

ANEJO 5

PROPUESTA DE MEJORAS

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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

Índice

1. Objeto	3
2. Cálculo del volumen de almacenamiento en SuDS	8
3. Configuración del modelo de un elemento SuD.....	3
3.1.1 Combinación de capas en los elementos SuDS	5
3.1.2 Parámetros de cálculo de las capas del modelo.....	6
3.2 Descripción de propuestas.....	9
3.2.1 Propuesta 1. Pavimento permeable	10
3.2.2 Propuesta 2. Zonas de biorretención	10
3.2.3 Propuesta 3. Cubierta verde o sistema de recogida	13
3.2.4 Propuesta 4. Zanjas filtrantes.....	14
4. Análisis comparativo	16
4.1 Escenario 1. Comprobación del cumplimiento de la ordenanza municipal	16
4.2 Escenario 2. Serie Histórica	18
5. Conclusión del estudio	21

1. Objeto

Este anejo describe de forma detallada diferentes elementos SuDS que se proponen implantar de forma suplementaria a la red de drenaje actual. Previamente a definir cada uno de los elementos, se caracteriza una nueva configuración de suelo urbano y se calcula el área total que ocuparán dentro de la zona de estudio. Nuevamente, se puntualizan las opciones de simulación de los escenarios y se introducen los parámetros utilizados para establecer las características de diseño que conforman cada una de las capas de las técnicas de drenaje propuestas. Bajo los mismos escenarios de análisis del anejo 3, se estudia el comportamiento de la nueva red mixta de drenaje para apreciar las diferencias de volúmenes generados así como exponer los beneficios técnicos, económicos, sociales y medioambientales que aporta al sistema integro.

2. Configuración del modelo de un elemento SuDS

Convencionalmente, el suelo urbano se configura en dos fracciones: una zona permeable ($A_{\text{permeable}}$), la cual se encarga de infiltrar parte del agua retenida en superficie a través de los huecos de su estructura, para posteriormente ser almacenada; y una zona impermeable ($A_{\text{impermeable}}$), que no permite el paso del agua sino que la convierte en escorrentía que va fluyendo hasta ser recogida nuevamente por la fracción permeable o por el sistema convencional de drenaje, consiguiendo evacuarla fuera de las calles lo antes posible.

Ecuación 1

$$A_{\text{total}} = A_{\text{permeable}} + A_{\text{impermeable}}$$

Sin embargo, la proporción entre ambas áreas se ha desequilibrado en los últimos años. El aumento progresivo en núcleos urbanos de la fracción impermeable junto con episodios de lluvia torrenciales provoca mayores inundaciones por exceso de escorrentía superficial que no son bien gestionados correctamente por los sistemas de drenaje convencionales. Éstos, anticuados y diseñados de forma sobredimensionada, hacen que no se responda bien ante estas circunstancias emergiendo los defectos de la red desde el punto de vista hidrológico e hidráulico.

A lo largo de este estudio, la alternativa propuesta ante esta problemática son elementos SuDS. Su incorporación a la red actual supone una modificación del concepto “suelo” pues parte de la superficie total es destinada a ellos caracterizándose por una alta permeabilidad que posibilita mayor detención, infiltración y evapotranspiración del agua superficial (A_{SuDS}). Trata una proporción superior de escorrentía sin abandonar a la red actual jugando de forma conjunta en el caso de exceso de volúmenes, que no puedan ser gestionados ni por las zonas permeables ni por los SuDS.

Ecuación 2

$$A_{\text{total}} = A_{\text{permeable}} + A_{\text{impermeable}} + A_{\text{SuDS}}$$

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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

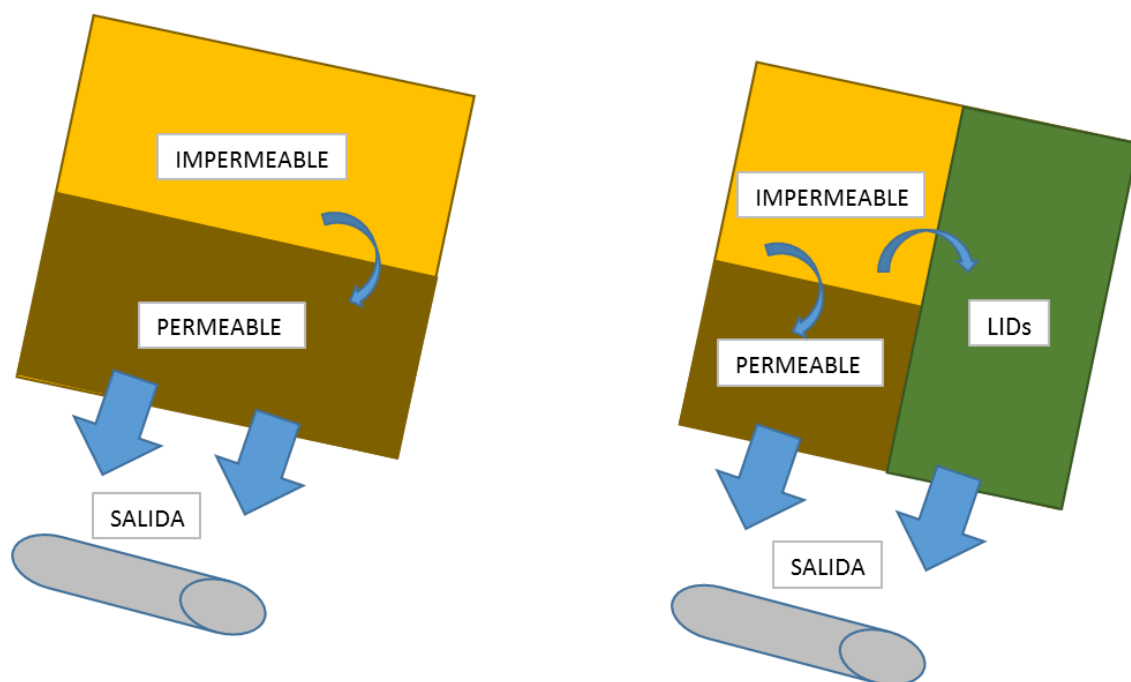


Figura 1. Esquema general del suelo urbano sin y con modificación de la superficie

Una vez presentada la redistribución de la superficie en cuanto áreas que representa SuDS dentro la subcuenca urbana, se conceptualiza el almacenamiento y los flujos de éste en el modelo de capas que adopta el software empleado para este estudio, EPASWMM.

De forma simplificada, la estructura interna de estos elementos se configura a partir de una combinación de capas verticales que reúnen los parámetros necesarios para definir las propiedades básicas de cada capa reproduciendo su comportamiento dentro del modelo de infiltración. Las posibles capas que se pueden considerar para cada combinación son:

Superficie: Correspondiente al terreno superficial que recibe directamente la lluvia o flujos de las áreas de aguas arriba almacenando los excesos de flujos en las depresiones superficiales además de actuar como desagüe de la propia superficie hacia el sistema de drenaje más cercano o áreas de aguas abajo.

Pavimento: Capa de hormigón o asfalto de alta porosidad usada en pavimentos permeables continuos o material de pavimentación de bloques con relleno de los pavimentos modulares.

Suelo: Mezcla de tierra vegetal y tierra *in situ* utilizada como apoyo para el crecimiento de la vegetación de los distintos elementos SuDS. Propicia la infiltración de agua a capas inferiores. También corresponde a una capa de arena colocada bajo de un pavimento permeable para amortiguar las tensiones de carga transmitidas de la superficie.

Capa de almacenamiento: Lecho de roca o gravas que proporciona el almacenamiento de las aguas infiltradas de capas superiores.

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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

Capa de drenaje: Simula la transmisión del agua retenida en la capa de almacenamiento a una tubería que permite la salida de ésta para su evacuación al sistema convencional con menor carga de contaminante, o para su posterior reutilización.

Material drenante: Espesor de cierto material colocado entre capas de almacenamiento y una cubierta verde. Su objetivo es transportar el agua que drena a través de la capa de suelo fuera de la cubierta.

Existen diferentes combinaciones de capas para cada tipología con parámetros que definen cada una de las capas que lo conforman. A continuación apartados 3.1.1 y 3.1.2 se presentan las combinaciones posibles entre elementos y los parámetros de cada capa, respectivamente.

2.1.1 Combinación de capas en los elementos SuDS

Se definen a continuación los parámetros que definen cada una de las capas del modelo:

Tabla 1. Combinación de capas para las tipologías SuDS

TIPOLOGIA SUDS	TIPO DE CAPA					
	SUPERFICIE	PAVIMENTO	SUELO	ALMACENAMIENTO	DRENAJE	MAT. DRENANTE
Área de biorretención / arboleda	X		X	X	O ¹	
Superficie Permeable	X	X	O ²	X	O ¹	
Cubierta verde	X		X			X
Pozo, trinchera o banda filtrante	X			X	O ¹	
Humedal artificial	X		O ²			
Estanque/laguna filtrante	X		O ²			

¹ La capa “Drenaje” no se contempla en aquellos casos donde sea posible su utilización. Este estudio solo se contempla la captación, retención y sobretodo almacenamiento de las aguas superficiales.

² La capa “Suelo” solo es considerada en pavimentos permeables modulares donde puede existir un relleno con tierra vegetal para presencia de vegetación o en superficies extensas como humedales, estanques o lagunas, que alberguen un hábitat localizado con flora y fauna. En este

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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

estudio, al no considerar el drenaje del agua captada se contempla la existencia de una capa de poco espesor para contabilizar el volumen almacenado.

2.1.2 Parámetros de cálculo de las capas del modelo

Tabla 2. Parámetros de la capa SUPERFICIE

SUPERFICIE			
Value 2	=	V2	Altura de las bermas o a la que el agua puede estancarse por encima de la superficie antes de que se produzca un desbordamiento. Puede ser el almacenamiento en depresión, en el caso de que circule flujo superficial o espesor de la sección transversal en mm.
Value 3	=	V3	Volumen dentro de la profundidad de almacenamiento rellena con vegetación. Volumen de tallos y hojas, no la superficie de cobertura vegetal. Puede ser ignorado o en casos que abunde mucho considerar entre 10-20%.
Value 4	=	V4	Rugosidad de la superficie. Coeficiente de manning "n" sobre la superficie que fluye el agua. Solo se considera para pavimentos permeables o estanques vegetados. En el resto, el valor es 0
Value 5	=	V5	Pendiente de la superficie de los pavimentos permeables o estanques vegetados en tanto por uno. En los casos en los que la rugosidad de la superficie o los valores de superficie de la pendiente tienen el valor de 0, el agua superficial estancada que supera la profundidad de almacenamiento se desborda, siendo escorrentía superficial.
Value 6	=	V6	Pendiente de las superficies transversal en tanto por uno. Cociente entre el alto y el ancho. Considerada en pavimentos permeables o estanques vegetados. En el resto, el valor es 0.

Tabla 3. Parámetros de la capa SUELO

SUELO			
Value 2	=	V2	Espesor de la capa de suelo en mm.
Value 3	=	V3	Volumen de huecos relativo al volumen total.
Value 4	=	V4	Capacidad de campo. Relación del volumen de agua en los poros con el volumen total después de que el suelo haya sido completamente drenado en tanto por uno.
Value 5	=	V5	Punto de marchitez. Volumen de agua de los poros en relación al volumen total de un suelo bien seco en el que sólo queda agua tan fuertemente retenida que no puede ser captada por las plantas en tanto por uno. El contenido de humedad del suelo no puede caer por debajo de este límite.
Value 6	=	V6	Conductividad hidráulica del suelo completamente saturado en mm/hr.
Value 7	=	V7	Pendiente media de la curva que relaciona la conductividad y la humedad del suelo en mm/h.

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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

Value 8	=	V8	Altura de succión. El valor medio de succión capilar del suelo a lo largo del frente húmedo en mm. Es el mismo parámetro que se usa en el modelo de infiltración Green-Ampt.
----------------	---	-----------	--

Tabla 4. Parámetros de la capa PAVIMENTO

PAVIMENTO			
Value 2	=	V2	Espesor de la capa de pavimento en mm.
Value 3	=	V3	Volumen de espacios vacíos en relación con el volumen de sólidos en el suelo para sistemas continuos o con el material de relleno utilizado en los sistemas modulares en tanto por uno.
Value 4	=	V4	Relación del material de pavimento impermeable con la superficie total. Valor de 0 para sistemas de pavimento poroso continuo.
Value 5	=	V5	Permeabilidad del hormigón o del asfalto que se utiliza en sistemas continuos o la conductividad hidráulica del material de relleno (grava o arena) que se utiliza en los sistemas modulares en mm/hora.
Value 6	=	V6	Valor que obstruye completamente el pavimento, es función de la escorrentía tratada y del índice de huecos. La colmatación reduce progresivamente la permeabilidad del pavimento en proporción directa con el volumen acumulado de la escorrentía tratado.

Tabla 5. Parámetros de la capa ALMACENAMIENTO

ALMACENAMIENTO			
Value 2	=	V2	Grosor de la capa de grava o material de relleno en mm.
Value 3	=	V3	Volumen de espacios vacíos en relación con el volumen de sólidos en la capa en tanto por uno.
Value 4	=	V4	Tasa de infiltración. Velocidad a la que el agua se infiltra en el suelo original por debajo de la capa de almacenamiento en mm/hora.
Value 5	=	V5	Volumen total de escorrentía tratada que se precisa para colmatar completamente el fondo de la capa de almacenamiento dividido por el volumen de huecos de dicha capa o número de capas antes de colmatarse del todo.

Tabla 6. Parámetros de la capa del material drenante

MATERIAL DRENANTE			
Value 2	=	V2	Espesor de la capa filtrante entre en la cubierta verde y la superficie de la azotea donde se instala en mm.
Value 3	=	V3	Cociente del volumen vacío respecto al volumen total de la capa.
Value 4	=	V4	Constante de Manning empleada para calcular la tasa de flujo horizontal del agua drenada a través de la capa en tanto por uno.

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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

3. Cálculo del volumen de almacenamiento en SuDS

La permeabilidad del terreno donde implantar los distintos SuDS, como se explica en el apartado 5.3.2 del anejo 4, es una característica fundamental que determina cuál es la capacidad de filtración del suelo, permitiendo cuantificar qué volúmenes pueden ser retenidos y cuáles almacenados por la capa de terreno destinada a dicha función. Lo habitual es que el terreno, que previamente es analizado por ensayos *in situ* o en laboratorio, se encuentre alterado y no cumpla con buenas condiciones de infiltración que son necesarias para una gestión eficiente de las escorrentías con elementos SuDS. Por ejemplo dentro del área de estudio prevalecen altas concentraciones de arcillas y limo frente a arenas que pueden impedir una buena filtración por la baja porosidad del terreno. Frente a este hecho las opciones que se presentan para solucionar esta carencia es mezclar la tierra *in situ* con suelos de mayor porosidad, u otra es directamente sustituir la totalidad del volumen por un relleno para lograr mayores rendimientos en retención y almacenamiento de las aguas superficiales.

Teóricamente, aparte de contemplar estos aspectos para alcanzar altos rendimientos dentro un área urbana consolidada y percibir la gestión de los volúmenes de escorrentía, es conveniente considerar un porcentaje mínimo de ocupación, entorno al 10-20 % de la superficie total donde se desea implantar, de lo contrario no se apreciará ningún efecto (Codolá, P). Como se expone en el apartado 5.3.2 del anejo 4, para lograr captar el máximo volumen de lluvia a la vez que se infiltra en el terreno se precisa determinar, por características geológicas, un volumen en depresión que permita el almacenamiento temporal de las aguas captadas y aumente el rendimiento de los SuDS (Codolá, P). Como la permeabilidad en el área de actuación es baja, la superficie destinada para implantar los SuDS, y alcanzar rendimientos relativamente elevados se contempla la mezcla del terreno natural con suelos alterados con alta porosidad o su sustitución total por éstos para aumentar rendimientos.

Para calcular el porcentaje de ocupación de los elementos SuDS (A_{SUD}) dentro del área de estudio (680.000 m^2) se emplea la expresión 3 del apartado 5.1.3 del anejo 4. Se considera un espesor mínimo de 0,4 metro y un terreno mezclado con suelos con contenido alto de gravas que aumenten la porosidad hasta que presente una porosidad mínima del 30% (Abellán, A.).

Tabla 7. Estimación del porcentaje de ocupación de los SuDS en función del volumen de escorrentía gestionado.

% A_{total}	A_{SUD}	$h \text{ (m)}$	e	$V_{almac} \text{ (m}^3\text{)}$
20%	136000	0,3	0,15	6120
30%	170000	0,3	0,15	9180
40%	204000	0,3	0,15	12240

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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

Este estudio propone la ocupación entorno al 30-40% del área de estudio, aproximadamente 180000 m² distribuido de forma homogénea con el empleo de distintos elementos SuDS que pueden llegar a retener hasta 10.300 m³.

4. Descripción de propuestas

Bajo los condicionantes que impone esta área sobre-urbanizada, compuesta por gran extensión de suelo edificado y calles consolidadas, escoger las actuaciones pertinentes que mejoren la captación, retención y almacenamiento de aguas pluviales caídas, además de no suponer una reorganización urbanística importante se presenta como un reto. El objetivo es incorporar elementos SuDS haciéndolos formar parte de la estructura existente, aprovechando zonas libres de ésta, para llegar a gestionar el máximo volumen de agua con la mínima ocupación. Para ello se decide elegir tipologías con cierta capacidad de almacenamiento para captar y retener el agua mientras se filtra de forma laminada con el paso del tiempo. Por ejemplo, tipologías que necesitan grandes dimensiones como estanques, lagunas o humedales, se presentan como las actuaciones más prometedoras pero su necesidad de ocupar bastante terreno para apreciar su efecto de laminación (> 10 ha) y sus exigencias de mantenimiento los convierte en una opción descartable por su difícil ubicación dentro de un barrio con falta de espacio y carencia de características hidrogeológicas (alta permeabilidad). Sin embargo el resto puede llevarse a cabo siempre y cuando sean analizadas y estudiadas.

A continuación, se presenta la propuesta de red de drenaje mixta describiendo con detalle cada elemento escogido. Se pretende proponer una combinación homogénea a lo largo del área de actuación aplicando la metodología expuesta en el anejo 4. Se contempla solo un elemento por subcuenca en la cual presenta un porcentaje inicial de saturación del suelo que depende del tipo de elemento que acoja y cuya escorrentía es totalmente gestionada por la parte permeable o por la parte de SuDS. Asimismo, todos los valores que se estiman oportunos para representar los distintos elementos escogidos en cada superficie. El plano 3.1 representan gráficamente los elementos.

Tabla 8. Valores escogidos para % inicial de saturación del suelo dentro de las subcuencas con los elementos SuDS

Tipología de SuDS	% inicial de saturación de suelo
Pavimento permeable	2
Área de biorretención	10-15
Cubierta verde	5
Zanja filtrante	5

4.1 Propuesta 1. Pavimento permeable

El tipo de elemento SuDS que permite aumentar de forma considerable la permeabilidad del suelo urbano y evacuar los volúmenes de escorrentía generados de forma rápida a la vez de ofrecer una movilidad sostenible son las superficies permeables. Éstas posibilitarán la filtración del agua precipitada a través de su estructura multicapa y disminuyen su concentración de contaminantes, sobretodo hidrocarburos y material orgánica derivada por la alta intensidad de tráfico y actividad de la zona que se registra a lo largo del día, para luego ser retenida, tratada y almacenada en sus capas inferiores, como se expone en el apartado 3.1 del anejo 4.

Las zonas propuestas para la ubicación de estas superficies son las calles peatonalizadas durante la reurbanización del barrio que producen mayor volumen de escorrentía y donde se llegan a concentrar más contaminantes (p.e alrededores del Mercado Municipal del barrio que presentan problemas de evacuación por existir tramos de cabecera de baja capacidad que derivan en inundación de nodos); avenidas y calles principales perimetrales que dan acceso al barrio (Avinguda de les Filipines, Avinguda del Regne de Valencia, Carrer de Gibraltar y parte de Gran via Ramon i Cajal).

Aunque técnicamente no se recomienda emplear pavimentos permeables en zonas de intensidad de tráfico elevadas por el desgaste que ocasiona el paso de los vehículos, sobre todo por los pesados, sobre la capa de rodadura del pavimento los beneficios sociales, económicos y medioambientales tras su establecimiento hacen replantearse su utilización. El paso continuado de vehículos, la alta actividad social del barrio y la escasez de precipitación en entornos urbanos propicia la concentración de cantidades importantes de contaminantes (hidrocarburos y materia organica) que se generan en las superficies de la cuenca con origen y localización proveniente de diversas fuentes (terrazas de la hostelería, viandantes, vehículos...). Estas cargas son movilizadas junto con las escorrentías urbanas durante un evento de lluvia hacia el sistema de drenaje convencional que no se encuentra preparado para tratar tanta contaminación, y sobretodo tantas cantidades de escorrentía de forma eficiente provocando un impacto belicoso sobre las masas de agua receptoras. La normativa en materia de aguas del marco europeo, La Directiva Marco del Agua 2000, señala que el vertido de escorrentías urbanas contaminadas se deben gestionar de forma responsable, en función del impacto sobre el medio receptor que supongan de acuerdo con los objetivos ambientales de la misma. Por tanto, las superficies permeable ayudan a conseguir estos objetivos mediante la filtración gran parte de estas escorrentías urbanas antes de su entrada al sistema convencional captándolas a través de su estructura multicapa, además de reducir la carga contaminante de estos volúmenes, disminuye los coeficientes de escorrentía de las áreas donde se implanten, laminan los caudales pico y reduce la probabilidad de encharcamiento en las calles.

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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

Entre los tipos de pavimentos permeables se opta por pavimentos continuos de asfalto y hormigón en todas las superficies frente a pavimentos modulares que requieren un mantenimiento más exhaustivo, además de tener menor capacidad portante para soportar la intensidad de tráfico de las zonas elegidas. A tener en cuenta un mantenimiento constante para evitar la colmatación de la estructura porosa del elemento mediante baldeos periódicos de calles y así prevenir la pérdida de capacidad de almacenamiento. La inclinación de éstas se proyecta para atraer el mayor volumen de agua a su seno y evacuarlas lo antes posible. Para ver la ubicación concreta de elementos ver plano 3.1.

Tabla 9. Parámetros de cálculo escogidos para pavimentos permeables continuos

	SURFACE	PAVIMENT	STORAGE
V2	1.25	150	150
V3	0	0.12	0.5
V4	0.012	0	0
V5	1	2	0
V6	0	0	
V7			
V8			

Al tratarse de una estructura que no acoge vegetación de manera importante, el porcentaje inicial de saturación del suelo contemplado para los escenarios de simulación es mínimo, 2%.

4.2 Propuesta 2. Áreas de biorretención

A parte de disminuir la producción de escorrentías es necesario contemplar la integración de un número más elevado de espacios verdes dentro de la red de infraestructura del barrio, que actualmente es insuficiente. La reurbanización del barrio limitó las zonas verdes a las avenidas principales con pequeños jardines vallados, colocó maceteros y árboles puntualmente a lo largo de las calles transversales a éstas y abandonó espacios con un alto potencial como el parque ubicado en la Plaza Manuel Granero (apartado 2.2 de anejo 2).

Ante este planteamiento el estudio se proponen dos medidas que contribuyan a una distribución más homogénea de las zonas verdes dentro del barrio. Por un lado, se plantea eliminar los maceteros de las calles y colocar áreas de biorretención en los cruces de las calles que atraigan las aguas urbanas durante un evento de lluvia antes de entrar al sistema convencional. Su establecimiento favorece la captación y retención de las escorrentías generadas reduciendo los coeficientes de escorrentías, además de amortiguar la carga contaminante de las aguas urbanas mediante la vegetación que alberga en sus depresiones que lo metabolizan. Por otro lado, remodelar la Plaza Manuel Granero en un jardín lúdico donde el vecindario pueda disfrutar del medio natural y mejore la calidad ambiental y paisajística del barrio. Sus dimensiones permiten

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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

acoger diversas áreas de biorretención con vegetación de menor y mayor porte que junto a otros elementos (rellenos de alta porosidad, geoceldas...) puedan favorecer todavía más controlar los volúmenes generados. El agua almacenada puede reutilizarse dentro del propio espacio (fuente, estanque,...), asimismo estos espacios contribuyen a disminuir el efecto “isla de calor” actuando como reguladores de la temperatura y humedad ambiental, amortiguando el ruido ambiental así como filtra el aire y reduce el nivel de polvo.

El suelo en ambas zonas debe ser mezclado con relleno de alta porosidad ante las altas concentraciones de arcillas y limos que limitan la capacidad de filtración de éste además de colocar una cama de gravas que como filtro, como mínimo. La vegetación elegida para los cruces tiene que presentar cierta resistencia a niveles elevados de contaminación por el paso de tráfico a lo largo del todo el día, además de tener capacidad de adaptación a la climatología local. Se vallarán los elementos para evitar deterioro temprano de los mismos. Respecto al nuevo parque, su estructura se basa en un sistema de arbolado que debe ser diseñado, planificado y gestionado por un experto en paisajismo urbano.

Tabla 10. Parámetros de cálculo escogidos para zonas de biorretención en cruces y avenidas

	SURFACE	SOIL	STORAGE
V2	250	400	300
V3	0.25	0.5	0.75
V4	0.41	0.2	10
V5	0	0.1	0
V6	0	1	
V7		15	
V8		3.5	

Tabla 11. Parámetros de cálculo escogidos para zonas de biorretención en el parque de la Plaza Manuel Granero.

	SURFACE	PAVIMENT	STORAGE
V2	150	1000	300
V3	0.3	0.8	0.75
V4	0.41	0.3	10
V5	0	0.2	0
V6	0	1	
V7		15	
V8		3.5	

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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

El porcentaje inicial de saturación del suelo es el más elevado que en el resto de elementos debido a la necesidad de conservar ciertas condiciones de humedad en el suelo para mantenimiento la vegetación que acoge en su estructura (10% en cruces y avenidas y 15% en áreas del parque).

4.3 Propuesta 3. Cubierta verde

Como anteriormente se expone en el anejo 4, lograr una mayor captación y retención de las aguas precipitadas en altura permite reducir la producción de escorrentía en superficie, y con ello evacuar menores volúmenes por parte de la red de drenaje en superficie. Las cubiertas de los edificios son emplazamientos adecuados para esta finalidad, y al tratarse de un área sobre urbanizada la disponibilidad de éstas es elevada posibilitando una amplia distribución espacial de éstos.

En este estudio las áreas escogidas son espacios públicos o con carácter social con una extensión de sus cubiertas relativamente elevada para captar el máximo volumen de agua precipitada posible. Por un lado, colegios e institutos (Colegio Público Jaime Belmer, Escuela profesional de Artesanos, Colegio Público integrado de formación profesional Vicente Blasco Ibáñez, Instituto Educación Secundaria Vicente Blasco Ibáñez y Colegio Público Puerto Rico) donde se busca favorecer un ahorro energético en calefacción y agua potable dentro del propio edificio, además de intentar desarrollar un espacio lúdico y educativo que fomente el contacto directo con la naturaleza, el respeto y conservación por el medio ambiente por parte de los alumnos que acudan al centro; por otro lado, el Mercado Municipal de Ruzafa, edificio en pleno centro histórico del barrio que tras la reurbanización se ubica en una zona que presenta ciertos problemas de acumulación de agua y que con la implementación de esta cubierta se pretenden eliminar, además de servir igualmente para lograr un ahorro en el gasto en calefacción y agua potable dentro del edificio.

En todos los casos se escoge una cubierta tipo extensiva con vegetación de bajo porte que supone una sobrecarga asociada a solicitaciones que afectaran mínimamente al comportamiento de edificio. A tener en cuenta la inclinación de la superficie de apoyo y el mantenimiento de la estructura de la cubierta verde, sobre todo de la vegetación que alberga que queda a cuenta del propio centro educativo. El 5,7 % de la superficie total es ocupada por esta tipología. Para ver la ubicación concreta de elementos ver plano 3.1.

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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



Figura 2. Ejemplo de tejado verde como espacio lúdico y educativo en la cubierta de un centro educativo en Bélgica. Fuente: <http://ffong1.workflow.arts.ac.uk>

Tabla 12. Parámetros de cálculo escogidos para cubierta verde extensiva.

	SURFACE	SOIL	DRANAGE MAT	STORAGE
V2	10	150	30	100
V3	0.4	0.6	0.5	0.5
V4	0.41	0.2	0.3	0
V5	0	0.1		0
V6	0	1		
V7		10		
V8		3.5		

Al tratarse de una superficie con una vegetación de bajo porte con una presencia abundante en las superficies donde se encuentra pero el espesor dedicado al almacenamiento es limitado, el porcentaje inicial de saturación escogido es un valor bajo, 5%.

4.4 Propuesta 4. Zanjas filtrantes

Las zanjas filtrantes se contemplan dentro de la red de drenaje sostenible como alternativa en zonas del área de estudio donde no es posible implantar pavimentos permeables del apartado 4.1. La alta posibilidad de colmatación de la estructura porosa, por una elevada concentración

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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

de hidrocarburos y materia orgánica y sobretudo el desgaste de la capa de rodamiento derivado de una intensidad de tráfico diaria bastante más elevado que los otros casos, destacando la presencia más vehículos pesados, descarta esta opción.

Estos elementos lineales se incorporan para recibir parte de la escorrentía superficial derivada de Avinguda Peris i Valero donde se ubicará en el centro de la calzada como mediana. Como se observa anteriormente, existen nodos del sistema ubicados en esta misma avenida que, aparte de recoger el volumen de la propia avenida, reciben volúmenes derivados de tramos de colector que conectan con puntos más altos del sistema. Esta circunstancia hace que reciba demasiado volumen entrando en carga éstos y no respondiendo correctamente llegando a inundarlos. Con la incorporación de esta zanja se busca laminar los volúmenes que recibe el colector desde la avenida mediante el almacenamiento temporal de las aguas captadas para posteriormente descargarlo en el colector principal de forma progresiva y que no suponga mayor sobrecarga en éste mientras reciba las aguas anteriores.

Se opta por una zanja de grava filtrante envuelta en geotextil con mínima presentación de vegetación que reduzca el riesgo de colmatación de la estructura del elemento, por exceso de concentración de contaminantes, debido al paso de vehículos. Considerar una pendiente longitudinal y transversal que permita atraer el flujo hacia el seno del elemento las aguas precipitadas y captar el máximo volumen posible. También se debe tener en cuenta la colocación de balizas que indiquen el posicionamiento de la mediana en el centro de la calzada, además de delimitar correctamente con señales horizontales y verticales que se vean necesarias. Se requiere un mantenimiento frecuente de infraestructura. El 6,3% de la superficie total es intervenida con este elemento. Para ver la ubicación concreta de elementos ver plano 3.1.

Igualmente que los pavimentos permeables, al tratarse de una superficie con una escasa vegetación pero con menor espesor de almacenamiento que éstos, el porcentaje inicial de saturación escogido es un valor bajo, 5%.

Tabla 13. Parámetros de cálculo escogidos para zanja drenante.

	SURFACE	STORAGE
V2	500	250
V3	0.1	0.6
V4	0.15	0
V5	0.5	0
V6	0.5	
V7		
V8		

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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

5. Análisis comparativo

Tras una nueva propuesta en la configuración de la red de drenaje urbana actual en la cual se incorporan los elementos definidos anteriormente, se procede a realizar un nuevo diagnóstico bajo los mismos escenarios de simulación del anejo 3. Comparar ambos escenarios permite cuantificar las variaciones de volumen de escorrentía, infiltración y almacenamiento experimentadas dentro de la cuenca de estudio tras el aumento de permeabilidad a nivel sistema así como conocer la presente respuesta del sistema convencional que no se ha visto nada modificado.

5.1 Escenario 1. Comprobación del cumplimiento de la ordenanza municipal

Como ocurre en la simulación anterior se procede a definir las opciones de cálculo que perfilan este escenario. El proceso lluvia-escorrentía se mantiene idéntico al igual que el modelo de producción basado en el Número de Curva y transporte que emplea el modelo de Onda Dinámica. El intervalo de cálculo continúa siendo de 2 segundos con una información pluviométrica de 1 minuto de resolución del cual se obtiene un error de continuidad superior a la anterior simulación de -1.614%, pero igualmente admisible. Este valor se ve acrecentado debido a un mayor número de parámetros vinculados a los elementos SuDS y que supone una mayor complejidad en el cálculo hidráulico.

Respecto a la producción de volúmenes de escorrentía dentro del área de actuación se reduce la cantidad de escorrentía que circula por la superficie representando casi un 20% menos de agua circulando por la cuenca urbana el cual es retenido e infiltrado por el sistema de drenaje sostenible y no captado por el sistema de drenaje convencional.

Tabla 14. Volumen total generado (mm) en T=25 años tras la incorporación de SuDS

ESCORRENTIA	ALMACENAMIENTO	INFILTRACIÓN
68,4	18,6	1,5
79,7%	20,5%	1,7%

En cuanto al comportamiento hidráulico del sistema los tramos de colectores en el momento de mayor carga del sistema siguen cumpliendo los criterios de velocidades establecidos en la tabla 7 del apartado 3.1.1 del anejo 3. Se aprecia una disminución de la velocidad promedio del flujo superficial respecto a la simulación de partida con valores de 1,44 a 1,40 m/s, es decir, se refleja nuevamente el efecto amortiguador de los volúmenes de escorrentías durante los eventos de lluvia y con ello enfatiza que se rebaje la entrada de flujo haciendo que parte de los tramos ubicados cerca o sobre superficies con estos elementos vean disminuido su volumen de entrada en el sistema convencional, e incluso provocando que no entren en funcionamiento. Un claro ejemplo, los tramos correspondientes a la antigua red de acequias conectada con la red de

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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

colectores convencional entre las conexiones de la calle Sueca y calle Puerto Rico o tramos de cabecera con proximidad a áreas de biorretención cercanas, las cuales retienen la totalidad del agua precipitada. Sin embargo, cuantificar una menor entrada de flujo en el sistema convencional no asegura que éste siga recibiendo cantidades de esorrentía excesivas provenientes de la cuenca urbana que comprometen la capacidad de los tramos del sistema. Como se comprueba bajo condiciones de máxima carga, continua existiendo un número importante de colectores que entran en carga (rectas rojas) frente a una proposición de tramos que funcionan de manera óptima (rectas amarillas) y correcta (rectas verdes y azules claro). Igualmente ocurre con los nodos de entrada del sistema que acontecen la recepción exorbitante de flujos a la que no puede hacer frente y deben ser expulsados nuevamente hacia el exterior, aunque en menor cantidad (12.653 mm). Los nodos ubicados en puntos bajos del sistema, y que además coinciden con cambios de sección de tramos de colector, son los lugares que siguen presentando mayor complicación para evacuar los excesos de volumen producidos.

El desagüe del sistema registra dos caudales pico otra vez, con valores inferiores a los anteriores, 8,2 m³/s y 4,3 m³/s y evidenciando la laminación de los volúmenes por parte de los elementos SuDS. La tardía entrada en funcionamiento del sistema convencional con respecto a la anterior simulación, 10 minutos más tarde, refleja como los SuDS se encargan de laminar los primeros volúmenes hasta que estos superen la capacidad de almacenamiento de los mismos y comienza a ser evacuado el volumen de exceso en depresiones por el sistema convencional. La capacidad de infiltración se ve mejorada respecto a la situación de partida, captando e filtrando casi un 2% más que en la situación anterior. Sin embargo, al ser un chaparrón caído en un periodo de tiempo corto y con una intensidad relativamente alta, se consigue almacenar más volumen en el que se filtra debido a caer más volumen de lluvia del que es capaz de filtrar el suelo comenzando a almacenarse el agua en exceso que no puede ser filtrada.

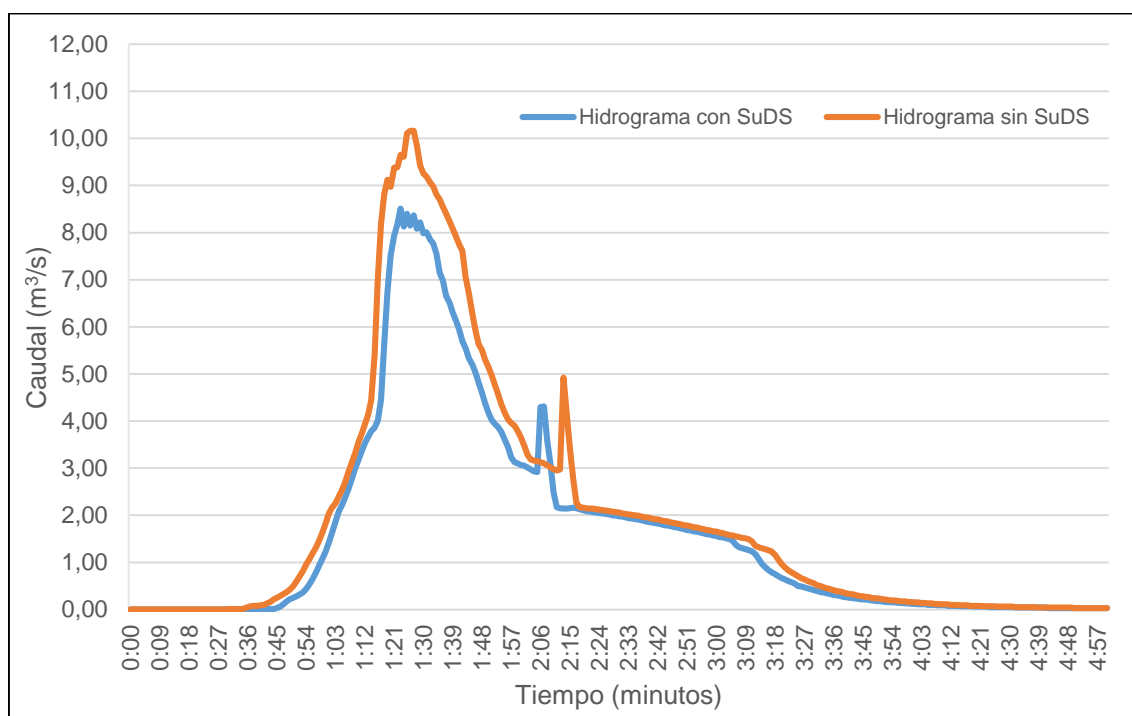
Ecuación 3

$$V_{\text{lluvia}} > V_{\text{infiltración}}$$

Al no contemplar las reformas necesarias en la red convencional para eliminar la acumulación de aguas en los puntos bajos de la red por tramos con contrapendiente sigue apareciendo, aunque en menor grado, un segundo caudal pico. Se refleja que no solo es necesario reducir el volumen de entrada en la red, sino también ciertas eliminar dichos puntos para alcanzar una mayor eficiencia en la evacuación de las aguas pluviales.

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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



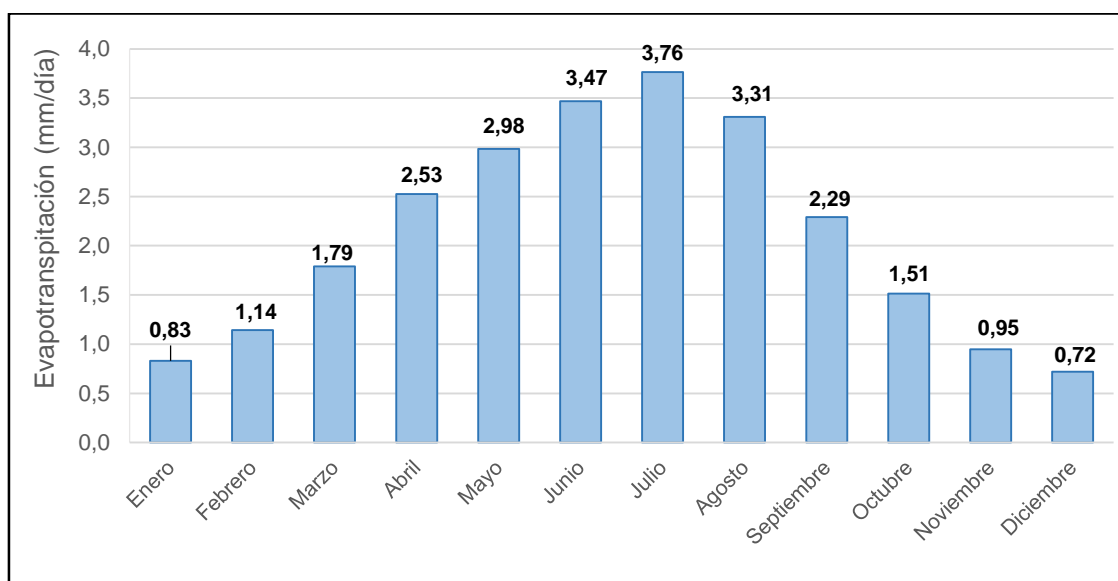
Gráfica 1. Hidrograma asociado a la lluvia de periodo de retorno 25 años de la red mixta.

5.2 Escenario 2. Serie Histórica

En este escenario, de nuevo tanto las opciones de simulación como el modelo de producción y transporte empleados son semejantes. El error de continuidad obtenido es mucho mayor que la simulación anterior, con un valor de 6,823% que sigue siendo aceptable, teniendo en cuenta que se ha visto aumentado en el número de parámetros del modelo por los nuevos elementos que se integran en el cálculo, además de sopesar de nuevo un paso de tiempo en el cálculo más grande para alcanzar la ejecución de esta simulación en un tiempo razonable. Asimismo considerar un descenso en la tasa de evaporación del suelo debido al aumento de espacios verdes en el área de estudio. Debido a que conforme aumente el porcentaje de vegetación irá disminuyendo el coeficiente de cultivo K_c y con ello, la evapotranspiración real. El valor escogido es 0,7 derivado del valor promedio de los distintos K_c que tienen diversas vegetaciones de bajo porte según la publicación sobre estudios de la FAO sobre cultivos y drenaje titulado “Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos de la FAO”.

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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



Gráfica 2. Nuevos valores mensuales de evaporación implementado en el modelo de simulación con elementos SuDS.

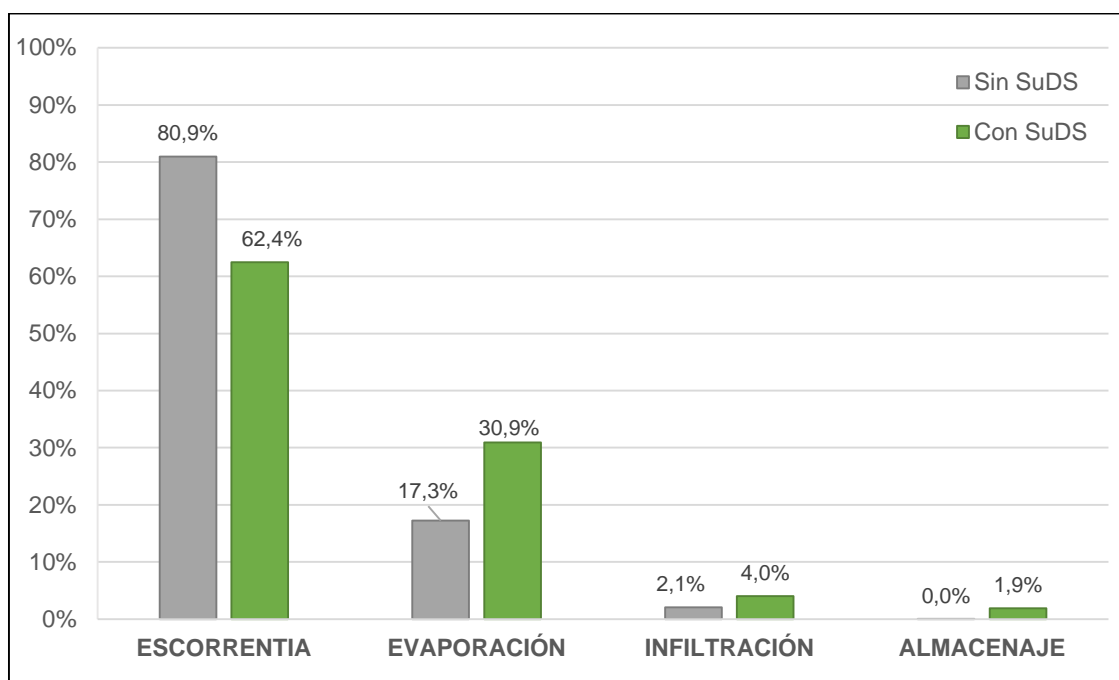
Los resultados obtenidos plasman una mejoría de respuesta con la red de drenaje mixta en lo que a producción de volúmenes de escorrentía se refiere. La incorporación de los SuDS ha supuesto un descenso de alrededor de un 20% en el volumen de escorrentía, al igual que sucede en el escenario anterior representando 1200 mm en el periodo analizado menos que no escurren por la superficie de la cuenca. Si se procediera a simular hidráulicamente la red, de nuevo se vería que hay una menor entrada de flujo a la red convencional de drenaje. Igualmente la capacidad de infiltración del suelo se presenta con casi un 2% más evidenciando que el terreno presenta una mayor permeabilidad, lo que supone un caudal filtrado de agua mayor y con ello, cierta laminación de las aguas precipitadas.

En cuanto a las pérdidas por evaporación, respecto al anterior escenario suponen un 2% de volumen vaporizado. Al aumentar el número de espacios verdes y con ello el porcentaje de vegetación implica que se retiene mayor agua, pero también se evapora más.

La proporción de vegetación que se presenta en los distintos SuDS, sobretudo en las áreas de biorretención, puede ser más refinada con el objetivo de lograr una más eficiencia del sistema de drenaje sostenible. Como se define en la ecuación 4, si el almacenaje de los SuDS se puede definir en función del volumen acumulado que se genera entre el agua de lluvia que entra y el agua que es capaz de infiltrar el suelo menos el volumen de saturación del propio suelo, se debe buscar alcanzar el mínimo volumen de saturación inicial que permita el máximo almacenamiento y a la vez de lograr unas condiciones adecuadas para la conservación de la vegetación.

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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



Gráfica 3. Comparativa de porcentaje de volúmenes generados tras la incorporación de elementos SuDS al sistema de drenaje.

Ecuación 4

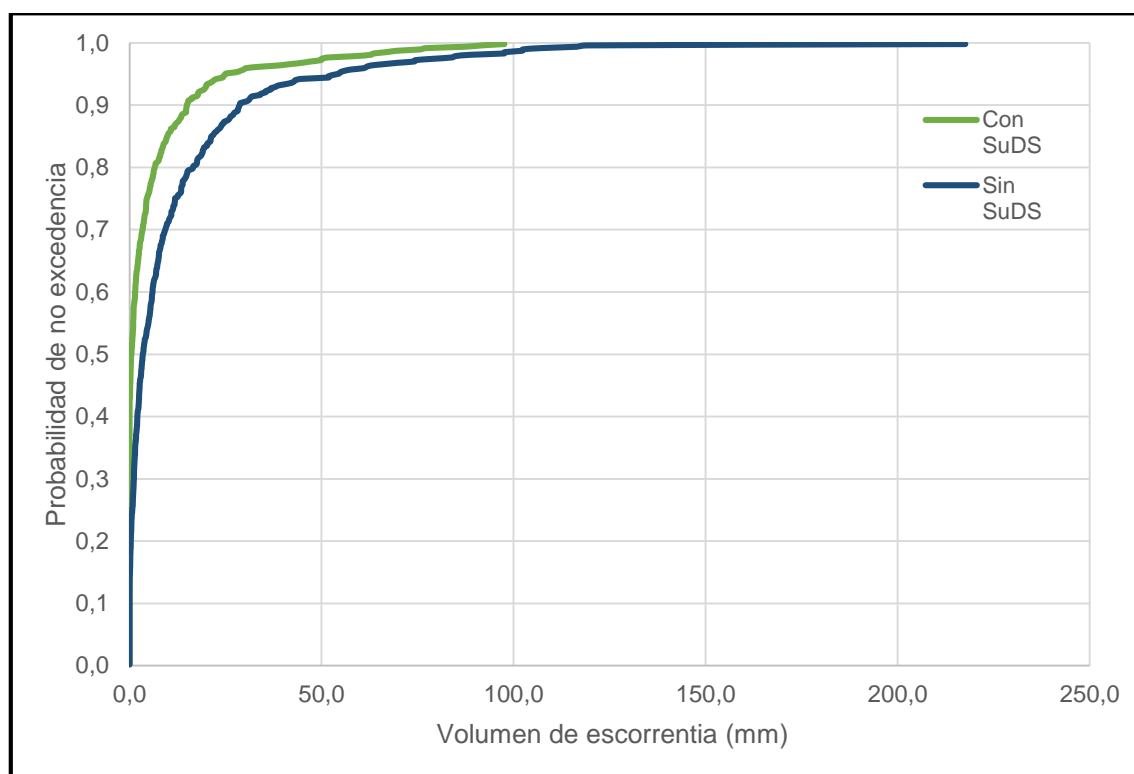
$$V_{\text{almacenamiento SuDS}} = V_{\text{lluvia}} - V_{\text{infiltración}} - V_{\text{saturación}}$$

La probabilidad de no excedencia mínima aumenta hasta 0,4 y la máxima se mantiene a 1,0 pero con un volumen de escorrentía asociado mucho menor, 100 mm aproximadamente. Por tanto, se suavizan los eventos de lluvia, presentándose un nuevo escenario con lluvias cuyo volumen de escorrentía oscila entre 0 - 50 mm y aquellos episodios de lluvias con carácter torrencial asociados a periodos de retorno altos se reducen considerablemente. La diferencia entre la situación inicial y la nueva se aprecia en la gráfica 5.

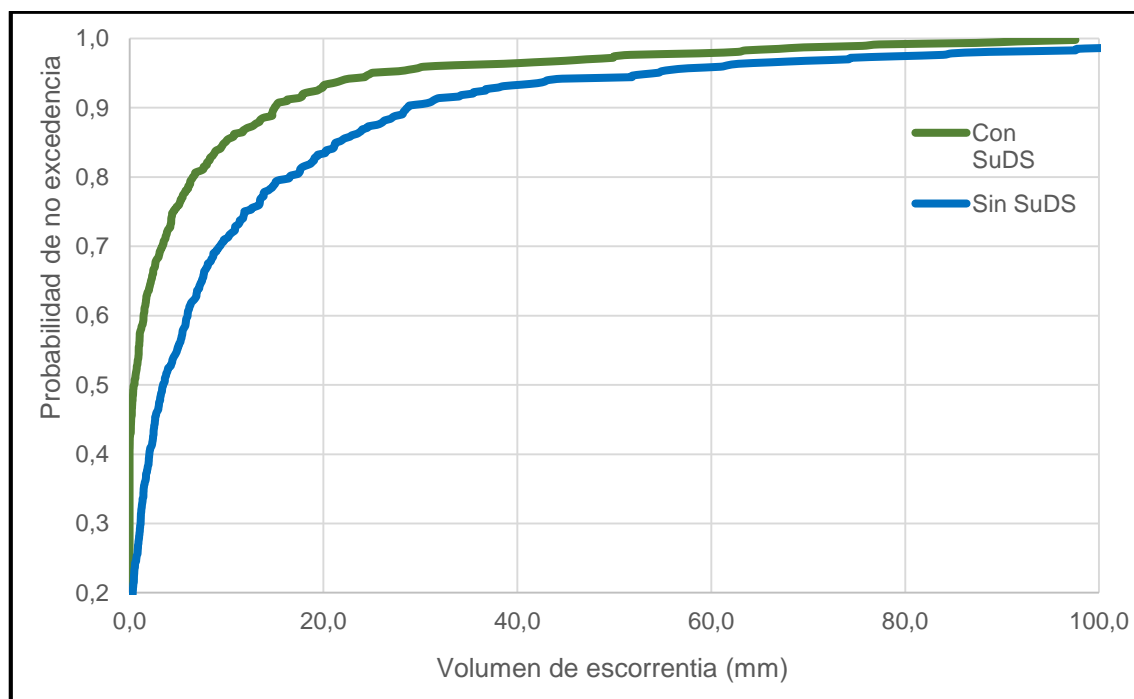
En el caso de las gráficas 4 como 6 reflejan el trabajo conjunto entre un sistema de drenaje sostenible y una red convencional. Los SuDS responden haciéndose cargo de las primeras aguas precipitadas que generan un mínimo de escorrentía, es decir, bajo episodios de lluvia de baja intensidad que son más sencillas de captar, retener y sobretodo de infiltrar en el terreno de forma progresiva hasta el suelo comience a saturarse y no pueda hacer cargo de más volumen del que infiltra. Se comienza a almacenar en sus depresiones y al exceder las alturas por acumulación de las lluvias, o en caso contrario, se produce una lluvia con mayor intensidad de lluvia con cuantías de precipitación superiores en un corto periodo de tiempo, entra el sistema convencional en funcionamiento.

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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



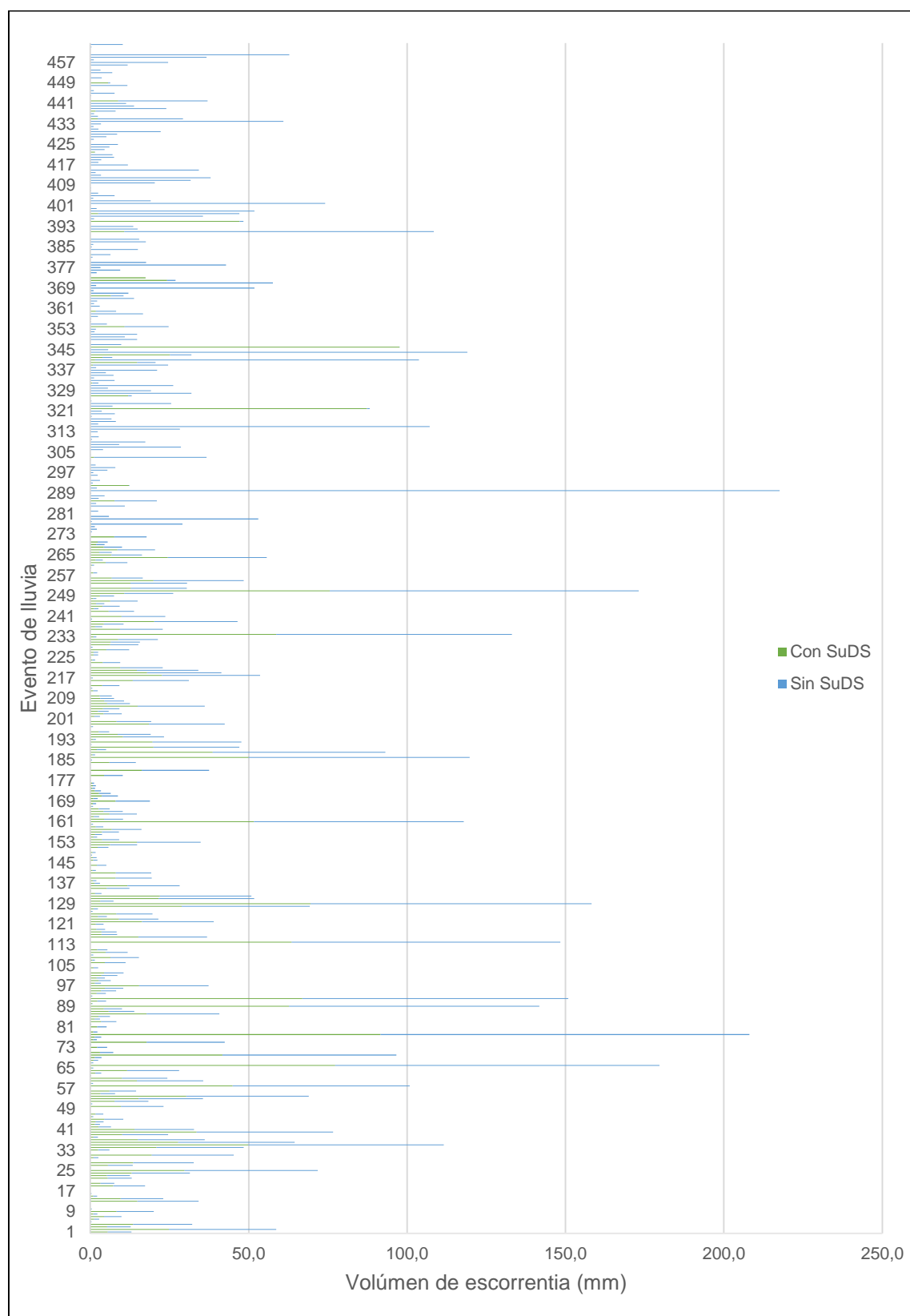
Gráfica 4. Mejora de la probabilidad de no excedencia de un evento de lluvia tras la incorporación del sistema de drenaje sostenible. Rango completo de volúmenes.



Gráfica 5. Mejora de la probabilidad de no excedencia de un evento de lluvia tras la incorporación del sistema de drenaje sostenible. Rango de volúmenes <100 mm.

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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



Gráfica 6. Diferencia de volúmenes producidos en la cuenca vertiente asociada a cada evento de la serie histórica de estudio.

6. Conclusiones del estudio

De forma detallada se explican las conclusiones que se alcanzan con este estudio:

- **Reducción de las escorrentías y caudal pico.** Los sistemas de drenaje sostenible se presentan como elementos basados en tecnología sencilla que combinados con la red de drenaje convencional son una alternativa eficiente frente al exceso de superficies selladas que incrementan cantidad y velocidad del agua que fluye por éstas durante y después de episodios de lluvia, sobretodo torrencial. Favorecen una mayor retención, detención e infiltración de las primeras aguas urbanas por el aumento de permeabilidad del suelo suponiendo una menor entrada de flujo en la red convencional. Con ello se consigue laminar los caudales punta que acoge dicha red, mitigar los problemas de inundación asociados a flujos excesivos de entrada en el sistema en periodos de retorno altos.

- **Disminución de la carga contaminante.** No solo se aprecian mejoras técnicas en el sistema de drenaje sino también se avanza en aspectos ambientales y sociales que antes no se consideraban. Por un lado, se minimiza el efecto “isla de calor” que padecen las ciudades suscitando un descenso de la temperatura y humedad ambiente. Por otro, el aumento de espacios verdes concede un valor añadido a la zona urbana donde se encuentra la cual experimenta cierta mejora en la calidad ambiental y en el entorno paisajístico. Mayor cuantía de vegetación favorece la limpieza del aire mediante los procesos metabólicos de las plantas, empleando el dióxido de carbono para su propio beneficio y en función del tipo de vegetación se produce más oxígeno y se disminuye la cantidad de gases contaminantes presentes en la atmósfera, traduciéndose en reducción de afecciones respiratorias.

A tener en cuenta que para lograr un eficiente tratamiento de las aguas urbanas y alcanzar la máxima mitigación de la carga contaminante asociada se puede estimar un índice de mitigación en función del contaminante (hidrocarburos, metales pesados y partículas en suspensión) y el tipo de SuDS. Mediante la siguiente expresión se puede calcular la mitigación total del elemento escogido:

$$\text{Índice de mitigación}_{SuDS} = I_{PSS} \cdot I_H \cdot I_M$$

donde:

I_{PSS} es el índice de mitigación de partículas suspendidas en el agua

I_H es el índice de mitigación de hidrocarburos

I_M es el índice de mitigación de metales pesados

Es importante que la mitigación del sistema de drenaje sostenible sea igual o mayor a la que se pretende tratar.

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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

Tabla 15. Índice de mitigación en función del contaminante a tratar. Fuente: *The SuDS Manual*, 2015.

	Partículas en suspensión (I_{PSS})	Metales pesados (I_M)	Hidrocarburos (I_H)
Área de biorretención	0,8	0,8	0,8
Pavimento permeable	0,7	0,6	0,7
Zanja filtrante	0,5	0,5	0,6
Cubierta verde	0,2	0,2	0,05

- **Ahorro de costes.** Los SuDS suponen un aumento de la eficiencia energética en el ciclo integral del agua de una ciudad. Por un lado, las redes de saneamiento convencionales pueden ser diseñadas con menores dimensiones, es decir, bajo caudales punta de precipitaciones menores, que no acogerían volúmenes tan excesivos de escorrentía, lo que supondría un ahorro en construcción y sobretodo mantenimiento de las infraestructuras hidráulicas de la ciudad. De forma similar le ocurre a las estaciones depuradoras que también necesitaran una menor inversión de construcción y mantenimiento pues recibirán menor caudal a tratar y con inferior carga contaminante que reduce la necesidad de tratamiento antes de ser vertido al medio natural.

- **Requerimiento de una legislación específica.** No se impulsa de forma significativa el concepto “sistema de drenaje sostenible” dentro de la legislación estatal, excepto en algunas leyes autonómicas expuestas en el apartado 4 del anejo 4. La Administración Pública debe promover la creación de una normativa específica y recomendaciones técnicas que patrocinen el uso de SuDS con más fuerza, como ocurre en otros países europeos.

- **Necesidad de actualización de los sistemas actuales.** Es necesario modernizar la red convencional acorde con la nueva configuración para alcanzar un rendimiento óptimo del sistema integral del ciclo integral del agua urbano. Los criterios de diseño de una red convencional se quedan anticuados frente al planteamiento de implantación de un sistema de drenaje mixto dentro de una zona urbana. Anteriormente, se empleaban periodos de retorno demasiado elevados que sobredimensionaban las redes, con colectores de gran diámetro, para poder hacer frente a toda el agua de lluvia precipitada en superficie. Sin embargo, tras la incorporación de SuDS que favorecen la mitigación de caudales punta y disminución de volúmenes de escorrentía impulsan a replantearse el rediseño de estas redes. Esto supondrá un ahorro en costes de construcción y mantenimiento en estas redes.

- **Regeneración de la planificación urbanística.** Existe la necesidad de proponer un nuevo plan de actuación frente a las dificultades que van surgiendo dentro de las zonas urbanas por la transformación continua del entorno por parte del hombre. En las últimas décadas se le ha

Anejo 5. Propuesta de mejoras

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

presentado al mundo de la ingeniería la necesidad de emplearse a fondo para mejorar la eficacia de los sistemas de gestión de escorrentías basándose en los sistemas naturales, y no negarlos, reemplazarlos o ignorarlos. Esto se demuestra que genera más problemas (impermeabilización y suelos, contaminación de acuíferos, emisión de gases contaminantes,...) que aquellos que se pretenden corregir.

El desarrollo de las ciudades debe identificar de forma exhaustiva todo el sistema de gestión de agua, tanto natural como hecho por el hombre, para encontrar un equilibrio entre ambos. No solo es importante la construcción de nuevas infraestructuras o acondicionar las ya existentes, también se necesita estudiar y tratar de solucionar los factores desencadenantes que influyen en la generación de dicho problema. Se deben resolver de forma conjunta empleando técnicas más sostenibles, que se parezcan lo máximo posible al comportamiento del medio natural o que lo alteren lo mínimo posible, como las técnicas SuDS. No solo es aplicar conocimientos de ingeniería, mediante acciones como aleccionar al ciudadano con programas de participación ciudadana donde éste conozca el problema de gestión del agua, y lo que acarrea un consumo excesivo e irresponsable del recurso ante una situación futura de escasez de recursos hídricos; intentar una recogida y reutilización de aguas pluviales más eficiente; o aumentar la limpieza y mantenimiento de los sistemas de colectores actuales, canales superficiales y de las propias calles para reducir la acumulación de contaminantes y así que éstos no sean arrastrados por las escorrentías, son algunas de las posibles medidas no estructurales que combinadas con las estructurales favorecerán "(...) un futuro donde poder desarrollarse el resto de nuestras cortas vidas(...)" (Woody Allen).