



ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA EL ENCAUZAMIENTO DEL BARRANCO DE LA CALA (FINESTRAT, ALICANTE)

DISEÑO HIDRÁULICO

Trabajo Final de Grado

Grado en Ingeniería Civil

Universitat Politècnica de València - Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

CURSO 2014/2015

Mayo de 2015

Autora: Nuria Estivill Manzanaro

Tutor: Juan Bautista Marco Segura



ÍNDICE

1. DOCUMENTO Nº 1. MEMORIA Y ANEJOS

- 00. Memoria
- 01. Anejo de Documentación fotográfica
- 02. Anejo Estudio de soluciones
- 03. Anejo de Cálculos hidráulicos

2. DOCUMENTO Nº2. PLANOS

- Plano 1. Situación y emplazamiento
- Plano 2. Planta general
- Plano 3. 1. Planta
- Plano 3. 2. Planta
- Plano 3. 3. Planta
- Plano 4.1. Sección tipo I. Acondicionamiento del cauce
- Plano 4.2. Sección tipo II. Triple cajón enterrado
- Plano 4.3. Sección tipo III y IV. Tramo en presión
- Plano 4.4. Sección tipo V. Colector Av. Marina Baixa
- Plano 5.1. Perfil longitudinal. Encauzamiento I
- Plano 5.2. Perfil longitudinal. Encauzamiento II
- Plano 5.3. Perfil longitudinal. Colector Av. Marina Baixa
- Plano 6.1. Obra singular I. Embocadura
- Plano 6.2. Obra singular II. Cámara de presurización



DOCUMENTO Nº1: MEMORIA Y ANEJOS



MEMORIA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Objetivo y alcance.....	3
1.3. Localización.....	4
2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	4
2.1. Evolución histórica.....	4
2.2. Caracterización del barranco de La Cala	6
2.3. Problemática de la zona y necesidad de actuación.....	6
2.4. Situación actual.....	7
3. ESTUDIOS PREVIOS	7
3.1. Estudios topográficos y cartográficos.....	7
3.2. Estudio geológico del terreno	8
3.3. Estudio hidrológico	8
4. ESTUDIO DE SOLUCIONES	12
4.1. Encauzamiento en el “Paseo Barranco la Cala”	12
4.2. Colector en la “Av. Marina Baixa”	14
5. CÁLCULOS HIDRÁULICOS	15
6. CONCLUSIÓN.....	16

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El presente estudio de soluciones centra su atención en el barranco de La Cala y su cuenca asociada. Dicha zona de actuación está ubicada en la comarca de La Marina Baixa, provincia de Alicante. Se trata de un tramo de la Costa Mediterránea donde cada vez es mayor el grado de urbanización que ocupa terrenos hasta ahora naturales.

Con el paso del tiempo, la cuenca hidrográfica que vierte sus aguas al mencionado barranco ha sufrido un proceso de transformación del suelo que ha llegado a modificar la morfología de la zona. Como consecuencia de ello, el barranco de La Cala ha visto aumentar su nivel de artificialidad. Este cambio es máximo en el último tramo, antes de que las aguas viertan al mar. A partir de la Avenida Finestrat, antigua carretera nacional, el cauce se ha convertido en una calle que recibe el nombre de Paseo barranco de La Cala.



Fig. 1. Vista del barranco de La Cala convertido en calle. FUENTE: elaboración propia.

Cuando tienen lugar episodios de lluvia, el agua circula anegando el paseo así como las zonas colindantes. Las inundaciones, de corta duración, afectan a establecimientos comerciales y ponen en riesgo la vida de las personas que por allí transitan.

Por otro lado, el último tramo del barranco de La Cala está catalogado por la revisión del Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana PATRICOVA como zona con riesgo de inundación 4 sobre 6, siendo éste último el menor nivel de peligrosidad.

Esta última matización acrecienta la necesidad de actuar.



Fig. 2. Área que delimita el riesgo de inundación en el barranco de La Cala. FUENTE: elaboración propia a partir de PATRICOVA.

1.2. Objetivo y alcance

El objetivo de este estudio de soluciones es poder dar a conocer una propuesta de mejora que mitigue los efectos que las crecidas esporádicas provocan en la zona urbana de La Cala.

Para llevar a cabo el mencionado estudio de soluciones se ha planteado la necesidad de seguir dos líneas de actuación distintas, pero a la vez dependientes la una de la otra. Los estudios propuestos son los siguientes:

- **Análisis hidrológico**, llevado a cabo por Laia Llin Esteller, pretende estudiar la cuenca hidrográfica asociada al barranco de la Cala para proporcionar así el régimen de caudales que permita diseñar una solución hidráulica óptima. También se ha llevado a cabo un estudio de

la evolución del Umbral de Escorrentía para analizar los efectos que la artificialidad del suelo puede tener sobre éste parámetro.

- **Diseño hidráulico**, llevado a cabo por Nuria Estivill Manzanaro, pretende proyectar unas infraestructuras hidráulicas que permitan desaguar las crecidas generadas en el barranco sin provocar inundaciones en la zona urbana.

1.3. Localización

El barranco de La Cala se encuentra en la Marina Baixa, comarca perteneciente a la Provincia de Alicante, en la Comunidad Valenciana. Las aguas nacen en Serra Cortina y vierten al mar en La Cala, Finestrat.

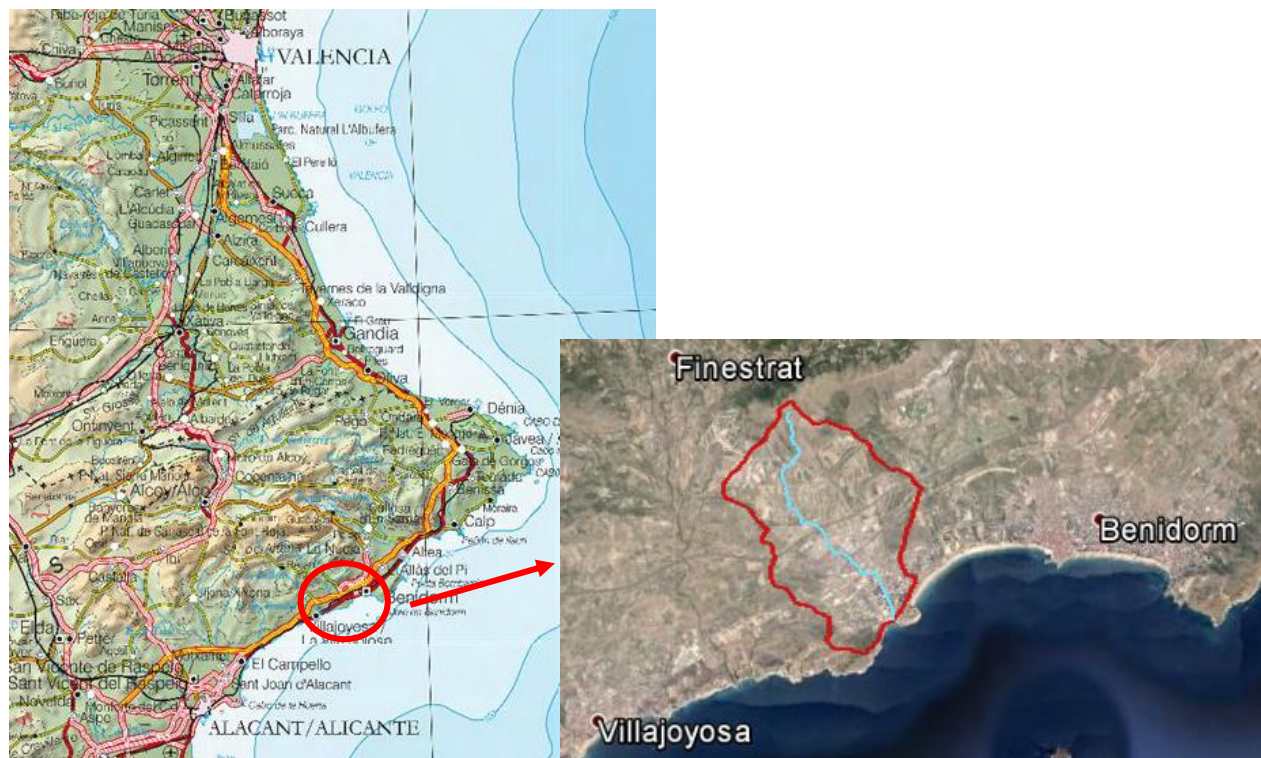


Fig. 3. Localización de la zona de estudio. FUENTE: elaboración propia a partir de Google Earth.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1. Evolución histórica

Para entender las causas que han llevado a la situación actual en la que se encuentra el barranco de La Cala es necesario analizar cuál ha sido el desarrollo de la zona, sobre todo a nivel urbanístico. A partir de los años 50 es cuando empieza a aumentar la población estacional como consecuencia del turismo. De aquí en adelante aparece la necesidad de construir viviendas, sobre todo de segunda residencia.

La geomorfología de la zona se ha visto modificada como consecuencia de la ejecución de las actuaciones previstas en las normas urbanísticas de los términos municipales de Finestrat, Vila-Joiosa y Benidorm. La transformación del suelo también se ha debido a la construcción de infraestructuras lineales perpendiculares al transcurso del agua, como son la nacional N-332 y la autopista AP-7. Ésta última se construye a finales de los años 70, cuando se ya existían las primera edificaciones en La Cala.



Fig. 4. Vista aérea del tramo final del barranco entre los años 70 y 80. FUENTE: Fototeca del CNIG-vuelo interministerial (1973-1986).

En aquel momento únicamente se habían construido viviendas en el tramo final por lo que en episodios de precipitación extremos, las aguas del barranco podían fluir de manera natural por el margen derecho.

El desarrollo urbano que ha tenido lugar en Finestrat se ha llevado a cabo, desde 1989, mediante la aplicación de Normas Subsidiarias y Modificaciones Homologativas que han permitido la reclasificación de terrenos sin la necesidad de desarrollar un PGOU. Debido a la inexistencia de este último documento, que hasta la fecha no ha sido aprobado, se ha facilitado la ocupación progresiva de terrenos que antes eran No Urbanizables. Respecto a los municipios de Benidorm (1990) y La Vila-Joiosa (1999), estos sí redactaron un Plan General de Ordenación Urbana.

Como consecuencia de este creciente desarrollo urbanístico la cuenca ha sufrido un cambio radical. A continuación se muestran 3 imágenes que muestran la transformación del suelo que se ha producido entre la autopista AP-7 y Serra Cortina.



Fig. 5. Año 1980-1986. FUENTE: Fototeca CNIG vuelo Nacional 1980-1986.

En la actualidad se ha sellado gran parte de la superficie que abarca la cuenca del barranco de La Cala, el cauce está cada vez más artificializado y los efectos de las crecidas extremas son más devastadores.



Fig. 6. Año 2002. FUENTE: Google Earth.



Fig. 7. Año 2013. FUENTE: Google Earth.

Estas tres imágenes muestran la evolución de la parte alta de la cuenca. A la vista de los cambios que se han ido produciendo se puede predecir una afección grave aguas abajo dado que la capacidad de infiltración el suelo ha ido disminuyendo. Es decir, el proceso de transformación del suelo se ha llevado a cabo sin tener en cuenta los posibles efectos negativos en el resto del territorio.

2.2. Caracterización del barranco de La Cala

El barranco de La Cala es un río efímero dado que no transporta un caudal constante a lo largo del año. Sin embargo, tiene una alta torrencialidad cuando se producen episodios de lluvia extremos.

En él se distinguen tres tramos bien diferenciados, que a su vez son los que provocan la división en subcuencas.

1º tramo: Se localiza entre el punto más alto de Serra Cortina y el cruce con la autopista AP-7. Aquí el barranco discurre de manera natural. Únicamente fluye enterrado cuando cruza la urbanización Golf Bahía. El ancho del cauce medio del cauce es de aproximadamente 6 metros y la vegetación que en él aparece se corresponde con arbustos de baja altura. A pesar de tratarse de la zona menos alterada del barranco de La Cala, antes de llegar a la AP-7 existen hasta 4 viales que cruzan de manera perpendicular el barranco. De esta manera, el excesivo número de obras de drenaje transversal condiciona el transcurso natural del cauce.

2º tramo: Entre la AP-7 y el cruce con la Avenida de Finestrat, antigua carretera nacional. Este tramo ya cuenta con cierta artificialidad, al discurrir entre un polígono industrial y una zona destinada a uso residencial que ya está urbanizada. Aquí se ha llevado a cabo la rehabilitación del barranco mediante una configuración que combina el lecho del cauce de hormigón con la vegetación característica de un tramo natural.

3º tramo: Es el tramo final del barranco que llega hasta el mar. Todo él discurre por zona urbana. Concretamente por el Paseo barranco de La Cala. La morfología del cauce responde a la de una calle. El pavimento es de asfalto por lo que la capacidad de infiltración de agua en el suelo es baja.

2.3. Problemática de la zona y necesidad de actuación

La cuenca analizada responde a las características típicas de algunas cuencas mediterráneas. Se trata de una cuenca árida donde se producen eventos de precipitación poco frecuentes, de corta duración pero de alta intensidad, que dan lugar a hidrogramas con elevado caudal punta y escasa duración. En consecuencia, en el barranco se producen las denominadas crecidas relámpago o “flash-floods”: fuertes crecidas repentinas que a pesar de ser cortas en tiempo pueden transportar grandes caudales. Estas crecidas suceden de forma tan rápida que no dejan tiempo de anticipación ni de reacción al municipio por lo que suelen producir daños económicos e incluso víctimas mortales.

Estas bruscas crecidas están siendo alimentadas por el alto grado de urbanización que ha sufrido la cuenca en los últimos años. En apenas 50 años se ha pasado de un paisaje fundamentalmente forestal a un paisaje dominado por el hormigón y las urbanizaciones.

La urbanización del terreno ha supuesto la impermeabilización de una amplia extensión de suelo que se traduce en un aumento de la escorrentía superficial y de la velocidad del agua. De esta manera, se agravan los efectos de las avenidas torrenciales repentinas.



Fig. 8. Final del Paseo barranco de la Cala durante un episodio de crecida. FUENTE: La Marina Plaza.

Como se observa en la imagen, el transcurso del agua que baja por el barranco está condicionado por las edificaciones colindantes. Se produce así un desagüe extremadamente peligroso ya que la calle queda anegada provocando cuantiosos daños en los comercios y viviendas, y poniendo en peligro a

los residentes de la zona. Tales son estas afecciones que se construyó un murete para intentar disminuirlas, pero esta función en lluvias intensas es insignificante.



Fig. 9. Muro de resguardo construido aguas abajo del cruce entre el barranco de La Cala y la Av. Marina Baixa. FUEENTE: elaboración propia.

Como se ha comentado anteriormente, son numerosas las crecidas que se han sucedido en el barranco de La Cala pero si alguna es de especial importancia, por la gravedad de los hechos que tuvieron lugar, es la ocurrida el 20 de octubre de 2011. La situación se tornó trágica cuando se produjo una riada mientras se celebraba en el barranco de La Cala el mercadillo municipal, que acabó con la vida de un matrimonio británico y ocasionó varios heridos. Dicho mercadillo se celebró pese a tratarse de un espacio incluido dentro del Dominio Público Hidráulico, donde están prohibidas este tipo de actividades.

2.4. Situación actual

En el año 2008 se llevó a cabo la actuación en el barranco de La Cala que dio lugar a la configuración actual. Fue entonces cuando el barranco se transformó en una calle con pavimento de asfalto. Pero es desde que sucedió el acontecimiento mortal del 21 de octubre de 2011 cuando se ha restringido el paso a vehículos y se ha establecido la prohibición de realizar el mercadillo municipal.

Se trata de una medida preventiva, pero que no soluciona el problema. El agua circula a cielo abierto en todo momento por lo que siempre que llueva bajará agua por la calle. Así sucedió un año más tarde, a finales de septiembre de 2012.



Fig. 10. Inundaciones en el barranco de La Cala, septiembre de 2012. FUEENTE: Youtube.

Por ello, además de plantear una solución estructural que consiga desaguar los caudales generados en episodios de lluvia, sería aconsejable llevar a cabo una ordenación del territorio, planificada, que estudie la cuenca en su conjunto. De esta manera se tendrían en cuenta las afecciones negativas que se producen aguas debajo de un determinado lugar en proceso de desarrollo, que modifica el uso del suelo y consecuentemente el Umbral de Escorrentía.

3. ESTUDIOS PREVIOS

3.1. Estudios topográficos y cartográficos

Se dispone de mapas topográficos y cartográficos del municipio de Finestrat extraídos del *TERRASIT* a escala 1:5000.

Además, para conocer con mayor detalle la elevación del terreno se cuenta con la planta topográfica de la zona que se empleó en la actuación de acondicionamiento del barranco en 2008. Esta documentación se encuentra a escala 1:1000.

Por otro lado, se ha obtenido la batimetría de la zona a escala 1:1000 a través de la Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente (CITMA).

3.2. Estudio geológico del terreno

A partir de los mapas geológicos extraídos del *Instituto Geológico y Minero de España (IGME)* y la documentación fotográfica de la zona se determina la geología existente.

El suelo que encontramos en la zona pertenece mayoritariamente al período cuaternario, así como, al terciario. Por lo que se puede decir que se trata de un suelo relativamente joven.

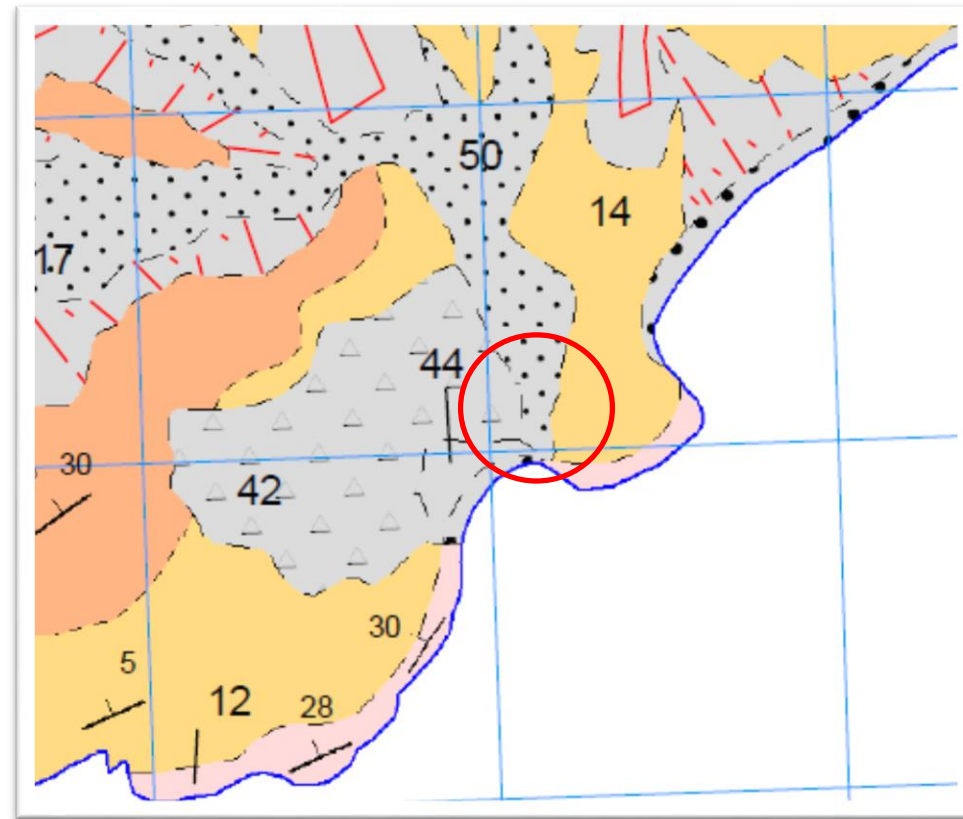


Fig. 11. Mapa geológico de la zona de estudio, 1:50.000. FUENTE: IGME

Según los mapas geológicos, por un lado, en las capas más superficiales se hallarán:

- Número 50: fondos de valle formados por arcillas y limos con cantos.

- Número 42: depósito aluvial-coluvial conformado por limos y arcillas con cantos. Éstos proceden de materiales transportados de Sierra Cortina donde predominan las calizas. Así que, los depósitos estarán constituidos fundamentalmente por calizas.
- Número 44: dunas degradadas de arenas con conchas sueltas. Se inicia la zona de playa y antigua playa.

Por otro lado, en las capas inferiores fuera de la zona de la playa se encontrarán margas y margocalizas (número 14). Es importante conocer este dato, ya que, afectará en las excavaciones de la obra.

3.3. Estudio hidrológico

El presente estudio ha sido redactado por Laia Llin Esteller y se corresponde con su Trabajo Final de Grado. “*Estudio de soluciones para el encauzamiento del barranco de la Cala (Finestrat, Alicante). Análisis hidrológico.*”

El análisis hidrológico llevado a cabo en este estudio de soluciones tiene por objeto conocer la respuesta de la cuenca del barranco de La Cala ante episodios de lluvia extremos. Partiendo de esta premisa, se han obtenido los hidrogramas de crecida para los periodos de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años. De esta manera se han podido conocer los caudales necesarios para el diseño hidráulico. Al mismo tiempo, también se ha querido estudiar el impacto del desarrollo urbanístico en el Umbral de Escorrentía. Éste parámetro está condicionado principalmente por el tipo de suelo, el tipo de cubierta vegetal y la pendiente del terreno.

En un primer momento se comenzó analizando la cuenca hidrográfica que recoge el conjunto de las aguas. Sus características principales son:

- Área: 9.6 km².
- Longitud del cauce principal: 5.2 km.
- Desnivel: 450 metros.
- Umbral de Escorrentía actual: 11.2 mm.

Posteriormente, el diseño hidráulico que se proponía para el encauzamiento del barranco en el último tramo hizo necesario tener que considerar otros 3 puntos de simulación. Éstos últimos están ubicados en el cruce del Paseo barranco de La Cala con la Avenida Marina Baixa. A partir de este momento fue necesario repetir el proceso de análisis para los 4 puntos considerados.

La primera aproximación de los caudales se ha obtenido mediante el método de Témez modificado (1991). Para ello ha sido necesario considerar la Precipitación Diaria Máxima representativa de la zona de estudio. Además, el factor de torrencialidad α y el coeficiente corrector del Umbral de Escorrentía β son 11,5 y 2,74, respectivamente. Estos valores son comunes para los cuatro puntos de simulación.

T (años)	P(d) (mm)
10	66.5
25	79.3
50	90.5
100	103.7
500	140.3

Tabla 1. Cuantiles de Precipitación Diaria Máxima.



Fig. 12. Ubicación de los 4 puntos de simulación considerados. FUENTE: elaboración propia.

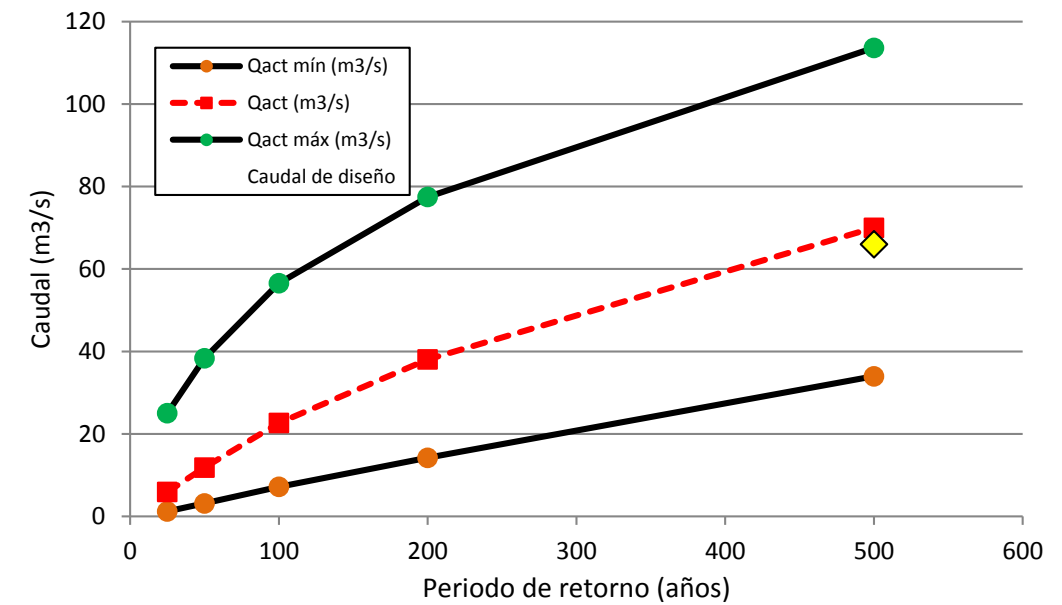
Obtenidos los caudales asociados a cada periodo de retorno se ha podido pasar a simular la respuesta de la cuenca mediante el software informático HEC-HMS, del US Army Corps of Engineers. Sin

embargo, la diferencia altamente significativa entre los caudales obtenidos inicialmente y los que ha proporcionado el programa ha obligado a llevar a cabo un proceso de calibración. Esta corrección del modelo ha sido única y se ha tomado como referencia la cuenca hidrográfica mayor, correspondiente al punto de simulación A.

T(años)	Qp (m3/s)
25	7.50
50	14.80
100	27.64
200	46.63
500	83.39

Tabla 2. Caudales máximos obtenidos después de la calibración, para el punto A.

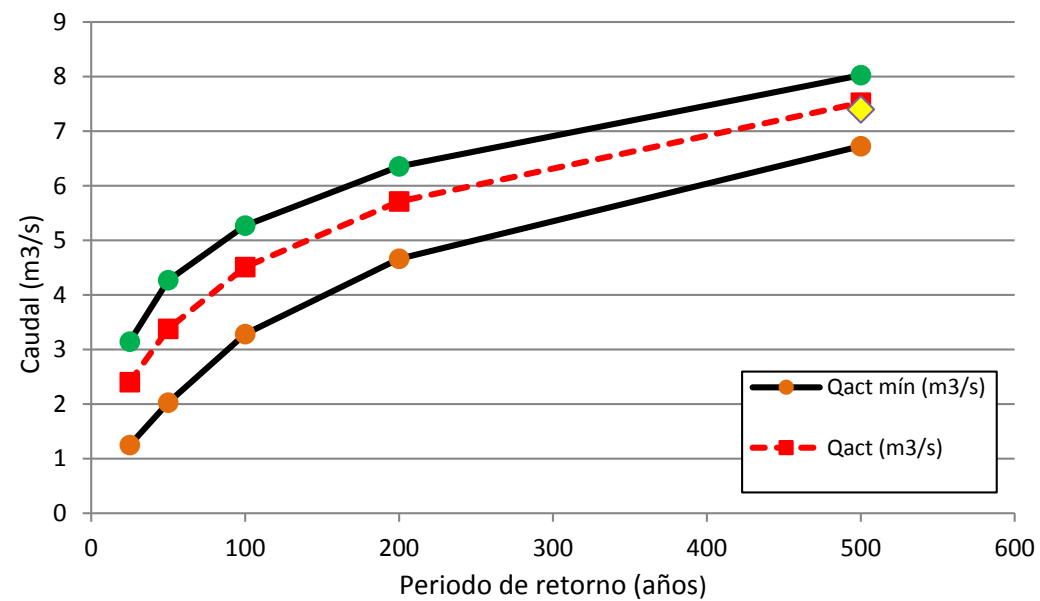
Una vez conocidos los hidrogramas de crecida para la situación actual se ha calculado un rango de incertidumbre. Su finalidad es garantizar que los caudales proporcionados en un principio para llevar a cabo el diseño hidráulico siguen cumpliendo el nivel de seguridad considerado, de periodo de retorno 500 años. El resultado ha sido favorable en todos los casos, evitando la necesidad de dimensionar de nuevo las infraestructuras hidráulicas propuestas.



INCERTIDUMBRE			
T(años)	Q mín (m3/s)	Qp (m3/s)	Q máx (m3/s)
25	1.22	5.94	25.04
50	3.15	11.86	38.35
100	7.18	22.66	56.55
200	14.23	38.07	77.48
500	33.99	70.01	113.63

Fig. 13. Rango de caudales en el punto de simulación B.

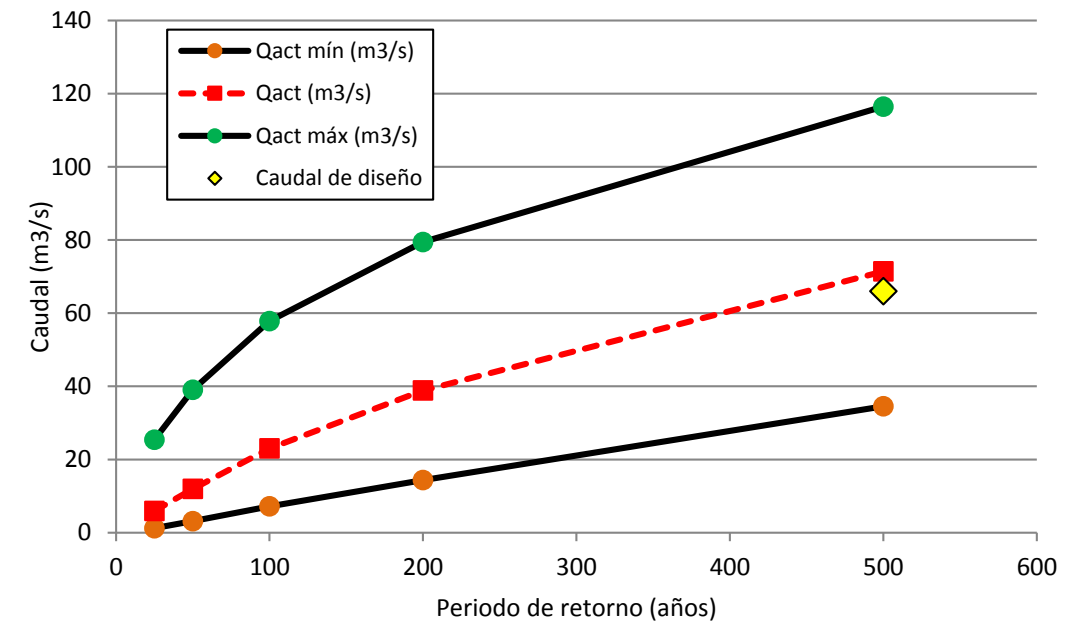
El caudal de diseño considerado para el punto de simulación B es 66m³/s. Tal y como se observa en el gráfico, dicho valor se encuentra dentro del rango de incertidumbre para un periodo de retorno de 500 años.



INCERTIDUMBRE			
T(años)	Q mín (m3/s)	Qp (m3/s)	Q máx (m3/s)
25	1.25	2.40	3.15
50	2.03	3.38	4.27
100	3.28	4.51	5.27
200	4.66	5.71	6.35
500	6.72	7.52	8.03

Fig. 14. Rango de caudales en el punto de simulación C.

El caudal de diseño considerado para el punto de simulación C es 7.4 m³/s. Tal y como se observa en el gráfico, dicho valor se encuentra dentro del rango de incertidumbre para un periodo de retorno de 500 años.



INCERTIDUMBRE			
T(años)	Q mín (m3/s)	Qp (m3/s)	Q máx (m3/s)
25	1.22	5.94	25.42
50	3.16	11.96	39.07
100	7.19	23.04	57.84
200	14.38	38.87	79.46
500	34.53	71.43	116.46

Fig. 15. Rango de caudales en el punto de simulación D.

El caudal de diseño considerado para el punto de simulación D es 67 m³/s. Tal y como se observa en el gráfico, dicho valor se encuentra dentro del rango de incertidumbre para un periodo de retorno de 500 años.

Dado que los tres caudales considerados son válidos no ha sido necesario volver a proponer un diseño hidráulico diferente.

Por último, se ha comparado la situación actual y futura teniendo en cuenta la reducción del Umbral de Escorrentía debido al desarrollo urbanístico futuro esperado. Para la situación futura, el PO promedio de la cuenca inicial desciende a 9,6 mm. Como consecuencia de ello los caudales han aumentado significativamente.

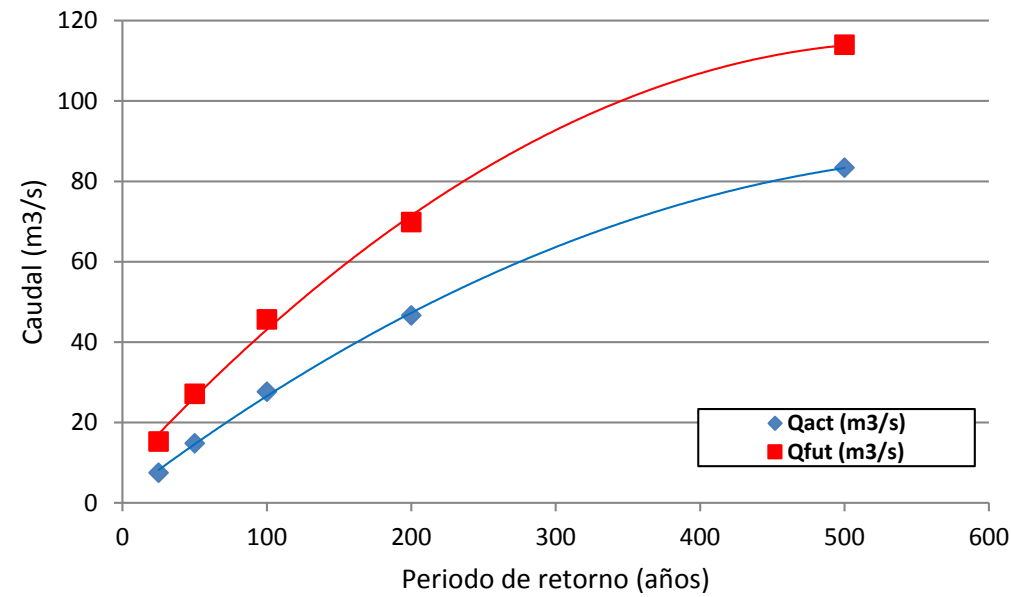


Fig. 16. Evolución de los caudales para el punto de desagüe A.

Al trasladar los caudales actuales de diseño (66 y 67 m³/s) a la situación futura, se observa como la infraestructura diseñada para un nivel de seguridad asociado a T=500 años pasa a encontrarse en un rango entre 220 y 250 años de periodo de retorno.

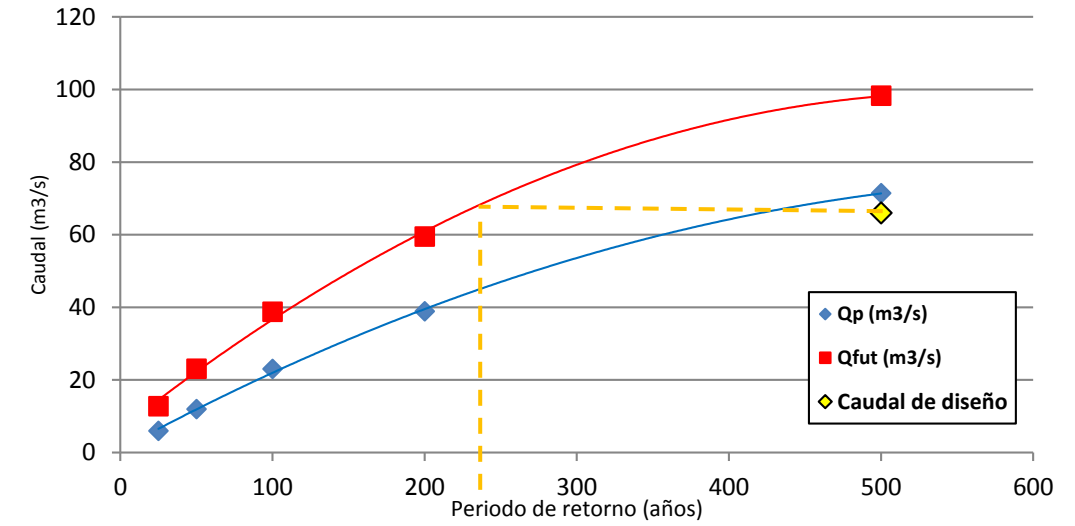


Fig. 17. Comparación de la situación actual y futura para el punto de desagüe D.

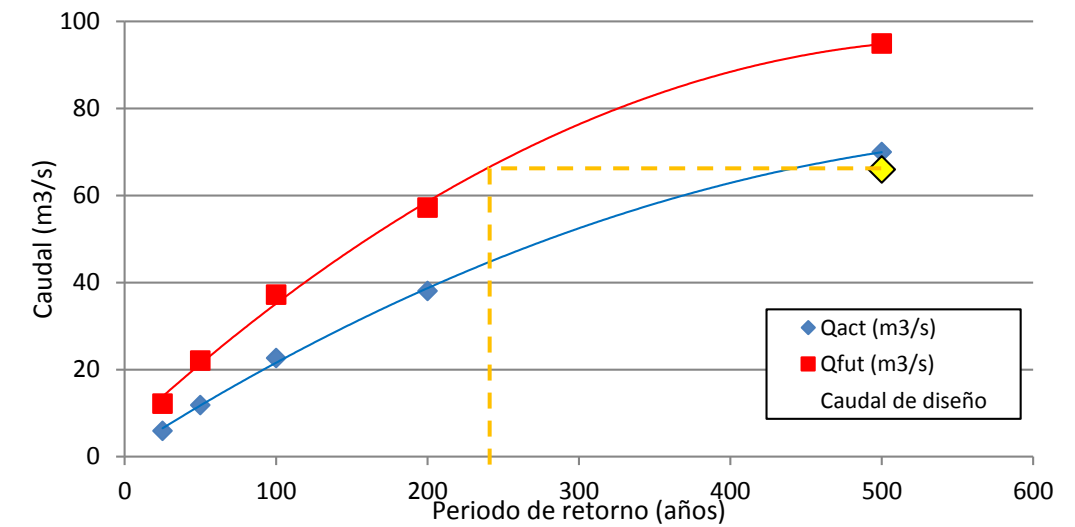


Fig. 18. Comparación de la situación actual y futura para el punto de desagüe B.

Este hecho pone de manifiesto la necesidad de prever la evolución, con el tiempo, de los parámetros de diseño a la hora de llevar a cabo la concepción de infraestructuras que modifiquen el territorio. De lo contrario puede darse la situación de encontrarse con obras obsoletas, que no cumplen la función para la que habían sido diseñadas.

4. ESTUDIO DE SOLUCIONES

El estudio de soluciones se expone detalladamente en el “Anejo 2. Estudio de soluciones” realizado por Nuria Estivill Manzanaro. El documento justifica la solución definitiva adoptada para el conjunto de la actuación y expone los diferentes razonamientos seguidos hasta llegar a solución definitiva final.

El proyecto comprende dos actuaciones:

- Ejecutar un encauzamiento en el “Paseo Barranco la Cala”. Actuación primordial para evitar inundaciones en la zona urbana de Finestrat que canaliza el agua del barranco.
- Ejecutar un colector en la Av. Marina Baixa. Actuación complementaria que permite que el caudal procedente de esta calle sea vertido al mar junto con el del barranco sin pasar por la superficie de la vía.

4.1. Encauzamiento en el “Paseo Barranco la Cala”

El encauzamiento, cumpliendo con el PATRICOVA, ha sido diseñado para un nivel de protección de 500 años, siendo el caudal asociado a este período de retorno de $66 \text{ m}^3/\text{s}$.

El trazado en planta de la actuación tiene una solución única debido al alto grado de urbanización de la zona. A partir del puente de la antigua nacional N-332, tramo en el que se centra la obra, las edificaciones han agotado todo el suelo hasta llegar a limitar con el barranco. Por tanto, la única opción para no afectar a las construcciones actuales es ejecutar un encauzamiento que discorra por el propio cauce.

En cuanto al trazado en alzado, se procura no modificar demasiado la rasante actual del cauce para no afectar a las urbanizaciones colindantes. Sin embargo, la gran envergadura de la actuación obliga a elevar ligeramente la cota del paseo actual. La principal limitación se da en el tramo final del “Paseo Barranco la Cala”, aguas arriba de la confluencia con la Av. Marina Baixa, donde la cota máxima a la que se puede sobreelevar la vía es de +3,6 metros.

Teniendo estos condicionantes en cuenta se comienza a plantear el diseño.

Aguas abajo del puente de la antigua nacional el flujo discurrirá en lámina libre y a cielo abierto por la superficie del cauce actual. Esto se debe a que el trazado en planta del barranco experimenta varias curvas que dificultan la ejecución de un cajón enterrado. Durante este tramo el cauce es estrecho y se encuentra encajado entre un muros de mampostería y un paseo lateral, por lo que, no supone ningún problema que el agua transcurra libremente. No obstante, se ejecutará un murete de 1.1 metros de alto en el paseo lateral para evitar que el agua se desborde del cauce.

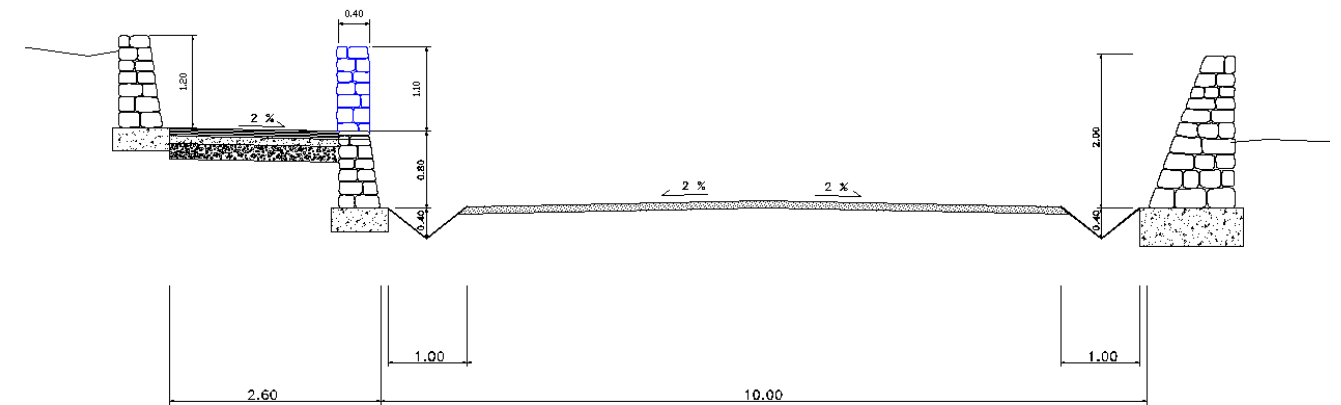


Fig. 19. Acondicionamiento del cauce con un muro en el paseo lateral

La escasa cota del paseo marítimo, de tan sólo 1.8 metros, hace inviable que el flujo sea desaguado en lámina libre, por lo que, será necesario la implantación de tuberías en presión en el tramo final. Para que el flujo entre correctamente en las tuberías debe alcanzar un régimen lento en el que las velocidades sean bajas y esto se conseguirá mediante una cámara de presurización. Por tanto, se comienza el diseño con esta condición impuesta aguas abajo.

El tramo en presión es diseñado para un caudal de $67 \text{ m}^3/\text{s}$, ya que, debe verter el caudal procedente del barranco y de la avenida Marina Baixa.

Para poder transportar el flujo con una velocidad menor de 6 m/s se necesitan 3 tuberías de 2,4 metros de diámetro. Este diámetro obliga a que la salida de las tuberías sea sumergida, ya que, no caben bajo el paseo marítimo. El tramo en presión tiene una longitud aproximada de 250 metros y las pérdidas de energía producidas son de 3,19 metros. Por tanto, si a la condición de que la energía total requerida del flujo es de 3,2 metros se le añade que se impone una velocidad en la cámara de 2 m/s se pueden obtener las dimensiones que debe tener esta obra singular.

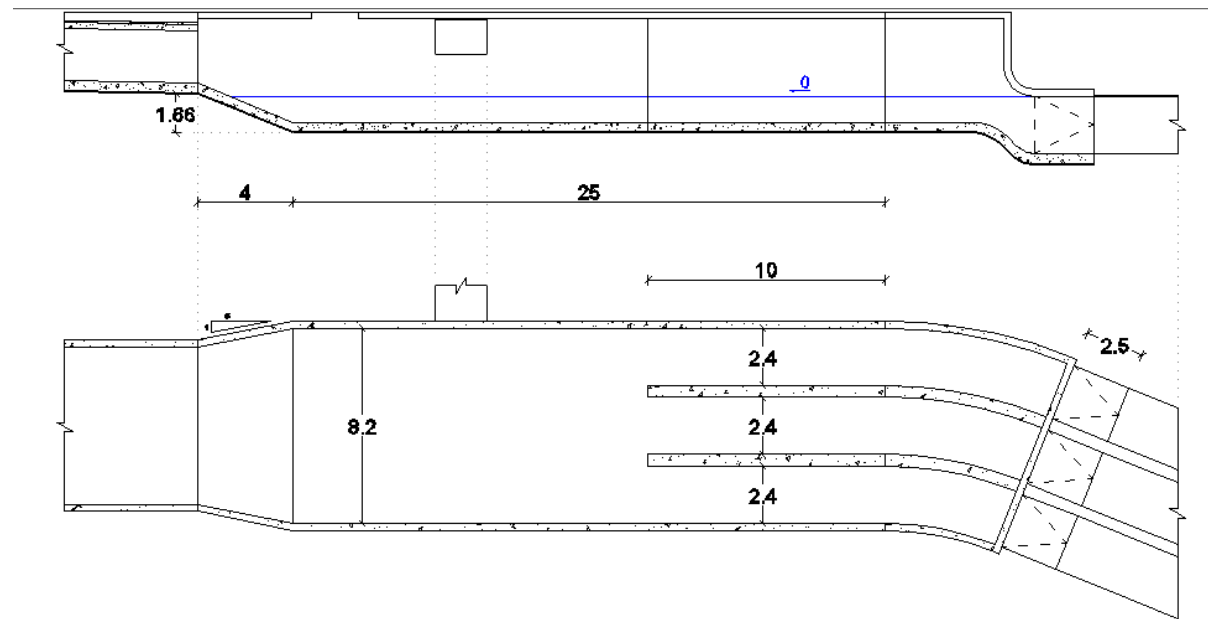


Fig. 20. Cámara de presurización

Sabiendo las dimensiones de la cámara, se procede al dimensionamiento del tramo enterrado en lámina libre.

Se considera oportuno realizar el encauzamiento soterrado, ya que, llega un momento en el que el cauce se ensancha considerablemente adquiriendo una morfología urbana. Adquiere una falsa apariencia de calle que puede favorecer un uso indebido de la zona. Por tanto, resulta peligroso no salvaguardar este tramo. Además, se gana un espacio que puede ser disfrutado por los ciudadanos si en el futuro se implanta, por ejemplo, un parque.

Por tanto, se centra ahora el análisis en la búsqueda de un cajón enterrado adecuado que no eleve demasiado la rasante actual.

Se opta por un cajón de tres celdas de $2 \times 2.2 \text{ m}^2$ con una pendiente de $I = 0.013$. Estas dimensiones permiten ceñir el diseño al terreno existente lo máximo posible y que el cajón sea visitable.

Los condicionantes tenidos en cuenta para el diseño del cajón han sido:

- La anchura máxima del cajón puede ser de 10 metros, ya que es la anchura limitante con la que cuenta el cauce.
- Se limita la velocidad máxima de la lámina libre a 6 m/s para evitar deterioros en el hormigón.

- La cota final del cauce en la confluencia con la Av. Marina Baixa no podrá ser superior a 3.6 m.

Brevemente, las alternativas barajadas han sido las siguientes:

- Alternativa 1: consiste en ejecutar una caída que permita directamente la entrada del caudal en régimen rápido.

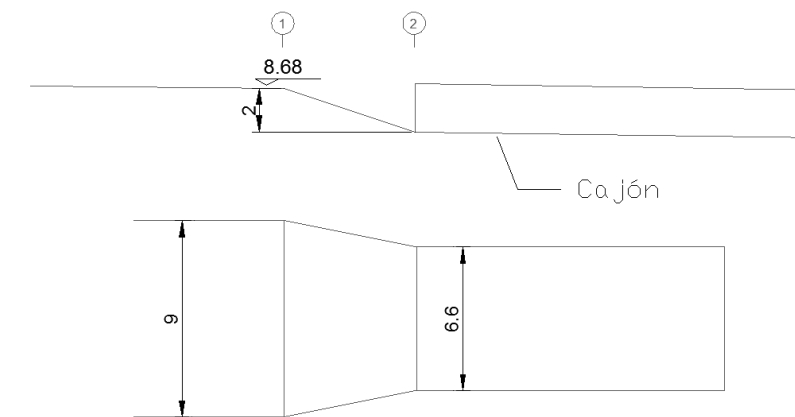


Fig. 21. Croquis alternativa 1

Queda descartada puesto que las velocidades alcanzadas en gran parte del cajón son demasiado altas.

- Alternativa 2: Con el objetivo de frenar el flujo, se ejecuta un cuenco disipador y un estrechamiento.

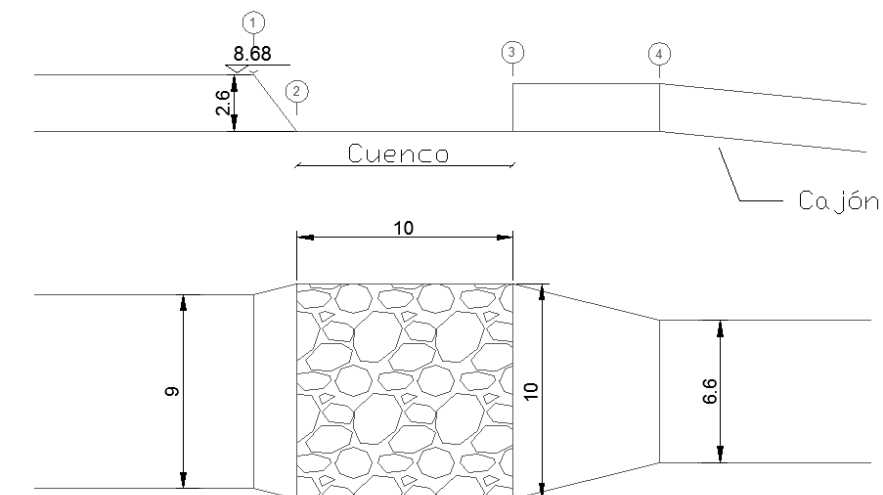


Fig. 22. Croquis alternativa 2

A pesar, de que se consigue que el flujo se introduzca en el cajón con un calado y velocidad aceptable, se descarta porque el estrechamiento se supera en régimen rápido. Esta situación puede dar lugar a un flujo tridimensional mientras que los cálculos están basados en un flujo unidimensional. Por tanto, se rechaza esta opción para evitar comportamientos inesperados de la lámina de agua.

- Alternativa 3: En ella se alarga el tramo de alta rugosidad y se ejecuta un estrechamiento brusco para provocar una sección crítica justo antes de la entrada al cajón. La sección crítica reordena las líneas de corriente evitando que se origine un flujo tridimensional.

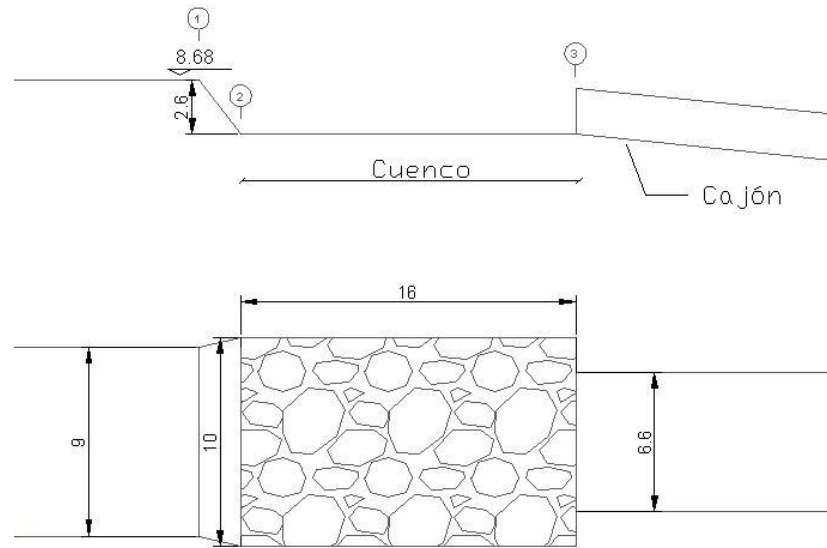


Fig. 23. Croquis alternativa 3

Sin embargo, el resalto producido en la sección del estrechamiento asciende a más de 3 metros. Se considera un calado demasiado alto y se busca una nueva solución que lo resuelva.

- Alternativa 4: Con el fin de que se produzca un resalto de menor calado el cuenco disipador se ensancha hasta 12 metros y la bajada de cota se produce en dos caídas. De esta manera, el resalto se origina en el cuenco con un calado de 1.88 metros y se introduce en el cajón con un calado muy próximo al normal. Se garantiza que el régimen uniforme se alcanza

rápido, lo que conlleva que la velocidad del flujo sea la admisible.

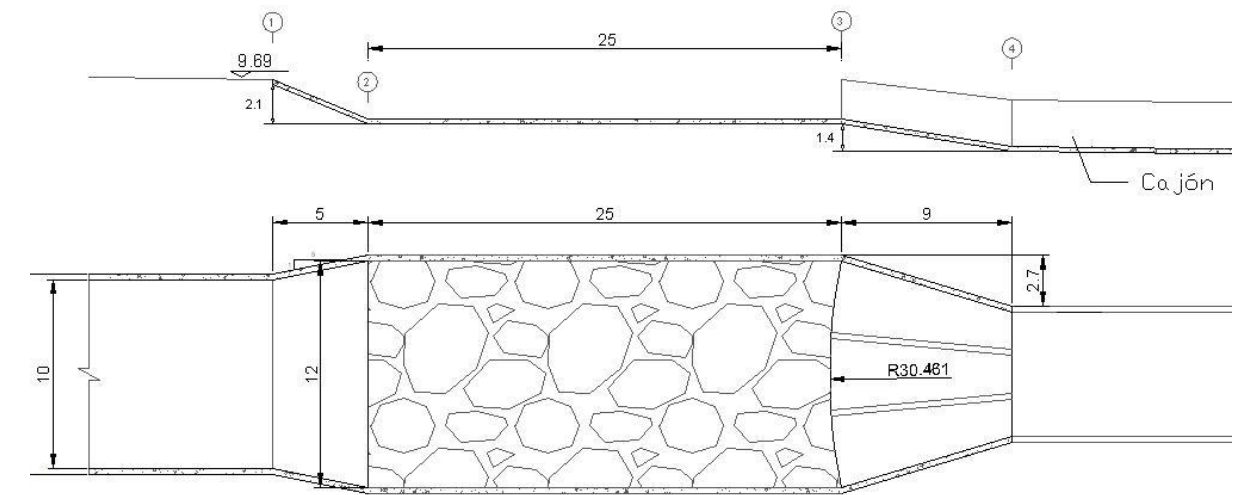


Fig. 24. Croquis alternativa 4

Por tanto, esta cuarta alternativa resuelve perfectamente la embocadura y además permite llegar a la cámara de presurización con una cota suficiente para que se produzca el resalto hidráulico dentro de la cámara y no en el cajón.

4.2. Colector en la "Av. Marina Baixa"

Por último, para proteger totalmente la zona urbana aguas abajo del barranco, además del encauzamiento realizado, se ejecuta un colector que recoge el caudal que baja por la Av. Marina Baixa aguas arriba de la confluencia con el barranco.

Esta infraestructura ha sido diseñada para un caudal de 7.4 m³/s que serán vertidos en la cámara de presurización en la zona en la que se produce el resalto hidráulico.

El principal condicionante en este diseño, es que el agua del interior de la cámara no anegue la salida del colector. Para conseguir este objetivo, el calado normal alcanzado en el colector debe ser superior al máximo nivel de agua impuesto en la cámara que es de +3 metros. Además, se impone que el flujo discurra en régimen lento.

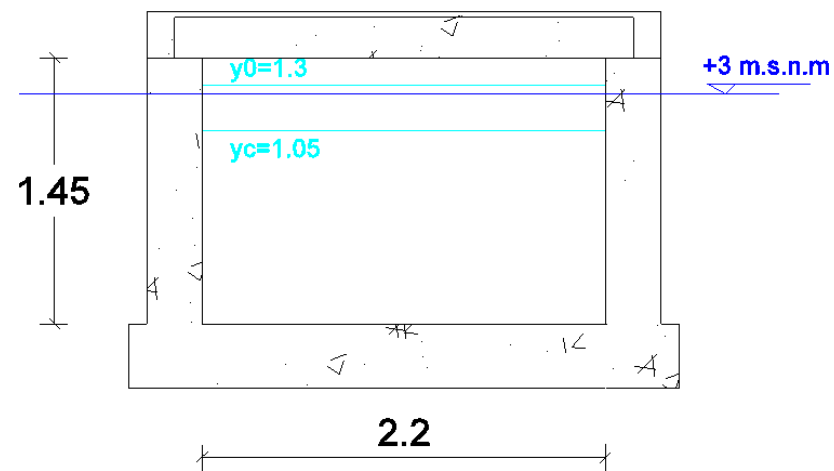


Fig. 25. Dimensiones del cajón y sus respectivos calados normal y crítico

Se opta por un cajón unicelular de 2.2x1.45 metros y una pendiente de $I=0.0034$ que conlleva un calado normal de 1.30 metros que permite que el caudal del interior de la cámara no anegue el colector y se pueda realizar el vertido del caudal.

5. CÁLCULOS HIDRÁULICOS

Los cálculos hidráulicos que demuestran el correcto funcionamiento de la actuación se encuentran detallados en el "Anejo 3. Cálculos Hidráulicos" redactado por Nuria Estivill Manzanaro.

Por un lado, se realizan los cálculos relacionados con las pérdidas de carga de las tuberías en presión. Para ello, se ha partido de un flujo turbulento completamente desarrollado.

Por otro lado, se ejecutan los cálculos del cajón en lámina libre. Para el predimensionamiento del mismo se ha concebido un régimen estacionario y uniforme. Posteriormente, se han comprobado que las dimensiones son óptimas obteniendo las curvas de remanso con un cálculo en régimen estacionario y gradualmente variado. Finalmente, para verificar que todo está correcto se ejecutan los cálculos con el programa informático HEC-RAS.

Por último, los últimos cálculos llevados a cabo son los relacionados con el dimensionamiento del colector que recoge las aguas de la Av. Marina Baixa. Igual que en el cajón enterrado, el predimensionamiento se ha basado en un régimen estacionario y uniforme; y posteriormente se ha

comprobado que las curvas de remanso quedan dentro de la infraestructura con un régimen estacionario y gradualmente variado.

En definitiva, el diseño definitivo posee las siguiente características:

	Longitud (m)	Pendiente	Dimensiones	Rugosidad
Tramo I. Acondicionamiento del cauce	233.1	Variable en función del terreno existente	Muro de 0.4X1.1 m ²	0.020
Obra singular I. Embocadura	39	Horizontal	12x29 m ²	0.016
Tramo II. Cajón enterrado	429.3	0.013	3x2x2.2 m ²	0.016
Obra singular II. Cámara de presurización	34	Horizontal	12x34 m ²	0.016
Tramo III.a. Tuberías enterradas	173	Variable en función del terreno existente	3 tuberías de diámetro 2.4 m	3-10-5
Tramo III.b. Tuberías sumergidas	69.1	Variable en función del terreno existente	3 tuberías de diámetro 2.4 m	3-10-5
Tramo IV. Colector Av. Marina Baixa	30.3	0.0034	2.2x1.45 m ²	0.016

Las cotas que definen el trazado del encauzamiento del barranco en alzado son las siguientes:

- **P.K. 0+000.** Salida sumergida de las tuberías en presión:

$$Z_{\text{SOLERA}} = -4.4 \text{ m.s.n.m.}$$

$$Z_{\text{CLAVE}} = -2 \text{ m.s.n.m.}$$

- **P.K. 0+242.1.** Final de la cámara de presurización e inicio de las tuberías en presión:

$$Z_{\text{SOLERA}} = +0 \text{ m.s.n.m.}$$

$$Z_{\text{CLAVE}} = -2.4 \text{ m.s.n.m.}$$

- **P.K. 0+274.6.** Inicio de la cámara de presurización:

$$Z_{\text{SOLERA}} = -1.1 \text{ m.s.n.m.}$$

$$Z_{\text{CLAVE}} = +3.25 \text{ m.s.n.m.}$$

- **P.K. 0+278.6.** Final del cajón enterrado:

$$Z_{\text{SOLERA}} = +0.56 \text{ m.s.n.m.}$$

$$Z_{\text{CLAVE}} = +2.76 \text{ m.s.n.m.}$$

- **P.K. 0+707.9.** Final caída de embocadura e inicio del cajón enterrado:

$$Z_{\text{SOLERA}} = +6.19 \text{ m.s.n.m.}$$

$$Z_{\text{CLAVE}} = +8.39 \text{ m.s.n.m.}$$

PATRICOVA. Sin embargo, si se llegan a desarrollar la totalidad de las actuaciones urbanísticas previstas, la protección se reducirá hasta 250 años de periodo de retorno.

- **P.K. 0+716.9.** Final cuenco de disipación:

$$Z_{\text{SOLERA}} = +7.59 \text{ m.s.n.m.}$$

$$Z_{\text{CORONACIÓN}} = +9.69 \text{ m.s.n.m.}$$

El presente ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA EL ENCAUZAMIENTO DEL BARRANCO DE LA CALA (FINESTRAT, ALICANTE), ha sido realizado por:

- **P.K. 0+741.9.** Comienzo del cuenco de disipación:

$$Z_{\text{SOLERA}} = +7.59 \text{ m.s.n.m.}$$

$$Z_{\text{CORONACIÓN}} = +9.69 \text{ m.s.n.m.}$$

Las autoras:

- **P.K. 0+746.9.** En esta sección se produce el cambio del flujo que discurre por el cauce a entrar a la embocadura. Supresión del paseo lateral y comienzo de la embocadura:

$$Z_{\text{SOLERA}} = +9.69 \text{ m.s.n.m.}$$

$$Z_{\text{CORONACIÓN}} = +11.69 \text{ m.s.n.m.}$$

Laia Llin Esteller

Nuria Estivill Manzanaro

- **P.K. 0+900.6.** Acondicionamiento del cauce con un murete en el paseo lateral

$$Z_{\text{SOLERA}} = +13.47 \text{ m.s.n.m.}$$

$$Z_{\text{CLAVE}} = +14.57 \text{ m.s.n.m.}$$

Valencia, mayo de 2015

6. CONCLUSIÓN

Como conclusión, se resumen los aspectos más importantes del estudio de soluciones:

- El encauzamiento diseñado se divide en tres tramos: en el primero el agua discurre sobre la calle existente, en el segundo el caudal transcurre enterrado en lámina libre y, por último, el caudal es transportado en presión hasta el mar.
- En caso de desarrollarse las actuaciones propuestas en el planeamiento urbanístico previsto, se produciría un grave impacto en la zona. Tendría lugar un descenso del Umbral de Escorrentía: de 11.2 pasaría a ser de 9.6, provocando un aumento significativo de los caudales.
- El nivel de seguridad para el que se han proyectado las infraestructuras hidráulicas se corresponde con un periodo de retorno de 500 años, cumpliendo así con las exigencias del