



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

ANÁLISIS HIDROLÓGICO

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

Alumna: Laia Llin Esteller

Tutor: Félix Ramón Francés García



MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN
2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO
3. ANÁLISIS HIDROLÓGICO
4. DISEÑO HIDRÁULICO

ANEJO Nº1. DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA

ANEJO Nº2. ANÁLISIS HIDROLÓGICO



MEMORIA

ÍNDICE

- 1. INTRODUCCIÓN.....4
 - 1.1. Antecedentes.....4
 - 1.2. Objetivo y alcance.....4
 - 1.3. Localización.....5
- 2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO5
 - 2.1. Evolución histórica.....5
 - 2.2. Caracterización del barranco de La Cala7
 - 2.3. Problemática de la zona y necesidad de actuación.....7
 - 2.4. Situación actual.....8
- 3. ANÁLISIS HIDROLÓGICO.....9
- 4. DISEÑO HIDRÁULICO.....12
- 5. CONCLUSIÓN.....14

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El presente estudio de soluciones atiende 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, Villajoyosa 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 tenido lugar en Finestrat sea 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 provoca 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, es decir, 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 duración 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 debajo 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 tuvo lugar 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. 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.



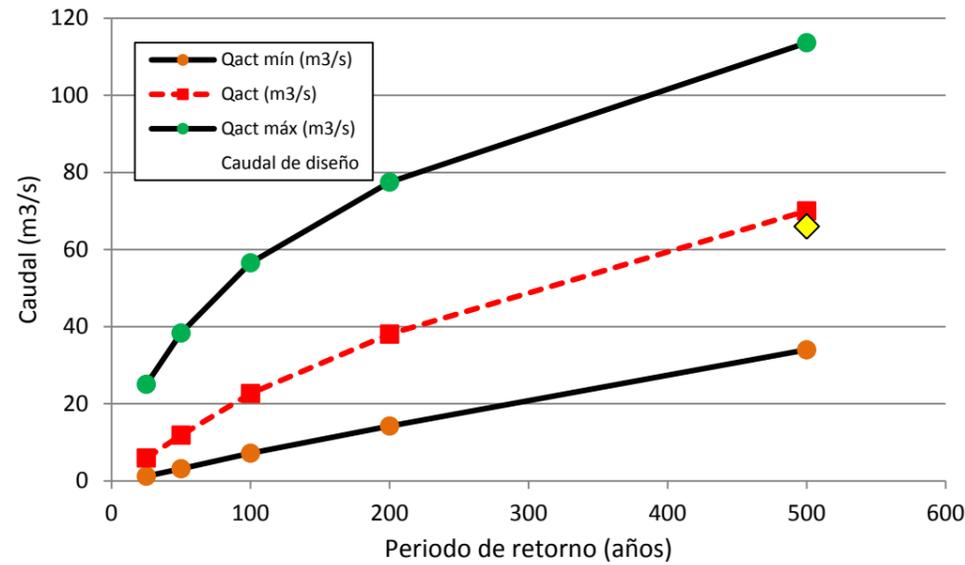
Fig. 11. Ubicación de los 4 puntos de simulación considerados. FUENTE: elaboración propia.

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.

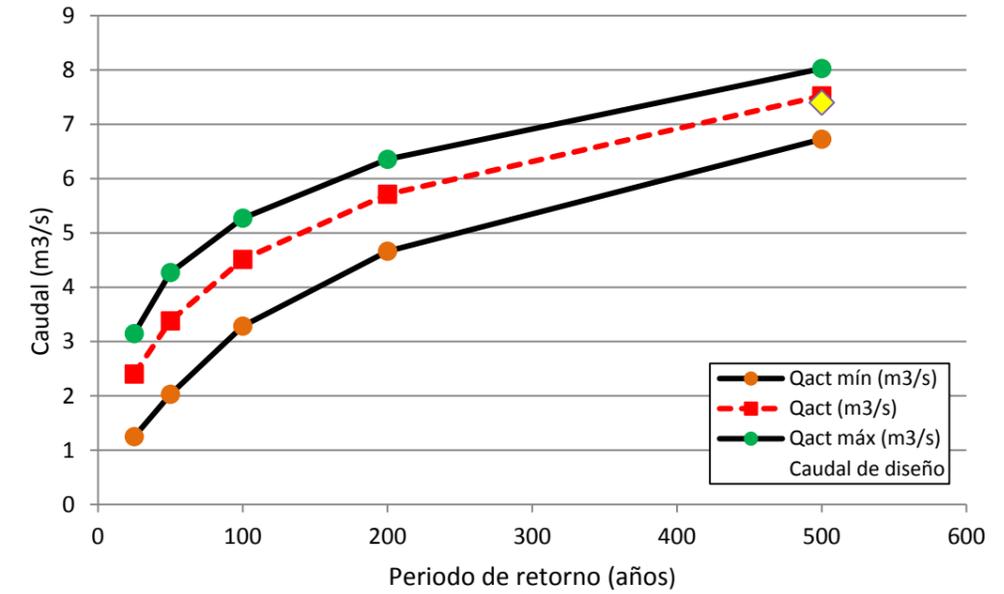
Una vez conocidos los hidrogramas de crecida para la situación actual se ha calculado un rango de incertidumbre. Su finalidad es garantizar que los caudales proporcionados en un principio para llevar a cabo el diseño hidráulico siguen cumpliendo el nivel de seguridad considerado, de periodo de retorno 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. 12. Rango de caudales en el punto de simulación B.

El caudal de diseño considerado para el punto de simulación B es $66\text{m}^3/\text{s}$. 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. 13. Rango de caudales en el punto de simulación C.

El caudal de diseño considerado para el punto de simulación C es $7.4\text{m}^3/\text{s}$. 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.

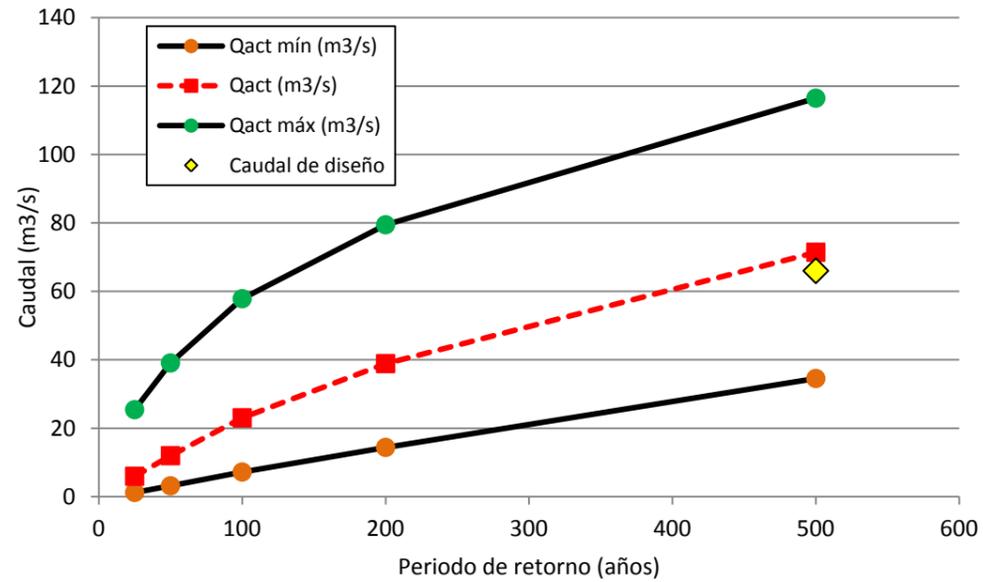


Fig. 14. Rango de caudales en el punto de simulación D.

El caudal de diseño considerado para el punto de simulación D es $67 \text{ m}^3/\text{s}$. 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 $9,6 \text{ mm}$. Como consecuencia de ello los caudales han aumentado significativamente.

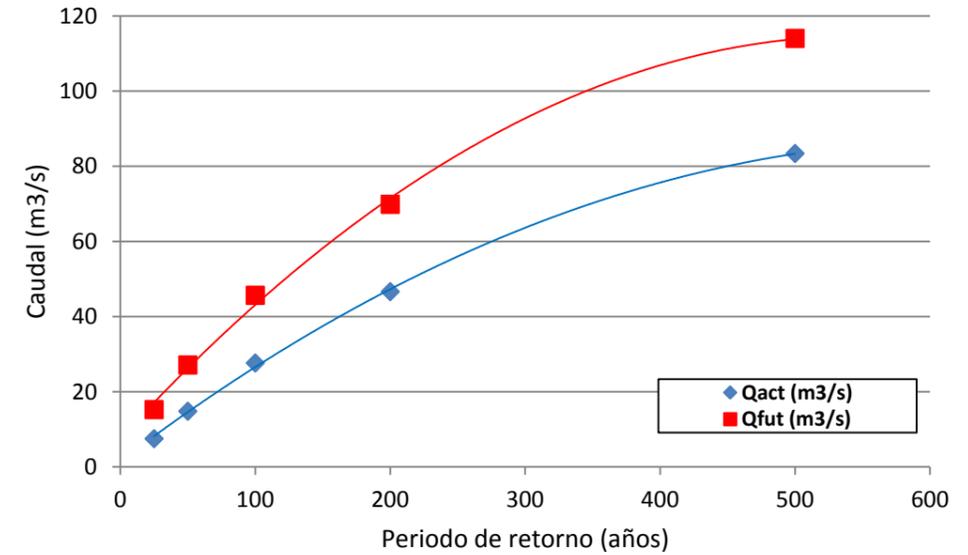


Fig. 15. Evolución de los caudales para el punto de desagüe A.

Al trasladar los caudales actuales de diseño (66 y $67 \text{ m}^3/\text{s}$) 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.

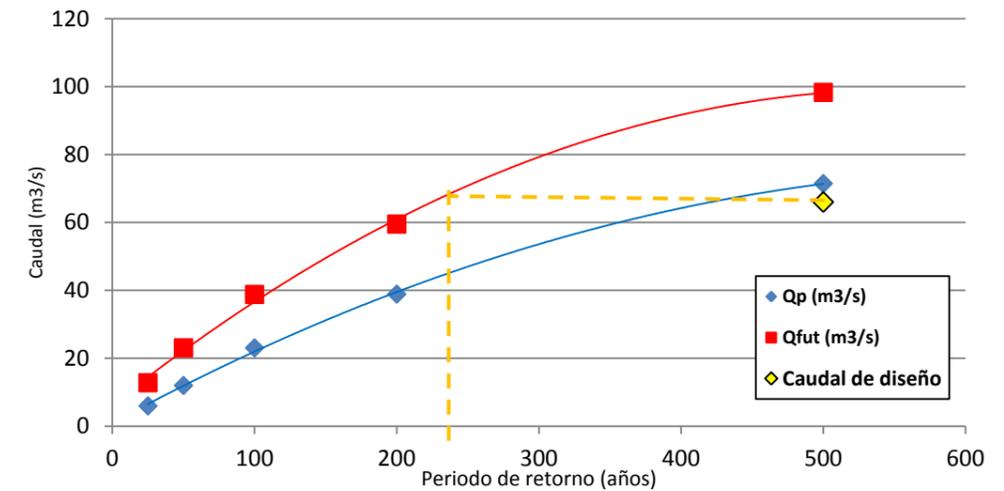


Fig. 16. Comparación de la situación actual y futura para el punto de desagüe D.

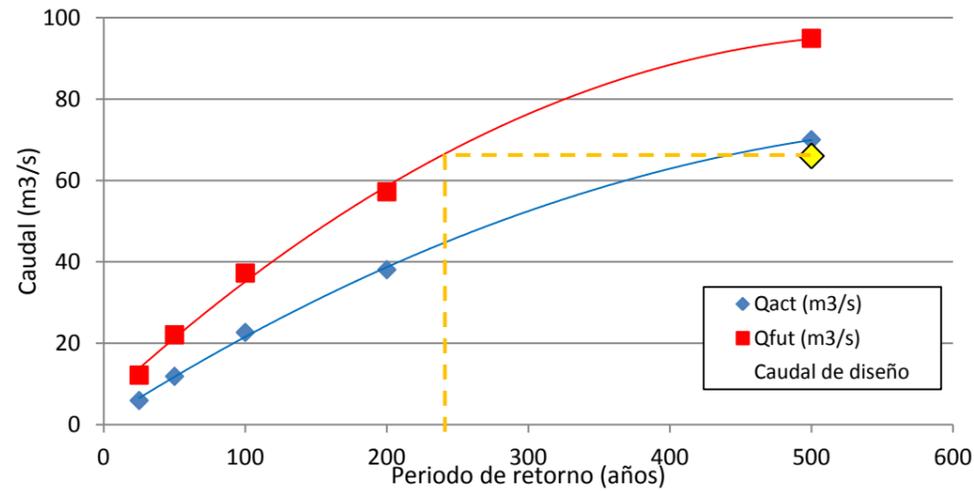


Fig. 17. Comparación de la situación actual y futura para el punto de desagüe B.

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. DISEÑO HIDRÁULICO

Con el fin de proteger a la zona urbana de inundaciones se ha planteado un encauzamiento soterrado que recoge el caudal que baja por el barranco de la cala, así como, el que llega por la Av. Marina Baixa.

Cumpliendo con los requisitos exigidos en el PATRICOVA, la obra ha sido diseñada para un nivel de protección asociado a un periodo de retorno de 500 años. De manera que, tras realizar el estudio hidrológico el caudal de diseño resultante es de 66 m³/s en los dos primeros tramos, y de 67 m³/s en el tramo final. Este aumento de caudal se debe a que se intercepta el agua que discurre por la Av. Marina Baixa.

El diseño definitivo del encauzamiento consta de tres tramos:

- **Tramo 1:** Este primer tramo abarca desde el puente de la antigua nacional N-332 hasta aproximadamente unos 290 metros aguas abajo. El agua discurre en lámina libre y a cielo abierto por el cauce actual en el que únicamente se produce un acondicionamiento del

tramo para que el agua circule por dicho cauce y no se desborde por el paseo lateral existente. Para ello, se ejecuta un murete en el paseo de 1.1 metros que evita que el flujo se escape.

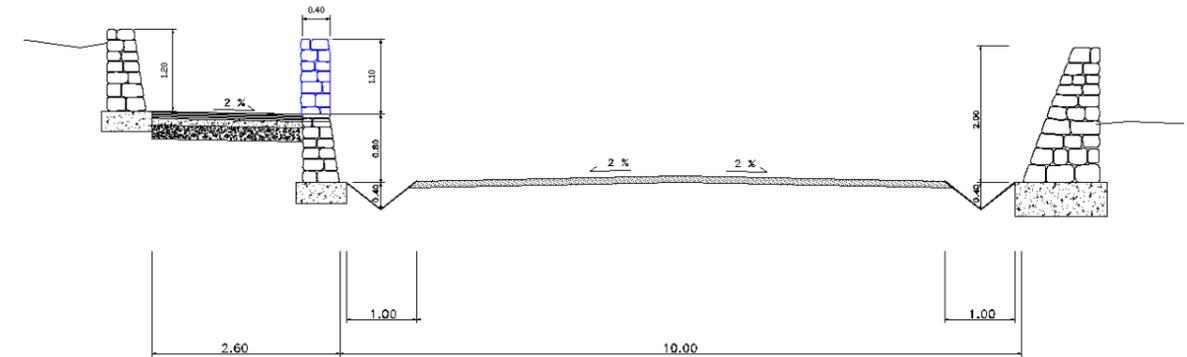


Fig. 18. Ejecución de un muro lateral en el paseo de 1.1 metros dibujado en azul

- **Tramo 2:** El flujo discurre en lámina libre a través de un cajón de hormigón armado enterrado. La estructura se trata de un cajón de tres celdas de 2x2.2 metros separadas por dos muros de 0.3 metros. Se ha decidido una altura de 2.2 metros para que la estructura sea visitable y se puedan llevar a cabo tareas de mantenimiento y limpieza. Las dimensiones del cajón no varían en toda su longitud que es de aproximadamente 430 metros.

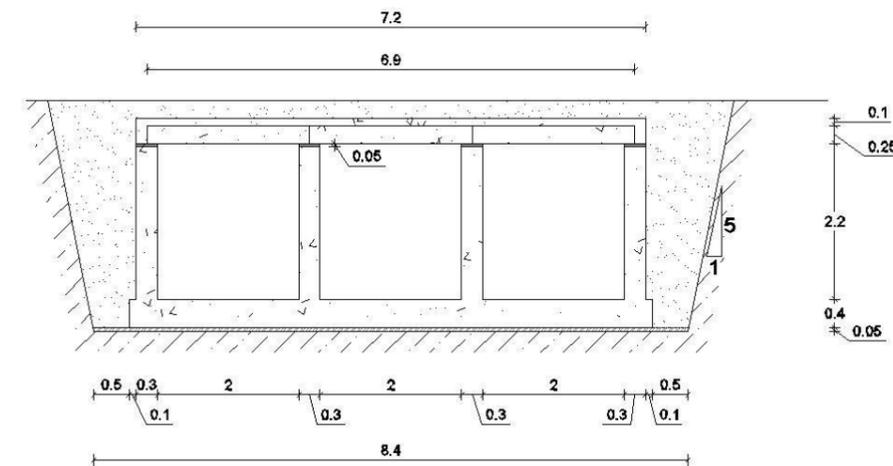


Fig. 19. Sección tipo del cajón enterrado

- **Tramo 3:** Se trata de un último recorrido en el que el flujo va en presión. Debido a la escasa cota del paseo marítimo, de únicamente +1.8 metros, resulta inviable verter el caudal de diseño en lámina libre, así que, se requiere de tuberías. Éstas son de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), ya que, se encuentran en un ambiente extremadamente agresivo al estar en contacto con el agua del mar.

Para poder desaguar el caudal con unas pérdidas de energía razonables han sido necesarias 3 tuberías de 2.4 metros de diámetro. Por tanto, de nuevo la cota del paseo imposibilita que las tuberías tengan una salida en la playa y ésta deba ser sumergida. Por tanto, el vertido se realiza a la batimétrica -2 metros que se encuentra a unos 70 metros de la costa.

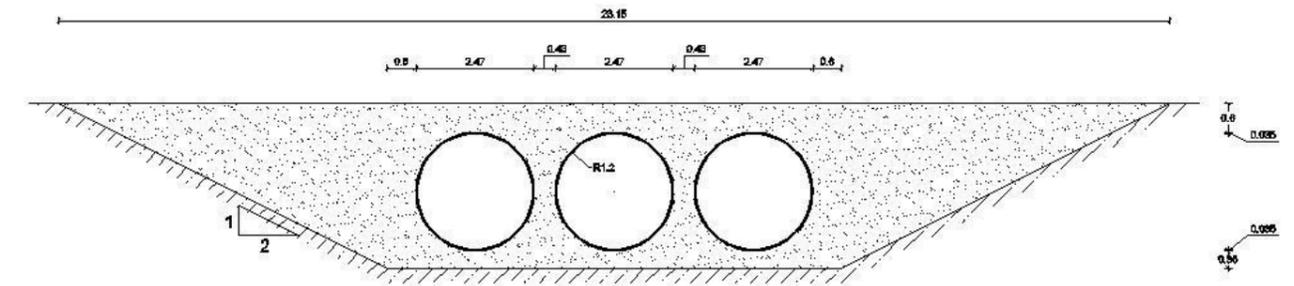


Fig. 21. Sección tipo de las tuberías sumergidas

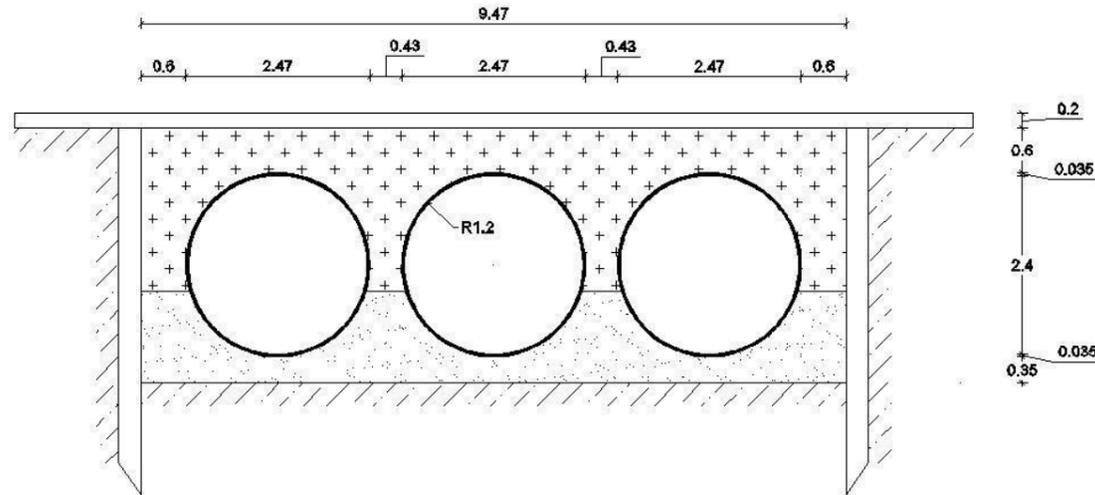


Fig. 20. Sección tipo de las tuberías que discurren por la Av. Marina Marina Baixa

Para realizar la transición entre tramos se ejecutan dos obras singulares:

Embocadura: Permite que el flujo se introduzca en el cajón enterrado. Para poder albergar el cajón sin producir una elevación excesiva de la calle actual se ejecutan dos caídas separadas por un cuenco disipador con escollera. La combinación de estos elementos permiten que el flujo entre en el cajón con un calado y una velocidad admisibles.

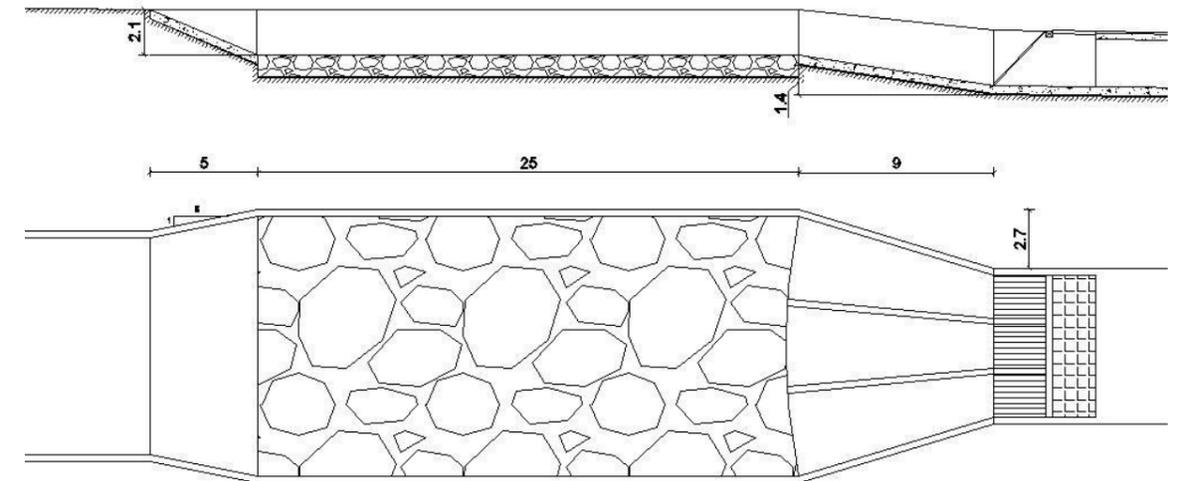


Fig. 22. Alzado y planta de la embocadura

Cámara de presurización: Permite el paso de lámina libre a flujo en presión. Su misión es reducir la velocidad con la llega el agua del tramo 2, de manera que, se impone un régimen lento que permite una toma de caudal apropiada.

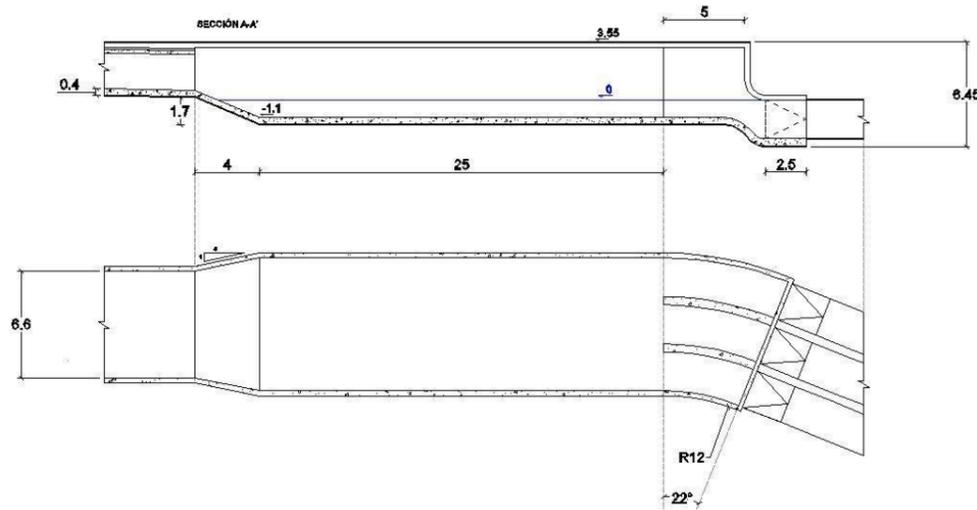


Fig. 23. Alzado y planta de la cámara de presurización.

- 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 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.

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

Las autoras:

Laia Llin Esteller

Nuria Estivill Manzanaro

Valencia, mayo de 2015

5. 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.