



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



Trabajo Final de Grado

Grado en Ingeniería Civil

DISEÑO HIDRÁULICO Y CONSTRUCTIVO DEL ENCAUZAMIENTO DEL BARRANCO DELS MOLINS EN LA FONT DE LA FIGUERA (VALENCIA)

Autor: Guillermo Martínez López

Tutor: Juan Bautista Marco Segura

Curso 2016/2017

Valencia, junio de 2017



Diseño hidráulico y constructivo del encauzamiento del
barranco dels Molins en La Font de la Figuera (Valencia)





Agradecimientos

*A Juan Bautista Marco Segura, tutor
de este proyecto, por el consejo y la
ayuda necesarios para su realización.*

*A mi abuela, no hace falta
explicar por qué.*

*A Ana Pérez Torres, por su paciencia
y ayuda en las horas de mayor trabajo.*



Diseño hidráulico y constructivo del encauzamiento del
barranco dels Molins en La Font de la Figuera (Valencia)





ÍNDICE

DOCUMENTO Nº1. MEMORIA Y ANEJOS

MEMORIA

ANEJO Nº1. ESTUDIO DE SOLUCIONES

ANEJO Nº2. CÁLCULOS HIDRÁULICOS

ANEJO Nº3. VALORACIÓN ECONÓMICA

DOCUMENTO Nº2. PLANOS

1. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

2. PLANTA GENERAL

3.1. SECCIONES TIPO. TRAMO 1

3.2. SECCIONES TIPO. TRAMO 2

4.1. PLANTA. TRAMO URBANO

4.2. PLANTA. TRAMO EXTRAURBANO

5.1. PERFIL LONGITUDINAL I

5.2. PERFIL LONGITUDINAL II

5.3. PERFIL LONGITUDINAL III

5.4. PERFIL LONGITUDINAL IV

6.1. EMBOCADURA. PLANTA

6.2. EMBOCADURA. SECCIONES

6.3. CAÍDA BRUSCA

6.4. DISIPADOR DE ENERGÍA. PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL

6.5. DISIPADOR DE ENERGÍA. SECCIÓN



Diseño hidráulico y constructivo del encauzamiento del
barranco dels Molins en La Font de la Figuera (Valencia)





Diseño hidráulico y constructivo del encauzamiento del
barranco dels Molins en La Font de la Figuera (Valencia)



DOCUMENTO Nº1

MEMORIA Y ANEJOS



Diseño hidráulico y constructivo del encauzamiento del
barranco dels Molins en La Font de la Figuera (Valencia)





MEMORIA

Índice

1. Introducción.....	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Objetivo y alcance	6
1.3. Localización.....	6
2. Descripción de la zona de estudio	7
2.1. Evolución histórica	7
2.2. Situación actual del barranco dels Molins	12
2.2.1. Cárcavas iniciales	12
2.2.2. Encauzamiento urbano.....	13
2.2.3. Tramo final y disolución del barranco	16
2.3. Problemática y necesidad de actuación.....	17
3. Estudio de soluciones.....	18
3.1. Introducción.....	18
3.2. Condicionantes previos.....	18
3.2.1. Caudal de diseño	19
3.2.2. Elementos de interés patrimonial	19
3.2.3. Perfil longitudinal del terreno	21
3.2.4. Composición del terreno.....	21
3.3. Planteamiento de alternativas.....	23
3.4. Selección de la alternativa	23
3.5. Desarrollo de la alternativa escogida.....	25
4. Solución propuesta	26
4.1. Introducción.....	26
4.2. Tramo 1	26
4.2.1. Embocadura	28
4.2.2. Sección estándar.....	29
4.2.3. Caída brusca	30
4.2.4. Rápida de macrorrugosidad.....	31
4.2.5. Disipador de energía	32
4.3. Reincorporación del cauce antiguo.....	33
4.4. Tramo 2	34
4.4.1. Tramo 2A.....	35
4.4.2. Tramo 2B.....	35
4.4.3. Tramo 2C.....	36
4.4.4. Tramo 2D.....	36
4.5. Restitución de servidumbres	37
5. Proceso constructivo.....	38
5.1. Tramo 1	38
5.1.1. Embocaduras	38
5.1.2. Tramo bajo la calle Barranc.....	39
5.1.3. Caída brusca	40
5.1.4. Rápida de macrorrugosidad.....	41
5.1.5. Disipador de energía	41
5.2. Tramo 2	41
6. Valoración económica.....	42
7. Conclusiones	44

Índice de figuras

Fig. 1 - Vista aérea de la zona y sus infraestructuras en uso. FUENTE: Instituto Cartográfico Valenciano. .4	
Fig. 2 - Inicio de la zanja del ferrocarril que atraviesa la Foia de Manuel. FUENTE: Elaboración propia.....5	
Fig. 3 - Localización del barranco dels Molins. Arriba a la derecha, el río Cànyoles. FUENTE: Instituto Cartográfico Valenciano y Google Maps.7	
Fig. 4 - Zonas en riesgo de inundación en la Foia de Manuel. En amarillo el nivel de peligrosidad 6. FUENTE: PATRICOVA.8	
Fig. 5 - Vista aérea de la zona en los años 80, donde se puede observar la traza del ferrocarril. FUENTE: Fototeca Digital del Instituto Geográfico Nacional.9	
Fig. 6 - Canal de drenaje que conduce el agua hasta el barranco dels Molins. FUENTE: Juan B. Marco Segura10	
Fig. 7 - Cuencas del endorreísmo (naranja) y del barranco dels Molins (morado) antes de las obras de la autovía A-37 y la línea de alta velocidad Valencia - La Encina. FUENTE: Elaboración propia a partir de Google Maps.11	
Fig. 8 - Cuenca del barranco dels Molins (morado) y cuenca vertiente en la trinchera del ferrocarril (verde) tras las obras de la autovía A-37 y la línea de alta velocidad Valencia - La Encina. FUENTE: Elaboración propia a través de Google Maps.11	
Fig. 9 - Cárcavas del barranco dels Molins. FUENTE: Juan B. Marco Segura12	
Fig. 10 - Vista aérea del tramo urbano del barranco dels Molins. FUENTE: Google Maps.....13	
Fig. 11 - Embocadura y labio del encauzamiento urbano. FUENTE: Elaboración propia.14	
Fig. 12 - Tramo de mampostería colindante al Lavadero Municipal. FUENTE: Elaboración propia.14	
Fig. 13 - Tramo con cajeros de bloques de hormigón. FUENTE: Juan B. Marco Segura.15	
Fig. 14 - Conducto que cruza la carretera N-344 visto desde el norte. FUENTE: Juan B. Marco Segura16	
Fig. 15 - Cono de eyección. FUENTE: Juan B. Marco Segura.16	
Fig. 16 - Interior del Lavadero Municipal. FUENTE: Juan B. Marco Segura.19	
Fig. 17 - Elementos con interés patrimonial. En verde el inicio del cauce antiguo, en azul la balsa y en naranja los árboles más representativos. FUENTE: Elaboración propia a partir de Google Maps.....20	
Fig. 18 - Mapa Geológico Nacional de la zona de estudio. En azul el barranco dels Molins, incluyendo su prolongación hasta el río Cànyoles. En amarillo “conglomerados calcáreos rojos con matriz arcillosa” y en gris “cuaternario indiferenciado” . FUENTE: Instituto Geológico y Minero de España.22	
Fig. 19 - Conglomerados calcáreos rojos con matriz arcillosa. FUENTE: Elaboración propia.22	
Fig. 20 - Alternativa 2. En naranja los conductos y en azul el cauce antiguo. FUENTE: Elaboración propia a partir de Google Maps.24	
Fig. 21 - Zona urbana del tramo 1. FUENTE: Elaboración propia.27	
Fig. 22 - Planta de las embocaduras (cotas en metros). FUENTE: Elaboración propia.....28	
Fig. 23 - Sección estándar (cotas en metros). FUENTE: Elaboración propia.....30	
Fig. 24 - Sección transversal de la cámara de la caída brusca (cotas en metros). FUENTE: Elaboración propia.31	
Fig. 25 - Sección de la rápida de macrorrugosidad (cotas en metros). FUENTE: Elaboración propia.....32	
Fig. 26 - Planta y sección longitudinal del dissipador de energía (cotas en metros). FUENTE: Elaboración propia.33	
Fig. 27 – Vista en planta general del tramo 2. FUENTE: Elaboración propia.34	
Fig. 28 - Sección de los tramos 2A y 2B (cotas en metros). FUENTE: Elaboración propia.36	
Fig. 29 - Sección del tramo 2C (cotas en metros). FUENTE: Elaboración propia.36	
Fig. 30 - Sección del tramo 2D (cotas en metros). FUENTE: Elaboración propia.....37	
Fig. 31 - Reposición de servidumbres. En verde los caminos existentes, en azul los caminos necesarios y en rojo los puentes. FUENTE: Elaboración propia.....38	
Fig. 32 - Sección estándar durante su construcción bajo la calle Barranc. FUENTE: Elaboración propia...39	
Fig. 33 - Desnivel entre el parque y la calle Barranc. FUENTE: Elaboración propia.....40	

1. Introducción

1.1. Antecedentes

El presente proyecto tiene como objeto de estudio el barranco dels Molins a su paso por el municipio de La Font de la Figuera, en la provincia de Valencia. Se trata de un pequeño barranco que nace en la falda de la montaña del Capurutxo, junto al municipio de La Font de la Figuera, y que se pierde poco después de cruzar el casco urbano, dejando fluir libremente el agua hasta el río Cànyoles.

Debido a las características topográficas de la zona, el entorno que rodea la montaña del Capurutxo ha sufrido una fuerte antropización. El relieve favorable de la zona, ha convertido este punto en el paso ideal para conectar el Mediterráneo valenciano con la Meseta Ibérica, causando una concentración importante de obras lineales de transporte.



Fig. 1 - Vista aérea de la zona y sus infraestructuras en uso. FUENTE: Instituto Cartográfico Valenciano.

A las infraestructuras ferroviarias y carreteras ya en funcionamiento se les suman la autovía A-37 y la línea de alta velocidad Valencia – La Encina, las dos en construcción. La primera de ellas tiene como objetivo unir la A-35 con la A-31, ahorrando 15 km de trayecto entre Valencia y Alicante; mientras que la segunda forma parte del proyecto de alta velocidad levantino.

Sin embargo, ambas infraestructuras han alterado profundamente la morfología de la Foia de Manuel, un punto endorreico situado al sur de La Font de la Figuera cuya cuenca abarca gran parte de las montañas del Capurutxo y la Penya Foradada. Las excavaciones de la línea ferroviaria de alta velocidad están situadas en el centro de la Foia de Manuel, siendo necesario redirigir el caudal para evitar inundaciones en la traza ferroviaria.



Fig. 2 - Inicio de la zanja del ferrocarril que atraviesa la Foia de Manuel. FUENTE: Elaboración propia.

Junto con las obras de drenaje de la autovía A-37 se diseñó pues un canal que transportaba el caudal proveniente de la cuenca del punto endorreico hasta el barranco dels Molins, desviando así el agua hasta la cuenca del río Cànyoles.

Por desgracia, esta actuación quintuplica el caudal a soportar por el barranco dels Molins, y este no está preparado para recibir un caudal de esa magnitud, lo que ha provocado fuertes inundaciones en el casco urbano del municipio durante el último año.

1.2. Objetivo y alcance

El objetivo del proyecto es diseñar un encauzamiento en el barranco dels Molins capaz de conducir el nuevo caudal de retorno dado, alterando lo menor posible el entorno actual y aprovechando el encauzamiento existente.

El nuevo encauzamiento partirá desde la entrada del barranco en el casco urbano de La Font de la Figuera y terminará desembocando en el río Cànyoles. Podemos dividir las actuaciones en dos zonas con unas características bastante diferenciadas:

- Una zona urbana con un cauce en uso capaz de conducir $15 \text{ m}^3/\text{s}$. Se buscará encontrar un trazado alternativo que desvíe el exceso de caudal, manteniendo activo el cauce antiguo.
- Una zona extraurbana compuesta principalmente por campos de secano. Se requiere el diseño de un canal totalmente nuevo que conduzca el caudal total hasta el río Cànyoles.

Para todos los cálculos del proyecto se parte del caudal para un periodo de retorno de 500 años, obtenido del estudio hidrológico realizado por los profesores Juan Bautista Marco Segura y Vicente Bellver Jiménez. Dicho caudal es de $87,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

1.3. Localización

El barranco dels Molins está situado en la comarca de La Costera, en la provincia de Alicante. Nace en la falda de la montaña del Capurutxo y, tras cruzar el casco urbano de La Font de la Figuera, se disuelve, dejando fluir libremente el agua hasta el río Cànyoles.

El encauzamiento diseñado partirá de la entrada del barranco en la población y acabará en el río Cànyoles, varios cientos de metros al norte.



Fig. 3 - Localización del barranco dels Molins. Arriba a la derecha, el río Canyoles. FUENTE: Instituto Cartográfico Valenciano y Google Maps.

2. Descripción de la zona de estudio

2.1. Evolución histórica

Como se ha mencionado anteriormente, el entorno del municipio de La Font de la Figuera se ha visto fuertemente afectado por el paso de infraestructuras de comunicación. Desde finales del siglo pasado el número de obras ha ido creciendo rápidamente hasta el estado actual, alterando morfológicamente los terrenos que rodean las montañas del Capurutxo y la Peña Foradada.

En los últimos años, los nuevos proyectos han alterado a la Foia de Manuel, un punto endorreico que se sitúa entre la cuenca del río Canyoles, afluente del Júcar, y el Alto Vinalopó. La cuenca del endorreísmo se extiende 21 km² por los terrenos situados al sur de La Font de la Figuera, abarcando la ladera sur de las montañas del Capurutxo y la Peña Foradada y extendiéndose hasta la montaña de La Sella, al oeste. La depresión generaba una zona catalogada por la base de datos de PATRICOVA como zona con riesgo de inundación 6, siendo el 6 el menor nivel de peligrosidad.



Fig. 4 - Zonas en riesgo de inundación en la Foia de Manuel. En amarillo el nivel de peligrosidad 6. FUENTE: PATRICOVA.

El problema que trata el presente estudio está causado por la unión de gran parte de la cuenca del endorreísmo con la cuenca del barranco dels Molins. Ambas zonas estaban separadas de forma natural por un collado situado entre La Font de la Figuera y el Capurutxo. Sin embargo, la fuerte antropización de éste ha permitido que más de la mitad de la cuenca del punto endorreico caiga al valle del río Cànyoles, pasando por el barranco objeto de estudio. Es importante, por tanto, repasar la evolución de la morfología del collado y la Foia de Manuel a lo largo del tiempo para poder comprender la causa del problema.

La primera modificación del collado llevada a cabo por el hombre fue la construcción de una línea de ferrocarril a finales del siglo XIX. La obra conllevó la realización de la primera brecha en la formación, reduciendo la capacidad de almacenamiento del endorreísmo. Sin embargo, la capacidad de éste seguía siendo suficiente para almacenar los caudales de la cuenca. De hecho, no hay registradas inundaciones notables en La Font de la Figuera en los 100 años que se mantuvo esta situación, lo que prueban que la hidrología de la zona no se había visto muy afectada.



Fig. 5 - Vista aérea de la zona en los años 80, donde se puede observar la traza del ferrocarril. FUENTE: Fototeca Digital del Instituto Geográfico Nacional.

La situación en la zona de estudio se mantuvo relativamente estable hasta que en la primera década de este siglo se iniciaran las obras de la autovía A-37 y la línea de alta velocidad Valencia – La Encina.

En primer lugar, la construcción de la línea ferroviaria conllevaba la construcción de una zanja que uniera los túneles de La Font de la Figuera y La Encina. Dicha zanja cruza la zona más baja del endorreísmo, situándose por tanto en las zonas con riesgo de inundación marcadas por PETRICOVA. En caso de lluvia, las excavaciones de la obra actuarían pues como un sumidero, conduciendo los caudales a través del túnel de La Font de la Figuera hasta el valle del río Cànyoles. Estas inundaciones son inaceptables en una línea de alta velocidad ferroviaria, por lo que era necesario encontrar una solución.

Por otra parte, las obras de la autovía A-37 suponían una nueva alteración morfológica del collado que limitaba la cuenca del barranco dels Molins, reduciendo la capacidad del endorreísmo. Además, las obras de drenaje de la autovía no podían conducir el agua proveniente de las montañas de La Sella y el Capurutxo hacia el punto endorreico, ya que provocarían inundaciones en la línea ferroviaria. Se diseñó entonces un canal de drenaje paralelo a la autovía que conducía el agua de toda la mitad noroeste de la cuenca hasta el inicio del barranco dels Molins, ya en el valle del río Cànnyoles. Este barranco suponía el ensanchamiento de la brecha realizada en el collado, dejando a éste último en su estado actual.



Fig. 6 - Canal de drenaje que conduce el agua hasta el barranco dels Molins. FUENTE: Juan B. Marco Segura

Ambas obras de transporte han cambiado profundamente la hidrología de la zona, provocando cambios sustanciales en los caudales que recibe el barranco dels Molins. La cuenca de éste último pasó de 1 km² a más de 12 km². En las siguientes imágenes (Fig. 7 y Fig. 8) se pueden observar las cuencas hidrológicas antes y después de las obras comentadas. También se puede apreciar la desaparición de la barrera hidrológica que suponía el collado.

El resultado de estas alteraciones morfológicas se puede notar en una situación actual inestable, debido principalmente a las inundaciones frecuentes en la población de La Font de la Figuera, cuyo cauce no puede conducir el caudal que recibe.

Diseño hidráulico y constructivo del encauzamiento del barranco dels Molins en La Font de la Figuera (Valencia)

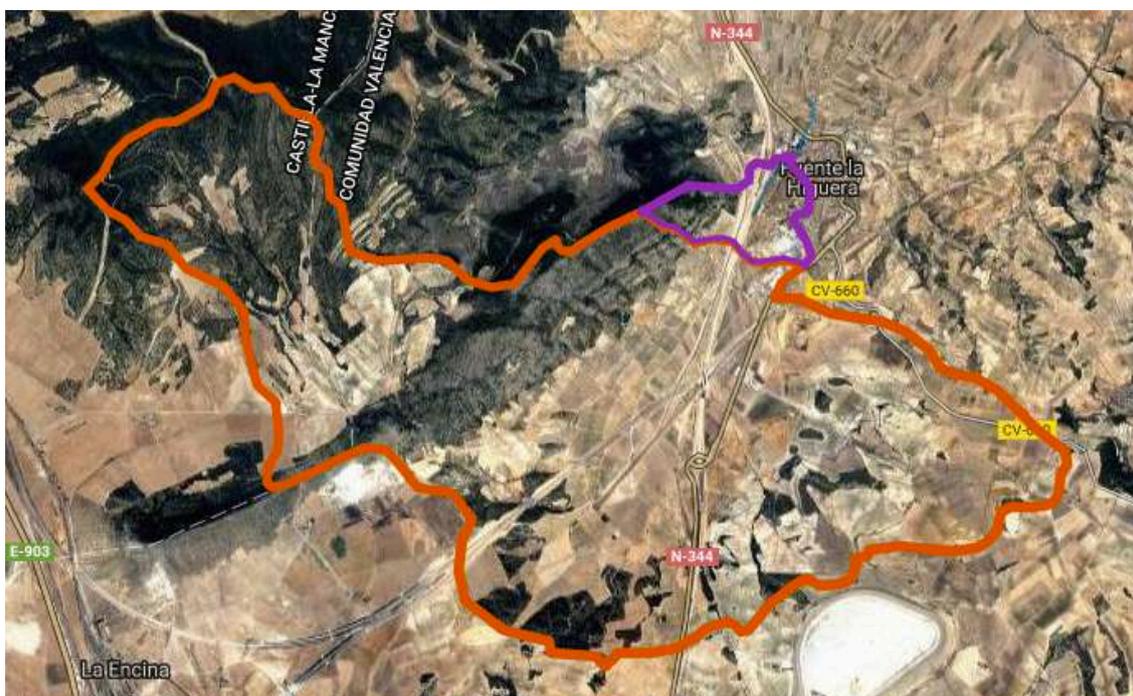


Fig. 7 - Cuencas del endorreísmo (naranja) y del barranco dels Molins (morado) antes de las obras de la autovía A-37 y la línea de alta velocidad Valencia - La Encina. FUENTE: Elaboración propia a partir de Google Maps.



Fig. 8 - Cuenca del barranco dels Molins (morado) y cuenca vertiente en la trinchera del ferrocarril (verde) tras las obras de la autovía A-37 y la línea de alta velocidad Valencia - La Encina. FUENTE: Elaboración propia a través de Google Maps.

2.2. Situación actual del barranco dels Molins

Se ha dividido el barranco dels Molins en tres tramos con unas características muy diferenciadas para facilitar su análisis. En primer lugar, encontramos las cárcavas iniciales causadas por la erosión de las avenidas. Más tarde, el tramo urbano, y por último, un tramo de campos de secano en el que el barranco se disuelve con un cono de eyección.

2.2.1. Cárcavas iniciales

El barranco dels Molins nace con una cárcava de erosión creada por las avenidas de agua de lluvia. Los manantiales secos de la zona han provocado que la formación sea débil, lo que ha facilitado su erosión. Se trata de un tramo de sección triangular con unos taludes 5V:2H y un desarrollo de 667 m que va aumentando de profundidad conforme se acerca al casco urbano de La Font de la Figuera. La pendiente media es de 6,57%.

Debido a su gran profundidad y características, el barranco es capaz de conducir el caudal para un periodo de retorno de 500 años, por lo que no será necesaria su adaptación.



Fig. 9 - Cárcavas del barranco dels Molins. FUENTE: Juan B. Marco Segura

2.2.2. Encauzamiento urbano

El tramo urbano discurre desde una embocadura al final de las cárcavas del barranco hasta la carretera N-344, que limita la población por el norte. Como podemos observar (Fig. 10), el punto más estrecho es el inicial, poco después de la embocadura. Una vez superado ese punto el encauzamiento discurre por una zona deprimida respecto al resto de población, cuyo uso actual es recreativo.

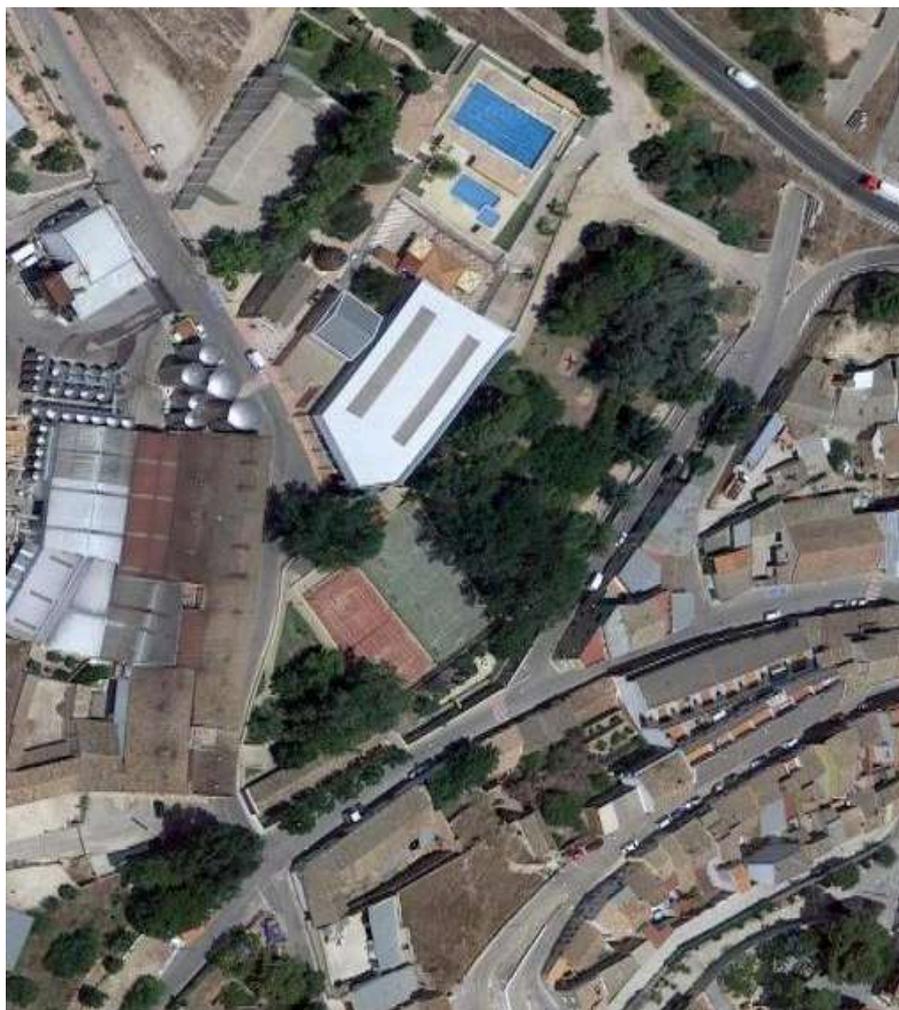


Fig. 10 - Vista aérea del tramo urbano del barranco dels Molins. FUENTE: Google Maps

La embocadura está situada entre la calle Portal de València y la travesía Barranc, poco antes del puente de arco de medio punto que utiliza la calle Barranc para cruzar el encauzamiento. Para pasar por debajo del puente hay un labio en solera a la cota 503,6 tras el cual, la solera baja hasta la cota 502.

Diseño hidráulico y constructivo del encauzamiento del barranco dels Molins en La Font de la Figuera (Valencia)



Fig. 11 - Embocadura y labio del encauzamiento urbano. FUENTE: Elaboración propia.

Después del puente se inicia un tramo de 87 m con una sección cuadrada de ancho 2,90 m que discurre por el borde derecho del área deprimida. El cajero del margen derecho es un muro de mampostería de 5 metros de altura, que salva el desnivel entre el encauzamiento y la calle Portal de València; mientras que el izquierdo es otro muro de mampostería de 2 m de altura que limita con el Lavadero Municipal, restaurado recientemente. Más adelante, tras cruzar otro puente de medio punto, el margen izquierdo limita con las pistas deportivas, que se sitúan sobre uno de los pocos manantiales activos que se conservan en la zona. La pendiente del tramo es del 3,4%.



Fig. 12 - Tramo de mampostería colindante al Lavadero Municipal. FUENTE: Elaboración propia.

Tanto el puente como el Lavadero Municipal y el propio encauzamiento hacen que la zona tenga un alto valor patrimonial. Sin embargo, resulta insuficiente para conducir el caudal de $87,8 \text{ m}^3/\text{s}$ que necesita evacuar. Es recomendable, por tanto, el diseño de un trazado alternativo, de forma que se pueda conducir el caudal requerido sin la necesidad de alterar la disposición del cauce antiguo.

Tras una transición de 33 m, el encauzamiento coge distancia con el muro de la calle Portal de València y se centra en el parque que ocupa esa zona de la depresión. La sección pasa a ser cuadrada de 4 m de ancho por 4 m de alto y los cajeros están realizados con bloques de hormigón. El desarrollo del tramo es de 112 m mientras que la pendiente longitudinal es del 4,55%. A pesar de que esta sección es más ancha que la anterior, se puede observar la fragilidad de los cajeros de bloques, que no serían capaces de soportar la velocidad necesaria para pasar el caudal de diseño por este tramo.

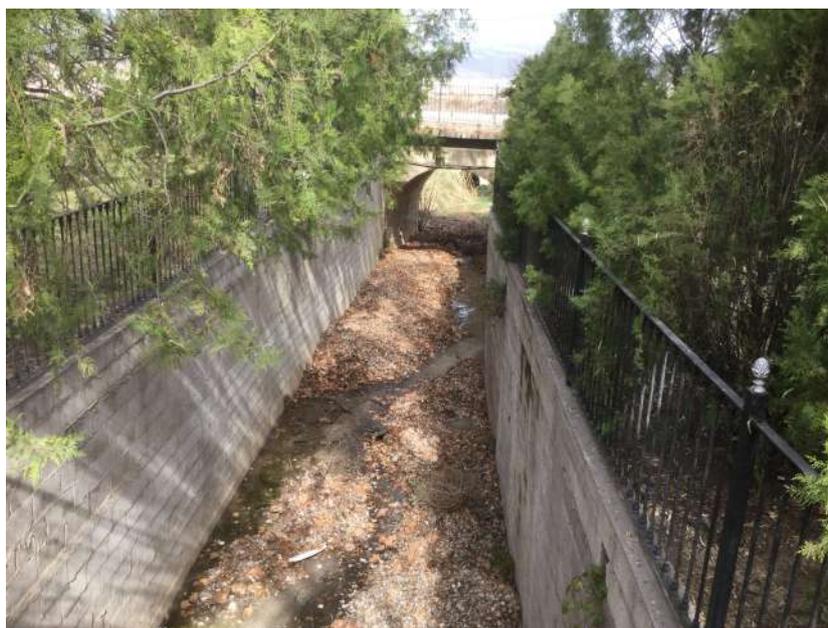


Fig. 13 - Tramo con cajeros de bloques de hormigón. FUENTE: Juan B. Marco Segura.

Por último, el encauzamiento cruza otro puente de medio punto con valor patrimonial antes de llegar a la carretera N-344. Entre la carretera y el puente no existe un canal constante, pero al ser una pequeña zona situada a menor cota que las zonas colindantes no existe riesgo de desbordamiento.

Para cruzar la carretera N-344 hay una tubería de hormigón de 2 m de diámetro. El punto inferior de la sección se encuentra a la cota 490. Evidentemente, este conducto es insuficiente para conducir el caudal de diseño, por lo que habrá que diseñar una forma paralela de cruzar la carretera o adaptar la existente.



Fig. 14 - Conducto que cruza la carretera N-344 visto desde el norte. FUENTE: Juan B. Marco Segura

2.2.3. Tramo final y disolución del barranco

Pasada la carretera N-344 el barranco dels Molins desemboca en un cono de eyección que va desapareciendo progresivamente hasta ser reutilizado como camino rural. Esto se debe a que, antes de los cambios hidrológicos provocados por las obras en la Foia de Manuel, el agua iba infiltrándose en el terreno conforme avanzaba y no llegaba un caudal significativo al final del cono. El ancho del tramo es variable y sus cajeros pasan de ser de 2 m de altura hasta desaparecer, mientras que la pendiente es del 2,97%.



Fig. 15 - Cono de eyección. FUENTE: Juan B. Marco Segura.

Una vez desaparecido el cauce hay 1 km de distancia hasta el río Cànyoles donde no hay un cauce marcado. El terreno, compuesto por arcillas y limos, está ocupado por campos de cultivo de secano y tiene una pendiente media del 1,67%. A pesar de que no hay edificaciones importantes, conviene diseñar un cauce nuevo para llevar el agua que no se ha podido infiltrar hasta el río, con el objetivo de no introducir el riesgo de inundación en territorios que no lo tienen.

2.3. Problemática y necesidad de actuación

Como se ha explicado en el apartado 2.1., las obras de la autovía A-37 y la línea de alta velocidad Valencia – La Encina han provocado que se quintuplicase el caudal de retorno a 500 años, causando desbordamientos en el casco urbano de la Font de la Figuera.

Se ha analizado el barranco en su estado actual para determinar los lugares en los que es necesaria una actuación para evitar los desbordamientos, con el objetivo de diseñar un encauzamiento capaz de conducir el nuevo caudal de 87,8 m³/s. En el apartado 2.2. se ha dividido el barranco dels Molins en tres tramos, los cuales comentamos a continuación.

El primer tramo, la cárcava de erosión donde nace el barranco, no requiere ninguna actuación, ya que no tiene otros usos del suelo y tiene una profundidad suficiente como para aceptar el caudal que se le aporta.

El encauzamiento del casco urbano, sin embargo, no tiene la capacidad suficiente como para conducir 87,8 m³/s. Se trata de un tramo con un alto valor patrimonial por lo que la solución adoptada no podrá ser una simple ampliación del cauce existente, ya que alteraría significativamente las construcciones de mampostería antiguas. Por otra parte, conviene mantener cierto caudal circulando por la traza antigua, para evitar que se convierta en un cauce seco.

Por último, el cono de eyección situado tras el cruce bajo la carretera N-344 ya no es suficiente como para que todo el caudal se infiltre en el suelo. Es por ello necesario el diseño de un nuevo cauce que conduzca el agua hasta el río Cànyoles.

En conclusión, se requiere el diseño de un encauzamiento alternativo al ya existente en el casco urbano de La Font de la Figuera para evacuar el incremento de caudal provocado por los cambios morfológicos del entorno, así como de un nuevo cauce que conduzca el agua desde el pueblo hasta el río Cànyoles. Se deberá prestar gran atención a las fuertes pendientes que caracterizan el tramo, diseñando los elementos disipadores de energía necesarios para adaptarse a ellas.

3. Estudio de soluciones

3.1. Introducción

El estudio de soluciones se muestra detalladamente en el “Anejo Nº1. Estudio de soluciones”. En él se justifica la elección de la solución final, exponiendo las soluciones descartadas. Sin embargo, para garantizar la continuidad de información en la memoria, se redactan a continuación los puntos más importantes de dicho anejo.

Como se ha explicado en el apartado 2., el barranco dels Molins puede dividirse en tres tramos con unas características muy diferentes, de los cuales solamente los dos últimos requieren una actuación. El encauzamiento se desarrollará pues desde la embocadura del cauce antiguo, en la entrada del barranco al casco urbano, hasta desembocar en el río Cànyoles, casi 2 km aguas abajo.

Se puede observar que las condiciones del último tramo, tras salir de la población, no tienen ninguna complicación especial. Se trata de una zona de campos de cultivo de secano sin edificaciones importantes y con una pendiente asequible, por lo que el diseño del encauzamiento no tiene ninguna dificultad.

El estudio de soluciones se ha centrado, por tanto, en buscar una alternativa viable para el tramo urbano. Una vez encontrada dicha alternativa, se puede proceder a diseñar el resto del cauce hasta el río Cànyoles, sabiendo el lugar final del tramo.

El proceso de concepción de la obra a su paso por La Font de la Figuera se inició con un planteamiento de tres alternativas que rápidamente se redujo a una, debido a las fuertes limitaciones que ofrecen los edificios colindantes y los elementos con interés patrimonial.

A partir de ese momento se procedió desarrollando la alternativa escogida hasta solucionar todos los problemas que podía tener. El proceso dio como resultado la solución redactada en el apartado 4.

3.2. Condicionantes previos

Para comprender el diseño final seleccionado para el encauzamiento, es necesario mencionar previamente los principales factores condicionantes de la obra. A continuación se explican uno a uno dichos factores.

3.2.1. Caudal de diseño

Para cumplir el Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención del riesgo de inundación en la Comunidad Valenciana (PATRICOVA), el encauzamiento deberá ser capaz de conducir el caudal para un periodo de retorno de 500 años. En el caso del barranco dels Molins dicho caudal tiene un valor de $87,8 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual ha sido obtenido del estudio hidrológico realizado por los profesores Juan Bautista Marco Segura y Vicente Bellver Jiménez.

Este caudal va a condicionar el diseño de toda la obra, pues se supone que es el caso más desfavorable que debe ser capaz de soportar.

Es importante mencionar también, que la capacidad del cauce antiguo se estima en $15 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que en el caso de optarse por un conducto que discurra en paralelo al trazado actual bastará con que este tenga una capacidad de $15 \text{ m}^3/\text{s}$ menor que el caudal de diseño.

3.2.2. Elementos de interés patrimonial

Se trata de una zona con un gran número de elementos con cierto interés patrimonial. En primer lugar, el inicio del cauce existente está formado por cajeros de mampostería antiguos y discurre en paralelo al Lavadero Municipal, restaurado recientemente. Un puente de medio punto de mampostería cruza el cauce en este tramo, lo que le añade todavía más interés patrimonial a la zona.



Fig. 16 - Interior del Lavadero Municipal. FUENTE: Juan B. Marco Segura.

Diseño hidráulico y constructivo del encauzamiento del barranco dels Molins en La Font de la Figuera (Valencia)

Por otra parte, encontramos la balsa situada debajo de las pistas deportivas. Se trata de uno de los pocos manantiales activos que quedan en la zona, y uno de los más grandes. Dicha balsa imposibilita que el encauzamiento pase por debajo de las pistas deportivas, limitando bastante los trazados posibles.

Por último, también hay algunos árboles autóctonos con una edad considerable distribuidos por la zona deprimida del casco urbano, los cuales convendría respetar. Dichos árboles no son tan importantes de conservar como los otros dos elementos, pero conviene tenerlos en cuenta para decidir entre varias soluciones.

El diseño del encauzamiento debe de tener un doble objetivo por lo tanto. En primer lugar, conducir el caudal de retorno a 500 años y en segundo lugar causar el menor impacto posible en el entorno de La Font de la Figuera. En la siguiente imagen (Fig. 17) se muestran los puntos que se deben intentar respetar en el diseño del encauzamiento.

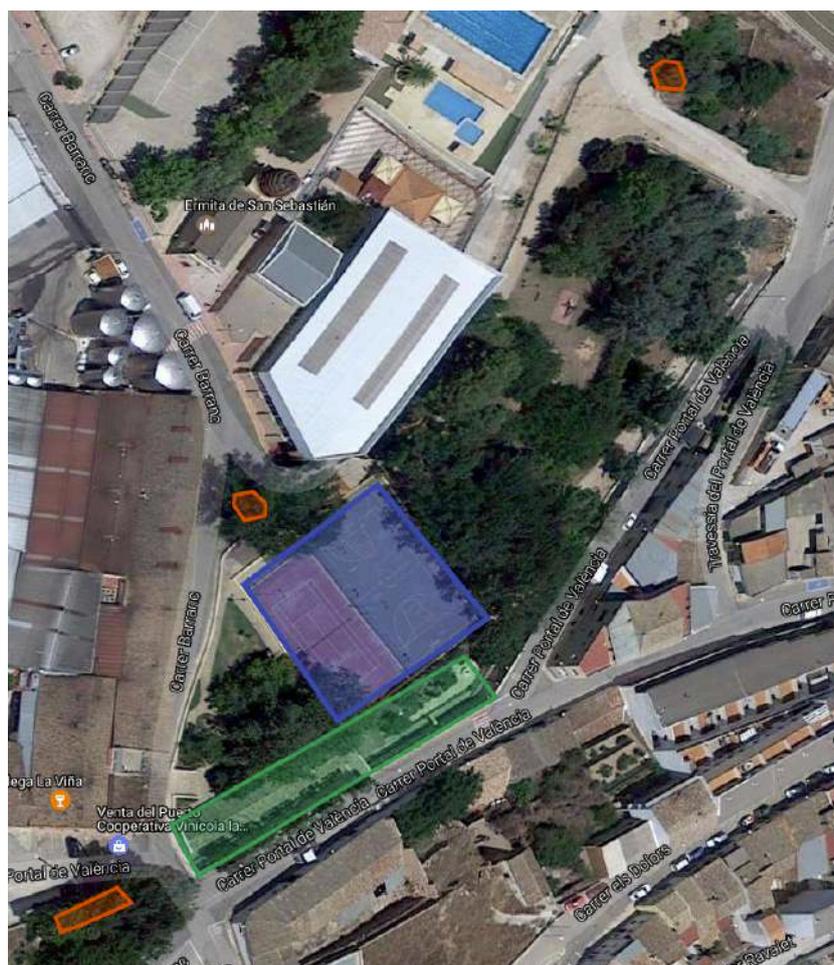


Fig. 17 - Elementos con interés patrimonial. En verde el inicio del cauce antiguo, en azul la balsa y en naranja los árboles más representativos. FUENTE: Elaboración propia a partir de Google Maps.

3.2.3. Perfil longitudinal del terreno

El perfil del terreno también es un tanto singular. Se trata de un tramo urbano con una pendiente considerable, del orden del 5% de media, por lo que se hace muy difícil llevar el caudal en régimen lento con secciones de hormigón. Por otra parte, no se puede conducir el caudal en régimen rápido debido a que en las curvas causaría un régimen incontrolado.

Es por tanto necesario el uso de elementos disipadores de energía a lo largo del trazado para poder adaptarse a las pendientes impuestas.

Dada la importancia del perfil longitudinal en este encauzamiento, es necesario considerar el perfil y el trazado en planta al mismo tiempo, ya que cada uno depende del otro. No es posible fijar primero el recorrido en planta, como en otros casos.

3.2.4. Composición del terreno

El barranco dels Molins se desarrolla en paralelo a la falla de la sierra del Capurutxo, lo que ha condicionado fuertemente la composición del terreno a lo largo de su historia. Los movimientos tectónicos han provocado la fracturación de las calizas de la zona, formando conglomerados calcáreos. La matriz, por su parte, está formada por arcillas en la gran mayoría del terreno.

Consultando el Mapa Geológico Nacional proporcionado por el Instituto Geológico y Minero de España (Fig. 18) se puede observar que el barranco objeto de estudio se encuentra entre dos zonas con diferente catalogación. En primer lugar, el tramo urbano del encauzamiento discurriría por conglomerados calcáreos rojos con matriz arcillosa (Fig. 19). En segundo lugar, desde unos 100 m al norte de la carretera N-344 hasta el río Cànyoles, la zona está catalogada como un terreno del cuaternario indiferenciado.

En el tramo urbano, por tanto, no existen dificultades adicionales a la hora de realizar los movimientos de tierras. Se trata de un terreno sin grandes empujes activos y con buena capacidad portante, por lo que puede albergar un encauzamiento subterráneo sin problemas. En cuanto a la zona extraurbana, a pesar de que también tiene unas buenas cualidades, no se requieren unas características del terreno especialmente buenas. Esto se debe a que, desde unos metros al norte de la carretera N-344 hasta el río Cànyoles, el encauzamiento discurre a cielo abierto y no necesita grandes profundidades de excavación o taludes muy verticales.

Diseño hidráulico y constructivo del encauzamiento del barranco dels Molins en La Font de la Figuera (Valencia)

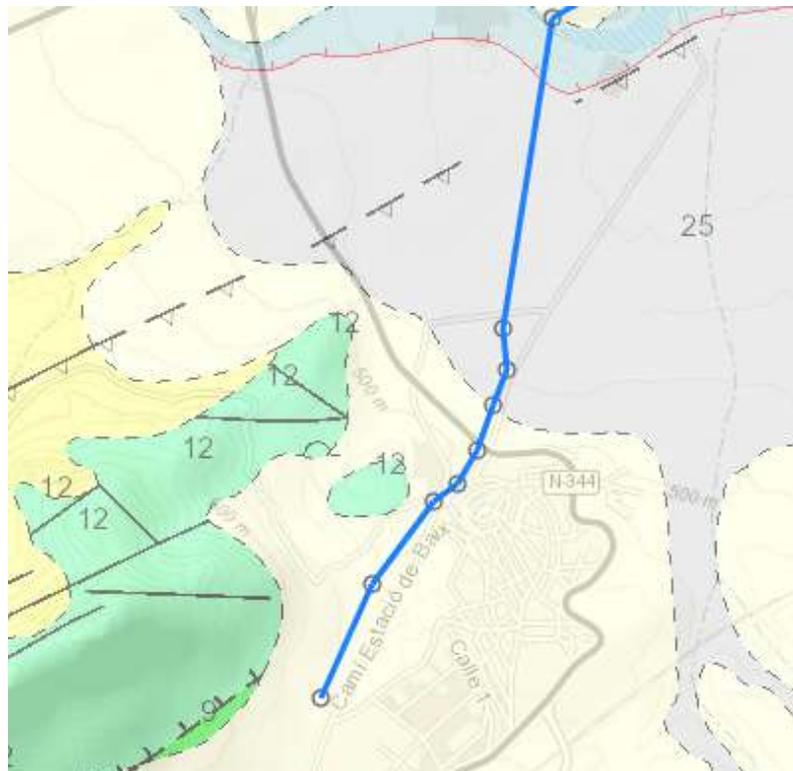


Fig. 18 - Mapa Geológico Nacional de la zona de estudio. En azul el barranco dels Molins, incluyendo su prolongación hasta el río Cànyoles. En amarillo “conglomerados calcáreos rojos con matriz arcillosa” y en gris “cuaternario indiferenciado”. FUENTE: Instituto Geológico y Minero de España.



Fig. 19 - Conglomerados calcáreos rojos con matriz arcillosa. FUENTE: Elaboración propia.

3.3. Planteamiento de alternativas

Como se ha comentado en el apartado 3.1., el proceso de búsqueda de una solución viable se inició planteando tres alternativas para solucionar el problema existente, las cuales se desarrolla en mayor profundidad en el “Anejo Nº1. Estudio de soluciones”:

- La primera alternativa consiste en adaptar el cauce ya existente para poder conducir los $87,8 \text{ m}^3/\text{s}$.
- La segunda, consiste en el diseño de dos conductos a presión de sección circular de poliéster reforzado con fibra de vidrio que parten desde la embocadura y desembocan en el tramo de sección cuadrada de bloques de hormigón, tras pasar los elementos con interés patrimonial.
- La tercera se trata de un conducto de lámina libre con una sección rectangular que rodea las pistas deportivas por el oeste y después se reincorpora al cauce original.

Sin embargo, debido a los condicionantes explicados anteriormente, estas alternativas se vieron rápidamente reducidas a una, la cual se ha ido desarrollando hasta llegar a la solución propuesta.

3.4. Selección de la alternativa

A continuación, se muestra un breve resumen del proceso de selección y desarrollo de la solución final escogida, realizado en el “Anejo Nº1. Estudio de soluciones”.

En primer lugar, para aplicar la primera alternativa es necesario adaptar el tramo paralelo al Lavadero Municipal. El ancho de la sección en este punto es de 2,9 m mientras que la altura del cajero del margen izquierdo es de 2 m. Por tanto, para que el agua no desbordase tendría que tener una velocidad de 15 m/s, que es del todo inaceptable. El agua entraría en régimen incontrolado en la siguiente esquina, lo que podría suponer desbordamientos y otros daños.

Para llevar a cabo esta solución será necesario entonces ensanchar el cauce. Como por el margen derecho no se puede ensanchar porque está el muro de 5 m de altura que separa el cauce de la calle Portal de València, se deberá ensanchar por el margen izquierdo. Esto último supondría derruir totalmente el Lavadero Municipal, lo que implicaría una gran pérdida patrimonial.

La primera alternativa es, por tanto, inaceptable.

En segundo lugar, la siguiente alternativa consiste en diseñar dos conductos en presión que salven el tramo inicial del cauce antiguo, reincorporándose en el tramo con sección cuadrada de 4 m de ancho, la cual es capaz de conducir el caudal de diseño. Cada uno de los conductos deberían conducir un caudal de $37 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que requieren un diámetro de 2,8 m.

El primer conducto discurre bajo la calzada de la calle Barranc hacia el noroeste y después se desvía hacia el norte para pasar entre las pistas deportivas y el edificio colindante, mientras que el segundo conducto discurre bajo la calle Portal de València bordeando el cauce antiguo durante 130 m (Fig. 20).



Fig. 20 - Alternativa 2. En naranja los conductos y en azul el cauce antiguo. FUENTE: Elaboración propia a partir de Google Maps.

El problema principal de esta alternativa es que el segundo conducto requiere un dissipador de energía helicoidal para salvar el desnivel existente entre la calle Portal de València y el tramo de sección cuadrada del cauce antiguo. Dicho dissipador de energía necesita unos encofrados especiales, lo que incrementaría considerablemente el coste de la obra. El diámetro de las tuberías impide la posibilidad de llevar los dos conductos en paralelo por el trazado del primero de ellos, pues la distancia entre el Lavadero Municipal y los edificios colindantes es insuficiente para ambos.

Además, las tuberías en presión necesitan entrar completamente en carga para no succionar aire, por lo que las profundidades de excavación serían ligeramente mayores que con un conducto en lámina libre. Esta alternativa sería, por tanto, viable pero no óptima.

Por último, la tercera alternativa es un canal de hormigón de sección rectangular que discurre también bajo la calle Barranc para rodear las pistas deportivas.

Una sección rectangular es capaz de llevar más volumen de agua que una circular para un mismo ancho por lo que tendría más holgura en la primera curva que una doble tubería. De esta forma, podemos llevar todo el caudal por el oeste de las pistas deportivas, evitando tener que hacer un dissipador de energía helicoidal. Además, una sección doble rectangular permite realizar giros con radios menores, algo necesario dadas las fuertes limitaciones de trazado que existen dentro del casco urbano de La Font de la Figuera.

La lámina libre, por su parte, no presenta problemas como las tuberías cuando tragan aire, y presenta más formas de disipar la energía durante el trayecto, como las rápidas de macrorrugosidad.

Podemos concluir entonces que, punto por punto, esta alternativa es mejor que la segunda.

3.5. Desarrollo de la alternativa y diseño del tramo extraurbano

Dada la morfología de la zona recreativa así como la distribución de sus elementos, no es posible encontrar un trazado en planta mejor, por lo que una vez elegida la alternativa, se fue desarrollando y adaptando el trazado en alzado al perfil longitudinal del terreno.

El primer diseño consistía en un cauce que alternaba rápidas de macrorrugosidad con tramos en régimen lento para poder realizar las curvas. Sin embargo, la primera rápida de seguridad suponía unas excavaciones de más de 10 m de profundidad en la calle Barranc, junto a los edificios. Era necesario, por tanto, diseñar una caída brusca de agua para adaptarse al gran desnivel de la zona oeste de las pistas deportivas

Por otra parte, se decidió prolongar la segunda rápida de macrorrugosidad hasta 75 m al norte de la carretera N-344, permitiendo así una mayor pérdida de energía.

Una vez concluido el diseño del tramo urbano se procedió a diseñar el cauce nuevo hasta el río Cànyoles. Se trata de un canal de escollera de sección trapezoidal sin ninguna complicación especial, aparte de la adaptación al perfil longitudinal, por lo que no fue necesaria la comparación de varias alternativas para llegar a la solución final.

La solución final obtenida se desarrolla a continuación, en el apartado 4.

4. Solución propuesta

4.1. Introducción

Atendiendo a las necesidades del barranco dels Molins comentadas anteriormente se ha diseñado una encauzamiento capaz de conducir el nuevo caudal de retorno a 500 años, cuyo valor es de $87,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Dicho encauzamiento parte de la embocadura del cauce antiguo y discurre subterráneamente rodeando las pistas deportivas por el oeste hasta pasar bajo la carretera N-344. A partir de ese punto el cauce discurrirá al descubierto hasta el río Cànyoles. Por razones de organización, se ha dividido la solución en tres tramos con unas características constructivas bastante diferentes:

- El tramo 1 se desarrolla en gran parte de su longitud por el casco urbano de La Font de la Figuera. Comienza en la embocadura y termina 75 m al norte de la carretera N-344, casi al final del antiguo cono de eyección, con un dissipador de energía de resalto. Todo este tramo de la obra es de hormigón armado. Se caracteriza por ser en su mayoría subterráneo y contener todas las obras singulares, que se comentarán más tarde.
- El tramo 2 se desarrolla desde el final del tramo 1, en el antiguo cono de eyección, hasta el río Cànyoles. Se trata de un cauce constituido en su mayoría por escollera, con varios cambios de pendiente para adaptarse al terreno.
- Por último, existe una pequeña parte de la obra que no se puede incluir en ninguno de los dos tramos anteriores. Se trata de una tubería que conecta el cauce antiguo con la parte final del dissipador de energía de resalto.

Como se ha mencionado en el anterior apartado, todo el proceso de selección y desarrollo de la alternativa finalmente elegida se detalla en el “Anejo Nº1. Estudio de soluciones”, por lo que este texto se centra simplemente en explicar la solución seleccionada en dicho anejo. Por otra parte, todos los cálculos que justifican las dimensiones de los elementos se encuentran redactados detalladamente en el “Anejo Nº2. Cálculos hidráulicos”.

4.2. Tramo 1

El tramo 1 comienza en la embocadura, que se ha tomado como PK 0+000.000, y acaba tras un dissipador de energía ya fuera del núcleo urbano, en el PK 0+351.100. Como se ha mencionado antes, se trata de un tramo de la obra hormigón armado y

subterráneo casi en su totalidad, y cuenta con varias obras singulares.

En la siguiente imagen (Fig. 21) se puede observar la parte urbana del tramo 1. En primer lugar, encontramos una embocadura para dividir el caudal que llega desde las cárcavas del barranco. Después, el trazado alternativo se dirige hacia el noroeste bajo la calle Barranc, donde se encuentra con una caída brusca situada junto a las pistas deportivas. Más tarde, el agua fluye por una rápida de macrorrugosidad que desciende y cruza la carretera N-344 para acabar en un dissipador de energía de resalto, que conecta con el tramo 2.



Fig. 21 - Zona urbana del tramo 1. FUENTE: Elaboración propia.

cauce. Esto último es algo importante a considerar, ya que conviene que circule agua por el cauce antiguo aunque circulen caudales más pequeños que el de retorno a 500 años.

La embocadura del nuevo encauzamiento se compone de una cámara de captación con otro labio con un perfil WES elíptico cubierto en forma de buzón. El labio se sitúa 0,4 m sobre la solera, quedando a una cota de 504,60, y tiene una longitud total de 16 m, divididos en 4 vanos separados por columnas circulares de 0,5 m de diámetro. La cámara tiene una longitud total de 17,5 m y una anchura de 8,21 m. La altura máxima es de 6,35 m, aunque se ha diseñado un perfil de solera que mantenga la altura de velocidad durante toda su longitud, evitando que la embocadura se anegue. La altura de la abertura sobre el labio es de 1,75 m, ligeramente mayor que la altura de energía de este.

Al final de la cámara de captación, la embocadura enlaza a la cota 500 con la sección estándar que se describirá a continuación. Se ha tomado este punto como el origen del nuevo encauzamiento, marcando el PK 0+000.000 de toda la obra nueva.

4.2.2. Sección estándar

Para los tramos de conexión entre obras singulares se ha diseñado una sección doble rectangular de hormigón armado. El objetivo principal de la sección es transportar el caudal en régimen lento, de forma que se puedan realizar curvas durante su trazado.

El encauzamiento se desarrolla con esta sección desde el PK 0+000.000 hasta el PK 0+098.400, conectando la embocadura con la caída brusca, y desde el PK 0+114.400 hasta el PK 0+136.500, conectando el cuenco de la caída brusca con la rápida de macrorrugosidad (Fig. 21).

Cada uno de los cauces rectangulares tiene un ancho de 2,5 m y un alto de 4 m, y están separados por un muro de hormigón armado con un grosor de 0,4 m. Se podría haber diseñado un muro más estrecho, pero la primera curva, 25 m después de la embocadura, es más cerrada de lo recomendable, por lo que el muro interior recibirá unos esfuerzos mayores debido a la fuerza centrífuga del agua. La pendiente tipo de la sección es del 0,5%, por lo que el calado normal será de 3,344 m y el crítico 2,816 m.

El techo de la sección está compuesto por losas prefabricadas de hormigón armado que apoyan sobre los muros laterales y el central. El resto del cuerpo de la sección es de hormigón armado (Fig. 23).

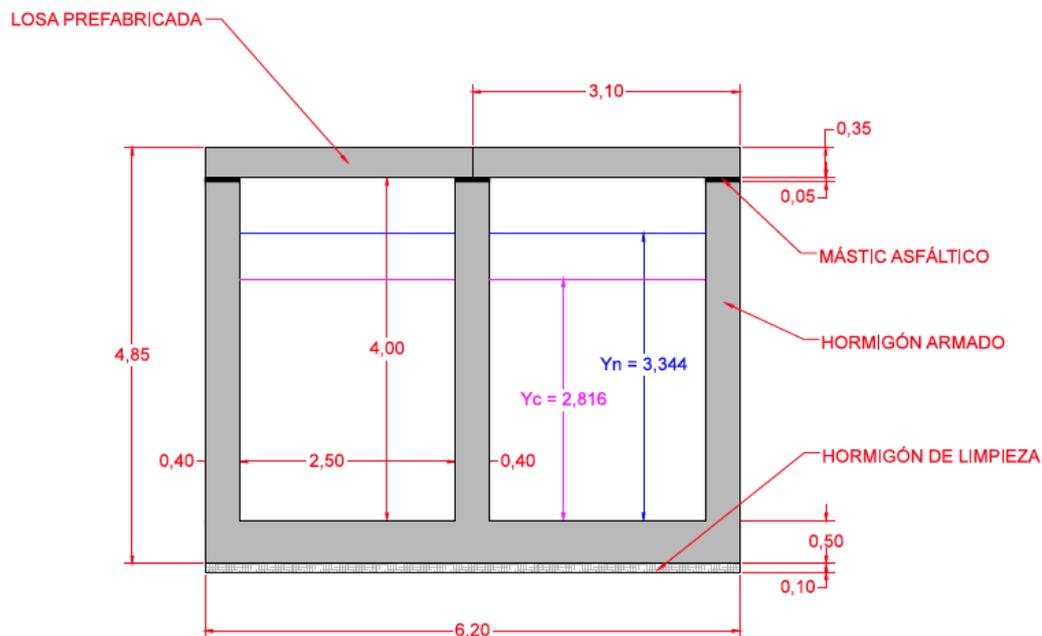


Fig. 23 - Sección estándar (cotas en metros). FUENTE: Elaboración propia.

4.2.3. Caída brusca

Entre el PK 0+098.400 y el PK 0+114.400 se ha diseñado un cuenco para contener un salto de agua. Esta caída intenta adaptar el perfil longitudinal de la obra con el perfil del terreno. Se podría haber ganado ese desnivel con una rápida de macrorrugosidad bajo la calle Barranc, pero habría supuesto unas excavaciones muy profundas a pocos metros de los edificios.

La cota de la solera en el canal de entrada es la 499,52 mientras que a la salida es la 496,87. Se trata por tanto de una caída de 2,65 m. Sin embargo, para contener el resalto hidráulico causado se realiza una sobrexcautación de 1,2 m, situando la solera del cámara a la cota 495,67 (Fig. 24). Por otra parte, la altura de la cámara será de 7,85 metros.

Para permitir que el aire entre bajo el salto de agua se ha ensanchado la sección medio metro por cada lado, quedando el ancho total de la cámara en 6,4 m. La longitud, por su parte, será de 16 m, la cual se justifica en el "Anejo Nº2. Cálculos hidráulicos".

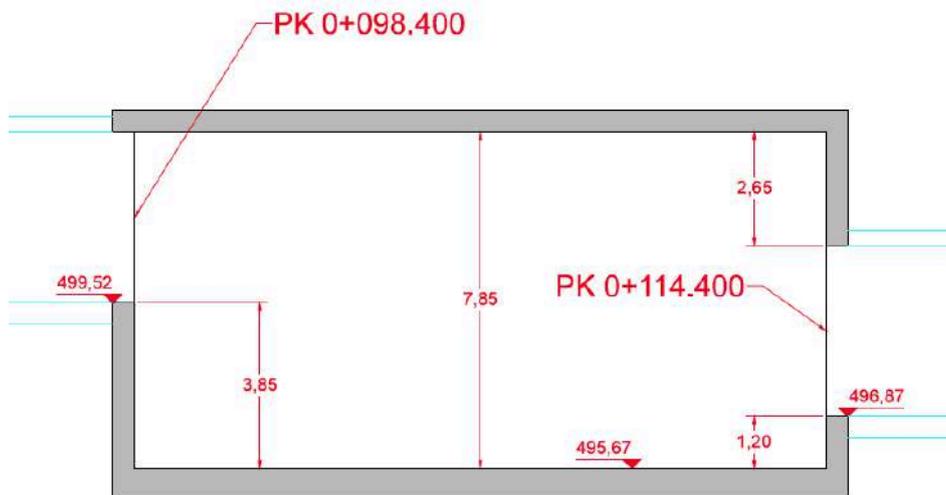


Fig. 24 - Sección transversal de la cámara de la caída brusca (cotas en metros). FUENTE: Elaboración propia.

4.2.4. Rápida de macrorrugosidad

Tras el salto de agua hay un tramo de 22,1 m de longitud con las características de la sección estándar hasta el PK 0+136.500, donde comienza la rápida de macrorrugosidad. Dicha rápida coge cierta profundidad para pasar por debajo de la carretera N-344 y concluye en el PK 0+312.100, donde comienza el dissipador de energía.

Durante toda su longitud la rápida tiene una sección rectangular de 4 m de altura por 5,4 m de anchura, manteniendo así las dimensiones de la sección estándar. No es necesario por tanto diseñar una transición entre ambos tramos. Se ha diseñado una sección única en vez de una doble debido a que, dada la pendiente y la forma de la solera de este tramo, las posibles reparaciones del conducto serían difíciles con un ancho de 2,5 m, como en la sección estándar.

Las macrorrugosidades serán dientes con una altura de 0,3 m que abarcan todo el ancho de la sección. Éstos tienen una forma triangular con una base de 0,75 m aguas arriba del vértice y 0,25 m aguas abajo. Entre dientes habrán placas de hormigón de 1 m de anchura, por lo que la distancia total entre ellos será de 2 m.

La pendiente longitudinal del tramo es del 5,59%, siendo entonces el calado normal de 2,5 m y el crítico 2,675 m. La sección tipo de este tramo es en su totalidad de hormigón armado, eliminando las losas prefabricadas usadas en la sección estándar.

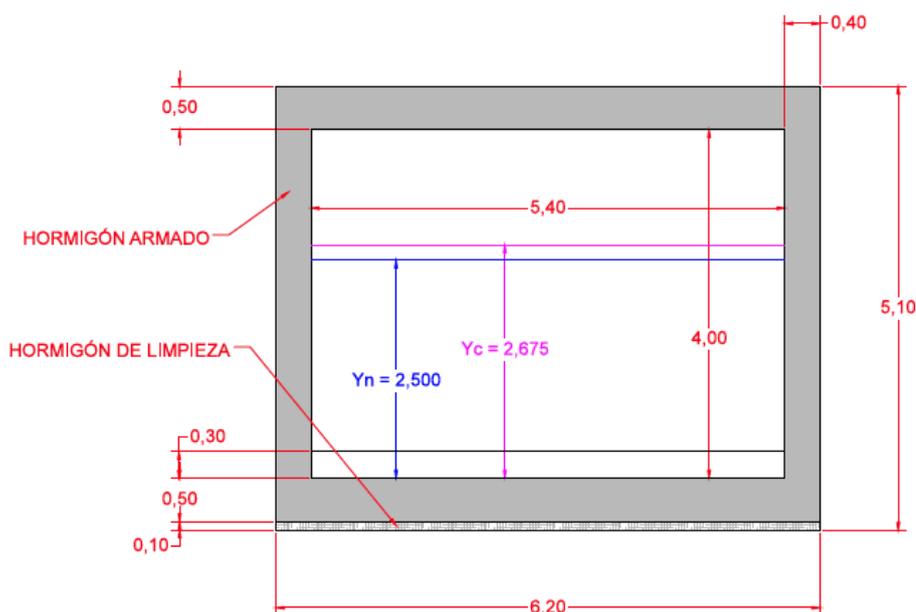


Fig. 25 - Sección de la rápida de macrorrugosidad (cotas en metros). FUENTE: Elaboración propia.

4.2.5. Disipador de energía

Entre el PK 0+312.100 y el PK 0+351.100 se ha diseñado un disipador de energía de resalto hidráulico. Dicho disipador se compone de dos partes: un ensanchamiento progresivo y un cuenco para el resalto. Ambas partes se encuentran a cielo abierto, a diferencia del resto del tramo 1.

En el punto final de la rápida de macrorrugosidad, a la cota 486,95, el agua tiene una energía específica de 4,031 m. A partir de ese punto la sección sufre un ensanchamiento progresivo durante 17 m, pasando de 5,4 m a 12 m de anchura. De esta manera, la apertura no supera el límite recomendable de 5:1. Además la cota de la solera baja 1,55 m durante el ensanchamiento, llegando a la cota 485,40. Una vez se ha alcanzado la anchura de 12 m se produce un escalón de 1 m de altura con una pendiente del 45%, cuyo objetivo es asegurar que el resalto hidráulico se produce en el cuenco que le sigue.

La solera del cuenco se encuentra en la cota 484,40, por lo que la energía específica al inicio de éste será de 6,581 m. Esta energía se corresponde en régimen rápido con un calado de 0,568 m, el cual tiene asociado un número de Froude de 4,6. Se producirá pues un resalto fuerte, que no requiere protecciones adicionales. El calado conjugado es de 3,422 m, con una energía de 3,588 m, mientras que la energía impuesta aguas abajo por el tramo 2 es de 2,621 m. Se ha diseñado pues un escalón a contrapendiente

de 1 m de altura, ligeramente mayor que la diferencia de alturas de energía, para contener al resalto dentro del cuenco.

La longitud del resalto es de 20,36 m, por lo que se ha adoptado una longitud de 21 m para el cuenco. El ancho es de 12 m en toda su longitud, mientras que la altura de los cajeros se ha diseñado en 4 m.

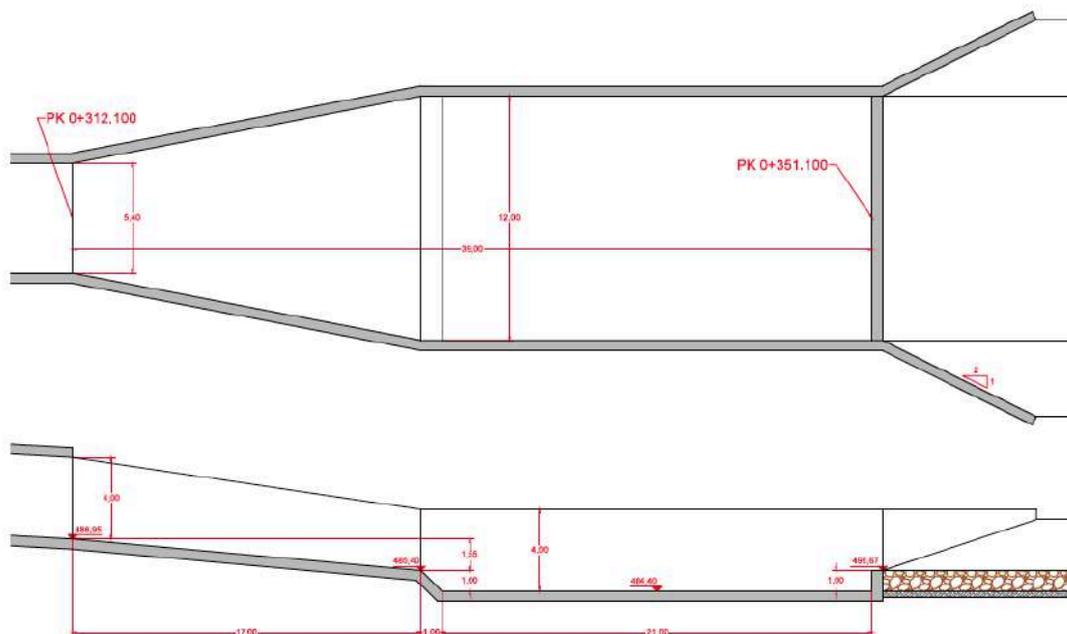


Fig. 26 - Planta y sección longitudinal del dissipador de energía (cotas en metros). FUENTE: Elaboración propia.

4.3. Reincorporación del cauce antiguo

Para reincorporar el caudal circulante por el cauce antiguo se ha intentado aprovechar al máximo el conducto de sección circular existente para cruzar la carretera N-344. Se ha diseñado pues, una tubería de 102,7 m de largo que parte desde el comienzo del conducto actual y finaliza en el tramo final del dissipador de energía, donde las turbulencias son ya pequeñas.

Se trata de una tubería con un interior de poliéster reforzado con fibra de vidrio y un diámetro de 1,8 m, de forma que cabe por el interior del conducto actual, teniendo éste último un diámetro de 2 m. El conducto está embebido en una sección cuadrada de hormigón en masa con un ancho de 2,3 m. La rugosidad de este material es de $\epsilon = 0,01 \text{ mm}$. Para un caudal de $15 \text{ m}^3/\text{s}$ la velocidad del agua es de 5,895 m/s, la cual es aceptable, mientras que el número de Reynolds será 10611000.

Aplicando la fórmula de Prandtl-Colebrook, el coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach tendrá un valor de 0,0085981. La pérdida de carga total, como se puede ver en el “Anejo Nº2. Cálculos hidráulicos”, tiene un valor de 4,411 m.

Teniendo en cuenta las pérdidas de carga y la energía impuesta aguas abajo en el dissipador de energía, podemos situar la altura de energía en la entrada del conducto a la cota 492,40. La cota inferior de la tubería en su embocadura es la 490, por lo que la energía en ese punto será de 2,4 m. Debido a que esta altura es mayor que el diámetro de la tubería, el conducto entrará en carga para toda su longitud, por lo que la tubería no tragaría aire, lo que podría provocar una reducción de su capacidad.

Por último, es importante tener en cuenta que el conducto provoca una acumulación de agua en su embocadura que podría causar una inundación. Sin embargo, se puede observar que el inicio de la tubería se encuentra en una zona deprimida, cuyo punto crítico, por el que desbordaría, está 4 m por encima del conducto. La altura de energía del agua es mucho menor de 4 m, por lo que no hay riesgo de desbordamiento.

4.4. Tramo 2

El tramo 2 se desarrolla desde el PK 0+351.100, al final del dissipador de energía, hasta el PK 1+859.950, donde desemboca en el río Canyoles. Se trata de un cauce de sección trapecial que transcurre a cielo abierto.

A pesar de que el tramo está dividido en cuatro subtramos, se ha diseñado una sección con unas características geométricas constantes. Para adaptarse al terreno cada subtramo tendrá una pendiente y una rugosidad diferente. Dicha sección tiene 12 m de ancho de solera y unos taludes 3H:2V, mientras que su altura es de 2,5 m. Al mantener constantes las dimensiones, no es necesario hacer transiciones entre ninguno de los siguientes tramos. El calado crítico, al depender de la geometría de la sección, será también constante, con un valor de 1,638 m.



Fig. 27 – Vista en planta general del tramo 2. FUENTE: Elaboración propia.

4.4.1. Tramo 2A

El tramo 2A tiene una longitud de 20 m y se desarrolla entre el PK 0+351.100, a la cota 485,40, y el PK 0+371.100, a la cota 485,20. Está formado por escollera con un diámetro de 70 cm tanto en la solera como en los cajeros, por lo que tiene una rugosidad de Manning de $n = 0,078$ (Fig. 28). La pendiente longitudinal es del 1%.

Este pequeño tramo tiene dos funciones principales, que a diferencia del resto de subtramos, no son adaptarse al perfil longitudinal del terreno.

En primer lugar, la alta rugosidad y la baja pendiente provocan que el calado se incremente considerablemente, imponiendo así un calado mucho mayor en el dissipador de energía de aguas arriba, lo que permite reducir considerablemente el escalón a contrapendiente. Es conveniente disminuir al máximo dicho escalón para reducir la cantidad de agua que queda almacenada en el cuenco del dissipador tras las lluvias.

El calado normal es de 2,696 m, aunque nunca se llega a alcanzar. Todo el tramo está dentro de una curva de remanso S2 que parte del calado impuesto aguas abajo por el tramo 2B y acaba en el final del dissipador con un calado de 2,315. Por lo tanto, la altura de 2,5 m es suficiente para conducir el caudal sin desbordamientos.

En segundo lugar, el paso de solera de hormigón a solera de escollera puede crear grandes erosiones en el tramo de escollera. Esto se debe a que el perfil de velocidades del agua es diferente en las dos superficies, por lo que requiere cierta longitud para cambiar. Sin embargo, una escollera de diámetro 70 cm es lo suficientemente grande como para evitar la socavación de la solera.

4.4.2. Tramo 2B

El tramo 2B se desarrolla entre el PK 0+371.100 y el PK 0+572.350, con una longitud total de 201,25 m. La cota inicial es la 485,20 mientras que el punto final está a la cota 476,14. La sección es idéntica a la del tramo 2A (Fig. 28) pero la pendiente es del 4,5% en este caso.

La escollera de gran diámetro ayuda a poder transportar los caudales en régimen lento a pesar de la gran pendiente. El calado normal tiene un valor de 1,759 m, que como se puede observar, es mayor que el calado crítico.

Como se explica en el apartado 4.5., la mayor parte de este tramo no requeriría el camino de servicio del margen derecho que se muestra en la sección (Fig. 28).

Diseño hidráulico y constructivo del encauzamiento del barranco dels Molins en La Font de la Figuera (Valencia)

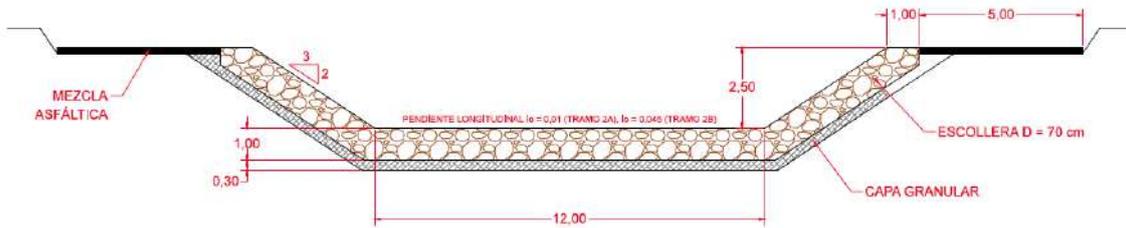


Fig. 28 - Sección de los tramos 2A y 2B (cotas en metros). FUENTE: Elaboración propia.

4.4.3. Tramo 2C

Con una longitud de 188,05 m, el tramo 2C discurre desde el PK 0+572.350 hasta el PK 0+760.400. Se ha diseñado con escollera de diámetro 50 cm (Fig. 29) y con una pendiente longitudinal del 3%. Para estas condiciones el calado normal es de 1,917 m.

Al final de este subtramo se encuentra el camino rural de la Veredeta, situado a la cota 474. La cota de la solera del encauzamiento en ese punto es la 470,50, por lo que la coronación de la sección se situará en la cota 473. Existe por tanto un metro de espacio para realizar el puente para el camino rural.

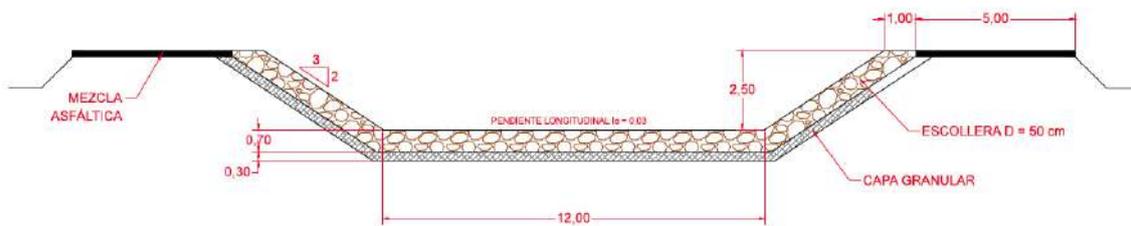


Fig. 29 - Sección del tramo 2C (cotas en metros). FUENTE: Elaboración propia.

4.4.4. Tramo 2D

El tramo 2C discurre desde el PK 0+760.400 y cota 470,50 hasta el PK 1+858.95 y cota 455,22, donde desemboca en el río Cànyoles. Es, con 1099,55 m, el tramo prismático con mayor longitud del encauzamiento.

Debido a la suave pendiente de esta zona, concretamente del 1,39%, se ha podido buscar una solución con menor impacto visual que la escollera. En este caso se han diseñado una solera con escollera de diámetro 40 cm y unos cajeros de geoceldas vegetales, para disminuir el impacto visual del cauce.

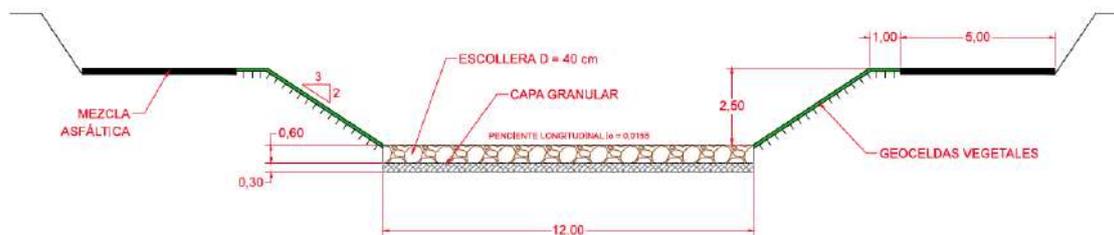


Fig. 30 - Sección del tramo 2D (cotas en metros). FUENTE: Elaboración propia.

4.5. Restitución de servidumbres

Con el fin de restituir ciertos accesos a parcelas que han sido cortados por el tramo 2 del cauce se han diseñado unos caminos de servicio discurren en paralelo al encauzamiento.

Para empezar, es necesario un camino que bordeé la obra por el margen izquierdo desde el inicio del dissipador de energía, en el PK 0+312.100, hasta la desembocadura en el río Cànyoles, en el PK 1+859.950, ya que ese lado es el que ha quedado incomunicado. En cuanto al margen derecho, gran parte del camino ya está realizado, ya que el cauce se ha diseñado para discurrir en paralelo a un antiguo camino. Sin embargo, se requiere un camino de servicio que conecte la calle que pasa por el este con el dissipador de energía, para mantenerlo comunicado. El margen derecho del tramo 2B no necesitará por tanto un camino de servicio, debido a que esas parcelas están comunicadas por el otro lado y el dissipador ya tiene un acceso rápido.

También es necesario algún puente para facilitar la comunicación a parcelas que hayan quedado divididas por la obra. Se proponen los siguientes pasos:

- Un puente para no cortar el camino rural de la Veredeta, en el PK 0+760.400.
- Un pontón en el PK 0+360.000, poco después del dissipador de energía, debido a que se encuentra a una distancia considerable del paso del camino de la Veredeta.
- Otro pontón en el PK 1+624.800, por las mismas razones que el anterior. Se puede colocar el dicho pontón en el lugar donde cruzaría el encauzamiento el antiguo camino.

En el tramo urbano no se necesitará ninguna reposición de servidumbres.



Fig. 31 - Reposición de servidumbres. En verde los caminos existentes, en azul los caminos necesarios y en rojo los puentes. FUENTE: Elaboración propia.

5. Proceso constructivo

Debido a las peculiaridades del entorno de cada tramo del encauzamiento, se propone a continuación un breve resumen del proceso constructivo recomendado para cada elemento de la obra.

Como se ha comentado en el apartado 3.2.4., el terreno está constituido por arcillas y limos por lo que se podrán hacer taludes de excavación poco tendidos durante toda la longitud del encauzamiento, o incluso pequeños taludes verticales.

5.1. Tramo 1

5.1.1. Embocaduras

Se procede primero a realizar la embocadura del nuevo encauzamiento para permitir que las pequeñas lluvias que se puedan producir durante su ejecución continúen por el cauce antiguo y no afecten a los trabajos en curso. Es importante mencionar que no se podrán realizar las obras de este elemento hasta que no se haya completado la construcción de, al menos, la totalidad del tramo 1. En caso contrario se producirían entradas de agua en el encauzamiento inacabado, creando desperfectos indeseados.

En este punto los edificios colindantes se encuentran a una distancia prudencial de más de 10 m y no tienen una altura mayor de 3 plantas por lo que se podrá realizar la excavación en talud. Sin embargo, la excavación por el lado del barranco puede hacer la función de un sumidero por lo que habrá que realizar un pequeño encauzamiento provisional para conducir el caudal desde las cárcavas del barranco hasta la embocadura del cauce antiguo.

Una vez acabada la embocadura anterior se puede proceder a construir el muro de hormigón que estrecha la embocadura del cauce antiguo, junto con el labio de perfil WES elíptico.

5.1.2. Tramo bajo la calle Barranc

El tramo entre la embocadura y la caída brusca, que se desarrolla con una sección estándar, discurre mucho más pegado a los edificios colindantes. En algunos puntos la distancia llega a ser de 1 m, por lo que las excavaciones deberán realizarse mediante el tablestacado del margen izquierdo, que se podrá utilizar como encofrado perdido.

En el margen derecho está la zona recreativa del pueblo. La diferencia de cota entre el pavimento y el parque es de 4 m, que están salvados por un muro de mampostería (Fig. 33). Dicho muro tendrá que ser derruido para poder permitir una excavación en talud de muy poca profundidad. Una vez acabado el conducto se volverá a construir el muro de mampostería para mantener el aspecto visual de la zona recreativa.

En cuanto a la construcción del conducto, en primer lugar se dispondrá de una capa de 10 cm de hormigón de limpieza. Después se procederá a hormigonar la solera y más tarde los muros verticales. Por último, se colocarán las placas prefabricadas de 3,1 m de ancho para cerrar la sección. En la siguiente figura (Fig. 32) se muestra una sección en un momento intermedio de la construcción.

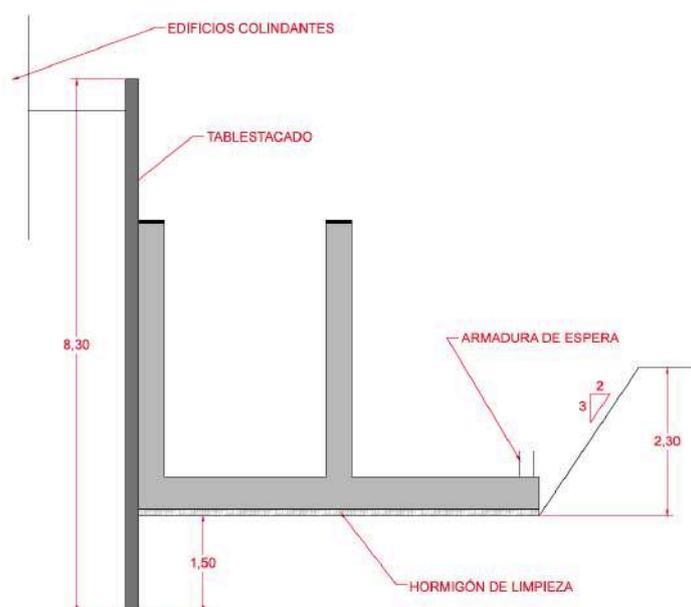


Fig. 32 - Sección estándar durante su construcción bajo la calle Barranc. FUENTE: Elaboración propia.

5.1.3. Caída brusca

Poco antes de llegar a la caída, el encauzamiento tuerce a la derecha para salirse de la calle Barranc, por lo que durante unos metros la coronación del conducto estará por encima del nivel original del terreno. Esto no supone un gran problema debido a que es un área recreativa, y se puede adaptar la zona a la nueva cota. Por otra parte, supone una gran ventaja, ya que reduce considerablemente la profundidad de excavación.



Fig. 33 - Desnivel entre el parque y la calle Barranc. FUENTE: Elaboración propia.

Por otra parte, la cámara está situada al lado de las pistas deportivas, que a su vez están situadas sobre uno de los pocos manantiales que se mantienen activos. Se trata de una balsa con interés patrimonial por lo que se deberá guardar ciertas precauciones para respetarla. Para garantizar dicha seguridad, conviene hacer una excavación mediante tablestacado en el margen derecho de forma que mantenga la impermeabilidad del borde del manantial.

En el margen izquierdo encontramos una fuerte subida hasta la cota de la calle Barranc, por lo que una excavación en talud movería un gran volumen de tierras. Conviene por tanto realizar la excavación también mediante tablestacas, que no llegarían a los 6 m de profundidad.

5.1.4. Rápida de macrorrugosidad

Los metros iniciales de la rápida de macrorrugosidad tienen un proceso constructivo idéntico al tramo que discurre bajo la calle Barranc. Sin embargo, en cuanto el conducto coge cierta profundidad se hace inviable continuar utilizando tablestacas.

Desde el PK 0+210.000 se continuará mediante la hinca de secciones. El punto de entrada de las secciones será el PK 0+312.100, debido a que hay mucho más espacio para operar.

Con este procedimiento constructivo podemos evitar la necesidad de tener que construir un puente para la carretera N-344, siendo la distancia entre el pavimento y la coronación del encauzamiento de 4 m.

5.1.5. Disipador de energía

El disipador de energía es el primer punto del cauce que no es subterráneo. Está situado sobre el antiguo cono de eyección por lo que se dispone de un gran espacio en los márgenes del cuenco. La excavación se realizará por tanto en talud, tras la cual se dispondrá de una capa de hormigón de limpieza de 10 cm y se procederá a hormigonar. Una vez acabados los cajeros de la obra singular se rellenará el volumen excavado en los laterales con material de relleno.

5.2. Tramo 2

Por último, el tramo dos se realizará con el mismo proceso constructivo en todos sus subtramos, pero cambiando el material. La excavación se puede hacer con un talud igual al talud de la sección, de forma que no es necesario el relleno posterior de ningún volumen. Más tarde se extenderá una capa granular de 30 cm sobre la que apoyará, finalmente, la escollera.

6. Valoración económica

Se ha realizado una valoración económica del proyecto teniendo en cuenta las unidades de obras más representativas. Para calcular los precios se ha recurrido a las tablas de precios unitarios de la Comunidad Valenciana proporcionadas por el Colegio de Caminos, Canales y Puertos.

A continuación (Tabla 1) se muestra una tabla con el desglose de precios por elementos. Los cálculos detallados, así como las unidades de obra consideradas para cada elemento, se detallan en el “Anejo N^o3. Valoración económica”.

Desglose de precios por elementos y costo total	
Embocadura	75.449,15 €
Sección estándar 1A	379.180,83 €
Caída brusca	110.519,22 €
Sección estándar 1B	79.808,34 €
Rápida de macrorrugosidad	601.442,77 €
Disipador de energía	108.593,76 €
Reincorporación cauce antiguo	85.618,07 €
Tramo 2A	31.569,46 €
Tramo 2B	318.204,97 €
Tramo 2C	228.980,73 €
Tramo 2D	1.271.321,77 €
Reposición de servidumbres	364.435,88 €
Presupuesto ejecución de material	3.655.124,94 €
Gastos generales (13%)	475.166,24 €
Beneficio industrial (6%)	219.307,50 €
Presupuesto de ejecución por contrata	4.349.598,68 €
IVA (21%)	913.415,72 €
Presupuesto total	5.263.014,40 €
Expropiaciones	61.103,15 €
Costo total	5.324.117,55 €

El presupuesto de ejecución de material asciende pues a la cantidad de TRES MILLONES SEISCIENTOS CUARENTA Y CINCO MIL CIENTO VEINTICUATRO EUROS CON NOVENTA Y CUATRO CÉNTIMOS 3.655.124,94 €

Mientras que el costo total, una vez incluidos los gastos generales, el beneficio industrial, el IVA y las expropiaciones, asciende a la cantidad de CINCO MILLONES

TRESCIENTOS VEINTICUATRO MIL CIENTO DIECISIETE EUROS CON CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS 5.324.117,55 €

Por otra parte, se muestran los precios totales para cada una de las unidades de obra más importantes.

Precios de las unidades de obra más representativas			
Unidad de obra	Precio unitario	Cantidad	Precio
Hinca individual de tablestacas no recuperables de acero al carbono 240, de 450 mm de anchura útil y de 6 mm de espesor con un momento de inercia entre 1501 y 3500 cm ⁴ /m hasta una profundidad entre 4 y 8 m en terreno de arenas	144,61 €/m ²	2.387,26 m ²	345.220,95 €
Excavación en zona de desmonte, de terreno compacto, con medios mecánicos y carga sobre camión	2,41 €/m ³	127.582,45 m ³	307.473,70 €
Transporte de tierras para reutilizar en obra, con dúmper extravial y tiempo de espera para la carga con medios mecánicos, con un recorrido de menos de 5 km	0,98 €/m ³	127.582,45 m ³	125.030,80 €
Encofrado con paneles metálicos para zanjas y pozos	14,81 €/m ²	7.747,65 m ²	114.742,70 €
Montaje y desmontaje de encofrado para losas inclinadas, para una altura de como máximo 3 m, con tablero de madera de pino para dejar el hormigón visto	37,37 €/m ²	807,13 m ²	30.162,45 €
Hormigón para muros de contención HA-30/B/20/Ila de consistencia blanda y tamaño máximo del árido 20 mm y vertido con bomba	93,99 €/m ³	3.930,94 m ³	369.469,49 €
Armadura de zanjas y pozos AP400 S en barras de diámetro superior a 16 mm, de acero en barras corrugadas B400S de límite elástico >= 400 N/mm ²	0,99 €/kg	191.500,91 kg	189.585,90 €
Grava de cantera de piedra granítica, de 50 a 70 mm	19,85 €/t	15.163,89 t	301.003,26 €
Escolleras con bloques de piedra granítica de 400 a 800 kg de peso, colocados con pala cargadora	51,15 €/m ³	4.756,88 m ³	243.314,41 €
Escolleras con bloques de piedra granítica de 100 a 400 kg de peso, colocados con pala cargadora	50,17 €/m ³	10.746,91 m ³	539.172,47 €
Colocación de geoceldas vegetales	42,17 €/m ²	12.110,31 m ²	510.691,77 €

7. Conclusiones

Para terminar, se muestran las conclusiones del estudio:

- La fuerte antropización del entorno de La Font de la Figuera ha provocado cambios morfológicos e hidrológicos significativos en el punto endorreico de la Foia de Manuel.
- Como consecuencia de dichos cambios el caudal de retorno a 500 años del barranco dels Molins se ha quintuplicado, teniendo actualmente un valor de $87,8 \text{ m}^3/\text{s}$.
- El tramo urbano del barranco objeto de estudio no está preparado para conducir el caudal requerido, por lo que es necesario adaptar el cauce actual. Además, el barranco desaparece en un cono de eyección pocos metros al norte de la carretera N-344, por lo que será necesario el diseño de un canal completamente nuevo que dirija el agua hasta el río Cànyoles.
- El entorno del barranco dels Molins a su paso por el núcleo urbano de La Font de la Figuera tiene un alto valor patrimonial, por lo que será necesario que la solución adoptada altere lo mínimo posible la zona.
- Se ha diseñado un encauzamiento que discurre desde la entrada del barranco en el casco urbano hasta el río Cànyoles. Este está dividido en dos tramos con unas características constructivas muy diferenciadas.
- El tramo 1 discurre desde la embocadura hasta un dissipador de energía situado 75 m al norte de la carretera N-344. Se trata de un conducto subterráneo de hormigón armado donde el flujo es en lámina libre, con diversos elementos para disipar la energía y adaptarse al perfil longitudinal del terreno.
- El tramo 2 es un canal de escollera con sección trapecial que se desarrolla entre el dissipador de energía y el río Cànyoles. Será necesario hacer caminos de restitución de servidumbres para dar acceso a las parcelas que han quedado aisladas por la obra.
- El presupuesto de ejecución de material asciende a 3.653.471,58 €, mientras que el presupuesto de ejecución por contrata es de 4.347.631,19 €.
- El costo total del proyecto asciende a 5.321.736,88 €, incluyendo IVA (21%) y expropiaciones.



Diseño hidráulico y constructivo del encauzamiento del
barranco dels Molins en La Font de la Figuera (Valencia)

El presente DISEÑO HIDRÁULICO Y CONSTRUCTIVO DEL ENCAUZAMIENTO DEL BARRANCO DELS MOLINS EN LA FONT DE LA FIGUERA (VALENCIA) ha sido realizado por:

Guillermo Martínez López

Valencia, junio de 2017