

ANEJO 3

DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

Índice

0. Propósito	3
1. Datos de partida	3
1.1 Cálculo de subcuencas de la red	4
1.1.1 Estimación del porcentaje de impermeabilización	4
1.1.2 Valoración del almacenamiento en depresión	6
1.1.3 Cálculo de la pendiente media de las subcuencas	6
2. Bases de cálculo.	8
2.1 Hidrología	8
2.1.1 Modelo de producción de escorrentía. <i>Soil Conservation Service</i>	8
2.1.2 Modelo de propagación. Modelo conceptual de embalse	11
2.2 Hidráulica. Ecuaciones de <i>Saint Venant</i>	12
2.3 Pluviometría	13
2.3.1 Hietograma de diseño T= 25 años	13
2.3.2 Serie histórica de la ciudad de Valencia	14
2.4 Condiciones climáticas. Evaporación	15
2.5 Descripción de la herramienta de cálculo	16
3. Análisis de escenarios de simulación	17
3.1 Escenario 1. Cumplimiento de la ordenanza municipal	17
3.1.1 Comprobación de velocidades	18
3.1.2 Sobrecarga de colectores	19
3.1.3 Diámetros mínimos	21
3.1.4 Inundación de nodos	22
3.2. Escenario 2. Serie histórica (1990-2006)	24
4. Conclusiones	26

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

0. Propósito

Este anejo detalla las bases de cálculo y la metodología empleada a partir de la cual se procede a un análisis exhaustivo de toda la red de saneamiento del área de estudio actualmente. La finalidad es verificar el cumplimiento de la red ante la normativa vigente a partir del estudio hidráulico del sistema así como volumétrico para posteriormente, analizar estadísticamente una serie histórica. Se obtiene el volumen de escorrentía asociados a cada chubasco, para saber la respuesta del sistema e identificar cada uno de los problemas surgidos durante las simulaciones. Esto permite establecer posibles zonas de actuación donde poder insertar elementos SuDS, como medida impulsora que mejore el comportamiento de dicha red así como el entorno urbanístico del barrio.

1. Datos de partida

El sistema de saneamiento y drenaje está diseñado como un sistema unitario compuesto por 1008 nodos, correspondientes a los pozos de registro que configuran toda la red de alcantarillado, y que a su vez están unidos entre sí por 1004 tramos de conducciones, siendo éstos coincidentes con los colectores de la red de alcantarillado. Se distribuye a lo largo de 116 km de recorrido cuya pendiente desciende, como se indica en otros apartados del estudio, progresivamente hasta el colector principal ubicado en Avinguda Peris i Valero hasta el desagüe ubicado en Avinguda Regne e València. Cada uno de los tramos de colector varía tanto en forma (circular, rectangular o irregular), material (hormigón, PVC, PEAD, RI BLOC y obra de fábrica) y dimensiones, habiendo mínimos de 100 mm y máximo de 3100 mm de altura, determinado el comportamiento del sistema. Cada uno de los elementos quedan definidos por atributos que los caracterizan dentro del sistema y que se exponen en el apéndice 01 de este estudio. La información es extraída a partir de la base de datos del sistema de información S.I.R.A. Esta red debe cumplir el objetivo de lograr conducir << (...) la totalidad de las aguas residuales producidas" (...) >> así como << (...) las aguas pluviales hasta el nivel de protección de 25 años de periodo de retorno (...) >> (Ordenanza municipal de la ciudad de Valencia, 2015. Además tiene un sentido de circulación por gravedad (para evitar el empleo de bombeos). En el plano 2.1 se representa la estructura de la red actual de drenaje.

A continuación, se detallan los cálculos de las simulaciones realizadas como las conclusiones asociadas a ellas.

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

1.1 Cálculo de subcuencas de la red

Con el fin de delimitar las diferentes subcuencas que componen el sistema de análisis, se decide emplear el método de los polígonos *Thiessen*. Este procedimiento se basa en la división en *N* subcuencas, o denominadas también áreas de influencia, a partir de la unión de ciertos puntos, que en este estudio se toman como referencia los pozos de registro de la red de estudio. Estos elementos son unidos entre sí para trazar las mediatrices de los segmentos de unión entre ellos, siendo las intersecciones de éstas las que definen los polígonos buscados, que corresponden con las subcuencas buscadas. En conjunto, todos aquellos puntos cercanos a un solo pozo respecto al resto de los ubicados en el sistema se encuentran dentro del área de influencia de dicho pozo.

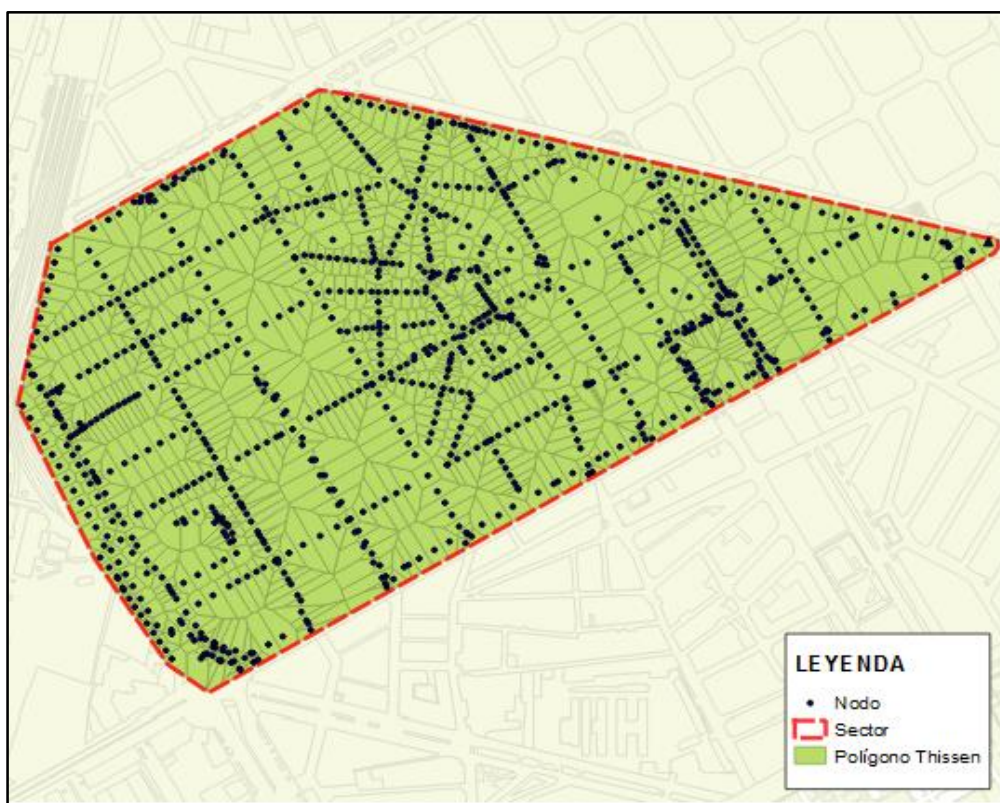


Figura 1. División en subcuencas del área de estudio

1.1.1 Estimación del porcentaje de impermeabilización

Una de las singularidades que caracterizan las cuencas urbanas es el incremento de la impermeabilización de las calles que han reducido la infiltración de estas áreas por el revestimiento del suelo. Este efecto hace que se considere relevante, de cara a los cálculos a realizar, evaluar el valor del porcentaje de impermeabilización de la superficie en función de la ocupación del suelo de cada una de las subcuencas que conforman el sistema. Este hecho se debe estudiar debido a su influencia en la generación de escorrentía superficial, por el incremento

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

de volúmenes de agua, además de la velocidad de ésta que afecta a los caudales pico en relación con la cuenca no alterada.

Por todo lo expuesto, los valores de impermeabilización escogidos en los cálculos pretenden hacer una distinción entre dos situaciones: una, con zonas altamente intervenidas como pavimentación de veredas, calles y avenidas y otra, con zonas con menor remoción de la cobertura vegetal como áreas ajardinadas, siendo apreciable la diferente cantidad de escorrentía que fluye por ambas tipologías de superficie.

Tabla 1. Coeficientes de impermeabilidad utilizados en el estudio

Zonas urbanas impermeables	95%
Zonas urbanas con vegetación	80%

Como se aprecia en la figura 2 en el área de estudio predominan un número mayor de zonas impermeabilizadas por encima de las zonas con vegetación.

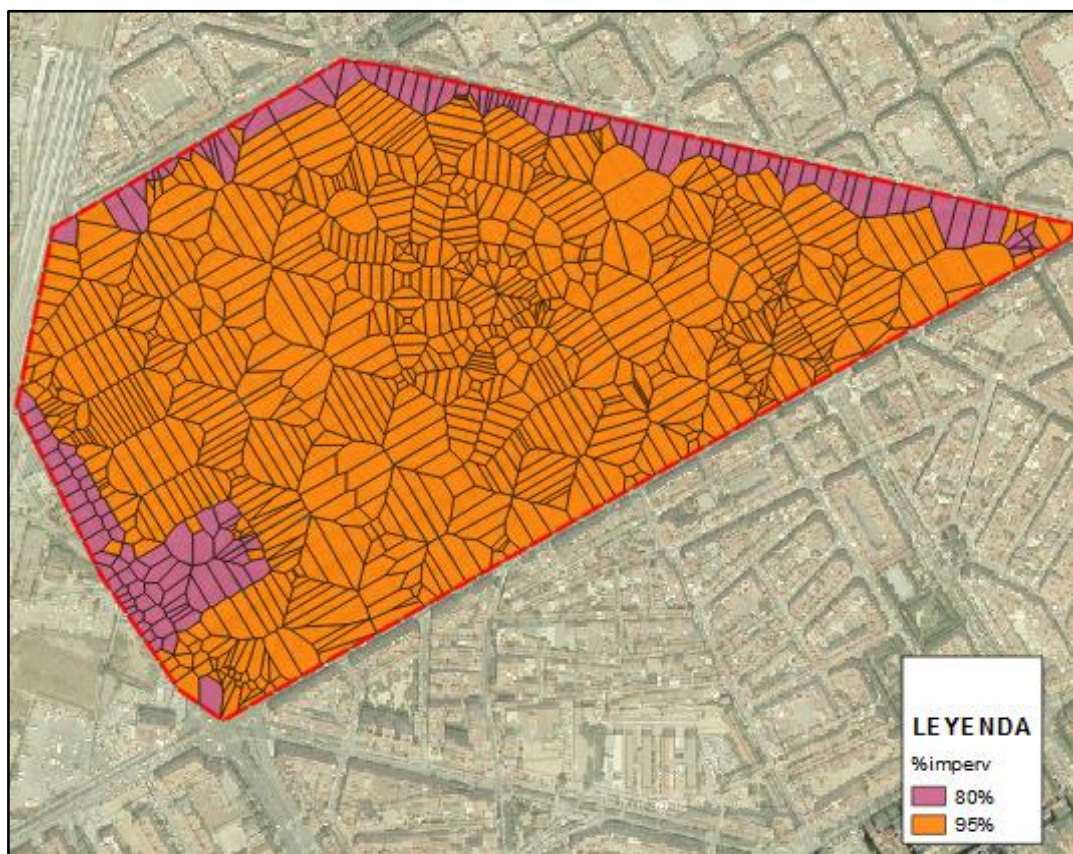


Figura 2. Clasificación del suelo en función del coeficiente de impermeabilidad

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

1.1.2 Valoración del almacenamiento en depresión

De modo idéntico, otro parámetro relevante por su influencia en la producción de escorrentía superficial dentro de una cuenca urbana es el valor del volumen de almacenamiento en depresión. Este concepto que se define como la masa de agua que se debe acumular en las pequeñas depresiones naturales que existen en la superficie del terreno hasta su cota base para producir cierta escorrentía, siendo en muchos de los casos parte de la lluvia caída que permanece y que no se infiltra en el terreno. La cantidad de almacenamiento varía en función del relieve de cada subcuenca estudiada.

Tabla 2. Valores típicos de almacenamiento en depresión. Fuente: ASCE (1992), *Design & Construction of Urban Stormwater Management Systems*, New York.

Superficies impermeables	1.25 - 2.5 mm
Césped y hierba	2.5 - 5 mm
Pastos y prados	± 5 mm
Lecho forestal	± 7 mm

Los valores de almacenamiento en depresión tomados son 1.25 mm para las superficies con porcentaje de impermeabilización elevado, y las zonas con presencia de vegetación 2.5 mm, ambos escogidos con el mismo criterio que con parámetros anteriores, apreciar la diferente cantidad de escorrentía que fluye por ambas tipologías de superficie.

1.1.3 Cálculo de la pendiente media de las subcuencas

Anteriormente se expone que el crecimiento urbanístico conduce a una modificación masiva de las cuencas urbanas mediante la alteración de las redes de drenaje natural de dicho lugar teniendo como consecuencia un aumento de zonas impermeables en superficie. Éste hecho fomenta elevados volúmenes de escorrentía producidos tras eventos de lluvia, caracterizados por tiempo de concentración más cortos y coeficientes de escorrentía superiores. Es indispensable conocer, bajo esta premisa, el valor de la pendiente media de las subcuencas por influenciar en el tiempo de concentración. Para conocer el valor de la pendiente media, y ante los datos adquiridos, es conveniente generar un Modelo Digital de Terreno (MDT), es decir, conjunto de diversas capas que representan las características superficiales del terreno objeto de estudio que derivan de una capa de elevaciones a la que se denomina Modelo Digital de Elevaciones (MDE), para conseguir el valor en cada una de las subcuencas del área de estudio. Para este proceso se utiliza SIG (Sistema de Información Geográfica) ya que permite junto a (...) diversos medios y métodos informáticos (...) recoger, verificar, almacenar, gestionar, actualizar, manipular, recuperar, transformar, analizar, mostrar y transferir datos referidos espacialmente (IGN, 2013).

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

En primer lugar, se crea un MDE a partir de los valores de cota de trapa de cada uno de los pozos de registros que componen el sistema utilizando como método de cálculo, Interpolación triangular de Delaunay (TIN). Este cálculo se realiza mediante redes irregulares de triángulos los cuales a partir de dichas cotas tratan de lograr triángulos que maximicen la relación entre área/perímetro. El cómputo total de triángulos origina un conjunto geométrico convexo en el que cada uno de los tres vértices del triángulo calculado poseen unos valores (x, y, z) a partir de los cuales se obtiene un modelo de regresión $Z = aX + bY + c$ que permite interpolar la variable z en cualquier punto del rectángulo generado. El resultado de esta operación matemática es una imagen ráster que se superpone con la capa vectorial de subcuencas del sistema para obtener el MDT. Posteriormente se asocian valores de pendiente media en cada una de ellas.



Figura 3. Modelo de elevación del terreno del área de estudio

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

2. Bases de cálculo.

Se definen en los siguientes apartados las bases teóricas para la modelación del drenaje urbano de este estudio.

2.1 Hidrología

2.1.1 Modelo de producción de escorrentía. *Soil Conservation Service*

Entre los diversos modelos de producción disponibles para calcular el volumen de escorrentía tras un evento de lluvia, es escogido el modelo del *Soil Conservation Service* (SCS). Esta elección es debida a emplear un número de parámetros mínimo, además de tener una adecuada acomodación a curvas de lluvia-escorrentía que se puedan contemplar durante todo el proceso de cálculo, así como considerar esta producción dependiente de la precipitación y no del tiempo transcurrido durante el fenómeno.

Basado en conceptos básicos de hidrología, es preciso saber diferenciar entre precipitación caída o total (P) y precipitación neta (P_n), o también llamada efectiva (P_e). Cualquier terreno posee una capacidad o tasa de infiltración la cual permite al agua que se encuentra en su superficie tener cierta facilidad para entrar en su estructura, siendo ésta menor con el paso del tiempo, debido al llenado de sus poros. Durante el suceso de una lluvia, y bajo esta premisa, parte de la precipitación puede no generar escorrentía siendo ésta retenida por las imperfecciones del terreno, llegando a infiltrarse y convirtiéndose en escorrentía subterránea o directamente ser evaporada y parte de ella, por exceso de lluvia caída, puede llegar a colmatar la estructura del suelo llenado todos sus poros hasta su totalidad, fluyendo el agua en exceso a través de la cuenca, convirtiéndose en escorrentía directa.

La hipótesis base de este método de cálculo supone que el suelo tiene cierta cantidad de agua caída al principio del evento, denominado umbral de escorrentía (P_o), por debajo del cual no se produce escorrentía superficial delimitando que de la lluvia caída (P), parte puede ser retenida por el suelo (P_r) y parte genera escorrentía (P_n). Por tanto, considera que la capacidad de infiltración decreciente con el paso del tiempo, y se fundamenta en la ecuación de continuidad que relaciona todo es la siguiente expresión:

$$P = P_o + P_r + P_n \quad (1)$$

donde:

P es la precipitación total que cae durante un evento de lluvia en l/m^2 o mm

P_o es el umbral de escorrentía, o abstracción inicial, por debajo del cual no se genera escorrentía superficial en l/m^2 o mm

P_r es parte de precipitación total que queda retenida en las imperfecciones superficiales y que posteriormente pueden ser infiltradas o evaporadas en l/m^2 o mm

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

P_n es parte de precipitación total que genera escorrentía directa en l/m^2 o mm

Se relaciona esa abstracción inicial con la máxima abstracción mediante la expresión:

$$P_o = k * S \quad (2)$$

en la que k es una constante que vincula ambos parámetros pudiendo adquirir valores entre 0 y 0.2. Normalmente se toma 0.2, considerando el 20% de máxima abstracción, o se aporta directamente el valor de P_o .

Estableciéndose una relación entre lluvia caída y escorrentía generada:

$$\frac{\text{Abstracciones producidas}}{\text{Abstracciones máximas}} = \frac{P_{\text{neta producida}}}{P_{\text{neta máxima}}}$$

queda expuesto el modelo lluvia-escorrentía que sigue esta tipología de cálculo en la ecuación siguiente (3):

$$\frac{P_r}{S} = \frac{P_n}{P - P_o} \quad (3)$$

siendo S la máxima precipitación que puede quedar retenida en superficie expresada en l/m^2 o mm.

Por tanto, sopesadas las premisas establecidas anteriormente por las ecuaciones (1) y (3):

$$\text{Si } P \leq P_o \rightarrow P_n = 0$$

$$\text{Si } P > P_o \rightarrow P_n = \frac{(P - P_o)^2}{P - P_o + S_r} \quad (4)$$

No obstante, la expresión debe ser referida de forma diferencial ya que es empleada de forma continuada en cada instante que dura el proceso de cálculo realizado para los cálculos matemáticos a lo largo del estudio.

$$\frac{dP_n}{dt} = \frac{(P - P_o)(P - P_o + 2S_r)}{(P - P_o + S_r)^2} \frac{dP}{dt}$$

En otras palabras, una simulación de una lluvia X con cierta duración T se delimitan n intervalos de tiempo, donde cada intervalo dura $t = T / n$, quedando la expresión anterior simplificada en cada instante tomada como:

$$\frac{p_n}{p} = \frac{(P - P_o)(P - P_o + 2S_r)}{(P - P_o + S_r)^2}$$

donde:

p_n es precipitación neta total en el intervalo de tiempo considerado en l/m^2 o mm

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

p es precipitación total en el intervalo de tiempo considerado en l/m^2 o mm

La expresión p_n/p representa la variación temporal en cada incremento de tiempo del porcentaje de escorrentía superficial en función de la precipitación total en ese periodo de tiempo n .

El modelo SCS emplea una formulación a partir del concepto Número de Curva (NC) en función de diversas variables:

- Precipitación acumulada, la cual utiliza el valor de la precipitación con el fin de valorar crecidas o caudales pico.
- Tipo de suelo, cuyas condiciones de infiltración subsuperficial (capacidad de infiltración y permeabilidad) influyen de forma directa en la producción de escorrentía.
- Presencia de cobertura vegetal que ejerce relevancia en la escorrentía por su capacidad para absorber agua durante eventos de lluvia.

El valor de CN está comprendido entre 0, donde se contemplaría la producción escorrentía nula y 100, donde toda la lluvia caída generaría escorrentía. Puede su expresión de cálculo quedar en función de la máxima precipitación retenida en superficie S o el umbral de escorrentía P_o :

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \rightarrow CN = \frac{25400}{S + 254} \rightarrow CN = \frac{25400}{(k \cdot P_o) + 254}$$

Como se ubica dentro de la ciudad de Valencia, los valores correspondientes a CN, S y P_o son los siguientes:

Tabla 3. Parámetros del Modelo SCS en la ciudad de Valencia en función del tipo de superficie. Fuente: Modelación del drenaje urbano. Fundamentos teóricos (Andrés Doménech, I)

Tipo de superficie	CN	S (mm)	P_o (mm)
Áreas pavimentadas	98	5	1
Áreas urbanas densas	95	19	4
Áreas residenciales	74	89	18
Áreas pavimentadas	42	351	70

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

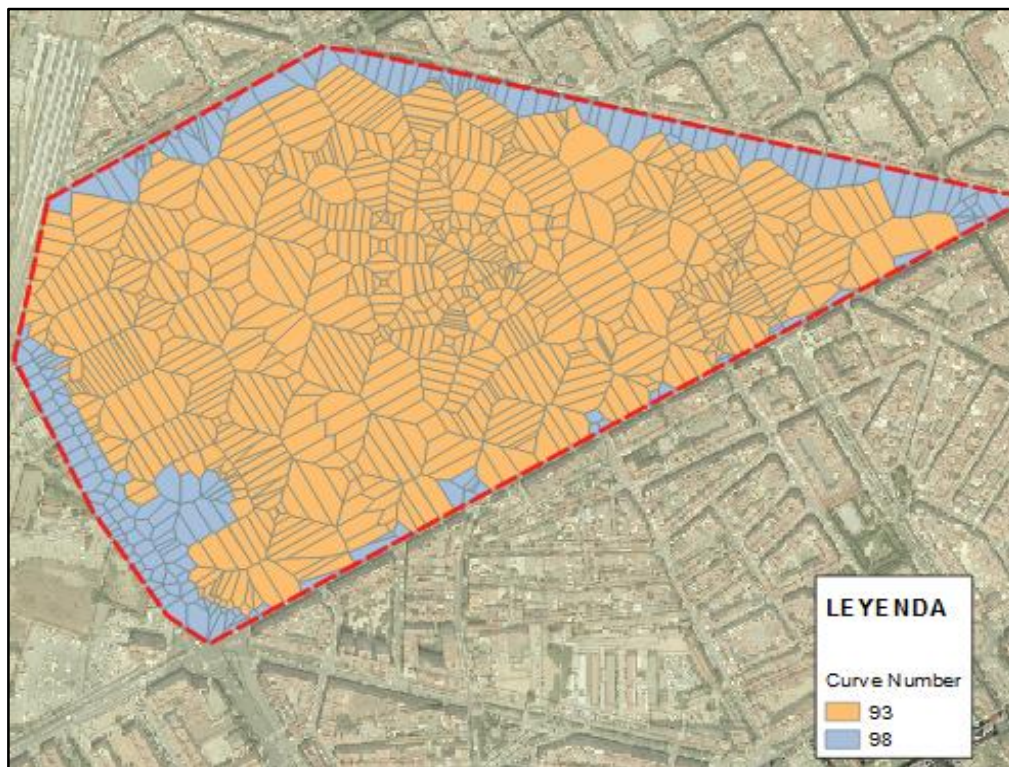


Figura 4. Distribución del valor CN en el área de estudio

2.1.2 Modelo de propagación. Modelo conceptual de embalse

El modelo de propagación hidrológico escogido en este estudio, es el modelo conceptual de embalse.

Se basa en la simplificación de la cuenca como un depósito donde entra el flujo, que se encuentra en la superficie de ésta una vez precipitada en la cuenca, luego se almacena y acaba siendo evacuada al alcanzar un nivel determinado de agua dentro del depósito de la cuenca, previamente establecido. El modelo de embalse es no lineal respecto al tiempo, cuya relación de descarga es la ecuación de onda dinámica para dirigir dicho flujo de cada subcuenca hasta el nodo correspondiente.

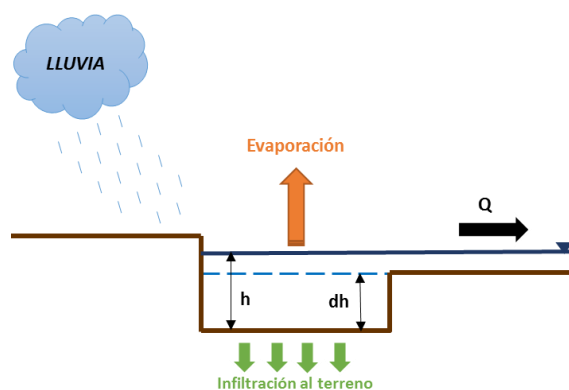


Figura 5. Modelo de Embalse no lineal centro de una subcuenca.

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

El coeficiente de escorrentía utilizado depende de la rugosidad de la superficie a partir del número de Manning, del área de la subcuenca, de la pendiente y del ancho de ésta y cuyos valores elegidos para este estudio se basan en los expuestos en la tabla siguiente:

Tabla 4. Valores adoptados para el coeficiente de Manning

Tipo de superficie	n
Áreas pavimentadas	0.015
Áreas con cobertura vegetal	0.020

donde la parte impermeabilizada de cada subcuenca se asocia un valor de 0.015 y su parte permeable un valor de 0.020.

2.2 Hidráulica. Ecuaciones de *Saint Venant*

El modelo de cálculo hidráulico se basa en las ecuaciones de Jean Claude Saint-Venant (1871). Dichas expresiones gobiernan el problema del flujo transitorio unidimensional en lámina libre, considerando una mínima simplificación de las ecuaciones fundamentales de la hidráulica (ecuación de continuidad y de cantidad de movimiento) en un flujo variable en el tiempo y con cierta compresibilidad.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \cdot A \cdot \left(\cos \theta \frac{\partial y}{\partial x} - S_o + \frac{Q|Q|}{K^2} \right) = 0$$

donde:

Q es el caudal del flujo en m³/s

A es la área transversal de la sección en m²

g es la aceleración de la gravedad en m/s²

θ es el ángulo de la rasante respecto a la horizontal en grados sexagesimales (°)

S_o es la pendiente de la rasante en m/m

K es constante que hace referencia al transporte del flujo

Respecto a la transferencia del flujo por los colectores de la red de saneamiento se resuelven empleando la expresión de Manning derivada de la sustitución de la formula Chézy.

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

donde:

C es el coeficiente que deriva de la fórmula de Chévy [$v = C \sqrt{R \cdot S}$]

n es el coeficiente de rugosidad o Manning en m.

R es el radio hidráulico en m.

S es la pendiente de la línea de agua o gradiente hidráulico en m/m.

A es el área de la sección del flujo de agua en m².

V es la velocidad media del agua en m/s

Los valores n para los materiales empleados se definen a partir de valores dados por la “Normativa de saneamiento de la ciudad de Valencia” (2015).

Tabla 5. Valores del coeficiente de Manning (n) en los materiales empleados en la red de estudio. Fuente: Normativa de saneamiento de la ciudad de Valencia (2015)

Material empleado	n
Hormigón	0.015
PVC	0.010
PEAD	0.010
Ribloc	0.010
Obra de fabrica	0.015

2.3 Pluviometría

2.3.1 Hietograma de diseño T= 25 años

Por normativa municipal, toda red de saneamiento debe cumplir los niveles de protección exigidos para las aguas pluviales caídas en la ciudad de Valencia correspondientes a un periodo de retorno adoptado de 25 años. Esta elección es debido al carácter tipo del aguacero extremo ubicado en área mediterránea, caracterizado por muy bajas intensidades para bajos periodos de retorno, pero muy altas para periodos de retorno medios y altos. Todo ello reflejado en la “Normativa para obras de saneamiento de la ciudad de Valencia, año 2015”.

Dicha normativa señala, derivada de los datos registrados en el pluviógrafo de Viveros entre los años 1951 y 1993 y para un periodo de retorno de 25 años, la curva IDF a emplear en la Ciudad de Valencia.

$$I = 157.2 - 2.645d + 0.02662d^2 - 0.0001122d^3$$

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

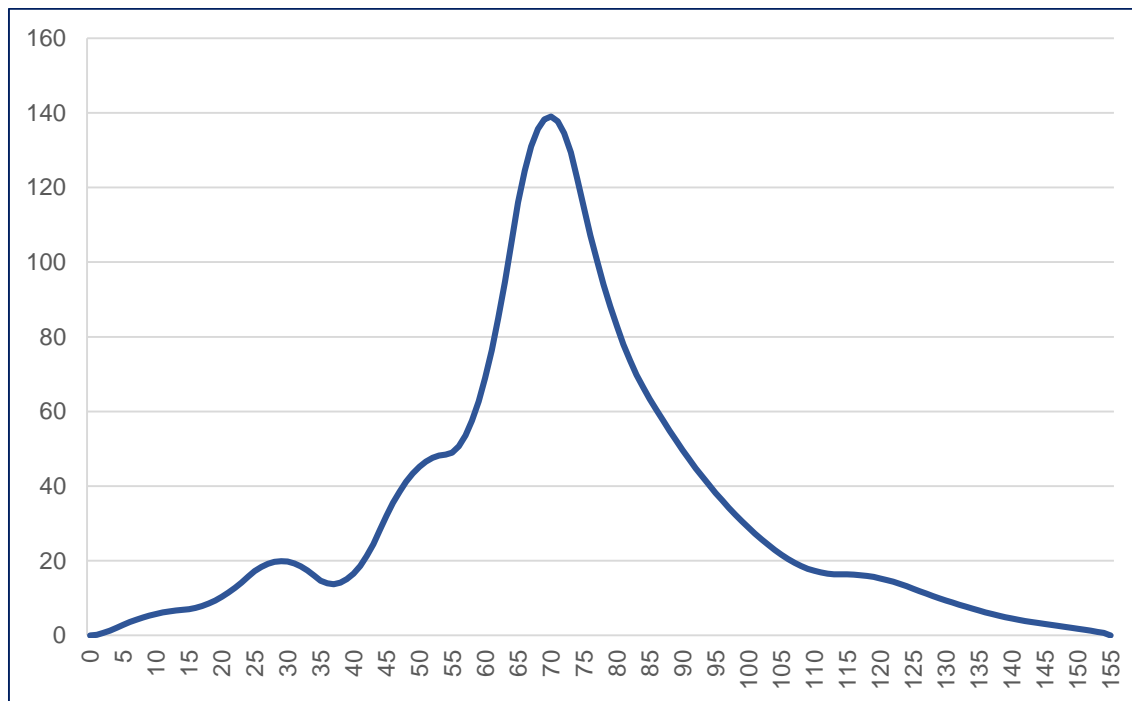
Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

donde:

I es la intensidad de la lluvia en mm/h

d es la duración de la lluvia en mm/h

En este estudio se emplea un hietograma por bloques alternos de 10 minutos suavizados cada minuto basado en la curva ID anterior:



Gráfica 1. Hietograma de diseño para T = 25 años

2.3.2 Serie histórica de la ciudad de Valencia

Trabajar a partir de información histórica sobre eventos de lluvia ocurridos permite analizar los procesos de transformación lluvia/caudal y considerar los cálculos hidráulicos pertinentes para lograr un diseño adecuado de la red de drenaje que contemple todos los escenarios posibles con una respuesta eficiente y rápida.

En este estudio, el objetivo buscado con el empleo de la serie histórica es valorar el comportamiento del sistema tras el cambio que se experimenta en la red con la incorporación de sistemas sostenibles. Estimar el valor del volumen de escorrentía asociado a cada chaparrón para posteriormente realizar un estudio estadístico en condiciones de partida, y luego con la implementación de sistemas de drenaje sostenible, permite apreciar las variaciones dentro del sistema. Frente a la compleja configuración que presenta la red actual, tan sólo se analiza la cantidad de volumen de escorrentía que se genera en superficie con la serie temporal que abarca

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

un periodo de 17 años entre 1990 y 2006. Los datos proceden de la estación del SAIH de la CHJ en Valencia.

2.4 Condiciones climáticas. Evaporación

Es conveniente considerar la tasa de evaporación, es decir, el proceso de transformación que sufre el agua presente en el medio de estado líquido a vapor. Este factor es clave para la simulación continua del periodo extendido 1990-2006, ya que debe existir un mínimo de descanso entre chaparrones, es decir, transcurrir un intervalo de tiempo suficiente para que el suelo se seque. Si no ocurre esto, la capacidad de almacenamiento del suelo se verá comprometida, pudiéndose ver reducida considerablemente hasta suponer la total sobresaturación del suelo y con ello, la producción de un exceso de volúmenes de escorrentía mayores a los reales.

Para estimar el valor mensual de evaporación del suelo en el área de estudio se emplea la siguiente expresión:

$$ET = ET_0 \cdot K_c$$

donde:

ET es el valor de evapotranspiración real en mm/día

ET₀ es el valor de evapotranspiración de referencia o potencial del suelo del suelo en mm/día

K_c es el coeficiente del cultivo

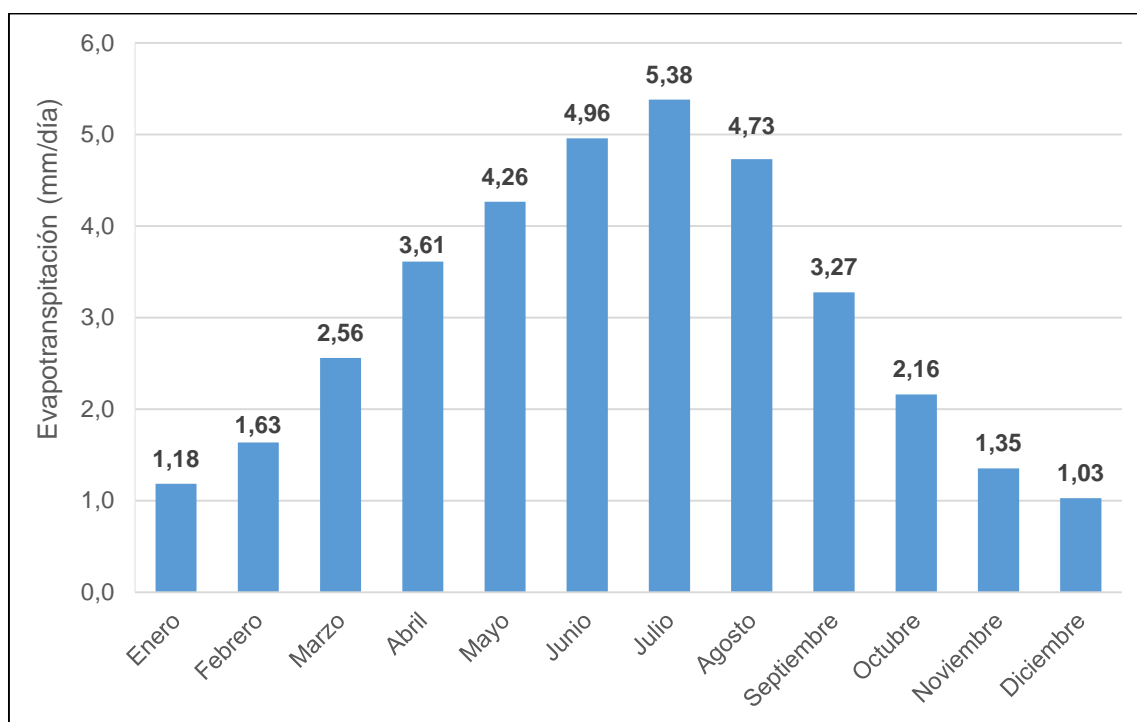
Como se actúa dentro de un área urbana muy consolidada y muy impermeable, el valor de K_c es 1 es razonablemente aproxima a la realidad coincidiendo por tanto los valores de evapotranspiración de referencia o potencial (ET₀) con los valores de evapotranspiración real.

$$ET = ET_0$$

Los datos son extraídos del registro de la estación de Moncada del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), entre los años 1999 – 2006.

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)



Gráfica 2. Valores mensuales de evaporación implementado en el modelo de simulación. Fuente: Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA).

2.5 Descripción de la herramienta de cálculo

Para la realización de este estudio se ha procedido a utilizar tres software de libre distribución interrelacionados entre sí: GISWATER, EPA SWMM y QGIS.

Primero, Giswater actúa como driver informático que conecta cualquier base de datos georreferenciada con un programa de análisis hidráulico, permitiendo la gestión integral de ciclo del agua dentro una cuenca urbana. Básicamente, la arquitectura que define la base de datos es una topología arco-nodo, es decir, a partir de una serie de catálogos implementados en este software, que caracterizan los distintos elementos del sistema a crear, se vuelca sobre un archivo SIG. Este sistema de información geográfica que está gestionado mediante la herramienta QGIS, facilita la organización de los datos para crear el modelo de simulación que está vinculado, a su vez con el programa de análisis hidráulico.

Respecto a Stormwater Management Model o EPASWMM (modelo de gestión de aguas pluviales) actúa como software hidráulico que posibilita la simulación de precipitaciones, tanto de eventos de lluvia puntuales como una serie continua de ellos durante un periodo de tiempo determinado. Su esquema de trabajo facilita la simulación de calidad y cantidad de aguas pluviales en cuencas urbanas a partir de modelos de producción de escorrentía superficial y un modelo de transporte de escorrentía que proporciona un análisis de la evolución en cantidad y calidad de las aguas de escorrentía en cada cuenca definida así como otros parámetros como

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

caudales, niveles de agua en nodos, velocidades en conductos... durante distintos periodos de tiempo. Una vez realizada la simulación se posibilita un análisis detallado del comportamiento de la red de estudio, visualizando figuras graficas (perfiles longitudinales y gráficas) e informes de simulación.

En cuanto a QGIS, es un sistema de información geográfica de código libre para distintas plataformas (OS Mac, Windows, Android...) con la finalidad de facilitar la interconexión con diferentes bases de datos georreferenciadas a partir del manejo de formatos ráster y vectoriales a través de las bibliotecas GDAL y OGR, así como sus propias bases de datos.

3. Análisis de escenarios de simulación

En esta sección, a través del diagnóstico de la red bajo los dos escenarios analizados, se realiza un examen íntegro del comportamiento hidráulico e hidrológico del sistema para conocer, su puesta en marcha durante un evento de lluvia y funcionamiento, para luego decidir qué actuaciones considerar a partir de elementos más sostenibles.

3.1 Escenario 1. Cumplimiento de la ordenanza municipal

Toda red diseñada y puesta en funcionamiento dentro de la ciudad de Valencia debe cumplir las exigencias establecidas por la "Normativa para obras de Saneamiento y Drenaje Urbano de la ciudad de Valencia" (2015) para el periodo de retorno de 25 años.

Las opciones de cálculo que se perfilan para este escenario son, como se explica en apartados anteriores, un proceso lluvia-escorrentía con un modelo de producción basado en el Número de Curva y un transporte que emplea el modelo de Onda Dinámica, para tener cierto control sobre el método de cálculo. El intervalo de cálculo es de 2 segundos para una información pluviométrica de 1 minuto de resolución a partir de los datos aportados por el hietograma de entrada de la lluvia del periodo de retorno de 25 años, obtenido un error de continuidad de -0.014%, prácticamente insignificante. Considerar que no existe influencia de la evaporación en esta simulación porque el chaparrón tiene una duración menor a un día.

Hidrológicamente, los datos de volumen obtenidos tras la simulación revelan que casi la totalidad de las aguas precipitadas se convierten en escorrentía superficial frente al volumen que se almacena e infiltra en el terreno.

Tabla 6. Volumen total generado (mm) en T= 25 años.

ESCORRENTIA	ALMACENAMIENTO	INFILTRACIÓN
83,6	1,4	0,8
97,4%	1,6%	0,92%

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

3.1.1 Comprobación de velocidades

El análisis del comportamiento hidráulico de los tramos de colector debe verificar la velocidad alcanzada a lo largo de toda la red. Este es debido a que una velocidad muy baja puede ocasionar el taponamiento del colector por sedimentación de materia orgánica y partículas suspendidas arrastradas por las aguas y una velocidad excesiva puede erosionar las paredes de éste ocasionando una posible fisura, e incluso su rotura total. Al tratarse de un sistema unitario recoge criterios de velocidad tanto para aguas pluviales como para aguas residuales.

Tabla 7. Criterios de velocidad en sistemas unitarios. Fuente: “Normativa para obras de Saneamiento y Drenaje Urbano de la ciudad de Valencia” (2015).

	Velocidad máxima	Velocidad mínima
Q_{25}	4 m/s	1.2 m/s
Q_r		0.4 m/s ^(*)

(*) Para asegurar la condición de auto limpieza de los tramos de cabecera en los que existe cierta dificultad para alcanzar estos valores se establece un mínimo de 0.3 m/s.

Como se muestra en la figura 6 la mayoría de los colectores, en el momento de mayor carga del sistema (1:15:00), cumplen con los criterios de la tabla 6 bajo un promedio de velocidad del flujo circulante de 1,44 m/s. Sin embargo, destacar la existencia de ciertos tramos de cabecera donde las velocidades son inferiores al límite mínimo de 0.3 m/s. Este hecho se origina en algunos de ellos por falta de cota o por ser tramos que aprovechan la antigua red de acequias para transferir los flujos a la red de colectores actual ubicada entre las calles Sueca y Puerto Rico.

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

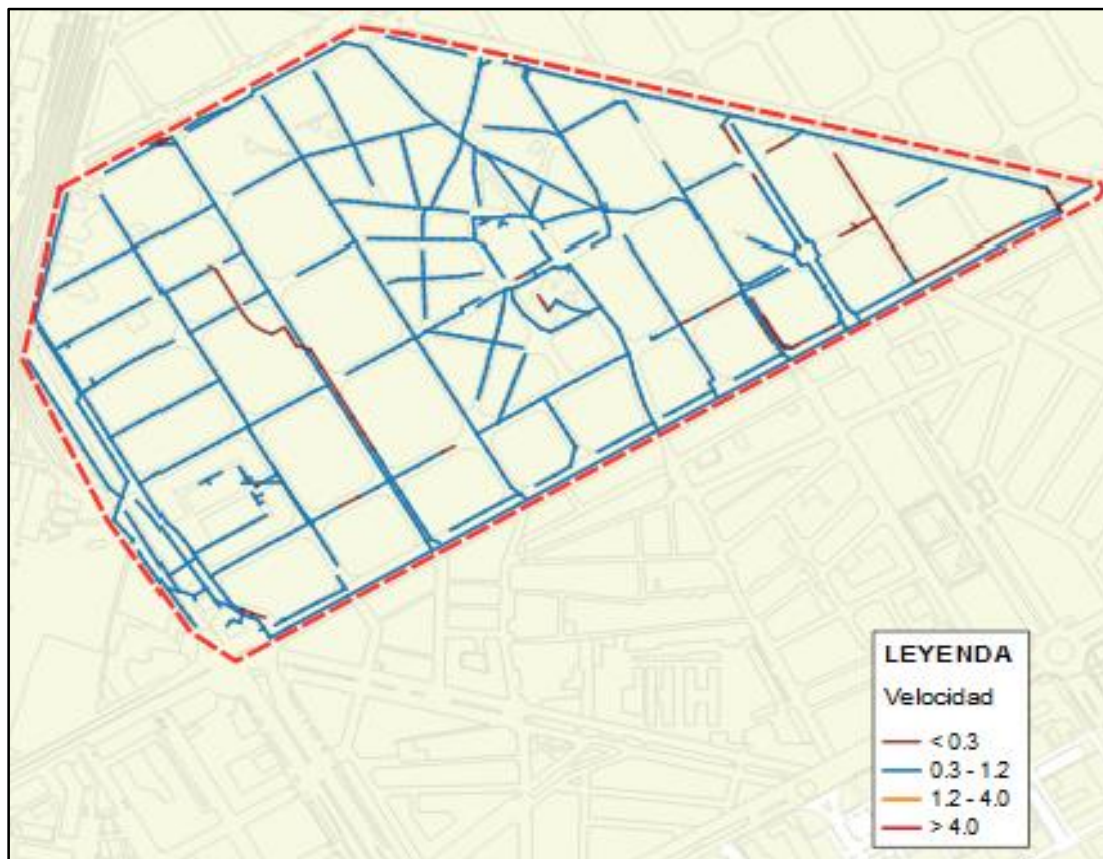


Figura 6. Velocidad de los tramos de la red de estudio

3.1.2 Sobrecarga de colectores

La capacidad de los tramos de cada conducto, es decir, la relación entre el nivel de la lámina de agua en el tramo del conducto y su diámetro o altura máxima, en el caso de secciones no circulares, se define con la siguiente expresión:

$$NS = \frac{ZP - ZR}{h}$$

donde:

ZP es la cota máxima del piezómetro en el tramo o nivel de la lámina de agua, en el caso de que funcione en lámina libre en m.

ZR es la cota de la rasante del conducto en m.

H es la altura de la sección del conducto en m. El diámetro en secciones circulares y la altura máxima en secciones rectangulares o irregulares.

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

Tabla 8. Intervalos de evaluación de sobrecarga de un colector

$0 < NS < 0.8$	Funcionamiento CORRECTO
$0.8 < NS < 1.0$	Funcionamiento ÓPTIMO
$NS \geq 1$	Funcionamiento DEFICIENTE

Bajo las condiciones en el momento de máxima carga de la red, se puede observar en la figura 7 que parte de los tramos funcionan de manera óptima (rectas amarillas), luego algunos de forma correcta (rectas verdes y azules claro) y resaltar la entrada en carga de un numero destacado de colectores (rectas rojas). Este fenómeno aparece porque muchos de esos tramos tienen contrapendientes y puntos bajos respecto a los nodos que le rodean que dificultan la evacuación de las aguas, recogiendo gran parte del volumen de los tramos de cota superior.



Figura 7. Capacidad de los tramos de colector de la red de estudio

También para estudiar el comportamiento de estos tramos sobrecargados es conveniente verificar bajo el criterio de línea de energía, que dicha línea de energía no supere la cota del terreno. Esta comprobación parte de emplear el método de Onda Dinámica para el cálculo hidráulico. Después de analizar los perfiles longitudinales de los tramos críticos (rectas rojas) ninguno de ellos tiene sus líneas de energía superiores a la cota del terreno.

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

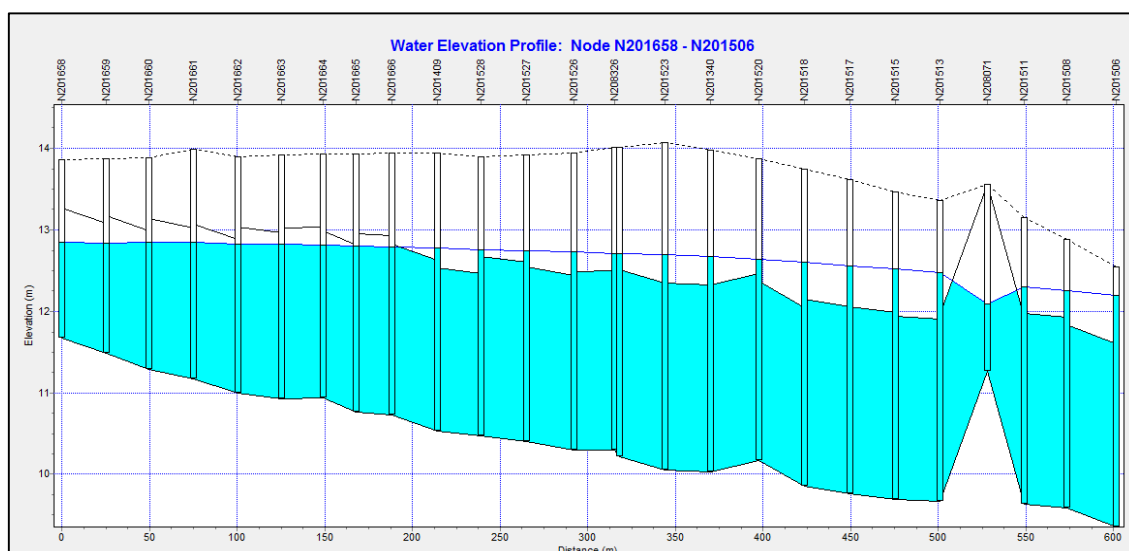


Figura 8. Ejemplo de tramo de colectores con contrapendiente entre los nodos N201658 y 201506

3.1.3 Diámetros mínimos

Según la “Normativa para obras de Saneamiento y Drenaje Urbano de la ciudad de Valencia” (2015) para eludir atascos y posibilitar las tareas de mantenimiento y limpieza de los diferentes tramos de colectores de la red de saneamiento, se determinan valores para los diámetros mínimos de la red. En el caso de sistemas unitarios, independientemente del material empleado, el valor mínimo es de 335 mm.

Como se puede observar en la figura 9, la mayoría de los tramos de colectores existentes cumplen con el diámetro mínimo establecido, excepto en ciertos tramos de cabecera dentro del parque de Manuel Granero, principio de la calle Denia, finales de la Avinguda de les Filipines y partes intermedias de colectes ubicados en zonas peatonales. La normativa recoge que << (...) los técnicos municipales del Ciclo del Agua podrán decidir/autorizar la aplicación de un material, diámetro o sección de zanja en función de criterios constructivos, de explotación, mantenimiento o compatibilidad con infraestructuras o servicios existentes (...) >>, lo que hace suponer que deben estar autorizados a la espera de ser sustituidos por otros que si cumplan.

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)



Figura 9. Clasificación por diámetros de tramos de colector de la red de estudio

3.1.4 Inundación de nodos

En relación a los nodos del sistema, identificados por los pozos de registro, se cuantifica un volumen de entrada en ellos de 56.926 m³ de los cuales 17.133 m³ (30,09%) son expulsados al exterior como pérdidas por inundación de nodos. Se identifican valores inferiores de 0.5 m³ (puntos verdes) coincidentes con nodos de entrada a tramos resaltados como sobrecargados como se refleja en el apartado 3.1.2 y valores superiores a 1.0 m³ que coinciden también con nodos enlazados con tramos sobrecargados que a su vez desaguan en el colector principal de la Avenida Peris i Valero. Se observa una sobresaturación por la recepción de flujo superior a la capacidad real de estos puntos de conexión.

*****	Volume	Volume
Flow Routing Continuity	hectare-m	10 ⁶ ltr
*****	-----	-----
Dry Weather Inflow	0.000	0.000
Wet Weather Inflow	5.692	56.924
Groundwater Inflow	0.000	0.000
RDII Inflow	0.000	0.000
External Inflow	0.000	0.000
External Outflow	3.477	34.774
Flooding Loss	1.713	17.133
Evaporation Loss	0.000	0.000
Exfiltration Loss	0.000	0.000
Initial Stored Volume	0.000	0.000
Final Stored Volume	0.480	4.805
Continuity Error (%)	0.374	

Figura 10. Resultados hidráulicos de la simulación T = 25 años.

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

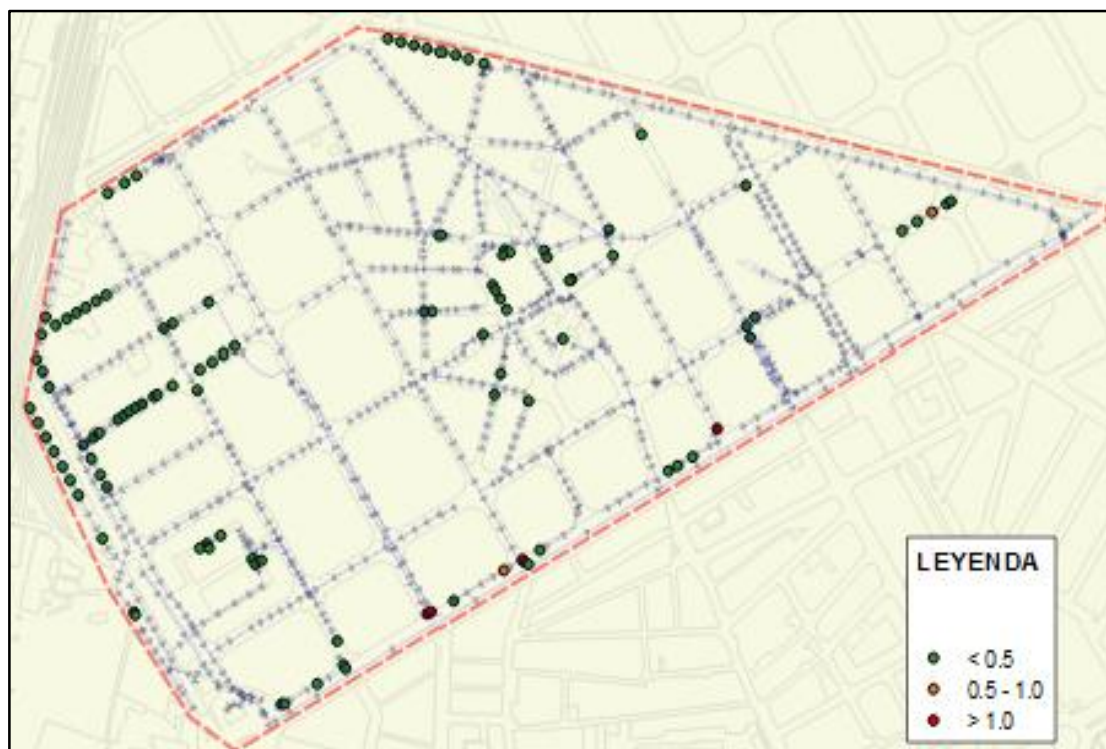
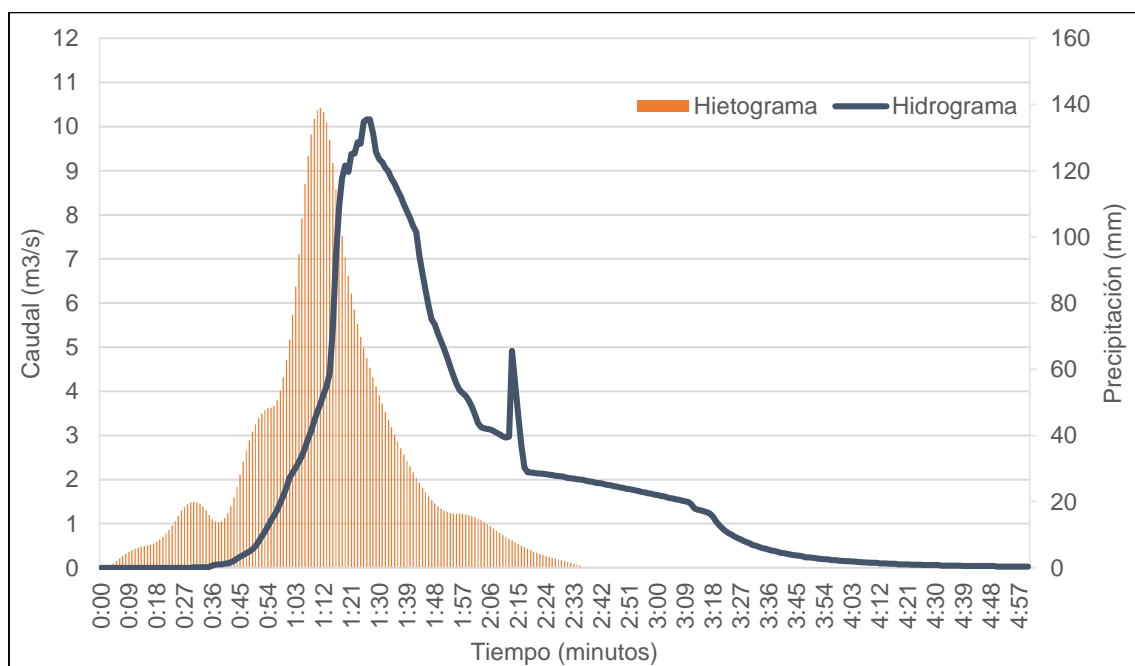


Figura 11. Volumen de inundación en m³

En el punto de salida del sistema ubicado en el cruce de Avinguda del Regne de Valencia con Avinguda Peris i Valero, se registran de forma llamativa dos caudales pico en este escenario: uno de 10,2 m³/s y otro de 4,9 m³/s.



Gráfica 3. Hidrograma asociado de tormenta a la lluvia de 25 años.

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

El primero corresponde al volumen de agua captado y transportado correspondiente a la lluvia caída hasta ese momento, anterior a 01:27:00 h. El segundo es como consecuencia de la acumulación de las aguas recogidas en los puntos bajos del sistema, que nuevamente se incorporan hacia la salida de éste. Debido a la existencia de tramos con contrapendientes y puntos con insuficiente cota se impide una correcta evacuación de las aguas que se acopian hasta que nuevamente el nivel del agua sea suficiente para sobrepasar la barrera física y sigan fluyendo hasta el desagüe.

3.2. Escenario 2. Serie histórica (1990-2006)

Uno de los objetivos de este estudio es evaluar de forma cuantitativa la mejora del sistema de drenaje de una zona altamente impermeabilizada tras la implantación de diferentes elementos SuDS que regeneren la permeabilidad al terreno y por tanto supone una mayor infiltración. Para lograr apreciar esta diferencia se procede al estudio del balance volumétrico que se genera en una cuenca urbana a lo largo de una serie histórica de 17 años (1990-2006) con un total de 464 eventos. De este modo se extrae cuánta agua precipitada se convierte en escorrentía superficial, es infiltrada o almacenada para luego asociar una probabilidad de ocurrencia a cada evento.

Como ocurre anteriormente, las opciones de simulación y del modelo deben ser adaptadas a los datos que se emplean para esta simulación. La información pluviométrica se incrementa a 5 minutos en vez de 1 minuto por motivos computacionales, obtenido un error de continuidad de -1.020%, que sigue siendo igualmente aceptable. Esta modificación se realiza para conseguir tratar un número elevado de eventos de lluvia en el que no se necesita un grado de precisión elevado en el cálculo hidráulico ya que se descarta para este escenario, sino para ganar agilidad en los cálculos oportunos.

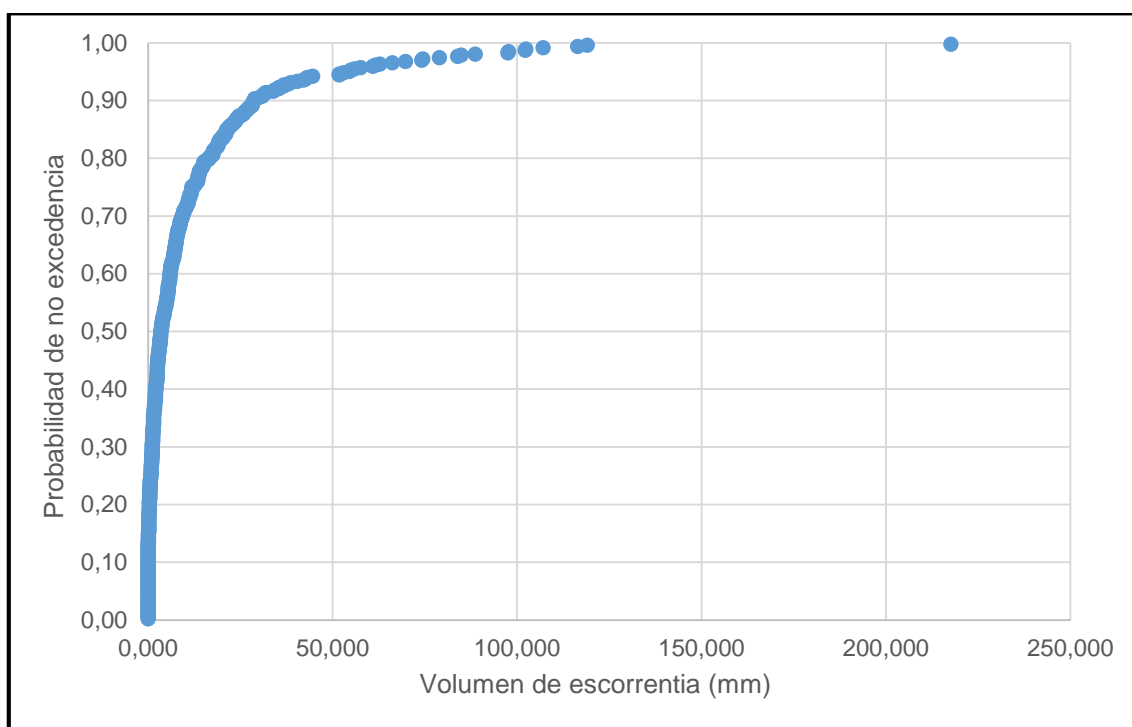
Igualmente que en la simulación del periodo de 25 años, los resultados siguen reflejando la misma pauta de comportamiento, es decir, el agua precipitada en la cuenca se convierte en una proporción elevada en escorrentía superficial que luego debe ser recogida por la red de drenaje. Destacar una baja infiltración del terreno, influenciada seguramente por el alto porcentaje de arcillas presentes en el medio natural y las numerosas superficies impermeables, que limitan la filtración de las aguas precipitadas, además de no permitir su almacenamiento.

Tabla 9. Balance volumétrico (mm) en la serie histórica 1990-2006

ESCORRENTIA	EVAPORACIÓN	INFILTRACIÓN	ALMACENAJE
5265,2	1123,3	133,5	0,1
80,9%	17,3%	2,1%	0,002%

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)



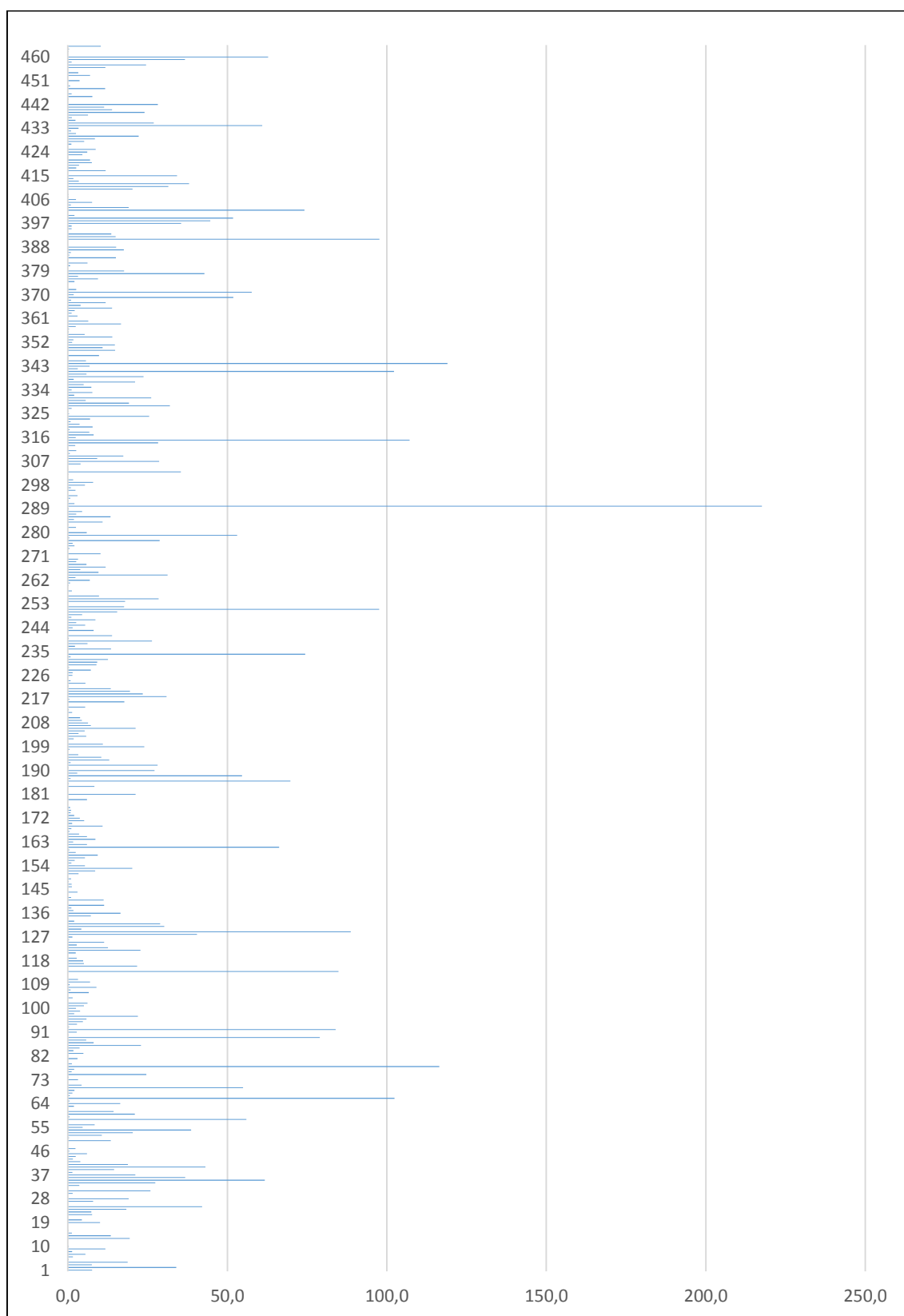
Gráfica 4. Probabilidad de no ocurrencia de un evento de lluvia

En lo que respecta a las gráficas 4 y 5, donde se asocia una probabilidad de no excedencia y se particularizan los datos volumétricos para cada evento a lo largo de la serie histórica respectivamente, distinguir el hecho de que antes del comienzo de la reurbanización de zona de estudio (anterior al evento 380) predominan lluvias con una producción de escorrentía alrededor de 50 mm con una probabilidad de ocurrencia del 90% frente a lluvias con carácter torrencial con picos máximos que pueden llegar a alcanzar casi 250 mm. Tras el comienzo de la reurbanización del barrio en el año 2000 se aprecia un incremento de escorrentía asociado a eventos de precipitación que antes producían menor volumen y que ahora debido al aumento de impermeabilización generan más.

Los eventos con probabilidad de ocurrencia inferior a 10% correspondientes a lluvias de carácter torrencial siguen destacando con picos importantes pero todavía más pronunciados con superiores cuantías de escorrentía y en un intervalo de tiempo menor que desencadenan, si se analizara hidráulicamente el sistema como en el apartado 3.1, con inundaciones locales por problemas de sobrecarga de la red de colectores actual.

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)



Gráfica 5. Volumen de escorrentía generado en la cuenca vertiente asociado a cada evento de la serie histórica

Anejo 3. Diagnóstico de la situación actual

Estudio de Alternativas para la implantación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)

4. Conclusiones

Con el análisis actual del sistema de drenaje destacar diversos aspectos tanto hidráulicos como hidrológicos.

Durante la lluvia del periodo de retorno de 25 años, la respuesta hidráulica de la red actual cumple con las exigencias marcadas por la “Normativa para obras de Saneamiento y Drenaje Urbano de la ciudad de Valencia” (2015) pudiendo destacar aspectos concretos que pueden ser mejorados para alcanzar una respuesta más eficiente del sistema. El aumento progresivo de los últimos años de áreas impermeables y la escasez de espacios verdes han favorecido a la conversión de gran parte de la precipitación caída en escorrentía superficial, como se refleja en el escenario 2 con más del 80% del agua precipitada escurriendo por las calles. El terreno no tiene suficiente capacidad de infiltración y almacenamiento produciendo excesos de volumen en superficie que deben de ser captados y transportados en su totalidad por la red actual de drenaje convencional. La capacidad del sistema está condicionada con tramos de colector que presentan contrapendientes y tamaño de diámetros insuficientes, sobretudo en tramos de cabecera, que favorezcan la entrada en carga de éstos y por consiguiente no responde correctamente. Con la serie histórica se aprecia mejor este hecho ya que con las últimas reurbanizaciones del barrio han agravado todavía más esta situación. Bajo eventos de alta intensidad se producen caudales picos superiores, cada vez más dañinos por originar más volumen en menos tiempo y que no son bien evacuados de las calles pudiendo causar la inundación ocasional de nodos, y con ello de nuevo las propias superficies. En resumen, la red presenta una respuesta adecuada que cumple suficientemente con la normativa actual aunque puede ser acrecentada para lograr un mayor rendimiento del sistema.

La solución habitual en estos casos sería el redimensionamiento de toda o parte de la red de drenaje que presenta deficiencias con la modificación de diámetros, pendientes..., entre otras medidas que permitan alcanzar una mejor respuesta del sistema. Sin embargo, la propuesta de este estudio es complementar dicha red con elementos SuDS con el objetivo de descender los volúmenes de escorrentía generados a partir de la sustitución de áreas impermeables por otras con mayor permeabilidad. Estas áreas facilitarán en mayor medida la captación y retención de las escorrentías rebajando la posibilidad de inundaciones y avenidas con un efecto laminador además de mejorar la capacidad de respuesta del sistema convencional que se verá menos colapsado. También ayudará a incrementar la presencia de mayor número de zonas verdes dentro del entorno urbano creando espacios más agradables y menos contaminados.