



MEMORIA

MEMORIA





Índice

Índice de figuras	3
Índice de tablas	4
Antecedentes e Introducción	5
Objetivos del Estudio	6
Metodología	6
Diagnóstico del riesgo de inundaciones en la zona norte de Valdepeñas	8
Condiciones geomorfológicas y topográficas	8
Antecedentes históricos	10
Los escenarios de precipitación extrema	11
Los peligros de inundación	12
La modelación hidrológica realizada	14
Los riesgos de inundación en la zona norte	18
Medidas de actuación propuestas en la zona norte de Valdepeñas	20
Refuerzo y adecuación de carreteras como estructuras de laminación	21
Sistema general de drenaje urbano de aguas pluviales	23
Conclusiones	34



Índice de figuras

<i>Figura 1: Ortofoto con la delimitación de las cuencas y el trazado de los cauces principales</i>	9
<i>Figura 2: Esquema de conducciones y nudos para la modelación hidrológica de la zona norte de Valdepeñas.</i>	14
<i>Figura 3: Delimitación de subcuencas dentro del modelo hidrológico en la zona norte de Valdepeñas.</i>	15
<i>Figura 4: Discretización en subcuencas en el modelo hidrológico de la cuenca rural del arroyo Cañada Romero a su entrada en Valdepeñas</i>	16
<i>Figura 5: Mapa de inundación máxima que se produce en los cauces de la cuenca del arroyo Cañada Romero, en el escenario de precipitaciones de 500 años, sobre la que se superpone la trama de la ordenación planificada (en metros)</i>	23
<i>Figura 6: Ubicación de las obras de captación de las aguas procedente de la cuenca rural</i>	24
<i>Figura 7: Sección transversal de la obra de captación del arroyo 1 (sin escala)</i>	25
<i>Figura 8: Fotografía de las rejillas tipo a disponer. Modelo presente en Valdepeñas.</i>	26
<i>Figura 9: Esquema de las cuatro tipologías de elementos de captación superficial (rejillas)</i>	27
<i>Figura 10: Esquema de una obra de captación.</i>	29
<i>Figura 11: Trazado en planta de la red de drenaje urbana</i>	31
<i>Figura 12: Ortofoto con las actuaciones propuestas</i>	32



Índice de tablas

<i>Tabla 1: Precipitaciones diarias máximas anuales, en el entorno de Valdepeñas, correspondientes a diferentes periodos de retorno</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 2: Caudales instantáneos máximo anuales, producidos en el punto de desagüe de la cuenca urbana norte de Valdepeñas (salida del polígono industrial SEPES), correspondientes a diferentes periodos de retorno, atribuidos exclusivamente a la escorrentía producida en zona urbana.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 3: Caudales instantáneos máximo anuales, producidos en el punto de entrada del arroyo Cañada Romero a la zona urbana norte de Valdepeñas, correspondientes a diferentes periodos de retorno, atribuidos a la escorrentía producida en la cuenca rural.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 4: Resumen de los resultados en los principales viales del análisis de riesgos de inundación para los escenarios de 25 y 500 años de periodo de retorno.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 5: Actuaciones de recrecido y adecuación del drenaje transversal en carreteras existentes.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 6: Elementos de drenaje en obras de captación</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 7: Resumen de cada tipología de elementos presentes en las obras de captación.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 7: Dimensiones principales de la red de drenaje de aguas pluviales propuesta para la zona norte de Valdepeñas</i>	<i>33</i>



Antecedentes e Introducción

Con fecha de 22 de noviembre de 2006 se firma el Convenio de Colaboración entre la Fundación General de la Universidad de Castilla-La Mancha y el Excmo. Ayuntamiento de Valdepeñas para la realización del estudio “Diagnóstico, Análisis de Alternativas y Definición de Medidas de Actuación para Reducir el Riesgo de Inundaciones en el Municipio de Valdepeñas”. El documento que aquí se presenta recoge el conjunto de trabajos que se han realizado en el desarrollo de este Convenio de Colaboración y las conclusiones que del mismo se desprenden.

La ciudad de Valdepeñas se encuentra atravesada por dos cursos de agua naturales, que discurren en paralelo en dirección de este a oeste, contando ambos con una cuenca natural receptora. El principal de estos cursos es el arroyo de la Veguilla, que atraviesa la mitad sur de la ciudad, y que se halla actualmente canalizado a su paso por el casco urbano. El segundo de ellos es el arroyo Cañada Romero, que atraviesa la zona norte de la ciudad, hacia donde se ha producido la expansión predominante de la misma en los últimos años. Este segundo curso no cuenta con un encauzamiento, sino que por el contrario es precisamente la falta de capacidad de drenaje del mismo lo que provoca problemas de inundaciones en la zona. El ámbito de estudio del presente trabajo se localiza en el Municipio de Valdepeñas, pero se centra concretamente en la **zona norte de la ciudad**, donde fruto de los recientes trabajos de planificación urbana (Plan de Ordenación Municipal de Valdepeñas, 2008) y de los episodios de inundación acontecidos en los últimos años, se ha considerado necesario el análisis de esta problemática y la definición de las medidas que puedan corregirla hasta alcanzar niveles de riesgos de inundación admisibles, de acuerdo con los estándares de buena práctica comúnmente utilizados en España.

La estructura de esta Memoria parte de una exposición de los objetivos generales seguidos en el estudio, la presentación de la metodología seguida para su consecución, los resultados principales del diagnóstico de la zona norte, definiendo el conjunto de medidas propuestas y terminando con una serie de conclusiones. El estudio se complementa con un desglose de información de forma más detallada en la forma de anejos y planos.



Objetivos del Estudio

Los objetivos generales que se plantean en el estudio son los siguientes:

- Conocer las avenidas que pueden producirse por lluvias torrenciales caídas sobre la cuenca natural del arroyo Cañada Romero, así como las que tienen su origen en la cuenca urbana correspondiente a este arroyo (norte de Valdepeñas), teniendo en cuenta la previsión de crecimiento del suelo urbano existente en el Plan de Ordenación Municipal de Valdepeñas de 2008.
- Realizar una valoración de los riesgos potenciales futuros sobre la zona norte de Valdepeñas, si se produce todo el desarrollo urbanístico previsto, y sin incluir ningún tipo de actuación específica de mejora del drenaje en la zona.
- Estudio y definición de propuestas de actuación para reducir los riesgos de inundación, mejorando la capacidad de drenaje mediante medidas estructurales y evaluando su impacto sobre el riesgo de inundación tras la implantación de las mismas.

Metodología

La metodología seguida para la consecución de los objetivos anteriores se describe a continuación:

1. Realización de un **estudio pluviométrico estadísticos** que fije las precipitaciones máximas extremas correspondientes a diferentes probabilidades de excedencia que pueden producirse en la zona a partir de las series de precipitaciones registradas en puntos de la cuenca o de sus proximidades. El mismo se ha desarrollado a partir de procedimientos de regionalización de precipitaciones y el uso de series de duración parcial, para reducir en lo posible la incertidumbre en las estimaciones. *Este aspecto se desarrolla con detalle en el Anexo 1.*



2. **Modelación hidrológica de la cuenca natural**, recogiendo los procesos principales de producción de escorrentía y de tránsito hidrológico hasta alcanzar el casco urbano de Valdepeñas. Para ello se ha construido un modelo semidistribuido, sobre el software HEC-HMS 3.2, y realizado una serie de campaña de toma de datos en campo para la caracterización de los suelos de la cuenca desde el punto de vista hidrológico. Así mismo se ha construido un modelo de elevación digital de la cuenca para el estudio hidrodinámico de la misma. *Este modelo se desarrolla con detalle en el Anexo 2.*

3. **Modelación hidráulica del arroyo natural** hasta su entrada en la población de Valdepeñas, simulando los procesos hidráulicos que tiene lugar en el tránsito de los hidrogramas en estas zonas con cauces muy poco definidos, de amplias llanuras de inundación sobre usos de tipo agrícola y también reducidas pendientes longitudinales, lo que ocasiona una importante laminación que debe ser correctamente estimada. A la laminación natural se suman los efectos de barreras hidráulicas como son las que producen el cruce de las vías de agua por carreteras y caminos. *Este modelo se desarrolla con detalle en el Anexo 3.*

4. **Modelación hidrológica-hidráulica de la cuenca urbana** prevista en el Plan de Ordenación Municipal de Valdepeñas de 2008. Obteniendo los caudales que directamente pueden producirse como consecuencia de precipitaciones de alta intensidad caídas sobre el casco urbano de la zona norte de Valdepeñas, y simulando su tránsito hidráulico a través de las calles y viales, dado que la red de saneamiento unitario actualmente existente tiene una capacidad de drenaje despreciable en relación a los caudales punta que de modo extraordinario pueden producirse. Para ello ha sido desarrollado un modelo hidrológico-hidráulico urbano sobre el software SWMM 5, representando desde el punto de vista hidrológico el conjunto de la cuenca urbana, y desde el punto de vista hidráulico la red de calles principales sobre las que se produce la concentración de caudales y de las que depende la capacidad de drenaje de la zona. Con los resultados de la modelación se han obtenido las principales variables hidráulicas que definen el riesgo de inundación en cada zona, estas son la velocidad media y el calado. Con las mismas se han obtenido los mapas de riesgo de inundación,



clasificándolos en función de las diferentes tipologías. *Este modelo se desarrolla con detalle en el Anexo 4.*

5. **Definición y comprobación hidráulica de las obras de captación y evacuación** de la escorrentía que puede producirse en la zona urbana y natural, evaluando la reducción del riesgo de inundación que las mismas producen en la zona norte de Valdepeñas para los distintos escenarios de lluvias evaluados por probabilidad de excedencia o periodo de retorno. *Este trabajo se desarrolla con detalle en el Anexo 5.*

A continuación se exponen los principales resultados obtenidos en este estudio.

Diagnóstico del riesgo de inundaciones en la zona norte de Valdepeñas

Condicionantes geomorfológicos y topográficos

El arroyo Cañada Romero y las condiciones geomorfológicas de la cuenca que drena caracterizan en buena medida la hidrología de la zona de estudio. Se trata de una cuenca que en el punto de entrada a la población ocupa una superficie de 20 km², con una pendiente media del recorrido principal de 0,007 m/m, lo que le es reflejo de la dinámica de la cuenca, de tipo sedimentario, con cauces muy poco definidos y con muy escasa capacidad de drenaje. La cuenca es alargada, con un rectángulo equivalente de lados 9,5 y 2, km, orientada en dirección este oeste.

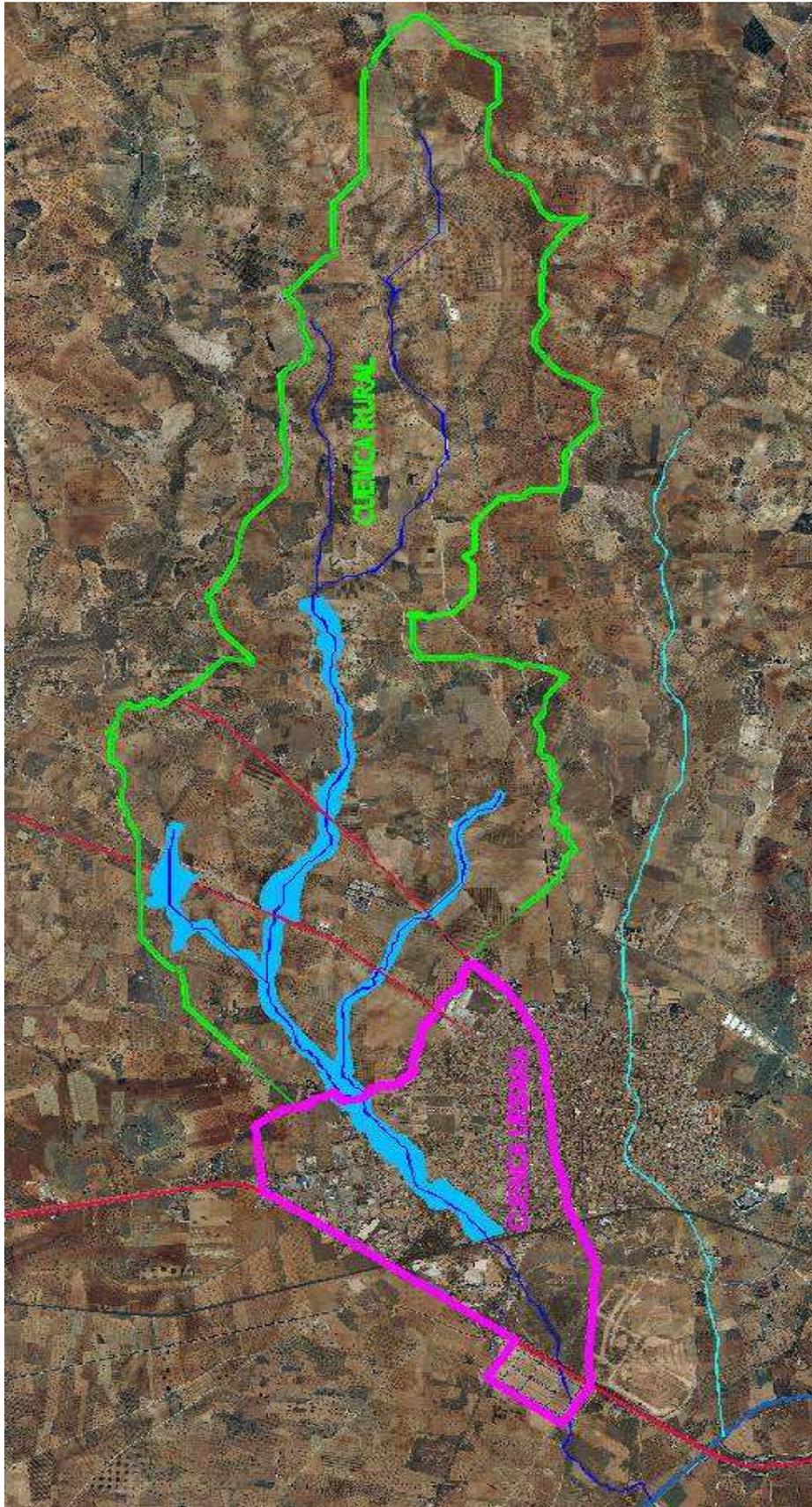


Figura 1: Ortofoto con la delimitación de las cuencas y el trazado de los cauces principales (Sin escala)
Memoria



El tipo de uso en la cuenca es predominantemente agrícola, con cultivos de secano, principalmente viñedo, olivar y cereales de invierno. Ello produce que la cobertura vegetal produzca poco impedimento al tránsito del agua. Sin embargo, el proceso de desarrollo de una tormenta y la avenida asociada se caracteriza por velocidades de movimiento del agua relativamente bajas, ocupando rápidamente una amplia superficie de inundación en ambos márgenes del curso del agua, donde la falta de velocidad se compensa con una amplia sección de agua, siendo muy importante por esto los procesos de laminación en el cauce.

Las condiciones generales de las cuencas se repiten en el tramo urbano de la misma, donde la topografía natural ha dado lugar a calles con muy baja pendiente. Incluso pueden encontrarse en la zona urbana puntos endorreicos, donde las aguas se concentran de modo natural en un cruce de calles, como es el caso de la intersección entre las calles Amapola y la calle de salida a Membrilla. Ello provoca que el alto porcentaje de aguas de lluvia que se transforma a escorrentía superficial tenga dificultades para ser evacuada de forma natural siguiendo la topografía, pues esta no marca una dirección dominante en las zonas más bajas, en donde se produce su acumulación y lento drenaje.

Antecedentes históricos

Analizando la historia de Valdepeñas pueden encontrarse múltiples referencias históricas a episodios de inundaciones, entre ellos¹:

- Septiembre de 1723: Inundación en la zona de la Veguilla, produciéndose considerables pérdidas
- 13 de junio de 1759: 13 víctimas mortales registradas y pérdidas materiales
- 24 de diciembre de 1821: cuantiosas pérdidas materiales (23 casas)

¹ Fuente principal: “Inundaciones históricas en la provincia de Ciudad Real”, Manuel Trujillo, Protección Civil, 2005, <http://remer1.proteccioncivil.org/informes/manueltrujillo/>



- Diciembre de 1859, marzo de 1892, septiembre de 1897, agosto de 1899: inundaciones elevadas y derrumbamiento de edificios
- 1 de julio de 1979: Inundación en la zona de la Veguilla. 22 víctimas mortales, 50 heridos y 150 viviendas afectadas
- Septiembre 1991, junio 1993, octubre 1994, junio 1996, octubre 1996, diciembre 1996, junio 1998, mayo de 1999, mayo 2001, Junio 2003, Junio 2006, Septiembre 2008: Inundaciones en la zona norte, en el cruce con N-IV y C/Corredera, Pl. Luis Palacios y Pl. de San Nicasio (2006)

De entre los episodios conocidos destaca la inundación producida el 1 de julio de 1979, que tuvo lugar en la zona de la Veguilla, con fatales consecuencias. Los episodios de lluvia que dan lugar a estos eventos se caracterizan por tener una duración muy corta, con muy altas intensidades, lo que provoca en este tipo de cuencas de tamaño pequeño-medio una rápida respuesta hidrológica, alcanzando la punta del hidrograma rápidamente la población.

En los últimos años se ha visto un aumento notable de las situaciones de inundación en Valdepeñas, con daños materiales, y que se deben en buena medida al creciente aumento de la superficie urbanizada, lo que incrementa la magnitud de los caudales asociados a la escorrentía urbana, especialmente en episodios tormentosos locales de alta intensidad. Son estos episodios principalmente los que predominan en los últimos años, a lo que se suma las dificultades de drenaje que se mantienen en muchos puntos de la ciudad por tratarse de zonas sensiblemente llanas, sin pendiente dominante de evacuación.

Los escenarios de precipitación extrema

Las anteriores referencias históricas contienen evidencias de episodios pluviométricos de fuerte intensidad, pero sin embargo no aportan información cuantitativa sobre la magnitud de los mismos. Para obtener una valoración de las precipitaciones extremas que pueden alcanzarse en la zona se ha producido a realizar un análisis estadísticos de los registros de



precipitación disponibles, no sólo en estaciones de medida dentro de la cuenca, sino también en el entorno de la cuenca, efectuando un estudio de regionalización estadística de las mismas, para la determinación de las precipitaciones diarias máximas anuales correspondientes a diferentes periodos de retorno, o con una determinada probabilidad de ser excedidos.

A partir del análisis, recogido en el Anexo 1, se obtuvieron los siguientes valores de precipitación diaria máxima anual asociados a diferentes periodos de retorno, que puede registrarse en un punto en el entorno de Valdepeñas (dentro de la población y en las cuencas del entorno):

Tabla 1: Precipitaciones diarias máximas anuales, en el entorno de Valdepeñas, correspondientes a diferentes periodos de retorno

T	P _{DMA} [mm]
2	31.76
5	41.30
10	49.33
25	61.98
50	72.75
100	84.83
200	98.42
500	119

Estos valores, cuando son utilizados para valorar la precipitación media ocurrida sobre una extensión, deben ser afectados de un factor corrector para tener en cuenta la falta de uniformidad espacial de las precipitaciones.

Los peligros de inundación

Los peligros asociados a diferentes escenarios de inundación difieren en función de las variables hidráulicas principales que lo definen, habitualmente, velocidad y calado. Para producirse unos niveles de riesgo adecuados debe comprobarse que el flujo circulante por calles y aceras sea tal que los parámetros hidráulicos de las mismas (calados, velocidades o



combinaciones de los mismos) se mantuvieran por debajo de ciertos valores límites aconsejables. Los criterios de seguridad más utilizados son:

1.- Criterios basados en un calado máximo admisible del flujo:

- Criterio de Témez (Témez, 1992)
- Criterio de Denver (Wright-McLaughlin, 1969)
- Criterio de Mendoza (Nanía, 1999)

2.- Criterios basados una velocidad máxima admisible del flujo:

- Criterio de Témez (Témez, 1992)

3.- Criterios basados en la consideración conjunta de los calados y velocidades del flujo.

- Criterio de Abt, pérdida de estabilidad (1989)
- Criterio de Témez (1992)
- Criterio de Estabilidad al Deslizamiento (Nanía, 1999)
- Criterio de Estabilidad al Vuelco (SIHH, UPC, 2001).

Dentro de estos criterios existen complementariedades y solapamientos. El conjunto de criterios utilizados dentro de este estudio para el análisis de los peligros de inundaciones que existen en la zona norte de Valdepeñas son los que se presentan a continuación:

Tabla 1. Resumen de los criterios utilizados para la definición de niveles de peligrosidad de la inundación, fijándose las variables utilizadas para su definición y el valor límite de las mismas (en azul)

Criterio		y (m)	v(m/s)	v· y (m ² /s)	v ² · y (m ³ /s ²)
Témez-Abt	Grave	1	1	0.5	
	Moderado	0.5	0.5	0.08	
Estabilidad al Deslizamiento					1.23
Estabilidad al Vuelco				0.5	

MEMORIA



La modelación hidrológica realizada

Para la determinación de las variables hidráulicas que permiten estimar el riesgo de inundación, o el nivel de daños potenciales que puede alcanzarse para diferentes escenarios de precipitación, ha sido desarrollado un modelo hidrológico-hidráulico de la cuenca urbana. El mismo ha sido construido con la ayuda del software SWMM v.5, a partir de la información cartográfica disponible, y asumiendo que la topografía actual dominará y definirá las pendientes en las zonas donde están planificados nuevos desarrollos. Con ello se tiene la red de conducciones que simulan el flujo que se representa en la Figura 2. En ella se representan las calles que han sido consideradas dentro del modelo, por ser receptoras principales de las escorrentías generadas en manzanas y calles vecinas. Se consideran tanto la capacidad hidráulica de los conductos de drenaje y saneamiento principales, como la de los propios viales, que recogen y trasladan las aguas que exceden de la capacidad de los sistemas cerrados anteriores.

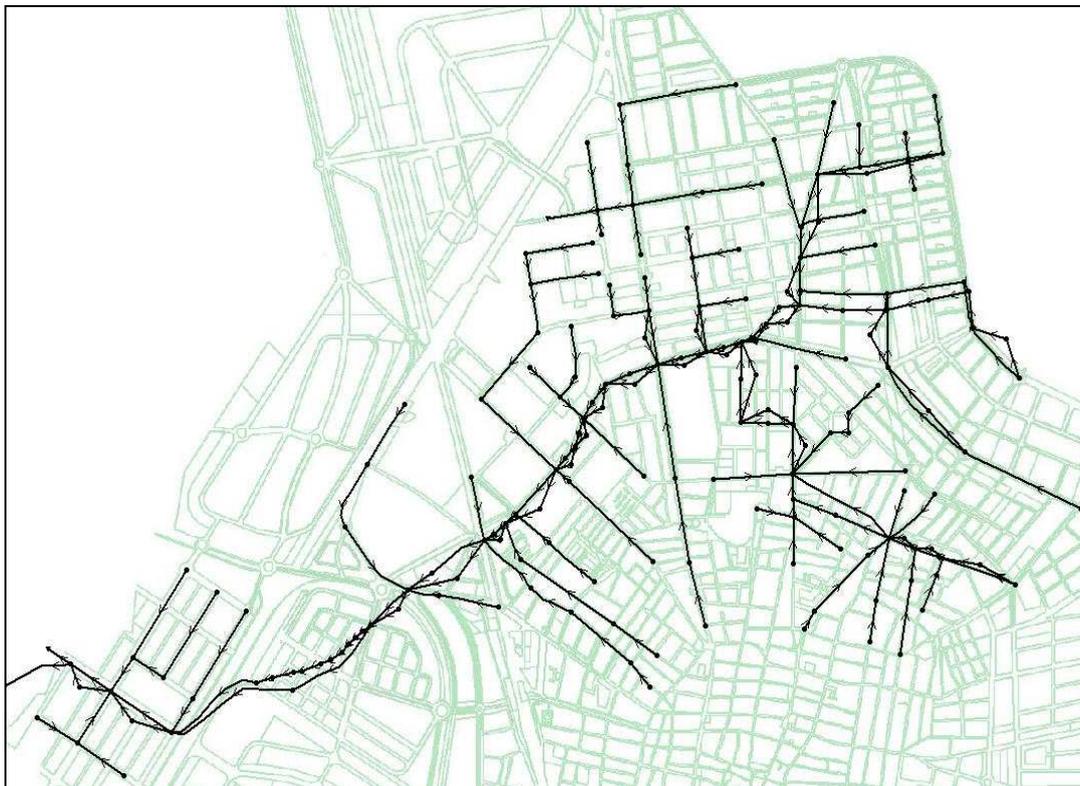


Figura 2: Esquema de conducciones y nudos para la modelación hidrológica de la zona norte de Valdepeñas.

Para conocer los caudales que pueden desarrollarse a lo largo de la zona de estudio, se ha discretizado la cuenca urbana de la zona norte en un total de 194 subcuencas, que permiten

Memoria



estimar los procesos de generación de escorrentía y transito de hidrogramas (Figura 3). A partir de la ordenación de usos prevista en el Plan de Ordenación Municipal de Valdepeñas (2008) se han estimado las características de los procesos de infiltración que tendrían lugar.



Figura 3: Delimitación de subcuencas dentro del modelo hidrológico en la zona norte de Valdepeñas.

Como estadísticas resumen de los resultados, se tiene que los caudales máximos que son alcanzados a la salida de la cuenca urbana, por precipitaciones recogidas exclusivamente en esta zona, alcanzan los valores indicados en la siguiente tabla, para los distintos periodos de retorno:

Tabla 2: Caudales instantáneos máximo anuales, producidos en el punto de desagüe de la cuenca urbana norte de Valdepeñas (salida del polígono industrial SEPES), correspondientes a diferentes periodos de retorno, atribuidos exclusivamente a la escorrentía producida en zona urbana

T	Q_{TUrb} [m^3/s]
2	10.74
5	15.82
10	20.26
25	27.51
50	33.90



100	37.66
200	42.01
500	48.03

Adicionalmente a los caudales generados en la propia cuenca urbana, la respuesta hidrológica de la cuenca natural del arroyo Cañada Romero produce unos hidrogramas que entran a la ciudad en su límite oriental. Estos caudales han sido estimados, para los diferentes escenarios de precipitación, a partir del desarrollo de un modelo hidrológico, sobre el paquete informático HEC-HMS, para la estimación de los hidrogramas que se aproximan al cauce principal, y un modelo hidráulico, sobre el paquete HEC-RAS, para la determinación de los efectos de la laminación de avenidas.

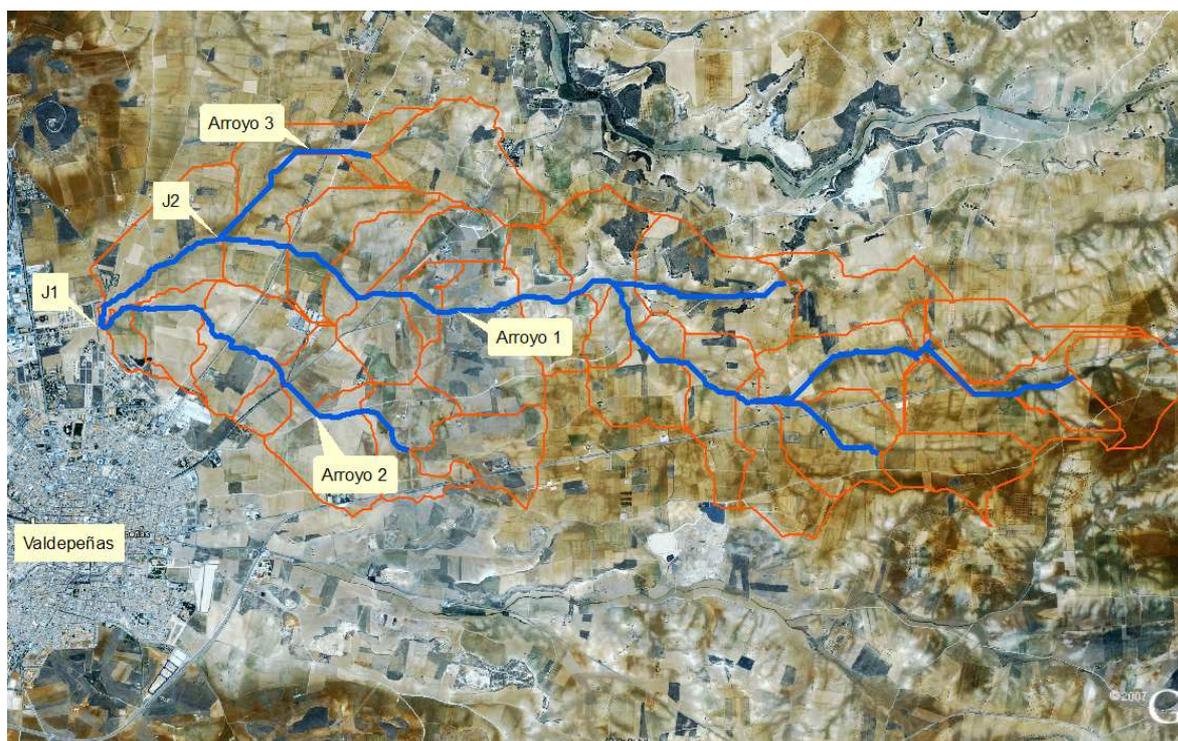


Figura 4: Discretización en subcuencas en el modelo hidrológico de la cuenca rural del arroyo Cañada Romero a su entrada en Valdepeñas

A partir de los resultados de estos modelos, se tiene una secuencia de hidrogramas que podrían alcanzar la zona norte de Valdepeñas de producirse los diferentes escenarios de precipitación extrema, para diferentes periodos de retorno. Como valor más característico de los mismos se tiene el caudal pico, que se lista en la siguiente tabla:



Tabla 3: Caudales instantáneos máximo anuales, producidos en el punto de entrada del arroyo Cañada Romero a la zona urbana norte de Valdepeñas, correspondientes a diferentes periodos de retorno, atribuidos a la escorrentía producida en la cuenca rural

T	Q _{TNat} [m ³ /s]
2	0.0
5	0.3
10	1.7
25	4.1
50	6.5
100	10.0
200	15.9
500	25.0

Debe notarse que estos caudales punta no deben considerarse como aditivos a los producidos por la escorrentía en la cuenca urbana, dadas las amplias diferencias en tiempo de respuesta que ambas cuenca presentan (35 minutos, tiempo de respuesta de la cuenca urbana, y para la cuenca rural, 90 minutos sin actuaciones y 4 horas con las actuaciones propuestas en este estudio), y el no necesario cumplimiento de la simultaneidad de las precipitaciones del mismo escenario en ambas cuencas. Es notoria la mayor magnitud de los caudales alcanzados debidos a la cuenca urbana, que aquellos ocasionados sobre la cuenca natural, que aun siendo de mayor tamaño, sobre ella se producen mayores pérdidas por infiltración y especialmente mayor laminación. Es por ello que en la estrategia de reducir los riesgos de inundación en la zona norte de Valdepeñas las ideas principales son posibilitar la evacuación segura de los caudales de escorrentía producidos en la zona urbana, construyendo una serie de conducciones de drenaje general, y minimizar los caudales máximos que pueden llegar desde la cuenca rural, incrementado los procesos de laminación en la cuenca, de modo que estos caudales al alcanzar la zona urbana puedan ser evacuados con seguridad a través de la obra de drenaje anterior, de mayor capacidad.



Los riesgos de inundación en la zona norte

A partir de los resultados de los estudios anteriores, concretamente los efectuados sobre la cuenca urbana de la zona norte de Valdepeñas, se ha elaborado un análisis de los peligros de inundación en esta zona, ante diferentes escenarios de precipitación, y valorando la situación actual, sin ningún tipo de medida correctora. Esta situación actual considera que los altos caudales que pueden producirse debidos a la escorrentía en la zona urbana serán drenados a partir de la capacidad hidráulica que los viales tengan para su evacuación. Con ello se pueden localizar tres tipos de problemas fundamentalmente:

- Viales con muy baja pendiente, donde las aguas que alcanzan el vial se van acumulando en el mismo hasta alcanzar niveles suficientes para continuar su salida hacia aguas abajo. Ello da lugar a problemas especialmente de altos calados, y esta situación de agrave extraordinariamente en las zonas endorreicas.
- Viales con alta pendiente, donde las aguas que transitan a lo largo de ellos llevan aparejada una alta velocidad, con el consiguiente riesgo al deslizamiento, siempre que se alcance un calado suficiente.
- Viales con una pendiente media, pero en los que debido al alto caudal que a través de los mismos debe circular se producen situaciones de riesgo por combinaciones de calado y velocidad.

Para cada uno de los viales que constituyen la red principal de evacuación de las aguas de escorrentía en la zona urbana se ha valorado el peligro que puede ocasionar la inundación en el mismo asociada a diferentes escenarios de precipitación extrema². El resultado se muestra de forma gráfica en los planos para los periodos de retorno analizados (25 y 500 años). Para la síntesis de criterios, se ha decidido agruparlos para cada zona de la siguiente forma:

² Debe notarse que el concepto de riesgo aquí considerado es en base al daño potencial que un determinado escenario de precipitaciones puede producir, evaluando cada uno de ellos por separado. Esto no se corresponde con el concepto integrador de riesgo como valor medio de los daños esperables.



1.- Riesgo Elevado: $y > 1$ metro; $o v > 1$ m/s; $o y \cdot v > 0.5$ m²/s

Color: Rojo

2.- Riesgo Moderado: $y > 0.5$ metros; $o v > 0.5$ m/s; $o y \cdot v > 0.08$ m²/s

Color: Naranja

3.- Riesgo Leve: $y < 0.5$ metros; $y v < 0.5$ m/s; $y y \cdot v < 0.08$ m²/s

Color: Verde

4.- Riesgo Elevado y Deslizamiento: $y > 1$ metro; $o v > 1$ m/s; $o y \cdot v > 0.5$ m²/s + $y \cdot v^2 > 1.23$

Color: Morado

5.- Riesgo Moderado y Deslizamiento: $y > 0.5$ metros; $o v > 0.5$ m/s; $o y \cdot v > 0.08$ m²/s + $y \cdot v^2 > 1.23$

Color: Azul

De los resultados se puede extraer en modo de resumen las situaciones en las que se encuentran los principales viales si no se realiza ninguna medida correctora y se alcanza el total de desarrollo urbano planificado.

Tabla 4: Resumen de los resultados en los principales viales del análisis de riesgos de inundación para los escenarios de 25 y 500 años de periodo de retorno.

Vial	T25	T500
Calle Salida de Membrilla		
Calle Bodegas Seis de Junio		
Calle Rafael Llamazares Gonzalez		
Travesía Avenida de los Estudiantes		
Calle Ciudad Real		
Calle Travesía Triana		
Calle Hierbabuena		
Intersección calle Salida de Membrilla y calle Amapola		
Avenida del vino		

MEMORIA



Como puede apreciarse en la tabla, un gran número de viales se encuentran en situación de peligro moderado o grave para el escenario de precipitaciones extrema de 25 años de periodo de retorno, aumentando su gravedad para el escenario de 500 años de periodo de retorno. Los sistemas de saneamiento y drenaje urbano habituales consideran escenarios de diseño para valorar la capacidad que las redes de colectores de pluviales deben tener para evacuar las aguas de escorrentía el que corresponde a entre 10 y 25 años de periodo de retorno. El valor concreto es fijado bien por la administración local, o bien adoptado por el proyectista, y generalmente depende de la vulnerabilidad de la zona urbana a estas situaciones. En ciudades con pendientes bajas, donde pueden producirse la acumulación de grandes volúmenes de agua en viales de la ciudad con reducida capacidad para transportar escorrentía, suelen adoptarse los cuantiles correspondientes a los periodos de retorno más altos (25 años). Este es el caso de Valencia o Barcelona. En el caso de Valdepeñas, se muestra que para el escenario de 25 años existen múltiples puntos con riesgo de inundación que debería ser corregido.

Medidas de actuación propuestas en la zona norte de Valdepeñas

A la vista de los resultados obtenidos en el diagnóstico de la situación de riesgos de inundación en la zona norte de Valdepeñas, se han establecido una propuesta de actuaciones con el fin de su reducción hasta niveles admisibles.

No existe una normativa que legalmente fije el nivel de riesgos máximo de inundación al que debe puede estar sometida una población en España, sino que o bien son definidos de modo aproximada por administraciones regionales o locales, o bien son adoptadas a partir de normas de buena práctica, utilizando como referencia aquellos lugares donde sí están establecidas. En este sentido, y como se ha indicado anteriormente, una norma de buena práctica es diseñar los sistemas de drenaje general de suelos urbanizados para evacuar de forma segura la escorrentía producida por el escenario de precipitaciones de 25 años de periodo de retorno. Adicionalmente es aconsejable realizar la comprobación de lo que puede producirse ante una precipitación de 500 años de periodo de retorno, como un episodio de naturaleza mucho más extraordinaria, siendo deseable que se no lleguen a situaciones graves de peligrosidad por las inundaciones que puedan ocasionarse en cada uno de los viales.



Siguiendo los criterios anteriores se han buscado las medidas que pueden conseguirlo, reduciendo los niveles de riesgos de inundación en la zona norte de Valdepeñas hasta niveles adecuados al nivel de seguridad esperado. Para ello se han seguido como estrategias las siguientes:

- **Potenciar la laminación** en la transformación de escorrentía que se produce **sobre la cuenca rural**, de modo que el caudal pico que puede alcanzar la ciudad sea suficientemente pequeño para poder ser evacuado sin riesgos por el sistema de drenaje urbano.
- Diseñar un **sistema de drenaje urbano** sobre el suelo ya consolidado y la previsión de crecimiento del Plan de Ordenación Municipal de Valdepeñas (2008) para poder evacuar con seguridad las aguas de escorrentía urbana producidas ante el escenario de lluvias de 25 años de periodo de retorno, comprobando que este sistema es suficiente también para evacuar la escorrentía procedente de la cuenca rural cuando esta se produzca³.

Para cada uno de los objetivos de proponen las siguientes actuaciones.

Refuerzo y adecuación de carreteras como estructuras de laminación

El estudio hidrológico-hidráulico efectuado sobre la cuenca rural del arroyo Cañada Romero muestra el importante papel que juegan las diversas carreteras que cruzan los cursos de agua en la cuenca, favoreciendo la retención temporal de las aguas. Esto es debido a la suave topografía, con amplias llanuras de inundación, donde los pequeños terraplenes sobre los que se cimientan las carreteras, con sistemas de drenaje transversal de reducida capacidad

³ No se consideran la situación de simultaneidad de caudales pico, dada las diferencias en tiempos de respuesta de cada cuenca. Aunque físicamente podrían producirse esa situación, correspondería con una combinación de escenarios espaciales de precipitación de una probabilidad de excedencia muy inferior a los considerados.



provocan, provocan embalsamientos de agua e incrementan el efecto laminador que de forma natural ya se observa en esta cuenca. Se tiene con ello que estas estructuras juegan un papel importante, y que pueden ser utilizadas para controlar los caudales máximos que pueden alcanzar la población de Valdepeñas tras episodios de lluvias intensas.

Con el fin de optimizar el efecto de estas estructuras, a la vez que acondicionarlas para puedan cumplir esta función de forma segura y eficiente, se proponen las siguientes actuaciones:

- Adecuar la relación entre la altura de la lámina de agua máxima que puede alcanzarse aguas arriba de estas estructuras y la capacidad de desagüe transversal de la misma para evitar, por un lado, que se produzcan rebosamientos por superación de la cota de rasante en avenidas con periodo de retorno menor de 500 años (lo que podría dejar fuera de servicio la carretera), a la vez que maximizar la laminación de caudales hacia aguas abajo, sin producir impactos paisajísticos notorios. En concreto se propone:

Tabla 5: Actuaciones de recrecido y adecuación del drenaje transversal en carreteras existentes

Localización	Recrecido	Sistema de drenaje	Cota máxima agua (T=500 años)	Resguardo (T=500 años)
Carretera CM-3.109, P.K. 52,5	1 m, mediante construcción de importa de hormigón	3 tajeas rectangulares de 0,80 x 0,80 m ²	712,20 m	0,40 m
Carretera CR-P-6.441, P.K. 1,3	1,57 m, mediante elevación de la rasante actual	3 caños Ø 0,80 m (sustituye actual)	715,08 m	0,1 m
Carretera CM-3.109, P.K. 53,4	1,53 m, mediante elevación de la rasante actual	3 caños Ø 0,80 m (sustituye actual)	710,31 m	0,1 m

- Impermeabilizar el talud aguas arriba de las plataformas de tierra sobre las que se cimienta la carretera para evitar que pueda comprometerse su estabilidad por filtraciones que pudieran provocar riesgos de rotura por tubificación, adecuado el sistema de drenaje longitudinal de la calzada y la plataforma.



Con estas actuaciones, e incluyendo la actuación correspondiente a la obra de captación (explicada a continuación), que también se diseña para provocar una mayor laminación, se consigue reducir el caudal punta, con respecto a la situación de no existir obras de paso, en un 55%; siendo estimado el caudal punta que alcanza Valdepeñas para la avenida de 500 años, en el caso de llevarse a cabo estas actuaciones, en $11,3 \text{ m}^3/\text{s}$

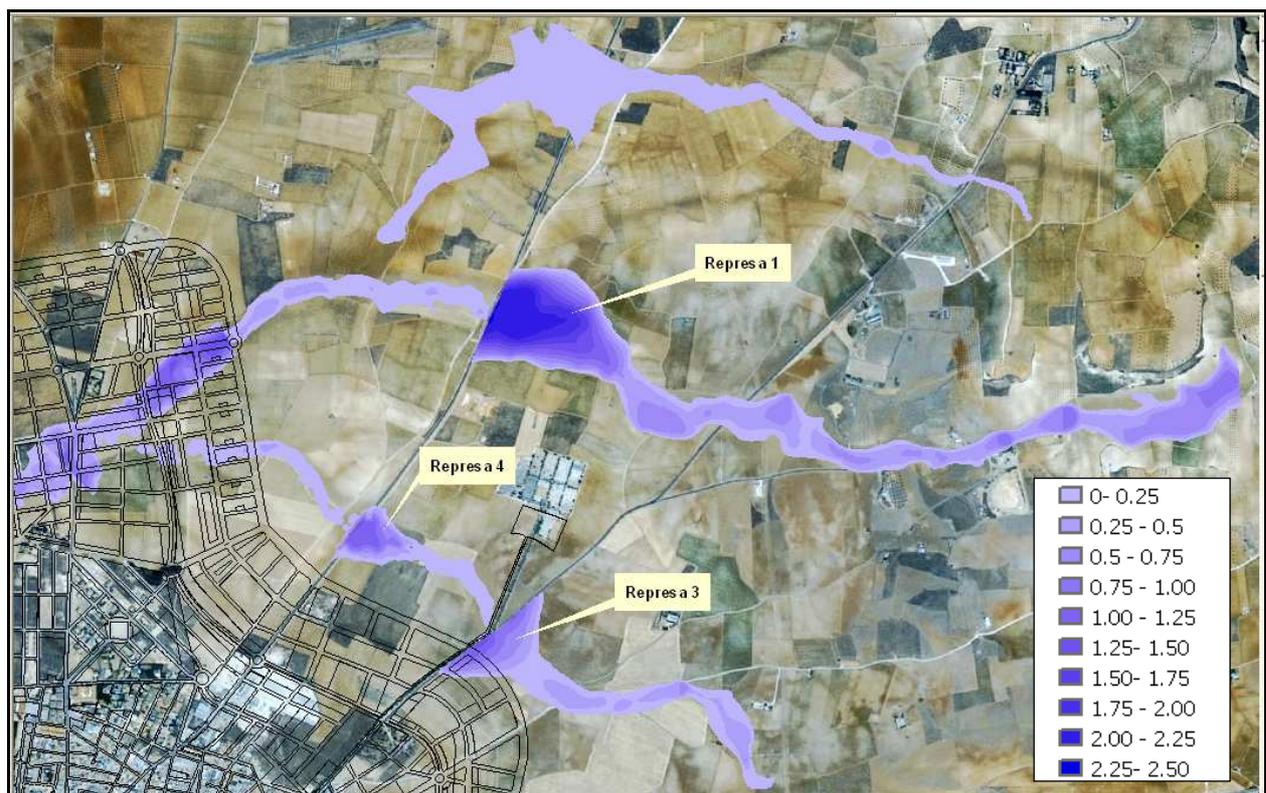


Figura 5: Mapa de inundación máxima que se produce en los cauces de la cuenca del arroyo Cañada Romero, en el escenario de precipitaciones de 500 años, sobre la que se superpone la trama de la ordenación planificada (en metros). Sin Escala.

Sistema general de drenaje urbano de aguas pluviales

El sistema general de drenaje urbano de aguas pluviales propuesto para la zona norte de Valdepeñas, se compone de los siguientes elementos:

- **Obras de captación de las aguas procedentes de la cuenca rural del arroyo Cañada Romero.**



Estas obras de captación interceptan a dos cursos de agua que alcanza Valdepeñas en su límite oriental. Para cada uno de ellos se propone la construcción de sendos muros verticales, que se extiendan sobre toda la anchura de la llanura de inundación intersectada, al pie de los cuales se sitúa una cuneta rectangular para recolectar las aguas que se aproximen, cuya salida se produce mediante un conjunto de orificios circulares, que condicionan el caudal que es evacuado en función de la altura de agua acumulada junto al muro.

Tabla 6: Elementos de drenaje en obras de captación

Curso de agua	Altura máxima	Longitud muro de cierre	Longitud captación	Sistema de drenaje	Aliviaderos de seguridad
Arroyo 1	1,8 m	236 m	68,35 m	24 \varnothing 30cm	56 x L-h 100 cm · 40 cm
Arroyo 2	1,3 m	114,5 m	35,65 m	14 \varnothing 30cm	28 x L-h 100 cm · 40 cm

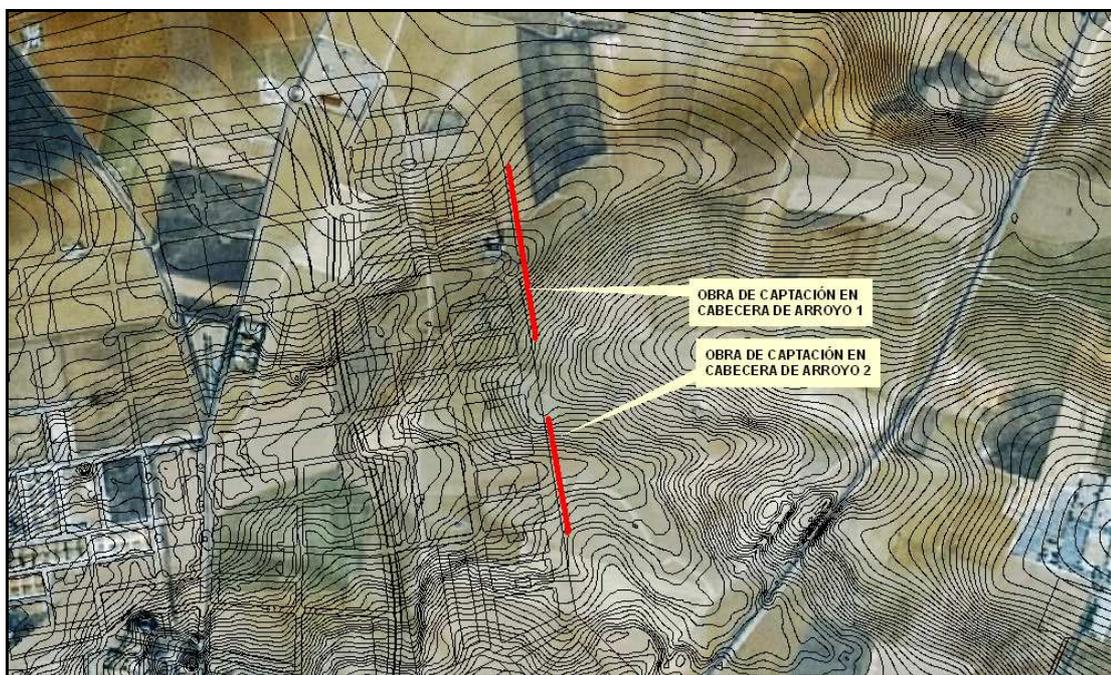


Figura 6: Ubicación de las obras de captación de las aguas procedente de la cuenca rural

Estos sistemas de orificios pueden tener riesgos de colmatación por elementos flotantes u objetos arrastrados por la corriente. Aunque esto es poco probable, dado que las velocidades de aproximación van a ser bajas. No obstante, y fruto de los daños

que podría ocasionar su fallo, se propone la construcción de un sistema de vertederos de pared delgada, de modo que si lacota de agua supera una determinada altura el caudal de aproximación sería captado por estos vertederos sin superar la altura total del muro, manteniendo un resguardo de 20 cm. En la Figura 7 se muestra uno de los diseños de estas estructuras de captación.

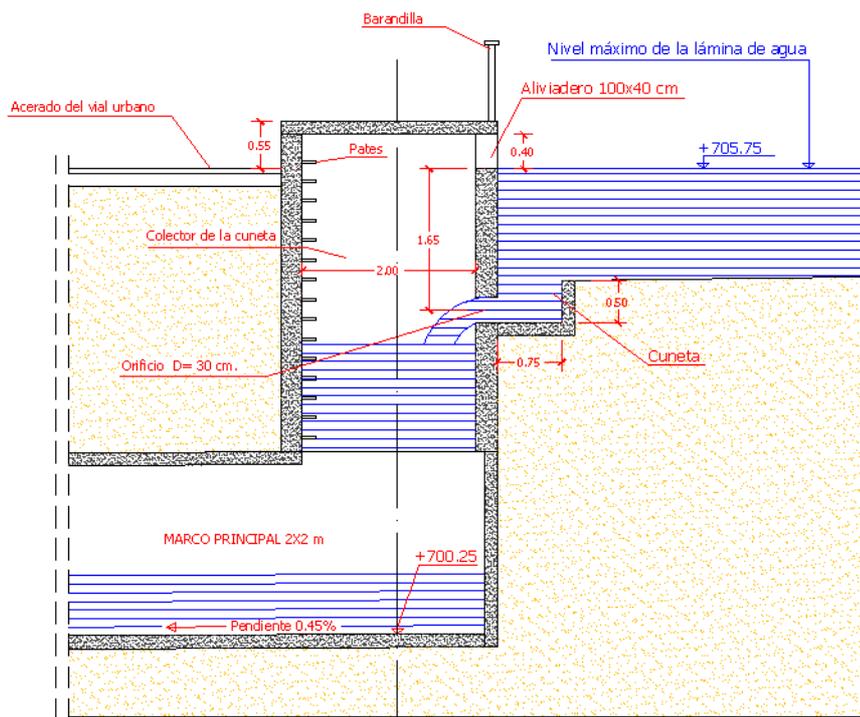


Figura 7: Sección transversal de la obra de captación del arroyo 1 (sin escala)

➤ Obras de captación de las aguas pluviales generadas en la cuenca urbana

Como se ha puesto en evidencia dentro de los estudios realizados, los flujos que pueden llegar a acumularse a lo largo de la red de viales pueden provocar riesgos de inundación importante, y por ello debe reducirse esta caudales mediante su derivación hacia una red de drenaje subterránea antes de que estos puedan ser inadmisibles. En la consecución de este fin es tan importante por un lado el disponer de una red de drenaje con capacidad suficiente, como la existencia de obras de captación a lo largo de la trama de viales con forma y capacidad adecuada para evitar que parte del caudal pueda continuar hacia aguas abajo sobre el vial. Con este fin se han diseñado un conjunto de



hasta 56 obras de captación, de diferentes características, clasificadas en función de la capacidad de captación necesaria (a partir del caudal a captar) en tres tipologías.

El criterio de diseño ha sido el caudal de aproximación correspondiente a 500 años de periodo de retorno. Con ello se asegura que estos elementos no son el elemento limitante para el drenaje, sino la red de drenaje general a la que conecta. La red ha sido calculada suponiendo que se produce una tormenta que cubre en su totalidad la cuenca urbana, con poca variabilidad espacial de las precipitaciones. Sin embargo pueden producirse tormentas con alta variabilidad espacial y fuertes intensidades muy localizadas. En esos casos, estas obras de captación permitirán evacuar altos caudales generados localmente, siempre que la red de drenaje posterior tenga capacidad libre suficiente y, en cualquier caso, una acumulación de volumen de agua producida en superficie será evacuada rápidamente en el tanto la red de drenaje general lo permita.

Las obras de captación se componen de los siguientes elementos:

- **Elementos superficiales tipo reja para la captación de la escorrentía.** Se han considerado 4 tipologías distintas, en función de la cantidad de caudal recibida. Estas tipologías se corresponden con la posición y el número de rejillas.

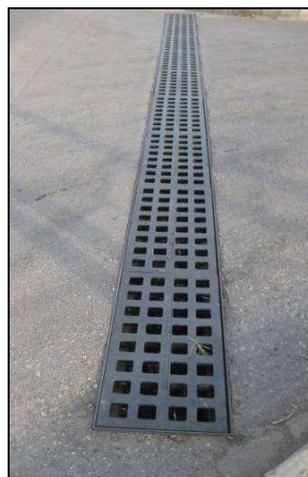


Figura 8: Fotografía de las rejillas tipo a disponer. Modelo presente en Valdepeñas.

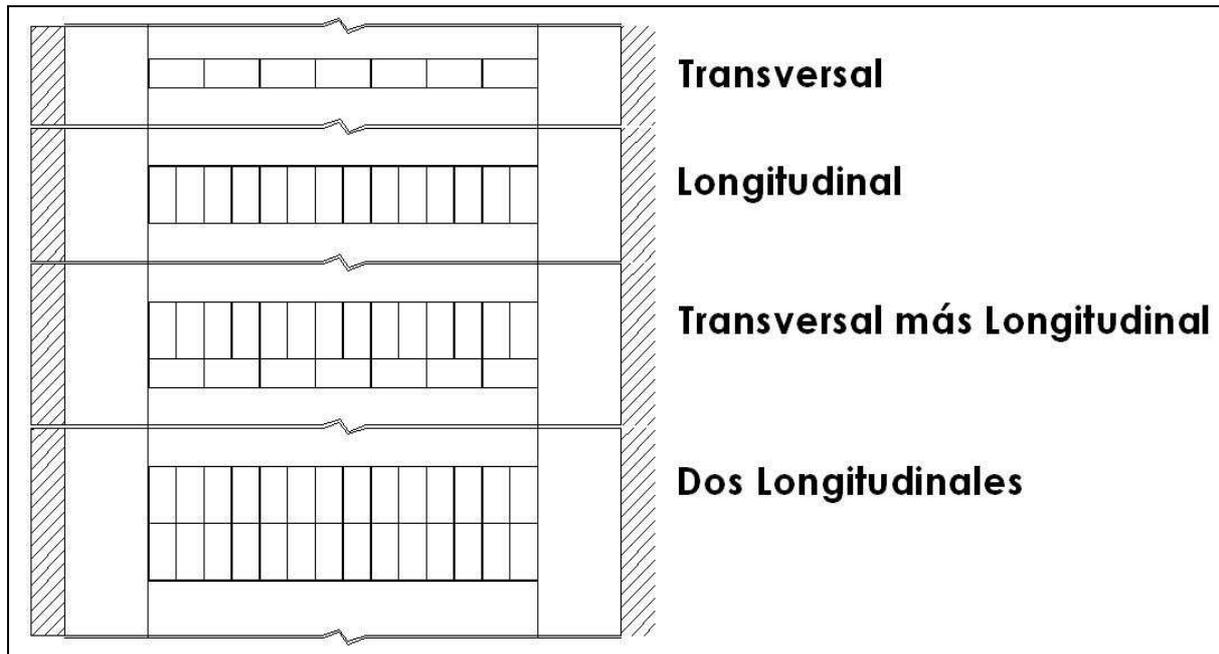


Figura 9: Esquema de las cuatro tipologías de elementos de captación superficial (rejas)

- **Cámara de captación:** recoge el caudal captado por los elementos superficiales. Debido al gran rango de variación de caudales y con objeto de simplificar el proceso de construcción, se considera oportuna la subdivisión de las cámaras de captación en 3 tipologías diferentes, agrupando los valores dentro de 3 intervalos:
 - Intervalo C: Caudales Bajos ($Q < 1 \text{ m}^3/\text{s}$). Rango: $0.11 - 0.99 \text{ m}^3/\text{s}$.
 - Intervalo B: Caudales Medios ($Q < 2 \text{ m}^3/\text{s}$). Rango: $1 - 1.99 \text{ m}^3/\text{s}$.
 - Intervalo A: Caudales Altos ($Q < 4 \text{ m}^3/\text{s}$). Rango: $2.04 - 3.99 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dentro de cada intervalo existen variaciones en función del tamaño del elemento de captación situado de forma superior. En el plano 16: Descripción geométrica de las obras de incorporación de la escorrentía superficial en la cuenca urbana norte; hojas 1 - 8, se puede consultar las características de cada una de las 3 tipologías.



- **Conducción:** conecta la cámara de captación con la cámara de vertido. Su dimensionamiento se basa en el máximo caudal posible dentro del intervalo de la cámara de captación precedente. Dichos tamaños son:
 - Intervalo C: Conducción circular \varnothing 800.
 - Intervalo B: Conducción circular \varnothing 1200..
 - Intervalo A: Conducción tipo marco 1.5 x 1.5 m.

En los casos en los que la captación se sitúa sobre la traza del marco receptor, no se sitúa ninguna conducción, estando conectadas de forma vertical la cámara de captación y la cámara de vertido.

- **Cámara de vertido:** elemento situado sobre el marco receptor con el fin de facilitar la incorporación a éste. Su dimensionamiento se basa en el máximo caudal posible dentro del intervalo de la conducción precedente. Los elementos principales son la abertura de incorporación lateral (en el caso de que haya conducción) o superior (en el caso de que no haya conducción), y la abertura final de la cámara para el vertido sobre el marco receptor. En el plano 16: Descripción geométrica de las obras de incorporación de la escorrentía superficial en la cuenca urbana norte; hojas 8 - 11, se puede consultar las características de cada una de las 3 tipologías.

A continuación se muestra una tabla resumen con el número de elementos existentes de cada una de los componentes de las obras de captación.

Tabla 7: Resumen de cada tipología de elementos presentes en las obras de captación

Tipología de Reja	Número
Transversal	5
Longitudinal	24
Transversal + Longitudinal	18
2 Longitudinales	9



Cámara de captación	Número
C - 1	6
C - 2	9
C - 3	2
B - 1	14
B - 2	8
B - 3	2
A - 1	8
A - 2	7
Conducción	Número
Ø 800	10
Ø 1200	13
1.5 x 1.5	14
Cámara de vertido	Número
Vertido Caudales Bajos (C)	14
Vertido Caudales Medios (B)	15
Vertido Caudales Altos (A)	18
Vertido Sobre el Marco	2

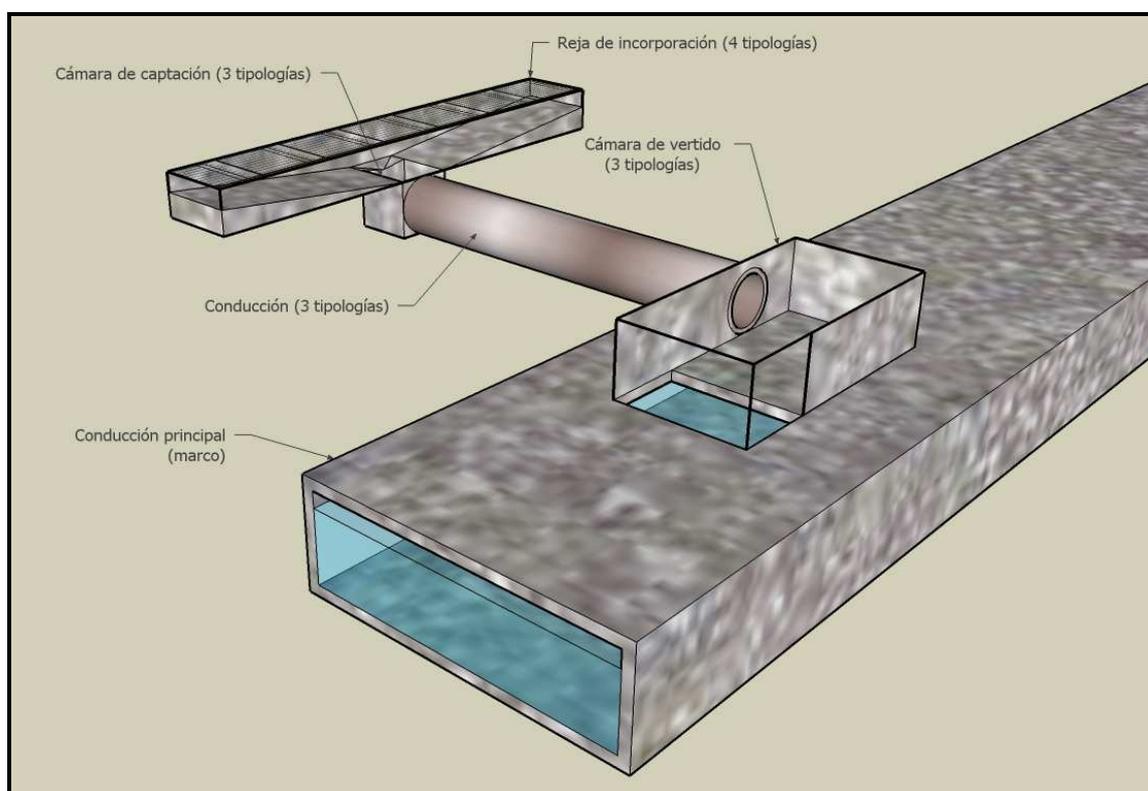


Figura 10: Esquema de una obra de captación.



➤ **Red de drenaje de las aguas pluviales mediante marcos rectangulares**

La red de drenaje tiene como fin facilitar el drenaje de la escorrentía urbana y la procedente de la cuenca rural sin afección a la población. Para ello se propone una red de drenaje subterránea, cuyo uso es exclusivo para aguas pluviales, que provea de una vía segura para la evacuación de las aguas, reduciendo las afecciones que pueda provocar en superficie episodios tormentosos de alta intensidad. Para su construcción, y dadas las dimensiones necesarias, se propone su ejecución con secciones rectangulares construidas mediante marcos prefabricados de hormigón armado.

La red propuesta tiene un ramal principal y dos brazos secundarios. El ramal principal, o marco principal, parte de la obra de captación del arroyo de Cañada Romero (arroyo 1), y con una forma telescópica, aumentando de tamaño a medida que discurre hacia aguas abajo y recoge mayor caudal, discurre bajo viales existentes o de nueva construcción en dirección este-oeste, bajo la futura Avenida de Ciudad Real, cruzando en cajón hincado las plataformas del ferrocarril y la autovía A-4, y atravesando el Parque Empresarial Entrecaminos (polígono SEPES) hasta, después de salvarlo, salir a superficie siguiendo el recorrido del arroyo Cañada Romero para terminar evacuando las aguas al río Jabalón. Sólo en el último tramo, el que se produce tras la salida del Parque Empresarial Entrecaminos, la canalización es abierta, coincidente con el arroyo existente, pero de sección ampliada para dotarlo de capacidad suficiente. A lo largo de todo este recorrido recoge las aguas procedentes de las obras de captación en viales situados a largo de la traza.

El marco principal anterior drena el recorrido principal que seguía el arroyo Cañada Romero según marca la topografía. En la zona urbana, a este arroyo llegaban aguas procedentes de la margen izquierda. Para conducir con seguridad estas aguas, y dado que el caudal que puede generarse dentro de la cuenca urbana en esa zona es importante, se propone la inserción un marco secundario (marco secundario1) que recogería las aguas captadas en esta zona y las conduciría a través de la Calle de Salida a Membrilla hasta el marco principal, drenando en su trayectoria la zona endorreica del cruce entre la Calle de la Amapola y la Salida Membrilla.



Adicionalmente debe evacuarse las aguas captadas desde la obra de captación de la cuenca rural, del arroyo 2. Para ello se propone la construcción de un segundo brazo, el marco secundario 2, que partiría de esa obra de captación y conduciría las aguas hasta el marco principal. Las dimensiones y características principales de esta red de drenaje se resumen en la Tabla 8.

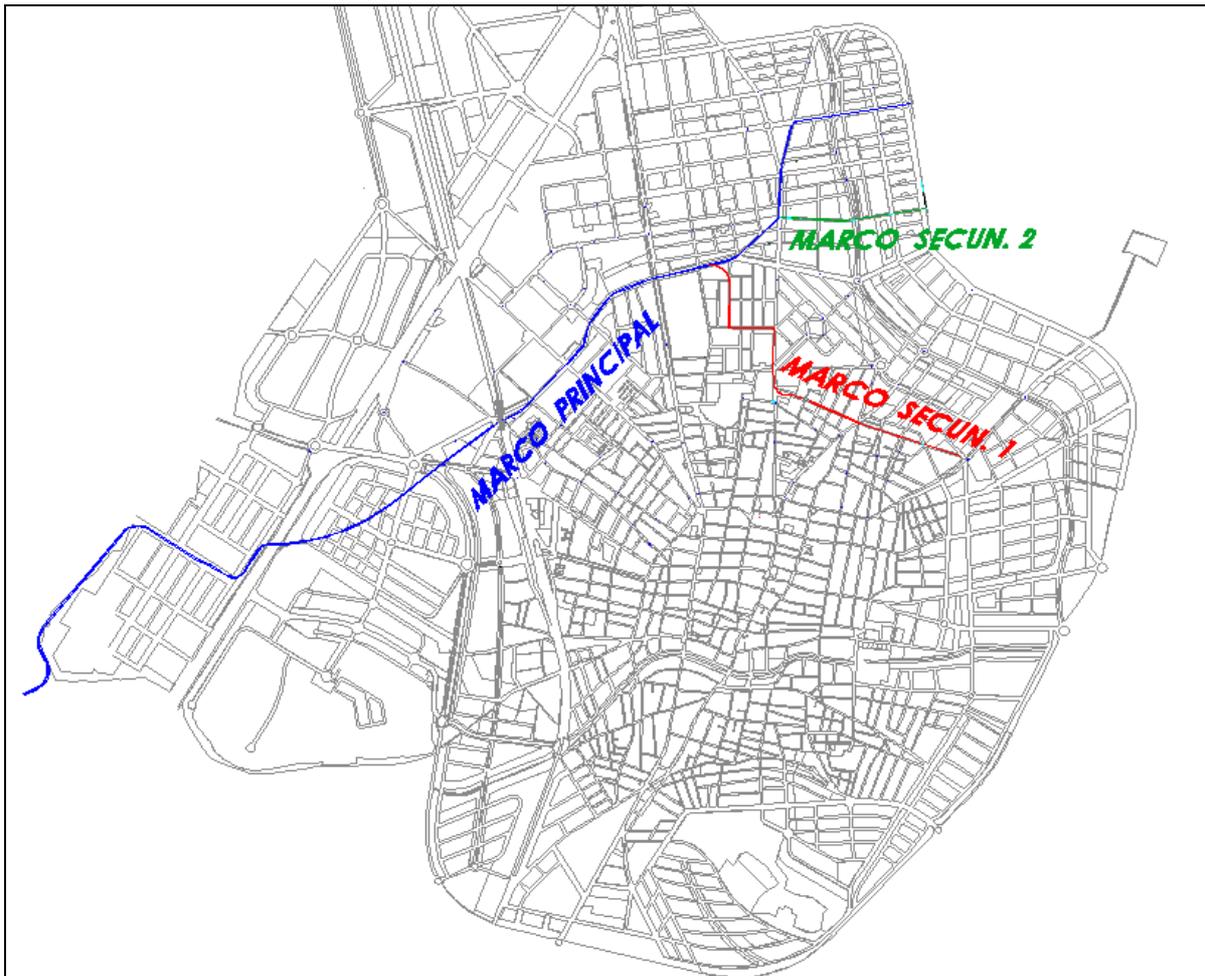


Figura 11: Trazado en planta de la red de drenaje urbana (Sin Escala)

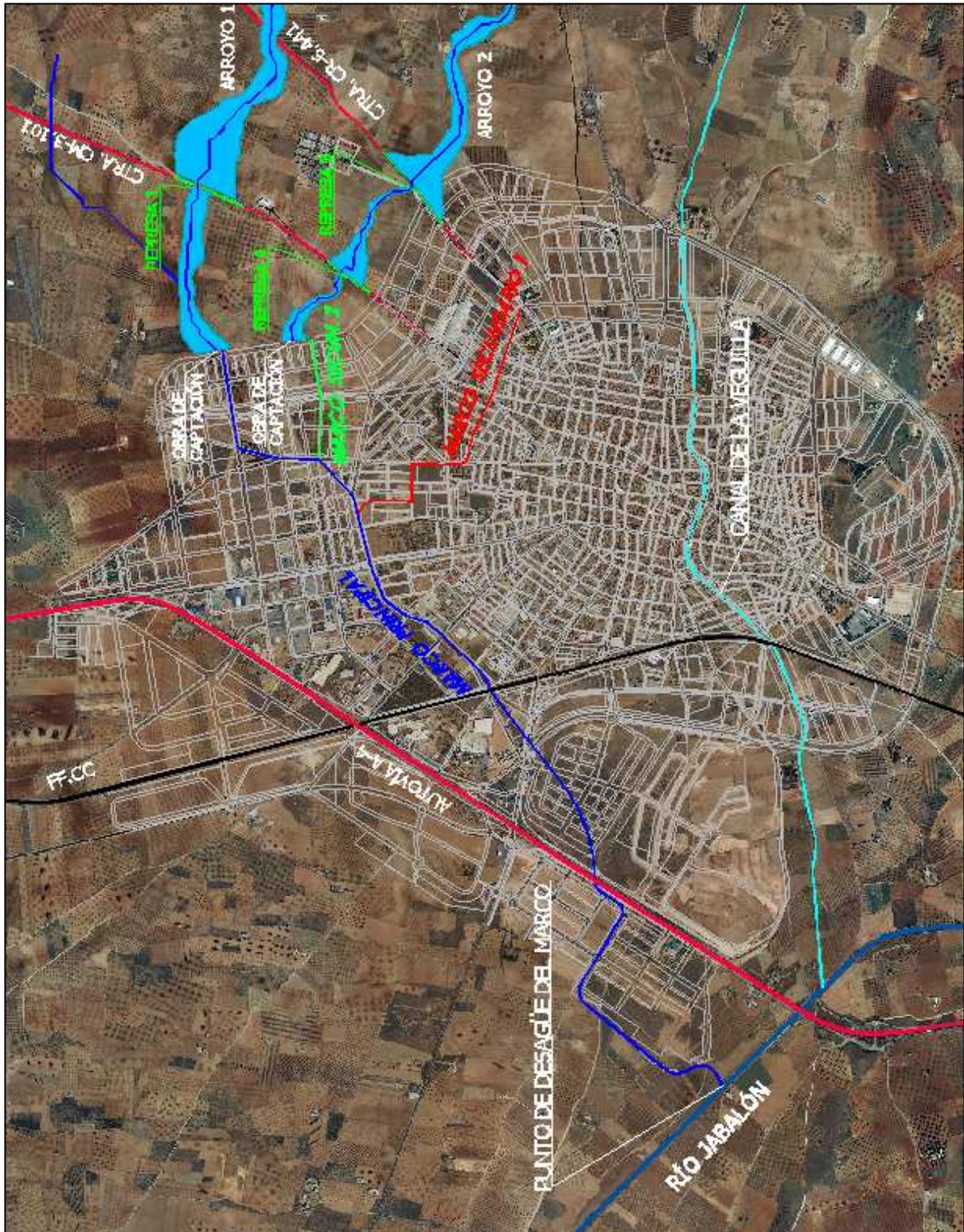


Figura 12: Ortofoto con las actuaciones propuestas. (Sin Escala)

MEMORIA



Tabla 8: Dimensiones principales de la red de drenaje de aguas pluviales propuesta para la zona norte de Valdepeñas

P.K. inicio	P.K. final	Longitud	Dimensiones interiores		Pendiente
		(m)	Ancho (cm)	Alto (cm)	(%)
Ramal principal (sección abierta)					
0+000.00	0+973.15	973.15	1000	225	0.20
Marco Principal (sección cerrada)					
0+973.15	1+640.12	666.97	550	250	0.316
1+650.12	3+035.41	1385.29	500	250	0.316
3+051.71	3+683.97	632.26	400	250	0.41
3+683.97	4+379.58	695.61	400	250	0.30
4+397.08	4+790.99	393.91	400	200	0.30
4+802.99	5+824.31	1021.32	200	200	0.45
Marco Secundario 1 (sección cerrada; confluencia con marco principal en p.k 4+397.08)					
0+000.00	1+792.60	1792.6	200	200	0.45
Marco Secundario 2 (sección cerrada; confluencia con el marco principal en p.k. 4+802.99)					
0+000.00	0+670.30	670.3	200	200	0.45

A lo largo de la traza de esta red de marcos deben disponerse elementos de disipación de energía para asegurar la estabilidad del flujo que allí tiene lugar. Así se especifica la inclusión de un total de 14 cuencos amortiguadores de energía (4 en el marco principal + 6 en el marco secundario 1 + 4 en el marco secundario 2), ubicados tras escalones de pérdida de energía y transiciones de sección, y cuyas dimensiones se especifican en el Anexo 6.

Para asegurar las condiciones de flujo en lámina libre, que deben producirse en estos marcos, deben instalarse pozos de ventilación cada 50 m., que a su vez tiene la función de pozo de registro para la entrada de personas. Para el acceso de maquinaria de limpieza y mantenimiento o reparación se prevé la construcción de pozos de registros



de mayor tamaño, con una longitud de 4 metros, y la anchura del marco sobre el que se sitúe. Estos pozos de registro para mantenimiento, deben ir situados en rotondas o zonas rotacionales, y servirán para la entrada de maquinaria de pequeño tamaño haciendo uso de grúas para su entrada y salida, dado que la intersección de rampas de acceso exigiría disponer de una reserva de espacio mayor.

La capacidad de la red de drenaje permite la evacuación de las aguas de escorrentía urbana asociadas a precipitaciones de 25 años de periodo de retorno, lo que permite a su vez evacuar las aguas procedentes de la cuenca rural con un periodo de retorno de 500 años. En el caso de producirse una tormenta de 500 años de periodo de retorno sobre la cuenca urbana, de modo uniforme, se producirá la entra en carga de la red de drenaje, lo que puede provocar inundaciones temporales sobre los viales, pero estas inundaciones se prevé que serán de corta duración y sin llegar a producir un riesgo grave, como puede apreciarse en los planos de riesgo de inundación estimado tras la ejecución de las actuaciones propuestas (plano nº2).

Conclusiones

La zona norte de Valdepeñas carece en la actualidad de una capacidad de drenaje y evacuación de las aguas de escorrentía adecuado, lo que le confiere unos niveles de riesgos de inundación por encima de lo considerado estándar. Este hecho motiva que sea necesaria la adopción de medidas para disminuir estos riesgos.

Las medidas que se proponen buscan instalar en esta zona un sistema de drenaje urbano adecuado a los caudales que allí pueden producirse y requieren ser drenados. Para ello se plantea la construcción, por un lado, obras de captación de la escorrentía que puede alcanzar la ciudad desde la cuenca rural del arroyo de Cañada Romero; obras de captación de la escorrentía producida directamente sobre la cuenca urbana, dispuestas de forma distribuida a lo largo de la trama urbana para captar el agua que pueda aproximarse a las zonas más bajas a través de la escorrentía sobre los viales; y una red de drenaje propia para las aguas pluviales,



que recogiendo las aguas captadas a través de las obras anteriores las conduzca de forma segura y eficaz hasta la salida de la ciudad, vertiéndolas en el río Jabalón.

En el conjunto de medidas propuestas se han diseñado y comprobado desde el punto de vista hidráulico e hidrológico el funcionamiento de las mismas, sin menoscabo de los proyectos técnicos de construcción que para la ejecución de las mismas deberá realizarse, considerando todos los aspectos constructivos y funcionales que en este tipo de obras intervienen.

En Ciudad Real, febrero de 2009.

Fdo. Javier González Pérez
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Investigador Principal

Equipo Redactor del Estudio:

Antonio Arrieta Camacho, *Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos*
Pablo Durán Barroso, *Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos*
Javier González Pérez, *Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos*

MEMORIA