pico de avenida del afluente Margen Derecha

- Rugosidad del contorno del cauce: un parámetro hidráulico relevante para la modelización, introduciéndose en el programa mediante el Número de Manning. Estos datos se han conseguido mediante una inspección in situ de la zona, y un posterior estudio, tanto de los diámetros medios, como de la cantidad y tipo de la cubierta vegetal. Los resultados se adjuntan en el *Apéndice III.1. Estudio de rugosidades*.
- Condiciones de contorno: definidas para cada tramo, aguas arriba y aguas abajo. En el modelo hidráulico, se han definido como condiciones de contorno extremas el calado normal con las respectivas pendientes de cada tramo.

Un aspecto a tener en cuenta es que, aunque el principal objeto de estudio es el subtramo denominado *Morella Medio*, el tramo de cauce modelado, con las características expuestas anteriormente, es mucho mayor. Esto tiene como objetivo representar fielmente el funcionamiento hidráulico de diseño del subtramo, con una afección nula de los posibles errores cometidos a la hora de establecer las condiciones de contorno.

6.3.2 Análisis del sistema hidráulico de la situación actual y determinación del umbral de protección estructural

Una vez introducidos los datos en el programa, obtenemos una serie de resultados, tanto en forma de tablas como de forma gráfica, de los diferentes variables hidráulicas de la zona de estudio.

Mediante el análisis de estos resultados se observa que los problemas serios de desbordamiento del cauce, se presentan para caudales de avenida en torno a los 100-130 m³/s asociado al periodo de retorno de 60 años. Es decir, que en la situación actual, cabría esperar una inundación en el entorno arquitectónico de la Fábrica Giner una vez en media cada 60 años aproximadamente.

Estos resultados son inaceptables, ya que se considera que un umbral de protección estructural de 60 años de periodo de retorno sería insuficiente para la actuación arquitectónica que se propone, demostrándose por tanto la necesidad de una actuación fluvial.

Para determinar el umbral de protección estructural el primer aspecto a considerar, es que, la Fábrica Giner se encuentra emplazada en suelo urbano, como se muestra en la *figura 6.4. Suelo urbano- Zona polígono parcela 085* (información obtenida de la base

de datos del Catastro). Además, mediante las actuaciones arquitectónicas propuestas, este entorno se convertirá en una zona lúdico cultural (actividades, restaurante, museo, hotel...).

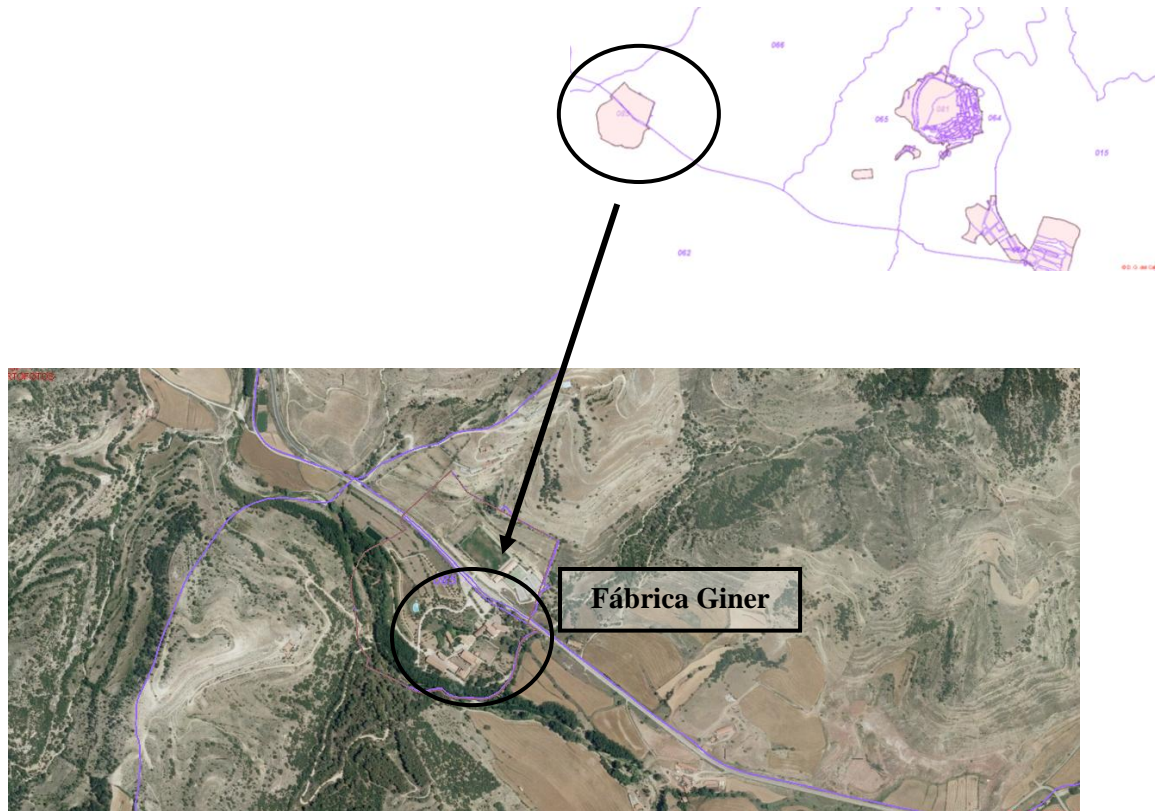


Figura 6.2. Suelo urbano- Zona polígono parcela 085

Mediante la información proporcionada por el CEDEX, en un estudio en el que se asocian unos rangos de periodos de retorno en función del tipo de suelo, y considerando lo expuesto en el párrafo anterior, se establece que un rango de umbral de protección estructural adecuado sería la elección de un periodo de retorno comprendido entre 100 y 200 años.

Para el caso de la avenida extraordinaria correspondiente a 100 años de periodo de retorno, la velocidad del flujo llega a superar el valor de 1m/s, siendo la capacidad del cauce en el entorno inmediato a la Fábrica Giner insuficiente, presentándose problemas de inundación de la misma, como se observa en la *figura 6.3. Área inundada para caudales asociados a $T=100$ años.*

En cuanto a la avenida de 200 años de periodo de retorno, la capacidad hidráulica es claramente insuficiente (*figura 6.4. Área inundada para caudales asociados a $T=200$ años*), con velocidades del flujo que rebasan los 2 m/s.

Sin embargo, la diferencia entre la lámina de agua para caudales asociados a estos periodos de retorno es mínima.

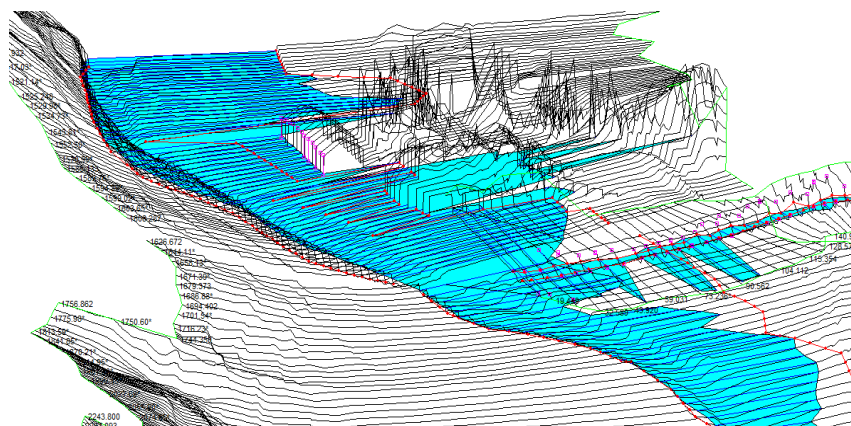


Figura 6.3. Área inundada para caudales asociados a $T=100$ años

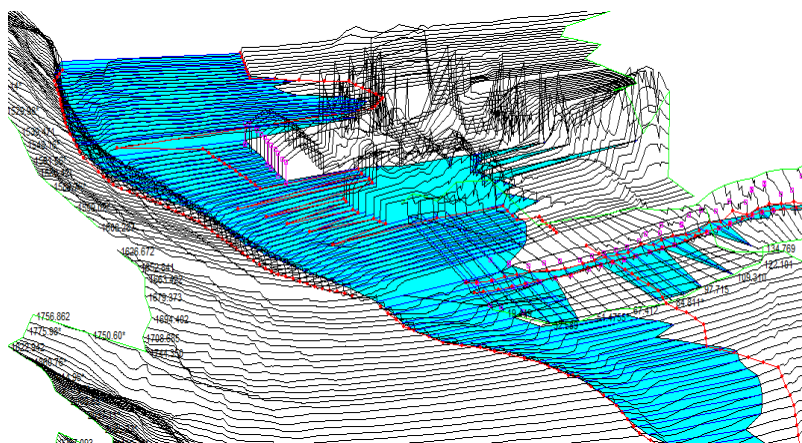


Figura 6.4. Área inundada para caudales asociados a $T=200$ años

Por ello, se van diseñar las actuaciones fluviales para un umbral de protección estructural de 200 años de periodo de retorno.

El análisis detallado del funcionamiento hidráulico del cauce en la situación actual para este periodo de retorno se detallará en el apartado 6.3.3.

6.3.3. Comportamiento hidráulico del cauce para las avenidas de 200 años de periodo de retorno y evaluación de su peligrosidad.

Una vez se han conseguido los resultados hidráulicos, y se ha elegido el periodo de retorno que se considera más adecuado, se van a estudiar algunos aspectos para el caudal asociado a dicho periodo.

La capacidad hidráulica del cauce para este caudal, es claramente insuficiente, presentando problemas de inundación generalizada en la Fábrica Giner, con calados superiores a 50 cm en casi todo el complejo, y velocidades del flujo que rebasan los 2m/s, llegando a los 4.03 m/s. Se adjunta a modo de ejemplo gráfico, una sección de Morella Medio (figura 6.5 y 6.6).

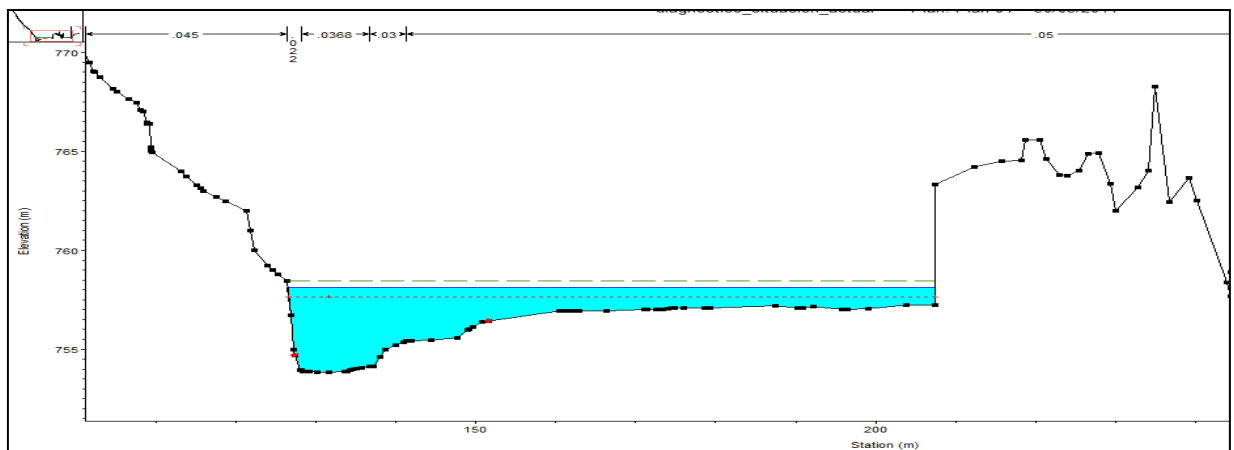


Figura 6.5. Calado en la sección 1512.932

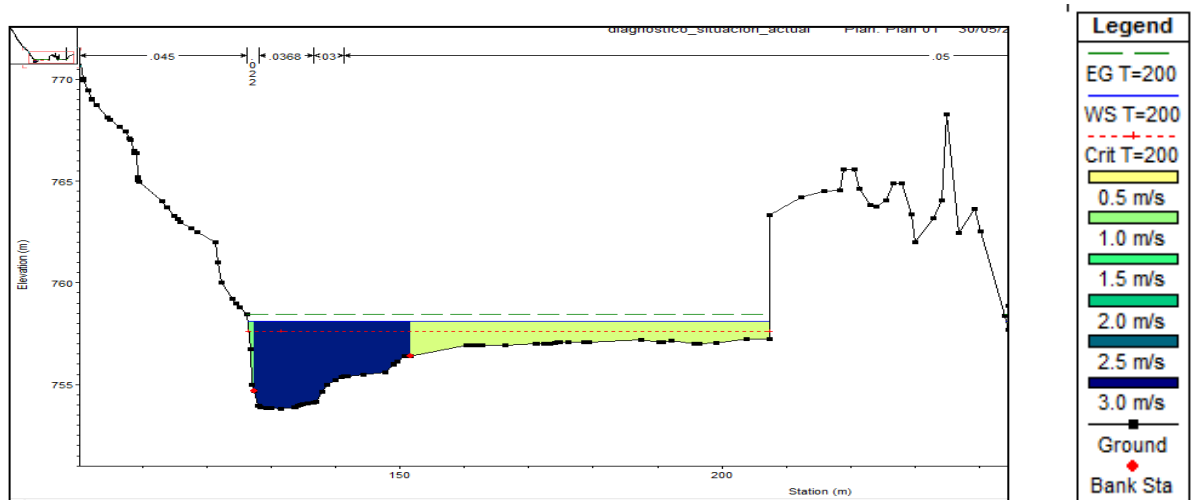


Figura 6.6. Distribución de velocidades en la sección 1512.932

A esto hay que añadir que el régimen de funcionamiento hidráulico es inestable, con continuos cambios de supercrítico a subcrítico, con aparición de resaltos hidráulicos.

Para analizar el comportamiento hidráulico, se va a tener en cuenta el tipo de riesgo de la avenida extraordinaria. Este tipo de riesgo se analiza mediante el calado y la velocidad, dividiéndose en alto y moderado, como se muestra en la figura siguiente:

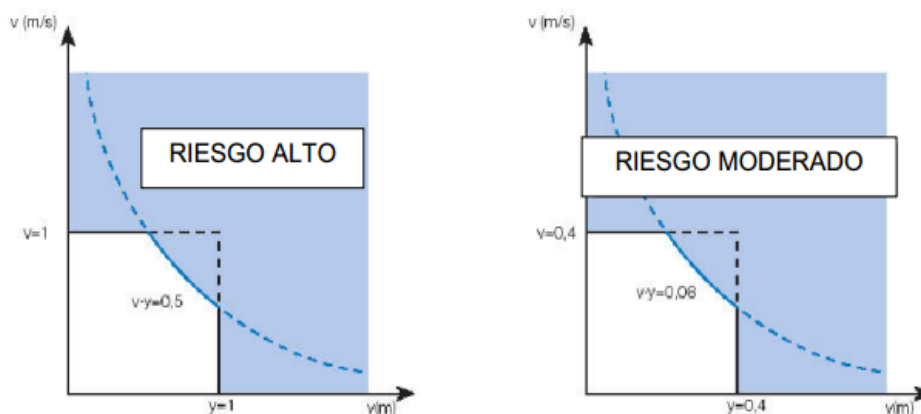


Figura 6.7. Determinación del riesgo de la avenida

Con los resultados expuestos, se puede considerar un riesgo alto en la inundación del entorno.

6.4 CONCLUSIÓN

Teniendo en cuenta los resultados anteriores en cuanto a funcionamiento hidráulico y peligrosidad, y dada la actuación arquitectónica que se presenta en la Fábrica Giner, podemos considerar un riesgo que resulta altamente indeseable a las avenidas del Bergantes, reafirmando la necesidad de actuar, desde el punto de vista de la ingeniería fluvial, si se quiere garantizar un umbral de protección de 200 años de periodo de retorno.

CAPÍTULO VII. ESTUDIO DE SOLUCIONES

7.1. INTRODUCCIÓN

Después de analizar la situación actual del sistema fluvial, así como la problemática asociada a esta situación, es necesario definir el conjunto de actuaciones de ingeniería fluvial para mejorar el comportamiento hidráulico del tramo del río Bergantes de estudio.

Mediante el presente estudio de soluciones se pretende analizar diferentes alternativas para el diseño de encauzamiento, abarcando tanto lo que se refiere a las variables morfológicas óptimas del cauce, como el tipo de revestimiento o protección, siendo el principal objetivo, el de conseguir que el comportamiento del cauce sea adecuado, desde el punto de vista tanto hidráulico como ambiental.

Un aspecto muy importante, es que, en todas las actuaciones se planteará la restitución del cauce de aguas bajas, para así evitar la variación del régimen de corrientes, en los periodos en los que no hayan avenidas extraordinarias.

El alcance de este estudio abarca tanto puntos de vista hidráulicos, como ambientales y económicos.

7.2. CONDICIONANTES PARA EL DISEÑO

Antes de proponer diferentes alternativas para hacer frente a los problemas planteados, es necesario tener en cuenta una serie de condicionantes. Estos se exponen a continuación.

7.2.1 Condicionantes ambientales

Los principales condicionantes ambientales que se extraen del análisis de los factores clave y que se encuentran detallados en el *Capítulo IV* se resumen a continuación.

Al diseño y funcionamiento de la solución propuesta

- Uso de materiales blandos para estabilización
- Geomalla y geoceldas para preservar la vegetación
- Sistema de estabilización (gaviones)
- No variación de niveles de agua ni calados sensiblemente
- Adecuación a la morfología natural del cauce

- Vertido de escollera más similar a la situación actual
- Perímetros de protección a especies prioritarias

A la fase de ejecución de la solución

- Desvío de caudal
- Trabajos en horario diurno
- Adaptación calendario de obra fuera del periodo reproductor de especies prioritarias

7.2.2. Condicionantes sociales

Se hace necesario que la actuación fluvial no interfiera con las actividades a lo largo del cauce y del entorno arquitectónico, como los paseos a caballo, el senderismo, etc. El momento en el que se deberá tener un cuidado especial con este condicionante será durante la fase de construcción.

También se tiene que tener en cuenta la integración paisajística, debido a las actuaciones arquitectónicas previstas, ya que una solución que provoque impacto visual afectará a toda la zona arquitectónica.

7.2.3 Condicionantes hidráulicos

El principal condicionante es el de resolver satisfactoriamente la insuficiencia de capacidad hidráulica del cauce.

Se va a garantizar, también, por un lado un régimen lento de funcionamiento en función del caudal de proyecto a lo largo de Morella Medio, mientras que por otro lado, se limitarán las tensiones y las velocidades para asegurar un buen funcionamiento de los recubrimientos escogidos.

7.2.4. Condicionantes económicos

Al final se elige la solución, que cumpliendo todas las restricciones anteriores, sea lo más económica posible.

7.3. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS VIABLES

En el siguiente estudio, se proponen diferentes alternativas para solucionar la falta de capacidad hidráulica del cauce. A continuación, se propondrán diferentes revestimientos para lecho y márgenes.

7.3.1 Aumento de capacidad hidráulica

7.3.1.1. Alternativa 1: ampliación de la sección mediante la eliminación de barras y construcción de mota.

En esta primera alternativa se ha optado por perfilar las secciones del tramo de Morella Medio, eliminando las barras aluviales, y por tanto aumentando la sección. No se ha modificado los taludes de ambos márgenes, evitando por tanto la tala de árboles de la zona.

También se ha propuesto la contención de los flujos desbordantes mediante un pequeño dique longitudinal o mota, paralelo al cauce del río Bergantes, comenzando en el inicio del afluente *Margen Derecha* y terminando aguas abajo de *Morella Medio* (en el final de la fábrica). Este elemento de protección se ha diseñado con una altura máxima de aproximadamente un metro. Estas actuaciones se representan en la *figura 7.1*.

Mediante el modelado hidráulico, se puede observar (*figura 7.2*) como el agua es contenida, evitando por tanto la inundación en el entorno de la Fábrica. Sin embargo, el fallo de este elemento estructural, causaría efectos negativos, superiores a los que causaría la avenida extraordinaria, si no estuviera.

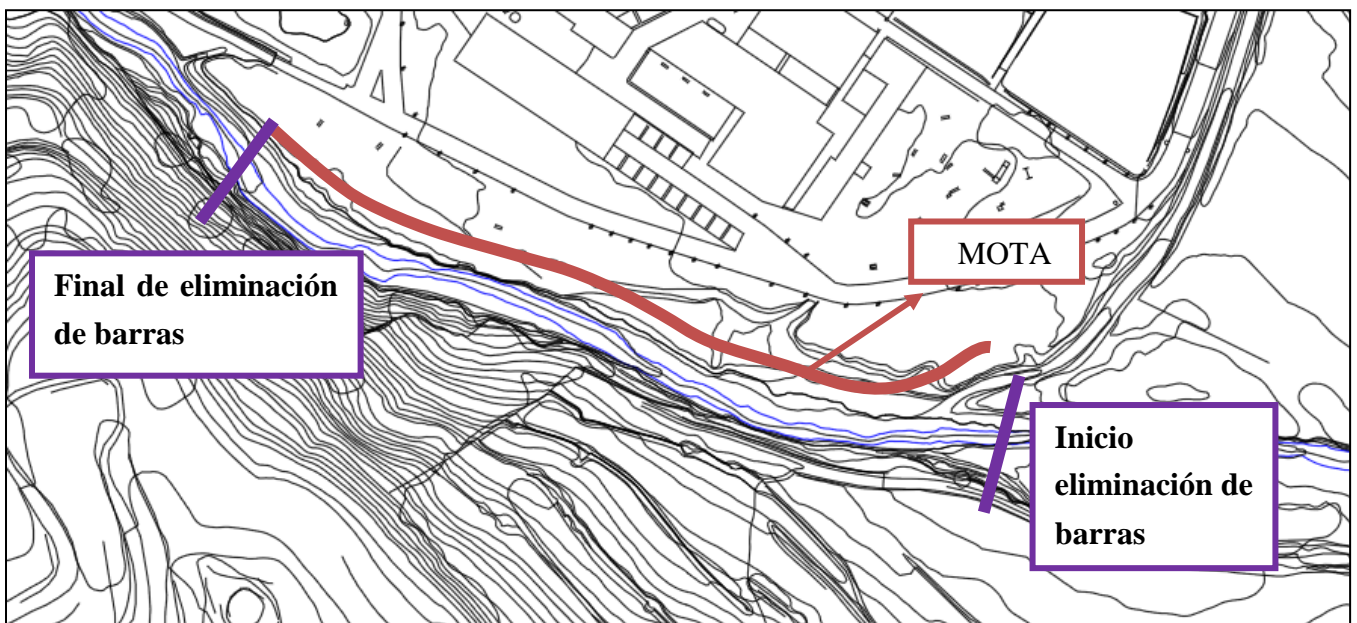


Figura 7.1. Esquema en planta de las actuaciones para la alternativa 1

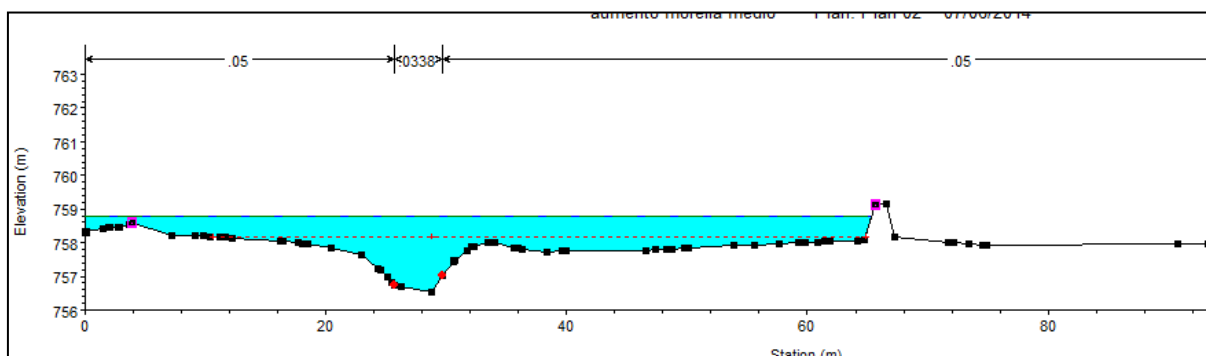


Figura 7.2. Sección transversal del afluente Margen Derecha en la confluencia.

Esta medida interfiere en el paisaje, ya que será un elemento estructural de hormigón, que tendrá que colocarse en la cercanía del cauce. Sin embargo, un aspecto positivo es que no sería necesaria la tala de árboles.

7.3.1.2. **Alternativa 2:** Ampliación de la sección transversal, tendido de talud 3H:1V en terreno natural y basculamiento de pendiente.

De una forma esquemática, se presentan las actuaciones que se plantean para esta alternativa, exponiendo a continuación la representación gráfica de esta en la *figura 7.3*:

- Un basculamiento de pendiente desde *RS 1418.074 a RS 1785.543* de 0.00435 m/m.
- Aumento de la sección transversal del cauce a lo largo de *Morella Medio*, manteniendo el talud natural del terreno en la margen izquierda, un talud de 3H:1V en la margen derecha y una anchura de lecho de 15 metros.
- Eliminación de las barras aluviales en los siguientes tramos:
 - *RS 1785.543 a RS 1626.672*
 - *RS 1418.074 a RS 1370.229*
- Sobreelevación en la rasante de 50 cm del camino que discurre entre el cauce del río y la Fábrica Giner. Esta medida complementaria de las anterior es muy importante, ya que actúa a modo de dique de contención, evitando el paso del agua hacia la zona de la fábrica.

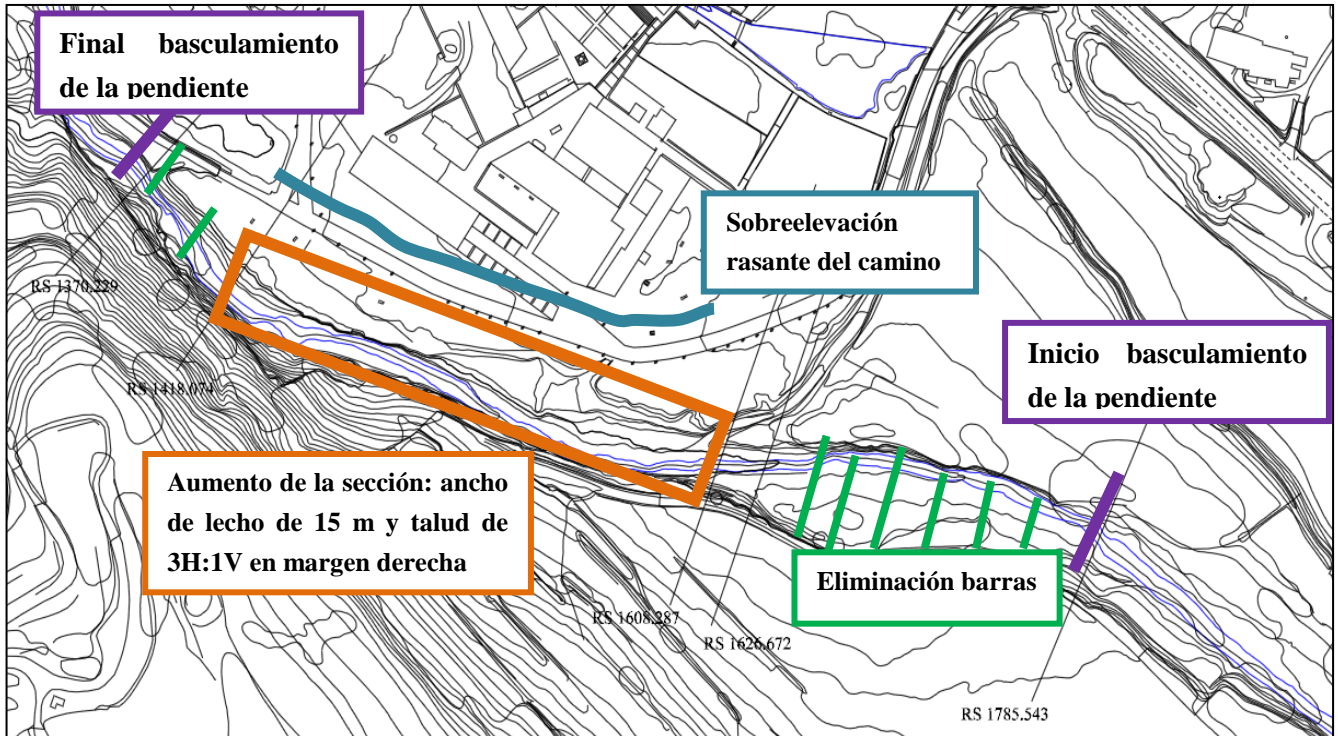


Figura 7.3. Esquema en planta de las actuaciones para la alternativa 2

En cuanto a los aspectos medioambientales, aunque esta alternativa es más agresiva que la primera, debido a que se hace necesaria la tala de un mayor número de árboles, el ancho del lecho no se duplica, y por tanto no se afecta en exceso a los calados en el cauce.

En cuanto al funcionamiento hidráulico, se puede observar como los calados y el área de inundación han disminuido notablemente, debido al aumento de sección (figuras 7.4 y 7.5),sin embargo en algunas zonas del entorno de la fábrica se alcanza el régimen rápido. Otro aspecto a tener en cuenta son las tensiones en lecho y márgenes, ya que son elevadas, superando en algunas secciones las tensiones críticas de inicio de movimiento, pudiendo producir inestabilidad en márgenes e incluso socavación y arrastre de materiales del lecho.

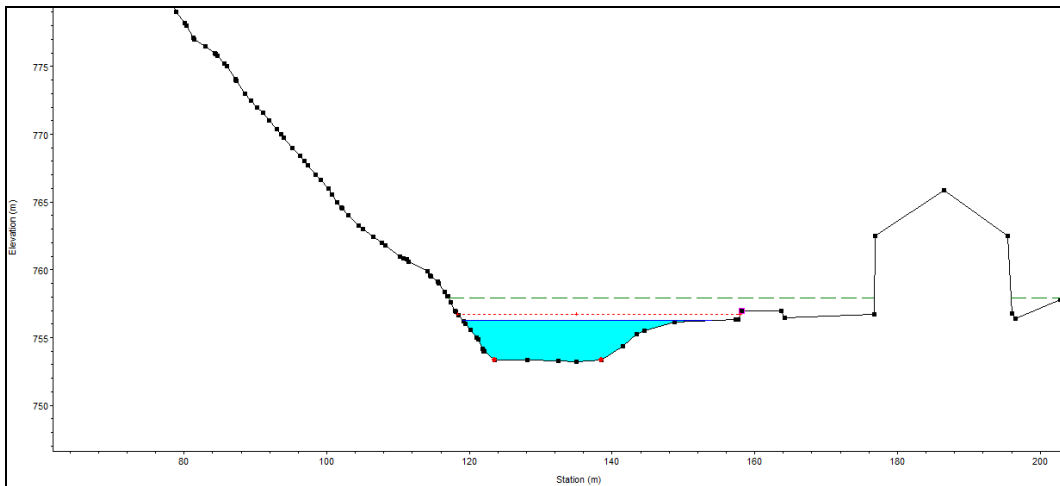


Figura 7.4. Sección transversal, tramo de Morella Medio

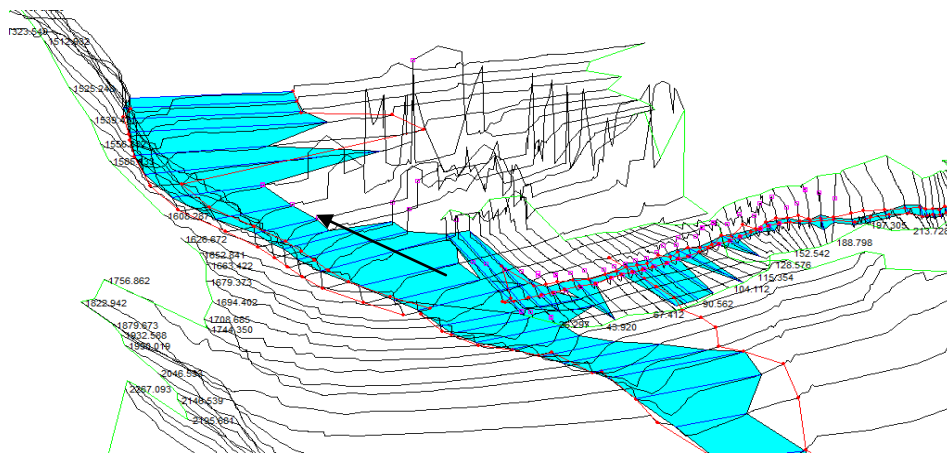


Figura 7.5. Área inundación

7.3.1.3. **Alternativa 3:** Ampliación de la sección transversal, tendido de talud 2H:1V en terreno natural y basculamiento de pendiente.

En esta última alternativa, se mantiene el basculamiento de pendiente de 0.00435 m/m, la eliminación de las barras aluviales y la sobreelevación de 50 cm del camino, en las mismas secciones que en la alternativa anterior.

Sin embargo, la anchura del cauce del tramo de Morella Medio será, en este caso, de 20 metros, adoptando un talud de la margen derecha de 2H:1V. En la *figura 7.6* se representa gráficamente estas actuaciones.

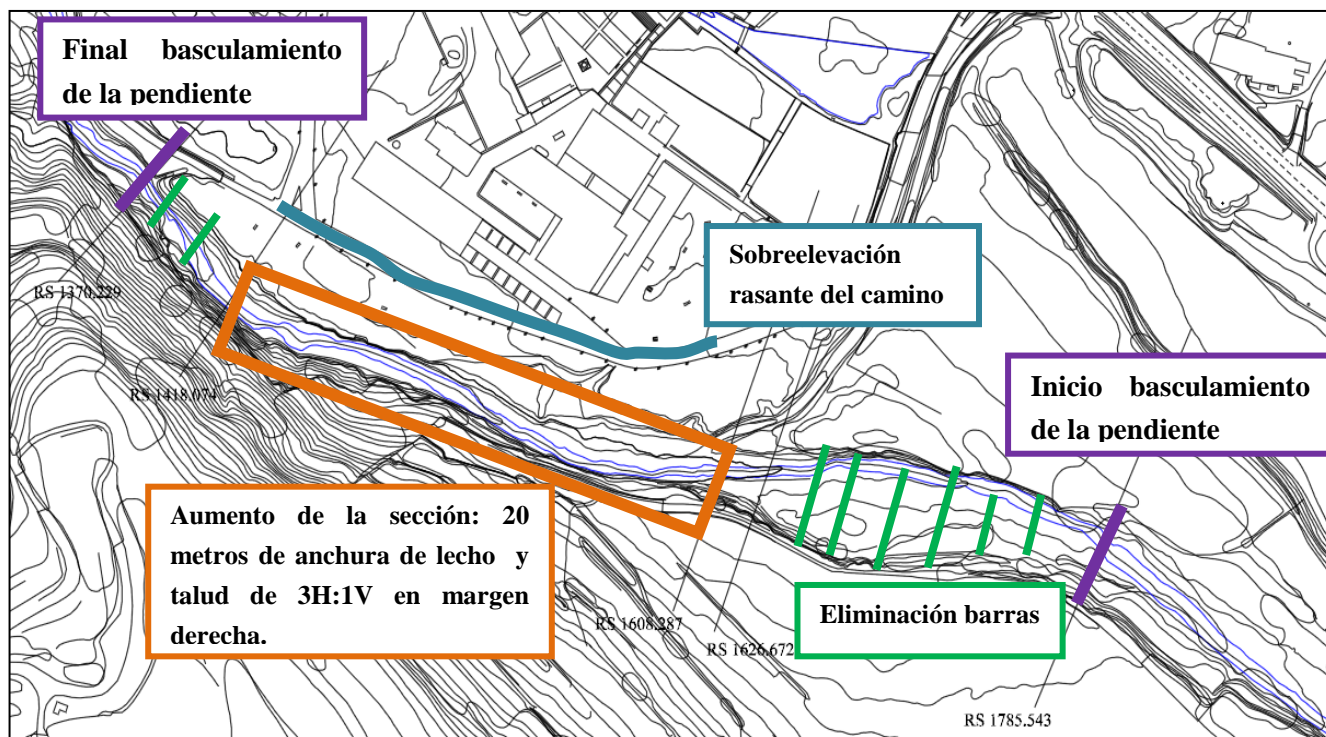


Figura 7.6. Esquema en planta de las actuaciones para la alternativa 3

En cuanto a los aspectos ambientales, esta alternativa cumple las restricciones antes descritas, sin embargo, en algunos tramos el ancho llega a ser casi el doble del ancho actual, encontrándonos en el límite de esta restricción.

El comportamiento hidráulico ha mejorado con respecto a la alternativa anterior, disminuyendo el área de inundación y los calados, como se muestra en las figuras 7.7 y 7.8.

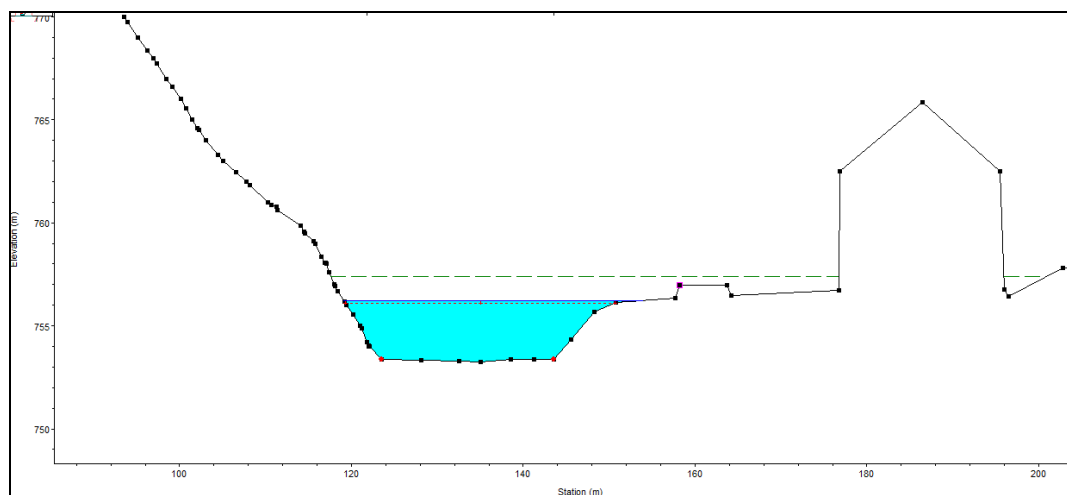


Figura 7.7. Sección transversal, tramo de Morella Medio.

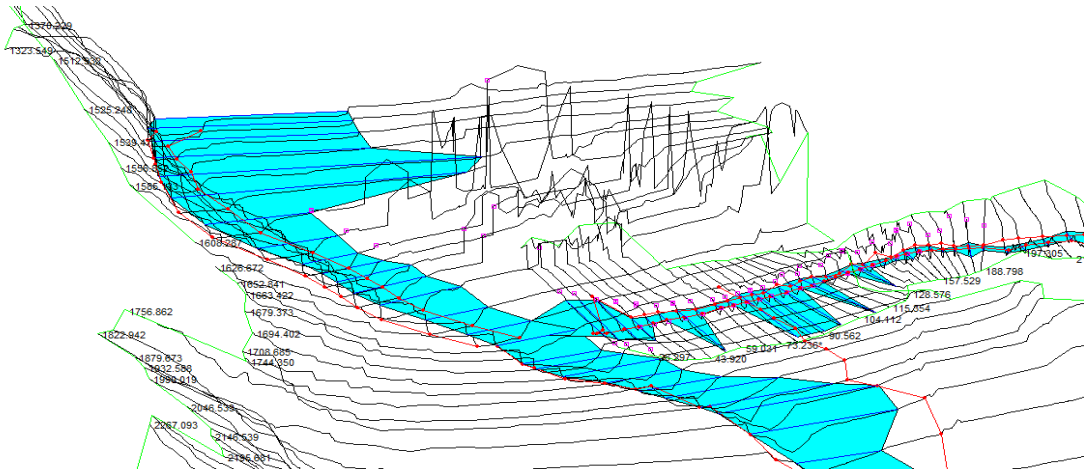


Figura 7.8. Área inundación

Ambas alternativas cumplen las limitaciones sociales, no afectando en exceso a las actividades que se realizan.

7.3.1.4. Selección de la solución óptima: análisis multicriterio

Para la elección de la alternativa más adecuada, de la forma más objetiva posible, se ha asignado a cada uno de los condicionantes una ponderación (*tabla 7.1*). A su vez, cada alternativa va a tener una nota numérica, siendo el máximo un 10 y el mínimo un 1, que representa el cumplimiento o no de estos condicionantes.

Multiplicando la ponderación de los condicionantes, por la nota asignada a cada alternativa y observando los resultados, obtendremos una nota final (*tabla 7.2*).

La alternativa con mejor nota será la que será considerada como la más adecuada, desde todos los puntos de vista, siendo por tanto, la solución propuesta para el aumento de la capacidad hidráulica del cauce.

Ponderaciones de los condicionantes	
C. hidráulicos	0.4
C. Sociales	0.2
C. ambientales	0.3
C. económicos	0.1

Tabla 7.1. Ponderación

	C. hidráulicos	C. Sociales	C. ambientales	C. económicos	Nota final
Alternativa 1	5	6	8	6	6.2
Alternativa 2	7	7	6	6	6.6
Alternativa 3	9	7	6	6	7.4

Tabla 7.2. Valoración de las alternativas

Como resultado, se concluye que para el aumento de capacidad hidráulica del tramo de estudio, se va a adoptar la alternativa 3, siendo ésta la óptima.

7.3.2. Análisis preliminar del tipo de revestimiento

A continuación se proponen una serie de medidas para la protección de lecho y márgenes, sin realizar un análisis exhaustivo, que se abordarán en el *Capítulo VIII*.

Estas medidas son las deducidas a partir del análisis de tensiones y velocidades alcanzadas por el flujo, obtenidas de la modelación hidráulica del cauce. Las bases teóricas de los tipos de revestimientos se adjuntan en el *Anejo IV. Estudio de soluciones*.

7.3.2.1. Protección del lecho

Para la protección del lecho se propone la utilización de escollera vertida, de diferentes tamaños en función de las tensiones tangenciales, encontrándose el rango de estos entre los 30 cm y los 55 cm.

Esta medida se deberá realizar a lo largo de todo *Morella Medio* y en las aguas bajas de *Morella Alto*, siendo en este último tramo unos tamaños de escollera mayores.

7.3.2.2. Protección del margen derecha

En *Morella Medio* se va a recurrir a la geomalla vegetada para su margen derecha, debido a que las velocidades no son muy elevadas en esta zona. A demás es un elemento de protección que causa muy poco impacto visual, adaptándose al medio.

En *Morella Alto* debido al aumento de velocidades, se propone la utilización de geoceldas vegetadas, produciendo éstas un mínimo impacto visual.

7.3.2.3. Protección la margen izquierda

En la margen izquierda se dispondrá, a lo largo de todo Morella Medio, un muro de gaviones, debido a los problemas de estabilidad de esta zona. Las razones de esta medida se exponen en el *Apéndice I.2. Informe SEG. Julio 2007.*

7.4. CONCLUSIONES

A continuación se presenta en forma de tabla la solución propuesta para el aumento de la capacidad hidráulica del cauce del Río Bergantes:

ZONA DE ACTUACIÓN	SECCIONES	SOLUCIONES PROPUESTAS
Morella Medio	1323.549-1626.672	<p>Se propone un aumento de sección, mediante la variación de la forma de este, aumentando el ancho del lecho, y realizando un talud en la margen derecha.</p> <p>También se ha proyectado un basculamiento de pendiente, adoptando esta un valor de 0.00435 m/m</p> <p>Por último, en cuanto a medidas para proteger el entorno de la fábrica frente a inundaciones, se ha tomado la decisión de elevar el camino 50 cm, actuando este como un elemento de protección.</p> <p>En cuanto a los recubrimientos, se considera suficiente la utilización de escollera vertida de diferentes tamaños en el lecho; un muro de gaviones en el margen izquierdo, y geomalla y geoceldas vegetadas en el margen derecho.</p>
Morella Alto	1626.672-1785.543	<p>En este tramo se ha rebajado la pendiente natural, adoptando esta un valor de 0.00435 m/m. Se ha perfilado las secciones transversales eliminando las barras aluviales.</p> <p>En cuanto a la protección del lecho se plantea el vertido de escollera a lo largo de todo este tramo.</p>

Tabla 7.3. Solución adoptada. Síntesis de actuaciones propuestas

CAPÍTULO VIII. ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

8.1. INTRODUCCIÓN

En el análisis de la situación actual se comprobó como el comportamiento hidráulico del cauce del río Bergantes en el entorno arquitectónico de la Fábrica Giner era inadecuado.

A lo largo del estudio de soluciones se han mostrado distintas alternativas para lograr combatir el problema, definiendo la geometría para cada una de ellas. Una vez definidas, se ha escogido mediante un análisis multicriterio la más adecuada, en función de los condicionantes estipulados.

En este capítulo se pretende detallar la solución de diseño que se propone para cada zona de actuación.

En el *Apéndice V.2. Resultados del análisis de la solución propuesta*, se expone con mayor detalle el análisis de los resultados obtenidos, así como la comprobación más exhaustiva del correcto funcionamiento del cauce del río Bergantes. En el *Anejo VI. Planos*, se representan de forma gráfica dichas actuaciones.

8.2. DEFINICIÓN DE LAS ACTUACIONES PROPUESTAS

En la zona de estudio ha sido necesario dotar al cauce de suficiente capacidad para trasegar la crecida de 200 años de periodo de retorno, cuyo caudal punta es de 314.023 m³/s evitando así las inundaciones en la Fábrica Giner.

La actuación propuesta contempla el basculamiento de pendiente a lo largo del tramo donde se han realizados las actuaciones fluviales, que comienza en la *RS 1418.074* hasta *RS 1785.543*.

Se planteará la reposición a su estado natural del cauce de aguas bajas, para así evitar la variación del régimen de corriente, en los periodos en los que no hallan avenidas extraordinarias.

A continuación se van a describir las medidas en Morella Medio y Morella Alto, que son los dos subtramos del río Bergantes donde se van a llevar a cabo las actuaciones fluviales.

8.2.1. Subtramo 1: Morella Medio

Para este subtramo se presentan, de forma esquemática, las siguientes actuaciones:

- Basculamiento de la pendiente aguas arriba de la sección *RS 1418.074* a *RS 1785.543* rebajándola hasta un valor de 0.00435 m/m.
- Aumento de sección de la *RS 1608.287* aguas arriba a *RS 1418.074* aguas abajo adoptando una forma trapezoidal de 20 metros de ancho en la base y un talud en la margen izquierda de 2H:1V.
- Sobreelevación de la rasante del camino interior, de 0.5 m, paralelo al río entre la confluencia con el afluente de la margen derecha y la sección de este camino con el que sale de la fábrica aguas abajo.
- Protección del lecho con escollera caliza vertida de Dm 0.45 m, en dos capas, entre las secciones *RS 1370.229* – *RS 1447.308*
- Protección del lecho con escollera caliza vertida de Dm 0.3 m en dos capas, entre las secciones *RS 1447.308* – *RS 1608.287*.
- De *RS 1418.074* – *RS 1608.287*, protección en margen derecha mediante revestimiento con geomalla vegetada.
- De *RS 1370.229* – *RS 1608.287*, protección en margen izquierda mediante muro de gaviones.
- Entre las secciones *RS 1608.287* y *1626.672*, se realizará una transición entre la sección trapecial propuesta, y el terreno natural, utilizando un tamaño de escollera vertida en el lecho de Dm 0.45 m.

A continuación se adjunta una figura explicativa, que representa las actuaciones realizadas.

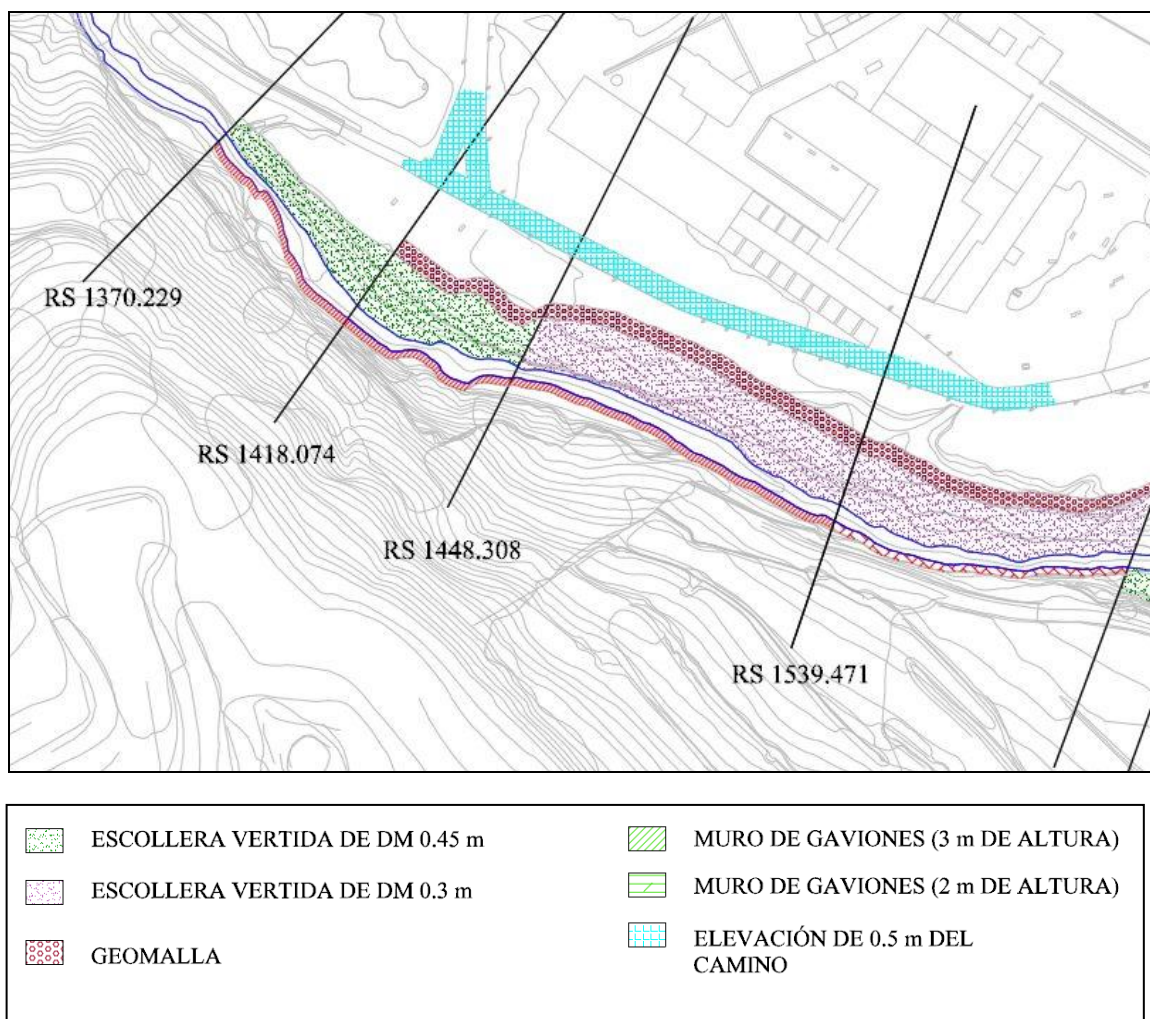


Figura 8.1 Planta de las actuaciones propuesta para el subtramo 1

8.2.2. Subtramo 2: Morella Alto

Para el subtramo 2, se presentan las siguientes actuaciones fluviales:

- Regularización de la sección transversal, reperfilado de taludes y eliminación de barras puntuales, entre las secciones *RS 1626.672* y *RS 1879.673*.
- *RS 1626.672 – RS 1785.543*: protección del lecho con escollera caliza vertida de Dm 0.45 m.
- *RS 1785.543– RS 1879.673*: protección del lecho con escollera caliza vertida de Dm 0.55 m.
- *RS 1626.672 a la RS 1785.543* protección de la margen derecha utilizando geoceldas vegetadas.

Se presenta a continuación la representación gráfica de las actuaciones propuestas:

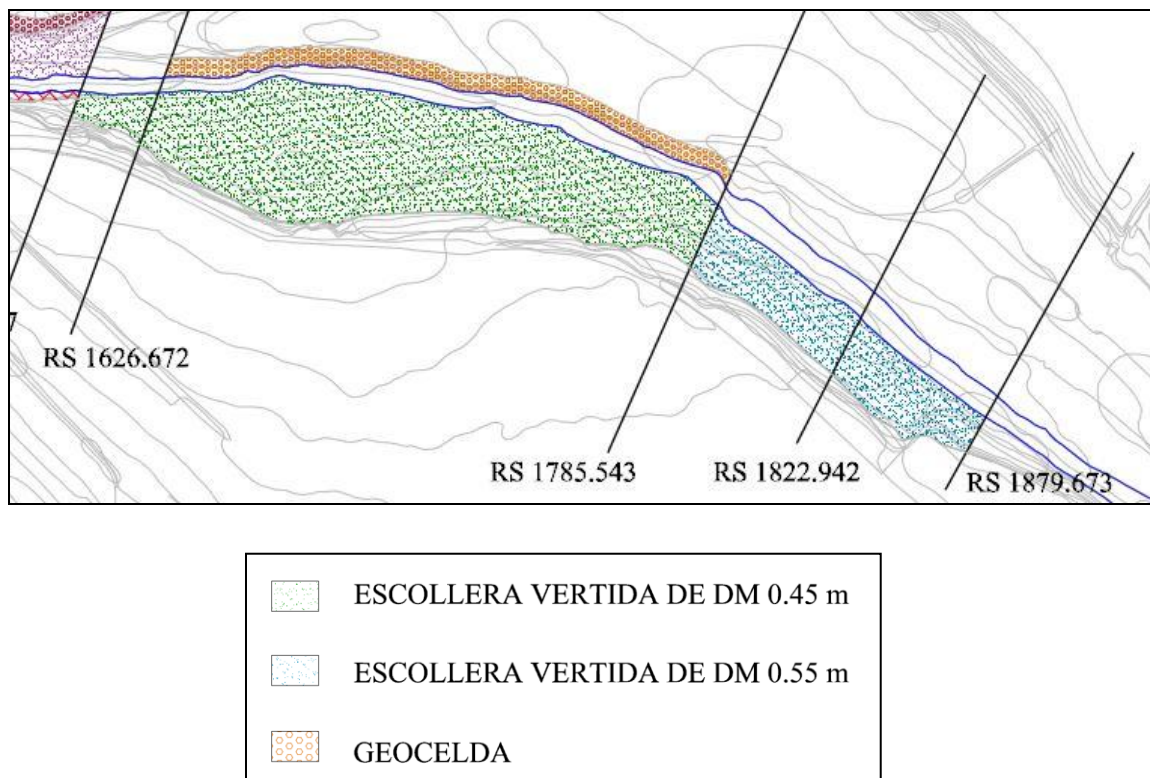


Figura 8.2 Planta de las actuaciones propuesta para el subtramo 2

8.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

En este epígrafe se evalúa, el comportamiento hidráulico ante la avenida extraordinaria de periodo de retorno de 200 años, en el cauce del río Bergantes, en el entorno de la Fábrica Giner.

Para ello se va a analizar este comportamiento para las dos situaciones más desfavorables:

En la primera de ellas se va a utilizar el caudal pico del cauce del río Bergantes y el caudal circulante por el afluente Margen Derecha, para ese mismo instante.

En la segunda se cogerá el caudal pico del afluente, mientras que el caudal del río Bergantes será el que circula por él en ese momento.

Deberemos tener en cuenta diferentes aspectos: régimen subcrítico del cauce, capacidad hidráulica, tensiones tangenciales y velocidades admisibles.

8.3.2. Escenario 1: Caudal punta de avenida de diseño en Río Bergantes

Una vez definida la solución expuesta en el apartado anterior, se ha comprobado los siguientes aspectos, para los caudales de avenida de esta primera situación:

- Capacidad hidráulica: se comprueba que el área de inundación no alcance el entorno arquitectónico de la Fábrica. Observamos mediante los resultados, expuestos en la *figura 8.3.* el correcto funcionamiento del cauce ante este problema.

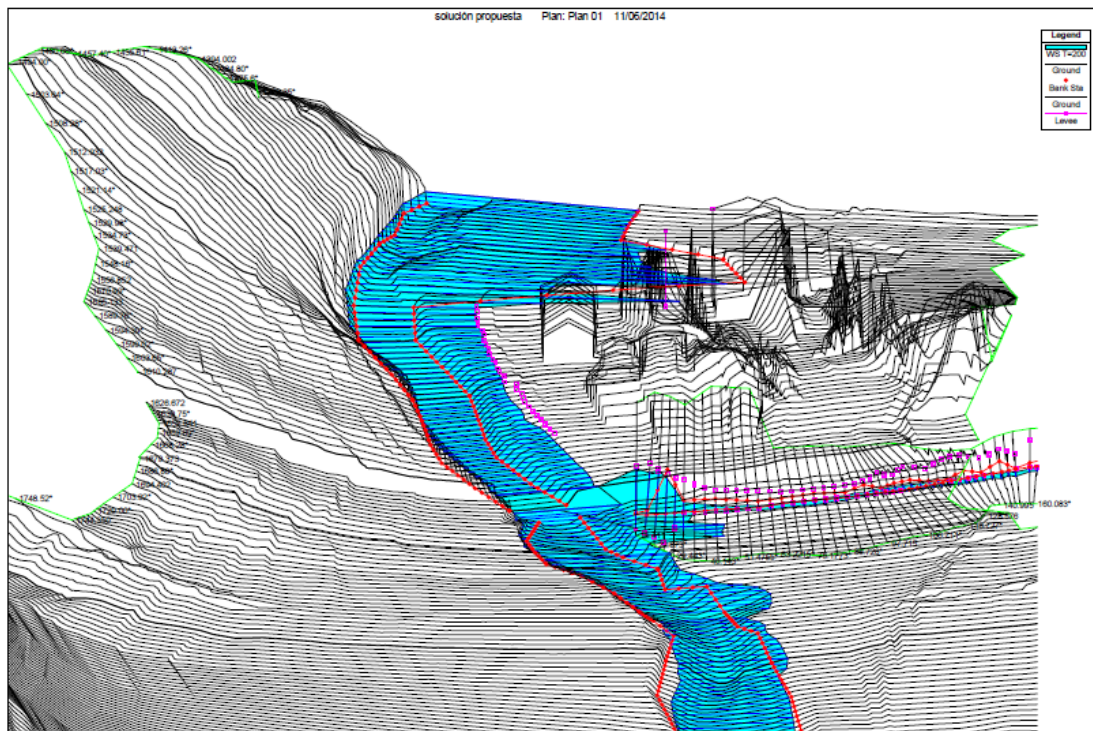


Figura 8.3. Área de inundación para el escenario 1

- Tensiones tangenciales y velocidades: comparando los resultados proporcionados por el *Hec-Ras*, con las tensiones tangenciales de inicio del movimiento, en el caso de escollera vertida, y las velocidades máximas admisibles, en el caso de los recubrimientos mediante geomalla, geoceldas y muro de gaviones. Ambas comparaciones han resultado satisfactorias, siendo estos valores inferiores a los límites impuestos, aun aplicándoles un factor de seguridad de 1.2.
- Régimen subcrítico general en el entorno de la Fábrica Giner. Mediante la representación longitudinal, se observa como se cumple esta condición.

8.3.2. Situación 2: Q_p del Afluente margen derecha

En este segundo análisis se ha realizado el mismo estudio que en la anterior, comparando y estudiando los valores de velocidad y tensiones tangenciales, y observando la capacidad hidráulica y el régimen subcrítico.

Como se puede observar en las siguientes figuras.

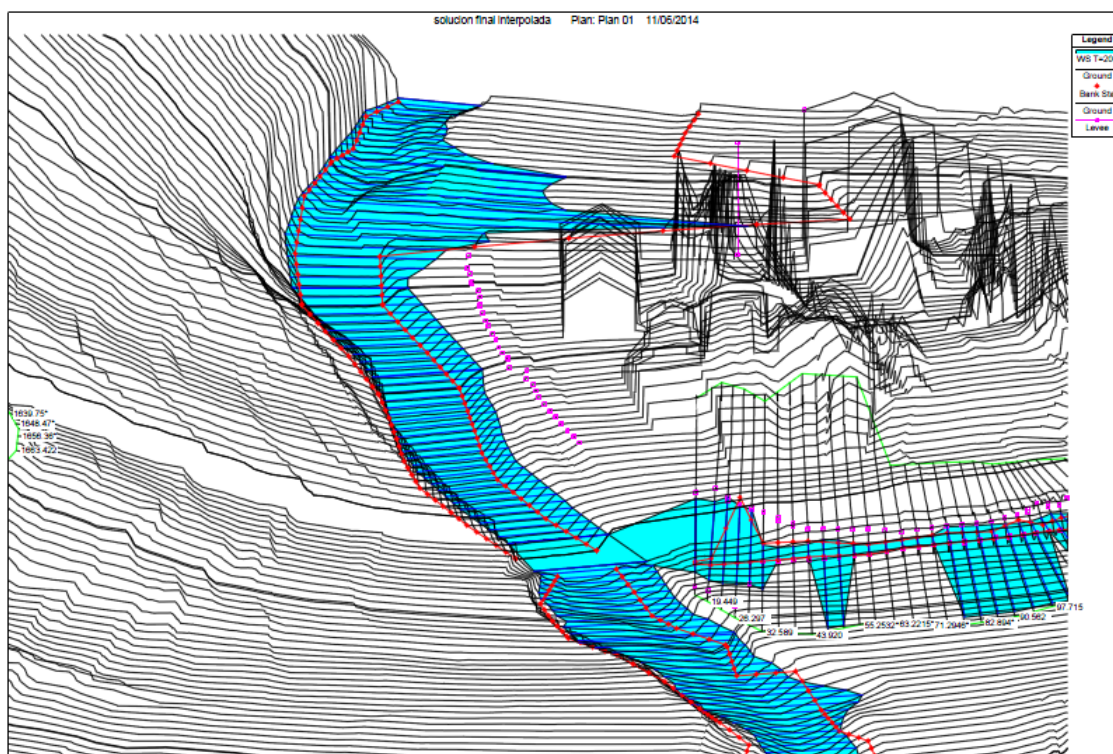


Figura 8.4. Área de inundación para el escenario 2

Mediante los mismos pasos que en el apartado anterior se observa que todos estos factores se cumplen las limitaciones estipuladas.

8.4. CONCLUSIÓN

A la vista de los resultados, que se han expuesto a lo largo de este capítulo, se puede afirmar que mediante esta solución los problemas fundamentales de falta de capacidad hidráulica estable, riesgo de inundación y erosión localizada están solventados. Además, se ha inducido un régimen subcrítico en el entorno de estudio, con lo que, siendo a su vez estables los revestimientos, se asegura un correcto funcionamiento del cauce en toda la zona de actuación.

En el Apéndice V.2. *Resultados del análisis de la solución propuesta* se exponen con más detalle, los resultados en forma de tablas.

CAPÍTULO IX. VALORACIÓN ECONÓMICA

La valoración económica que se va a realizar pretende ser una estimación aproximada del coste de las actuaciones descritas en el apartado 8.2. *Definición de las actuaciones propuestas*, para resolver el problema de inundaciones al que está expuesto el entorno de la Fábrica Giner. Esta estimación, que se basa en la cuantificación de las principales unidades de obra, queda completamente detallada en el Anejo VI. *Estimación del presupuesto de ejecución material*.

UO	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	PRECIO UNITARIO	PRESUPUESTO (€)
UO 1 m ³	Excavación	6760	3.15 €/m ³	21294
UO 2 m ³	Escollera vertida	4440	10.40 €/m ³	46181.2
UO 3 m ³	Material granular para filtro	1157	9.20 €/m ³	10644.4
UO 4 ud	Gavión 1x2x4 m	61	55.80 €/ud	3403.8
UO 5 ud	Gavión 1x1.5x4 m	61	48.90 €/ud	2982.9
UO 6 ud	Gavión 1x1x4 m	41	36.20 €/ud	1484.2
UO 7 m ²	Geomalla	950	3.20 €/m ²	3040
UO 8 m ²	Geoceldas	795	5.30 €/m ²	4213.5
				TOTAL 93244 €

Figura 9.1. Estimación presupuesto de ejecución material

Una vez realizados los correspondientes cálculos, se estima que el presupuesto de ejecución material calculado en base a las principales unidades de obra, asciende a NOVENTA Y TRES MIL EUROS.

Se puede concluir que el 50,5% del presupuesto corresponde la escollera vertida, el 24% a la excavación, el 12% al material granular necesario para el filtro, el 9% a los gaviones y el 4,5% a los materiales sintéticos propuestos para la protección de la margen derecha.

Los precios unitarios han sido obtenidos a partir de la base de datos del *PREOC 2014* (Precios de Edificación y Obra Civil en España) y de datos de catálogos comerciales de empresas dedicadas a la construcción.

CAPÍTULO X. CONCLUSIÓN

Durante el proceso de análisis de la situación actual del río Bergantes en las proximidades de la Fábrica Giner se detectaron una serie de deficiencias en el comportamiento hidráulico del mismo.

El objetivo del presente trabajo era encontrar un conjunto de actuaciones viables e integradas medioambientalmente que mejorasen dicho comportamiento hidráulico y defendieran y protegieran tanto al cauce como al entorno arquitectónico de la Fábrica Giner. Por otro lado, se pretendía solventar los problemas de erosión localizada en ambas márgenes, en especial en la margen izquierda debido a los problemas de inestabilidad de ladera existentes.

A la vista de los resultados obtenidos se puede afirmar que se obtiene una solución satisfactoria para la problemática planteada, es decir, se han solventado los problemas de falta de capacidad hidráulica estable, riesgo de inundación y erosión localizada. Además, se ha inducido un régimen subcrítico en el entorno de estudio asegurando un correcto funcionamiento del cauce en el toda la zona de actuación.

La solución propuesta, que finalmente queda definida para un umbral de protección estructural de 200 años, se ha realizado adecuándose a la geomorfología natural del cauce cumpliendo con las exigencias medioambientales del entorno puesto que este presenta una gran riqueza paisajística y ecológica.

Valencia, junio 2014

Fdo. Castejón Zapata, María

Fdo. Pérez Ciria, Teresa

Fdo. Tortajada Pérez, Roberto

CAPÍTULO XI. BIBLIOGRAFÍA

CHOW, V.T. (1984). Ed. MC-GRAW HILL. “Hidráulica de canales abiertos”.

CHOW, V.T., MAIDMENT, D., Y MAYS, L. (1987). Ed. MC-GRAW HILL. “Hidrología Aplicada”.

CALAVERA RUIZ (1987). INTEMAC. “Muros de Contención y de Sótano”.

ANTOLÍN TOMÁS, C. (1998): “El suelo como recurso natural de la Comunidad Valenciana”.

ANTOLÍN TOMÁS, C (1998): “Accesibilidad potencial a los recursos hídricos en la Comunidad Valenciana”.

EVREN, S.A. (1998). “Vulnerabilitat a la contaminació de les aigües subterrànies per activitats urbanístiques a la Comunitat Valenciana”

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO. [en línea].
<<http://www.chebro.es>> [Consulta: 15-04-2014]

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. [en línea]. <<http://www.magrama.gob.es>> [Consulta: 20-04-2014]

CONSELLERÍA DE INFRAESTRUCTURAS, TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE DE LA COMUNIDAD VALENCIANA. [en línea]. <<http://www.citma.gva.es>>. [Consulta: 01-05-2014]

BANCO DE DATOS DE BIODIVERSIDAD DE LA COMUNIDAD VALENCIANA. [en línea]. <<http://www.bdb.gva.es>>. [Consulta: 05-05-2014]

CONSELLERÍA DE EDUCACIÓN, CULTURA Y DEPORTE DE LA COMUNIDAD VALENCIANA. [en línea]. <<http://www.cece.gva.es>>. [Consulta: 06-05-2014]

VISOR WEB DE CARTOGRAFÍA DE LA CITMA. [en línea]. <cartoweb.cma.gva.es>. [Consulta: 08-05-2014]

VISOR WEB TERRASIT. [en línea]. <terrasit.gva.es> [Consulta: 10-05-2014]

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA. [en línea].

<<http://www.igme.es>> [Consulta: 11-05-2014]

SEO/BIRDLIFE. [en línea]. < <http://www.seio.org>> [Consulta: 25-05-2014]