



TRIBUNAL CALIFICADOR PRUEBAS SELECTIVAS
5 plazas Ingeniero/a Superior Caminos, Canales y Puertos
AYUNTAMIENTO DE MADRID

MADRID

**INGENIERO/A SUPERIOR DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS
AYUNTAMIENTO DE MADRID**

TERCER EJERCICIO

SUPUESTO PRACTICO Nº2



TRIBUNAL CALIFICADOR PRUEBAS SELECTIVAS
5 plazas Ingeniero/a Superior Caminos, Canales y Puertos
AYUNTAMIENTO DE MADRID

MADRID



SUPUESTO PRACTICO Nº2

El Ayuntamiento de Madrid, está proyectando el desarrollo de una nueva zona verde que ultima la ejecución del Planeamiento Urbanístico en una parcela vacante cuyo estado en desuso propicia el vertido incontrolado de escombros, basuras y todo tipo de materias contaminantes como neumáticos, pinturas y disolventes, que suponen un peligro para la salud pública, así como un riesgo alto de incendio.

Las actuaciones que se contempla que incluya el proyecto son, primeramente, la excavación y saneo de la parcela para su puesta a cota, la ejecución de aceras y calzadas perimetrales a la parcela y paseos y zonas estanciales dentro de la misma, así como fundamentalmente la regularización y mejora de la recogida de aguas pluviales que actualmente existe, así como el ajardinamiento de la superficie de las zonas verdes planificadas.

DATOS DEL PROYECTO

Los documentos que inicialmente se han incluido en el proyecto son los siguientes:

Memoria Descriptiva

Anejos a la Memoria

Anejo nº 1. Documentación de Planeamiento y Titularidad

Anejo nº 2. Características del Proyecto

Anejo nº 3. Servicios afectados

Anejo nº 4. Cálculos Red de Riego

Anejo nº 5. Cálculos hidráulicos drenaje

Anejo nº 6. Cálculos alumbrado público

Anejo nº 7. Estudio de Gestión de residuos sólidos

Anejo nº 8. Plan de Control de Calidad

Anejo nº 9. Plan de obra

Anejo nº 10. Reportaje fotográfico

Anejo nº 11. Estudio de Seguridad y Salud

Anejo nº 12 Estudio Topográfico

Anejo nº 13 Gestión del Arbolado

Anejo nº 14 Estudio de Accesibilidad

Anejo nº 15 Estudio Geotécnico

Planos

Pliego de Condiciones

Presupuesto

Datos urbanísticos:

- Norma Zonal 6
- Zona Verde Básica
- Parcela incluida en el APE.08.07. Casco Histórico periférico

Tabla de superficies de parcela proyectada



	Superficie PARCELA (m ²)		
	Zonas Verdes	Zahorra	Adoquín
Cuenca 1	768	0	0
Cuenca 2	238	179	0
Cuenca 3	1.038	166	425
Cuenca 4	121	0	0
Cuenca 5	1.777	295	650
Cuenca 6	418	0	0
Total	4.360	640	1.075

*Excluida superficie perimetral de calzadas y aceras

Otros datos

La vegetación propuesta en las superficies ajardinadas, incluida en los anejos correspondientes del proyecto, es la siguiente:

Vegetación (m ²)	
Cubrición del suelo mediante pradera de césped	1.525
Arbustos en entradas y taludes	1.187
Arbolado en bosquetes y de alineación de paseos	721

Las necesidades hídricas que se han calculado para este tipo de vegetación en función de la precipitación de Madrid, la evapotranspiración potencial y la eficiencia en el riego son de 983 m³ anuales y 8,1 m³ los días máxima demanda.

En el anejo geotécnico, se ha incluido un ensayo de permeabilidad en zanja realizado en la parcela, y que ha determinado que el coeficiente K es 1,135x10⁻⁵ m/s. Además, se ha realizado un sondeo, donde el nivel freático se encuentra a la cota +678,52.

PLANOS

- 1. Planta de replanteo de la actuación
- 2. Planta de Pavimentación
- 3. Cuencas vertientes

CONDICIONES PARA TENER EN CUENTA

En caso de discrepancia entre las medidas de la tabla de superficies del enunciado y los planos, se considerarán válidos los datos de la tabla.

La documentación del ejercicio expresada en texto y planos tiene las cotas y superficies que interesan para las preguntas que se van a formular.



Se valorará el rigor analítico de las respuestas, así como los conocimientos generales y específicos pertinentemente incorporados a la resolución de los supuestos prácticos (Bases específicas en el proceso selectivo de referencia). Las respuestas deberán estar motivadas, y en su caso, deberán hacer referencia a la legislación vigente que sea de aplicación.

Cuando una pregunta refiera a un aspecto concreto, solo se valorará el mismo, no puntuándose lo que se conteste sobre aspectos ajenos a la pregunta.

PREGUNTA 1 (4 puntos)

Teniendo en cuenta las actuaciones proyectadas en la parcela, comprueba el cumplimiento de la Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la ciudad de Madrid.

PREGUNTA 2 (4 puntos)

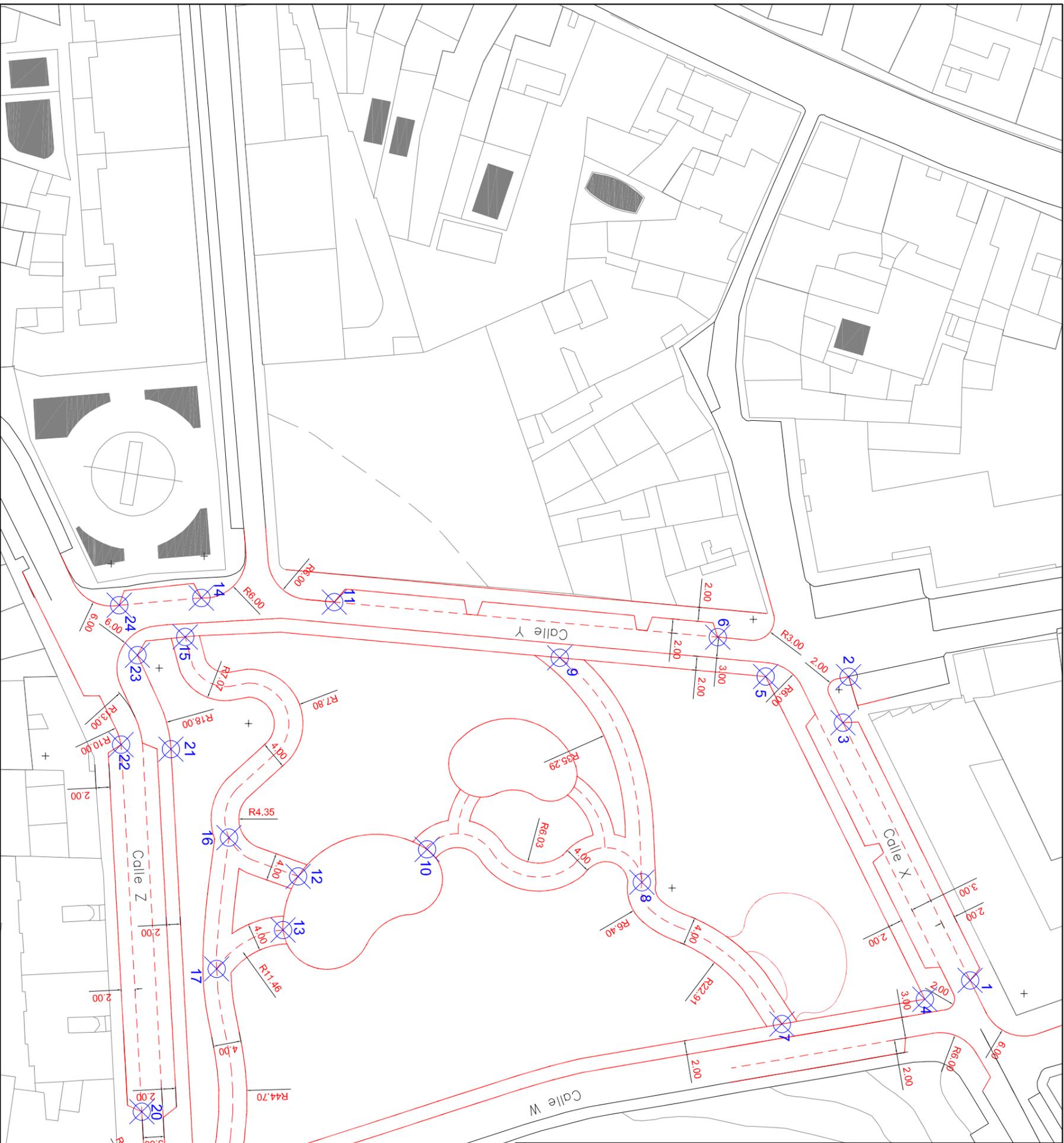
Debido a que la red de saneamiento donde actualmente se vierten las pluviales de esta parcela se encuentra al límite de su capacidad y no es posible su ampliación, en este proyecto se quiere minimizar la aportación de caudales mediante el uso de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), por lo que se quiere proyectar un jardín de lluvia en el punto más bajo de la parcela (+682,32), marcado en el plano 3-Cuencas vertientes. Justifica y razona la respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Es posible ejecutar en este punto un SUDS? (0,5 puntos)
- Explica cómo sería el esquema de funcionamiento de este SUDS (0,5 puntos)
- Calcular el volumen de agua que debe almacenar el SUDS (1 punto)
- Teniendo en cuenta el volumen que es necesario gestionar a través del Jardín de lluvia (SUDS), plantear una sección coherente del jardín para lograrlo (1 punto)
- Realizar una propuesta alternativa al jardín de lluvia mediante un SUDS para gestionar las aguas pluviales generadas en cada cuenca de la parcela (1 punto)

PREGUNTA 3 (2 puntos)

El Ayuntamiento de Madrid ha detectado la necesidad de suelo en la zona de la ciudad donde se ubica la parcela objeto, para atender a diversas peticiones vecinales.

- Construcción de una escuela del primer ciclo de Educación Infantil (niños de 0 a 3 años). Para ello es necesario ocupar la mitad de la parcela ¿Se puede implantar el uso directamente? (1 punto)
- Construcción de una pista polideportiva básica abierta y de uso libre de dimensiones 36x20,30 m ¿Se puede implantar el uso directamente? (1 punto)



COORDENADAS

Punto 1: X=441893.38 Y=4483148.98	Punto 13: X=441886.16 Y=4483050.62
Punto 2: X=441849.84 Y=4483131.59	Punto 14: X=441838.56 Y=4483038.93
Punto 3: X=441856.44 Y=4483130.77	Punto 15: X=441844.15 Y=4483036.62
Punto 4: X=441896.07 Y=4483142.50	Punto 16: X=441872.91 Y=4483042.87
Punto 5: X=441849.83 Y=4483119.71	Punto 17: X=441891.73 Y=4483041.12
Punto 6: X=441844.18 Y=4483112.86	Punto 18: X=441919.41 Y=4483042.52
Punto 7: X=441899.63 Y=4483122.04	Punto 19: X=441919.86 Y=4483037.83
Punto 8: X=441879.30 Y=4483101.98	Punto 20: X=441912.20 Y=4483030.41
Punto 9: X=441847.13 Y=4483090.23	Punto 21: X=441860.24 Y=4483034.58
Punto 10: X=441874.60 Y=4483071.24	Punto 22: X=441859.59 Y=4483027.44
Punto 11: X=441839.15 Y=4483057.95	Punto 23: X=441846.76 Y=4483029.78
Punto 12: X=441878.47 Y=4483052.79	Punto 24: X=441839.60 Y=4483027.17

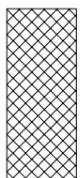
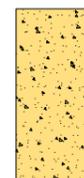
ESCALA:
1:600

PLANTA DE
REPLANTEO

Nº de Plano:
1



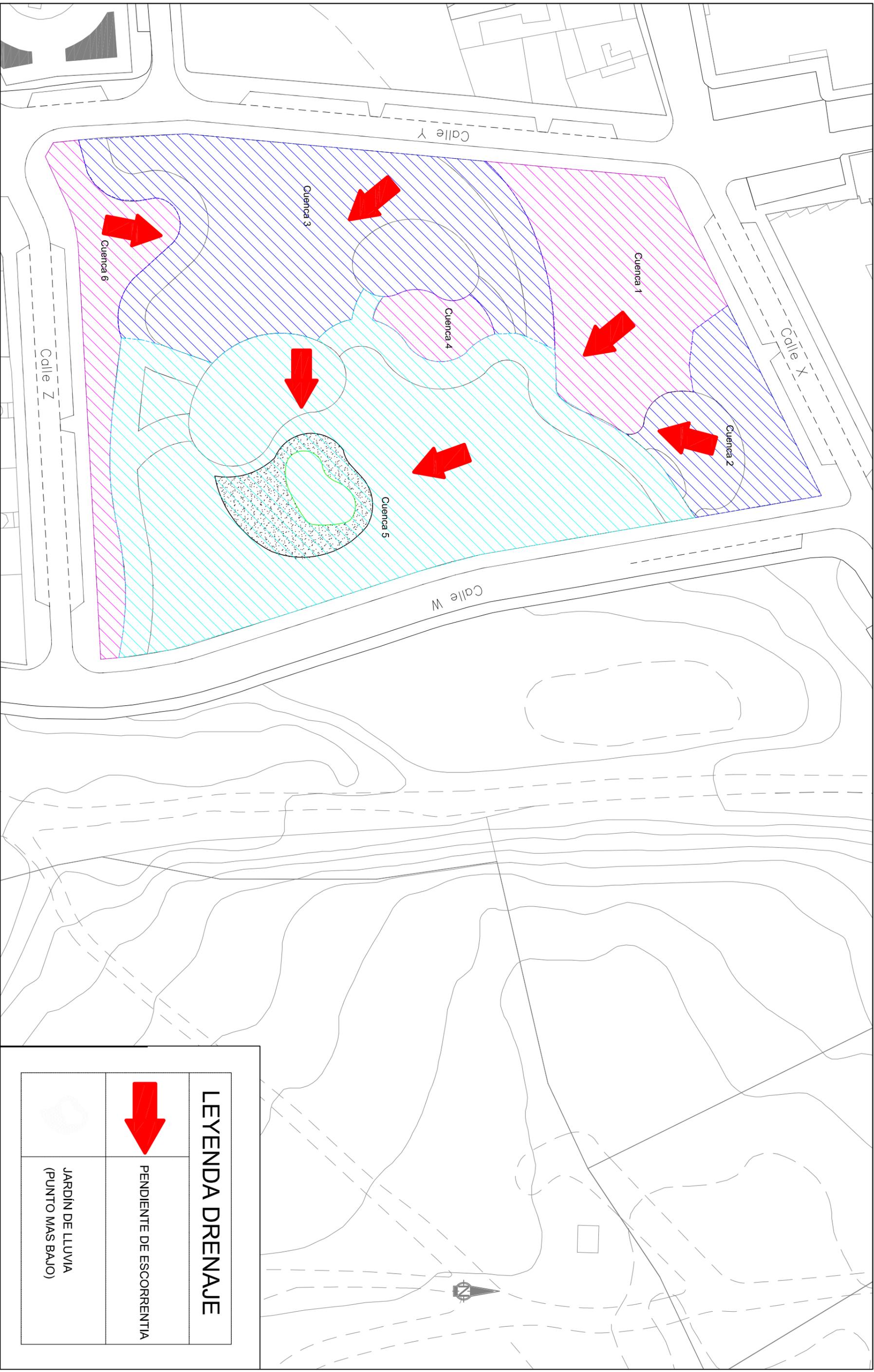
LEYENDA PAVIMENTACIÓN

	Acera de loseta hidráulica
	Baldosa botones paso de peatones
	Baldosa acanalada encarnamientos
	Paseo del parque
	Zona estancial zahorra artificial
	Zonas verdes

ESCALA:
1:600

PLANTA DE
PAVIMENTACIÓN

Nº de Plano:
2



LEYENDA DRENAJE	
	PENDIENTE DE ESCORRENTIA
	JARDIN DE LLUVIA (PUNTO MAS BAJO)

ESCALA:
1:500

CUENCAS

3

Nº de Plano:

5. PROCESO DE DISEÑO

Desde las fases iniciales de conceptualización del proyecto se debe considerar cómo se va a realizar la gestión de las aguas pluviales, priorizando el empleo de SUDS, con el fin de que su implementación posterior sea más sencilla, pues, como cualquier otra infraestructura, debe adecuarse a las condiciones del lugar y responder a las necesidades por las que se diseña. En este aspecto, antes de comenzar este proceso de diseño de los elementos de gestión de la escorrentía, deberá tenerse claro el diseño de espacio público que se quiere en cuanto a usos, superficie verde disponible, densidad de tránsito, etc.

Así, este capítulo recoge un proceso de diseño que facilita la inclusión de los SUDS desde el inicio de los proyectos, tanto de nueva urbanización como de regeneración urbana. Como se resume en la Figura 2, el proceso de diseño se compone, principalmente, de cinco pasos. Con ellos se busca garantizar la gestión sostenible del agua pluvial y, además, introducir valor al proyecto.

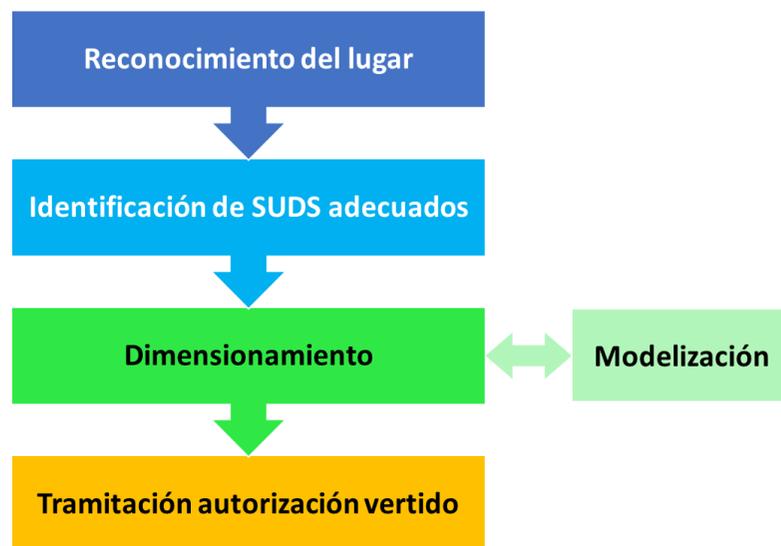


Figura 2. Esquema del proceso de diseño.

Es importante clarificar que, aunque el proceso de diseño se ha representado en un gráfico lineal, en la práctica, suele haber iteraciones entre diferentes pasos hasta que se alcanzan los objetivos del proyecto.

5.1 Reconocimiento del lugar

No todas las técnicas SUDS son adecuadas para todos los lugares y, por ello, es importante que las oportunidades y las restricciones sean identificadas en las primeras fases del proceso de diseño.

Por ello, el proceso de diseño comienza con un profundo reconocimiento del lugar, pues tiene implicaciones directas en los objetivos de diseño, la selección del tipo de SUDS, el emplazamiento y la integración con el entorno.

Para completar satisfactoriamente este paso puede ser útil visitar la zona de estudio durante un episodio de lluvia y tomar fotografías.

Dependiendo de la complejidad de la zona de estudio, será necesario o no recurrir a un equipo de expertos para realizar la evaluación de alguno de los aspectos que se enumeran a continuación.

5.1.1 Topografía

La topografía es un factor clave para comprender los patrones naturales de drenaje de la zona de estudio. En ocasiones, un adecuado análisis de la topografía permite diseños por gravedad, evitando bombeos o infraestructuras adicionales.

Para ello, se requiere de una cartografía adecuada y, preferiblemente, de un Modelo Digital del Terreno (MDT). Éste puede ser elaborado a partir de un levantamiento topográfico del área de proyecto, donde es aconsejable que se acoten los elementos característicos de la red de drenaje (como pueden ser embalsamientos naturales o depresiones, elementos de restricción de flujo, entre otros) y del viario adyacente (en su caso pendiente del viario, cota baja y alta del bordillo, etc.).

En caso de no disponer de un MDT, puede utilizarse, en primer lugar, la cartografía municipal por distritos a escala 1:1.000 del Portal de datos abiertos del Ayuntamiento de Madrid. Esta información está disponible en [formato SHP](#), proyección ETRS89; sin embargo, para consultar el formato dwg, será necesario personarse en el [Área de Gobierno de Desarrollo Urbano Sostenible](#). En segundo lugar, se podría emplear el MDT que pone a disposición pública el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) del Instituto Geográfico Nacional de España. En ambos casos, podrían ser necesarias operaciones básicas de tratamiento de datos mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), a evaluar por el proyectista.

Las áreas con pendientes muy abruptas no son las más adecuadas para el transporte, pues pueden generar problemas de erosión; ni para el almacenamiento, pues requieren de terrazas o elementos adicionales. Por otro lado, las zonas deprimidas son áreas de acumulación natural de agua y pueden ser buenos lugares para albergar el almacenamiento de agua. Por estos motivos, podría ser útil realizar un mapa de pendientes a partir del MDT y grafiar por zonas de pendientes bajas, medias y altas.

Por último, es conveniente identificar particularidades de la zona de estudio, como puede ser la presencia de terrazas.

5.1.2 Geología y geotecnia

La geología y geotecnia del lugar afectan directamente en la selección de los objetivos de diseño del proyecto, pues determinan la capacidad de infiltración y de protección de los acuíferos. En consecuencia, se deben identificar los principales materiales presentes en el corte geológico de la zona de estudio y la información referente a la permeabilidad del terreno. Se ha de prestar especial atención a la presencia y la distancia de estratos con materiales limitantes, como son las arcillas expansivas, el yeso o la roca. Para ello, puede ser de utilidad consultar la web del Instituto Geológico y Minero de España, ([IGME](#)).

Se debe conocer la distancia al nivel freático y, si es el caso, su variabilidad estacional. También se requiere estudiar la estabilidad del terreno y la posibilidad de afectar estructuras adyacentes si se diseña el SUDS contando con infiltración.

El parámetro clave en este apartado es determinar el valor de permeabilidad del suelo. Por ello, de acuerdo a la fase en el que el proyectista/usuario de la guía se encuentre, se establecen los siguientes niveles:

- Para tener una idea previa orientativa de si un determinado tipo de terreno es susceptible de plantear infiltración se proporciona la Tabla 1.
- En fase de anteproyecto, se permite interpolar y obtener un valor de referencia en base a la literatura y la información de ensayos realizados en diferentes zonas de Madrid, mostrados en el Anexo nº 1.
- En fase de proyecto, se debe realizar el ensayo de permeabilidad en zanja según el procedimiento descrito en el Anexo nº 2. A efectos del ámbito de aplicación, el factor mínimo de seguridad que ha de aplicarse al valor de permeabilidad obtenido en campo es 1,5, obteniendo con ello el valor de cálculo del coeficiente de permeabilidad (k).

Tabla 1. Valores orientativos del coeficiente de permeabilidad para diferentes suelos.

Fuente: Elaboración propia

Permeabilidad k (m/s)										
Muy bueno	Bueno			Pobre	Muy pobre					
>	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
GRAVAS	ARENAS Y MEZCLAS DE ARENA Y GRAVA			LIMOS Y MEZCLAS DE ARENA, LIMO Y ARCILLA		LIMO ARCILLOSO, ARCILLA LIMOSA Y ARCILLAS				

5.1.3 Hidrología

El diseño propuesto debería reproducir, en la medida de lo posible, los patrones naturales de drenaje. Para ello, es necesario elaborar un análisis hidromorfométrico. En caso de que la zona de estudio se enmarque en un proyecto de urbanización, las condiciones hidrológicas del nuevo desarrollo también tienen que estudiarse.

Para ello, se deben delimitar las cuencas drenantes a la zona de estudio y calcular sus parámetros característicos (área, cauce principal, longitud, pendiente, etc.), siendo aconsejable emplear el MDT obtenido anteriormente y herramientas SIG. Es conveniente ampliar los límites del análisis, de modo que sean superiores a la zona de estudio y obtener así las cuencas drenantes completas.

Los puntos de descarga de las cuencas y las áreas aguas abajo de los mismos han de ser inventariados, así como los requisitos de calidad y cantidad de la cuenca, si los hubiera. Además, se deben señalar los posibles puntos de descarga de los SUDS a cauces o arroyos, la distancia hasta los mismos y las posibles restricciones y condiciones de vertido de la Confederación Hidrográfica del Tajo (CHT).

Por último, cabría definir las zonas inundables en el área de estudio. En este paso es aconsejable consultar el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables ([SNCZI](#)). Si en este paso se identifican zonas inundables dentro del área de estudio, se deberá consultar al Ayuntamiento de Madrid para determinar las medidas necesarias a adoptar.

5.1.3.1 Selección del coeficiente de escorrentía

De los diferentes modelos de producción de escorrentía superficial, se ha seleccionado el método de coeficiente de escorrentía por ser el más sencillo.

Para aplicar este método en el contexto de esta guía, el coeficiente de escorrentía C debe ser seleccionado por el usuario utilizando la Tabla 2.

Tabla 2. Coeficiente de escorrentía.

Zona	C
Ajardinada	0,3
Pavimentada permeable	0,7
Pavimentada impermeable	0,9
Cubiertas	1,0

Por lo tanto, el área impermeable a gestionar por el SUDS será:

$$A_{imp} = \sum_{i=1}^{i=n} C_i \cdot A_i$$

Donde:

A_{imp} = Área impermeable a gestionar por el SUDS (m²)

n = Número de sub-áreas

C_i = Coeficiente de escorrentía de la sub-área i (adimensional)

A_i = Superficie de la sub-área i (m²)

5.1.4 Pluviometría

La metodología que propone esta guía para dimensionar los SUDS es la conocida como *Small Storm Hydrology*, la cual asume que el tratamiento y la detención prolongada de los eventos pequeños y frecuentes se traduce en una reducción de los impactos de la escorrentía. Para obtener los parámetros básicos de dicha metodología es necesario un estudio pluviométrico y, para esta guía, se utiliza de referencia Sordo-Ward et al. (pp2019), que los calcula estos volúmenes a partir de los episodios identificados de la

serie 10-minutal de un registro de 10 años de la estación Madrid-Retiro (umbral = 0 mm, tiempo entre eventos de 24 horas).

Para relacionar el objetivo de diseño (descrito en el apartado 3) con el dimensionamiento de los SUDS, se utilizan las reglas de diseño basadas en percentiles de la serie de precipitaciones del año medio. A efectos de esta guía, el valor más relevante es el volumen establecido como necesario para producir una laminación de los caudales vertidos a la red. El estudio detallado de la pluviometría de Madrid ha permitido relacionar dicho volumen con el denominado volumen de cantidad (empleado para reducir la cantidad de escorrentía vertida al medio receptor final). Así, éste representa el valor de precipitación de lluvia tal que el 80 % de los eventos anuales tiene una precipitación menor o igual a ese valor (V_{80}). Para el ámbito de aplicación de la presente guía, se empleará el valor de:

$$V_{80} = 15 \text{ mm} = 15 \text{ l/m}^2$$

En este caso, lo que hace el sistema es tratar totalmente la escorrentía generada por el 80% de los eventos de la serie anual, tratando parcialmente la escorrentía del 20 % de eventos restantes. Como queda reflejado posteriormente en la Tabla 3, almacenar temporalmente este volumen permite al mismo tiempo laminar los caudales pico, lo que repercute en una mejora del funcionamiento del sistema de alcantarillado municipal. Cuando la permeabilidad del terreno lo permita, el agua almacenada se evacuará por infiltración, cumpliendo de este modo el criterio de reducción de escorrentía.

Otro valor importante es el **volumen de calidad**, que es el volumen necesario de escorrentía a gestionar para reducir la carga de contaminantes vertida al medio receptor, y suele corresponder a la lluvia del percentil del 90 % (V_{90}). Con el objetivo de simplificar los cálculos en esta guía básica, y siguiendo referencias internacionales (Atlanta Regional Commission, 2016), para el ámbito de aplicación de la guía se supone que esta condición se cumple al tratar por filtración (siguiendo las especificaciones marcadas en el apdo. 5.2.2), la escorrentía generada por el V_{80} .

Además, se incluyen en esta guía valores de volúmenes de otros percentiles que pudiera requerir el usuario durante el proceso diseño (para la obtención de certificaciones, por ejemplo):

$$V_{50} = 4 \text{ mm}$$

$$V_{85} = 19 \text{ mm}$$

$$V_{90} = 23 \text{ mm}$$

$$V_{95} = 34 \text{ mm}$$

$$V_{98} = 47 \text{ mm}$$

Adicionalmente, el sistema de drenaje propuesto debe ser capaz de proporcionar la protección requerida sin producir inundaciones locales. En los casos en los que se requiera una modelización del sistema propuesto (apartado 5.3.5), se comprobará que el conjunto de técnicas de captación, transporte, almacenamiento, evacuación y rebose, gestiona adecuadamente las lluvias de diseño que en su caso establezca el Ayuntamiento de Madrid. A falta de otra indicación, se emplearán hietogramas rectangulares para diferentes duraciones e intensidades medias máximas (uniformes a lo largo de la duración del evento). Estas lluvias de diseño se construirán a partir de la curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) que para el período de retorno de 10 años se presenta en el estudio pluviométrico realizado por AEMET (2003), y que se resume en la Tabla 3.

Tabla 3. Curva IDF para T = 10 años. Fuente: AEMET (2003) - Estación Madrid Retiro (3196).

Intervalo (min)	5	10	15	20	30	60	120	180	360	720
Intensidad (mm/h)	87	65	55	48	38	22,2	13	9,4	5,9	3,6
Precipitac. (mm)	7	11	14	16	19	22	26	28	35	43

Para pequeñas actuaciones de gestión sostenible de las aguas pluviales en zonas verdes y otros espacios públicos del ámbito de aplicación de esta guía, será suficiente con calcular la estructura y conductos del rebose proveniente de los elementos de almacenamiento para el hietograma de periodo de retorno 10 años y 20 min de duración, cuya intensidad es $i_{T10,20'} = 48 \text{ mm/h} = 133,3 \text{ l/s/ha}$, ya que eventos de mayor intensidad y menor duración producen un volumen de precipitación menor al V_{80} , que queda almacenado en los SUDS.

Para los casos recogidos en el apartado 5.3.5, en los que se requiera una modelización del sistema propuesto, es recomendable utilizar además la pluviometría de un año tipo para comprobar que se gestiona un alto porcentaje de lluvia (en general superior al 80%). El Ayuntamiento de Madrid establecerá en cada caso el registro de lluvia a emplear (serie 10-minutal).

El Ayuntamiento de Madrid podrá solicitar la necesidad de adaptar el diseño al cambio climático mediante la modificación de los datos de pluviometría.

5.1.5 Contaminación

Para controlar y garantizar la calidad de la escorrentía es necesario conocer las diferentes fuentes de contaminación (el agua de lluvia arrastrará menos contaminantes a su paso por un tejado que el agua que discurre por un viario con mucho tráfico), pues influirá en la selección de la técnica SUDS y en su diseño (por ejemplo, el espesor de la capa de sustrato del jardín de lluvia). La necesidad de tratamiento también vendrá condicionada por las características del medio receptor.

Se pondrá especial atención en la detección y aislamiento hidráulico de zonas con alto potencial contaminante, por ejemplo, zonas de recarga de combustible. Con ello se previene, en la medida de lo posible, que estas zonas entren en contacto con la escorrentía; o bien, que las fuentes se circunscriban a un área limitada y, en consecuencia, se consideren las técnicas de tratamiento apropiadas.

También será importante detectar la contaminación que pueda estar presente en los suelos previamente a la actuación, y decidir si se debe impedir la infiltración de la escorrentía para evitar la movilización de los contaminantes.

5.1.6 Vegetación

Conocer la vegetación autóctona en la zona de estudio permite su integración en el diseño y ofrecer un hábitat para una gran variedad de especies animales. En consecuencia, ha de elaborarse un inventario de las especies presentes y, aunque no estén presentes, también de las autóctonas. Además, se deben identificar las especies invasoras.

Los SUDS almacenan y tratan los contaminantes presentes en la escorrentía en parte mediante procesos biológicos que ocurren en las especies vegetales y el terreno. Los procesos microbianos, especialmente los que se llevan a cabo en las raíces, descomponen los compuestos volátiles de los contaminantes y los convierten en inertes. Por ello, cuando se prevea un riesgo de contaminación medio o alto de las escorrentías, se priorizará el uso de aquellas especies autóctonas con un alto grado de eliminación de contaminantes, evitando el empleo de especies invasoras, aun cuando estén ampliamente extendidas en el área de estudio.

En esta fase puede ser de utilidad consultar la [Guía del jardín sostenible. Mucho más que un jardín](#) y [Criterios para una jardinería sostenible en la ciudad de Madrid](#) del Ayuntamiento de Madrid.

5.1.7 Desarrollo urbano actual

En los proyectos de regeneración urbana, será necesario obtener información detallada de la infraestructura existente. Para ello, es necesario identificar: edificios y su cimentación, áreas de estacionamiento, carreteras, áreas ajardinadas, tanques de tormenta, infraestructuras, instalaciones, servicios subterráneos (metro, electricidad, gas, telefonía...), y cualquier otro elemento que pueda influir en el diseño del SUDS.

También se requiere el mapeo de todas las zonas sensibles y de uso restringido en el lugar, ya que estas áreas pueden estar bajo el control de alguna institución (por ejemplo, vías pecuarias).

5.1.8 Punto de vertido

Se requiere localizar y conocer las características del punto de vertido del sistema de drenaje, que puede ser un cauce público, o en su defecto, la red de saneamiento municipal, y ponerse en contacto con la institución competente, según se detalla en el apartado 5.4.

5.1.9 Valor económico, ecológico y cultural

La instalación SUDS debe proteger y mejorar los valores económicos, ecológicos y culturales del entorno local y receptor. Estos valores forman la base de lo que los ciudadanos esperan en términos de su interacción y disfrute. En consecuencia, determinan los factores que serán barreras o alicientes para seleccionar el SUDS más adecuado.

Algunos ejemplos de cómo identificar valores en la zona de estudio son:

- **Valor económico:** evaluar un aumento del valor de la propiedad; proteger propiedades y/o infraestructuras de inundaciones; beneficios económicos al utilizar el agua pluvial como un recurso (para riego de las zonas verdes, por ejemplo); mejora del turismo; etc.
- **Valor ecológico:** comprobar si la zona de estudio es parte de un corredor ecológico; valorar la representación, peculiaridades, calidad y diversidad del hábitat; identificar si existen elementos que mejoren la calidad del vecindario; evaluar el impacto de una sequía; etc.

- **Valor cultural:** identificar conexiones con el vecindario, como puede ser lugares, paisajes o elementos de valor patrimonial; reconocer elementos que reducen la percepción ante el riesgo de inundación; pulsar la sensibilización ante insectos, como el mosquito tigre; evaluar la presencia de instalaciones de aparcamientos o áreas de picnic; detectar el aprecio estético por el lugar, tanto natural como antropizado, así como su integración en el paisaje; identificar rutas, edificios e infraestructuras históricas, como pueden ser vías pecuarias o ventas; reconocer áreas con valores educacionales; etc.

Si el proyecto se emplaza en un área de interés arqueológico, se debe estudiar la afectación que podría tener la infiltración del agua captada y almacenada en los SUDS en dicha área.

5.2 Selección de SUDS

Para seleccionar qué tipología de SUDS es más adecuada acorde a los condicionantes del lugar, se debe comprobar la viabilidad de la infiltración, los contaminantes presentes y las restricciones para implementar cada técnica.

5.2.1 Viabilidad de la infiltración

Como se describe en el capítulo 3, se debe almacenar e infiltrar en origen tanta escorrentía como las condiciones del lugar lo permitan. De modo que, para satisfacer este objetivo, se debe evaluar si los factores obtenidos en el apartado 5.1 entran en el rango de valores aceptables de la Tabla 4.

Tabla 4. Valores aceptables para considerar la infiltración en el diseño.

Factor	Valor aceptable
Valor del coeficiente de permeabilidad de cálculo	$> 10^{-6}$ m/s
Distancia al nivel freático	> 1 m
Distancia a cimientos	> 3 m*

* Excepto para los pavimentos permeables que sólo captan agua superficial de acera, en cuyo caso podrá disminuir hasta 1,2 m cumpliendo la Ordenanza de Uso Eficiente del Agua.

Además, se debe evaluar el riesgo de inestabilidad del terreno, hundimiento o erosión; el riesgo de pendientes inestables; el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas por la movilización de contaminantes en el terreno existente; el riesgo de infiltrar contaminantes procedentes de la escorrentía al terreno y/o aguas subterráneas; y el riesgo que la infiltración puede suponer en cimientos, túneles y otras infraestructuras (en general, superficies de infiltración someras y amplias, en las que se permite la evaporación, no generan mayor riesgo que una zona cespitosa convencional).

Actualmente, el Ayuntamiento de Madrid está recabando datos de calidad de agua de diversas experiencias en aparcamientos en la ciudad de Madrid. Con esta información contrastará los criterios de selección de SUDS empleados en otros países. Por ello, los usuarios de esta versión de la guía, deberán diseñar los aparcamientos de pavimento permeable sin infiltración y con evacuación a otro elemento de drenaje del agua previamente filtrada y laminada.

5.2.2 Evaluación de los contaminantes

Las zonas verdes y otros espacios públicos de Madrid pueden estar expuestos a diferentes fuentes de contaminantes, siendo la previsiblemente más contaminante la derivada de la presencia ocasional de vehículos ligeros dentro de la cuenca drenante. En este caso, las técnicas empleadas deben ser capaces de reducir dicha contaminación, entre otros mecanismos, por filtración. Para el caso simplificado objeto de esta guía, la técnica que vaya a gestionar el volumen de cantidad (V_{80}), deberá contener, al menos, uno de los siguientes elementos:

- Tierra de aportación con buena capacidad de eliminación de contaminantes de, al menos, 300 mm de espesor.
- Una capa de al menos 300 mm de material granular bien graduado.
- Una capa de al menos 200 mm de gravas uniforme envuelta en un geotextil (ver Anexo nº 4 para determinar sus características).

Para otras fuentes de contaminantes cuya incidencia pueda alterar considerablemente el medio receptor, se precisa de un estudio detallado que evalúe su influencia con respecto a la técnica SUDS y el diseño propuesto.

5.2.3 Idoneidad del SUDS

Cada técnica SUDS necesita unas condiciones determinadas del lugar para que su funcionamiento y efectividad sean adecuados.

En esta guía, para seleccionar qué SUDS se adapta mejor a las condiciones del proyecto, se proporciona una serie de parámetros orientativos, mostrados en la Tabla 5. En cualquier caso, es responsabilidad del usuario seleccionar la técnica más conveniente, siempre y cuando esté correctamente justificada.

Tabla 5. Características del lugar adecuadas para implementar los SUDS.

SUDS	Pendiente del suelo (%)	Espacio ⁽¹⁾ $\frac{A_{SUDS}}{A_{imp}}$ (%)
Cubiertas vegetadas	< 25 ⁽²⁾	50 - 80
Aljibes	-	-
Pavimentos permeables	< 3 ⁽³⁾	33 - 100 ⁽⁴⁾
Alcorques estructurales	-	-
Jardines de lluvia	< 10	3 - 30
Pozos de infiltración	< 6	No aplica*
Zanjas de infiltración	2 - 5 ⁽⁵⁾	5 - 10
Celdas y cajas reticulares	< 15	No aplica*
Drenes filtrantes	< 2	5 - 10
Cunetas vegetadas	0,5 - 6 ⁽⁶⁾	10 - 20

⁽¹⁾ A_{SUDS} = Área en planta del SUDS; A_{imp} = Área impermeable

⁽²⁾ Pendiente de la cubierta. Para < 5 % necesita dren para evitar encharcamientos.

⁽³⁾ Para > 3%, la base necesita aterrazamiento (ver Figura 3), permitiendo máx. 10 %.

⁽⁴⁾ Relación 2:1 (impermeable: permeable)

⁽⁵⁾ > 5% necesita aterrazamiento.

⁽⁶⁾ > 6% necesita elemento de contención transversal, permitiendo máx. 15 %.

(*) No aplica porque es subterráneo y no compromete espacio superficial.

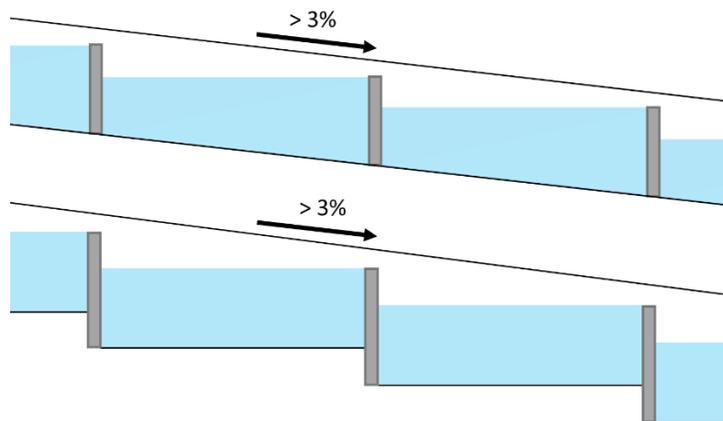


Figura 3. Ejemplo de cómo aterrizar la base del pavimento permeable.

5.3 Dimensionamiento

El objetivo de este apartado es hacer posible de manera sencilla el dimensionamiento de pequeñas actuaciones de gestión sostenible de las aguas pluviales en zonas verdes y otros espacios públicos (a partir de la aplicación de diferentes suposiciones).

Será necesario acordar con el Ayuntamiento de Madrid, y en su caso con la Confederación Hidrográfica del Tajo, los criterios y parámetros a emplear para actuaciones de mayor envergadura o en otros ámbitos, especialmente si se prevé un riesgo de contaminación de las aguas de escorrentía de nivel medio o alto (por ejemplo, en zonas peatonales comerciales o viarios urbanos). En estos casos más complejos, en los que se requerirá realizar algún tipo de modelización hidrológico-hidráulica, se podrán seguir los pasos establecidos a continuación a modo de pre-dimensionamiento.

Se podrá comenzar el dimensionamiento del SUDS cuando se cumplan los siguientes requisitos:

1. Se hayan minimizado las superficies impermeables y establecido el nivel de prioridad, siguiendo el esquema de la Figura 1.
2. Se conozca el área impermeable drenante a gestionar por el SUDS (A_{imp}).
3. Se haya decidido qué técnica SUDS se pretende dimensionar.

El proceso de dimensionamiento propuesto es el mostrado en la Figura 4, que está explicado en detalle a continuación. Podrá seguirse otro procedimiento siempre que se acompañe de la justificación apropiada y sea aceptado por la entidad competente.

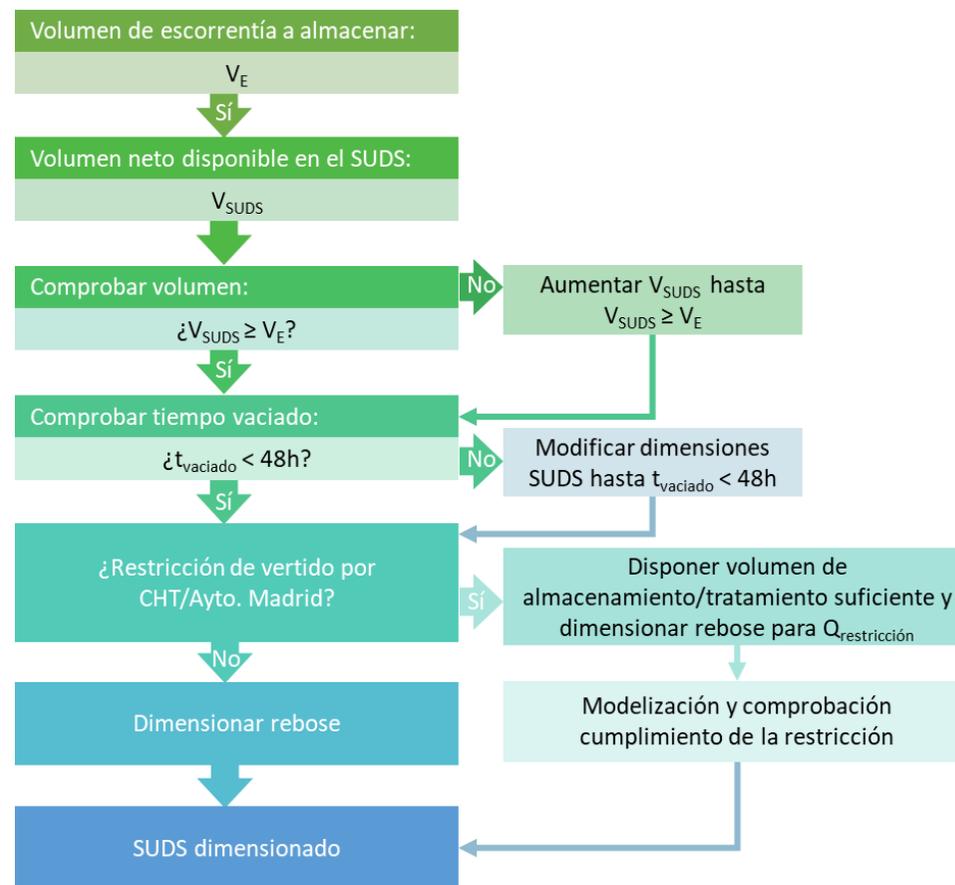


Figura 4. Esquema-resumen de dimensionamiento.

Además, de forma complementaria a este guía, se han introducido los cálculos presentes en este apartado en una hoja de cálculo disponible para el usuario en la página web del Ayuntamiento de Madrid.

5.3.1 Cálculo del volumen de almacenamiento

Con independencia del nivel de prioridad (infiltración, vertido a cauce o vertido a sistema de alcantarillado municipal), será necesario almacenar temporalmente, al menos, la esorrentía generada por el volumen de lluvia que no es superado por el 80 % de los eventos de precipitación (V_{80}), cuyo valor para la ciudad de Madrid se presenta en el apartado 5.1.4. Dicho volumen (V_E) puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$V_E = A_{imp} \cdot \frac{V_{80}}{10^3} \quad (1)$$

Donde:

V_E = Volumen de esorrentía a almacenar en origen (m^3)

A_{imp} = Área impermeable (m^2)

V_{80} = Volumen de lluvia de percentil 80% para garantizar cantidad (mm)

5.3.2 Cálculo del volumen neto disponible en el SUDS

Tras una primera estimación de la superficie y la profundidad disponible para la construcción del elemento de almacenamiento temporal, considerando las restricciones de espacio del lugar, debe estimarse el volumen de almacenamiento en el SUDS (V_{SUDS}), para lo que puede emplearse la siguiente fórmula:

$$V_{SUDS} = \sum_{i=1}^m A_{b,i} \cdot h_i \cdot n_i \quad (2)$$

Donde:

m = Número de capas diferentes

n_i = Porosidad de la capa i (adimensional)

- * Superficial sin relleno (vol. huecos = vol. total): aplicar $n = 1,0$
- * *Gravas*: utilizar $n = 0,3$ si no se dispone de un valor específico.
- * *Celdas y cajas reticulares*: emplear $n = 0,9$ o lo indicado por el distribuidor, en su caso.

$A_{b,i}$ = Área de la base de la capa i (m^2)

h_i = Profundidad de la capa i (m)

- * Habitualmente, la altura de la lámina de agua superficial es $\leq 0,3$ m.
- * Si la altura de la lámina de agua superficial es $> 0,3$ m, entonces es necesario escalonar los laterales (según se muestra en la Figura 5) y tomar las medidas de seguridad oportunas.

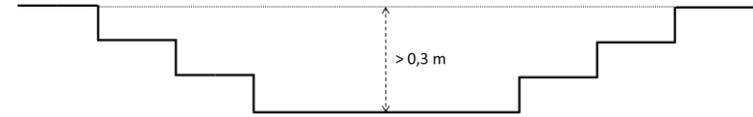


Figura 5. Ejemplo de escalonamiento de los laterales.

- * Si altura de la lámina de agua superficial es $> 0,5$ m, entonces es necesario pedir autorización al Ayuntamiento de Madrid.
- * Es aconsejable que la altura de la lámina de agua en una estructura enterrada no supere 1,5 m.

Ejemplo. Si se considera constante la sección transversal de la Figura 6, el volumen neto disponible se calcularía (de forma simplificada) como:

$$V_{SUDS} = [h_1 \cdot e_T \cdot 1 + h_2 \cdot e_T \cdot 0,3 + (e_1 + e_3) \cdot h_3 \cdot 0,3 + h_3 \cdot e_2 \cdot 0,9 + h_4 \cdot e_T \cdot 0,3] \cdot L_2$$

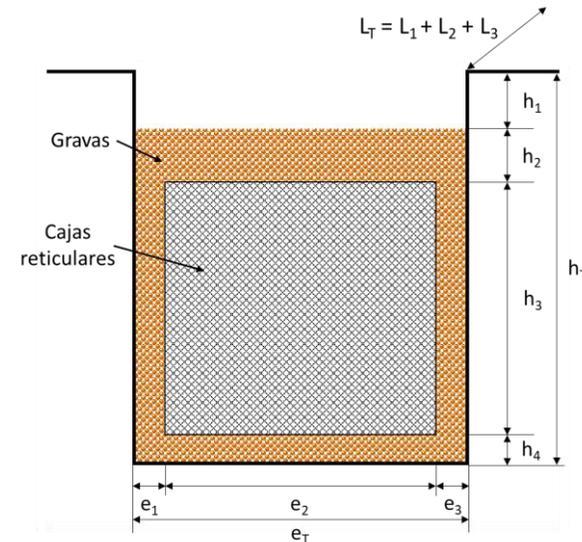


Figura 6. Ejemplo de sección transversal.

En la Figura 6, si el material presente en la sección es homogéneo, la longitud L_2 corresponde a la longitud total de la zanja (L_T). En cambio, si cuenta con materiales con diferentes porosidades, la longitud L_2 correspondería al elemento de mayor porosidad. Por ejemplo, si fuera una solución mixta con cajas reticulares y gravas, L sería la longitud total de las cajas, y el volumen calculado sería menor al real (del lado de la seguridad).

5.3.3 Comprobación de la capacidad de almacenamiento

Tras un primer tanteo, comenzará un proceso iterativo conducente a la comprobación de que el SUDS propuesto cuenta con un volumen neto disponible tal que es suficiente para almacenar temporalmente, al menos, el volumen de escorrentía generado por V_{80} .

De este modo, si se verifica que $V_{SUDS} \geq V_{generado}$ entonces se puede avanzar al siguiente paso; en caso contrario, aumentar el V_{SUDS} hasta que $V_{SUDS} \geq V_{generado}$.

5.3.4 Comprobación del tiempo de vaciado

Con el objetivo de que el volumen de almacenamiento del SUDS esté disponible para lluvias sucesivas, es recomendable que el período de vaciado completo no supere las 48 h.

Si tras evaluar los condicionantes presentados en el apartado 5.2.1 se concluye que es seguro infiltrar en la zona de estudio, y el coeficiente de permeabilidad de cálculo del terreno es superior a 10^{-6} m/s, entonces el vaciado del volumen del SUDS se realizará por infiltración.

Si el coeficiente de permeabilidad $k > 10^{-4}$ m/s, o la altura de la lámina de agua es inferior a 0,5 m, no es necesario comprobar el tiempo de vaciado del SUDS y sería posible avanzar hacia al siguiente paso (apartado 5.3.5). Sin embargo, si $k < 10^{-4}$ m/s y $h > 0,5$ m, entonces se debe comprobar si el SUDS se vacía en menos de 48 h. Para ello, se considera el vaciado tanto por la base como por los laterales de la capa con mayor volumen de almacenamiento de agua, mediante la siguiente fórmula:

$$t_{vaciado} = \frac{n \cdot A_b}{k \cdot P} \left[\frac{h_{max} + \frac{A_b}{P}}{2} + \frac{A_b}{P} \right] \quad (3)$$

Donde:

$t_{vaciado}$ = Tiempo de vaciado (h)

n = Porosidad de la capa con mayor volumen de almacenamiento útil.

Por ejemplo, en la Figura 6 se emplearía el índice de huecos de las cajas que indicase el fabricante.

A_b = Área de la base (m). Siguiendo el ejemplo de la Figura 6 y siguiendo L_T la longitud total de la zanja:

$$A_b = e_T \cdot L_T$$

k = Coeficiente de permeabilidad (m/h)

P = Perímetro de la base (m)

h_{max} = Columna de agua máxima desde la base de la estructura de infiltración (m)

Si el $t_{vaciado} > 48$ h es necesario modificar las dimensiones del SUDS hasta que se cumpla esta condición (por ejemplo, aumentando su superficie en planta y reduciendo su profundidad) antes de continuar con el siguiente paso (apartado 5.3.5).

En el caso en que la infiltración al terreno del agua almacenada no sea viable, el agua de vaciado se dirigirá a un cauce o arroyo cercano, o en su defecto, al sistema de alcantarillado municipal. En el caso en que no existan restricciones específicas de vertido (ver apartado 5.3.5), el vaciado se realizará a través de un conducto drenante (p. ej. un tubo dren) que capte el agua almacenada una vez filtrada por una combinación de vegetación, suelo, material granular y/o geotextiles (según la técnica de drenaje sostenible empleada), que conectará con un pozo de registro normalizado a partir del cual el agua será conducida hacia el cauce, o en su defecto, al sistema de alcantarillado municipal (ver sección del Anexo nº 4).

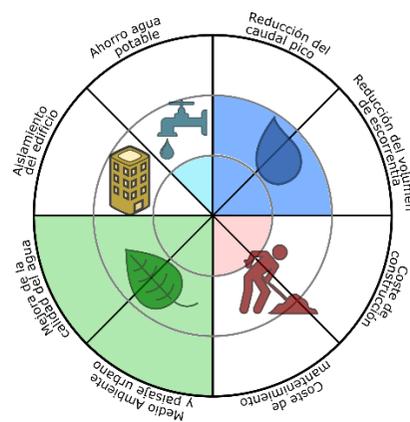
En este caso también se tendrá que comprobar que se cumple la condición de vaciado en 48 h, empleando para ello las ecuaciones de flujo pertinentes. De manera simplificada, puede considerarse que el conducto drenante ejerce de simple conector entre la infraestructura de almacenamiento y el pozo de registro, y que el control sobre el caudal de salida lo ejerce un orificio. Para dimensionar el orificio, o bien para calcular el tiempo de vaciado, se pueden emplear las siguientes ecuaciones (válidas para un volumen de almacenamiento en forma de prisma recto de área en planta A_s y altura h):

JARDINES DE LLUVIA

DESCRIPCIÓN:

Los jardines de lluvia, también conocidos como parterres inundables, son depresiones cubiertas de vegetación, que facilitan el almacenamiento superficial de escorrentía. Reducen los contaminantes mediante la filtración de la escorrentía a través de la vegetación y el suelo preparado inferior. Si es posible, el agua se infiltra al terreno y, en caso contrario, se puede instalar un drenaje sub-superficial para evacuar controladamente la escorrentía almacenada. Las plantas también contribuyen a su vaciado mediante la transpiración.

VALORACIÓN:



ESQUEMA:



- 1.- Agua desde superficie impermeable.
- 2.- Bloque dissipador de energía.
- 3.- Separación suficiente de la cimentación.
- 4.- Ancho mínimo (más de 2 m.)
- 5.- Vegetación resistente a periodos húmedos y secos.
- 6.- Profundidad entre 15 y 30 cm
- 7.- Infiltración al subsuelo.
- 8.- Tierra vegetal.

Fuente: Ayto. de Benaguasil.

EJEMPLO:



Jardín de lluvia en la C/ Alfonso XIII con C/ Paraguay, en Madrid.
Fuente: Ayto. de Madrid.

CRITERIOS DE DISEÑO:

- El almacenamiento temporal superficial suele tener una altura inferior a 300 mm; y el suelo preparado con material orgánico, un espesor de 200-500 mm.
- Cuando el agua procede de zonas con nivel medio de contaminación, el espesor de sustrato debe aumentarse hasta 0,8-1 m para aumentar la capacidad de biorremediación.
- La base debe ser lo más plana posible.
- Las pendientes laterales máximas son 3H:1V, pero si se protegen contra la erosión se permite 2H:1V.
- La entrada de escorrentía debe estar habilitada con una protección para evitar la erosión.
- La vegetación debe ser densa para potenciar la filtración y la permeabilidad, con especies autóctonas.
- Para eventos que excedan la capacidad de diseño, se debe disponer de un punto de rebose, que se intentará localizar cerca del punto de entrada (para evitar la erosión).
- En terrenos impermeables se le dotará de un drenaje sub-superficial.

BENEFICIOS:

- Mejoran la calidad del agua y del aire.
- Instalación sencilla y poco costosa.
- Ofrecen una gran variedad de tamaños y diseños creativos para adaptarse con el lugar y hacerlo más atractivo.
- Aumenta la proporción de área permeable en el medio urbano.
- Mejoran la estética del entorno al introducir áreas de almacenamiento efímero de agua.
- Contribuyen a la biodiversidad local, con oportunidades para hábitats de pequeños animales, aves e insectos.

REQUISITOS DE MANTENIMIENTO:

- Necesitan riego suplementario durante los 2-3 primeros años, y en época de sequía prolongada.
- Mantenimiento regular de la vegetación.
- Puede requerir reparaciones por erosión en los puntos de entrada del agua.
- Deben realizarse inspecciones anuales para comprobar que se mantiene la permeabilidad del suelo, o en su defecto, escarificar para recuperarla.

LIMITACIONES:

- La vegetación requiere un mantenimiento periódico para preservar el atractivo del lugar.
- La escorrentía debe filtrarse hacia las capas inferiores y ser evacuada en menos de 48 h, pues el estancamiento prolongado de agua podría conducir a tener problemas de olores y mosquitos.
- No se puede utilizar fertilizantes o productos químicos para no contaminar la escorrentía.
- Suele especificarse que disten al menos 2-3 m de cimentaciones cercanas, o considerar el uso de geomembranas de protección.

CONSIDERACIONES DE IMPLANTACIÓN:

Gran requisito de espacio:	No
Apto en suelos impermeables:	Sí*
Apto cuando la separación entre la base del SUDS y el nivel freático <1 m:	Sí*
Tratamiento suficiente cuando eventualmente haya vehículos ligeros sobre la cuenca:	Sí
Costes de construcción:	30 - 200 €/m ²
Costes de mantenimiento:	2,5 €/m ² /año 1,5-4,9 €/m ² /año

(*) Cuando esté provisto de drenaje en la base.