

Universitat Politècnica de València
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos
Grado en Ingeniería de Obras Públicas



“Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad
urbana de la calle Cotoliu, en la urbanización
“Torre en Conill” de Bétera (Valencia).”



Proyecto Final de Grado. Tipo II

Autores: **Jorge García del Moral Guillén**
Alejandro Marín Villanueva

Tutor: **Javier Ortega Sánchez**



Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

Nombre	Título individual	Firmas
García del Moral Guillén, Jorge	Evaluación multicriterio de alternativas del Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu, en la urbanización Torre en Conill de Bétera (Valencia)	
Marín Villanueva, Alejandro	Dimensionamiento hidráulico de las alternativas del Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu, en la urbanización Torre en Conill de Bétera (Valencia)	

Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

Índice



I. Memoria

1. Objeto y alcance del Trabajo Final de Grado
2. Análisis de la problemática existente
3. Planteamiento de alternativas
4. Cálculo y diseño hidráulico
 - 4.1 Estudio hidrológico
 - 4.1.1 Introducción
 - 4.1.2 Caracterización del sistema hidrológico
 - 4.1.3 Análisis de las precipitaciones diarias máximas anuales
 - 4.1.4 Estimación de los caudales pico e hidrogramas de crecida
 - 4.2 Cálculo hidráulico
 - 4.2.1 Introducción
 - 4.2.2 Condiciones de contorno
 - 4.2.3 Dimensionamiento hidráulico colectores
 - 4.2.4 Comprobación velocidades
 - 4.2.5 Diseño elementos de captación
5. Evaluación de alternativas
6. Conclusiones

II. Apéndices

III. Valoración económica

IV. Planos



Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

I. Memoria





2. Análisis de la problemática existente

El punto más bajo de la calle Cotoliu no dispone de una salida natural para la escorrentía superficial, dado que se encuentra completamente rodeado por parcelas urbanas privadas. Además, la red de saneamiento presenta serios problemas de falta de capacidad; esto ocasiona que durante lluvias de altas intensidades se produzcan acumulaciones de agua en forma de inundación.

Estas recurrentes inundaciones han ocasionado numerosas quejas por parte de los vecinos ante el Ayuntamiento de Bétera.

La siguiente imagen muestra las zonas con mayores problemas de inundabilidad:



Calle Cotoliu

Hasta la calle Cotoliu accede la escorrentía superficial proveniente de otras zonas de mayor extensión, aumentando tanto los caudales punta como los volúmenes de agua a evacuar por las redes existentes. La zona por donde debería salir la escorrentía superficial de forma natural ha sido ocupada por unas parcelas privadas y por el campo de golf, creando una barrera artificial que impide la libre circulación del agua por superficie. Este caudal en superficie accede tanto por el nordeste como por el sureste de la calle Cotoliu, desplazándose el agua por superficie a través de los diferentes viales. Al no disponer de una salida natural, queda acumulada en superficie en el punto más bajo, ocasionando serias molestias a los vecinos.

Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera



Distribución de la cuenca que drena hasta el punto bajo afectado.

La siguiente foto muestra la zona donde se producen las inundaciones de forma más recurrente:



La red de saneamiento ya se encuentra muy sobrecargada, y por tanto no es capaz de asimilar toda el agua que llega hasta esta zona durante una lluvia de cierta importancia.

El sistema de evacuación de esta zona está compuesto por redes unitarias, es decir las aguas



residuales y las pluviales son recogidas por las mismas conducciones, con diámetros de entre Ø300-Ø400 mm., y resulta claramente insuficiente para captar toda la escorrentía generada en episodios de fuertes lluvias.

La red de saneamiento baja por la calle Cotoliu en los dos sentidos hasta llegar al punto más bajo. En esta zona el colector cruza unas parcelas privadas bajo la medianera de las mismas, hasta llegar al campo de golf, donde conecta con el colector general.

Las tapas del colector general que discurre bajo el campo de golf han sido selladas para evitar el desbordamiento de agua residual en episodios de lluvia. No obstante, se producen alivios a través de las arquetas de las acometidas domiciliarias preparadas en las parcelas todavía sin edificar.

La siguiente imagen muestra la ubicación de estas conducciones:



Para tratar de poner fin a estos problemas, el Ayuntamiento de Bétera, construyó pozos filtrantes en las cunetas ubicadas en el punto bajo del vial descrito.

Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera



También se colocó una reja corta-aguas transversalmente en toda la calzada en la zona donde se encuentran las viviendas más próximas al punto bajo del vial, conectada a la red unitaria de alcantarillado existente.

Estas soluciones resultan claramente insuficientes, pues la capacidad de infiltración de los pozos filtrantes es muy inferior a los caudales que se generan con lluvias de relativa importancia, y la red unitaria existente tampoco dispone de capacidad suficiente para asimilar los caudales generados en este tipo de lluvias.



Al realizar una visita de campo a los pocos días de los fuertes episodios de lluvia que se produjeron en Valencia los días 20-23 de Marzo de 2015, pudimos observar que dichas cunetas filtrantes no absorbían la totalidad el agua y actuaban de canales por los que el agua continuaba bajando hacia la parte problemática de la calle Cotoliu.



Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

Como se observa en las fotos, el mal estado de las rejillas y la suciedad acumulada evitan que el agua sea evacuada con eficacia.



En la actualidad gran parte del caudal que se acumula en la parte baja de la calle Cotoliu es evacuado en dirección a una parcela privada donde, con permiso del propietario, el Ayuntamiento realizó una pequeña vía de entrada a la propiedad con el fin de facilitar la evacuación del agua. Cabe destacar que dicha medida es de carácter temporal, pues no siempre se podrá tener acceso a esa parcela privada.



En las siguientes imágenes se muestra el punto bajo desde ambos lados de la calle y se observa la vía de entrada a la parcela privada anteriormente mencionada.



3. Planteamiento de las alternativas

El objetivo perseguido es, tal y como se ha indicado, evitar que se produzcan periódicamente inundaciones en la zona baja de la calle Cotoliu.

Para ello, se plantean tres tipos posibles de actuación:

1. Ejecución de un colector hasta un punto de vertido adecuado.
2. Ejecución de una balsa de acumulación-infiltración de aguas junto a la zona urbana inundable, de modo que actúe como zona de sacrificio.
3. Reducir la escorrentía generada en origen mediante la implantación de los llamados Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

Para las alternativas 1, 2 y 3 se han diseñado para una lluvia de duración igual al tiempo de concentración, pues se ha aplicado la metodología de Temez. En el apartado 4 se muestran los cálculos realizados para la obtención de la tormenta de cálculo y para el diseño hidráulico de las diferentes alternativas.

Sabiendo que el método racional no es del todo válido para obtener el volumen de diseño, a falta de otro criterio, hemos escogido ese volumen y posteriormente se ha valorado el aspecto hidráulico dentro de la valoración multicriterio.

3.1. Alternativa 1: Colector pluvial

DESCRIPCIÓN

En la primera alternativa se propone la construcción de un colector pluvial que se inicie en la parte más baja de la calle Cotoliu.

Dado que no existen cauces cercanos, se ha analizado la topografía de la zona para definir los posibles puntos de vertido. De este modo, se han identificado tres posibles puntos de vertido en el interior del campo de golf, zonas deprimidas a las que actualmente ya va a parar el agua una vez superado un cierto nivel de inundación en la zona más baja del vial. Con esta actuación se buscaría dar continuidad a la salida natural del agua, superando las parcelas que ahora actúan como barrera

de cara a la escorrentía superficial que circula por las calles, mediante una conducción subterránea.

De los tres puntos de vertido contemplados, uno corresponde a una depresión del terreno (PV3), otro a una actual balsa de pluviales (PV1) y un tercero a un lago con agua permanente (PV2).



El siguiente paso ha consistido en confirmar la viabilidad de estos puntos de vertido. Para ello, se ha calculado la cuenca vertiente, incluyendo la del colector propuesto, y se ha obtenido para la lluvia de diseño el caudal total que se vertería a cada una de las depresiones que conforman los puntos de vertido tras la implantación de cada alternativa. A continuación, por observación de la topografía del terreno, se han identificado las zonas por las que desbordaría el agua una vez superada la capacidad de las depresiones que conforman los puntos de vertido, y el recorrido que ésta realizaría tras el desbordamiento. Mediante simulación hidráulica con HEC-RAS se ha obtenido la cota máxima que alcanzaría el agua en cada punto de vertido cuando el caudal que esté desbordando corresponda al caudal pico obtenido para la lluvia de diseño. Dicha cota se encuentra en los tres casos por debajo del punto bajo del vial de la calle Cotolliu, por lo que se confirma la viabilidad de los puntos de vertido contemplados. En el apartado 4 se muestran todos los cálculos realizados para obtener las cotas máximas del agua en los puntos de vertido contemplados.

Se plantean cuatro sub-alternativas, dos de ellas hasta el punto de vertido PV1, pero con diferente trazado, una hasta PV2 y otra hasta PV3. La siguiente imagen muestra los recorridos de cada una de estas sub-alternativas:

Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera



En todos los casos, la conducción se iniciaría en la parte baja de la calle Cotoliu. La cabecera de la tubería se encuentra en el punto donde actualmente se ubican las rejillas transversales de captación de escorrentía superficial. Estas rejillas serían desconectadas de la red unitaria y conectadas al nuevo colector. Además, se añadirían nuevas rejillas transversales encargadas de captar la escorrentía superficial que bajase hasta el punto bajo de la calle, de acuerdo a los cálculos realizados en el apartado 4.

El trazado de todas las sub-alternativas atraviesa alguna parcela privada, por lo que será necesario gestionar la correspondiente servidumbre de aguas. En el documento Planos se define el trazado longitudinal de dicha alternativa. El trazado longitudinal de esta alternativa ha venido condicionado por las cotas del terreno y por las cotas del cruce del colector residual existente, que ha obligado a cruzar el mismo por debajo. Este hecho provoca que no se llegase a la cota de fondo de la balsa, lo que generaba dos opciones: o bien se realizaba un sifón en la tubería, o realizar excavaciones en la balsa.

El diseño de la conducción necesaria en cada caso se ha realizado teniendo en cuenta el nivel máximo del agua en el punto de vertido.

Durante una de las visitas de obra realizadas durante los episodios de lluvia antes mencionados de Marzo de 2015 se pudo observar como la depresión del campo de golf del punto de vertido PV1, cuyo estado normal es totalmente seco, ya albergaba agua tras episodios fuertes de lluvia y nos sirve para ver la extensión de la depresión inundable.



VENTAJAS

- La actuación da continuidad al sistema de drenaje natural de la zona.
- Presenta un excelente comportamiento hidráulico y garantiza poner fin a los problemas de inundabilidad de la calle Cotoliu para periodos de retorno bajos.
- No requiere de expropiación de parcelas.
- Es la actuación de menor coste de ejecución.
- El vertido en las balsas del campo de golf puede permitir la recarga natural de las mismas, presentando una reducción del consumo de agua.

INCONVENIENTES

- Requiere de la ampliación de la servidumbre existente actualmente o la creación de una nueva para cruzar las parcelas privadas.
- Hay que actuar y verter dentro de las instalaciones del campo de golf, lo que podría generar cierto nivel de molestias para los usuarios de dichas instalaciones.
- Si la diferencia de cota entre la llegada del colector y el terreno en el punto de vertido fuese muy pequeña, existe riesgo de entrada de sólidos de la depresión del terreno al colector.
- El cruce con el colector general residual existente puede requerir de una obra de transición.

3.2 Alternativa 2: Balsa de acumulación-infiltración

DESCRIPCIÓN

La finalidad de esta solución es la de acumular el volumen de agua precipitada en una balsa con el objetivo de facilitar su posterior infiltración al subsuelo.

La ubicación ideal para la balsa se encuentra en una parcela situada en la zona baja de la calle Cotoliu, que habría que expropiar. Para el acondicionamiento de la misma sería necesario realizar importantes movimientos de tierras con tal de rebajar la cota de la solera existente para obtener el volumen deseado y establecer una serie de taludes naturales en su perímetro.

Además de la propia balsa, también se contempla construir las infraestructuras necesarias para captar la escorrentía superficial y canalizarlas a la balsa. Una vez superada la capacidad de la balsa, el alivio se produciría hacia el campo de golf, de modo similar a como lo hace en la actualidad una vez alcanzado cierto nivel de inundación en la zona baja del vial.

La siguiente imagen muestra la ubicación propuesta para la balsa y el recorrido del colector pluvial encargado de canalizar las aguas hasta la misma.



Para evitar la filtración de agua a las parcelas colindantes, se deberán impermeabilizar los muros de la balsa, los cuales tendrán un talud de 1/0,5 y se recubrirán con piedra de escollera, consiguien-



do así un mejor impacto visual. Por otro lado, la solera de la balsa será utilizada como parque urbano, recubriéndolo de vegetación dado que únicamente se van a verter aguas de lluvia y el entorno carece de dichos espacios.

El vaciado de la balsa se producirá por infiltración al terreno. Para acelerar dicho proceso de infiltración se construirán pozos filtrantes profundos, que permitirán llevar el agua hasta un estrato de roca calcárea fracturada, muy permeable, situado a partir de 8-10m de profundidad, según los datos recogidos de actuaciones anteriores ejecutadas en la zona por el Ayuntamiento de Bétera y de los estudios geotécnicos de otros proyectos realizados en zonas próximas a la obra como se muestra en el apéndice N^o. 1.



Estado actual de una de las parcelas privadas afectadas.



Ejemplo de apariencia final de una balsa parecida.

Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

La entrada de agua en la balsa se produciría a través de dos colectores pluviales de 800 mm de diámetro y con una pendiente del 0,5% que discurrirían en sentido contrario por la parte más baja de la calle y finalizarían vertiendo a la balsa. A estos colectores se conectarían las infraestructuras de captación existentes en la zona (rejadas transversales e imbornales) y además se añadirían algunas rejadas transversales nuevas y algunos imbornales en la parte más baja. El sistema de captación superficial es idéntico al de la alternativa 1 que se desarrolla en el punto 4 de esta memoria.

El sistema de colectores propuesto contará con un separador hidrodinámico en su zona de drenaje más baja (antes del vertido a la balsa), que se encargará de retener las grasas, aceites, basura y sedimentos que acompañen a la masa de agua proveniente de su escorrentía, para evitar el vertido de agua contaminada en la balsa y su posible filtración.



DISEÑO DE LA BALSA

No existe una normativa específica que regule el dimensionamiento de este tipo de infraestructuras, por lo que la justificación de los diseños suele ser relativamente compleja.

La parcela seleccionada para ubicar esta balsa tiene una superficie total de 2.600 m². La superficie útil será inferior a esta, ya que será necesario dejar algunas vías de paso, rampas de acceso, taludes de muros, etc. Tomando un valor conservador, se estima que la superficie útil será de unos 2.000 m².

Tomando una lluvia de diseño de duración igual al tiempo de concentración y conociendo el caudal, el tiempo de concentración y la superficie de la cuenca, obtenemos el volumen que llega a la calle Cotoliu tanto por la parte norte como por la sur.



Los volúmenes obtenidos son

$$V_{\text{sur}} = 343,3 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{norte}} = 399,6 \text{ m}^3$$

Volumen total que llega a la balsa= 742,8 m³

El diseño de esta balsa garantiza un funcionamiento hidráulico excelente, dado que el instante en el que los colectores de vertido empezasen a entrar en carga, se produciría el alivio de la balsa. La cota de solera también permitiría el vaciado de la balsa por gravedad a través del colector general, aunque sería preferible la posibilidad de mandar el agua hasta el campo de golf para ser usada en el riego. Además hay que indicar que los movimientos de tierra no son excesivamente grandes, con lo que se podría llegar a disponer de un parque muy integrado con el paisaje de la urbanización.

Con todos estos datos expuestos, se propone dejar la solera de balsa a una cota de 116,2 msnm. La parte superior de la balsa en el límite con el campo de golf tiene una cota de 117,6 msnm, a partir de la cual empezaría a aliviar hacia las instalaciones del mismo.

En el documento Planos encontraremos la sección longitudinal de la balsa.

VENTAJAS

→ Presenta un buen comportamiento hidráulico para mitigar los problemas de inundabilidad de la calle Cotoliu.

→ No se requiere de ningún tipo de actuación en las instalaciones del campo de golf (aunque sí que sería conveniente disponer de un aliviadero de emergencia que permita controlar el caudal aliviado si se superase la capacidad de la balsa).

→ La subcuenca estudiada en este informe forma parte de una cuenca hidrológica de mayores de dimensiones. Esta alternativa ayudaría a la laminación de agua dentro de esta cuenca hidrológica.

→ Se podría conseguir una pequeña mejora en la recarga de agua en el acuífero afectado.

→ Se dispondría de una nueva zona verde.

INCONVENIENTES

→ Requiere de la expropiación de una parcela privada.

→ El coste global del proyecto puede llegar a ser muy elevado, especialmente debido a la necesidad de expropiación.

→ Requiere mucho mantenimiento

3.3. ALTERNATIVA 3: IMPLANTACIÓN DE SUDS

DESCRIPCIÓN

En la tercera alternativa se propone el uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), tratando con ello de reducir al máximo la escorrentía superficial que provoca inundaciones en la calle Cotoliu. Consistiría en la implantación de superficies permeables, zanjas filtrantes, jardines de lluvia, etc.

Esta propuesta sigue la filosofía recomendada por la Comisión Europea, *Directrices sobre mejores prácticas para limitar, mitigar o compensar el sellado del suelo* (2012), que como medidas de mitigación de sellado del suelo, establece la utilización de materiales y superficies permeables, las infraestructuras verdes y los sistemas naturales de captación de agua. Asimismo, concuerda con lo establecido por el recientemente aprobado Real Decreto 1290/2012, que en su artículo 259 tercero indica que “los proyectos de nuevos desarrollos urbanos deberán plantear medidas que limiten la aportación de aguas de lluvia a los colectores”.

Con este enfoque innovador se promueve el diseñar desarrollos urbanos que eviten, reduzcan y retrasen el vertido de agua de lluvia a la red de colectores municipal, protegiéndola y reduciendo el riesgo de inundaciones locales, contaminación y otros daños medioambientales.

En concreto, los objetivos perseguidos con la implementación de los SUDS propuestos son:

- Amortiguamiento de los caudales pico, reduciendo la carga sobre la red de alcantarillado en tiempos de lluvia.
- Reducción de los volúmenes de escorrentía que son transportados y tratados en la depuradora, debido al sistema de saneamiento mayoritariamente unitario de la ciudad.
- Reducción de los volúmenes y la carga contaminante vertida al medio receptor en tiempo de lluvia.
- Reducción del consumo energético del ciclo del agua urbano.

El crecimiento de las zonas impermeables en las ciudades modifica los flujos naturales del ciclo hidrológico, tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo. La reducción de espacios vegetados reduce en primera instancia la intercepción natural y la evapotranspiración. El aumento de la impermeabilidad redundará en una reducción de la infiltración. Como consecuencia de todo ello se generan volúmenes de escorrentía netamente mayores y, además, se aceleran los tiempos de



respuesta, por lo que aumenta el riesgo de inundaciones.

Los SUDS son un amplio abanico de soluciones que permiten afrontar el planeamiento, diseño y gestión de aguas pluviales en entornos urbanos dando tanta importancia a los aspectos medioambientales, paisajísticos y sociales como a los hidrológicos e hidráulicos. Su función es evitar, reducir y retrasar el vertido de agua de lluvia a la red de colectores o a los cursos de agua receptores, tratando de imitar el comportamiento de la cuenca en su estado natural, reproduciendo en lo posible tanto los caudales y volúmenes naturales como la calidad de sus aguas.

Como obras de mejora a la situación actual en la Urbanización Torre en Conill, se proponen algunas actuaciones en la urbanización que, como dice el R.D.1290/2012, reduzcan la aportación de agua de lluvia a los colectores y mitiguen las inundaciones detectadas.

Actuación 1: Jardín de lluvia en cruce Cotoliu-Cucut

En esta actuación se propone modificar el parque existente en la esquina de la Calle Cotoliu con la Calle Cucut de forma que fuera capaz de almacenar y filtrar parte de la escorrentía superficial que se genera aguas arriba, reduciendo así la cantidad de agua que llega al punto bajo de la Calle Cotoliu.

Para ello se elevará un paso de peatones en el vial aguas arriba del parque y se canalizará la escorrentía superficial de tal manera que llegue al parque. También se rebajará la cota del terreno de todo el parque, convirtiéndolo en un jardín de lluvia.

Si este jardín no tuviera la suficiente capacidad de absorción, podría utilizarse la zona que se encuentra al otro lado de la calzada, que tiene una superficie bastante superior.



Actual-Propuesta

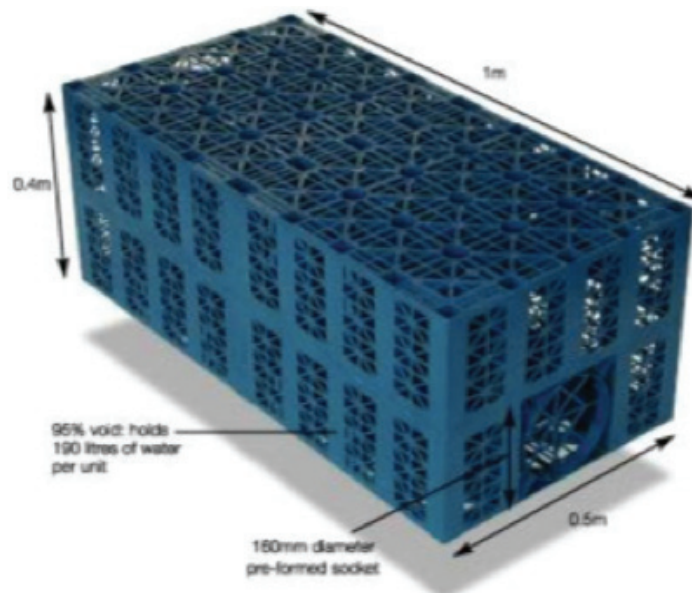
Actuación 2: Cunetas filtrantes.

La actuación propuesta consiste en la construcción de unos cajeros filtrantes bajo la franja ajardinada ya existente a lo largo de la calle Cotoliu, especialmente en el espacio libre de árboles, para respetar las raíces de éstos, de modo que el agua pueda almacenarse en la franja temporalmente,

Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

disminuyendo y laminando el flujo de escorrentía hacia los imbornales, y por tanto aliviando la capacidad de la red de colectores.

Las cunetas serán vaciadas y reconstruidas. Se empleará el sistema denominado AquaCell, que está compuesto por módulos de materiales plásticos que permiten un elevado volumen de almacenamiento. Cada módulo tiene un tamaño de 0,5x0,4x1. Por cada metro lineal se dispondrá de 1,6 metros de altura y 1,5 metros de ancho. Estos módulos son completamente permeables, por lo que se consigue una doble función: durante la lluvia almacenan agua y posteriormente facilitan su infiltración. La siguiente imagen muestra uno de estos módulos:



La parte superior del cajero podrá ser rematada con sistemas ajardinados. Se estima que el cajero será capaz de almacenar 2,28 m³ de agua por cada metro lineal. Suponiendo que estos sistemas tienen un 80% de espacio de almacenaje, obtenemos una capacidad de 1,92 m³ de agua por metro lineal.

Se pretende instalar módulos de este estilo a lo largo de toda la calle, y si fuese necesario, se instalarían también debajo del pavimento filtrante que forma parte de esta alternativa. La longitud total propuesta es de unos 300 metros, por lo que el volumen total de almacenamiento es de 576 m³. Si a esto sumamos la capacidad de infiltración y el volumen acumulado en el jardín de lluvia, se consigue superar el volumen mínimo de almacenamiento propuesto en la alternativa 2. Dicho jardín de lluvia será capaz de recoger gran parte del volumen que recibe el punto bajo de la calle por la parte sur por lo que, como se comenta anteriormente, el volumen total almacenado con esos sistemas de drenaje sostenible será suficiente para el volumen obtenido en la balsa.

La siguiente imagen muestra un ejemplo de instalación de este tipo de elementos en zanja:



Actuación 3: Introducción de pavimentos permeables

Con esta actuación se propone reemplazar el pavimento existente en algunos puntos de la cuenca estudiada por uno permeable, en principio con superficie de hormigón poroso, y base de áridos capaz de acumular temporalmente agua de lluvia, laminando así la escorrentía generada y aumentando la capacidad de infiltración en las zonas donde se vienen produciendo las acumulaciones de agua.



Ejemplo de pavimento permeable.

Se propone implantar esta medida en dos puntos. El primero de ellos es la parte baja de la calle Cotoliu, donde actualmente se vienen produciendo las acumulaciones de agua más importantes. La segunda zona es el cruce de la calle Cotoliu con la de l'Oroneta, donde existe un paso de peatones elevado que provoca la acumulación de agua en esta zona.

La siguiente imagen muestra la ubicación de las actuaciones propuestas en esta alternativa:

Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera



VENTAJAS

- No afecta a ninguna parcela privada ni al campo de golf.
- Puede ser muy eficaz en la eliminación de contaminantes por filtración.
- Contribuye a la recarga de las aguas subterráneas y el aumento del flujo base.
- Reducción de los efectos de la contaminación en el agua de escorrentía.
- Permiten un doble uso del espacio, por lo que no es significativa su ocupación en suelo.
- Reducen o eliminan la presencia de imbornales y colectores.
- Con buena aceptabilidad por parte de la comunidad.
- Se integran fácilmente en el paisaje y pueden tener un gran valor estético.

INCONVENIENTES

- El gran inconveniente es que no se puede garantizar el poner fin a los problemas de inundabilidad, especialmente tras lluvias consecutivas o con el subsuelo saturado de agua.
- Requiere de mayores labores de mantenimiento.
- No atenúan de forma significativa el volumen de agua de escorrentía



4. Cálculo y diseño hidráulico

4.1 Cálculo hidrológico

4.1.1 Introducción

El objetivo fundamental del estudio hidrológico es estimar, para diferentes niveles de frecuencia, los caudales pico de crecida en diversos puntos del barranco objeto de análisis, para más adelante poder estudiar los potenciales problemas de inundabilidad.

La modelación hidrológica se ha realizado con métodos hidrometeorológicos. En estos métodos se parte de un análisis de la frecuencia de las precipitaciones máximas, con el objetivo de obtener, en una primera fase, el hietograma de diseño correspondiente a los diferentes períodos de retorno. En una segunda fase, mediante un modelo de transformación lluvia-escorrentía, se convierten estos hietogramas en caudales máximos o bien en hidrogramas de crecida.

En este estudio se ha considerado un periodo de retorno de valor 15 años, correspondiente al establecido en el artículo 34 de la normativa del PATRICOVA frente al drenaje de las aguas pluviales en las áreas urbanas de superficie mayor a 100 hectáreas.

La caracterización hidromorfométrica del sistema y la obtención de los valores del parámetro de producción, el umbral de escorrentía, se ha realizado con ayuda de la herramienta que provee el Sistema de Información Geográfica ARC (en concreto, el módulo de ArcMap), a partir de: la cartografía LiDAR publicada en la web de la Consellería d'Infraestructures, Territori i Medi Ambient de la Generalitat Valenciana (Terrasit) con malla de 1x1m; el Modelo de Elevación Digital de la zona en formato vectorial (generado a raíz de la propia cartografía LiDAR); las coberturas de uso del suelo extraídas del Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE) 2011 para el municipio de Bétera y, por último, la capacidad de uso del suelo obtenida a partir de la publicación "El suelo como recurso natural en la Comunidad Valenciana" (COPUT) y de los Mapas Geológicos del Instituto Geológico y Minero de España a escala 1:50.000

La obtención de los cuantiles de precipitación diaria máxima anual se ha llevado a cabo a partir de

los resultados de la publicación del Ministerio de Fomento «Estudio de máximas lluvias de la España peninsular» (1999), estudio basado en la tesis doctoral de D. Javier Ferrer, titulada «El modelo de función de distribución SQRT-ETmax en el análisis regional de máximos hidrológicos: aplicación a lluvias diarias» (1996). Se puede considerar como el mejor estudio disponible en estos momentos en España.

En cuanto al modelo de transformación lluvia-escorrentía, se ha empleado el Método de Témez Modificado (1991), que es el recogido en la “Instrucción 5.2-IC. Drenaje Superficial”. La metodología de Témez se basa en el Método Racional, aplicable a pequeñas cuencas, pero con una serie de modificaciones; entre otras cuestiones, corrige la dependencia del coeficiente de escorrentía del período de retorno, obteniendo aquél a partir de un parámetro de infiltración y de la propia magnitud de la precipitación. Por otra parte, mantiene del Método Racional un hietograma de diseño rectangular, que se determina a partir del tiempo de concentración de la cuenca y de la curva IDF (intensidad-duración-frecuencia) de la precipitación. El límite de aplicación de este método en función del tamaño de la cuenca está por encima de los 100 Km², siempre y cuando no existan elementos de almacenamiento importantes en el sistema hidrológico.

4.1.2. Caracterización del sistema hidrológico

El sistema hidrológico analizado, trata de identificar y caracterizar, en primer lugar, las cuencas vertientes al punto bajo de la Calle Cotoliu, pero además se han estudiado las diferentes escorrentías producidas por las cuencas colindantes. De este modo, se han considerado 4 cuencas, una la cuenca sur a la calle Cotoliu (cuenca de aportación en el punto bajo de dicha calle) y las otras 3, pertenecientes, en gran parte de su extensión, al campo de golf, rodeando la calle de estudio de norte a este.

En la siguiente imagen se muestra la situación y el trazado de las cuencas analizadas:

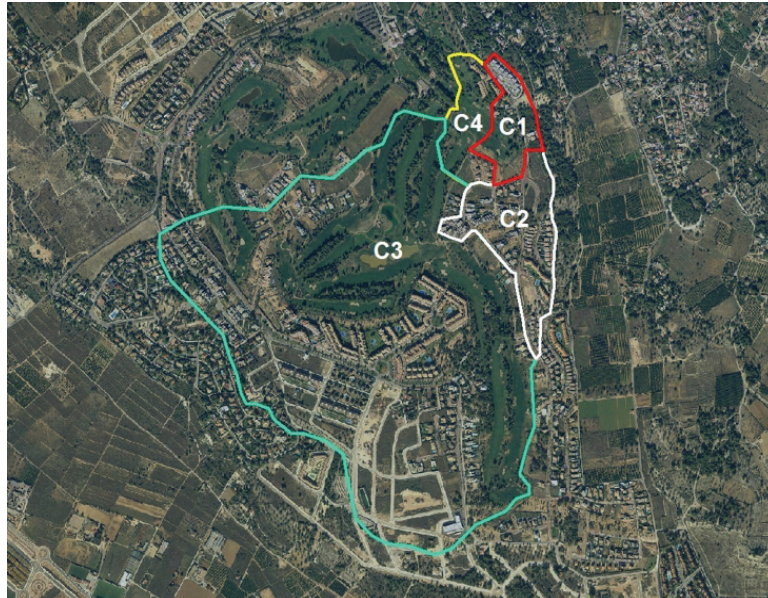


Tabla 1.- Cuencas analizadas en el estudio.

Características hidromorfométricas

En la siguiente tabla se recogen los principales parámetros hidromorfométricos de cada una de las cuencas consideradas, obtenidos, como ya se ha comentado anteriormente, mediante el uso de herramientas GIS.

Cuenca	S (Ha)	L_{rp} (Km)	$Z_{m\acute{a}x.}$ (m)	$Z_{m\acute{i}n.}$ (m)	J_{rp} (m/m)	T_c (h)
Cot Norte –	6,19	284	123,47	115,20	0,029	0,13
Cot Sur- C2	13,77	756	131,96	118,56	0,017	0,15
Golf 1 – C3	129,2	977	131,82	115,82	0,016	0,36
Golf 2 – C4	7,11	355	122,91	115,54	0,020	0,17

Tabla 2.- Características morfométricas de las cuencas estudiadas

En la tabla:

S: superficie de la cuenca

L_{rp} : longitud del recorrido principal

$Z_{m\acute{a}x.}$: cota máxima del recorrido principal

$Z_{m\acute{i}n.}$: cota mínima del recorrido principal

J_{rp} : pendiente media del recorrido principal

T_c : tiempo de concentración de la cuenca

Características del suelo

La caracterización de los suelos se ha basado en la clasificación de los mismos según su capacidad de uso realizada en la publicación *El suelo como recurso natural en la Comunidad Valenciana* (Conselleria d’Obres Públiques, Urbanisme i Transports, 1998), si bien ésta ha sido corroborada con los mapas del Instituto Geológico y Minero de España. Además se ha hecho uso nuevamente de la herramienta GIS para visualizar con más detalle las zonas de cada tipo de suelo.

La clasificación de suelos según su capacidad de uso realizada en la citada publicación está basada en la litología, teniendo en cuenta las siguientes propiedades:

- Erosión.
- Pendiente.
- Espesor efectivo.
- Afloramientos.
- Pedregosidad.
- Salinidad.
- Características físicas.
- Características químicas.
- Hidromorfia.

En función de los valores de estas 9 propiedades se establecen cinco clases de suelo (de mayor a menor capacidad: A, B, C, D y E). Además, a cada suelo se le asigna una subclase en función de la propiedad o propiedades que limitan su capacidad de uso, y que por tanto condiciona la clase de suelo a la que pertenece.

Gran parte de la extensión de las cuatro cuencas es atravesada por suelo de clase D, de subclase *f*, lo que significa que las propiedades que más limitan la capacidad de uso de estos suelos son las condiciones físicas (textura, estructura, porosidad y retención de agua).

No obstante, en la parte baja de todas las cuencas (excepto la C1), donde predominan los afloramientos de arcillas rojas con niveles de cantos y nódulos calcáreos, que forman mantos de arroyada antiguos del Pleistoceno Medio, la clase de suelo según su capacidad de uso es A. También hay que considerar pequeñas regiones de las cuencas donde se halla suelo de tipo B.

La subclase de suelo en toda la región estudiada es *q*, lo que significa que las propiedades que más limita la capacidad de uso de estos suelos son las condiciones químicas.

Para la adaptación de las capacidades de uso del suelo y las características litológicas al tipo de suelo del SCS se han tenido en cuenta las subclases de los suelos, teniendo en cuenta que el factor



químico limita, más si cabe, la condición de permeabilidad de cada suelo. Por ello, se ha establecido la siguiente equivalencia entre las clases de capacidad de uso del suelo identificadas en las cuencas de estudio y los tipos de suelo del SCS:

CLASE DE CAPACIDAD DE USO DEL SUELO	TIPO DE SUELO SCS
A	A
B	B
C	C
D	D

Tabla 3.- Tipos de suelo del SCS considerados según la clase de capacidad de uso del suelo

En el plano 2 del apéndice al estudio hidrológico, presentado al final del mismo, se muestran los distintos tipos de suelo considerados en las cuencas analizadas.

Cubierta del suelo

En cuanto a la cubierta del suelo, la información utilizada para establecer las distintas tipologías ha sido la recogida en los mapas de usos del suelo formato shp del Sistema de Información de Ocupación del Suelo, donde se muestran hasta tres niveles de detalle para cada uno. En el presente estudio se ha considerado el nivel más concreto para cada uno.

A partir de los usos que aparecen en la leyenda de dichos mapas se ha realizado una equivalencia con los usos del suelo propuestos por el SCS para determinar el umbral de escorrentía (P_0). Así pues, para introducir la información final en el GIS ha sido necesaria la reclasificación del mapa de usos del suelo en la zona de estudio.

La tabla de equivalencia se ha obtenido a partir de la propuesta en el estudio “Generación automática del número de curva con Sistemas de Información Geográfica”, elaborado entre la Universidad Politécnica de Valencia y el Centro de Estudios Hidrográficos, CEDEX, de Madrid (diciembre 1995). Dicha tabla establece una correspondencia entre los usos del suelo del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España (MAPA) y los del SCS, por lo que se han debido correlacionar previamente los usos del suelo del mapa del SIOSE con los del mapa del MAPA, utilizando bibliografía alternativa para la equivalencia de usos de elevado nivel de detalle (como el de campo de golf).

Las unidades de usos del suelo del mapa del SIOSE que aparecen en las cuencas y su correspondiente equivalencia con las correspondientes a los usos del suelo del SCS son las siguientes:

Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

USO DEL SUELO DEL MAPA DE LA COPUT	USO DEL SUELO DEL SCS
Campo de golf	Barbecho
Coníferas	Masa forestal espesa
Pastizal	Pradera media
Urbano Discontinuo	Roca impermeable / Barbecho

Tabla 4. Equivalencia entre los usos del suelo de la SIOSE y los del SCS.

Para el uso de Urbano Discontinuo en las cuencas C2 y C3, donde gran parte del suelo asignado como urbano discontinuo está sin edificar, se ha considerado el uso del SCS “barbecho”, por lo que se han adoptado unos valores de P_o ponderados arealmente entre área ocupada por edificaciones y parcelas. (Apéndice de cálculos hidrológicos).

En general, el área de estudio está dominada por suelo Urbano Discontinuo. No obstante, en gran parte de las cuencas, C2 y C3, predomina el suelo de tipo barbecho, al encontrarse las instalaciones del campo del golf. Los tipos de suelo que apenas presencia, y por tanto relevancia a la hora del cálculo del P_o , son el pastizal y las masas de coníferas que solo se encuentran en la parte este de la C1 y C2.

En el plano 3 del apéndice al estudio hidrológico, presentado al final del mismo, se muestran las distintas unidades de cubierta del suelo detectadas en las cuencas analizadas.

Umbral de escorrentía

El umbral de escorrentía (P_o) es el único parámetro necesario para evaluar la producción de escorrentía superficial según la expresión propuesta por el Soil Conservation Service. Depende de tres variables fundamentalmente, que engloban buena parte de las características físicas de la región analizada:

- Tipo de suelo (atendiendo fundamentalmente a su capacidad drenante).
- Cubierta del suelo.
- Pendiente del terreno.

La relación entre el P_o y las tres variables es tabular. La asignación del parámetro se ha realizado a partir de la tabla 2-1 de la Instrucción 5.2-IC, que es una adaptación de la del Soil Conservation Service para condiciones previas de humedad medias del complejo suelo-vegetación. Estos valores de P_o deben modificarse en función de dicha variable. A tal efecto, el SCS define tres condiciones o



estados, en función de la precipitación total de los cinco días anteriores, que determinan los valores del factor corrector del Po obtenido previamente. En España, este factor está regionalizado en la figura 2-5 de la Instrucción 5.2-IC (MOPU, 1990), de la que se obtiene un valor de 2,9 en la zona de estudio. Sin embargo, el CEDEX, fruto de estudios experimentales, obtuvo en 1994 un nuevo mapa corrección del anterior, publicado en distintas guías normativas de proyectos de ferrocarril, etc., que reduce los valores del MOPU (1990), multiplicándolos por 0,75. Como quiera que este último es una corrección del propuesto en MOPU (1990) y que, además, es más restrictivo, el valor finalmente adoptado es 2,175 ($=2,9 \times 0,75$).



Figura 1.- Mapa del coeficiente corrector del umbral de escorrentía. (Figura 2-5 de la Instrucción 5.2-IC, MOPU, 1990).

Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

A continuación se muestra la tabla 2-1 de la Instrucción 5.2-IC empleada para la asignación del parámetro Po.

Uso de la tierra	Pendiente [%]	Características hidrológicas	Grupos de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	³ 3	R	15	8	6	4
		N	17	11	8	6
	< 3	R / N	20	14	11	8
Cultivos en hilera	³ 3	R	23	13	8	6
		N	25	16	11	8
	< 3	R / N	28	19	14	11
Cereales de invierno	³ 3	R	29	17	10	8
		N	32	19	12	10
	< 3	R / N	34	21	14	12
Rotación de cultivos pobres	³ 3	R	26	15	9	6
		N	28	17	11	8
	< 3	R / N	30	19	13	10
Rotación de cultivo intensivo	³ 3	R	37	20	12	9
		N	42	23	14	11
	< 3	R / N	47	25	16	13
Praderas	³ 3	Pobre	24	14	8	6
		Media	53	23	14	9
		Buena	70	33	18	13
		Muy buena	80	41	22	15
	< 3	Pobre	58	25	12	7
		Media	80	35	17	10
		Muy buena	250	100	25	16
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	³ 3	Pobre	62	26	15	10
		Media	80	34	19	14
	< 3	Buena	100	42	22	15
		Pobre	75	34	19	14
		Media	95	42	22	15
		Buena	150	50	25	16
Masas forestales (bosque, monte bajo, etc.)		Muy clara	40	17	8	5
		Clara	60	24	14	10
		Media	75	34	22	16
		Espesa	90	47	31	23
		Buena	120	65	43	33
Rocas permeables	³ 3		3			
	< 3		5			
Rocas impermeables	³ 3		2			
	< 3		4			

Tabla 5. Asignación del parámetro Po. (tabla 2-1 de la Instrucción 5.2-IC).



A partir de la tabla 2-1 de la Instrucción 5.2-IC y la de equivalencias entre los usos del suelo del Mapa del SIOSE y los del SCS, se ha obtenido finalmente la siguiente tabla de asignación del parámetro P_0 para cada una de las unidades de uso del suelo del Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España.

Como se ha comentado anteriormente, en las cuencas C_2 y C_3 , donde predomina el suelo Urbano Discontinuo, se ha discreteado dicho uso del suelo en impermeable (revestido) y permeable (parcelas sin ejecutar), ya que supone un gran valor de área en el cálculo y sería un error pasar por alto dicho aspecto. Por tanto, para ello, se ha considerado que el 60% de la superficie considerada suelo Urbano Discontinuo es impermeable, mientras que el 40% no lo está, para ello se han ponderado los valores de P_0 del SCS de roca impermeable y barbecho en dicha proporción areal, obteniendo así una tabla de umbrales de escorrentía configurada, para las cuencas C_2 y C_3 , mientras que las cuencas C_1 y C_4 simplemente usan los valores de P_0 equivalentes a sus tipos de suelo.

OCUPACIÓN SUELO SIOSE	EQUIVALENCIA USO SUELO SCS	P0 (mm)							
		TIPO DE SUELO							
		A		B		C		D	
		i<3%	i>3%	i<3%	i>3%	i<3%	i>3%	i<3%	i>3%
Urbano discontinuo	Roca impermeable	4	2	4	2	4	2	4	2
Coníferas	Masa forestal espesa	90	90	47	47	31	31	23	23
Pastizal	Pradera media	80	53	35	23	17	14	10	9
Campo de golf	Barbecho	20	15	14	8	11	6	8	4

Tabla 6a. Asignación del parámetro P_0 adoptada en las cuencas C_1 y C_4 de estudio.

OCUPACIÓN SUELO SIOSE	EQUIVALENCIA USO SUELO SCS	P0 (mm)							
		TIPO DE SUELO							
		A		B		C		D	
		i<3%	i>3%	i<3%	i>3%	i<3%	i>3%	i<3%	i>3%
Urbano discontinuo	Roca impermeable / Barbecho	10.4	7.2	8	4.4	6.8	3.6	5.6	2.8
Coníferas	Masa forestal espesa	90	90	47	47	31	31	23	23
Pastizal	Pradera media	80	53	35	23	17	14	10	9
Campo de golf	Barbecho	20	15	14	8	11	6	8	4

Tabla 6b. Asignación del parámetro P_0 adoptada en las cuencas C_2 y C_3 de estudio.

Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

La obtención de los umbrales de escorrentía en las cuencas se ha realizado también automáticamente, con ayuda de herramientas GIS. La determinación del umbral de escorrentía se ha venido haciendo tradicionalmente por superposición de los diferentes mapas correspondientes a cada una de las variables de las que depende. Con el uso de los GIS se consigue realizar estas operaciones de forma automática y con una considerable mayor precisión, permitiendo, además, el análisis hidrológico a gran escala. En este estudio se ha empleado también el ArcGis (en concreto, el módulo de ArcMap), manejando los datos en formato vectorial.

El proceso de obtención del umbral de escorrentía ha seguido la siguiente secuencia:

1) **Generación de las capas de información de cada uno de los atributos o variables.**

En primer lugar se han delimitado las cuencas mediante la herramienta ArcGis, utilizando el archivo de cartografía LiDAR, que gracias a su leyenda de colores dinámica, permite atisbar a groso modo las elevaciones del terreno por donde puede discurrir el agua. Una vez obtenida una primera idea, se superpone el archivo de Curvas de Nivel, también obtenido del Terrasit para el municipio de Bétera, para confirmar que aquellos caminos seguidos inicialmente con el LiDAR coinciden con las líneas de máxima pendiente entre curvas de nivel consecutivas. Si no es así, se corrigen los trazados hasta confeccionar las mismas. Obtenemos, por tanto, tantos archivos shp polígonos como cuencas hayamos delimitado.

En el caso del mapa de cubierta del suelo, se ha partido de la información recogida en los mapas de usos del suelo formato shp del SIOSE, tal y como se ha explicado en apartados anteriores.

Por intersección de la cubierta del suelo con las cuencas, se obtienen las superficies ocupadas por las distintas tipologías de cubierta del suelo en cada una de ellas. En el apéndice al estudio hidrológico se muestran las tablas con los resultados de superficies ocupadas por los distintos tipos de cubierta del suelo en las cuencas de estudio, así como los % sobre la superficie total de la cuenca.

En cuanto al tipo de suelo, la adaptación se ha realizado en base a la capacidad de uso del suelo y la información litológica, tal y como se ha explicado en el apartado 2.2. De este modo se han considerado los tipos de suelo resumidos en la Tabla 3 de dicho apartado. De igual modo que en el caso de la cubierta del suelo, se han obtenido tablas con las superficies absolutas y porcentuales ocupadas por los distintos tipos de suelo en las cuencas de estudio. Dichas tablas se muestran en el apéndice al estudio hidrológico, recogido al final del mismo.

En el caso del mapa de clinometría, el proceso ha consistido en generar con la extensión 3D Analyst de ArcMap, a partir de los ficheros de cartografía del LiDAR, un Modelo de Elevación Digital del terreno (MED) en formato TIN (Triangulated Irregular Network), posteriormente ras-



terizado, a partir del cual se ha generado, con la extensión Spatial Analyst de ArcMap, el mapa de pendientes del terreno. Dicho fichero ha sido posteriormente reclasificado (en celdas con valor de pendiente inferior y superior al 3%, de acuerdo con la metodología del SCS), y vectorializado. En el citado apéndice al estudio hidrológico se muestra el mapa de pendientes y las tablas con los resultados numéricos de áreas para cada tipo de pendiente en las cuencas de estudio.

2) Intersección de las capas de información.

Utilizando el programa ARCVIEW se han intersectado los polígonos correspondientes a cada una de las capas de información. En el tema resultante, cada polígono tiene definidas una tipología de cubierta del suelo, un tipo de suelo y un código de pendiente, por lo que el umbral de escorrentía puede obtenerse a partir de las tablas configuradas para cada cuenca según su equivalencia con el uso SCS.

3) Ponderación areal.

Finalmente, el valor de umbral de escorrentía asignado a cada unidad hidrológica se ha obtenido por promediación areal de los valores del umbral correspondientes a cada polígono de territorio contenido en dicha unidad.

Los resultados así obtenidos en las cuencas analizadas se recogen en la siguiente tabla.

CÓDIGO CUENCA	P _o medio (mm)
C1	24,49
C2	20,77
C3	10,53
C4	11,22

Tabla 7. Umbrales de escorrentía promedios en las cuencas de estudio.

4.1.3. Análisis de las precipitaciones diarias máximas anuales

El objetivo de este apartado es la caracterización de las precipitaciones extremas que se producen en las cuencas de estudio. La caracterización consiste en la estimación de los parámetros necesarios para definir las lluvias de proyecto, es decir, la distribución espacial de las precipitaciones máximas diarias y las intensidades de lluvia.

Metodología estadística empleada

Es práctica habitual componer la serie de datos extremos seleccionando en cada año el valor máximo observado de la precipitación en un día. De esta forma, existe la certeza casi absoluta de que los valores máximos de cada año son independientes, y no pertenecen al mismo episodio de lluvias (serie anual). Así pues, el parámetro de precipitación empleado ha sido la Precipitación diaria máxima anual (Pd).

Con objeto de sistematizar el procedimiento de determinación de la precipitación diaria máxima anual, la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento publicó en 2001 la monografía denominada “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular”. Dicho documento presenta un método operativo que proporciona las precipitaciones diarias máximas anuales en toda la península, sirviendo de base de partida, como se ha comentado anteriormente, para el cálculo de los caudales de diseño de las obras de drenaje transversales y longitudinales.

Las fases que se han seguido en el estudio de la publicación utilizada son:

- Selección de estaciones pluviométricas y recopilación de sus datos correspondientes a las máximas lluvias diarias.
- Modelización estadística de las series anuales de máximas lluvias diarias realizando un ajuste regional mediante la función SQRT-ET máx.
- Análisis de la distribución de la media y el coeficiente de variación muestrales de la función SQRT-ET máx en las series anuales de máximas lluvias diarias.
- Resumen y presentación de los resultados alcanzados tanto en la forma tradicional de planos, como en versión informática aprovechando la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (GIS).

Dado el carácter eminentemente práctico del mencionado estudio, se aborda básicamente lo referido en la última de las fases. Para ello, y tras una revisión de los principales resultados obtenidos en las etapas anteriores, en el estudio se incluyen las principales características del GIS empleado y de la aplicación informática desarrollada, que proporciona la estimación de los cuantiles de la precipitación diaria máxima anual en cualquier punto de la geografía peninsular española para los periodos de retorno deseados.

A continuación se explican las hipótesis y métodos utilizados en esta publicación.



Método regional adoptado

Frente a anteriores trabajos a escala nacional en los que se empleaban exclusivamente los datos locales en cada una de las distintas estaciones pluviométricas, en este estudio se ha optado por un enfoque regional que trata de reducir la varianza de los parámetros estimados con una única muestra, empleando la información de estaciones pluviométricas cercanas con un comportamiento similar. El enfoque tradicional de estos métodos asume la existencia de una región homogénea respecto a ciertas características estadísticas, lo que permite aprovechar el conjunto de información disponible en dicha región.

El método regional adoptado, denominado tradicionalmente “índice de avenida”, asume que la variable Y , resultante de dividir en cada estación los valores máximos anuales de la precipitación diaria por su media,

$$Y = \frac{P}{\bar{P}}$$

sigue idéntica distribución de frecuencia en toda la región considerada. Los parámetros de dicha distribución, una vez seleccionado el modelo de ley, son obtenidos a partir del conjunto de datos de las estaciones de la región, mientras que el valor local de la media de la precipitación se estima exclusivamente a partir de los datos de cada una de las estaciones. La estimación de los cuantiles locales X_t (PT en el “Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular” de 1997) en un determinado punto del territorio se reduce a reescalar los cuantiles regionales Y_t (denominados Factores de Amplificación KT en la referida publicación) con la media local de la precipitación según la siguiente expresión:

$$X_t = Y_t \cdot \bar{P}$$

Estimación regional de cuantiles

El primer paso, por tanto, consiste en la obtención de los cuantiles regionales mencionados. En una primera etapa se agrupan las 1545 estaciones “básicas”, con 30 o más años de registro, en 26 regiones geográficas. Las regiones fueron definidas tratando de agrupar zonas del territorio con características meteorológicas comunes y analizando de forma complementaria los C_v (coeficientes de variación) muestrales. Posteriormente la homogeneidad de las regiones fue contrastada mediante un test estadístico de χ^2 .

La segunda etapa consistió en la estimación regional de los parámetros y cuantiles. El modelo estadístico elegido es el SQRT-ET máx (SQRT-Exponential Type Distribution of Maximum), cuya

función de distribución sigue la expresión que se da a continuación:

$$F(x) = \exp\left[-k(1 + \sqrt{\alpha \cdot x}) \exp(-\sqrt{\alpha \cdot x})\right]$$

donde:

x es la precipitación diaria máxima anual en mm.

k y α son los parámetros de la función de distribución de probabilidad.

Estos parámetros se pueden estimar por el Método MLE a partir de la media y coeficiente de variación obtenidos de la muestra observada. Las expresiones resultantes son unas integrales que no son resolubles analíticamente, por lo que se ha recurrido a las aproximaciones polinómicas recogidas en la tesis doctoral de J. Ferrer.

La selección de este modelo frente a otros modelos existentes (GEV, Log-Pearson III y TCEV), responde a los siguientes motivos:

- Es el único de los modelos analizados de la ley de distribución que ha sido propuesto específicamente para la modelación estadística de máximas lluvias diarias.
- Se trata de una función de sólo dos parámetros, lo que supone una mayor facilidad de presentación de resultados y una mayor fiabilidad según el principio de incertidumbre.
- Por la propia definición de la ley de distribución, proporciona resultados más conservadores que la tradicional ley de Gumbel.
- Conduce a valores más conservadores que los otros modelos de ley analizados para las 17 regiones con cuantiles más bajos, mostrando unos resultados similares en el resto de las regiones.
- Demuestra una buena capacidad para reproducir las propiedades estadísticas observadas en los datos, lo que se comprobó mediante técnicas de simulación de Montecarlo.

El enfoque tradicional de los métodos regionales permite estimar el valor de los cuantiles regionales en un punto simplemente asignándole los valores obtenidos en la región en la que dicho punto está incluido, lo que presenta como principales inconvenientes tanto la incertidumbre existente respecto a los límites considerados en las regiones, como la indeseable discontinuidad que presentan los resultados en dichos límites. El enfoque tradicional de los métodos regionales permite estimar el valor de los cuantiles regionales en un punto simplemente asignándole los valores obtenidos en la región en la que dicho punto está incluido, lo que presenta como principales inconvenientes tanto la incertidumbre existente respecto a los límites considerados en las regiones,



como la indeseable discontinuidad que presentan los resultados en dichos límites.

Sin embargo, en este estudio, para cada región, el valor de la precipitación máxima anual media en cada punto se obtuvo a partir de una interpolación espacial mediante krigging asumiendo un variograma independiente para cada región. Después de estandarizar las series con su media, se estimaron los coeficientes de variación regional, aplicando un suavizado en los límites entre las regiones. Las regiones se obtuvieron con criterios climáticos y de homogeneidad estadística, resultando un total de 26 para toda España, encontrándose la Comunidad Valenciana en su mayor parte en la región 8 junto a las provincias de Murcia y Almería.

A partir del Coeficiente de Variación y en función del periodo de retorno o nivel de riesgo adoptado, obtendremos el valor del cuantil regional (Y_t). Este valor se obtiene mediante la tabla o el gráfico de la citada Publicación, mostrados a continuación:

Cv	Periodo de retorno en años (T)								
	2	5	10	25	50	100	200	300	500
0,30	0,935	1,194	1,377	1,625	1,823	2,022	2,251	2,379	2,541
0,31	0,932	1,198	1,385	1,640	1,854	2,068	2,296	2,431	2,602
0,32	0,929	1,202	1,400	1,671	1,884	2,098	2,342	2,484	2,663
0,33	0,927	1,209	1,415	1,686	1,915	2,144	2,388	2,537	2,724
0,34	0,924	1,213	1,423	1,717	1,930	2,174	2,434	2,589	2,785
0,35	0,921	1,217	1,438	1,732	1,961	2,220	2,480	2,635	2,831
0,36	0,919	1,225	1,446	1,747	1,991	2,251	2,525	2,687	2,892
0,37	0,917	1,232	1,461	1,778	2,022	2,281	2,571	2,740	2,953
0,38	0,914	1,240	1,469	1,793	2,052	2,327	2,617	2,793	3,014
0,39	0,912	1,243	1,484	1,808	2,083	2,357	2,663	2,842	3,067
0,40	0,909	1,247	1,492	1,839	2,113	2,403	2,708	2,894	3,128
0,41	0,906	1,255	1,507	1,854	2,144	2,434	2,754	2,946	3,189
0,42	0,904	1,259	1,514	1,884	2,174	2,480	2,800	2,999	3,250
0,43	0,901	1,263	1,534	1,900	2,205	2,510	2,846	3,052	3,311
0,44	0,898	1,270	1,541	1,915	2,220	2,556	2,892	3,104	3,372
0,45	0,896	1,274	1,549	1,945	2,251	2,586	2,937	3,156	3,433
0,46	0,894	1,278	1,564	1,961	2,281	2,632	2,983	3,209	3,494
0,47	0,892	1,286	1,579	1,991	2,312	2,663	3,044	3,270	3,555
0,48	0,890	1,289	1,595	2,007	2,342	2,708	3,098	3,327	3,616
0,49	0,887	1,293	1,603	2,022	2,373	2,739	3,128	3,371	3,677
0,50	0,885	1,297	1,610	2,052	2,403	2,785	3,189	3,432	3,738
0,51	0,883	1,301	1,625	2,068	2,434	2,815	3,220	3,476	3,799
0,52	0,881	1,308	1,640	2,098	2,464	2,861	3,281	3,537	3,860

Tabla 8. Valores del factor regional Y_t . ("Máximas lluvias diarias en la España Peninsular", Ministerio de Fomento, 2001).

Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

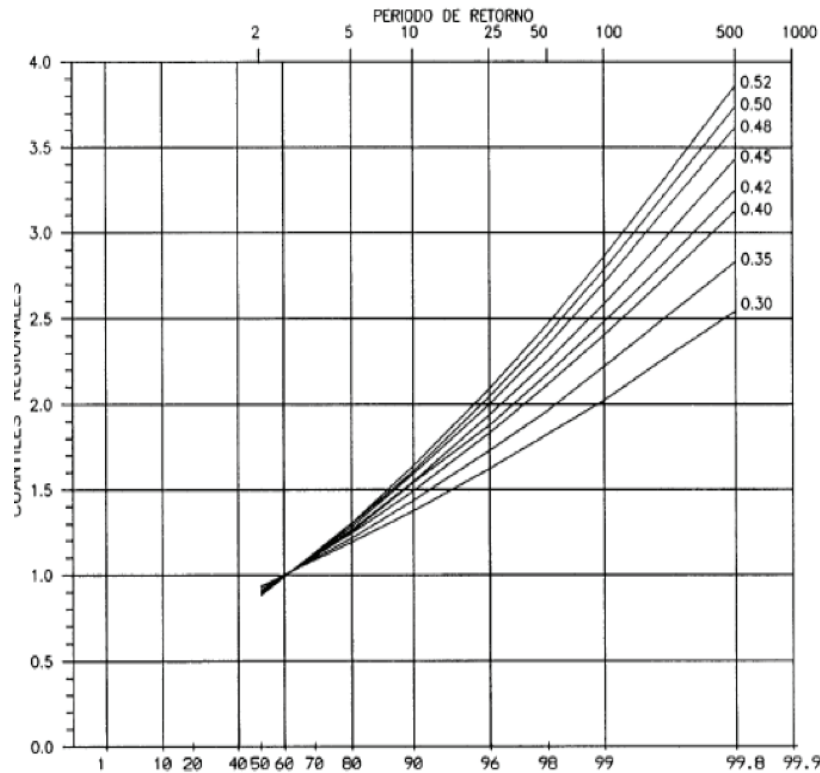


Figura 2. Valores del factor regional Y_t . (*Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*, Ministerio de Fomento, 2001.

Distribución espacial del valor medio como factor de escala local

La estimación de cuantiles en un determinado punto es el resultado de aplicar la siguiente expresión, en la que la media de las series analizadas actúa como factor local:

$$X_t = Y_t \cdot \bar{P}$$

Tal y como ya se ha comentado, el análisis de la distribución espacial de la media se abordó mediante interpolación espacial con técnicas de krigado a partir de los valores medios de las series de 2.231 estaciones, que incluyen las 1.545 “básicas”, ya empleadas en la modelación estadística y otras 686 “complementarias” con series de más de 20 años. La técnica del krigado presenta como ventaja fundamental, frente a otros métodos de interpolación (como la inversa de la distancia elevada a un exponente), la posibilidad de aprovechar directamente la información sobre correlación espacial existente en los propios datos, que queda reflejada en el denominado variograma muestral. Para la aplicación del krigado se consideraron 15 zonas geográficas con similar comportamiento de la variable analizada, caracterizado fundamentalmente por unas variaciones “bruscas” en zonas montañosas y “suaves” en el resto.



Aplicación de un sistema de información geográfica (SIG)

Un sistema de información geográfico GIS es una base de datos georeferenciada que permite realizar una serie de operaciones con los datos captados. Estas operaciones son de almacenamiento, catalogación tratamiento o procesado, de análisis y representación gráfica de la información. En un sistema de información geográfica, la representación de los datos se puede realizar utilizando dos sistemas: Representación vectorial y Representación matricial o raster. La referida en último lugar es la más recomendable para el estudio de datos que varían de forma continua en el espacio, como es el caso de la precipitación, permitiendo un mayor poder analítico aprovechando la potencialidad de las operaciones matriciales.

Los GIS matriciales organizan la información existente en capas unitarias, cada una de las cuales contiene los datos de un determinado tipo en todas las celdas del mallado considerado. En el presente estudio, las capas de información de interés corresponden a los valores numéricos de las siguientes características pluviométricas: valor medio de la Precipitación, coeficiente de variación C_v , cuantiles regionales Y_t y cuantiles locales X_t .

Este conjunto de información espacial debe georeferenciarse, es decir localizarse respecto a un sistema conocido de coordenadas, en este caso se pueden utilizar tanto las coordenadas geográficas como las coordenadas UTM referidas al huso 30 o al 31, siendo la unidad de referencia el metro.

El anterior sistema de referencia, junto con la resolución espacial adoptada de 2.500 m x 2.500 m, define una matriz de 511 columnas y 431 filas y permite situar geográficamente el valor numérico asignado a cada celda. Las capas de información pluviométrica obtenidas han sido el valor medio y el Coeficiente de variación C_v .

Consulta de resultados en un entorno GIS mediante una aplicación informática

A partir de las capas de información anteriores y mediante una aplicación informática desarrollada al efecto, se pueden obtener:

→ Cuantiles regionales Y_t (también denominados Factores de Amplificación KT en el “Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular” de 1997). La relación que la función SQRT-ET máx establece entre el C_v y los valores Y_t ha sido empleada para obtener, a partir de la capa del C_v , las capas de cuantiles regionales.

→ Cuantiles locales X_t (PT en el *Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular de 1997*).

Una vez obtenidas las capas correspondientes al valor medio de la precipitación y los cuantiles regionales Y_t , sólo resta efectuar el producto para obtener los cuantiles locales X_t .

Cálculos realizados y resultados obtenidos

El cálculo de los cuantiles anteriormente mencionados se puede realizar, mediante la publicación utilizada, según dos métodos:

→ A partir de mapas, incluidos en el anejo 1, en los que se representan, para la España peninsular, los valores del coeficiente de variación CV y del valor medio P.

→ Mediante la utilización de un programa informático (la aplicación MAXPLU).

En el presente estudio hidrológico se ha optado por utilizar la aplicación informática adjunta a esta publicación (MAXPLU) por ser un método con menor probabilidad de errores de cálculo.

A continuación, se explica brevemente la metodología utilizada por esta aplicación, para, posteriormente, exponer los resultados obtenidos.

En primer lugar, se introducen en la citada aplicación las coordenadas del punto del territorio en el que se quieren conocer los parámetros pluviométricos, así como el periodo de retorno considerado. En este caso, se han introducido las coordenadas UTM referidas al huso 30 del centroide de cada una de las cuencas, pues la cartografía disponible está georeferenciada a dicho sistema de coordenadas. De este modo se obtienen en cada cuenca:

→ El valor medio de la precipitación diaria máxima anual P.

→ El coeficiente de variación Cv.

→ La estimación de la precipitación diaria máxima correspondiente a diferentes periodos de retorno: cuantil local X_t .

El periodo de retorno considerado ha sido 15 años, correspondiente al establecido en el artículo 34 de la normativa del PATRICOVA frente al drenaje de las aguas pluviales en las áreas urbanas de superficie mayor a 100 hectáreas

Si este proceso de determinación de la máxima precipitación en un emplazamiento determinado, correspondiente a diversos periodos de recurrencia, se realizara manualmente (es decir, mediante los planos adjuntos a la publicación, según la monografía) se sintetizaría en lo que sigue:

→ Para el ámbito territorial abarcado por cada uno de los emplazamientos, se calculan, mediante los planos ya mencionados, los coeficientes de variación de la ley de frecuencias utilizada (SQRT-ET máx), y el valor medio de la precipitación máxima que se deduce de esa ley, □P.

→ Para un periodo de retorno determinado y el valor del coeficiente de variación antes obtenido, se determina, mediante la Tabla 8, el factor regional Y_t que debe afectar al valor medio de la precipitación. Así se obtiene el valor de la precipitación máxima, en mm/día, correspondiente al periodo de retorno en cuestión, esto es, X_t .

A continuación se muestra el mapa de isolíneas de media (en morado) y coeficiente de variación (en rojo) de la función SQRT-Etmax ajustada regionalmente en el entorno de la zona de estudio, extraído del anejo 1 de la citada publicación del Ministerio de Fomento Máximas Lluvias diarias en la España Peninsular.

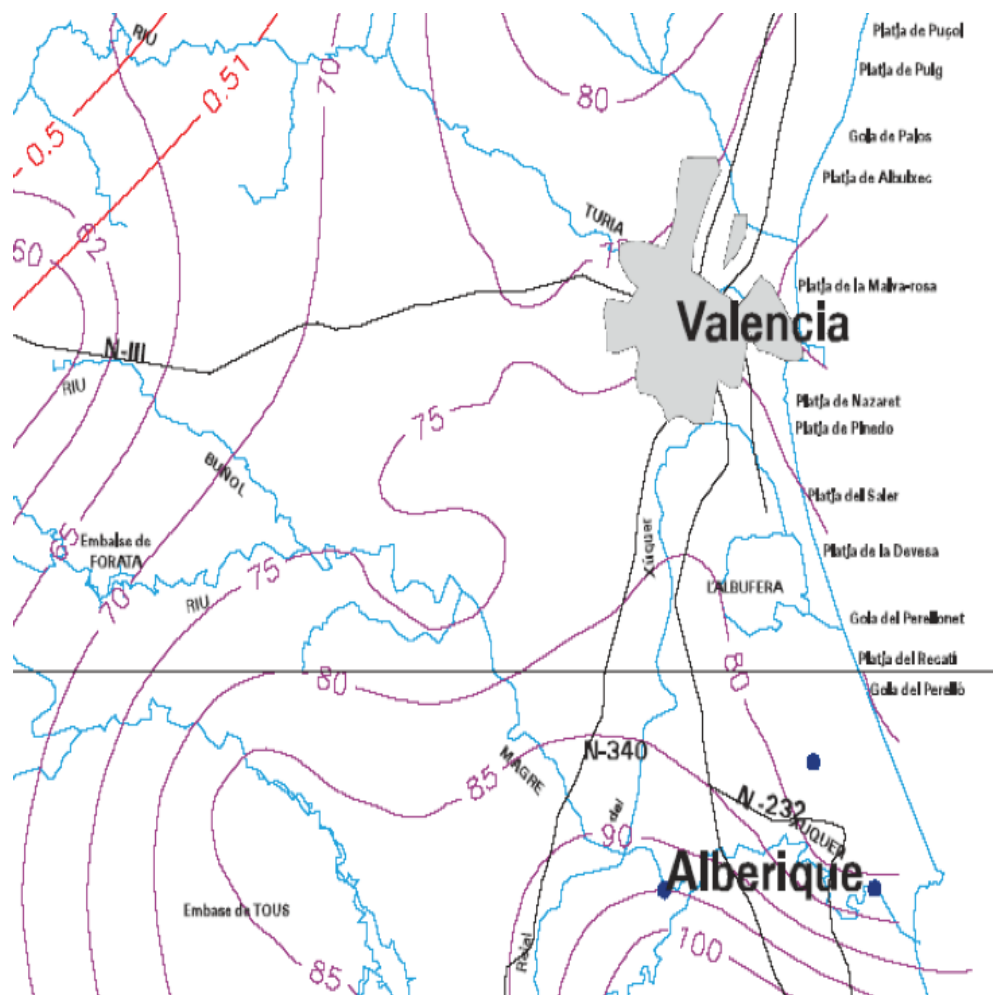


Figura 3. Mapa de isolíneas de media (en morado) y coeficiente de variación (en rojo) de la función SQRT-Etmax ajustada regionalmente en el entorno de la zona de estudio. (*Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*, Ministerio de Fomento, 2001).

Como suele ser habitual por su condición de variable independiente, el parámetro de precipitación empleado ha sido la Precipitación diaria máxima anual (P_d). De este modo, fijado el periodo de retorno de diseño, se ha obtenido el cuantil de P_d para dicho periodo de retorno mediante el método del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, recogido en la publicación del Ministerio de Fomento «Estudio de máximas lluvias de la España peninsular» (1999), basado en un modelo de ajuste regional de máximos hidrológicos mediante la función de distribución SQRT-ET máx, que es la que mejor se adapta a valores extremos de precipitación en zonas de elevada torrencialidad.

Los valores de los parámetros muestrales de la P_d obtenidos para Bétera han sido los siguientes:

- P_d media: 80 mm
- Coeficiente de variación de P_d 0,520

A partir de dichos valores se ha obtenido el cuantil de P_d correspondiente al periodo de retorno de cálculo según la función de distribución SQRT-ET máx:

- P_d (T=15 años): 146,70 mm

Finalmente, en la siguiente tabla se muestra el valor de la P_d media, coeficiente de variación y cuantil de la precipitación diaria máxima anual para el periodos de retorno de 15 años.

CÓDIGO CUENCA	\bar{P}_d (mm)	C_v	$P_d T_{15}$ (mm)
C1, C2, C3, C4	80	0,52	146,7

Tabla 9. Cuantil de precipitación diaria máxima anual para el periodo de retorno considerado.

4.1.4 Estimación de los caudales pico e hidrogramas de crecida

Metodología empleada

Como ya se ha mencionado en la introducción, el método de cálculo empleado para la estimación de los caudales máximos de avenida ha sido el Método de Témez Modificado (Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, 1991), incluido en la “Instrucción 5.2-IC. Drenaje Superficial”, el cual se basa en el Método Racional, aplicable a pequeñas cuencas, pero con una serie de modificaciones que lo hacen extensible a cuencas de mayor tamaño. El límite de aplicabilidad difiere según la bi-



bliografía consultada, pero en todos los casos se sitúa por encima de los 100 km², siempre y cuando no existan elementos de almacenamiento de agua importantes en el sistema hidrológico, tal y como sucede en las cuencas de estudio.

A continuación, procedemos a describir simplificadaamente la metodología de Témez para la obtención de los caudales pico de crecida.

El Método Racional supone que el caudal máximo es el generado por la lluvia de duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, de tal forma que:

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

donde:

Q = caudal pico en m³/s.

C = coeficiente de escorrentía.

I = intensidad de la tormenta de diseño en mm/h.

A = superficie de la cuenca en km².

K = coeficiente de uniformidad temporal.

Las fases propuestas por el profesor Témez son las siguientes:

4.1.1 Estimación del tiempo de concentración.

La fórmula recomendada en la Instrucción 5.2-IC para obtener el tiempo de concentración es una modificación de la del US Army Corps of Engineers:

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

T_c = tiempo de concentración de la cuenca/intercuenca en horas.

L = longitud del cauce principal en km.

J = pendiente del cauce principal en tanto por uno.

Esta expresión es válida en zonas rurales, donde apenas existen superficies impermeabilizadas. Por ello, la “Agencia Catalana del Agua” considera para el cálculo de los caudales de diseño los si-

Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

guientes tres casos en la estimación del tiempo de concentración:

Cuencas rurales con superficie impermeabilizada inferior a $0,04 \cdot A$, donde A es el área total de la cuenca estudiada:

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

donde:

T_c^* = tiempo de concentración de Témez para cuencas rurales en horas.

T_c = tiempo de concentración de la cuenca rural en horas.

L = longitud del cauce principal en km.

J = pendiente del cauce principal en tanto por uno.

Cuencas con urbanización: cuencas cubiertas con una parte impermeabilizada superior a $0,04 \cdot A$, siendo A el área total de la cuenca estudiada. Este caso es aplicable a diversas urbanizaciones independientes con la red de alcantarillado de las aguas pluviales no unificada o completa y curso principal no revestido con hormigón.

$$T_c = \frac{T_c^*}{1 + (\mu \cdot (2 - \mu))^{1/2}}$$

donde:

T_c^* = tiempo de concentración de Témez para cuencas rurales en horas.

T_c = tiempo de concentración de la cuenca con urbanizaciones en horas.

μ = grado de impermeabilización del área total de la cuenca en tanto por uno.

Cuencas urbanas con alcantarillado completo y/o curso principal revestido de hormigón.

$$T_c = \frac{T_c^*}{1 + 3 \cdot (\mu \cdot (2 - \mu))^{1/2}}$$

donde:



T_c^* = tiempo de concentración de Témez para cuencas rurales en horas.

T_c = tiempo de concentración de la cuenca urbana en horas.

μ = grado de impermeabilización del área total de la cuenca en tanto por uno.

En la zona de estudio no existen cuencas urbanas con alcantarillado completo y/o curso principal revestido de hormigón, por lo que no se da el tercer caso contemplado por la Agencia Catalana del Agua. Sin embargo, la existencia de zonas urbanizadas hace que sí se de el segundo caso en aquellos casos en los que el porcentaje de uso del suelo “improductivo” sobre el área total de la cuenca supera el 4%.

Obtención y aplicación del coeficiente de reducción areal de la precipitación.

Para tener en cuenta la no uniformidad espacial de la lluvia, hay que afectarla por un coeficiente de reducción areal si la superficie de la cuenca es mayor de 1 km². Este coeficiente tiene por expresión:

$$K_A = 1 - \frac{\log A}{15}$$

donde A es la superficie de la cuenca en km².

Obtención de la tormenta de diseño.

Para estimar la intensidad máxima promedio de 1 hora (I_h) correspondiente al periodo de retorno de diseño, se ha empleado la curva IDF de Témez, válida en todo el territorio español para duraciones ≥ 1 hora.

$$\frac{I}{I_d} = \left[\frac{I_d}{I_d} \right]^{\frac{28^{0.1} - D^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

Donde:

I = Intensidad media de lluvia, en mm/h, para un periodo de retorno dado en un intervalo de duración D.

D = Duración de la lluvia en horas, en horas (en este caso 1 h).

I_d = Intensidad diaria de la lluvia para ese mismo periodo de retorno en mm/h ($P_d/24$).

I_1/I_d = Relación entre la intensidad de lluvia horaria y la diaria independiente del periodo de

Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

retorno y que puede obtenerse para el territorio nacional de la figura 2.2 de la Instrucción 5.2-IC de Drenaje Superficial.

El valor del coeficiente de torrencialidad considerado ha sido extraído de la citada figura, siendo igual a 11 en la zona de estudio. La intensidad máxima de promedio de 1 hora ha sido la siguiente:

- I_h (T = 15 años): 67,22 mm/h

A continuación se ha obtenido una curva IDF de la zona para duraciones inferiores a 1 hora, construida a partir de la curva IDF de Valencia del año 2000 (según la normativa para obras de saneamiento de la ciudad de Valencia), adimensionalizada y adaptada al valor de I_h de cálculo:

t (min)	IVAL T25 (86) (mm/h)	IVAL T25 (00) (mm/h)	I/Ih VAL T25 (00) (mm/h)	IBétera T15 (mm/h)
0	147,56	133,80	1,90	127,39
10	147,56	133,80	1,90	127,39
11	144,54	131,80	1,87	125,48
12	141,65	129,70	1,84	123,48
13	138,88	127,60	1,81	121,49
14	136,22	125,50	1,78	119,49
15	133,66	123,40	1,75	117,49
16	131,21	121,50	1,72	115,68
17	128,84	119,40	1,69	113,68
18	126,56	117,50	1,66	111,87
19	124,37	115,50	1,64	109,96
20	122,25	113,60	1,61	108,16
21	120,21	111,80	1,58	106,44
22	118,23	110,00	1,56	104,73
23	116,33	108,40	1,54	103,21
24	114,49	106,80	1,51	101,68
25	112,70	105,30	1,49	100,25
26	110,98	103,80	1,47	98,83
27	109,31	102,40	1,45	97,49
28	107,69	101,10	1,43	96,25
29	106,12	99,80	1,41	95,02
30	104,61	98,50	1,40	93,78
31	103,14	97,20	1,38	92,54
32	101,71	96,00	1,36	91,40
33	100,33	94,90	1,34	90,35
34	98,99	93,70	1,33	89,21
35	97,69	92,50	1,31	88,07



t (min)	IVAL T25 (86) (mm/h)	IVAL T25 (00) (mm/h)	I/lh VAL T25 (00) (mm/h)	IBétera T15 (mm/h)
36	96,42	91,40	1,29	87,02
37	95,20	90,20	1,28	85,88
38	94,01	89,10	1,26	84,83
39	92,86	88,00	1,25	83,78
40	91,74	86,90	1,23	82,74
41	90,66	85,90	1,22	81,78
42	89,61	84,80	1,20	80,74
43	88,58	83,90	1,19	79,88
44	87,59	83,00	1,18	79,02
45	86,63	82,10	1,16	78,17
46	85,70	81,20	1,15	77,31
47	84,80	80,30	1,14	76,45
48	83,93	79,50	1,13	75,69
49	83,08	78,70	1,11	74,93
50	82,26	77,90	1,10	74,17
51	81,46	77,20	1,09	73,50
52	80,69	76,40	1,08	72,74
53	79,94	75,60	1,07	71,98
54	79,22	74,90	1,06	71,31
55	78,53	74,20	1,05	70,64
56	77,85	73,40	1,04	69,88
57	77,20	72,70	1,03	69,22
58	76,58)	72,00	1,02)	68,55
59	75,97	71,30	1,01	67,88
60	75,39	70,60	1,00	67,22
61	74,82	69,90	0,99	66,55
62	74,28	69,20	0,98	65,88
63	73,76	68,40	0,97	65,12
64	73,26	67,70	0,96	64,46
65	72,78	67,00	0,95	63,79
66	72,32	66,30	0,94	63,12
67	71,88	65,60	0,93	62,46
68	71,46	64,90	0,92	61,79
69	71,06	64,20	0,91	61,12
70	70,68	63,60	0,90	60,55

Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

t (min)	IVAL T25 (86) (mm/h)	IVAL T25 (00) (mm/h)	I/Ih VAL T25 (00) (mm/h)	IBétera T15 (mm/h)
71	70,32	62,90	0,89	59,89
72	69,97	62,30	0,88	59,31
73	69,65	61,80	0,88	58,84
74	69,34	61,20	0,87	58,27
75	69,05	60,60	0,86	57,70
76	68,78	60,10	0,85	57,22
77	68,52	59,60	0,84	56,74
78	68,28	59,10	0,84	56,27
79	68,06	58,60	0,83	55,79
80	67,86	58,10	0,82	55,32
81	67,68	57,70	0,82	54,93
82	67,51	57,30	0,81	54,55
83	67,35	56,80	0,80	54,08
84	67,22	56,40	0,80	53,70
85	67,10	56,00	0,79	53,32
86	66,99	55,60	0,79	52,94
87	66,91	55,20	0,78	52,55
88	66,84	54,80	0,78	52,17
89	66,78	54,40	0,77	51,79
90	66,74	54,00	0,76	51,41
91	66,72	53,70	0,76	51,13
92	66,71	53,30	0,75	50,75
93	66,72	52,90	0,75	50,36
94	66,74	52,60	0,75	50,08
95	66,78	52,20	0,74	49,70
96	66,83	51,90	0,74	49,41
97	66,90	51,60	0,73	49,13
98	66,99	51,20	0,73	48,75
99	67,08	50,90	0,72	48,46
100	67,20	50,50	0,72	48,08

La relación entre la intensidad horaria y la diaria (factor de torrencialidad) se ha obtenido a partir del mapa de isóneas recogido en la figura 2-2 de la Instrucción 5.2-IC de Drenaje Superficial (MOPU, 1990), asignándose un único valor a toda la zona de estudio de 11,5.



Figura 4.- Mapa de isólineas para la obtención del coeficiente de torrencialidad.

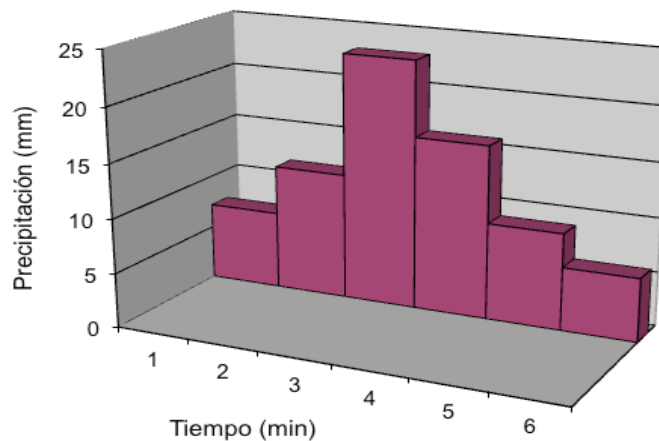
Con los datos anteriores, y para el periodo de retorno de 15 años, se procede a construir la lluvia de diseño, utilizando para ello el método de los bloques alternos.

Pd (T = 15 años):	146,7 mm/h
Id:	6,11 mm/h
(I ₁ /Id):	11

D (min)	I (mm/h)	P _{bloque} (mm)	I _{Témez} (mm/h)
10	127.39	21.23	181.
20	108.16	14.82	126.
30	93.78	10.84	100.
40	82.74	8.27	85.
50	74.17	6.65	75.
60	67.22	5.41	67.

Intervalo	P _{bruta} (mm)
0-10 min	6.65
10-20 min	10.84
20-30 min	21.23
30-40 min	14.82
40-50 min	8.27
50-60 min	5.41

HISTOGRAMA DE PROYECTO



Obtención del coeficiente de escorrentía.

Junto con la precipitación, el coeficiente de escorrentía es el otro factor en el que se apoya el Método Hidrometeorológico para el cálculo de caudales punta. Este parámetro define la proporción de lluvia neta que se transforma en escorrentía superficial.

Para obtener el coeficiente de escorrentía, el método de Témez utiliza el modelo de producción del Soil Conservation Service, de tal forma que depende tanto del parámetro del modelo de infiltración, como de la magnitud del aguacero:

$$C = \frac{[(P_d/P_o) - 1][(P_d/P_o) + 23]}{[(P_d/P_o) + 11]^2}$$

donde:

P_d = precipitación diaria en mm.

P_o = umbral de escorrentía en mm.

El umbral de escorrentía es el parámetro del modelo de infiltración. Éste parámetro se encuentra tabulado, para condiciones previas de humedad del complejo suelo-vegetación, en función de la cubierta (o uso) del suelo, la pendiente y el tipo de suelo según la tabla 5 (tabla 2-1 de la Instrucción 5.2-IC).



Además, el umbral de escorrentía debe afectarse por un factor corrector que tiene en cuenta la humedad antecedente del complejo suelo-vegetación y otras correcciones experimentales. El valor de este factor corrector adoptado en la zona de estudio ha sido de 2,175, según lo explicado en el apartado 2.4.

Obtención y aplicación del coeficiente de uniformidad temporal.

El coeficiente de uniformidad temporal K viene dado por la ecuación:

$$K = 1 + \frac{t_c^{1,25}}{t_c^{1,25} + 14}$$

que es función del tiempo de concentración, y tiene en cuenta el error introducido en la hipótesis de uniformidad temporal de la precipitación a medida que crece el tamaño de la cuenca.

Resultados en las cuencas de estudio

Con las premisas expuestas en los apartados anteriores, en las tablas siguientes se presentan los resultados de la simulación hidrológica en las cuencas analizadas para los períodos de retorno de 25, 100 y 500 años.

- Factor corrector del umbral de escorrentía (**b**): 2,175
- Coeficiente de torrencialidad (I_1/I_d): 11

Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

CÓDIGO CUENCA	C1	C2	C3	C4
A (Ha)	6.19	13.77	129.23	7.11
Aurbanizada (Ha)	1.64	6.67	46.83	1.61
μ	0.26	0.48	0.36	0.23
Ka	1	1	1	1
L (m)	284	756	977	355
Zmáxima (m)	123.47	131.96	131.82	122.91
Zmínima (m)	115.2	118.56	115.82	115.54
J (m/m)	0.03	0.02	0.02	0.02
Tc* (h)	0.23	0.52	0.64	0.29
Tc (h)	0.13	0.15	0.36	0.17
K	1.01	1.01	1.02	1.01
P0 (mm)	24.49	20.77	10.53	11.24
P0* (mm)	53.26	45.16	22.91	24.46
Pd (mm)	146.70	146.70	146.70	146.70
Pd* (mm)	158.52	155.12	145.61	157.93
Id (mm/h)	6.11	6.11	6.11	6.11
I (t) (mm/h)	127.39	127.39	104.73	127.39
C	0.24	0.29	0.52	0.50
Q (m3/s)	0.53	1.42	20.01	1.27

Tabla 10. Resultados en las cuencas de estudio

Donde:

A : superficie total de la cuenca.

Aurbanizada : superficie de la cuenca urbanizada.

μ : grado de impermeabilización del área total de la cuenca en tanto por uno (Aurbanizada /A)

Ka: coeficiente de reducción areal de la precipitación.

L: longitud del recorrido principal del agua.

Zmáxima: cota máxima del recorrido principal del agua.

Zmíoima: cota mínima del recorrido principal del agua.

J: pendiente media del recorrido principal del agua.

Tc*: tiempo de concentración de Témez para cuencas rurales.

Tc: tiempo de concentración de la cuenca.

K : coeficiente de uniformidad temporal de la cuenca.



Po : umbral de escorrentía de la cuenca.

Po*: umbral de escorrentía corregido de la cuenca.

Pd : precipitación diaria máxima anual para el periodo de retorno considerado.

Pd*: precipitación diaria máxima anual corregida para el periodo de retorno considerado.

Id : intensidad diaria de la lluvia para el periodo de retorno considerado.

I(t): intensidad media de la tormenta de diseño para el periodo de retorno considerado.

C: coeficiente de escorrentía para el periodo de retorno considerado.

Q: caudal pico de crecida para el periodo de retorno considerado.

4.2 Cálculo hidráulico

4.2.1 Introducción

El objetivo fundamental del estudio hidráulico es tratar de evacuar el agua almacenada en el punto bajo de Calle Cotoliu en los episodios de lluvias, para evitar, de esta forma, los problemas de inundación que se vienen dando en los últimos años. Para ello y en vistas a las alternativas planteadas, se pueden obtener comportamientos hidráulicos del sistema dispares y todos ellos interesantes de estudio.

En primer lugar, se plantea la ejecución de un colector que recoja las aguas pluviales en el punto bajo de acumulación y a lo largo de toda la calle Cotoliu mediante elementos de captación, función que hasta ahora venía desempeñando la red existente, quedando ésta última insuficiente. En función del recorrido escogido para el mismo, el punto de vertido variará, siendo tres las posibles ubicaciones: balsa al norte de calle Cotoliu colindante a las viviendas existentes; balsa intermedia ubicada en el campo de golf y balsa alejada al oeste ubicada también en pleno campo de golf. Por tanto, cabe destacar la importancia de la elección de una balsa u otra, ya que será tanto la cota de vertido como la de lámina de agua en dicha balsa, la que fijarán nuestra condición de contorno aguas abajo del colector.

En segundo lugar, se plantean soluciones cuyo objetivo es intentar, en la medida de lo posible,

Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

respetar el cauce natural del agua y el comportamiento de la misma. Para ello ambas propuestas tienen el mismo fondo conceptual, el de ejercer cierta función de laminación sobre el caudal de escorrentía producido en dichos periodos de lluvia. Por el contrario partita, la diferencia entre ambas, la encontramos en los puntos de alivio. Mientras que la balsa de infiltración aliviará el volumen almacenado una vez superada la cota de coronación aguas abajo en dirección al campo de golf, donde se acaba dispersando, pues la pendiente del terreno va incrementado en dicho sentido, los sistemas urbanos de drenaje sostenible apenas carecen de puntos de alivio y puede suponer ello un problema, ya que dependiendo de la capacidad de infiltración de cada sistema, dicha acumulación sin alivio, ante periodos consecutivos de lluvia, podría ser insuficiente y no realizar ninguna labor de evacuación, sino todo lo contrario.

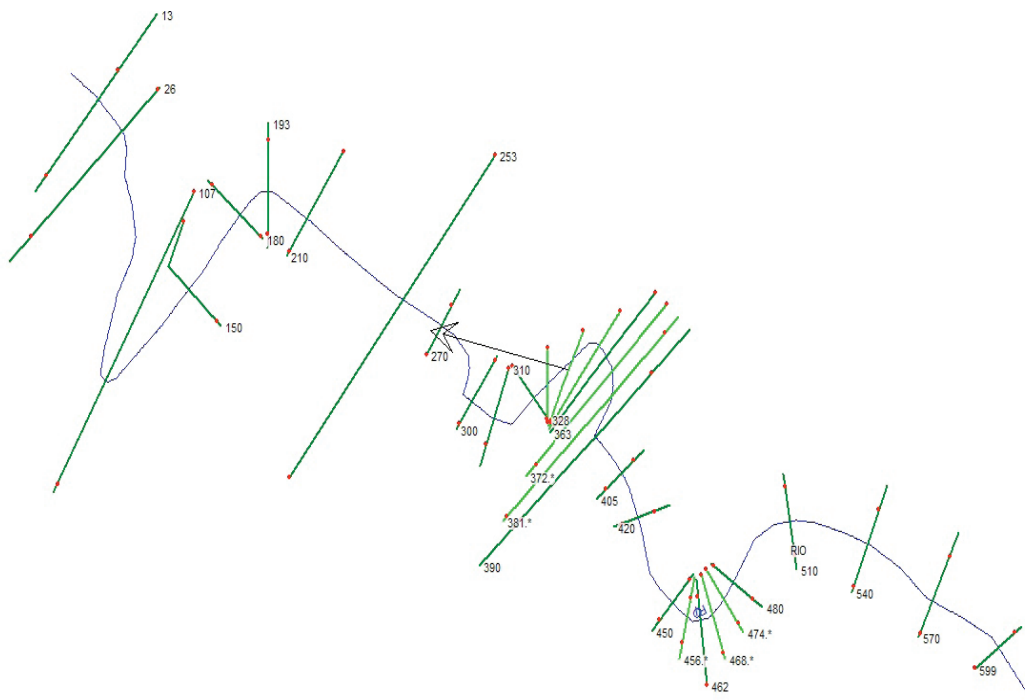
La parte que mayor volumen de trabajo ha llevado ha sido la estimación de la condición de contorno para los diferentes colectores proyectados, es decir, obtener la cota de lámina de agua máxima en el punto de vertido. Esta cota se ha estimado suponiendo, para la lluvia de diseño de 15 años de periodo de retorno, que está llegando el máximo caudal, tanto el recogido por el colector proyecto así como el de la propia cuenca natural que actualmente ya disponen los diferentes puntos de vertido.

El cálculo de dicho caudal de diseño, se ha realizado mediante el método de Témez, como bien se explica en el apartado “Estudio hidrológico”. Así pues, se han obtenido los diferentes cálculos hidráulicos con la ayuda de la herramienta HEC-RAS y su extensión HEC-GEORAS para herramientas GIS a partir de la información de la cartografía LiDAR de un punto por metro cuadrado. Con todo ello y con ayuda de las curvas de nivel de la zona y de la información cartográfica, se ha estimado el recorrido principal del agua aguas debajo de la balsa norte, observándose que dicho recorrido atraviesa tanto la balsa intermedia como la balsa más alejada al oeste del campo del golf. Por tanto, con la herramienta anteriormente mencionada GEORAS, se ha procedido a realizar una serie de cortes perpendiculares a la dirección del flujo sobre el terreno, obteniendo así diferentes cortes transversales exportables HEC-RAS para estudiar allí el comportamiento hidráulico del mismo, cotas de lámina de agua, calados a lo largo del cauce, etc.

A continuación se muestra el recorrido principal así como las diferentes secciones críticas estudiadas en HEC-RAS.



Recorrido principal aguas abajo campo del golf.

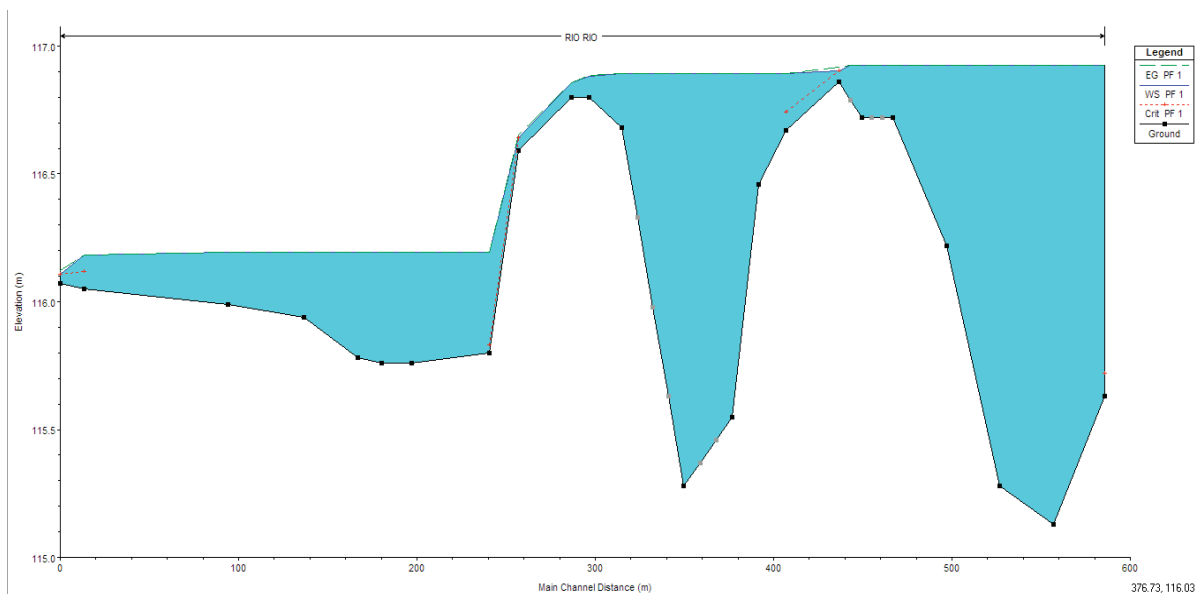


Secciones de estudio en HECRAS del cauce.

4.2.2 Condiciones de contorno

Es sumamente importante conocer el comportamiento del agua aguas debajo de las balsas de vertido, ya que cuando se lleva a cabo una acción así, ha de asegurarse que el agua allí vertida jamás retorne a dicho punto, ya que de ser así la balsa perdería su condición de aliviadero pasando a ser una balsa de acumulación.

Por ello, se ha simulado mediante HECRAS y las secciones obtenidas en HEC-GEORAS de Arc-Gis, el comportamiento de la lámina de agua a lo largo de todo el transcurso del cauce arriba indicado. Como se observa en el perfil longitudinal siguiente, existe un claro decremento de cotas de fondo así como de lámina de agua, observando que en ciertas zonas se alcanzan calados críticos e incluso cambios de régimen a rápido. Se ha analizado por tanto, la continuidad del flujo más allá del desbordamiento de las balsas hasta llegar a un punto donde se ve claramente que el agua cae y esparce en dirección oeste hacia unos campos de cultivo, pues gracias la herramienta GIS se aprecia la depresión en el terreno de dichos campos



Perfil longitudinal de las tres balsas en HECRAS.

El hecho de que se sobrepase el calado crítico (régimen rápido) en las proximidades de las secciones de cambio de balsa, indica que a pesar de la comunicación en cadena de estas, el sentido de dicha comunicación es unilateral en dirección aguas abajo haciendo no retornable el flujo a la balsa anterior. Ello supone un motivo más que suficiente para justificar el hecho de que al verter el agua en alguna de las tres balsas, el sistema garantiza siempre un alivio aguas abajo en dirección natural de escorrentía del agua y por tanto nunca retornará ni al punto de vertido ni a la balsa en sí.

En el apéndice cálculos hidráulicos podrá observarse con detalle las diferentes secciones clave obtenidas mediante HECRAS.



4.2.3 Dimensionamiento hidráulico colectores

El dimensionamiento hidráulico se ha realizado a partir de los caudales de diseño en régimen estacionario uniforme, ya que es el que permite el mejor aprovechamiento de la sección, al no haber curvas de remanso. Para ello, las conexiones entre colectores deben hacerse por clave y no por solera.

Con la hipótesis de flujo uniforme a sección llena para tuberías circulares puede calcularse el diámetro mínimo necesario en cada tramo de colector mediante la siguiente expresión:

$$D_{\min} = 1,548 \cdot \left(\frac{n \cdot Q_d}{\sqrt{i}} \right)^{\frac{3}{2}}$$

donde:

D_{\min} = Diámetro mínimo de la conducción.

n = rugosidad de Manning.

Q_d = Caudal de diseño.

i = pendiente de la conducción en %.

El diámetro ha sido obtenido gracias al Q de diseño calculado mediante el método de Témez para una lluvia de duración igual al tiempo de concentración de la cuenca. Por tanto, al considerarse el mismo caudal en toda la cuenca para los diferentes tramos de colector, el diámetro obtenido ha sido el mismo de 900mm para toda su longitud.

Hay que destacar la presencia de conducciones existentes residuales de unos 300/400mm de DN a lo largo de la cuenca, obstaculizando en algunos puntos la instalación y el recorrido del colector proyectado. Para ello, se ha considerado condición necesaria, salvar dichas conducciones por debajo, ya que si se hiciera por arriba de éstas, los conductos aguas arriba de los cruces podrían llegar a no tener espacio, pues el espacio libre entre tubería existente y cota del terreno en ocasiones es inferior al diámetro mínimo exigido y si se optara por poner dos conducciones en paralelo de menor diámetro, tampoco habría espacio suficiente, pues entre el recubrimiento, espesores de tubo y espesor de la calzada apenas quedaría hueco para el tubo.

La manera de proceder ha sido la siguiente, se ha tomado como punto crítico los cruces con las conducciones existentes, que para el recorrido del colector de las alternativas A 1.2, A1.3, A 1.4 y A 2, dicho punto se encuentra cruzando la parcela privada destinada a la balsa de la alternativa 2 y para

Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

el colector de la alternativa A 1.1 se encuentra al norte de la calle Cotoliu en su cruce con Gamarús. En el primer caso, por ejemplo, la cota de lámina de agua de la conducción existente se encontraba a 115.95msnm, por tanto al pasarla por debajo, la cota de la lámina de agua de nuestro colector sería igual a dicha cota menos el diámetro escogido y un pequeño recubrimiento. Una vez obtenida dicha cota crítica, sabiendo los nudos de conexión aguas arriba y aguas abajo y las distancias sobre el terreno que los separan, se ha escogido una pendiente que garantice velocidad mínima de flujo en la conducción, obteniendo con estos parámetros la nueva cota de lámina de agua en el siguiente nudo. Así sucesivamente con el resto de nudos.

Al considerar el mismo caudal de diseño para todas las conducciones de las diferentes alternativas, se han obtenido los mismo diámetros en las diferentes conducciones y por tanto mismas velocidades.

CALLE	COTOLIU
TRAMO	NR1-V
<hr/>	
Q_{diseño} (m³/s)	1.420
CÁLCULO DIÁMETRO MÍNIMO	
n	0.010
i_{colector} (m)	0.40%
D_{mínimo} (mm)	884
D_{comercial} (mm)	Ø900

4.2.4. Comprobación de velocidades

Para evitar daños por fricción en las conducciones se limita la velocidad máxima en las mismas. Para evitar la sedimentación de los sólidos arrastrados o en suspensión por las aguas residuales y las obstrucciones, también se limita la velocidad mínima.

Las limitaciones de velocidad en colectores pluviales se establecen en los siguientes valores:

Caudal	Velocidad máxima (m/s)	Velocidad mínima (m/s)
Q_{max}	4.0	1.2



A continuación se presentan los resultados obtenidos, donde puede comprobarse que se cumplen los límites de velocidad recomendados.

CÁLCULO CAPACIDAD Y COMPROBACIÓN VELOCIDAD

CALLE	COTOLIU
TRAMO	NR1-N2
n	0.010
$i_{\text{colector}} \text{ (m)}$	0.40%
D (m)	0.900
$Q_{\text{máx}} \text{ (m}^3\text{/s)}$	1.489
v (m/s)	2.34
PENDIENTE (m/m)	0.40%
DIAMETRO (m)	0.900
RELACION LLENADO	60.06%
CALADO MAXIMO (m)	0.54
SEMIANGULO (rad)	1.37
RUGOSIDAD	0.010
SECCION (m ²)	0.3990
PERIMETRO MOJADO (m)	1.5960
RADIO HIDRAULICO (m)	0.2500
CAUDAL (m³/s)	1.001
VELOCIDAD (m/s)	2.51
$B_{\text{SUD}} \text{ (m)}$	0.88
F	1.19

4.2.5. Diseño de elementos de captación: sumideros y rejillas

El funcionamiento hidráulico de estos elementos tan importantes de captación es una materia poco estudiada por los fabricantes de rejillas. Actualmente existen muchos tipos de rejillas, algunas que captan más que otras, que tienen mayor área, más huecos, barras diagonales o rectas, pero el motivo de esta diversidad de diseños no responde generalmente a un objetivo de mejorar la captación de estos elementos sino que responden a criterios principalmente estéticos y estructurales. Lo que se busca en el diseño de estos elementos por parte de los fabricantes de dichas piezas es la mejor integración con el entorno urbano y resistencias adecuadas para su uso.

Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

Por esta razón, diferentes organismos ajenos a los fabricantes de rejillas han emprendido diversos estudios que permitan evaluar a otros niveles la eficiencia en la captación de los flujos superficiales.

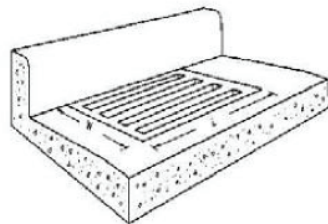
En este caso vamos a centrarnos en los resultados de los estudios realizados por Beniamino RUSSO y Manuel GÓMEZ de la Universidad Politècnica de Catalunya, plasmados en la publicación *Diseño de sistemas de sumideros en medio urbano*.

El objetivo principal del estudio era el de poder determinar de una manera experimental y en función de las condiciones de contorno, geometría de la calle, lluvia, caudal, etc. una serie de relaciones matemáticas que nos permitieran determinar la eficiencia de captación de una forma genérica para las rejillas de una ciudad. Poder establecer así, una formulación válida para cualquier tipo de rejilla y situación de esta. Se pretendió entonces dar respuesta a lo que hasta ahora solo había respondido a criterios no hidráulicos y permitir así aumentar la calidad en el dimensionamiento de las redes de drenaje urbanas.

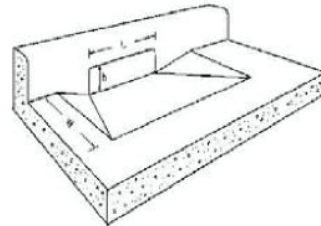
En la actualidad se pueden encontrar cuatro tipos genéricos de imbornales, cuya utilización está en función de la geometría de la calle, la pendiente longitudinal, la presencia de material susceptible a la colmatación de estos, etc.:

- El imbornal rejilla (a)
- El imbornal buzón (b)
- El imbornal mixto (c)
- El imbornal caz (d)

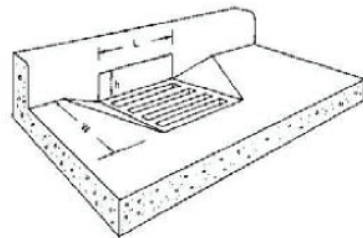
Que se esquematizan en la figura siguiente:



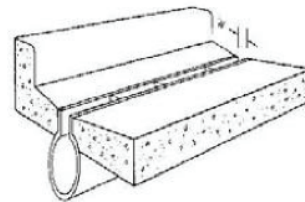
a. Grate



b. Curb-opening Inlet



c. Combination Inlet



d. Slotted Drain Inlet

El imbornal rejilla (a) principalmente se caracteriza por ser capaz de conservar eficiencias hidráulicas aceptables con pendientes medias y altas. A pesar de ello presenta dos inconvenientes:

1. Es muy susceptible a la colmatación si existe transporte de material en suspensión, perdiendo eficiencia debido a esta colmatación, por lo que exige un mantenimiento periódico y pierde eficiencia debido a esta colmatación.



2. Puede suponer un peligro para las bicicletas si presenta un luz libre entre rejillas es superior al ancho estándar del tamaño de rueda. Actualmente se encuentran muchos diseños con barras inclinadas o transversales que mitigan en gran medida este problema.

Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

El imbornal buzón (b) es el más adecuado para bajas pendientes, donde el flujo 2-D coge más fuerza, en puntos bajos, y en lugares donde hay posibilidad de existencia de material en suspensión. Al aumentar la pendiente de la calle su eficiencia se ve enormemente disminuida.

El imbornal mixto (c) obviamente dispone de las ventajas de ambos tipos de imbornal anteriores, siendo también posible combinarlos en serie, primero el imbornal buzón que se encargará de captar el material en suspensión y luego el de rejilla para captar mayor flujo sin quedar obturado.

El imbornal caz (d) es eficaz en secciones anchas de calzada y donde la presencia de suciedad y escombros no sea un factor crucial ya que es el más sensible a la colmatación.

Estudio realizado por FLUMEN-Universidad de Catalunya

Para llevar a cabo el desarrollo de dicho estudio se construyó en el mismo laboratorio una plataforma que presenta unas dimensiones de 5.5 m de largo por 4 de ancho, permitiendo una zona de ensayo útil de 5.5 m x 3 m, simulado un vial urbano estándar. Esta plataforma apoyada en tan solo tres puntos permite ajustar las pendientes tanto longitudinal, hasta un 10 % como transversal hasta un 4 %, ajustando las alturas de éstos. Situado en la cabecera un depósito de agua que permite aportar el agua de una manera suave proporcionando una condición de contorno que permita al agua alcanzar de una forma rápida el movimiento en una dimensión. Este mecanismo permite la realización de ensayos a escala real.

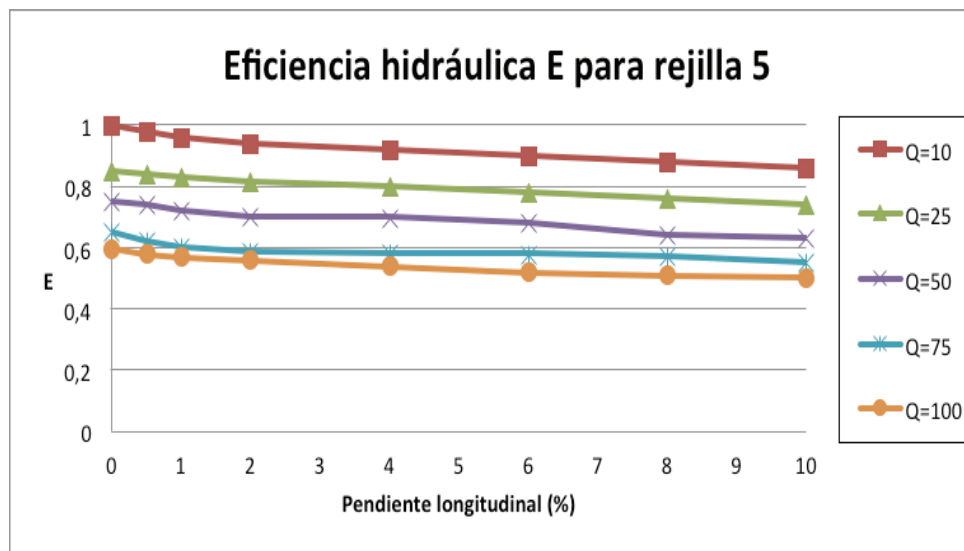


En el ensayo que se realizó para la rejilla de nuestro proyecto, la rejilla 5, se limitó el ancho de



ensayo de la plataforma a 1 metro, y los caudales de paso fueron 10 l/s, 25 l/s, 50 l/s, 75 l/s y 100 l/s. Las pendientes longitudinales de ensayo fueron 0%, 0.5%, 1%, 2%, 4%, 6%, 8% y 10%.

En dicho estudio se comenta que, como a continuación se observa en la gráfica de eficiencia hidráulica para la rejilla 5, para el caudal unitario de 10 l/s, los resultados en términos de eficiencia fueron muy próximos a la unidad. Pues las rejillas capturaron aproximadamente el 100% del caudal circulante.



Como observamos, el rango de eficiencia de la rejilla 5 es 46-100% para los caudales y pendientes ensayados.

Tras el estudio realizado, se encontró una relación lineal entre la eficiencia hidráulica y otro parámetro que describe las características inerciales y gravitacionales del flujo (el número de Froude):

$$E = a * Fr + b$$

Donde:

a y b son parámetros característicos de las rejillas y del caudal circulante.

Fr es el número de Froude.

Esta ecuación puede resultar no muy práctica a la hora de emplearse para diferentes caudales. Por lo tanto, una ecuación válida para todos los caudales circulantes será:

$$E = \alpha * \left(Fr * \left(\frac{y}{L} \right)^{0.812} \right) + \beta$$

Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

Donde:

a y β son coeficientes que dependen de forma exclusiva de la geometría de la rejilla

L es la longitud del mínimo rectángulo que incluye todos los huecos

y es el calado del flujo calculado aguas arriba

Dimensionamiento de imbornales.

Para el dimensionamiento de las rejillas que se colocaran a lo largo de la calle cotoliu, dividiremos la calle en dos, teniendo en cuenta el caudal que llega por la parte sur y el caudal que llega por la parte norte. De esa forma, y estudiando a continuación la eficiencia de las rejillas, calcularemos el caudal que llega al punto bajo de la calle.

Nos colocaremos en el peor de los escenarios, y es que las rejillas se encuentran obstruidas en un 50% por acumulación de sedimentos y basuras, por lo que no funcionarían al máximo de su eficiencia.

El inicio de la captación de escorrentía se inicia por el Norte en el cruce con calle Gamarus porque es donde mayor caudal se puede interceptar.(R4) Por la parte Sur se inicia la captación donde va a parar el caudal de la calle y el de la cuenca(R1).

La localización de los imbornales a dimensionar se encuentra en el plano N° 9.





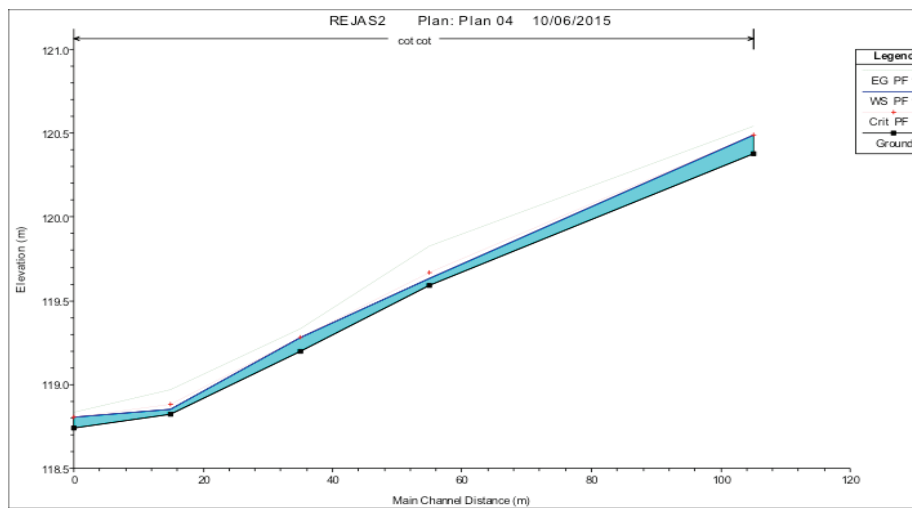
Los caudales con los que trabajaremos serán:

Q norte: 0.70 m³/s

Q sur: 1.03 m³/s

Para calcular la eficiencia de cada imbornal, debemos saber primero el número de Froude y el calado del flujo, ambos calculados aguas arriba del mismo.

Mediante HEC-RAS se implanta la sección de la calle, suponiendo que la misma es un canal de sección rectangular de 6 metros de ancho y 0,1 m de alto de bordillo. Con esta sección, se ejecuta el programa introduciéndole los datos de caudal obtenidos.



Ejemplo de perfil longitudinal obtenido en el modelo.

De cada una de las secciones de las rejillas obtenemos el número de Froude y el calado,

NORTE				SUR			
REJA Nº 4		REJA Nº 3		REJA Nº 1		REJA existente	
Modelo Reja 5		Modelo Reja 5		Modelo Reja 5		Modelo Reja 5	
α	-1.292	α	-1.292	α	-1.292	α	-1.292
β	1.19	β	1.19	β	1.19	β	1.19
L	0.50	L	0.50	L	0.50	L	0.50
Y	0.060	Y	0.076	Y	0.080	Y	0.076
nº Fr	2.24	nº Fr	1.54	nº Fr	1.55	nº Fr	0.70
E	0.66962469	E	0.75603676	E	0.73479055	E	0.99110762

Con estos datos, y sabiendo los caudales que llegan a la primera rejilla en cada caso, podemos obtener los caudales que absorbe cada uno de los imbornales, y a su vez, obtenemos el caudal que va por la calle. Haciendo la misma operación tantas veces como imbornales tengamos, nos encon-

Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

traremos con un caudal final en el punto bajo de la calle. Como mencionábamos anteriormente, supondremos una obstrucción del 50% del imbornal, con el fin de colocarnos siempre en la peor de las situaciones posibles, y con ello poder dimensionar con eficacia los imbornales necesarios en el punto bajo de la calle.

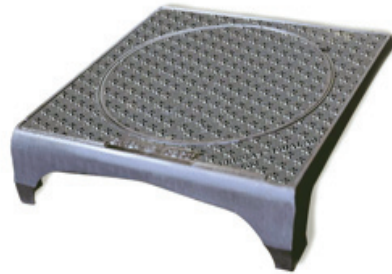
Cabe destacar que en el tramo sur la reja ya existente en la calle Cotoliu obtiene una eficiencia cercana a 1, lo que es comprensible tratándose de un caudal muy uniforme y con poca velocidad que, al no tener pendiente, permite que la gran parte del volumen de agua que llega a dicho imbornal, sea absorbido con facilidad.

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="background-color: #FFD700;">Q norte</td><td style="text-align: right;">790</td><td style="text-align: right;">l/s</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Reja 6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Eficiencia</td><td style="background-color: #90EE90;">66.96%</td><td></td></tr> <tr><td>Obstruccion</td><td style="text-align: right;">50%</td><td></td></tr> <tr><td>Q abs</td><td style="background-color: #90EE90;">264.501751</td><td style="text-align: right;">l/s</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Q calle</td><td style="text-align: right;">525.498249</td><td style="text-align: right;">l/s</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Reja 5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Eficiencia</td><td style="background-color: #90EE90;">75.604%</td><td></td></tr> <tr><td>Obstruccion</td><td style="text-align: right;">50%</td><td></td></tr> <tr><td>Q abs</td><td style="background-color: #90EE90;">198.647997</td><td style="text-align: right;">l/s</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Q pto bajo</td><td style="text-align: right;">326.850253</td><td style="text-align: right;">l/s</td></tr> </table>	Q norte	790	l/s	Reja 6			Eficiencia	66.96%		Obstruccion	50%		Q abs	264.501751	l/s	Q calle	525.498249	l/s	Reja 5			Eficiencia	75.604%		Obstruccion	50%		Q abs	198.647997	l/s	Q pto bajo	326.850253	l/s	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="background-color: #FFD700;">Q Sur</td><td style="text-align: right;">1030</td><td style="text-align: right;">l/s</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Reja 1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Eficiencia</td><td style="background-color: #90EE90;">73.48%</td><td></td></tr> <tr><td>Obstruccion</td><td style="text-align: right;">50%</td><td></td></tr> <tr><td>Q abs</td><td style="background-color: #90EE90;">378.417131</td><td style="text-align: right;">l/s</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Q calle</td><td style="text-align: right;">651.582869</td><td style="text-align: right;">l/s</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Reja exist</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Eficiencia</td><td style="background-color: #90EE90;">99.111%</td><td></td></tr> <tr><td>Obstruccion</td><td style="text-align: right;">50%</td><td></td></tr> <tr><td>Q abs</td><td style="background-color: #90EE90;">322.894373</td><td style="text-align: right;">l/s</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Q pto bajo</td><td style="text-align: right;">133.973065</td><td style="text-align: right;">l/s</td></tr> </table>	Q Sur	1030	l/s	Reja 1			Eficiencia	73.48%		Obstruccion	50%		Q abs	378.417131	l/s	Q calle	651.582869	l/s	Reja exist			Eficiencia	99.111%		Obstruccion	50%		Q abs	322.894373	l/s	Q pto bajo	133.973065	l/s
Q norte	790	l/s																																																																	
Reja 6																																																																			
Eficiencia	66.96%																																																																		
Obstruccion	50%																																																																		
Q abs	264.501751	l/s																																																																	
Q calle	525.498249	l/s																																																																	
Reja 5																																																																			
Eficiencia	75.604%																																																																		
Obstruccion	50%																																																																		
Q abs	198.647997	l/s																																																																	
Q pto bajo	326.850253	l/s																																																																	
Q Sur	1030	l/s																																																																	
Reja 1																																																																			
Eficiencia	73.48%																																																																		
Obstruccion	50%																																																																		
Q abs	378.417131	l/s																																																																	
Q calle	651.582869	l/s																																																																	
Reja exist																																																																			
Eficiencia	99.111%																																																																		
Obstruccion	50%																																																																		
Q abs	322.894373	l/s																																																																	
Q pto bajo	133.973065	l/s																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2" style="text-align: center;">PUNTO BAJO</th></tr> <tr><td>de Norte</td><td style="background-color: #90EE90;">326.850253</td></tr> <tr><td>de Sur</td><td style="background-color: #90EE90;">133.973065</td></tr> </table>	PUNTO BAJO		de Norte	326.850253	de Sur	133.973065	→	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="background-color: #FFD700;">460.823318</td><td style="text-align: right;">l/s</td></tr> </table>	460.823318	l/s																																																									
PUNTO BAJO																																																																			
de Norte	326.850253																																																																		
de Sur	133.973065																																																																		
460.823318	l/s																																																																		

Obtenemos finalmente una caudal en el punto bajo de la calle Cotoliu de **460,82 l/s**.

El último paso será dimensionar los imbornales que se colocaran en este punto.

Se utilizará el imbornal tipo buzón, modelo ANDORRA, similar al que aparece en la siguiente imagen:



Imbornal modelo "Andorra".

Se ha calculado el caudal captado por cada imbornal buzón considerando régimen crítico a la entrada al mismo, con contracción lateral. Para ello, se ha contemplado un nivel de agua en el vial de 8cm, de modo que no afecte a la acera ni a la rejilla más cercana (rejilla existente). A continuación se muestran los cálculos realizados.

ABSORVEDERO MOD. ANDORRA

B (m)	0,7
H (m)	0,08

	Mod. Andorra	
Yc (m)	0,05	
q (m³/s/m)	0,04	
Q (l/s)	27,00	sin contracción
Q (l/s)	26,39	con contracción

Por tanto, el caudal captado por cada imbornal será de 26 l/s. De este modo, será necesario instalar 18 tragaderos como este. La longitud exterior de este modelo es de 80 cm, por lo que se trataría de 14.5 metros de largo. A cada lado de la calle se pondrán 9 imbornales buzón (7.2 metros).

No se ha contemplado ningún tipo de obstrucción en los cálculos por la propia tipología de imbornal. Para evitar la entrada de sólidos gruesos y flotantes en el interior del colector se instalará una reja de desbaste en una arqueta previa a la conexión al colector.

5. Evaluación de las alternativas

5.1 Criterios de evaluación

5.1.1.- Criterio económico

Se trata de uno de los principales aspectos a tener en cuenta, pero no el más importante. El peso correspondiente a este criterio será del 30%.

5.1.2.- Funcionamiento hidráulico

Pese a que todas las alternativas han sido diseñadas para garantizar la ausencia de niveles de inundación en la zona baja del vial de calle Cotoliu con la lluvia de diseño adoptada, la consideración de alternativas de distinta naturaleza (colectores, balsa y SUDs) provoca que la respuesta hidráulica ante una lluvia o unas condiciones iniciales diferentes a la de diseño difiera considerablemente de unas alternativas a otras. Además, en las alternativas de colector, el funcionamiento no podrá ser en lámina libre en todos los tramos de todas las alternativas, debido tanto al nivel del agua en los puntos de vertido como a las cotas de la red de saneamiento existente en los cruces con los trazados propuestos. Este aspecto también será considerado en la evaluación multicriterio.

Le asignaremos un peso del 40%

3.- Durabilidad, mantenimiento

Desde el punto de vista de la durabilidad y el mantenimiento, se ha penalizado a los elementos que requieran un mantenimiento periódico. Le asignaremos un peso del 20%.

4.- Impacto ambiental

Para este aspecto se valorarán los posibles cambios en el medio o molestias ocasionadas durante



el periodo de ejecución de la solución adoptada.

Los factores ambientales que puedan resultar potencialmente afectados son los siguientes:

Población: fundamentalmente relacionado a las molestias sobre ella derivadas de las obras (polvo, ruidos, olores, movilidad, riesgo de accidentes).

Atmósfera: tanto referido a la calidad atmosférica como a la calidad acústica.

Vegetación: referido a las especies que se encuentran en el entorno del ámbito de estudio.

Hidrología superficial y subterránea.

Infraestructuras y servicios: referido a su funcionamiento y continuidad.

Patrimonio: referido a los elementos de Patrimonio que se localizan en el entorno próximo a la zona de actuación.

Los principales objetivos de la aplicación de las medidas protectoras son:

Conseguir la mayor integración ambiental posible del proyecto.

Evitar, anular, atenuar, corregir o compensar los efectos negativos que las acciones derivadas del proyecto producen sobre el medio ambiente

A este aspecto les asignaremos un peso del 10%.

5.2 Comparación de alternativas

Se valorarán de 0 a 10 (0 mín., 10 máx.) las alternativas para cada uno de los criterios anteriormente mencionados.

1.- Económico

Para puntuar las alternativas en función de este parámetro, se aplicará la siguiente fórmula con los resultados de la valoración económica:

Máx.

$$\left[0, \left[1 - \frac{(C_a - C_{ab})}{C_{ab}} \right] * 10 \right]$$

Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

Donde:

C_a : Coste de la alternativa

C_{ab} : Coste de la alternativa más barata

Así pues, la valoración económica obtenida a partir de todos los presupuestos será:

		Económico		40%
		Presupuesto	Nota	NotaxPeso
Alternativa 1	1.1	197395,6	9,813	3,93
	1.2	231944,31	8,030	3,21
	1.3	193770,97	10,000	4,00
	1.4	198651,92	9,748	3,90
Alternativa 2		205948,7	9,372	3,75
Alternativa 3		340562,6	2,424	0,97

2.- Funcionamiento hidráulico

De acuerdo con los resultados obtenidos de las simulaciones hidráulicas obtenemos que dentro de la alternativa 1, todas las subalternativas se comportan de manera parecida, teniendo entre ellas la diferencia de que en algunos casos los tramos finales de colector pueden llegar a entrar en carga, lo cual será valorado negativamente. Otro aspecto considerado ha sido la diferencia de cota entre la llegada del colector y el terreno en el punto de vertido, pues en los casos en que dicha diferencia sea pequeña existe riesgo de entrada de sólidos de la depresión del terreno al colector. El mal funcionamiento de la instalación de un sifón en la tubería sería negativamente valorado en este aspecto.

La alternativa 2 tiene un mejor comportamiento hidráulico que la alternativa 1 ya que al ubicar la balsa junto a la zona urbana inundable, el tramo de colector hasta la balsa tiene una longitud despreciable y no interfiere con ningún servicio. De este modo, la entrada a la balsa se produciría con una conducción muy superficial, lo que permite que esta conducción de entrada funcione en lámina libre cuando la balsa está aliviando el caudal de diseño. El alivio de la balsa se produciría ya en el campo de golf, entre los puntos de vertido 1 y 2, por lo que el agua aliviada continuaría hacia la balsa del punto de vertido 2 a través del campo de golf, tal y como lo hace en la actualidad una vez el agua que inunda el vial desborda hacia la parcela en la que se ubicaría la balsa. Se puede



decir que esta alternativa presenta un buen comportamiento hidráulico porque restituye el comportamiento del flujo previo a la urbanización de la zona y, además, lamina el caudal punta.

La alternativa 3 tiene un comportamiento hidráulico similar al de la alternativa 2, ya que al tratar la escorrentía en origen restituye la situación previa a la urbanización de la zona. Pero por el contrario, dicha alternativa será valorada negativamente ya que una vez llega el agua al punto bajo de la calle, esta no alivia en ningún dirección y seguiría existiendo el problema actual de inundación en periodos de lluvia cercanos entre sí

Así pues, la valoración obtenida a partir de todos los datos expuestos anteriormente será:

		Factor Hidráulico (X%)	30%
		Nota	NotaxPeso
Alternativa 1	1.1	8	2,40
	1.2	6	1,80
	1.3	7	2,10
	1.4	7,50	2,25
Alternativa 2		10	3
Alternativa 3		9	3,6

3.- Durabilidad y mantenimiento

En cuanto a la durabilidad y mantenimiento, la alternativa 1 será la mejor valorada, ya que el colector requiere un menor mantenimiento que la balsa o los elementos de SUD's, fundamentalmente por la jardinería. La alternativa 3 será la peor valorada, pues existen más elementos a mantener y más distanciados en el espacio. Hay que resaltar que el mantenimiento a realizar en las alternativas 2 y 3 garantiza un correcto funcionamiento hidráulico, pero también un valor ambiental y paisajístico, por lo que la penalización de estas alternativas en el apartado de mantenimiento vendrá unido a una mejor valoración en el apartado de impacto ambiental.

En cuanto al mantenimiento de los colectores, las tareas a realizar básicamente consistirán en la revisión periódica para comprobar su estado y para su limpieza. Se han valorado más positivamente las de menor longitud y mayor pendiente media, ya que permitirán una mayor velocidad del fluido, reduciendo así la sedimentación en la conducción. También se ha tenido en cuenta la altura de caída del agua en el vertido, pues tal y como ya se ha indicado, en caso de ser pequeña puede pro-

Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

ducirse la entrada de sedimentos en el colector, que habrá que limpiar tras cada episodio de lluvia.

Aquellas alternativas en las que sea necesario realizar una excavación en la balsa de vertido con el fin de poder llevar la tubería hasta ella, serán penalizadas negativamente. Esto es así porque al realizar una excavación y encontrarse la tubería en el punto más bajo de la balsa, la acumulación de residuos será mayor en la salida de la conducción, junto al arrastre de tierra de la cuenca natural de las propias balsas podrían llegar a colmatar los colectores, por lo que la durabilidad y mantenimiento de aquella se verán seriamente afectados.

Así pues, la valoración obtenida a partir de todos los datos expuestos anteriormente será:

		Durabilidad y Mantenimiento(X%)	20%
		Nota	NotaxPeso
Alternativa 1	1.1	7,50	1,5
	1.2	7,00	1,4
	1.3	8,00	1,6
	1.4	8,00	1,6
Alternativa 2		6,00	1,2
Alternativa 3		5,00	1

4.- Impacto ambiental

En este apartado tendremos en cuenta todos los aspectos citados anteriormente.

El aspecto más valorado ha sido el de la integración ambiental y mejora paisajística de la zona, conseguido con las alternativas 2 y 3.

Además, la afección a la población durante la ejecución de las obras también constituye un impacto ambiental. Los aspectos considerados han sido el plazo de ejecución y la longitud de afección a la vía pública, donde la ejecución de las obras posiblemente entorpezca el funcionamiento habitual de la población. En este sentido, la afección será mínima en la alternativa 2, al tratarse de una obra localizada y fuera de la vía urbana, y máxima en la alternativa 1.1, pues es la que mayor longitud de actuación presenta en la vía pública.

Así pues, la valoración obtenida a partir de todos los datos expuestos anteriormente será:



		Impacto ambiental (X%)	10%
		Nota	NotaxPeso
Alternativa 1	1.1	5	0,5
	1.2	5,80	0,58
	1.3	5,60	0,56
	1.4	5,30	0,53
Alternativa 2		10	1
Alternativa 3		9	0,9

En resumen, tras la comparación de las alternativas, el resultado será el siguiente:

		Económico (30%)			Durabilidad y Mantenimiento(X%)		Factor Hidráulico (X%)		Impacto ambiental (X%)		NOTA FINAL
		Presupuesto	Nota	NotaxPeso	Nota	NotaxPeso	Nota	NotaxPeso	Nota	NotaxPeso	
Alternativa 1	1.1	197395,60	9,813	2,94	7,50	1,5	8,00	3,2	5,00	0,5	8,14
	1.2	231944,31	8,030	2,41	7,00	1,4	6,00	2,4	5,80	0,58	6,79
	1.3	193770,97	10,000	3,00	8,00	1,6	7,00	2,8	5,60	0,56	7,96
	1.4	198651,92	9,748	2,92	8,00	1,6	7,50	3	5,30	0,53	8,05
Alternativa 2		205948,70	9,372	2,81	6,00	1,2	10,00	4	10,00	1	9,01
Alternativa 3		340562,60	2,424	0,73	5,00	1	9,00	3,6	9,00	0,9	6,23

Finalmente, como observamos en esta tabla, la alternativa óptima para poner fin a los problemas de inundación es la N^o 2.

6. Conclusiones

El objetivo que persigue el trabajo realizado es el de poner fin a las recurrentes inundaciones que se producen tras fuertes episodios de lluvia en la calle Cotolius, de la urbanización de Torre en Conill, en el municipio de Bétera.

Para ello, se propuso la realización del presente estudio de soluciones, con el que se trataría de encontrar la mejor de las opciones posibles que diesen fin al problema de inundabilidad de la zona.

Se ha hecho un estudio de soluciones de todas las alternativas posibles, como colector, balsa y Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.

En cuanto a las alternativas de colector, se han analizado las diferentes posibilidades de punto de vertido. Dado que no existen cauces cercanos, las posibilidades de vertido con un coste no des-

Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

proporcionado son depresiones del terreno en el interior del campo de golf, una de ellas concebida ya actualmente como una balsa de pluviales. La capacidad de estas balsas es limitada, por lo que se ha considerado como condición de contorno para el diseño de estos colectores el nivel del agua con la balsa llena y aliviando el caudal máximo para la lluvia de diseño contemplada, procedente tanto del colector a diseñar como de su cuenca natural. Para ello, se ha realizado un estudio hidrológico de las cuencas naturales de las depresiones que conforman los puntos de vertido, junto con la del colector a diseñar. Los caudales máximos obtenidos han sido empleados para realizar una simulación en HEC-RAS y determinar así los niveles máximos alcanzados por el agua en los puntos de vertido del colector diseñado. Esta condición de contorno provoca el funcionamiento en carga de los últimos tramos de colector en el momento en que las balsas están llenas y aliviando el caudal punta, pero no afecta al funcionamiento en lámina libre de los tramos iniciales. El efecto de laminación, no considerado, podría reducir ligeramente los caudales máximos y por tanto los niveles máximos alcanzados por el agua en los puntos de vertido.

Otro aspecto particular del trabajo corresponde al diseño de los elementos de captación de escorrentía superficial de la calle Cotoliu, de modo que las actuaciones planteadas contemplan, no sólo las infraestructuras necesarias para la evacuación de las aguas pluviales, sino también las correspondientes a la captación de la escorrentía. Para la realización de este último dimensionamiento, nos basamos en los resultados de los análisis realizados en laboratorio por la Universidad Politécnica de Cataluña.

Para la elección de la alternativa final, la valoración multicriterio ha sido la herramienta empleada para dictaminar que alternativa era la más adecuada desde diferentes puntos de vista. En esta valoración se tuvieron en cuenta los aspectos: Económico, comportamiento hidráulico, durabilidad y mantenimiento, e impacto ambiental. De todos ellos, el mayor peso fue asignado al comportamiento hidráulico.

Una vez asignadas las notas a cada alternativa y dándole el peso correspondiente a cada factor, resultó la alternativa 2 como la más adecuada para poner fin a los problemas de la calle Cotoliu. El motivo fundamental por el que resulta la mejor alternativa es por el óptimo funcionamiento hidráulico, ya que permite la continuidad del flujo a partir del punto bajo de la calle Cotoliu de modo muy similar a como lo hacía antes de la urbanización de la zona. Además, la capacidad de acumulación de agua aporta como mejora hidráulica añadida una laminación del caudal punta.



Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

II. Apéndices



Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

Apéndice N^o 1

**Estudio de permeabilidad del terreno en las
calles Cotoliu y Falcó de Bétera**



Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

Apéndice Nº 2

Estudio hidrológico



Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

Apéndice N^o 3

Cálculos hidrológicos



.- TABLAS

A continuación se muestran las tablas numéricas de obtención del umbral de escorrentía en las cuencas de estudio obtenido por premeditación areal, con la distribución por cuencas de las superficies correspondientes a cada tipo de suelo del SCS, cubierta de suelo y pendiente del terreno.



1.1- TABLA DE OBTENCIÓN DEL PARÁMETRO P_0 EN LAS CUENCAS DE ESTUDIO.

Cuenca C1

AREA (m2)	USO SUELO	PENDIENTE*	CAP AGRO	CAP SCS*	P0 (mm)	P0 * Area
7265.59		<3%	Aq	1	20.00	145311.82
0.00	Campo de golf	<3%	Bq	1	14.00	0.00
0.00		<3%	Dxq	1	8.00	0
15517.99		>=3%	Aq	2	15.00	232769.86
0.00	Campo de golf	>=3%	Bq	2	8.00	0.00
0.00		>=3%	Dxq	2	4.00	0
1616.48		<3%	Aq	1	90.00	145482.82
0.00	Coníferas	<3%	Bq	1	47.00	0.00
0.00		<3%	Dxq	1	23.00	0
10259.69		>=3%	Aq	2	90.00	923372.07
0.00	Coníferas	>=3%	Bq	2	47.00	0.00
0.00		>=3%	Dxq	2	23.00	0
7561.59		<3%	Aq	1	4.00	30246.36
0.00	Urbano discontinuo	<3%	Bq	1	4.00	0.00
0.00		<3%	Dxq	1	4.00	0
19714.25		>=3%	Aq	2	2.00	39428.51
0.00	Urbano discontinuo	>=3%	Bq	2	2.00	0.00
0.00		>=3%	Dxq	2	2.00	0
61935.59	Área Total	P0 C1	24.49	P0*Área	1516611.43	

Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

Cuenca C 2.

AREA (m2)	USO SUELO	PENDIENTE*	CAP AGRO	CAP SCS*	P0 (mm)	P0 * Area
1.43		<3%	Aq	1	20.00	28.55
6.17	Campo de golf	<3%	Bq	1	14.00	86.40
0.00		<3%	Dxq	1	8.00	0
4.36		>=3%	Aq	2	15.00	65.40
102.46	Campo de golf	>=3%	Bq	2	8.00	819.65
0.00		>=3%	Dxq	2	4.00	0
1977.99		<3%	Aq	1	90.00	178019.38
1.37	Coníferas	<3%	Bq	1	47.00	64.36
467.67		<3%	Dxq	1	23.00	10756.49524
21738.36		>=3%	Aq	2	90.00	1956452.78
0.00	Coníferas	>=3%	Bq	2	47.00	0.00
1207.58		>=3%	Dxq	2	23.00	27774.37184
0.00		<3%	Aq	1	80.00	0.00
107.26	Pastizal	<3%	Bq	1	35.00	3754.03
67.38		<3%	Dxq	1	10.00	673.8153848
0.00		>=3%	Aq	2	53.00	0.00
366.24	Pastizal	>=3%	Bq	2	23.00	8423.41
395.96		>=3%	Dxq	2	9.00	3563.640563
19254.98		<3%	Aq	1	10.40	200251.75
5650.75	Urbano discontinuo	<3%	Bq	1	8.00	45205.97
14558.64		<3%	Dxq	1	5.60	81528.35721
25214.96		>=3%	Aq	2	7.20	181547.73
18192.29	Urbano discontinuo	>=3%	Bq	2	4.40	80046.06
28338.35		>=3%	Dxq	2	2.80	79347.38002
137654.19	Área Total	P0 C2	20.77		P0*Área	2858409.52



Cuenca C 3.

AREA (m2)	USO SUELO	PENDIENTE*	CAP AGRO	CAP SCS*	P0 (mm)	P0 * Area
149341.90		<3%	Aq	1	20.00	2986838.00
6523.83	Campo de golf	<3%	Bq	1	14.00	91333.59
35741.10		<3%	Dxq	1	8.00	285928.7814
279789.18		>=3%	Aq	2	15.00	4196837.69
1080.13	Campo de golf	>=3%	Bq	2	8.00	8641.01
2153.02		>=3%	Dxq	2	4.00	8612.097386
41.46		<3%	Aq	1	80.00	3317.15
7845.21	Pastizal	<3%	Bq	1	35.00	274582.28
7457.34		<3%	Dxq	1	10.00	74573.43923
0.00		>=3%	Aq	2	53.00	0.00
11062.05	Pastizal	>=3%	Bq	2	23.00	254427.19
10725.85		>=3%	Dxq	2	9.00	96532.63711
121596.64		<3%	Aq	1	10.40	1264605.03
15924.15	Urbano discontinuo	<3%	Bq	1	8.00	127393.23
122007.42		<3%	Dxq	1	5.60	683241.5562
348711.23		>=3%	Aq	2	7.20	2510720.85
164980.40	Urbano discontinuo	>=3%	Bq	2	4.40	725913.74
7329.85		>=3%	Dxq	2	2.80	20523.59139
1292310.76	Área Total	P0	10.53	P0*Área	13614021.88	

Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización "Torre en Conill" de Bétera

Cuenca C 4

AREA (m2)	USO SUELO	PENDIENTE*	CAP AGRO	CAP SCS*	P0 (mm)	P0 * Area
12680.24	Campo de golf	<3%	Aq	1	20.00	253604.86
31650.91		>=3%	Aq	1	15.00	474763.61
8857.85	Urbano discontinuo	<3%	Aq	1	4.00	35431.38
17926.55		>=3%	Aq	1	2.00	35853.11
71115.55	Area Total	P0	11.24		P0*Area	799652.96

	C1	C2	C3	C4
Superficie total de la cuenca (m ²)	61935,59	137654,19	1292310,76	71115,55
P ₀ cuenca (mm)	24,49	20,77	10,53	11,24



Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotolius
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

Apéndice Nº 3

Estudio hidráulico



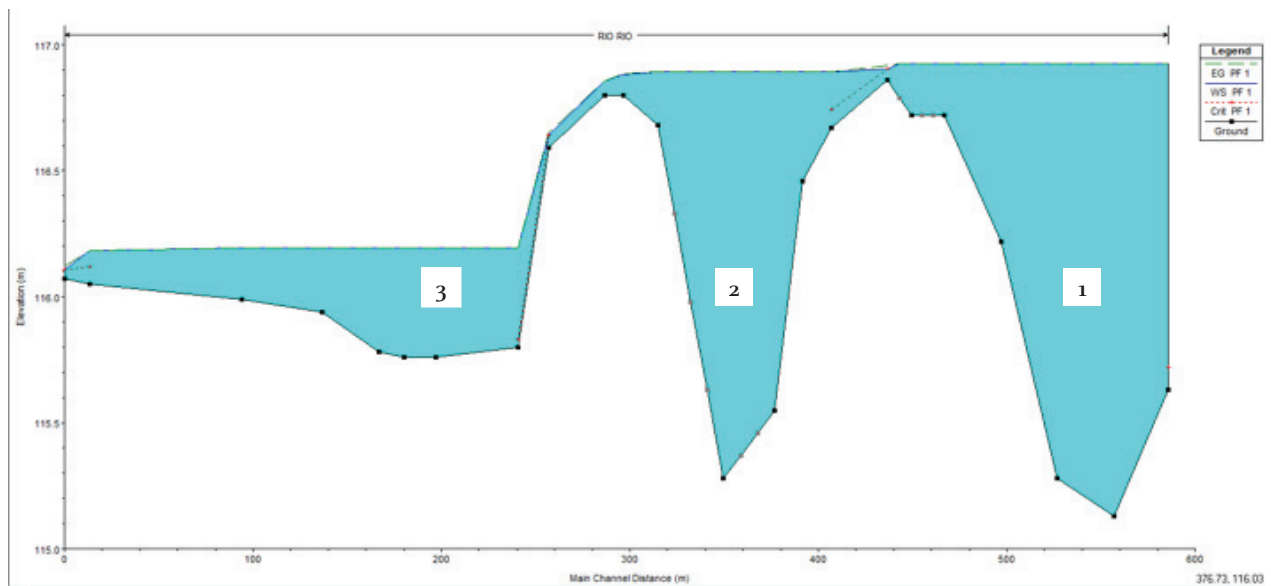
Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

El presente apéndice tiene por objeto justificar la presencia de calados críticos en diferentes secciones próximas a las transiciones entre balsas, con tal de demostrar que al haber calado crítico o sobrepasarlo, el flujo adquiere mayor velocidad y por tanto mayor energía en su camino aguas abajo del punto de alivio.

Pese a que estas se encuentran conectadas en serie, de mayor a menor cota, dichos calados críticos impiden que el agua remanse y pueda volver a la balsa inicial. Como se ha comentado anteriormente en la memoria, las herramientas cartográficas muestran claramente como el flujo discurre más allá de aguas debajo de la serie de las tres balsas, yendo a parar a una zona deprimida de cultivos.

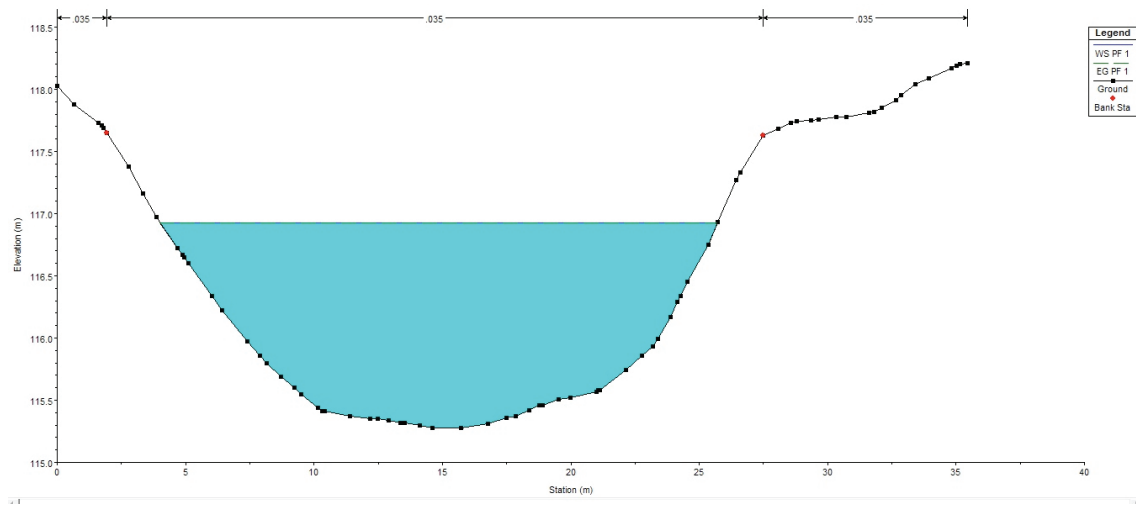
A continuación se muestra tanto el perfil longitudinal, como las secciones destacadas del mismo:

- Perfil longitudinal

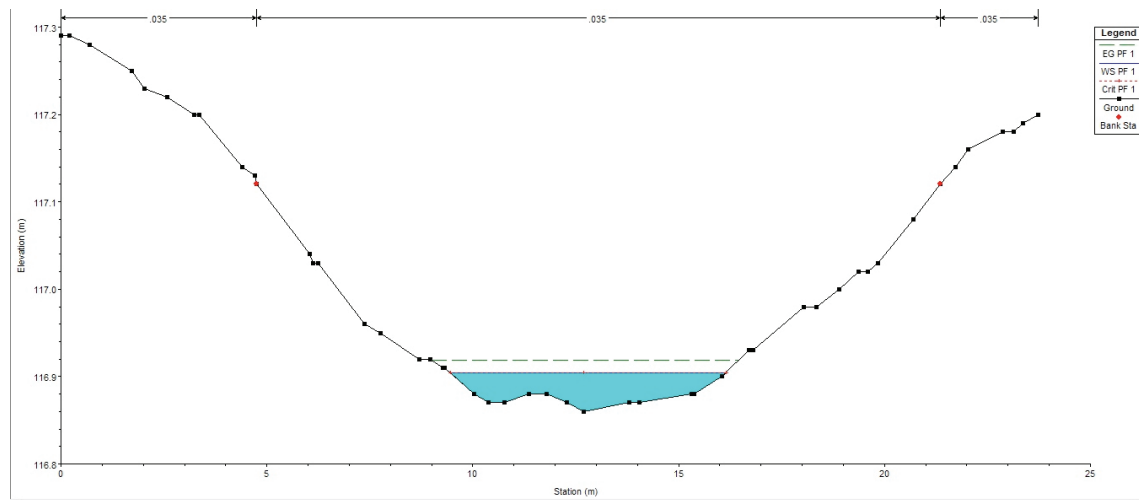




-Sección balsa 1

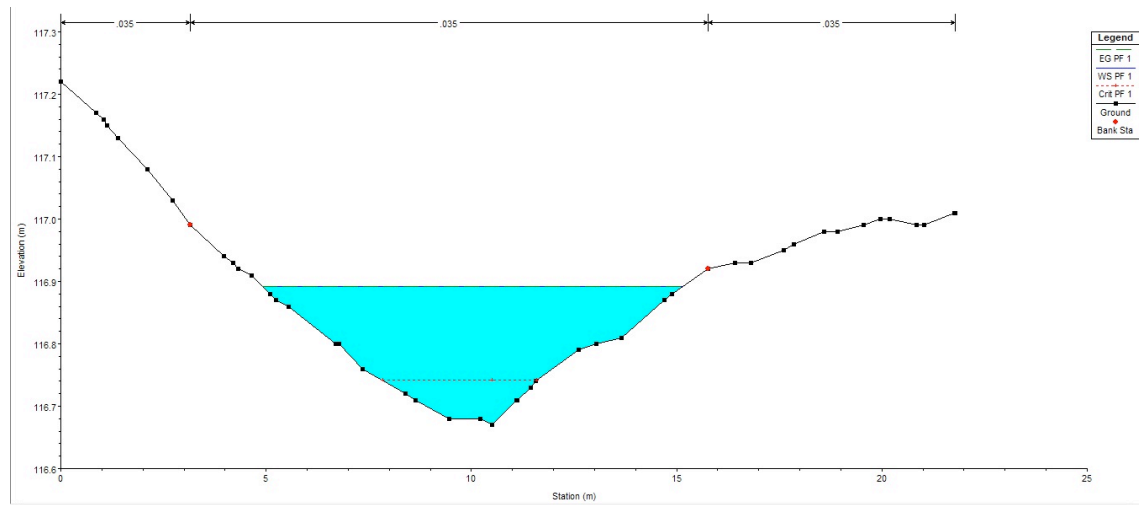


-Salida balsa 1



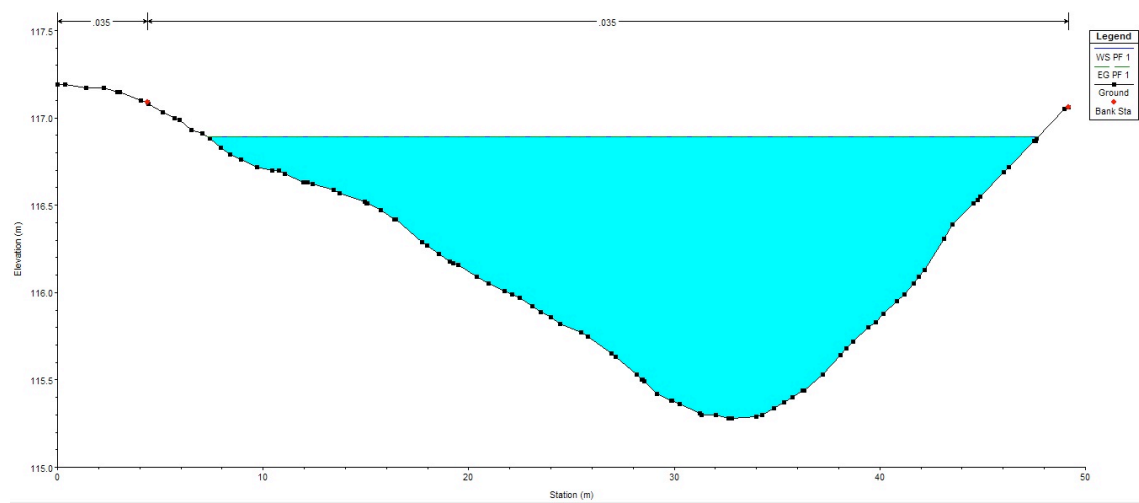
Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu en la urbanización "Torre en Conill" de Bétera

Entrada balsa 2



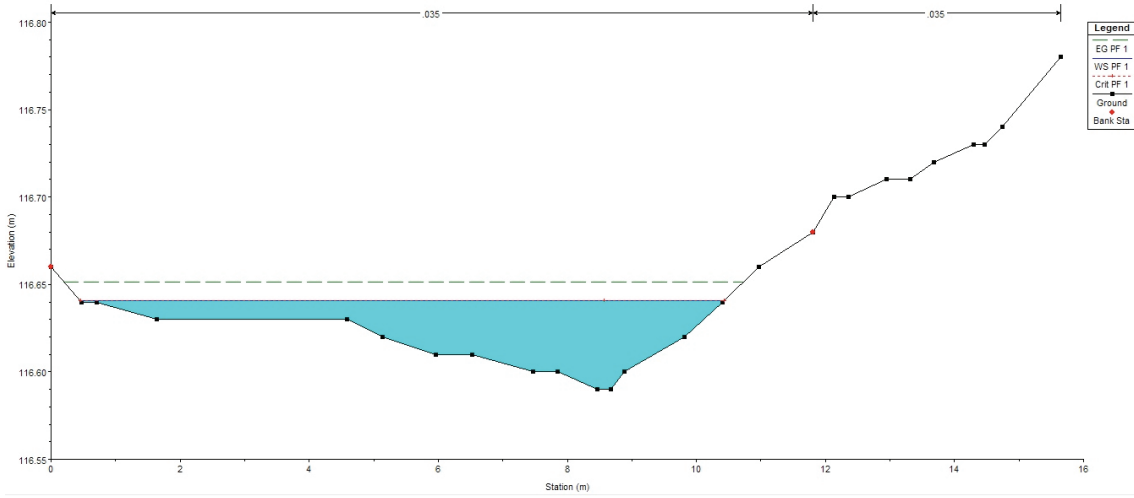
*El calado crítico ha sido superado y por tanto el flujo se encuentra en régimen rápido, debido al incremento de pendiente experimentado.

- Balsa 2

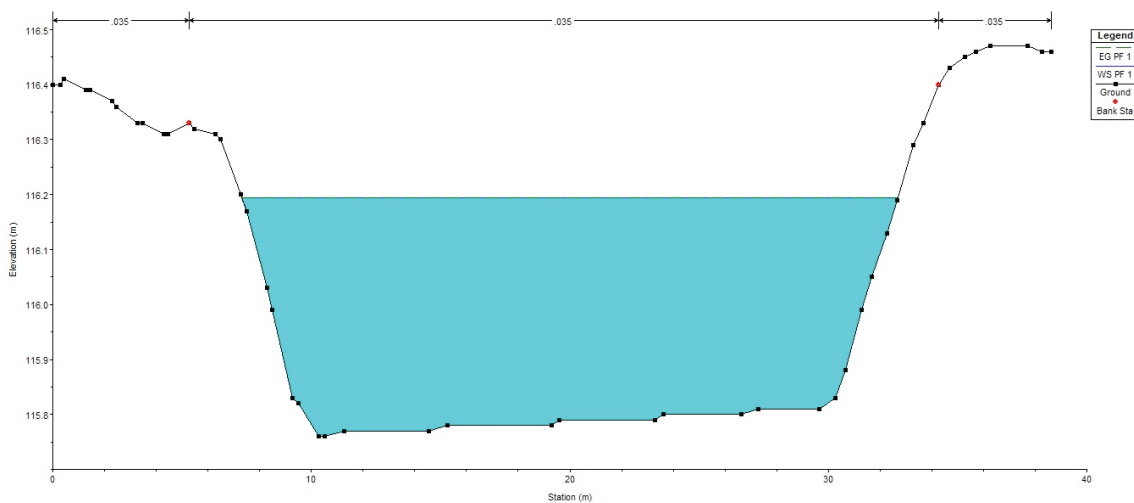




- Entrada balsa 3

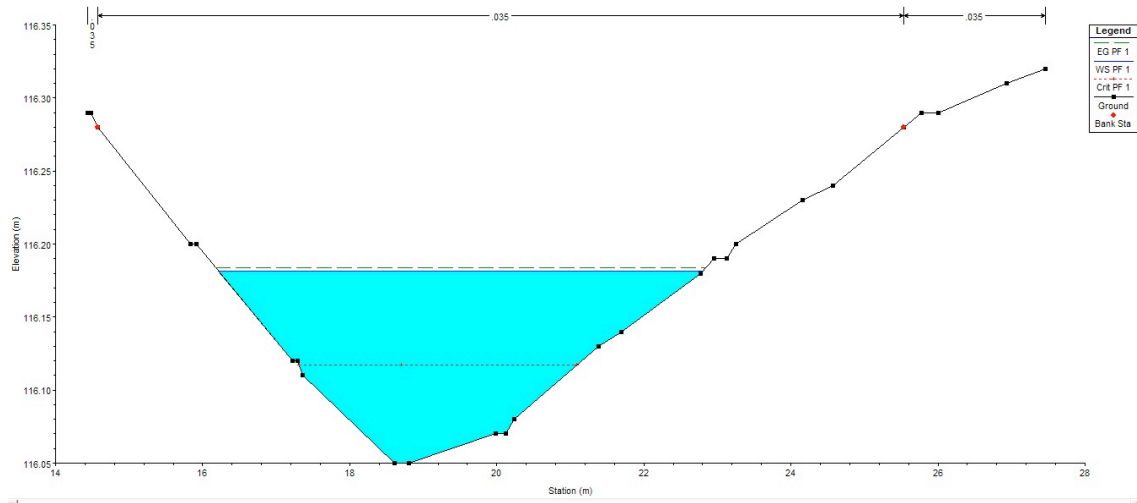


- Balsa 3



Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu en la urbanización "Torre en Conill" de Bétera

Salida balsa 3



*El calado crítico ha sido superado y por tanto el flujo se encuentra en régimen rápido, debido al incremento de pendiente experimentado.



Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

III. Valoración Económica



Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu en la urbanización "Torre en Conill" de Bétera

Alternativa 1.1				
DEMOLICIONES				
M2	DEMOLICION PAVTº ASF. HASTA 10	321,50	6,05	1.945,08
M2	DEMOLICION BASE HORM. 20 CM.	331,25	9,24	3.060,75
ML	ARRANCADO DE RIGOLAS	22,00	4,67	102,74
M2	DEMOLICION PAVTº HORM. 10 CM.	6,00	6,28	37,68
U	APERTURA HUECO EN MURO DE 100X100CMS	1,00	716,56	716,56
RECOMPOSICIONES				
M2	RECOMP. PAVTº AGLOM. ASF. 10	321,50	28,89	9.223,84
M2	RECOMP. BASE HORM. 20 CM.	331,25	20,34	6.737,63
M2	RECOMP. PAVTº HORM. 10 CM.	6,00	13,04	78,24
MOVIMIENTO DE TIERRAS				
M3	EXCAV. MAQUINA ZANJA EN TIERRA IIAYUDA MANUAL	1.145,05	15,73	18.011,64
M3	TAPADO ZANJA CON ZAHORRAS	424,89	26,76	11.370,06
M2	ENTIBACIÓN PANELES ALUMINIO HASTA 3 M	1.385,40	27,70	38.375,58
HORMIGONES Y ALBAÑILERÍA				
UD	P.R. 100 BASE F. LADRILL. Y ELEMENTOS PREF. MAYOR 2 M	8,00	974,97	7.799,76
M3	HORM. VIBR. HM 20 RECUBR. TUBERÍAS	411,21	89,66	36.869,09
KG	ACERO CORRUGADO B 500 S	4.094,40	1,13	4.626,67
UD	IMB. RECT. MODELO NORMALIZADO	20,00	317,91	6.358,20
ML	IMBORNAL TRANSVERSAL	6,00	487,56	2.925,36
PA	OBRA VERTIDO	1,00	3.180,00	3.180,00
TUBERÍAS Y MONTAJE				
ML	TUBERIA POLIETILENO (PEAD) 250/218 SN Ø	100,00	17,07	1.707,00
ML	TUBERIA PVC HELICOIDAL Ø 900 MM	255,90	114,07	29.190,51
GESTION DE RESIDUOS				
M3	TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN RCD NO PELIGROSOS S/ RD 105/2008	133,65	10,53	1.407,33
M3	TRANSPORTE PRODUCT. EXCAV. CENTRO AUTORIZADO	1.374,06	9,95	13.671,90
Total			197395,62	



Alternativa 1.2				
DEMOLICIONES		Medición	Precio	Subtotal
M2	DEMOLICION PAVTº ASF. HASTA 10	149,18	6,05	902,54
M2	DEMOLICION BASE HORM. 20 CM.	149,18	9,24	1.378,42
ML	ARRANCADO DE RIGOLAS	10,00	4,67	46,70
M2	DEMOLICION PAVTº HORM. 10 CM.	5,60	6,28	35,17
RECOMPOSICIONES				
M2	RECOMP. PAVTº AGLOM. ASF. 10	149,18	28,69	4.279,97
M2	RECOMP. BASE HORM. 20 CM.	149,18	20,34	3.034,32
M2	RECOMP. PAVTº HORM. 10 CM.	5,60	13,04	73,02
MOVIMIENTO DE TIERRAS				
M3	EXCAV. MAQUINA ZANJA EN TIERRA IIAYUDA MANUAL	845,77	15,73	13.303,96
M2	ENTIBACIÓN PANELES ALUMINIO HASTA 3 M	538,12	27,70	14.905,92
M3	TAPADO ZANJA CON ARENA	561,51	23,94	13.442,55
M3	TAPADO ZANJA CON ZAHORRAS	121,50	26,76	3.251,34
HORMIGONES Y ALBAÑILERÍA				
UD	P.R. 100 BASE F. LADRILL. Y ELEMENTOS PREF. MAYOR 2 M	4,00	974,97	3.899,88
UD	IMB. RECT. MODELO NORMALIZADO	8,00	317,91	2.543,28
ML	IMBORNAL TRANSVERSAL	6,00	487,56	2.925,36
PA	OBRA VERTIDO	1,00	3.180,00	3.180,00
UD	ARQUETON REGISTRO HORM. 3x3x2.2 m "IN SITU"	1,00	6.724,42	6.724,42
M3	HORM. VIBR. HM-20 RECUBR. TUBERÍAS	30,00	89,66	2.689,80
TUBERÍAS Y MONTAJE				
ML	TUBERIA PVC LISA COMPACTA DN 800 SN-8	474,00	303,60	143.906,40
ML	TUBERIA POLIETILENO (PEAD) 250/218 SN 8	40,00	17,07	682,80
GESTION DE RESIDUOS				
M3	TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN RCD NO PELIGROSOS S/ RD 105/2008	60,78	10,53	640,01
M3	TRANSPORTE PRODUCT. EXCAV. CENTRO AUTORIZADO	1.014,92	9,95	10.098,45
Total				231944,31

Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu en la urbanización "Torre en Conill" de Bétera

Alternativa 1.3				
DEMOLICIONES		Medición	Precio	Subtotal
M2	DEMOLICION PAVT ³ ASF. HASTA 10	149,18	6,05	902,54
M2	DEMOLICION BASE HORM. 20 CM.	149,18	9,24	1.378,42
ML	ARRANCADO DE RIGOLAS	10,00	4,67	46,70
M2	DEMOLICION PAVT ³ HORM. 10 CM.	5,60	6,26	35,17
RECOMPOSICIONES				
M2	RECOMP. PAVT ³ AGLOM. ASF. 10	149,18	28,69	4.279,97
M2	RECOMP. BASE HORM. 20 CM.	149,18	20,34	3.034,32
M2	RECOMP. PAVT ³ HORM. 10 CM.	5,60	13,04	73,02
MOVIMIENTO DE TIERRAS				
M3	EXCAV. MAQUINA ZANJA EN TIERRA I/AYUDA MANUAL	704,29	15,73	11.078,48
M2	ENTIBACIÓN PANELES ALUMINIO HASTA 3 M	538,12	27,70	14.905,92
M3	TAPADO ZANJA CON ARENA	472,71	23,94	11.316,68
M3	TAPADO ZANJA CON ZAHORRAS	109,71	26,76	2.935,84
HORMIGONES Y ALBAÑILERÍA				
UD	P.R. 100 BASE F. LADRILL. Y ELEMENTOS PREF. MAYOR 2 M	4,00	974,97	3.899,88
UD	IMB. RECT. MODELO NORMALIZADO	8,00	317,91	2.543,28
ML	IMBORNAL TRANSVERSAL	6,00	407,56	2.925,36
PA	OBRA VERTIDO	1,00	3.180,00	3.180,00
UD	ARQUETON REGISTRO HORM. 3x3x2.2 m "IN SITU"	1,00	6.724,42	6.724,42
M3	HORM. VIBR. HM-20 RECUBR. TUBERÍAS	30,00	89,66	2.689,80
TUBERÍAS Y MONTAJE				
ML	TUBERIA PVC LISA COMPACTA DN 800 SN 8	369,20	303,60	112.089,12
ML	TUBERIA POLIETILENO (PEAD) 250/218 SN 8	40,00	17,07	682,80
GESTION DE RESIDUOS				
M3	TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN RCD NO PELIGROSOS S/ RD 105/2008	60,78	10,53	640,01
M3	TRANSPORTE PRODUCT. EXCAV. CENTRO AUTORIZADO	845,15	9,95	8.409,24
Total				193770,97



Alternativa 1.4				
DEMOLICIONES		Medición	Precio	Subtotal
M2	DEMOLICION PAVTº ASF. HASTA 10	149,18	6,05	902,54
M2	DEMOLICION BASE HORM. 20 CM.	149,18	9,24	1.378,42
ML	ARRANCADO DE RIGOLAS	10,00	4,67	46,70
M2	DEMOLICION PAVTº HORM. 10 CM.	5,60	6,26	35,17
RECOMPOSICIONES				
M2	RECOMP. PAVTº AGLOM. ASF. 10	149,18	28,69	4.279,97
M2	RECOMP. BASE HORM. 20 CM.	149,18	20,34	3.034,32
M2	RECOMP. PAVTº HORM. 10 CM.	5,60	13,04	73,02
MOVIMIENTO DE TIERRAS				
M3	EXCAV. MAQUINA ZANJA EN TIERRA I/AYUDA MANUAL	722,36	15,73	11.363,04
M2	ENTIBACIÓN PANELES ALUMINIO HASTA 3 M	538,12	27,70	14.905,92
M3	TAPADO ZANJA CON ARENA	484,06	23,94	11.588,40
M3	TAPADO ZANJA CON ZAHORRAS	111,22	26,76	2.976,25
HORMIGONES Y ALBAÑILERÍA				
UD	P.R. 100 BASE F. LADRILL. Y ELEMENTOS PREF. MAYOR 2 M	4,00	974,97	3.899,88
UD	IMB. RECT. MODELO NORMALIZADO	8,00	317,91	2.543,28
ML	IMBORNAL TRANSVERSAL	6,00	487,56	2.925,36
PA	OBRA VERTIDO	1,00	3.180,00	3.180,00
UD	ARQUETON REGISTRO HORM. 3x3x2.2 m "IN SITU"	1,00	6.724,42	6.724,42
M3	HORM. VIBR. HM-20 RECUBR. TUBERÍAS	30,00	89,66	2.689,80
TUBERÍAS Y MONTAJE				
ML	TUBERIA PVC LISA COMPACTA DN 800 SN-8	382,60	303,60	116.157,36
ML	TUBERIA POLIETILENO (PEAD) 250/218 SN 8	40,00	17,07	682,80
GESTION DE RESIDUOS				
M3	TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN RCD NO PELIGROSOS SI/ RD 105/2008	60,76	10,53	640,01
M3	TRANSPORTE PRODUCT. EXCAV. CENTRO AUTORIZADO	666,86	9,95	8.625,26
Total				198651,92

Estudio de soluciones a los problemas de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu en la urbanización "Torre en Conill" de Bétera

Alternativa 2				
DEMOLICIONES				
		Medición	Precio	Importe
M2	DEMOLICION PAVT ³ ASF. HASTA 10	174,18	6,05	1.053,79
M2	DEMOLICION BASE HORM. 20 CM.	186,18	9,24	1.720,30
ML	ARRANCADO DE RIGOLAS	10,00	4,67	46,70
M2	DEMOLICION PAVT ³ HORM. 10 CM.	12,00	6,28	75,36
RECOMPOSICIONES				
M2	RECOMP. PAVT ³ AGLOM. ASF. 10	174,18	28,69	4.997,22
M2	RECOMP. BASE HORM. 20 CM.	174,18	20,34	3.542,82
M2	RECOMP. PAVT ³ HORM. 10 CM.	12,00	13,04	156,48
MOVIMIENTO DE TIERRAS				
M3	EXCAV. MAQUINA ZANJA EN TIERRA I/AYUDA MANUAL	299,86	15,73	4.716,80
M2	ENTIBACIÓN PANELES ALUMINIO HASTA 3 M	314,80	27,70	8.719,96
M3	TAPADO ZANJA CON ARENA	194,29	23,94	4.651,30
M3	TAPADO ZANJA CON ZAHORRAS	70,91	26,76	1.897,55
M3	EXCAV. MAQUINA A CIELO ABIERTO	4.940,00	10,70	52.858,00
M3	RECUBRIMIENTO DE ESCOLLERA	604,80	29,48	17.829,50
M2	RECUBRIMIENTO CON GEOTEXTIL	756,00	2,92	2.207,52
HORMIGONES Y ALBAÑILERÍA				
UD	P.R. 100 BASE F. LADRILL. Y ELEMENTOS PREF. MAYOR 2 M	5,00	974,97	4.874,85
UD	IMB. RECT. MODELO NORMALIZADO	12,00	317,91	3.814,92
ML	IMBORNAL TRANSVERSAL	6,00	487,56	2.925,36
TUBERÍAS Y MONTAJE				
ML	TUBERIA PVC LISA COMPACTA DN 800 SN-8	83,70	303,60	25.411,32
ML	TUBERIA POLIETILENO (PEAD) 250/218 SN 8	65,00	17,07	1.109,55
GESTION DE RESIDUOS				
M3	TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN RCD NO PELIGROSOS S/ RD 105/2008	73,65	10,53	775,53
M3	TRANSPORTE PRODUCT. EXCAV. CENTRO AUTORIZADO	6.287,83	9,95	62.563,91
Total				205948,74



Alternativa 3				
DEMOLICIONES				
M2	DEMOLICION PAVT ³ ASF. HASTA 10	685,10	6,05	4.144,86
M2	DEMOLICION BASE HORM. 20 CM.	685,10	9,24	6.330,32
ML	ARRANCADO DE RIGOLAS	330,00	4,67	1.541,10
M2	DEMOLICION PAVT ³ HORM. 10 CM.	336,00	6,28	2.110,08
M2	DESBROCE Y LIMP. TERRENO A MANO	120,00	5,92	710,40
ML	ARRANCADO DE BORDILLO	330,00	5,79	1.910,70
RECOMPOSICIONES				38.079,38
M2	RECOMP. PAVT ³ HORM. 10 CM.	336,00	13,04	4.381,44
PA	SUPERFICIE PERMEABLE	685,10	42,40	29.048,24
ML	BORDILLO PREFABRICADO DE 10 X 20 X 50 CM, BICAPA,	330,00	14,09	4.649,70
MOVIMIENTO DE TIERRAS				90.014,19
M3	EXCAV. MAQUINA ZANJA EN TIERRA I/AYUDA MANUAL	2.350,00	15,73	36.965,50
M2	ENTIBACIÓN PANELES ALUMINIO HASTA 3 M	1.320,00	27,70	36.564,00
M3	TAPADO ZANJA CON ZAHORRAS	376,20	26,76	10.067,11
M2	RECUBRIMIENTO CON GEOTEXTIL	2.197,80	2,92	6.417,58
HORMIGONES Y ALBAÑILERÍA				163.322,52
m ³	MODULOS DE ALMACENAMIENTO DE AGUA AQUACELL	792,00	190,80	151.113,60
UD	IMB. RECT. MODELO NORMALIZADO	20,00	317,91	6.358,20
ML	IMBORNAL TRANSVERSAL	12,00	487,56	5.850,72
TUBERÍAS Y MONTAJE				623,04
ML	TUBERIA POLIETILENO (PEAD) 250/218 SN 8	32,00	19,47	623,04
GESTION DE RESIDUOS				31.775,98
M3	TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN RCD NO PELIGROSOS S/ RD 105/2008	352,99	10,53	3.716,98
M3	TRANSPORTE PRODUCT. EXCAV. CENTRO AUTORIZADO	2.820,00	9,95	28.059,00
Total				340562,57

Estudio de soluciones a los problemas
de inundabilidad urbana de la calle Cotoliu
en la urbanización “Torre en Conill” de Bétera

IV. Planos



PLANO Nº 1 SITUACION Y EMPLAZAMIENTO

PLANO Nº 2 ESTADO ACTUAL

PLANO Nº 3 PLANTA DE LA ALTERNATIVA 1.1

PLANO Nº 4 PLANTA DE LA ALTERNATIVA 1.2

PLANO Nº 5 PLANTA DE LA ALTERNATIVA 1.3

PLANO Nº 6 PLANTA DE LA ALTERNATIVA 1.4

PLANO Nº 7 PLANTA DE LA ALTERNATIVA 2

PLANO Nº 8 PLANTA DE LA ALTERNATIVA 3

PLANO Nº 9 ELEMENTOS DE CAPTACION

PLANO Nº 10 LONGITUDINAL Balsa ALTERNATIVA 2

PLANO Nº 11 LONGITUDINAL ALTERNATIVA 1.1

PLANO Nº 12 LONGITUDINAL ALTERNATIVA 1.2

PLANO Nº 13 LONGITUDINAL ALTERNATIVA 1.3

PLANO Nº 14 LONGITUDINAL ALTERNATIVA 1.4