

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE LA EDIFICACIÓN  
UNIVERSIDAD DE SEVILLA  
GRADO EN EDIFICACIÓN

SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE:  
UNA REALIDAD SISTEMÁTICA A CORTO PLAZO

TRABAJO FIN DE GRADO. Junio 2020

Autor: JOSÉ CARLOS BAENA AMAYA

Tutores: Dr. FRANCISCO JAVIER GUEVARA GARCÍA. Universidad de Sevilla

Dr. JACINTO CANIVELL GARCÍA DE PAREDES. Universidad de Sevilla

Dr. MIGUEL ÁNGEL LEÓN MUÑOZ. Universidad de Sevilla

Tutor externo: D. DARÍO MAURIÑO MORALES. Emasesa

## ÍNDICE

0. RESUMEN .....	1
0. ABSTRACT .....	2
1. INTRODUCCIÓN .....	3
2. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.....	10
3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	11
3.1.    Objetivo Principal.....	11
3.2.    Objetivos Secundarios .....	11
4. ESTADO DE LA CUESTIÓN .....	12
4.1.    Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible .....	12
4.2.    La importancia de los acuíferos y el terreno.....	18
4.3.    Ejecución del saneamiento actual .....	21
4.4.    Materiales utilizados .....	30
4.5.    Estado actual del drenaje urbano .....	31
4.6.    Clasificación de los SUDS (Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles) ....	31
5. METODOLOGÍA.....	42
5.1.    Elección del tema a tratar .....	42
5.2.    Visitas a la zona .....	42
5.3.    Identificación y propuestas de mejora .....	43
5.4.    Conclusiones.....	43
6. ANÁLISIS .....	44
6.1.    Análisis de la información .....	44
6.1.1.    Relleno de material drenante .....	45
6.1.2.    Permeabilidad del suelo.....	46
6.1.3.    Conductividad hidráulica del material a utilizar como relleno .....	48
6.1.4.    Tubería drenante elegida .....	52
7. ESTUDIOS Y PROPUESTAS .....	53
7.1.    Ficha Modelo 1 “Zanja Central” .....	53

7.1.1.	Descripción .....	53
7.1.2.	Cálculo de la zona estudiada .....	59
7.1.3.	Cálculo de la sección equivalente de la zanja principal .....	64
7.1.4.	Estimación económica .....	65
7.2.	Ficha Modelo 2 “Zanja longitudinal más pozo drenante” .....	66
7.2.1.	Descripción .....	66
7.2.2.	Cálculo de la zona estudiada .....	78
7.2.3.	Cálculo de la sección equivalente de la zanja principal .....	81
7.2.4.	Estimación económica .....	82
7.3.	SUDS adaptables a los Modelos .....	83
7.3.1.	Imbornal longitudinal .....	83
7.3.2.	Rejilla transversal .....	85
7.3.3.	Alcorque .....	87
7.4.	Límites y precauciones.....	88
8.	RESUMEN DE ESTUDIOS Y PROPUESTAS .....	89
9.	CONCLUSIONES .....	90
9.1.	Futuras líneas de trabajo .....	90
10.	REFERENCIAS .....	91
10.1.	Libros .....	91
10.2.	TFG Y TFM .....	91
10.3.	Normativa .....	91
10.4.	Artículos, Revistas, Blogs y Guías .....	95
10.5.	Referencias WEB.....	96
11.	ÍNDICE DE FIGURAS.....	97
12.	ÍNDICE DE TABLAS .....	102
13.	ANEXOS.....	103
13.1.	Planos.....	103

## **AGRADECIMIENTOS**

Al grupo GreenSUDS al completo y en especial a D. Raúl Herrero Domínguez y D. Darío Mauriño Morales por su amabilidad.

Al Dr. Francisco Javier Blasco López por su aportación siempre eficaz y al Dr. Juan Manuel Macías Bernal por su interesante y valiosísima información desde el primer email.

Y, especialmente, a mi tutor el Dr. Francisco Javier Guevara García por su ayuda constante en todo momento.

## 0. RESUMEN

**E**l presente proyecto Fin de Grado nos permitirá conocer la necesidad de la reutilización del agua de lluvia en las ciudades actuales. Ciudades que, en muchas ocasiones, cuando reciben cantidades excesivas de agua pluvial procedentes de las calles, plazas y cubiertas de los edificios y supera el caudal que la instalación actual de saneamiento puede albergar, acaba suponiendo un verdadero quebradero de cabeza para las empresas suministradoras. De ahí el interés del estudio de sistemas para la adopción de medidas sostenibles. Estas ideas, cada vez más desarrolladas, diversifican los procesos habituales de evacuación del agua pluvial en multitud de técnicas para su reutilización.

En este sentido surgen los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Sistemas que utilizando ese fluido, por medio de diferentes procesos, adaptan el uso para su reutilización, retención o la infiltración hacia el terreno.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo consiste en la recopilación y el estudio de ideas reales ya implantadas en infinidad de ciudades para realizar detalles técnicos que complementen a los sistemas ya perfeccionados. Aportar soluciones para que la piel de las ciudades actuales, básicamente impermeables, permitan el paso del agua a través de su piel como antes de existir, contribuyendo a su mayor sostenibilidad y evitar las inundaciones que actualmente producen.

La finalidad de este estudio es llegar a conclusiones para que, en un futuro a medio plazo, consigamos seguir manteniendo una línea ascendente en cuanto a la difusión de la reutilización de un bien preciado y duradero como es el agua de lluvia, con la consolidación de modelos ya testados y normalizando un modelo de ciudad más sostenible.

## 0. ABSTRACT

The present End of Degree project will allow us to know the need for rainwater reuse in today's cities. Cities that, on many occasions, when they receive excessive amounts of rainwater from the streets, squares and roofs of buildings and exceed the flow that the current sewage installation can accommodate, end up being a real headache for the supply companies. Hence the interest in studying systems for the adoption of sustainable measures. These ideas, which are increasingly developed, diversify the usual processes for evacuating rainwater into a multitude of techniques for its reuse.

This is where the Urban Sustainable Drainage Systems (SUDS) come in. Systems that use this fluid, by means of different processes, adapt its use for reuse, retention or infiltration into the ground.

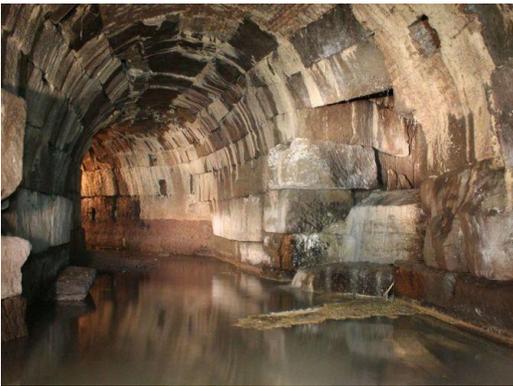
Therefore, the objective of this work consists of the compilation and study of real ideas already implemented in countless cities in order to carry out technical details that complement the systems already perfected. To provide solutions so that the skin of today's cities, which are basically waterproof, allow water to pass through their skin as it did before, contributing to their greater sustainability and preventing the floods that they currently produce.

The purpose of this study is to reach conclusions so that, in the medium term, we can continue to maintain an upward line in terms of the dissemination of the reuse of a precious and durable asset such as rainwater, with the consolidation of models that have already been tested and standardising a more sustainable city model.

## 1. INTRODUCCIÓN

Si tuviéramos que agradecer algo a la civilización romana desde el punto de vista de este trabajo, sería el sistema de saneamiento que instauraron. Las enfermedades que causaba la exposición e insalubridad de las aguas residuales fue el motivo para el soterramiento de ellas. Un sistema que recogía, además, las escorrentías superficiales que anegaban las ciudades los días de lluvia. De esa idea principal, derivó posteriormente en un sistema complejo de saneamiento que a día de hoy nos sigue sorprendiendo.

Figura 1: Cloaca Máxima



Fuente: obrasdeinfraestructuraromanaicum

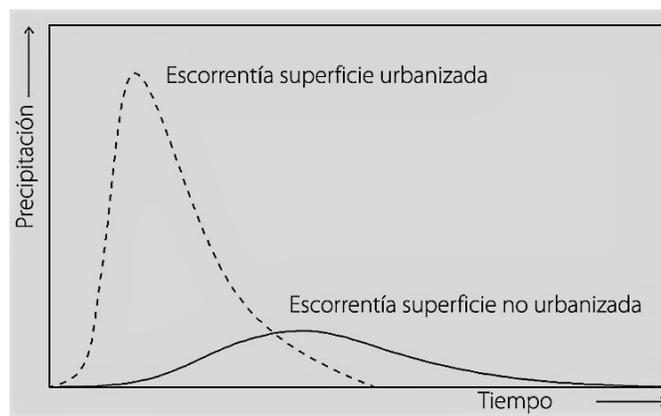
Figura 2: Grabado de Giovanni Piranesi



Fuente: Aquae Fundación

Si pensamos en el ciclo integral del agua, en la actualidad, las urbanizaciones de las ciudades no son proclives a la naturaleza de ese ciclo hidrológico. El cambio de paradigma de las infraestructuras urbanas durante los últimos decenios, ha prolongado la idea de evacuar lo más rápido posible el agua pluvial de las calles y conducir las, mayormente, sin reutilización.

Figura 3: Cantidad de escorrentía según el tiempo



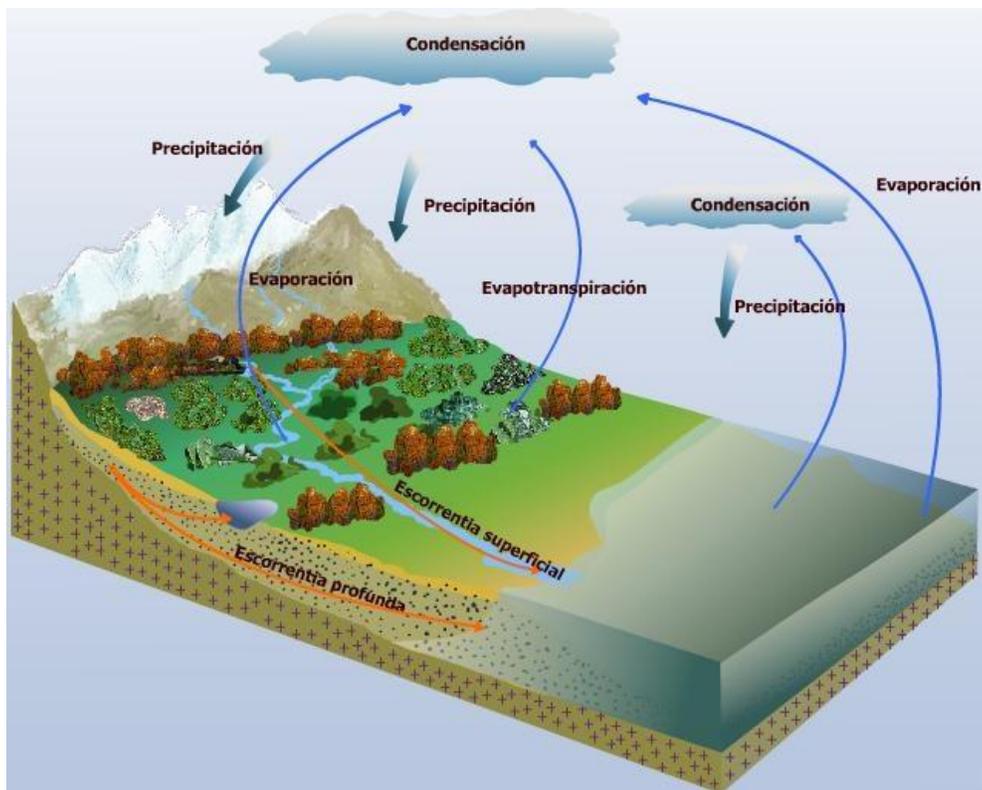
Fuente: Guía de adaptación al riesgo de inundación: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

De hecho, en un porcentaje bastante elevado, el agua de lluvia de las ciudades no se filtra al terreno, va directamente a los imbornales y, por ende, a las depuradoras.

Pongamos que en una ciudad de España cae diez litros de agua de lluvia por metro cuadrado en diez minutos, o cien, o mil. Mientras que las calles sigan mojadas en su justa medida, los ciudadanos, ajenos al flujo que circula por el saneamiento, transitarán sin ningún problema. Incluso si las calles tienen una orografía peculiar y perfectas para una completa anegación. Si todo fluye, todo perfecto. Por eso, tenemos que recordar la complejidad del sistema actual de saneamiento y la importancia de mantener el ciclo natural del agua.

Siendo el proceso de la circulación del agua en sus diferentes estados: líquido, sólido y gaseoso, “El Ciclo”, describe la presencia y el movimiento del agua en la Tierra y sobre ella.

Figura 4: El ciclo del agua



Fuente: geologicalmanblog

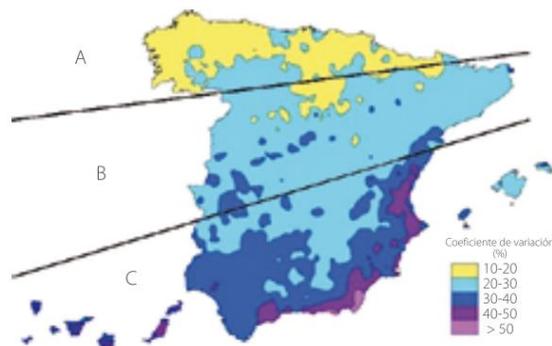
En este caso, la evaporación, es el paso del estado líquido a gaseoso. El agua se evapora de la superficie a la atmósfera. La condensación, por la que el agua se encuentra en estado gaseoso tras la evaporación, vuelve a su forma líquida. Por medio de la precipitación, el agua vuelve a la superficie terrestre en forma de lluvia, nieve y granizo; siendo, el transporte y la infiltración, la forma por el que el fluido circula y penetra por el terreno.

**Figura 5: Precipitaciones (mm)**

	Precipitaciones (mm)			
	Precipitación media (mensual)	Precipitación media (anual)	Precipitación máxima	Precipitación mínima
Zona A	79,14	949,72	357,86	0,50
Zona B	37,47	449,58	221,89	0,00
Zona C	32,92	395,05	304,64	0,00

Fuente: GIAE, “La Gestión Integral del Agua de Lluvia en Entornos Edificados”

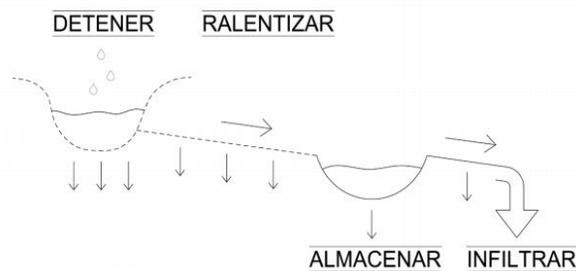
**Figura 6: Mapa de precipitaciones por zonas**



Fuente: GIAE, “La Gestión Integral del Agua de Lluvia en Entornos Edificados”

Con los datos obtenidos de las precipitaciones en zonas de España, podemos pensar en la importancia de un recurso desaprovechado y necesario para la reutilización e infiltración en muchas ocasiones. El agua que cae en las calles y en las azoteas de cada edificio debería infiltrarse en el terreno hasta el nivel freático, siendo algo natural y, en cualquier caso, podría estar exenta de llegar a una red unitaria. Aunque existen redes separativas en algunos casos, podríamos buscar opciones para que pueda derivarse una cantidad mayor de agua antes de realizar redes separadas. Sistemas como pueden ser los SUDS, ejecutados en zonas dispuestas estratégicamente.

**Figura 7: Esquema del funcionamiento de la cadena de gestión del agua**



Fuente: Guía de adaptación al riesgo de inundación: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

Pero, ¿qué son los SUDS?<sup>1</sup>

Los SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible) son sistemas que gestionan las aguas pluviales de una manera autónoma, instalados para conducir el agua de escorrentía en las ciudades ya urbanizadas, filtrando, infiltrando al terreno o acumulándola para su reutilización; incorporando para ello elementos que se integren en la instalación o como diseño urbanístico.

Figura 8: SUDS en Madrid, Santander y Barcelona



Fuente: RUMBO 20.30. CONAMA 2018. Agua y Ciudad. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

Sistemas que albergan y retienen una cantidad de agua superficial que, convenientemente, utilizan en algunos casos para atemperar zonas de las ciudades que en diversos momentos del año son necesarias de refrescar, proporcionando un confort térmico que poco a poco disminuye con el procedimiento actual de ejecutar las calles. (Referencias, Wikipedia tensión superficial)

Figura 9: Termografía urbana. Análisis de temperatura de diferentes acabados superficiales

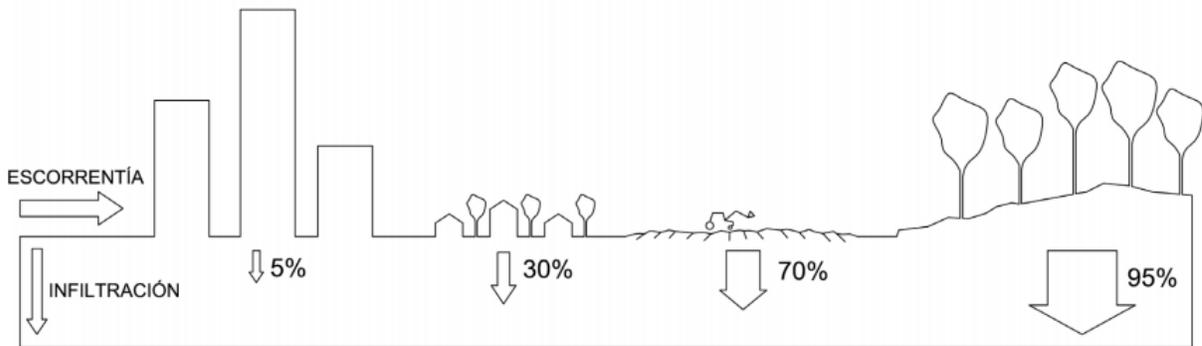


Fuente: Guía de adaptación al riesgo de inundación: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

<sup>1</sup> Video explicativo. SUDRAIN. Referencias WEB (1)

Sabiendo de la impermeabilidad de las ciudades ya consolidada, otra oportunidad no menos importante, nos obliga a proyectar ideas para devolver, no sin dificultad, el agua a los acuíferos. Algo que debe ser esencial no solo como sistema ya integrado en las instalaciones, sino como la importancia de saber que no podemos desaprovechar un recurso natural para revertirlo a su zona hídrica.

Figura 10: Relación entre escorrentía e infiltración en función del grado de urbanización



Fuente: Guía de adaptación al riesgo de inundación: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

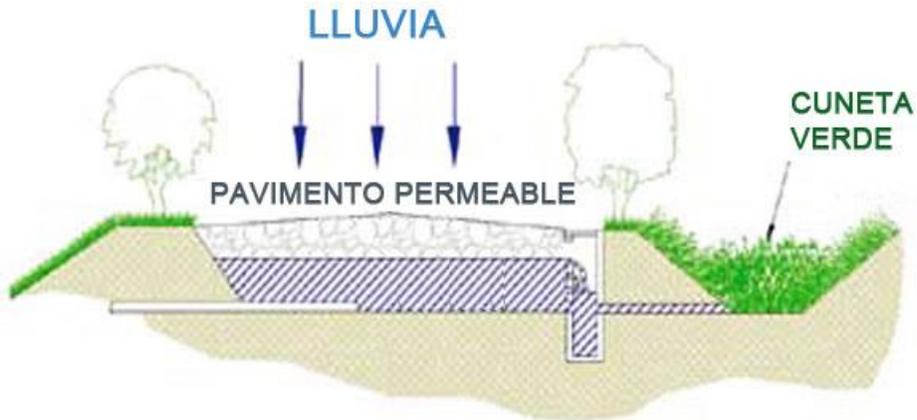
Figura 11: Cantidad de escorrentía e infiltración en función del tiempo y de la cantidad de precipitación

CANTIDAD ESTIMADA DE AGUA DE ESCORRENTÍA Y DE INFILTRACIÓN SEGÚN GRADO DE URBANIZACIÓN				
	Ciudad densamente urbanizada	Residencial urbanización media	Zona rural o agropecuaria	Entorno natural
Escorrentía	95%	70%	30%	5%
Infiltración	5%	30%	70%	95%

Fuente: Guía de adaptación al riesgo de inundación: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

En la actualidad, hay diversos estudios y conceptos muy útiles en el desarrollo de la sostenibilidad de los drenajes urbanos preestablecidos pudiendo aplicarse sin dificultad y con un mantenimiento básico. Como por ejemplo las cunetas verdes, lugares ajardinados que retienen e infiltran al terreno el agua acumulada y fáciles de ubicar en zonas con espacio entre calzadas. O pavimentos permeables que, recibiendo el agua pluvial, acaban filtrando de impurezas el agua antes de la infiltración al terreno. (Referencias: Pavimentos permeables, Universidad Autónoma en el valle de Sula,)

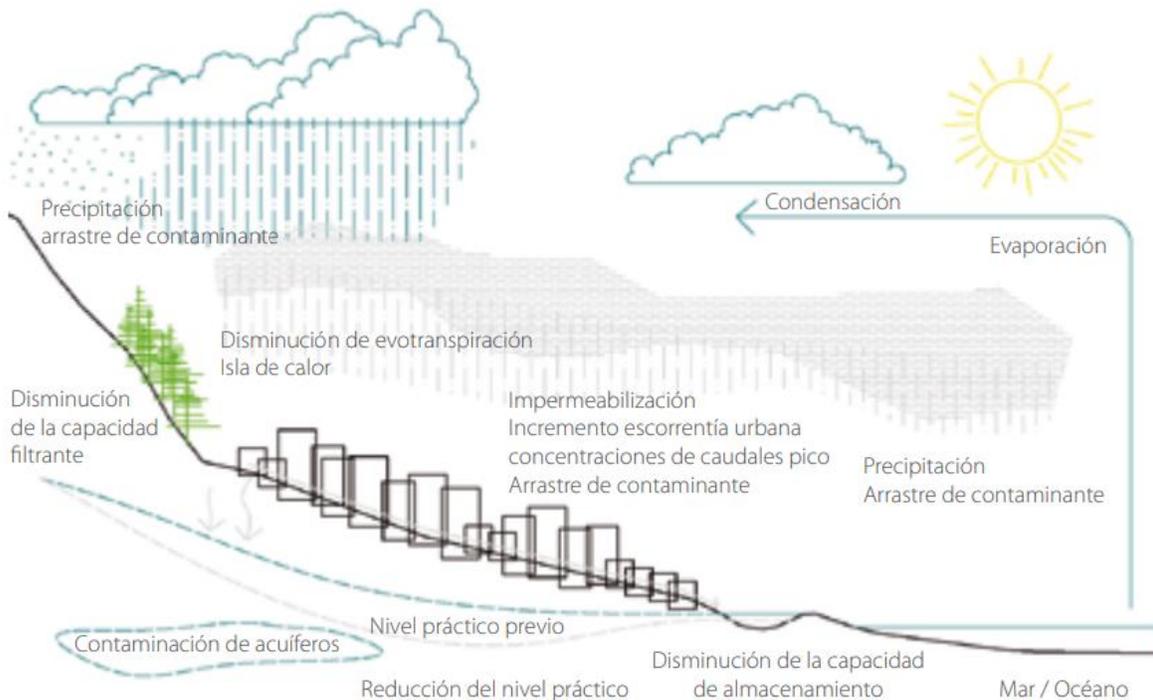
Figura 12: Sistema conjunto de pavimento y cuneta para unificar toda la lluvia en un mismo punto



Fuente: Pennsylvania Stormwater BMP Manual, 2006

De todo esto, lo complejo sería instaurar un concepto para hacerlo de manera mecánica en lugares con más dificultad debido a su espacio. Aun así, como no se puede luchar contra un modelo de ciudad que, indefectiblemente sigue la evolución de los tiempos, estudiaremos más detenidamente los conceptos antes citados donde se pueden sistematizar en la urbanización actual.

Figura 13: Trastorno del Ciclo del agua debido a la urbanización actual



Fuente: GIAE, "La Gestión Integral del Agua de Lluvia en Entornos Edificados"

Por último, habría que incidir en la importancia del uso de los SUDS en las ciudades, siendo uno de los motivos más evidentes las inundaciones comúnmente sufridas por diversas poblaciones ya urbanizadas a lo largo de las épocas más propicias; algo que inevitablemente transcurre por la obvia saturación de los sistemas de saneamiento cuando la precipitación es abundante y por la impermeabilidad de las mismas antes citadas. Y un caso más que importante para ejecutar sistemas que drenen las ciudades en momentos de un exceso de agua pluvial. (Referencias: Wikipedia, inundación)

**Figura 14: Aspecto que presentan algunas calles del casco viejo de Tudela (Navarra) en la inundación de 2018**



Fuente: El País

Por lo tanto, este trabajo tiene que ir un paso más a la hora de saber qué hacer con el agua de lluvia de manera sostenible. Lógicamente no pretende ser un trabajo definitivo para una población concreta, ni para una calle si me apuran. Solo de aportar ideas, que, habiendo sido ya meditadas por algunos técnicos, pero no realizadas por diferentes motivos, consigan ser un engranaje más de la cadena que lleve a la sostenibilidad de nuestro saneamiento.

## 2. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

Diariamente, estamos siendo informados de la pérdida de recursos naturales que está padeciendo el planeta en los últimos años y, cada vez, tenemos más conciencia sobre actuaciones que realizamos en el día a día. Pero existen procedimientos, que ejecutamos de forma sistemática y aun no tenemos constancia que podemos revertirlo para una mejora de la sostenibilidad de nuestro entorno. Este tema que nos impele, es de vital importancia para ayudar a que el agua siga manteniendo su ciclo natural. Algo que desgraciadamente vamos reduciendo en las grandes ciudades.

Figura 15: Planeta Tierra



Fuente: blogs.iadb.org

El sistema de saneamiento que hallamos actualmente en nuestra población, nos empuja a buscar la forma adecuada para que, en lugares con limitado espacio, se pretenda aplicar eficazmente una mejora en todo lo que nos concierne.

Por ello, incorporar Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles de una manera ordenada y organizada en las próximas actuaciones, puede ser también el comienzo para sistematizar la forma en la que trabajamos en el sector de la construcción. Así, podríamos obtener unos materiales ya estudiados y definidos para la correcta ejecución de los sistemas, estimar un presupuesto común en cualquier lugar con unos modelos específicos y, sobre todo, implantar de manera habitual una forma de trabajo teniendo conciencia de la utilización del agua de lluvia como un recurso natural gratuito y aprovechable, revirtiéndola posteriormente a su lugar dentro del ciclo.

Este pensamiento va esencialmente unido a la Empresa Metropolitana de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla (EMASESA) y la Universidad de Sevilla que, conjuntamente constituyen “La Cátedra del Agua”. Un lugar donde promocionan actividades divulgativas y de investigación vinculadas con la realidad y la problemática relacionada a los aspectos del Ciclo integral del Agua. Dirigida a docentes, alumnos, grupos de investigación y empresas del sector, siendo este trabajo Fin de Grado una colaboración más que ayude a encontrar otro punto de vista.

Asimismo, la idea principal es enfocar el trabajo en emplazamientos de nuestro entorno, donde comúnmente está asimilado el modelo actual de saneamiento, simulando procesos diferentes y proyectando nuevas situaciones en las que podremos asemejar a otras zonas.

### 3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

#### 3.1. Objetivo Principal

Proporcionar una variedad de elementos y recursos en la instalación de saneamiento, aportando Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible que puedan ser ejecutados de manera eficiente.

#### 3.2. Objetivos Secundarios

Para la obtención del objetivo principal planteado es intrínseco la consecución de los objetivos secundarios. Por ello, se trabajará expresamente en la realización de todos de manera inherente.

- Conseguir una mejor confortabilidad para el ciudadano.
- Mantener la sostenibilidad de los acuíferos.
- Lograr un tratamiento de filtrado de agua antes de la infiltración hacia el terreno.
- Hallar una ejecución atípica de la instalación de saneamiento de manera económica.
- Mejorar el desarrollo de pavimentos drenantes.
- Potenciar el uso de sistemas de acabados urbanos no impermeables: sistemas tradicionales de jardines delimitados en zonas específicas o terminaciones con materiales porosos entre ellos.
- Reducir la escorrentía.
- Aumentar el almacenamiento de agua para reducir la necesidad de tanques de tormenta.

Todo esto, con diversas formas de ejecución y acordes a varios tipos de calles y terreno. O de alguna manera, habituando la técnica de construcción actual a diferentes materiales no usados anteriormente.

## 4. ESTADO DE LA CUESTIÓN

### 4.1. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

Es importante destacar que los SUDS tienen ya una trayectoria internacional de unos cincuenta años aproximadamente. Existen muchas ciudades en el mundo que ya incorporan sistemas para la recogida de agua de lluvia o elementos para posibilitar la infiltración al terreno. En este caso, los Estados Unidos legislan por primera vez en el año 1972, con una Ley llamada “Clean Water Act” y “National Pollution Discharge Elimination System” (Referencias WEB), donde mantienen una idea principal de la utilización del agua pluvial y subterránea enfocada principalmente en infraestructura verde. La ciudad de Nueva York está queriendo ser tendente en el estudio y lanzamiento de programas y proyectos; de ahí que en el año 2010 se publicó el “NYC Green Infrastructure Plan” (Referencias WEB). En este sentido, define una estrategia basada en infraestructura verde para la consecución de los objetivos previamente definidos: reducir el volumen de vertidos al medio, gestionar la lluvia en origen mediante SUDS y potenciar los beneficios añadidos para promover la sostenibilidad de la ciudad. (FUNDACIÓN CONAMA, 2018. Grupo de trabajo ST-10. Referencias WEB).

Figura 16: Vitoria-Gasteiz. Eje piloto de intervención, sección



Fuente: elblogdefarina.blogspot.com

Otras grandes urbes que han apostado firmemente por la gestión de sus escorrentías mediante técnicas SUDS son Washington DC, San Francisco, Londres, París, Melbourne o grandes aglomeraciones chinas como Wuhan que han adoptado recientemente las estrategias denominadas “ciudad esponja”<sup>2</sup>. (FUNDACIÓN CONAMA, grupo de trabajo ST-10. Referencias WEB).

Figura 17: Ciudad esponja



Fuente: unikpavermachine.com

## LAS CIUDADES ESPONJAS ESTÁN FRENANDO LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO E INUNDACIONES

“Es una nueva forma de pensar sobre las aguas pluviales, no como un problema sino como una oportunidad y un recurso para aumentar nuestro suministro de agua” (Richard Luthy, Universidad de Stanford)

En España, actualmente, la implantación de los SUDS es escasa y, aunque se están realizando actuaciones en varias ciudades, es síntoma del consenso entre los profesionales del sector. Para todo esto, la legislación existente con respecto al agua es extensa. Pero donde contribuye, en gran medida, la legislación estatal, como se ha hecho con la entrada en vigor del Real Decreto 638/2016, que en su artículo 126 ter.7, obliga a introducir SUDS en nuevos desarrollos urbanos. (FUNDACIÓN CONAMA, grupo de trabajo ST-10. Referencias WEB). En el futuro, todo ello debe ir imbricado de normativas impulsadas por las Administraciones locales para obtener un respaldo legal en situaciones concretas.

Sin lugar a dudas, y no menos importante, la Foros técnicos como RedSUDS, donde intervienen profesionales, universidades y grupos de investigación de varias ciudades de España, en las que se revisa la situación actual, los últimos avances y las experiencias desarrolladas, ponen de manifiesto, cada vez con más fruición, la implicación de varios

<sup>2</sup> Video explicativo de Ciudad Esponja. (Referencias WEB) (2)

sectores en la gestión de las aguas pluviales. Todo ello, ha servido para la integración de trabajos en multitud de ciudades que servirá de precedente para futuras actuaciones.

También es importante destacar varios casos en los que se han trabajado singulares métodos según la orografía y urbanización de diversas calles.

### **SUDS en el barrio Torre Baró (Barcelona)<sup>3</sup>**

Se trata de un barrio residencial de reciente construcción que se encuentra en la parte montañosa de la ciudad de Barcelona. Un lugar, con calles con pendientes muy pronunciadas en las que, en las zonas superiores del barrio, predominan las zonas verdes. Todo ello implica una gran dificultad a la hora de gestionar la escorrentía que acaba confluyendo en la zona baja. Por tanto, en este caso, se utilizan las pendientes ya marcadas en las calles para dirigir el agua hacia dos franjas que contienen la alineación del arbolado, utilizando pavimento permeable que capta, filtra y conduce el agua hacia una serie de depósitos.

**Figura 18: Franja de pavimento drenante e imbornal**



Fuente: SUDS a Barcelona (Roberto Soto Fernández)

Estos depósitos están compuestos por estructuras modulares reticulares de polipropileno dada su gran resistencia y capacidad de almacenamiento (90% de huecos), que permiten el paso del agua a su través, recibiendo la escorrentía captada por su parte superior (en contacto directo, mediante una capa de gravas, con las franjas filtrantes). Están conectados entre sí por tuberías que, al ser de pequeño diámetro, favorecen la retención temporal del agua en cada uno de los depósitos, produciendo una laminación de los caudales a lo largo de todo el recorrido por la red de drenaje sostenible. A su vez, el agua recogida en las cubiertas de los edificios colindantes vierte a una serie de arquetas que conectan con los depósitos previamente descritos. (Soto, R. 2016, blog)

---

<sup>3</sup>“Innovación y Sostenibilidad en la Gestión del Drenaje Urbano: Primeras Experiencias de SuDS en la Ciudad de Barcelona”. Referencias/Artículos, Revistas, Blogs y Guías

Figura 19: Aspecto de un depósito de captación previo tras la colocación del pavimento drenante



Figura 20: Situación del pavimento

Fuente: sudsostenible.com

### Instalación de un depósito de detención al aire libre en el Parque Apeadero de Paterna (Valencia)<sup>4</sup>

La zona a tratar presenta un carácter marginal marcado por su emplazamiento entre un polígono industrial y un casco urbano sin desarrollo. De ahí, a acondicionar la zona descrita. El lugar, según el planeamiento municipal como “Zonas verdes, espacios libres y parques urbanos”, corresponde a la vía de desagüe principal del Barranco de la Fuente. Por lo tanto, debido a la configuración del terreno como a las condiciones impuestas por las infraestructuras que lo cruzan, con la ocurrencia de eventos de precipitación de intensidad moderada, se producen remansos de agua de forma frecuente.

Para conseguir el objetivo principal de disminución del volumen de agua, se trabajó sobre una amplia extensión de terreno improductivo, puesto que, al ser mayor el almacenamiento y la recarga, menor sería la escorrentía, el número de inundaciones y la erosión en cauce. Como la permeabilidad del terreno no era muy alta, se ejecutaron cuatro pozos de infiltración rectangulares distribuidos a lo largo del Parque de dimensiones 4x4 metros en planta y de unos 4,50 metros de profundidad, para favorecer de alguna manera la recarga. (Altarejos García Luis)

<sup>4</sup> “Aplicación de sistemas de drenaje urbano sostenible en el desarrollo urbanístico de Paterna (Valencia)”, Referencias/Artículos, Revistas y Guías.

Figura 21: Consecuencias de las lluvias en el Parque Apeadero



Fuente: sudsostenible.com

Figura 22: Sección tipo de proyecto del Parque Apeadero



Fuente: sudsostenible.com

### SUDS en la Avenida del Greco (Sevilla)

El proyecto para optimizar la zona y mejorarla ambientalmente con diversas actuaciones en el diseño urbano, entre ellas, la incorporación de SUDS, ha hecho de esta avenida, uno de los lugares pioneros en Sevilla para un uso eficiente del agua de lluvia.

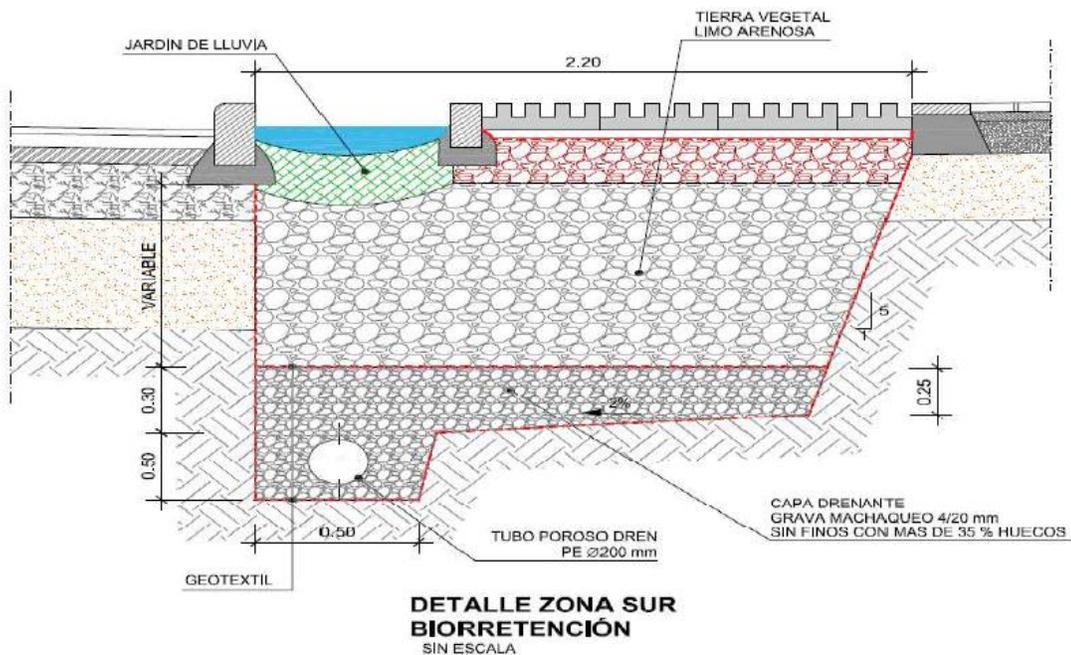
El proyecto, que ha contado con un proceso participativo entre los que se han aportado más de treinta ideas diferentes y han trabajado profesionales de varios sectores, incorpora varios sistemas como zonas de captación y detención o la mejora de la eficiencia del riego mediante un sistema de almacenaje.

Figura 23: Situación actual del pavimento drenante



Fuente: Ponencia, Ángel Mena Miranda. EMASESA

Figura 24: Detalle de borretención



Fuente: Proyecto Avda. del Greco EMASESA

## 4.2. La importancia de los acuíferos y el terreno

Un acuífero es una formación geológica de agua subterránea que almacena y mantiene la circulación de millones de litros. La importancia hoy en día de la utilización de las aguas subterráneas viene dada por el porcentaje utilizado para suministro como uso industrial, uso de agua gris y, principalmente, para uso agrícola. Por eso, la conveniencia de que sean reabastecidos es sin duda una opción fundamental.

Uno de los mayores problemas no es solo la recarga necesaria de un acuífero, sino que no exista una sobreexplotación de él. Diversos estudios consideran que la disminución del volumen es análoga al descenso continuado a largo plazo del agua subterránea. Por eso, existen las Confederaciones Hidrográficas que limitan el uso de la extracción para no menguar el recurso.

En España, se estima la extracción anual de aguas subterráneas en unos 5.500 Mm<sup>3</sup>, (MIMAM, 1998 b). de los que el 80% se utilizan en regadíos y el resto en usos urbanos (17%) e industriales (3%). (“El Uso Sostenible de las Aguas Subterráneas”, Referencias/Artículos, Revistas, Blogs y Guías)

En cambio, muchas veces, se contemplan interpretaciones erróneas en base a la sobreexplotación del descenso continuado del volumen, pudiendo trasladarse en ese momento a un régimen de transición distinto de los acuíferos.

También existen sitios donde la profundidad de esa acumulación de agua es suficientemente amplia y se encuentra bajo estratos poco permeables; de modo que, la recarga puede ser debida a filtraciones independientes y por diferentes procesos del agua hacia el terreno.

En este caso, solo investigaremos los acuíferos que se recargan habitualmente por diferentes procesos de infiltración hacia el subsuelo. A continuación, describiremos los condicionantes que intervienen en el abastecimiento.

- **La capa freática.** Es una acumulación de agua subterránea que se encuentra a escasa profundidad bajo la superficie. Vertebra todas las cavidades en el subsuelo para llegar, según la cantidad y profundidad, a la recarga del acuífero.
- **La infiltración.** Es la cantidad de agua en superficie que penetra en el subsuelo. Hay que diferenciarlo de la percolación, que es la actividad del fluido en el interior. Hay diversas circunstancias por la que se infiltra según la permeabilidad y porosidad del terreno, las zonas vegetales, la cantidad de lluvia, etc. Sin duda, el agua de lluvia es elementalmente mayoritaria, aunque según el clima de la zona, y debido al componente

material del terreno, en zonas áridas influye más la infiltración indirecta por escurrimiento superficial y la incidencia del ser humano que por la precipitación.

La pendiente del terreno también es algo fundamental para la circulación de la escorrentía superficial en las que una pendiente excesiva, no retiene el flujo justo para la completa infiltración. En cambio, una pendiente completamente horizontal y poca porosidad del terreno, anega la zona. Así pues, el relieve es clave para la solución que necesitemos.

También podemos considerar que las lluvias medidas serán perfectas para la infiltración. Pero también con una cantidad desproporcionada en poco tiempo, sería frecuente la saturación del terreno y el aumento de la escorrentía superficial.

Por lo tanto, es crucial saber qué cantidad de lluvia recibiremos de media al año, qué tipo de terreno, los materiales colocados y qué desniveles existen para una eficaz infiltración.

- **La capacidad de infiltración** es la velocidad máxima con que el agua penetra en el suelo. Esto es esencial para la finalidad de este trabajo. Al principio, humedecerá la zona hasta que, por saturación, irá descendiendo y cubriendo los canales en el terreno. Con independencia de la cantidad de lluvia recibida, teniendo una capacidad alta de infiltración hacia el terreno, conseguiríamos la disminución del flujo en la superficie. Obviamente, depende de los múltiples factores sobre la calidad del terreno en que vayamos a trabajar.

Una precipitación intensa y continuada colmataría los poros superficiales creando una barrera para la continuación hacia las capas inferiores.

- **La permeabilidad** es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se dice que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable. La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de tres factores básicos:

- La porosidad del material.
- La densidad del fluido considerado, afectada por su temperatura.
- La presión a que está sometido el fluido.

Para ser permeable un material debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos o poros que le permitan absorber fluido. A su vez tales deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos a través del material. (Macías Bernal, Juan Manuel)

- **Porosidad intergranular y por fisuración.** Al hablar de porosidad, intuitivamente se piensa en los poros de un material detrítico, como unas arenas. Pero las rocas compactas también pueden contener cierta proporción de agua en su interior en sus fisuras. (Sánchez San Román, F. Javier)

También se habla de porosidad primaria y secundaria. Se denomina porosidad primaria a la que resulta al originarse la formación geológica; porosidad secundaria será cualquier abertura que se produzca posteriormente. Los poros de unas arenas son porosidad primaria. Las fracturas que se producen en una roca compacta debido a esfuerzos tectónicos son porosidad secundaria. En ocasiones se presentan los dos tipos en la misma formación geológica (porosidad dual): una arenisca presenta porosidad primaria entre los granos y porosidad secundaria a través de las fracturas u otros planos de discontinuidad de la roca.

Tanto la porosidad total como la eficaz dependen de los factores:

-La heterometría. Los finos ocupan los poros que dejan los gruesos y la porosidad disminuye.

-La forma y disposición de los granos.

-La compactación, cementación y recristalización, que van a ir disminuyendo la porosidad.

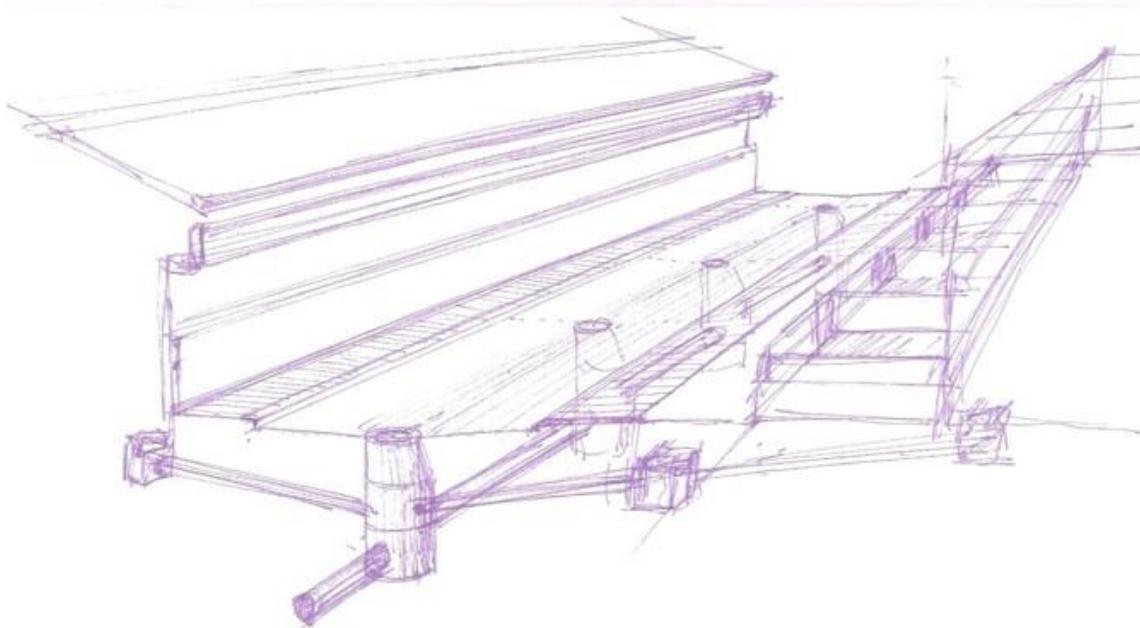
(Sánchez San Román, F. Javier. Referencias WEB)

- **Las zonas verdes** juegan un papel importantísimo para obtener una buena infiltración hacia el terreno. El problema existe en la ubicación de ellas en zonas de tráfico y peatonales en ciudades ya urbanizadas. Serían buenas opciones encontrar sitios donde ubicar humedales, lagos y parques en los que no solo se podrían utilizar como lugares para la infiltración, sino para la acumulación y uso posterior. Pero en este caso existe un mayor inconveniente por la ubicación y mantenimiento de esas zonas en las que ya es necesario la implicación de otras administraciones.
- **El estrato del terreno**, de nuevo, es clave para la infiltración del agua superficial hacia los acuíferos. Podemos identificar distintos tipos de suelos según su estructura como, por ejemplo:
  - Los suelos calizos, donde abundan minerales calcáreos que les confiere dureza, aridez y un color blanquecino.
  - Los suelos arenosos, incapaces de retener el agua.
  - Los suelos arcillosos, un terreno con partículas muy pequeñas y, por lo tanto, con buena absorción y retención de agua.

### 4.3. Ejecución del saneamiento actual

Para la ejecución de la red de saneamiento, tenemos en Sevilla una opción perfectamente definida por parte de la empresa municipal de agua. Una red que en muchos casos es separativa entre aguas residuales y aguas pluviales, con depósitos de retención para la acumulación de agua en momentos que la red no admite más cantidad en cierto tiempo y multitud de opciones para la correcta evacuación de aguas.

Figura 25: Esquema de instalación de saneamiento



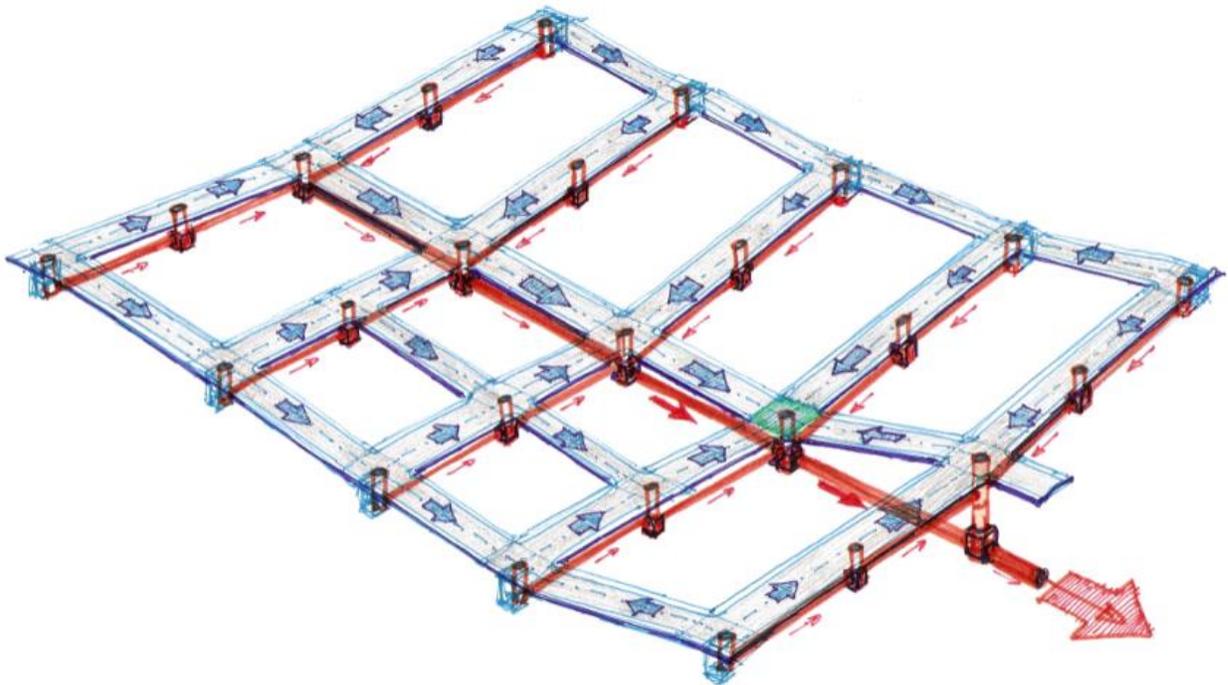
Fuente: Dibujo de Pablo Gallardo Muñoz

En un breve trazado por el sistema de saneamiento de redes unitarias, generalmente y, según las Instrucciones Técnicas para redes de saneamiento de Emasesa, observamos que el colector principal discurrirá preferentemente por la calzada del vial. Cuando exista una red separativa, el colector de aguas pluviales irá alojado debajo del colector de aguas residuales. De modo que, nunca irán conectadas las redes salvo situaciones excepcionales aprobadas por Emasesa.

Las redes, deberán situarse a una distancia suficiente de las edificaciones para evitar, cuando existan averías en las mismas, posibles daños a cimentaciones colindantes.

Hay variedad en los pozos que se pueden colocar y que, según la necesidad de la instalación, podemos observar varios modelos como, los pozos de registro convencionales de fábrica de ladrillo, pozos de registro prefabricados con módulo base y los pozos de registro injertados en la conducción. También observamos, que para salvar los desniveles de la zona donde vaya la instalación, se coloquen pozos de resalto.

Figura 26: Esquema de las uniones de pozos al colector principal



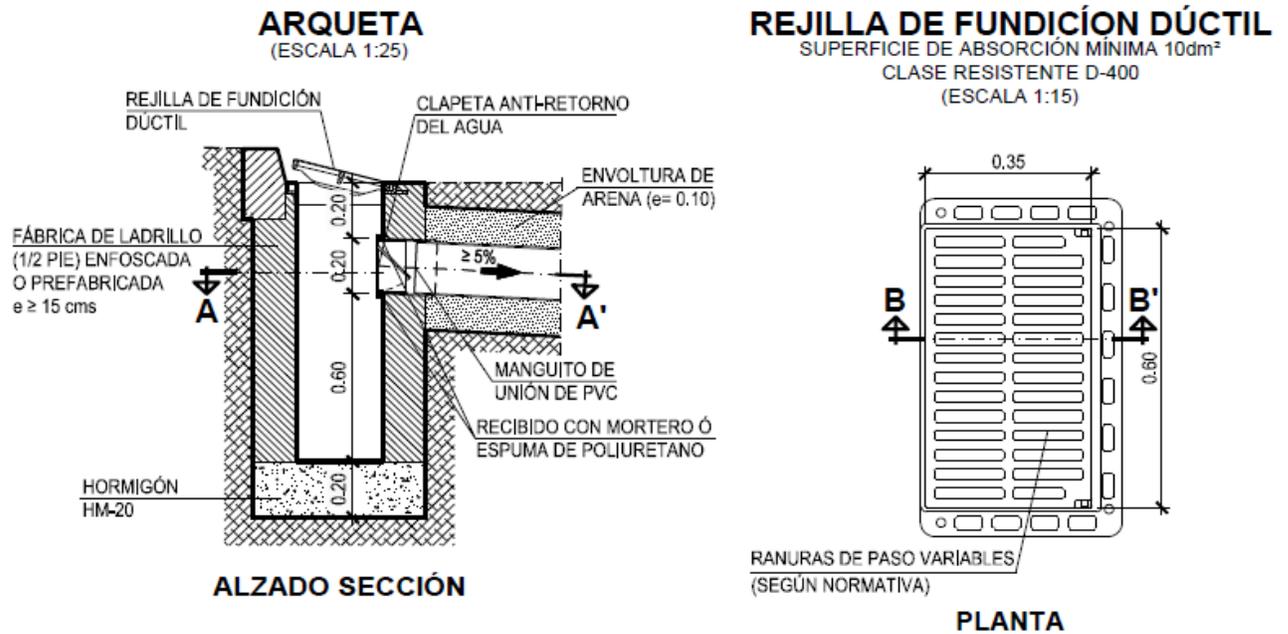
Fuente: Dibujo de Pablo Gallardo Muñoz

En las calzadas, según la disposición de la misma, se colocan los imbornales, que tienen la misión de recoger el agua de lluvia por medio de la escorrentía superficial, y conducirla a la red unitaria o de pluvial que ya hemos comentado anteriormente. Emasesa tiene varios modelos normalizados según el diseño de la instalación.

Existen los de tipo rejilla de PVC y gres, con carácter general los más colocados. Los mixtos de rejilla y buzón/Tipo I de PVC y gres, y los mixtos de rejilla y buzón con registro/Tipo II de PVC y gres.

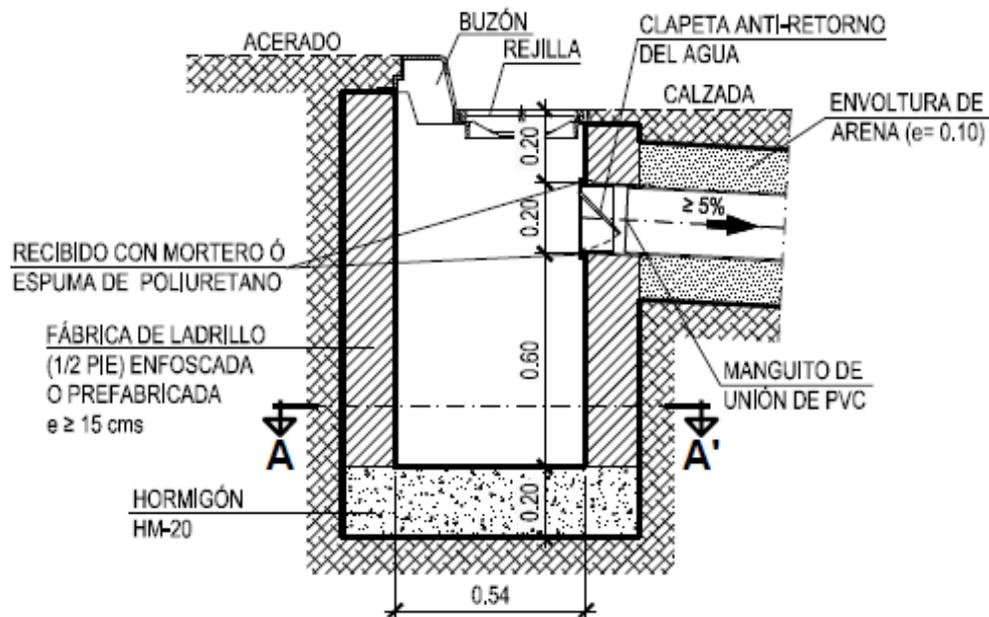
A continuación, se mostrarán detalles de los imbornales

Figura 27: Imbornal tipo rejilla de PVC



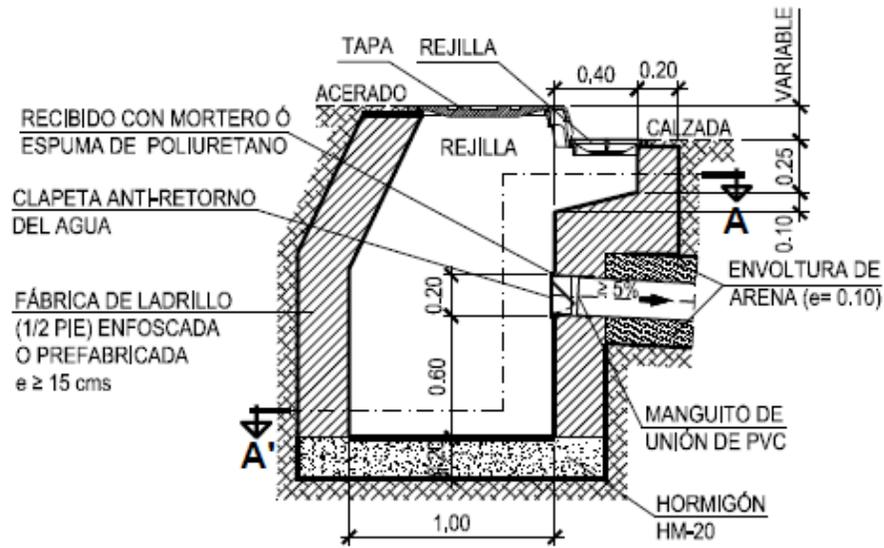
Fuente: Instrucciones Técnicas para Redes de Saneamiento de EMASESA

Figura 28: Imbornal mixto rejilla-buzón/Tipo I - PVC



Fuente: Instrucciones Técnicas para Redes de Saneamiento de EMASE

Figura 29: Imbornal mixto rejilla-buzón/Tipo II - PVC



Fuente: Instrucciones Técnicas para Redes de Saneamiento de EMASESA

Figura 30: Buzón tragadero Tipo Valencia



Fuente: GLS Prefabricados

Figura 31: Tragadero



Fuente: CEMAT Grupo industrial

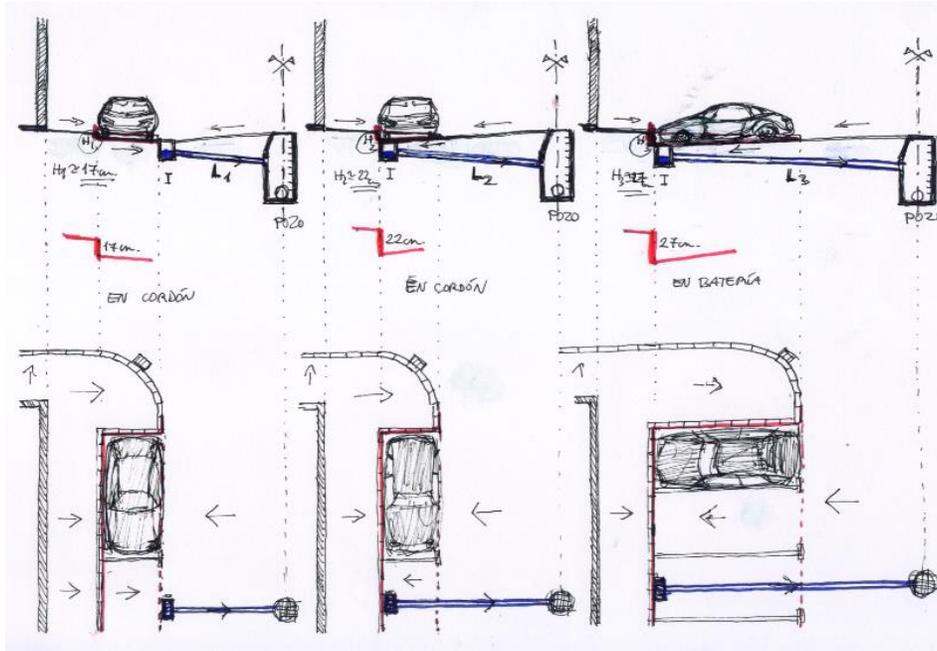
Figura 32: Instalación de tragadero



Fuente: editorial.cda.ulpgc.es

Se necesita un estudio de cada calle para la colocación de éstos, dado que son los que consiguen reducir la cantidad de agua de lluvia por escorrentía. Generalmente se colocan por defecto en los cruces de las calles, junto al bordillo o en el centro de las calzadas según la dirección de pendiente, y separados entre sí de una distancia no superior a treinta metros.

Figura 33: Colocación de imbornales



Fuente: Pablo Gallardo Muñoz

## Tanques de tormentas

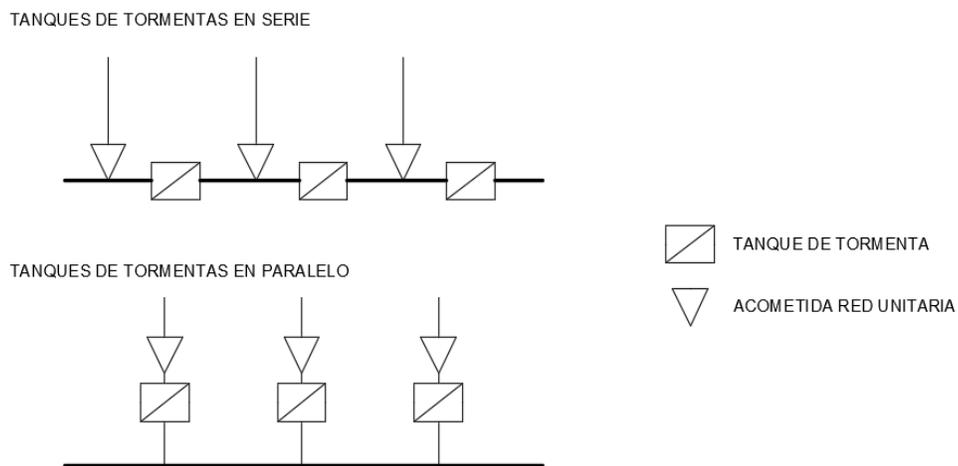
Los tanques de tormentas también son cruciales en las instalaciones de saneamiento. Se conocen como aliviaderos y son depósitos o, en algunos casos, una infraestructura muy amplia que tiene la función de retener, y en algunos casos depurar el agua de lluvia y residual procedente de los colectores que, en momentos de exceso de lluvia, se acumulan en zonas que la instalación no puede evacuar rápidamente. Pueden ir regulando el vertido a la red, pudiendo ejercer de predepurado de las primeras aguas de lluvia que, normalmente, suelen estar más contaminadas del asfalto. Para eso, se debe estudiar que la ubicación y el volumen del tanque sea capaz de almacenar la cantidad suficiente para retener esa contaminación inicial de las lluvias recibidas.

Respecto a la ubicación de los tanques de tormenta, pueden colocarse en serie o en paralelo en relación a la red de saneamiento.

- La colocación en serie implica que las aguas controladas de un tanque se juntarán con las aguas residuales no controladas, con la consecuencia de diluciones variables del agua residual en su camino hacia la estación de depuración.
- Con la colocación del tanque en paralelo se consigue que la dilución sea constante y que los caudales estén controlados.

Es por esto, que la ubicación en paralelo, siempre que sea posible, sea concebida como la manera más aconsejable de situar el tanque en la red de saneamiento. (Ayesa, Alberto. Referencias WEB)

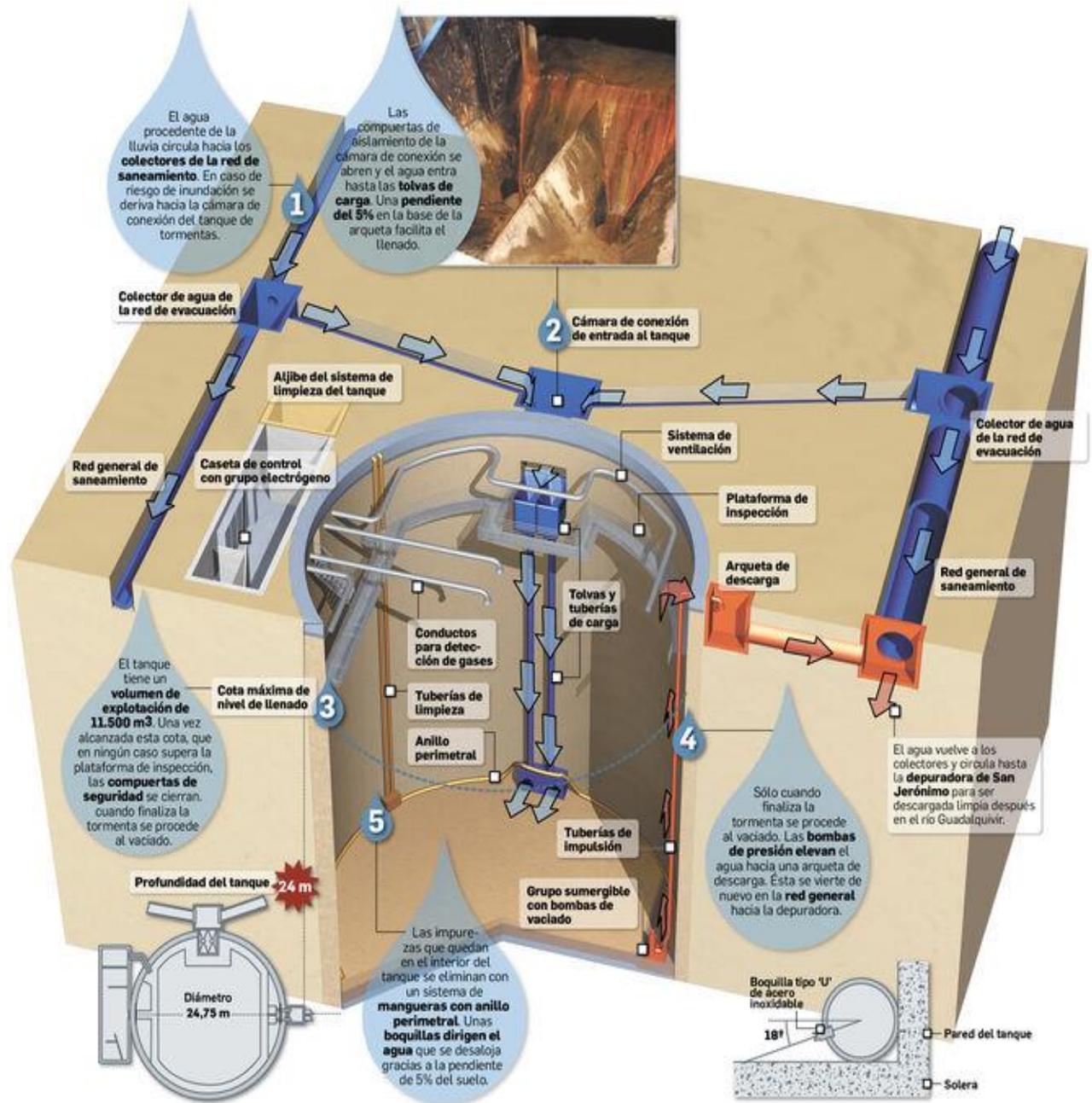
Figura 34: Ubicación en serie y en paralelo



Fuente: hidrostank.com

Dibujo esquemático del tanque de tormentas de la Alameda de Hércules. Sevilla.

Figura 35: Tanque de tormentas de la Alameda de Hércules. Sevilla



Fuente: Emasesa

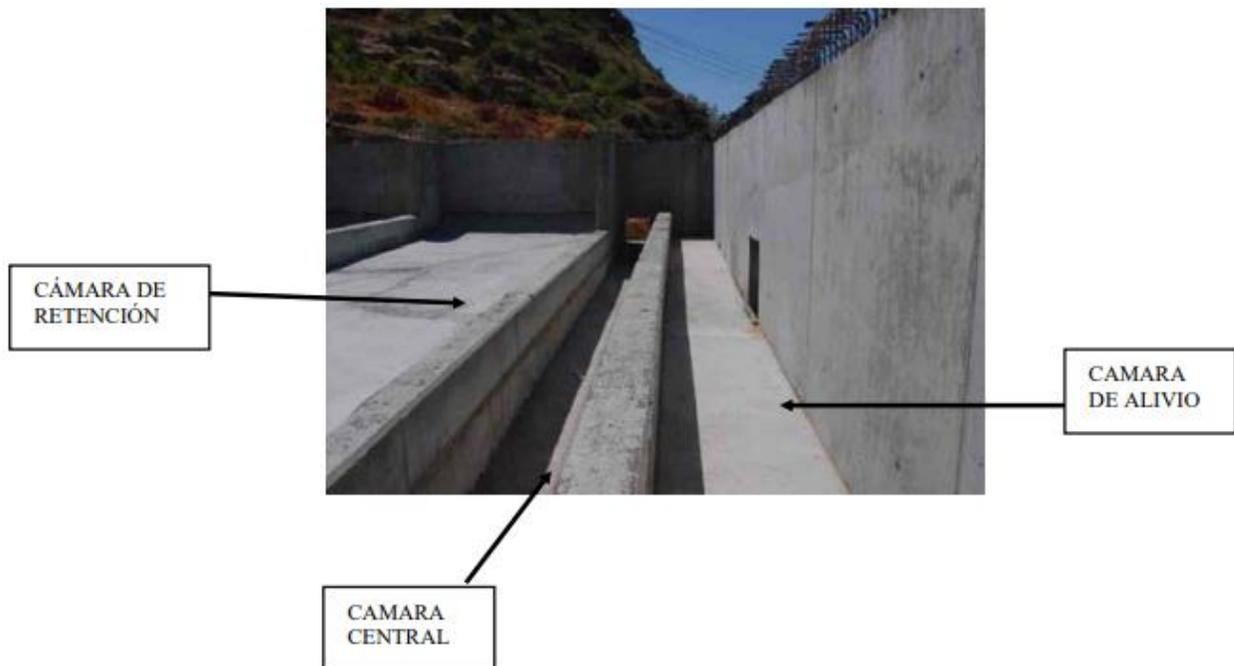
Partes de la infraestructura de un tanque de tormentas común:

Un tanque de tormentas consta de 4 partes principales.

- Cámara central, que conduce el agua residual desde la entrada al tanque hasta el elemento regulador de caudal (continuación del colector)
- Cámara de retención, donde se almacena la primera fase de la tormenta una vez se ha superado la capacidad de la cámara central.
- Cámara de alivio, por donde se conducen los excesos de la tormenta al medio receptor.
- Cámara seca, donde se ubica el elemento regulador de caudal.

En la foto puede apreciarse un tanque de tormentas antes de cubrirlo, en la izquierda de la foto se observa la cámara de retención, en el medio la cámara central y a la derecha la cámara de alivio. (Ayesa, Alberto. Referencias WEB)

Figura 36: Tanque de tormentas antes del llenado

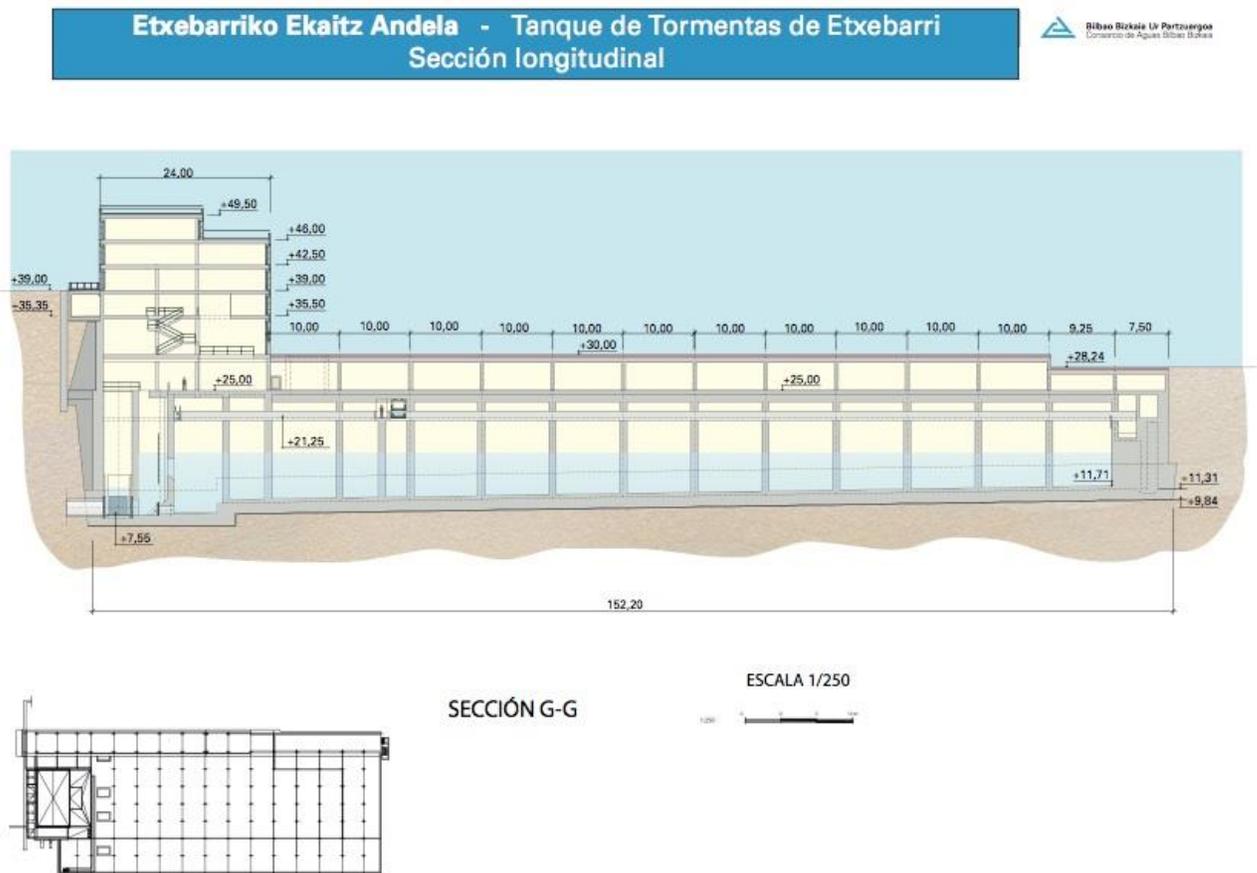


Fuente: hidrostank.com

En poblaciones con altas precipitaciones durante todo el año son de obligada construcción para el alivio de las instalaciones de saneamiento.

Un ejemplo de tanque de tormentas es el de Etxebarri, en Vizcaya (País Vasco). Situado junto al río Nervión, con una capacidad máxima de 100.000m<sup>3</sup> repartidas entre las cuatro líneas de almacenamiento y el propio colector. Esta infraestructura tiene un sistema de ventilación-desodorización y un sistema de limpieza del mismo tanque mediante bombas de vacío y válvulas de diafragma que genera una ola que arrastra los sedimentos del fondo. (Ferroviario. Referencias WEB)

Figura 37: Tanque de tormentas de Etxebarri



Fuente: [aguasresiduales.info](http://aguasresiduales.info)

Figura 38: Tanque de tormentas de Etxebarri



Fuente: El Correo

La central forma parte del Plan Integral de Saneamiento del Bilbao metropolitano, cumpliendo con las exigencias de la UE en materia de tratamiento de aguas residuales, minimizando las aguas que se vierten al entorno medioambiental sin el obligado tratamiento.

#### 4.4. Materiales utilizados

Para la correcta filtración del agua hacia el terreno en las zonas urbanas, hoy en día es improbable que cualquier material colocado sea lo bastante poroso para ello, debido a la tendencia a que sean impermeables y con ciertas pendientes para que circulen en dirección a los imbornales.

Las aceras, suelen asentarse sobre varias capas. Normalmente suelen ejecutarse sobre una subbase de zahorra artificial, una base de hormigón en masa y pavimentadas con losa hidráulica, fabricadas con cemento de alta resistencia, polvo de mármol y áridos silíceos. Esto hace que las lluvias recibidas no penetren.

La calzada, construidas con varias capas también, es otro claro ejemplo de impermeabilidad. Generalmente suele colocarse sobre una subbase de zahorra artificial, y, para la capa de rodadura, se coloca comúnmente un microaglomerado en caliente, que no es más que una mezcla bituminosa de áridos impermeable.

Los alcorques del arbolado sí que pueden absorber una cantidad de agua que, aun siendo zonas muy limitadas, son adecuadas para el filtrado junto a los parques y jardines públicos.

Todo ello, hace que las calles transitadas por vehículos y peatones acaben siendo urbanizadas para que el agua de lluvia sea derivada a los imbornales.

#### **4.5. Estado actual del drenaje urbano**

Actualmente, se están llevando a cabo diversas actuaciones para el drenaje sostenible en calles a través de zonas verdes colocadas en sitios donde, puntualmente, pueden recibir una cantidad de agua que no acabe dirigiéndose hacia los imbornales.

En reurbanizaciones de avenidas o calles que tienen mayor amplitud, en ocasiones, se está consiguiendo una nueva ordenación de zonas, en las que se dividen en sectores para el tránsito peatonal, calzada, carril bici y zonas verdes o filtrantes para la recogida de agua. Aun así, queda mucho camino por recorrer en cuanto a ejecutar por defecto algunos sistemas ya establecidos.

#### **4.6. Clasificación de los SUDS (Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles)**

Hace un tiempo que la función del agua pluvial en las ciudades ha sido objeto de estudio por la importancia de una eficiencia del ciclo hidrológico del agua. Hay muchos estudios al respecto e ideas realmente laudables.

Es verdad que las ciudades urbanizadas y con un sistema de saneamiento asentado, tienen la dificultad de incorporar elementos o conceptos para un drenaje sostenible, pero mostraremos las que ya se destinan de manera eficaz.

Haremos una breve clasificación para ubicar cada sistema y para qué será necesario, siendo el objetivo la captación, detención, ralentización, infiltración, almacenamiento y evacuación.

Tabla 1: Clasificación de SUDS

<b>ZANJAS DRENANTES O DRENES FRANCESES</b>	CAPTACIÓN, RALENTIZACIÓN, DETENCIÓN, EVACUACIÓN E INFILTRACIÓN
<b>CUNETAS VERDES</b>	CAPTACIÓN, RALENTIZACIÓN, DETENCIÓN E INFILTRACIÓN
<b>PAVIMENTOS PERMEABLES O DRENANTES</b>	INFILTRACIÓN
<b>ELEMENTOS DE RALENTIZACIÓN</b>	RALENTIZACIÓN
<b>HUMEDALES Y ESTANQUES DE INFILTRACIÓN</b>	CAPTACIÓN, DETENCIÓN, ALMACENAMIENTO, EVACUACIÓN E INFILTRACIÓN
<b>PARQUES INUNDABLES</b>	CAPTACIÓN, DETENCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EVACUACIÓN
<b>DEPÓSITOS DE DETENCIÓN ENTERRADOS</b>	CAPTACIÓN, ALMACENAMIENTO, EVACUACIÓN E INFILTRACIÓN
<b>DEPÓSITOS DE RETENCIÓN EXTERIORES</b>	CAPTACIÓN, ALMACENAMIENTO Y EVACUACIÓN
<b>POZOS DE INFILTRACIÓN</b>	ALMACENAMIENTO E INFILTRACIÓN
<b>ÁREAS DE RETENCIÓN</b>	CAPTACIÓN, DETENCIÓN E INFILTRACIÓN
<b>CUBIERTAS AJARDINADAS</b>	CAPTACIÓN Y EVACUACIÓN

Fuente: Elaboración propia

- **Zanjas drenantes o drenes franceses.**

Consiste en una zanja lineal rellena de un material drenante adecuadamente compactado. Es muy común en las autovías y autopistas. Suelen ejecutarse para recoger el agua de lluvia de laderas adyacentes o zonas donde se pueda acumular una cierta cantidad de fluido infiltrándose en la zanja. Puede tener en el interior un tubo dren con ciertas perforaciones para la filtración hacia el terreno o ejecutarse sin tubo, denominándose dren ciego.

Figura 39: Zanja longitudinal

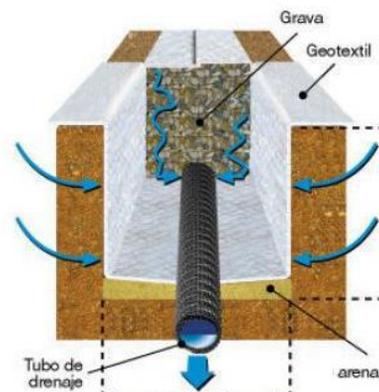


Figura 40: Sección zanja

Fuente: construblog

- **Cunetas verdes.**

El concepto es similar a las zanjas drenantes o drenes franceses, pero con una capa vegetal en la superficie. Normalmente no suelen tener mucha pendiente. Se ubican en sitios ya urbanizados y favorecen la sedimentación de los contaminantes que arrastra el agua antes de la infiltración. El inconveniente es su mantenimiento, por lo tanto, la ubicación es singular en lugares donde necesite riego y poda.

Figura 41: Cuneta verde

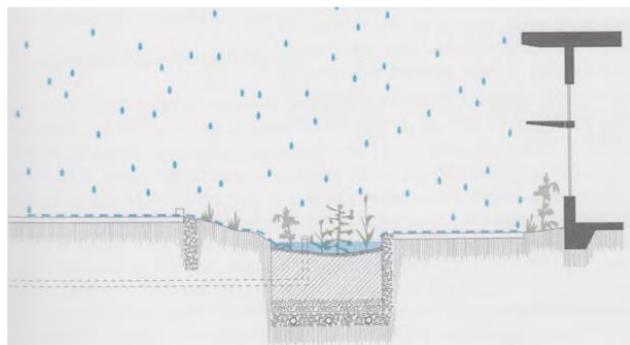
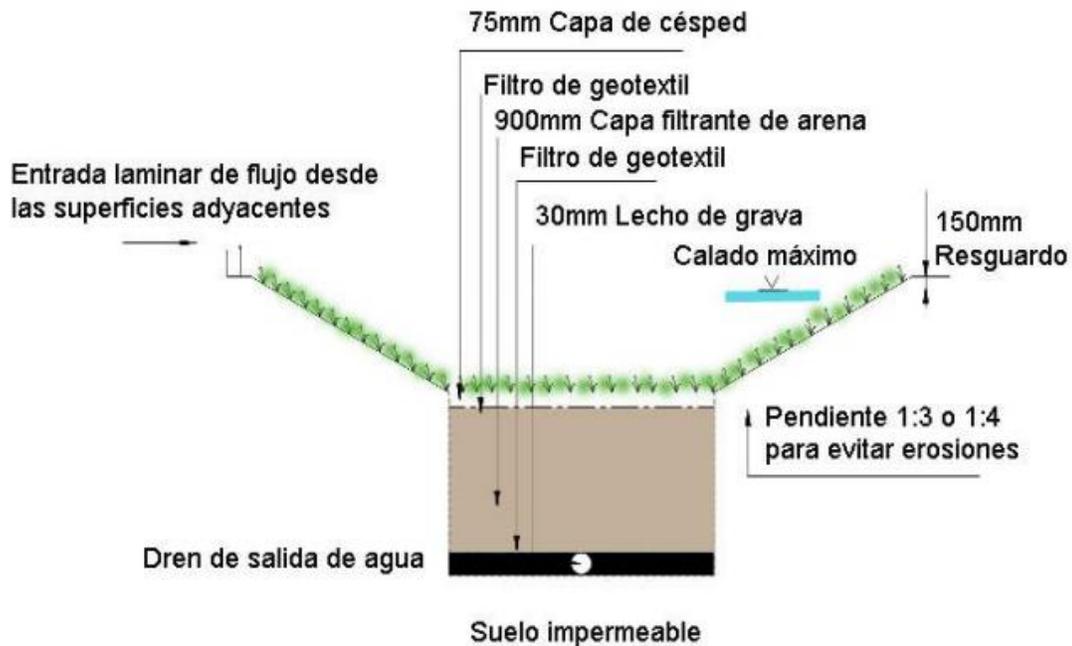


Figura 42: Sección de cuneta

Fuente: AQUA-RIBA

Figura 43: Detalle de cuneta verde



Fuente: Normas para Redes de Saneamiento Canal de Isabel II

- **Pavimentos permeables o drenantes.**

Junto con la cubierta de los edificios, el pavimento es el material que recibe más agua de lluvia. Por lo tanto, es muy común que sea de un producto no muy poroso para la correcta escorrentía hacia los imbornales. Hay muchas ciudades que tienen implantadas en calzadas, parques y zonas donde se puede acumular una cantidad considerable de agua, un material permeable para una apremiante infiltración.

Para la calzada existe el hormigón poroso. Es más ligero que el hormigón tradicional, pero puede llegar a alcanzar los 25 MPa de resistencia. Para este material, se debe tener en cuenta la capacidad de infiltración del terreno inferior, o saber qué hacer con el agua que penetrará. Tiene una ventaja importante, aumenta la calidad del agua al filtrarla de productos contaminantes que se depositan en la zona por la circulación de vehículos, cribando entre las capas que componen el paquete constructivo. Al ser poroso, necesita mantenimiento.

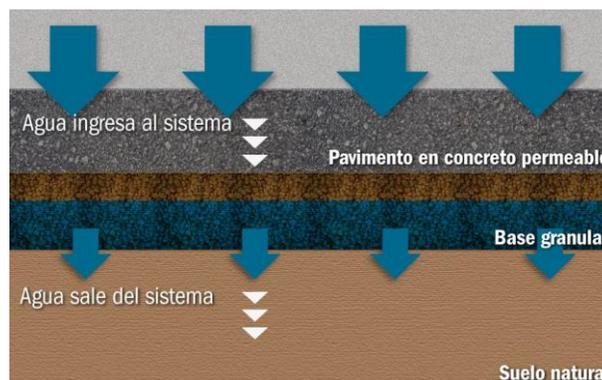
Una manera eficaz de filtrado e infiltrado del agua de lluvia en aceras, es la colocación alternativa de baldosas, adoquines, u otro tipo de material para hallar un aspecto urbanizado, y a la vez útil en la solución requerida.

Figura 44: Superficie permeable mediante módulos



Fuente: tecnopavimentos.blogspot.com

Figura 45: Hormigón permeable



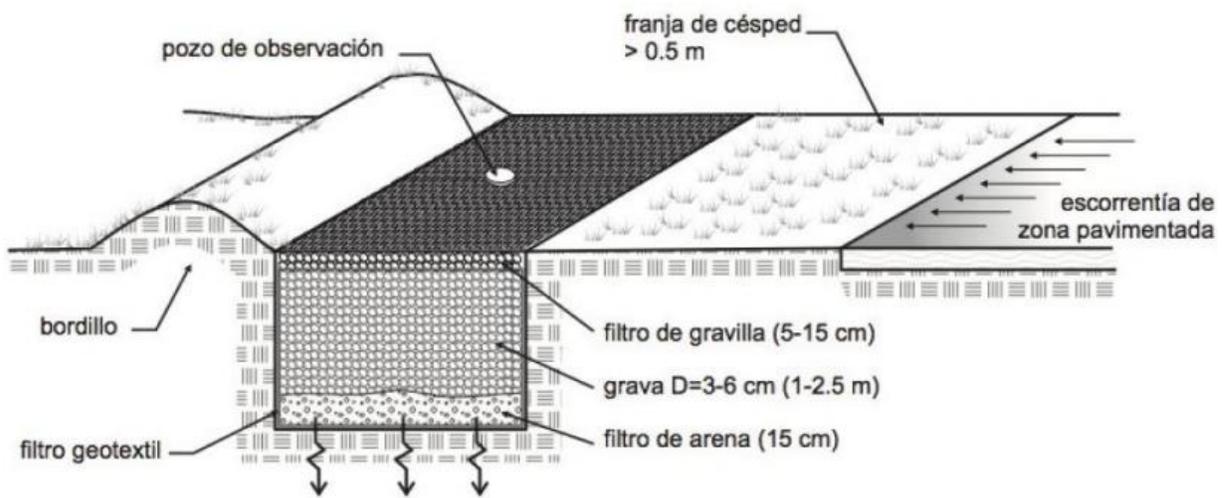
Fuente: 360enconcreto.com

- **Elementos de ralentización.**

Son elementos para la obstaculización del agua antes de la infiltración colocados expresamente para ello.

En el “Manual de seguridad vial para entornos urbanos y catálogo de soluciones” hay multitud de actuaciones en calzadas para los vehículos, y muy útiles, a la vez, para reconducir el agua.

Figura 46: Badén para ralentizar el fluido antes del pozo drenante



Fuente: AQUA-RIBA

- **Humedales y estanques de infiltración.**

Son zonas practicadas artificialmente para la acumulación y filtración o reutilización para diversos usos. Están diseñados para garantizar grandes periodos de retención. Puede diseñarse para acoger el agua de escorrentía y para aliviaderos de saneamientos de agua pluvial, donde en cualquier momento, si la red no pudiera acometer la precipitación, poder derivar a estas zonas.

Figura 47: Estanque de infiltración



Fuente: Sudsostenible.com

- **Parques inundables.**

Los parques inundables son grandes superficies que en periodos de lluvia actúan como acumuladores del agua de escorrentía. La ubicación suele estar en zonas propicias, normalmente a cota inferior y donde confluyen calles o vaguadas que por volumen de agua acaba revirtiendo a esa superficie. Generalmente tienen sistemas de aliviaderos al saneamiento.

Figura 48: Parque inundable



Fuente: elplural.com (Parque inundable La Marjal, en Playa de San Juan, Alicante)

Figura 49: Nuevo parque inundable en Copenhagen



Fuente: tfg2016marisaaguayo.wordpress

- **Depósitos de detención enterrados.**

En casos donde no se tenga una gran extensión a cielo abierto, una opción muy recomendada es la colocación de depósitos estancos para su reutilización o para la infiltración al terreno.

Figura 50: Deposito enterrado bajo aparcamiento conjunto a pavimento permeable



Fuente: drenajesostenible.com

- **Depósitos de retención exteriores.**

En lugares donde se pretende utilizar el agua de lluvia para diversos usos, y por diversos motivos no se pueden soterrar los depósitos, se colocan en el exterior para recoger el agua pluvial.

Figura 51: Depósitos de retención exterior

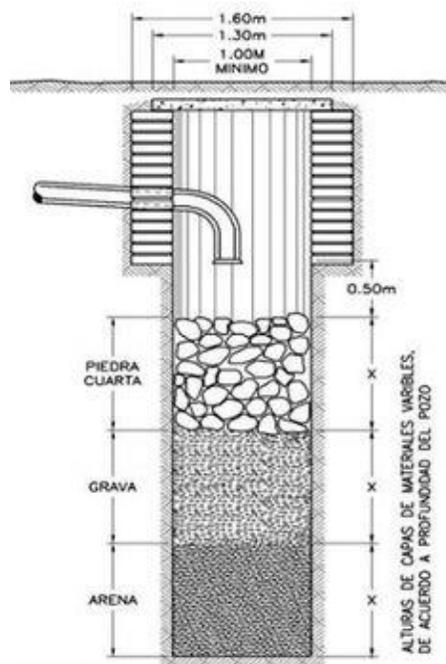


Fuente: houzz.es

- **Pozos de infiltración.**

Son elementos de pequeña envergadura para albergar la escorrentía superficial donde se aloja el agua, se va almacenando en su interior y lentamente se filtra al terreno. No suelen ser muy profundos. Se rellenan comúnmente de grava y hacen de filtro para los residuos exteriores. Lo ideal, es colocar aliviaderos a desagües para el exceso de agua que no llegue a filtrar.

Figura 52: Pozo de infiltración



Fuente: Detalles Constructivos, Antonio Baglieri

- **Áreas de retención.**

Para las áreas de retención existen diversas técnicas para que el agua se acumule y se facilite la infiltración. Normalmente suelen ser pequeñas delimitaciones en lugares donde no haya suficiente espacio. Zonas ajardinadas o zonas con una disposición singular de adoquines con capas inferiores orgánicas permeables donde reciben escorrentías y agua de lluvia, como por ejemplo los alcorques y los parterres.

Figura 53: Área de retención de agua pluvial

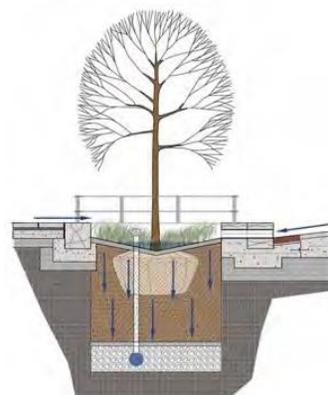
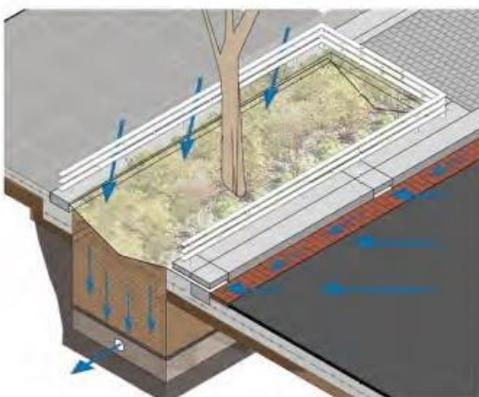


Figura 54: Sección de área

Fuente: CONSTRUBLOG

- **Cubiertas ajardinadas.**

Las cubiertas son las primeras en recibir las precipitaciones en la edificación. De ahí que la función de captación sea perfecta para aliviar los colectores donde principalmente van dirigidas antes de aumentar el caudal pico de la instalación. Por ello tiene, además, multitud de ventajas reutilizando las aguas pluviales, no solo para el uso de riego de la cubierta ajardinada, sino como baldeo o almacenamiento posterior.

**Figura 55: Cubierta ajardinada**



Fuente: construible.com

**Figura 56: Cubierta ajardinada para huerto urbano**



Fuente: projar.es

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. Elección del tema a tratar

Por el particular interés que tuve en tratar un tema vinculado con los sistemas hidráulicos en alguna de sus formas y, después de haber barajado mi tutor el Dr. Francisco Javier Guevara y yo un tema relacionado, tuvimos una reunión con D. Raúl Herrero, Coordinador de la Cátedra del Agua de EMASESA, en la que nos comentó que existía un grupo de profesionales en varias disciplinas que mantenían una idea definida sobre los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles en Sevilla. El grupo, llamado GreenSUDS, está compuesto por un equipo multidisciplinar que contempla a la Universidad de Sevilla, EMASESA metropolitana, Ayuntamiento de Alcalá de Guadaira y profesionales del sector y, en el que después de una reunión mantenida propuesta por Ana María González Capellán, alumna en prácticas de la Cátedra del Agua, vimos claro el objetivo de este trabajo.

En este caso, el problema general, por el que ya se ha hablado en los puntos anteriores, no dista de uno en particular relacionado con el municipio de Alcalá de Guadaira, lugar donde tienen verdaderos problemas en periodos de intensas lluvias. Así que, debido a las elevadas pendientes en sus calles y a unos estratos del terreno poco permeables, lograremos centrar parte del objetivo de este trabajo para asemejar a esta zona algunos detalles realizados, y así tener lugares concretos donde ubicarlos.

La justificación en sí del tema a tratar es inseparable de la problemática hallada en la reunión mantenida, por lo tanto, con el conocimiento y la asistencia que existe por parte de este grupo y en particular de mi tutor, será más asequible llegar a buenas ideas.

### 5.2. Visitas a la zona

Después de la reunión mantenida con GreenSUDS y viendo algunos problemas descritos anteriormente, para valorar la situación actual en un sitio específico, el día 3 de febrero, D. Darío Mauriño, Jefe del Área Territorial Los Alcores, nos mostró lugares de Alcalá de Guadaira donde confluyen calles en las que se puede apreciar que, en periodos de lluvia, existe una dificultad para evacuar distintos volúmenes de agua en zonas singulares de la población según su orografía. Nos indicó zonas ya tratadas con diferentes sistemas ya ejecutados para retener y evacuar el agua pluvial, además de lugares de mejora.

### **5.3. Identificación y propuestas de mejora**

Se analizará el funcionamiento de las instalaciones actuales, los problemas externos según el diseño urbano y se buscará la mejora de la manera más eficiente.

Abordando este proceso e identificándolos, se elegirán las opciones más factibles clasificándolos según los sistemas en:

- Captación, filtración e infiltración.
- Captación, filtración, transporte e infiltración.
- Acumulación, filtración e infiltración.

### **5.4. Conclusiones**

Se realizará un estudio de la conveniencia de implantar soluciones propuestas previendo distintos sistemas a nivel de ejecución, mantenimiento y económico, considerándose la adecuada según el tipo de terreno y la zona a actuar.

## 6. ANÁLISIS

### 6.1. Análisis de la información

Tras la documentación de los Sistemas Urbanos de Drenaje hallada y estudiada anteriormente, podemos hacer hincapié en el interés general de la reutilización del agua pluvial mediante sistemas que acaban mejorando nuestro entorno. Unos sistemas que según el lugar donde se ubiquen, el tipo de terreno, el espacio en sí o el posterior mantenimiento, hace que la ejecución sea más limitada.

Las ciudades que regularon su crecimiento y adoptaron por dotar de más espacios verdes, en estos momentos, tendrán más facilidad para ubicar nuevos sistemas de drenaje como parques inundables o estanques de infiltración. Las ciudades que actualmente reurbanizan avenidas, calles o plazas, tienen la oportunidad de incorporar sistemas que se adapten al entorno. Pero hay poblaciones que su urbanización está limitada a siglos de historia, por lo que es más complejo adaptar sistemas que puedan organizarse en la distribución de sus calles.

Por lo tanto, también es difícil elegir para las Administraciones, aunque sea beneficioso en cuanto a la sostenibilidad de la ciudad, sistemas que alteren el espacio visual. Siendo en ocasiones la ubicación de zonas verdes y árboles un procedimiento efectivo pero con un futuro mantenimiento, por lo que incluye otra problemática.

Con todo esto, para la consecución de un sistema eficiente, según la documentación estudiada, se han valorado varias opciones en los tipos de materiales hallados en el mercado y la respuesta que pueden ofrecer según su naturaleza. Para ello se ha hecho un minucioso análisis de los más adecuados y su comportamiento para un correcto funcionamiento en la ejecución y la relación con el terreno.

### 6.1.1. Relleno de material drenante<sup>5</sup>

El material estará, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia medioambiental, de seguridad y salud, y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

Los materiales drenantes a emplear en rellenos localizados serán áridos naturales, o bien áridos procedentes del machaqueo y trituración de piedra de cantera o grava natural, o áridos artificiales. En todo caso estarán exentos de arcilla, margas y otros materiales extraños.

Ejecución de las tongadas. Extensión y compactación. Los materiales del relleno se extenderán en tongadas sucesivas, de espesor uniforme y sensiblemente horizontal. El espesor de estas tongadas será lo suficientemente reducido para que, con los medios disponibles, se obtenga, en todo su espesor, el grado de compactación exigido. En general y salvo indicación en contra del Proyecto o del Director de las Obras se usarán tongadas de veinte centímetros (20 cm). Cuando una tongada deba estar constituida por materiales de distinta granulometría, se adoptarán las medidas necesarias para crear entre ellos una superficie continua de separación.

Cuando se trata de rellenos localizados en torno a tuberías y hasta una altura de treinta centímetros (30 cm) por debajo de la generatriz superior de la tubería, salvo indicación en contra del Proyecto o del Director de las Obras, el tamaño máximo de las partículas no será superior a dos centímetros (2 cm), las tongadas serán de diez centímetros (10 cm) y se compactarán hasta un índice de densidad no inferior al setenta y cinco por ciento (75 %). Se prestará especial cuidado durante la compactación para no producir movimientos ni daños en la tubería a cuyo efecto se reducirá, si fuese necesario, el espesor de tongada y la potencia de la maquinaria de compactación.

“Se tendrá especial cuidado con lo recogido en el apartado “7.4. Límites y precauciones” del presente documento”

---

<sup>5</sup> Referencias/Artículos, Revistas, blogs y Guías

### 6.1.2. Permeabilidad del suelo

#### Determinación de la permeabilidad intrínseca

La permeabilidad intrínseca de cualquier material poroso, se determina mediante la fórmula de Darcy:

$$\kappa_I = C \cdot d^2$$

Donde:

$\kappa_I$  = permeabilidad intrínseca

C = constante adimensional relacionada con la configuración del fluido.

d = diámetro promedio de los poros del material

La permeabilidad se puede determinar directamente mediante la Ley de Darcy o estimarla utilizando tablas empíricas derivadas de ella.

La permeabilidad es una parte de la constante proporcional en la Ley de Darcy, que se relaciona con las diferencias de la velocidad del fluido y sus propiedades físicas (por ejemplo, su viscosidad) en un rango de presión aplicado al promedio de porosidad. La constante proporcional específica para el agua atravesando una porosidad media es la conductividad hidráulica. La permeabilidad intrínseca es una función de la porosidad, no del fluido.

**Tabla 2: Permeabilidad intrínseca de algunos tipos de suelos**

Permeabilidad relativa	Permeable				Semi-Permeable				Impermeable				
<u>Arena o grava</u> no consolidada	Grava continua (o redondeada)		Arena continua o mixta		Arena fina, cieno, <u>Loess</u> , <u>Loam</u>								
Arcilla no consolidada y materia orgánica					<u>Turba</u>		Estrato <u>arcilloso</u>		Arcilla expansiva				
Roca consolidada	Rocas muy fracturadas				Roca <u>petrolifera</u>				Piedra arenisca		Roca sedimentaria, <u>Dolomita</u>		<u>Granito</u>
$\kappa$ (cm <sup>2</sup> )	0.001	0.0001	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-13</sup>	10 <sup>-14</sup>	10 <sup>-15</sup>
$\kappa$ (miliDarcys)	10 <sup>+8</sup>	10 <sup>+7</sup>	10 <sup>+6</sup>	10 <sup>+5</sup>	10.000	1.000	100	10	1	0.1	0.01	0.001	0.0001

Fuente: Dr. Juan Manuel Macias Bernal

De la mencionada ley de Darcy se deriva también una fórmula que relaciona el volumen de agua que atraviesa una muestra con su permeabilidad teniendo en cuenta el diferencial de presión:

$$Q = K * I * A$$

Donde:

Q = Cantidad de agua drenada a través de la muestra por unidad de tiempo, (cm<sup>3</sup>/h).

K = Conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad. Se expresa generalmente en (cm/h).

I = gradiente piezométrico disponible; (m/m).

A = Sección transversal por donde se filtra el agua en la muestra (cm<sup>2</sup>).

### Recomendaciones

Según recomendación del "Soil Conservation Service" de los Estados Unidos la permeabilidad se clasifica de la siguiente forma:

**Tabla 3: Recomendación de permeabilidad**

	Muy lenta	Lenta	Moderadamente lenta	Moderada	Moderadamente elevada	Elevada	Muy elevada
K (cm/h)	< 0,1	0,1 – 0,5	0,5 – 2,0	2,0 – 6,5	6,5 – 12,5	12,5 – 25,0	> 25,0

Fuente: Soil Conservation Service

### 6.1.3. Conductividad hidráulica del material a utilizar como relleno

Para materiales granulares se han establecido diversas fórmulas y gráficos que permiten evaluar la conductividad hidráulica a partir de la granulometría y en algún caso en función de la porosidad. Todas estas expresiones son estimaciones, pero a veces cualquier aproximación es mejor que nada. (Ishaku et al., 2011)

La expresión de Hazen (1911, en Weight, 2008, p.108) es la más utilizada por su sencillez. (En la expresión original de Hazen el “d10” se introduce en centímetros y la “K” se obtiene en centímetros/segundos, y no incluye el coeficiente 8,64 que se muestra aquí. Con este factor 8,64 introducimos el valor “d10” en milímetros y obtenemos el resultado (K) en metros/día)

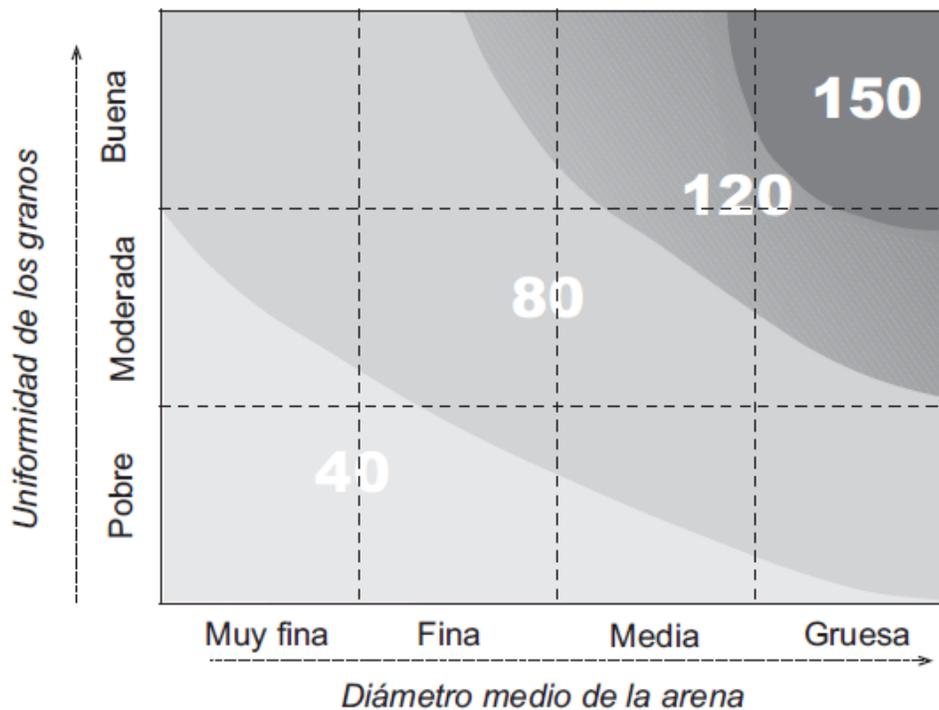
$$K \text{ (m/día)} = 8,64 * C * d^{210}$$

Donde:

d10 = diámetro (mm) que deja pasar el 10% de los granos (10% menor, 90% mayor)

C = coeficiente que depende del tamaño de grano y de la uniformidad. (Ver Figura)

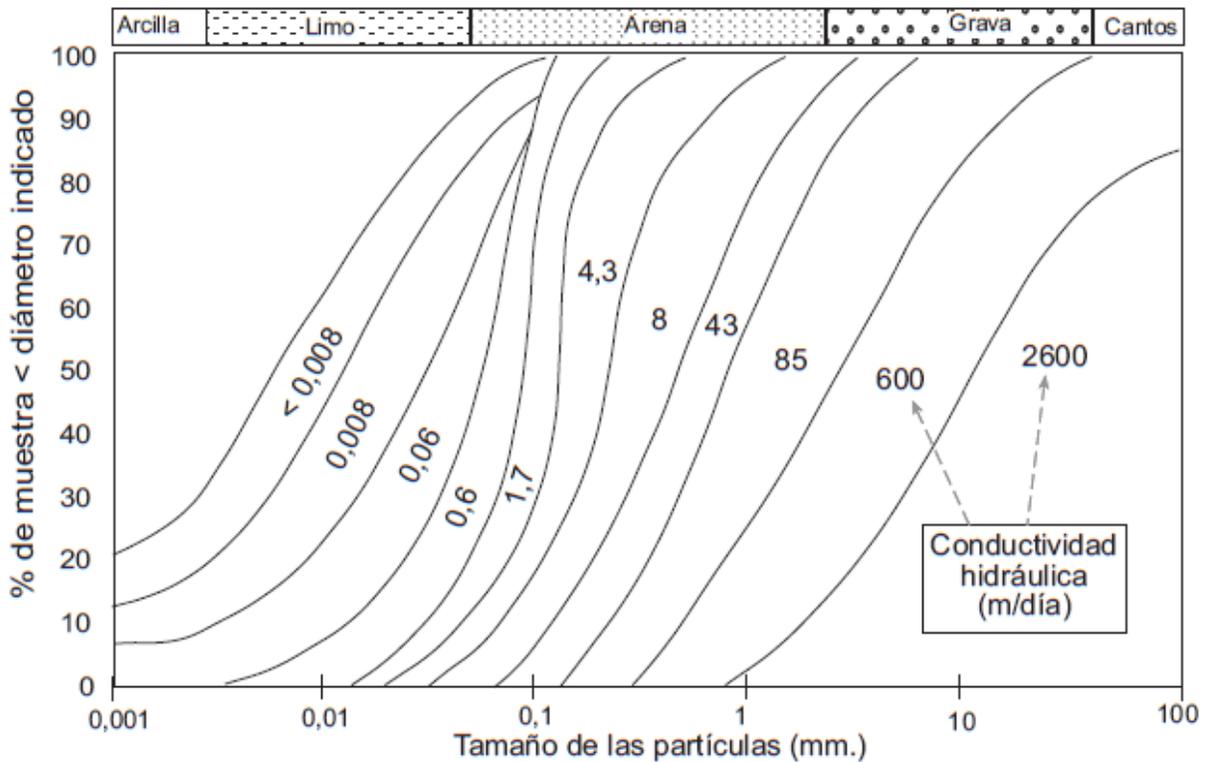
Figura 57: Estimación del coeficiente de Hazen



Fuente: Dibujado a partir de valores numéricos de Weight (2008) Sánchez San Román F. Javier.

Una aproximación gráfica, sin fórmulas, son las curvas de Breddin (1963, en Simoes, 2010): superponiendo una curva granulométrica sobre este gráfico nos indicará aproximadamente la conductividad hidráulica del material. (Sánchez San Román, F.Javier. Referencias WEB)

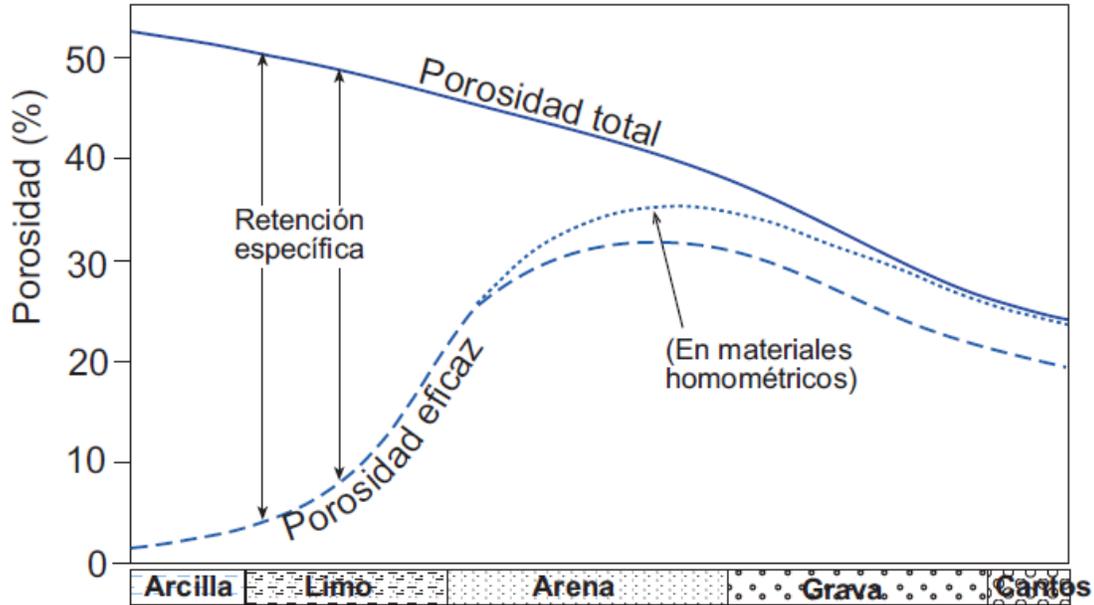
Figura 58: Curvas de Breddin para estimación de la permeabilidad de materiales granulares no consolidados superponiendo la curva granulométrica



Fuente: Sánchez San Román F. Javier.

En el caso de la porosidad intergranular, la porosidad total no depende del tamaño de grano. En cambio, la porosidad eficaz sí se ve muy afectada por el tamaño de grano. Si es más fino, la retención específica aumenta. En la siguiente figura se muestra la variación de la porosidad total y eficaz en función de la granulometría para materiales no consolidados. La porosidad total es máxima para las arcillas, pero la eficaz es casi nula. Aquí, la “porosidad eficaz” se refiere a la porosidad eficaz para drenaje. (En las numerosas reproducciones de este gráfico, en el eje horizontal a veces figura el diámetro 10%<sup>4</sup> y otras veces el diámetro medio. Como en ningún caso se indica el grado de heterometría de los materiales, podemos suponer que este famoso gráfico nos aporta solamente información cualitativa, no cuantitativa) (Sánchez San Román, F. Javier. Referencias WEB)

Figura 59: Variación de la porosidad con la granulometría en materiales detríticos no consolidados

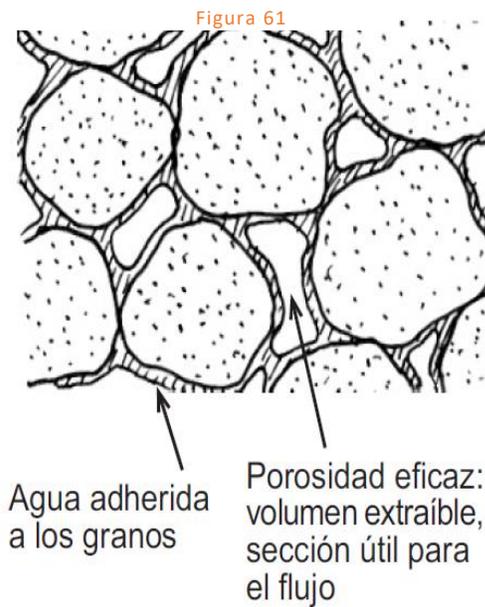


Fuente: Sánchez San Román F. Javier.

Figura 60: Valores estimados de la porosidad (%) según SANDERS (1998)

	total	eficaz
Arcillas	40 a 60	0 a 5
Limos	35 a 50	3 a 19
Arenas finas, arenas limosas	20 a 50	10 a 28
Arena gruesa o bien clasificada	21 a 50	22 a 35
Grava	25 a 40	13 a 26
Shale intacta	1 a 10	0,5 a 5
Shale fraturada/alterada	30 a 50	
Arenisca	5 a 35	0,5 a 10
Calizas, dolomías NO carstificadas	0,1 a 25	0,1 a 5
Calizas, dolomías carstificadas	5 a 50	5 a 40
Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	0,01 a 1	0,0005
Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	1 a 10	0,00005 a 0,01

Fuente: A manual of field hydrogeology



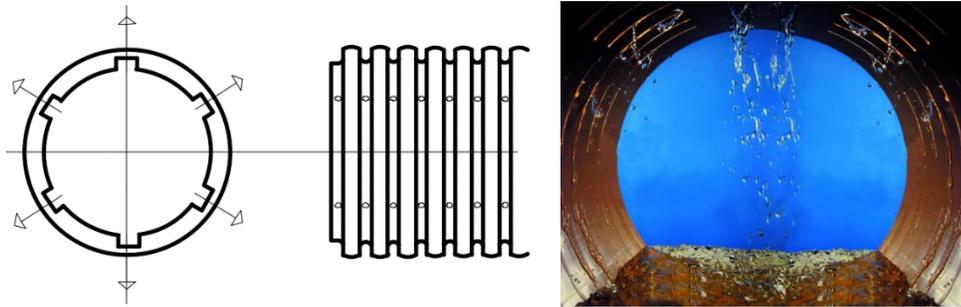
También se define la porosidad eficaz como el volumen de huecos disponible para el flujo respecto del volumen total. Aproximadamente son cantidades equivalentes: el agua que queda adherida a los granos y que no puede extraerse tampoco permite el flujo. En la figura 79 representamos en rayado el agua adherida a los granos; los huecos que quedan (en blanco en el dibujo) representan tanto el agua extraíble como la sección utilizable por el flujo del agua subterránea. La diferencia entre ambas porosidades eficaces serían “las calles sin salida”, grupos de poros que disponen de posible salida del agua que contienen, pero no por ambos lados para permitir el flujo a través de ellos.

Fuente: Sánchez San Román F. Javier.

### 6.1.4. Tubería drenante elegida

El tubo de salida del imbornal será drenante, de la marca “adequa” de diámetro 200mm, corrugado en su exterior y ranurado total con 6 perforaciones en su perímetro.

Figura 62: Tubo drenante de Ø200mm



Fuente: adequa

Figura 63: Especificaciones de tubería drenante

DN	100	160	200
ϕ Exterior (mm)	110	160	200
ϕ Interior (mm)	101,5	145	181
Espesor en Valles (mm)	0,5	0,6	0,8
Longitud (m)	6	6	6
Ancho de ranura (mm)	1,2	1,2	1,2
Peso (kg/tubo)	4,2	7,2	12,0

#### TIPOS DE RANURADO

Ranurado Total	Nº de ranuras en perímetro	3*	3*	6
	Longitud (mm)	25	34	25
	Superficie filtrante cm <sup>2</sup> / ml	97,8	108,0	106,7

Fuente: adequa

## 7. ESTUDIOS Y PROPUESTAS

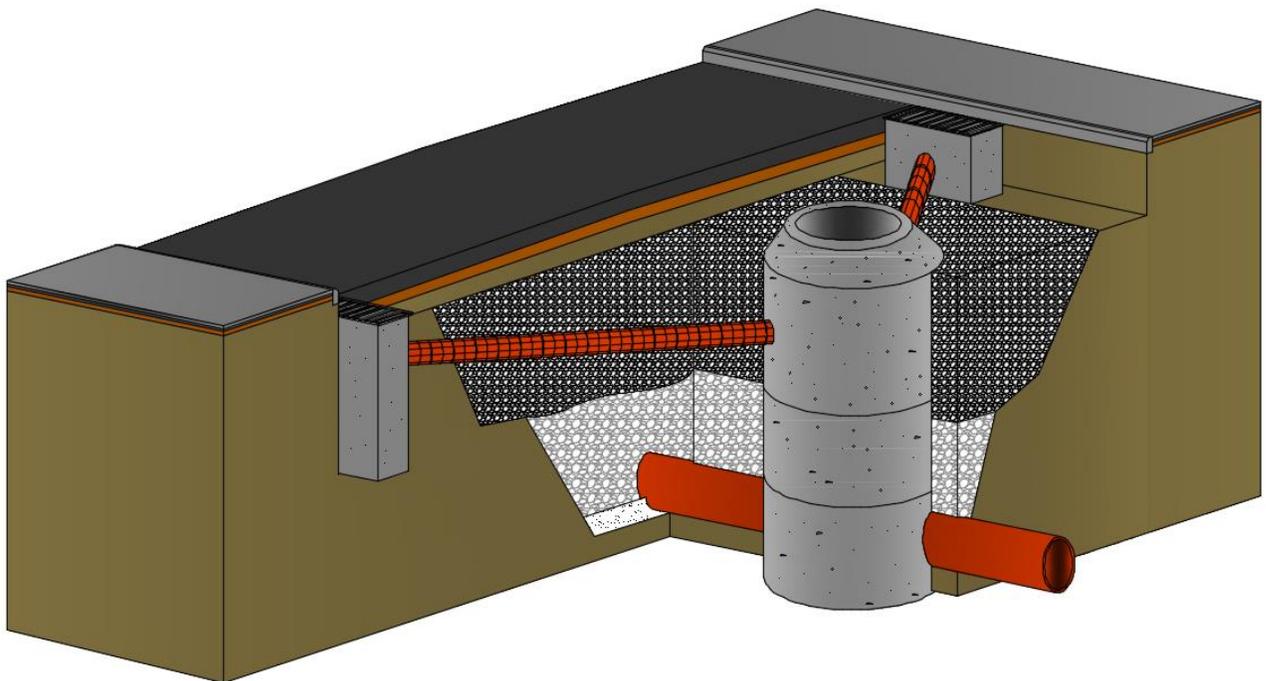
Para las propuestas realizadas se ha optado por sistemas que se implanten bajo la superficie de la calzada. De esta manera, cuando se renueven las instalaciones, se pueden ejecutar independientemente de la anchura de la calle permitiendo que las aguas pluviales se infiltren al terreno y liberen de las impurezas que traen las escorrentías. Así, al estar oculta bajo la superficie, mantiene una continuidad de infiltración con poco mantenimiento.

### 7.1. Ficha Modelo 1 “Zanja Central”

#### 7.1.1. Descripción

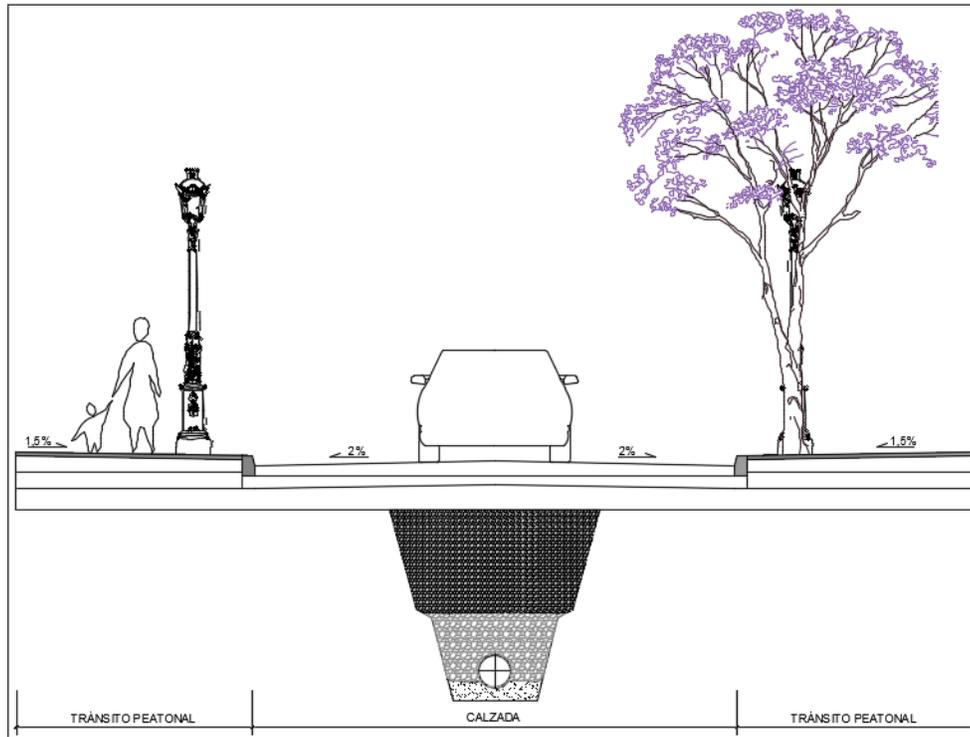
Para el MODELO 1, se ha elegido la opción de infiltración del agua pluvial optando por la colocación de un tubo drenante entre la salida del imbornal y la entrada al pozo de registro. Para la mejor circulación y filtro del fluido, la zanja, prevista en el centro de la calzada, estará rellena de grava con distintas dimensiones. A continuación, se detallará el modelo a seguir.

Figura 64: Volumetría Modelo 1 “Zanja Central”



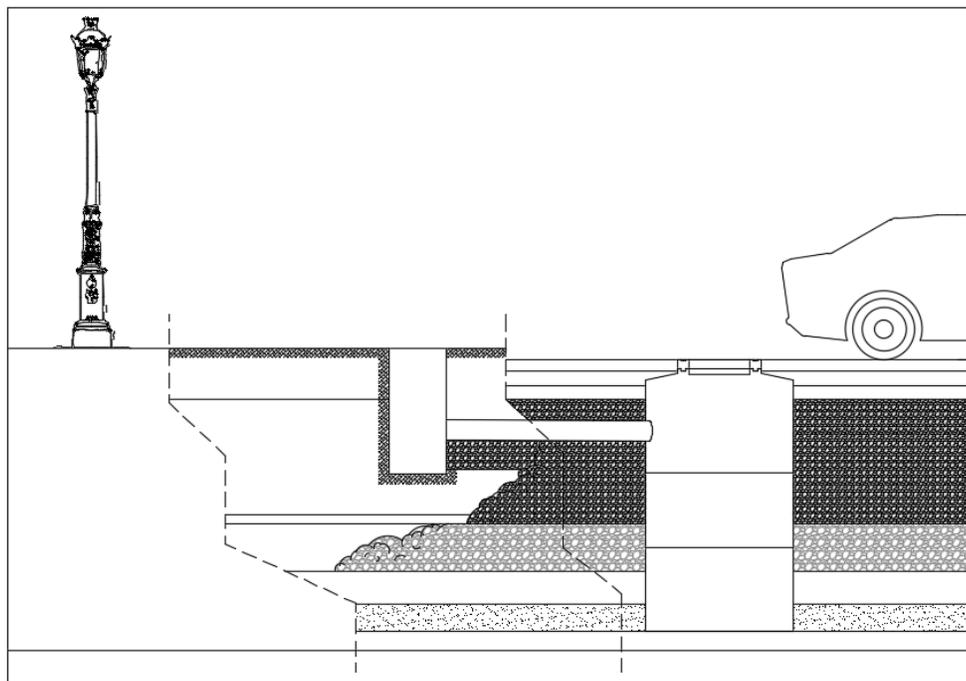
Fuente: Elaboración propia

Figura 65: Sección frontal de la zanja central



Fuente: Elaboración propia

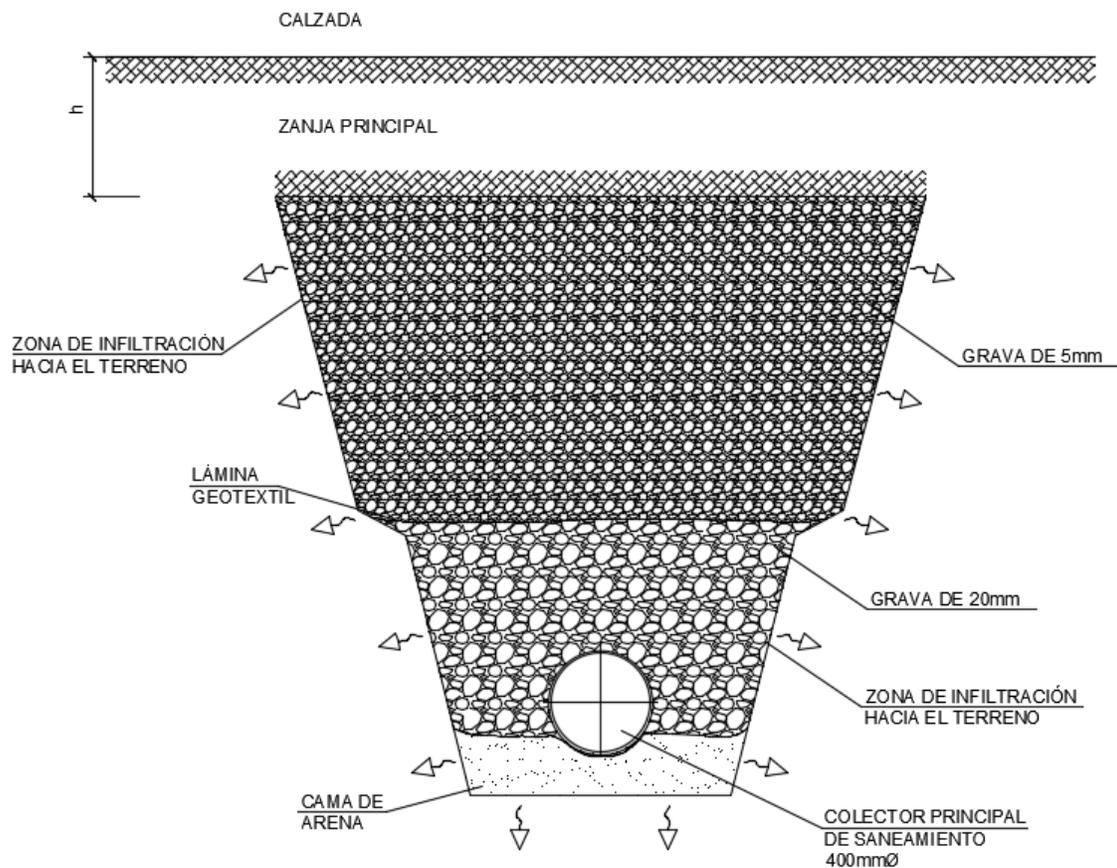
Figura 66: Sección longitudinal de la zanja mostrando cortes estratigráficos



Fuente: Elaboración propia

-Zanja principal longitudinal para albergar el colector principal de saneamiento, relleno de grava de 5mm - 20mm. Con una profundidad del conjunto de la zanja de 2,30 metros y una variable hasta la calzada según la subbase y base que prevea ejecutar la administración. Con una anchura transversal inferior de 1 metro y una superior de 2,50 metros. (Dimensiones en plano adjunto a este modelo, Anexos)

Figura 67: Sección frontal de la zanja principal

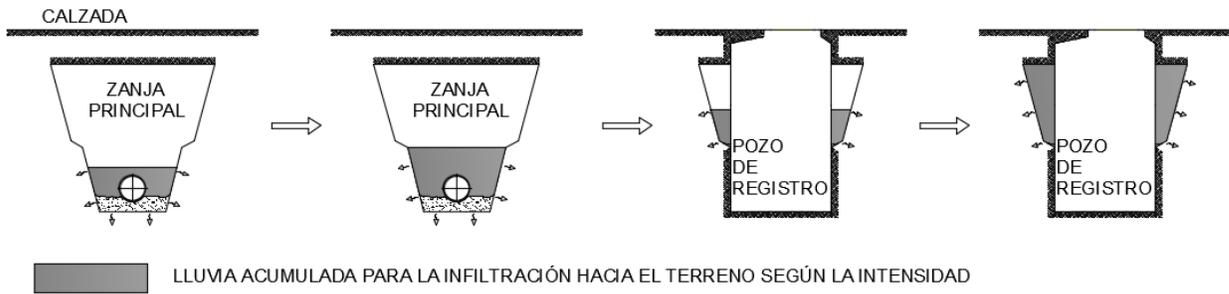


Fuente: Elaboración propia

El tamaño inferior de la zanja donde irá alojado el colector principal será transversalmente de 1 metro de distancia, menor que la anchura del pozo de registro normalizado que, con una anchura de 1,50 metros (exterior), será instalado con una separación variable en cada instalación concreta. Así, la cantidad de fluido que acabará alojado según la filtración del tubo de drenaje de salida del imbornal, y que circulará debido a la tendencia del fluido, tendrá facilidad para poder retenerse entre pozos para la correcta infiltración hacia el terreno. En el

caso de un exceso extraordinario de agua pluvial que el tubo drenante no pueda evacuar hacia el pozo, o el terreno no consiga drenar con la suficiente rapidez, la zanja principal, al ser más ancha en su zona superior, servirá como aliviadero hacia los demás tramos entre pozos obteniendo un mayor almacenamiento al aumentar su capacidad de volumen.

Figura 68: Posible situación por exceso de lluvia

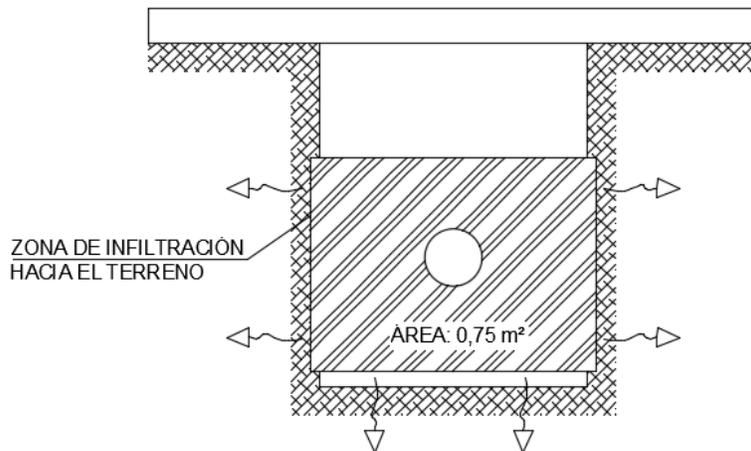


Fuente: Elaboración propia

-Zanja secundaria longitudinal para albergar el tubo de salida del imbornal, rellena de grava de 5mm, la misma que la capa superior de la zanja principal. Con una profundidad inferior de zanja de 0,30 metros, una superior de 0,25 metros y dimensión transversal de 0,80 metros. (Dimensiones en plano adjunto a este modelo, Anexos).

Figura 69: Secciones de imbornal

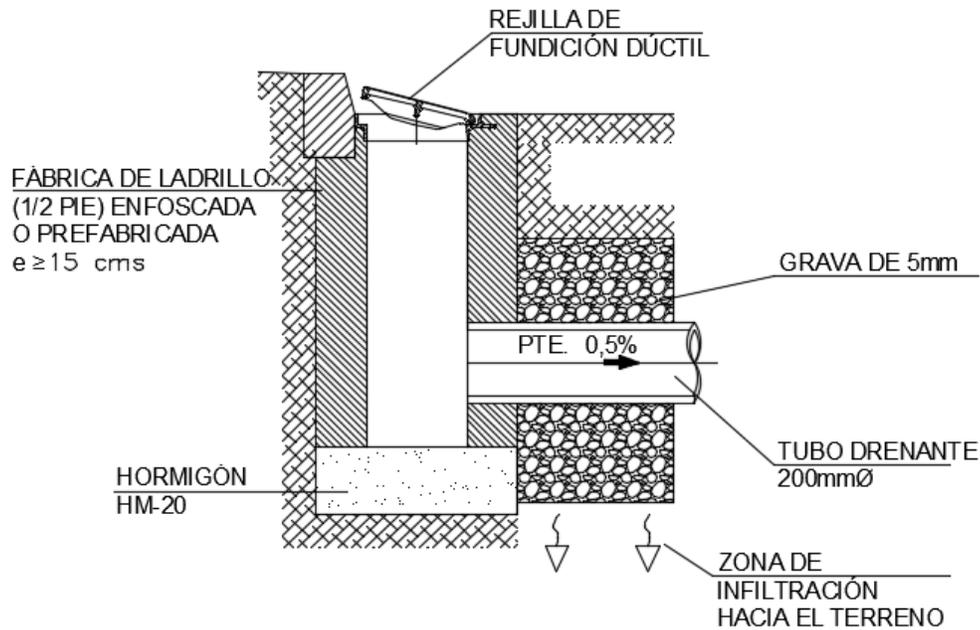
IMBORNAL TIPO REJILLA (SECCIÓN FRONTAL)  
ZANJA SECUNDARIA



Fuente: Elaboración propia

Figura 70: Imbornal

IMBORNAL TIPO REJILLA (SECCIÓN LATERAL)

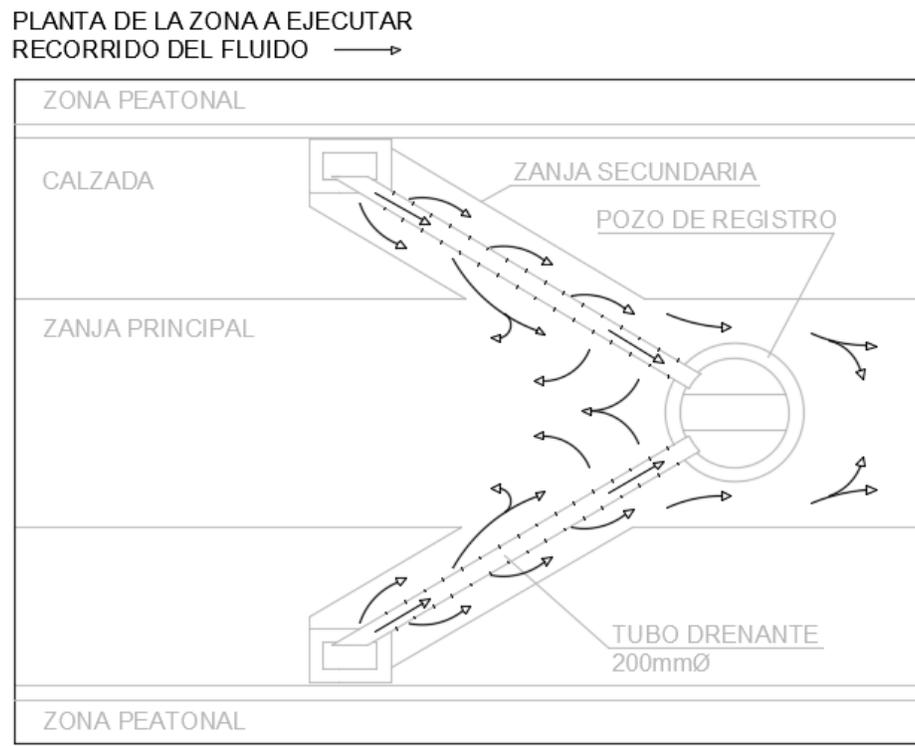


Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, toda el agua pluvial que penetre en el imbornal y desagüe, tendrá 3 vías de salida hacia el terreno y el pozo de registro:

- 1ª. La salida del agua desde el imbornal hacia el pozo de registro mediante el tubo drenante.
- 2ª. El agua que se infiltre hacia el terreno en la zanja que alberga el tubo drenante que nace desde el imbornal hasta el pozo de registro, o la cantidad de agua que acceda a la zanja principal debido a un exceso que no pueda drenar la zanja anteriormente citada.
- 3ª. El trasvase entre pozos debido a la anchura mayor de la zanja, aumentándose la capacidad de almacenamiento de agua pluvial.

Figura 71: Recorrido del fluido



Fuente: Elaboración propia

### 7.1.2. Cálculo de la zona estudiada

Longitud, 10 metros.

Pozo de registro normalizado.

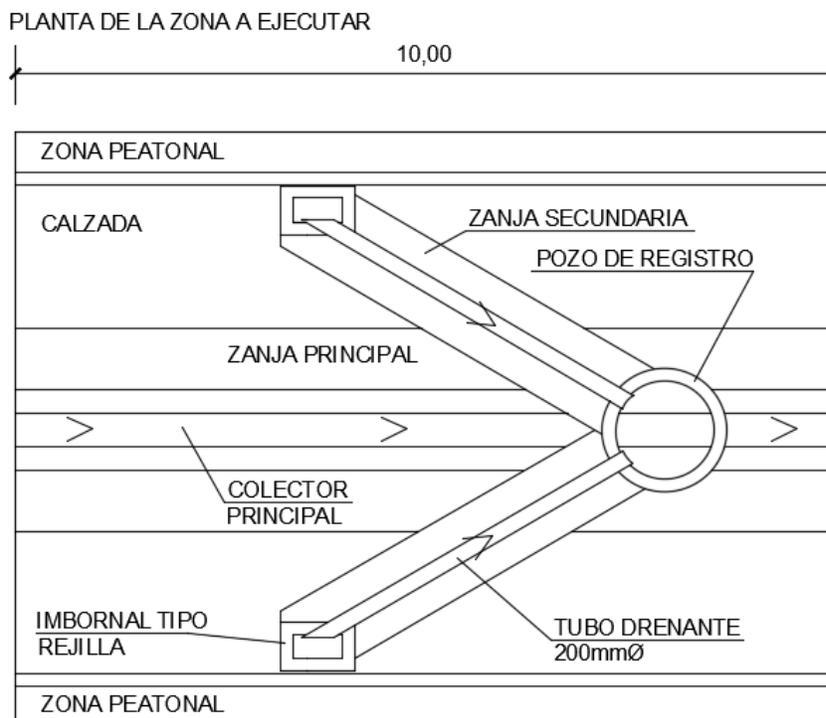
Tubo drenante Ø200mm.

Colector principal de saneamiento Ø400mm.

Granulometría de la grava superior de la zanja principal y secundaria: 5mm.

Granulometría de la grava inferior de la zanja principal: 20mm.

Figura 72: Planta de la zona a calcular

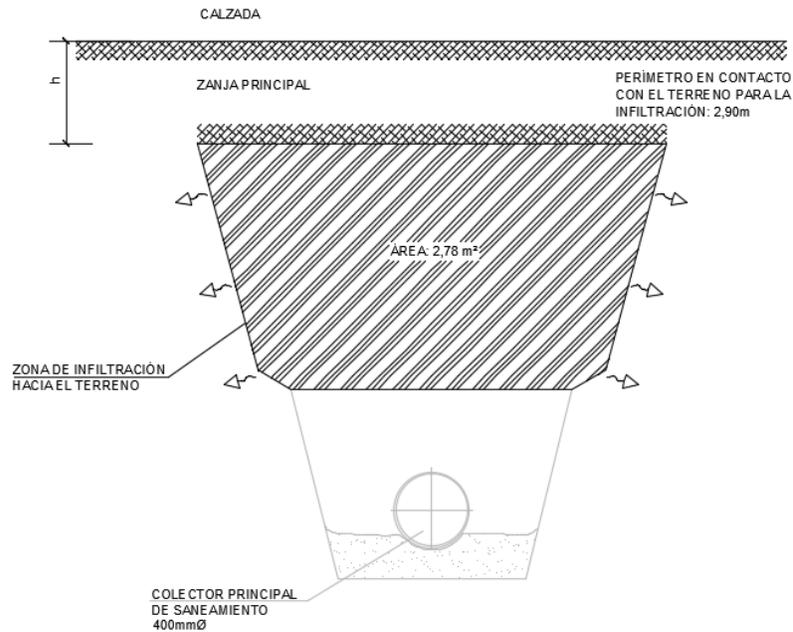


Fuente: Elaboración propia

## Cálculo del volumen de grava

- Zanja principal (grava superior)

Figura 73: Zanja principal. Zona superior



Fuente: Elaboración propia

$$\text{Área } 2,78\text{m}^2 * 10\text{m (longitud)} = 27,80\text{m}^3$$

-Deducción de la parte proporcional ocupada por el pozo de registro y el tubo drenante:

$$\text{Pozo de registro: Área del pozo (exterior) } \pi * 0,76^2 = 1,81\text{m}^2 * 1,30\text{m (altura)} = 2,35\text{m}^3$$

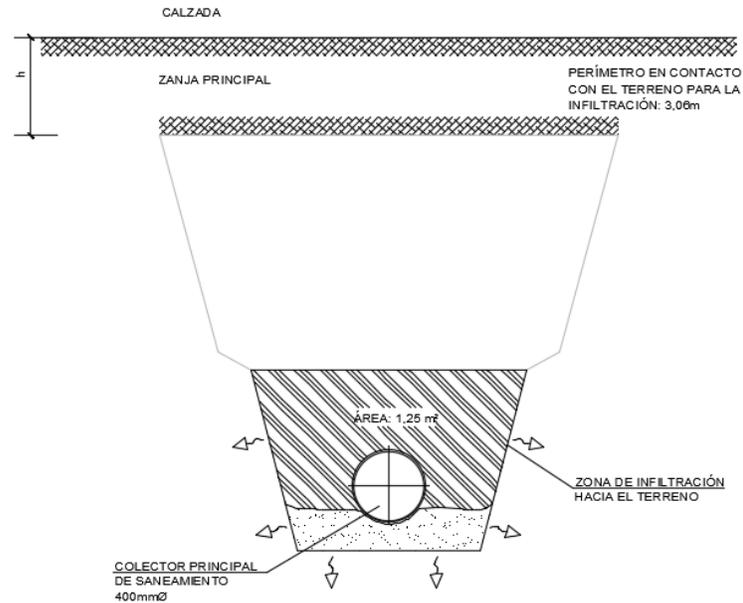
$$\text{Tubo drenante } \varnothing 200\text{mm: } \pi * 0,10^2 = 0,0314\text{m}^2 * 1,60\text{m (longitud del tubo)} = 0,05\text{m}^3 * 2 \text{ tubos} = 0,10\text{m}^3$$

-Zanja principal (grava superior)

$$27,80\text{m}^3 - 2,35\text{m}^3 - 0,10\text{m}^3 = \mathbf{25,35\text{m}^3}$$

- Zanja principal (grava inferior)

Figura 74: Zanja principal. Zona inferior



Fuente: Elaboración propia

$$\text{Área } 1,25\text{m}^2 * 10\text{m (longitud)} = 12,50\text{m}^3$$

-Deducción de la parte proporcional ocupada por el pozo de registro y el colector principal:

$$\text{Pozo de registro: Área del pozo (exterior): } \pi * 0,76^2 = 1,81\text{m}^2 * 1,00\text{m (altura)} = 1,81\text{m}^3$$

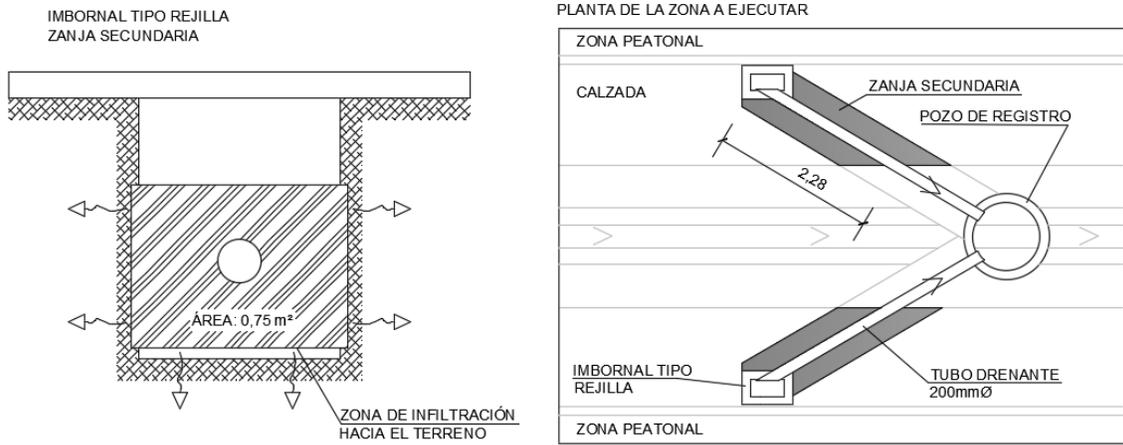
$$\text{Colector de saneamiento de } \varnothing 400\text{mm: } \pi * 0,20^2 = 0,125\text{m}^2 * (10\text{m (longitud)} - 1,52\text{m (tubo alojado en el pozo de registro)}) = 1,06\text{m}^3$$

-Zanja principal (grava inferior)

$$12,50\text{m}^3 - 1,81\text{m}^3 - 1,06\text{m}^3 = \mathbf{9,63\text{m}^3}$$

- Zanja secundaria que aloja el tubo drenante hasta la zanja principal.

Figura 75: Zanja secundaria



Fuente:

Elaboración propia

$$\text{Área } 0,75\text{m}^2 * 2,28\text{m} = 1,71\text{m}^3 * 2 \text{ zanjás} = 3,42\text{m}^3$$

-Deducción de la parte proporcional ocupada por el tubo drenante:

$$\text{Tubo drenante } \varnothing 200\text{mm}: \pi * 0,10^2 = 0,0314\text{m}^2 * 2,30\text{m (longitud del tubo)} = 0,07\text{m}^3 * 2 \text{ tubos} = 0,14\text{m}^3$$

-Zanja secundaria (grava hasta zanja principal)

$$3,42\text{m}^3 - 0,14\text{m}^3 = \mathbf{3,28\text{m}^3}$$

$$\text{Volumen de la zanja de la zona superior: } 25,35 + 3,28 = \mathbf{28,63\text{m}^3}$$

$$\text{Volumen de la zanja de la zona inferior: } \mathbf{9,63\text{m}^3}$$



### 7.1.3. Cálculo de la sección equivalente de la zanja principal

Calculando la sección equivalente de la zanja principal por la que circula el fluido que no se infiltra al terreno, obtendremos una comparación con el caudal que circula por un colector con diferentes diámetros.

Según la porosidad de la grava obtendríamos en el área de nuestro modelo saturado al 100% que:

$$\text{-Área zanja principal (zona superior)} = 2,78\text{m}^2 * 13\% = 0,36\text{m}^2$$

$$\text{-Área zanja principal (zona inferior)} = 1,25\text{m}^2 * 26\% = 0,33\text{m}^2$$

TOTAL= 0,69m<sup>2</sup> por donde circula el fluido

Para hallar el caudal de la sección completa consideramos que el fluido circula con una velocidad de 0,5 metros/segundo y aplicándole un coeficiente  $k = 0,5$  para minorarlo, obtendríamos un caudal Q:

$$\text{superficie} * \text{velocidad} = Q$$

$$0,69\text{m}^2 * 0,5\text{m/s} = 0,345\text{m}^3/\text{s}$$

Aplicándole el coeficiente K:

$$0,345 * 0,5 = 0,17\text{m}^3/\text{s} = \mathbf{170 \text{ litros/s circulan por la sección equivalente de la zanja principal.}}$$

Caudal que circula a una velocidad de 0,5 m/s, por una tubería de:

- Ø 400mm = 63 litros/s
- Ø 250mm = 24 litros/s
- Ø 200mm = 15 litros/s

### 7.1.4. Estimación económica

Se hallará la diferencia para una estimación económica entre el precio común de zanja con el tubo de salida del imbornal y el aporte de grava y tubo drenante de PVC que incorpora el nuevo modelo.

Tabla 4: Comparación estimación económica 1

m de zanja con colector de 200 mm

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
0,250h	Oficial 1ª Albañilería	19,85	4,962	
0,415h	Peón especial	18,9	7,843	
1,30m <sup>3</sup>	Arena gruesa	10,06	13,078	
1,00m	Cinta señalización	0,1	0,1	
1,00m	Tubo 200•mm	5,57	5,57	
0,165h	Pisón mecánico manual	3,01	0,496	
			TOTAL €	32,049

m de zanja con colector drenante de PVC de 200 mm

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
0,250h	Oficial 1ª Albañilería	19,85	4,962	
0,415h	Peón especial	18,9	7,843	
0,075m <sup>3</sup>	Arena gruesa	10,06	0,754	
0,625m <sup>3</sup>	Gravilla diámetro 18/20 mm	11,5	7,187	
1,807m <sup>3</sup>	Gravilla diámetro 5 mm	10,73	19,389	
1,00m	Cinta señalización	0,1	0,1	
1,86m <sup>2</sup>	Filtro geotextil FP-130 g/m <sup>2</sup>	0,7	1,302	
1,00m	Tubo drenante PVC 200•mm	13,33	13,33	
0,165h	Pisón mecánico manual	3,01	0,496	
			TOTAL €	55,363

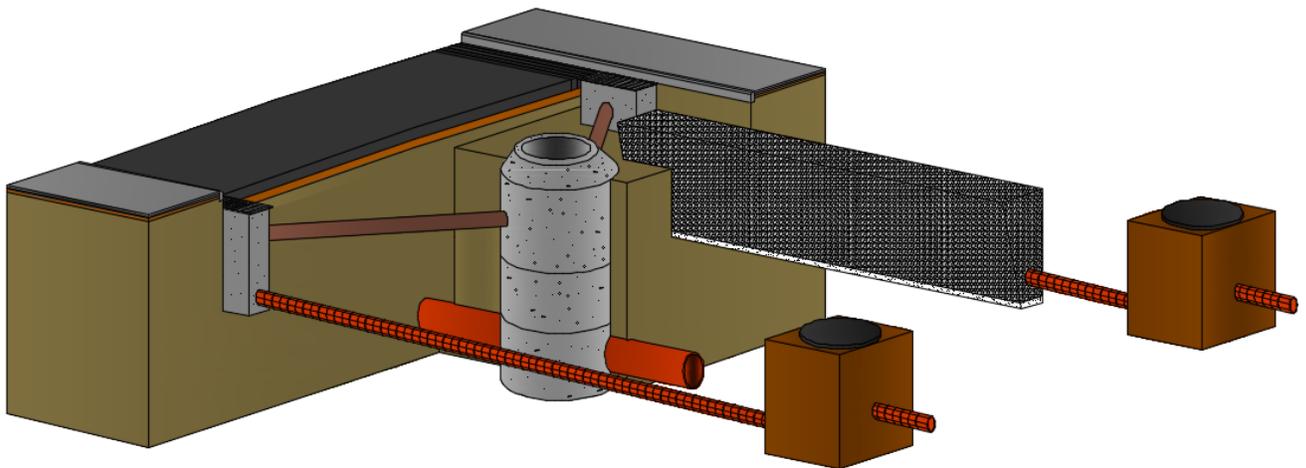
Fuente: Elaboración propia

## 7.2. Ficha Modelo 2 “Zanja longitudinal más pozo drenante”

### 7.2.1. Descripción

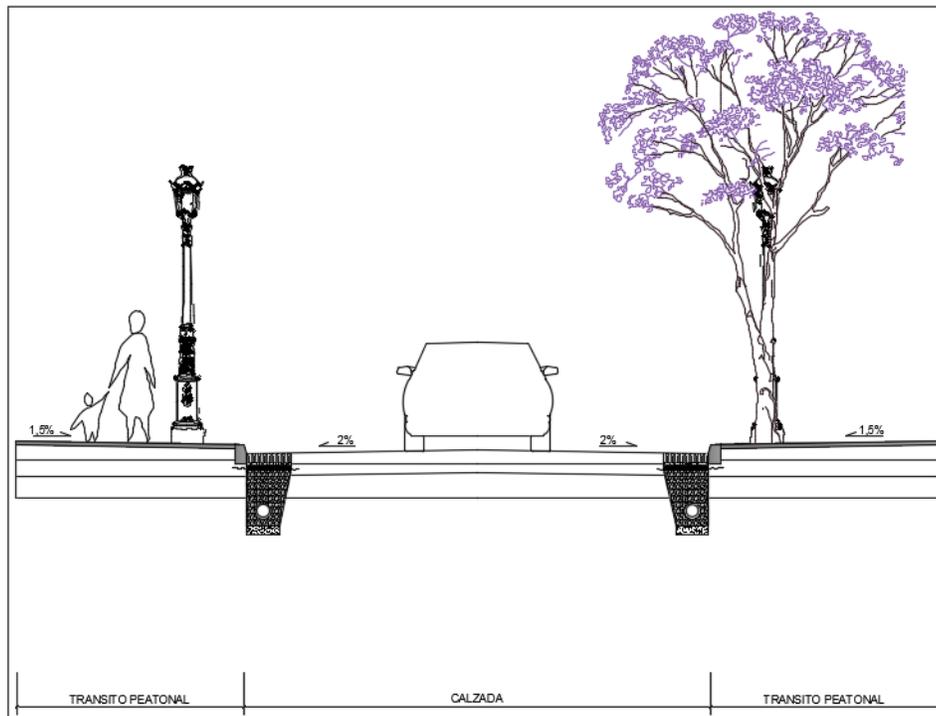
Para el MODELO 2, se ha elegido la opción de infiltración del agua pluvial hacia el terreno optando por la unión de los imbornales con tubos drenantes, alternando entre ellos pozos drenantes para acelerar el volumen de agua infiltrada.

Figura 78: Volumetría Modelo 2 "Zanja longitudinal más pozo drenante"



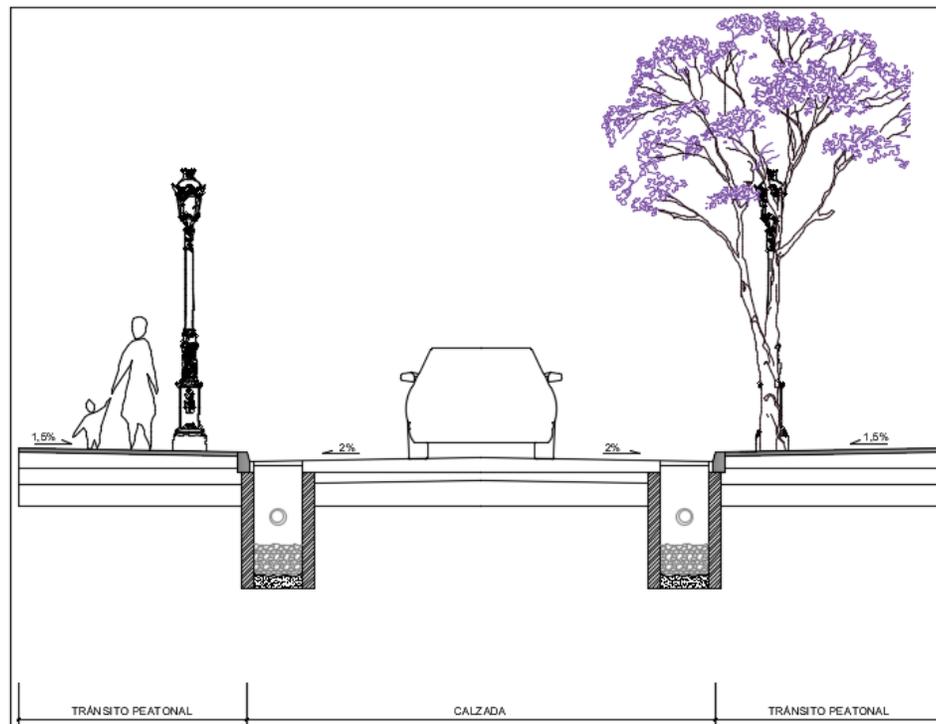
Fuente: Elaboración propia

Figura 79: Sección frontal de las zanjas longitudinales



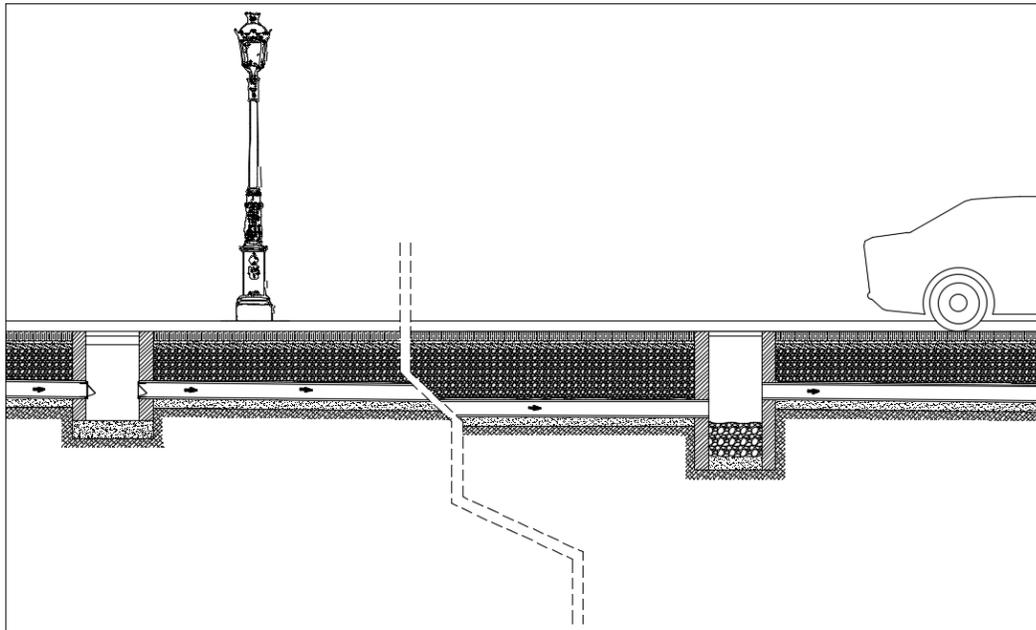
Fuente: Elaboración propia

Figura 80: Sección frontal de los pozos drenantes



Fuente: Elaboración propia

Figura 81: Sección longitudinal de la zanja, imbornal y pozo drenante



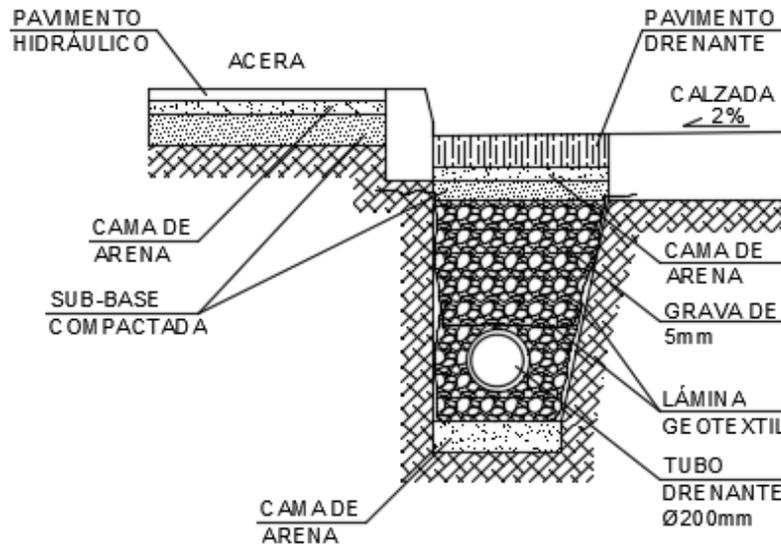
Fuente: Elaboración propia

-La opción estudiada se ejecuta con una zanja de 0,55 metros de ancho en la parte superior y 0,40 metros en la inferior, situadas en cada extremo longitudinal de la calzada, en este caso y para el cálculo de este modelo, de un metro de profundidad, en la que irá alojado un tubo drenante con una mínima pendiente entre imbornales y pozos drenantes.

La profundidad de la zanja y, por tanto, la profundidad del tubo alojado, variará según la pendiente de la calle. El relleno de la zanja se realizará con una capa de grava de tamaño de 5mm, en la que el agua pluvial que vaya circulando y drenando por el tubo, vaya a su vez infiltrándose al terreno. La franja superior de la zanja prevista se acometerá con un pavimento drenante para facilitar la penetración del agua que se deposite en la superficie de la calle y no se introduzca por el imbornal. (Dimensiones en plano adjunto a este modelo)

Figura 82: Sección perpendicular de la zanja de unión

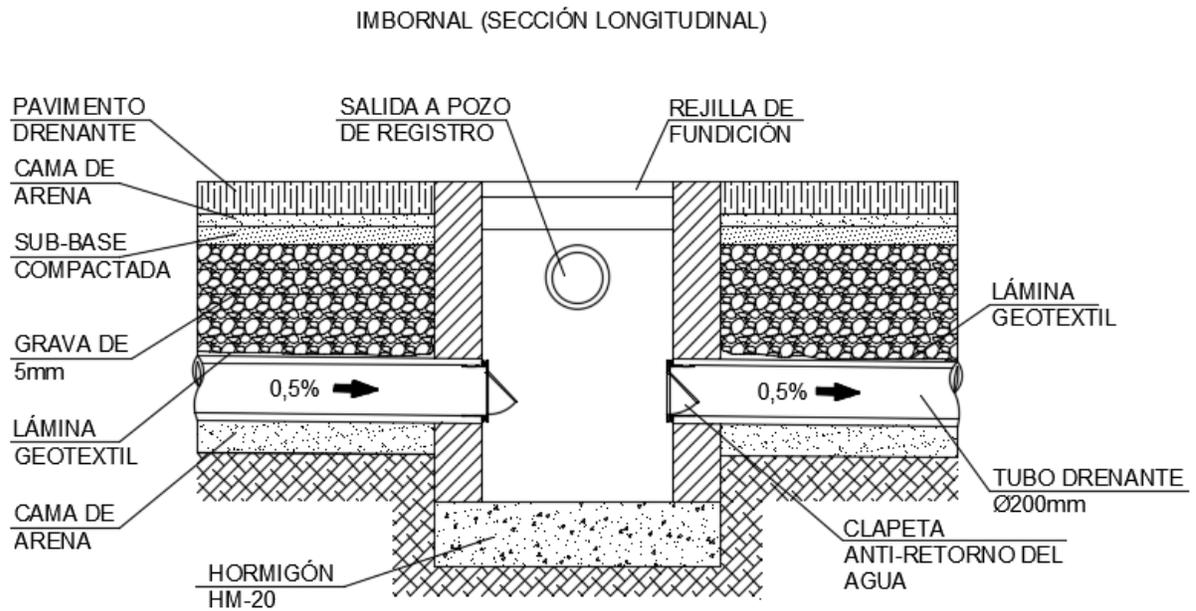
## ZANJA DE UNIÓN ENTRE IMBORNALES Y POZOS DRENANTES (SECCIÓN PERPENDICULAR)



Fuente: Elaboración propia

-Para los imbornales se ha elegido la opción de utilizar un elemento ya normalizado, pero elevando el tubo de desagüe de la salida hacia el pozo de registro. El motivo se debe a que cuando el imbornal reciba el agua pluvial, antes de evacuar el fluido, circule por los tubos drenantes que van conectados. Así, con una cantidad no excesiva de lluvia, puede ir circulando e infiltrándose hacia el terreno, pero en el caso de recibir una cantidad considerable de agua en la que el terreno no consiga drenar lo suficientemente rápido, el tubo de salida hacia el pozo de registro hará de aliviadero hacia el sistema normal de saneamiento. Se colocarán elementos antirretornos en la entrada y salida de los imbornales para compartimentar la instalación entre tramos. (Dimensiones en plano adjunto a este modelo)

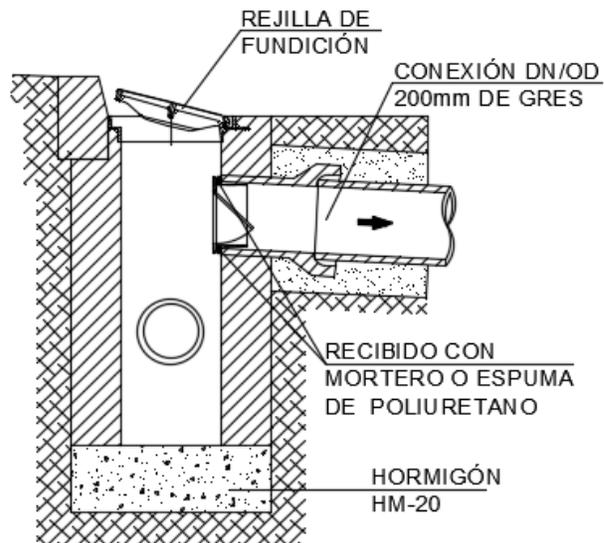
Figura 83: Sección longitudinal de imbornal con uniones de tubos drenantes



Fuente: Elaboración propia

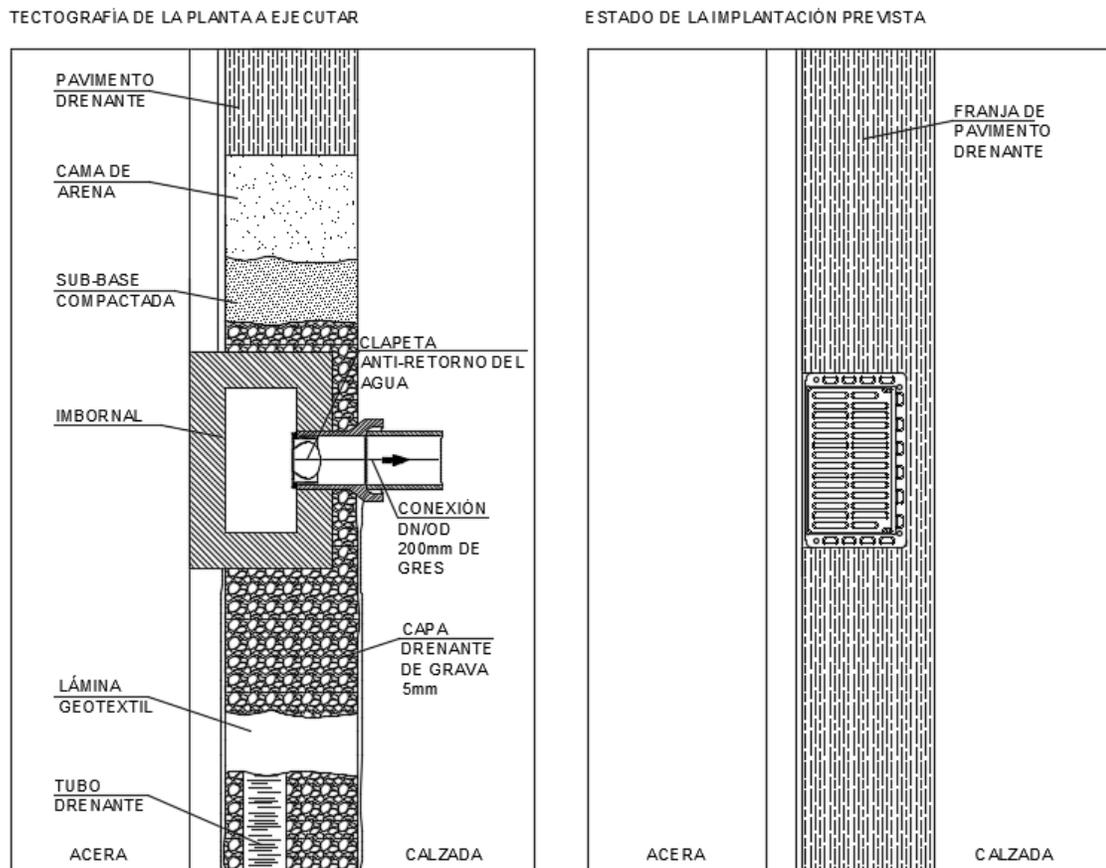
Figura 84: Sección perpendicular de imbornal

**IMBORNAL TIPO REJILLA (SECCIÓN PERPENDICULAR)**



Fuente: Instrucciones Técnicas para Redes de Saneamiento de Emasesa

Figura 85: Planta de la situación de la zanja entre imbornales

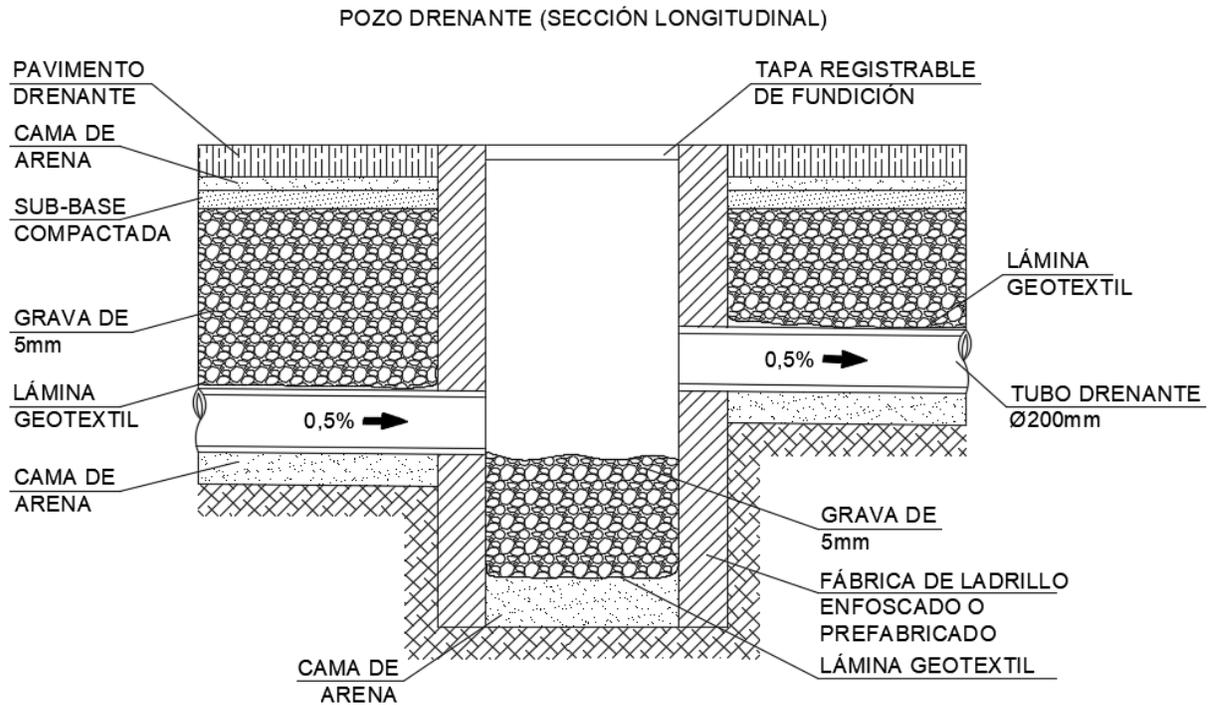


Fuente: Elaboración propia

-Para los pozos drenantes se ha optado por un elemento rectangular de 0,90x0,90 metros (exterior) y 0,60x0,60 metros (interior), elaborado con fábrica de ladrillo y enfoscado interiormente, y con una profundidad variable según la pendiente de la calle a ejecutar. Para este modelo se calculará con una profundidad de 1,50 metros. Este pozo irá alojado entre imbornales y unido con tubos drenantes. Al ser un pozo drenante, se rellenará el fondo con una capa de arena, una lámina geotextil y una capa de grava de 5mm. para mejorar la calidad del agua que llegue de los imbornales. Se le practicará una perforación en la zona inferior del mismo buscando la profundidad más adecuada y así lograr una mayor rapidez en la infiltración. El tubo estará perforado para una mayor filtración del agua.

Para un correcto mantenimiento se colocará en la parte superior del pozo una tapa de fundición registrable.

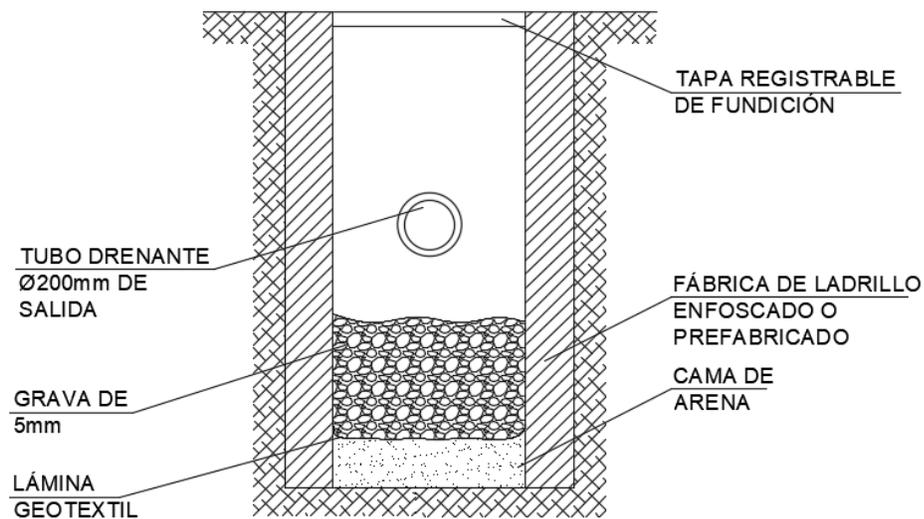
Figura 86: Sección longitudinal de pozo drenante



Fuente: Elaboración propia

Figura 87: Sección transversal de pozo drenante

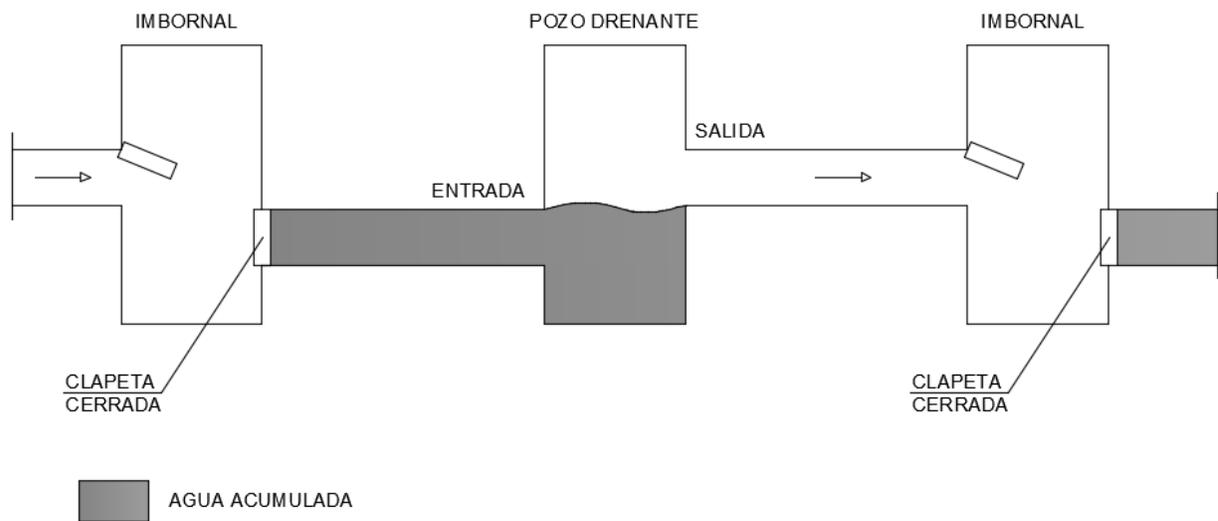
POZO DRENANTE (SECCIÓN PERPENDICULAR)



Fuente: Elaboración propia

La opción más adecuada para conseguir una mayor acumulación de agua en el pozo drenante es colocando el tubo de salida más alto que el de entrada. Al colocar elementos antirretorno en los imbornales, el fluido que ingrese en el tubo drenante que va hasta el pozo, se mantendrá en el tramo infiltrándose en mayor o menor medida.

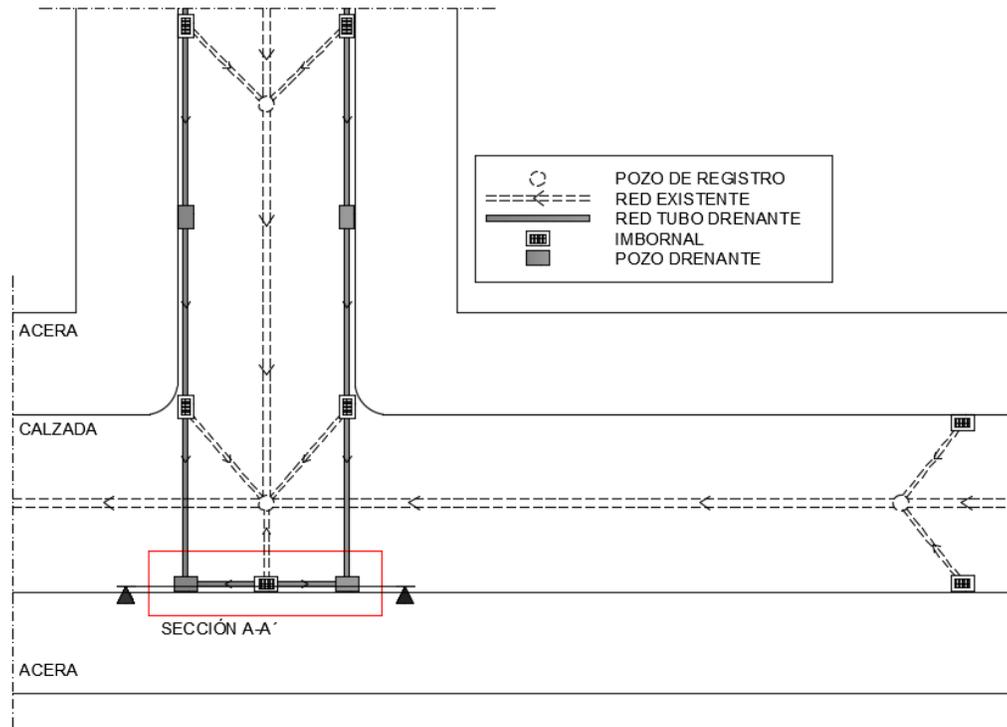
Figura 88: Situación de la lluvia acumulada con elementos antirretornos



Fuente: Elaboración propia

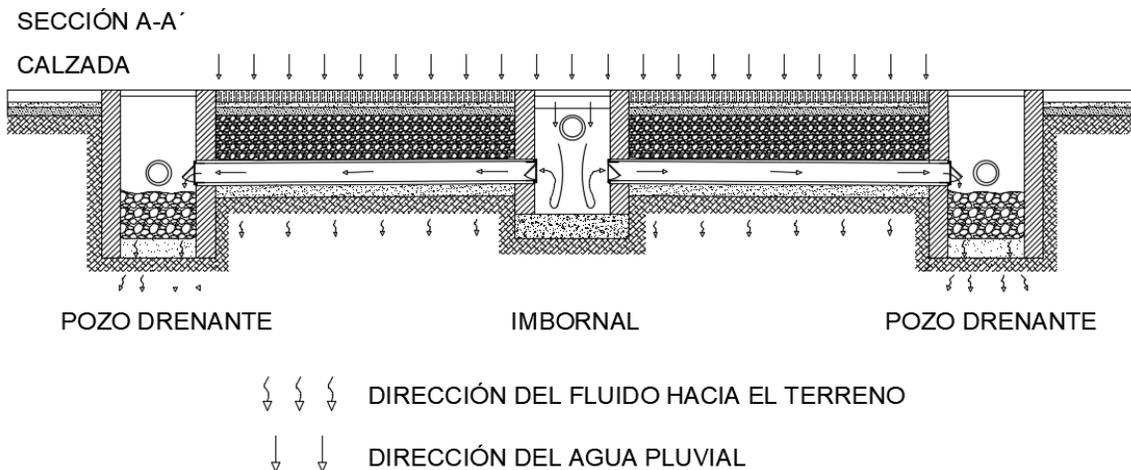
Para la finalización del sistema estudiado se puede optar por no alternar más pozos drenantes entre imbornales, o en el caso de terminar al final de una calle se puede optar por la siguiente solución.

Figura 89: Situación de finalización del modelo



Fuente: Elaboración propia

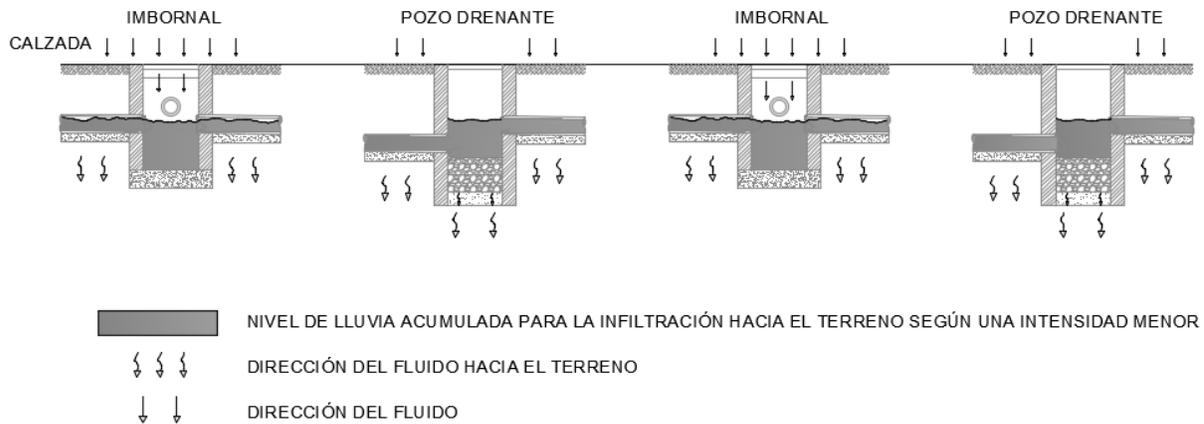
Figura 90: Sección de finalización del modelo



Fuente: Elaboración propia

Como ya hemos comentado anteriormente, con una cantidad considerable de agua pluvial que penetre por el pavimento drenante y los imbornales, conseguiremos que la instalación que conecta los elementos se llene y fluya el agua para la infiltración hacia el terreno. Hasta ahora, no se ha vertido hacia la red actual de saneamiento.

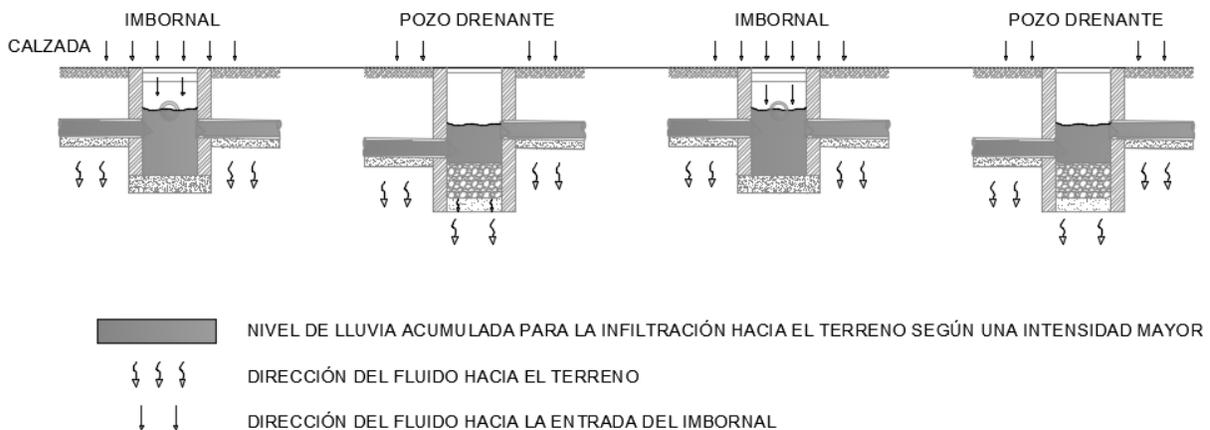
Figura 91: Secciones de la acumulación de lluvia con intensidad menor



Fuente: Elaboración propia

Asimismo, con una cantidad excesiva de agua pluvial que penetre por el pavimento drenante y los imbornales, y el terreno no consiga drenar con la suficiente rapidez, la instalación se irá colmatando hasta verter a la red actual de saneamiento.

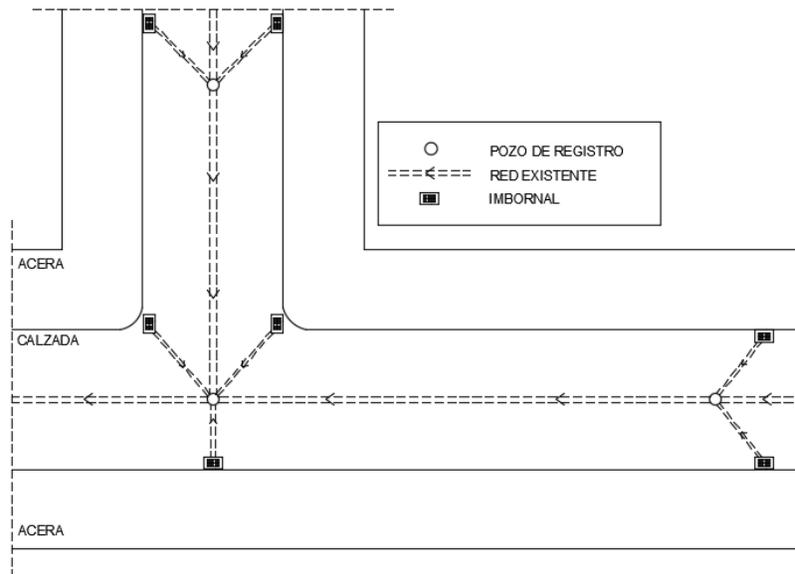
Figura 92: Secciones de la acumulación de lluvia con intensidad mayor



Fuente: Elaboración propia

Red actual de saneamiento.

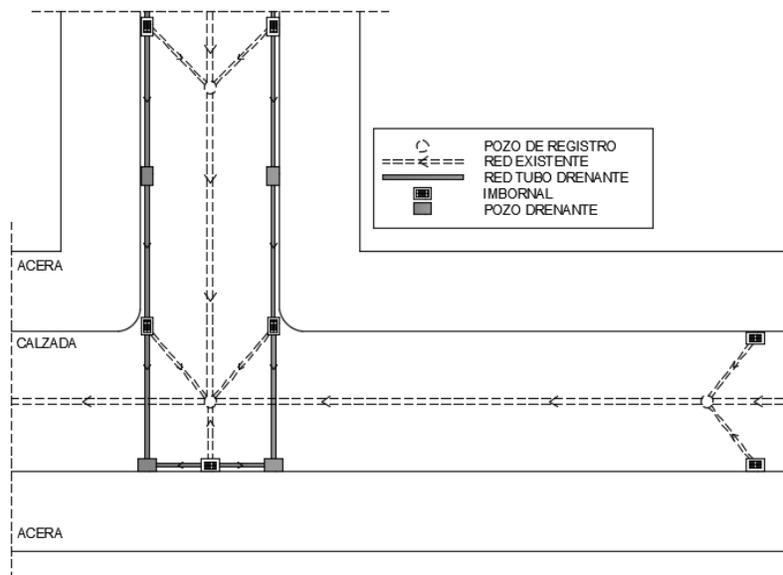
Figura 93: Planta de la red actual de saneamiento



Fuente: Elaboración propia

Red modificada con pozos y tubos drenantes.

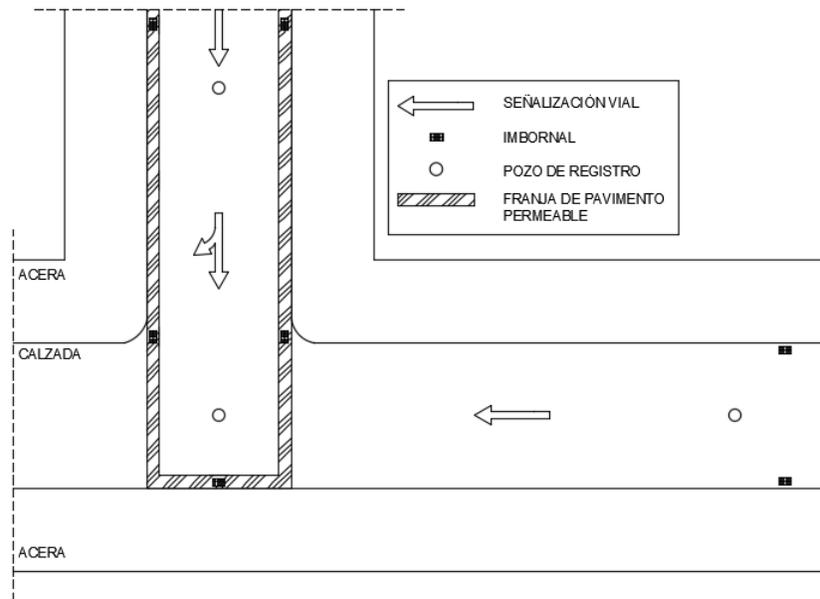
Figura 94: Planta de la red modificada con pozos y tubos drenantes



Fuente: Elaboración propia

Situación del pavimento de la calzada con la implantación prevista.

Figura 95: Planta de la situación del pavimento de la calzada con la nueva implantación



Fuente: Elaboración propia

### 7.2.2. Cálculo de la zona estudiada

Longitud, 20 metros.

Imbornal tipo rejilla.

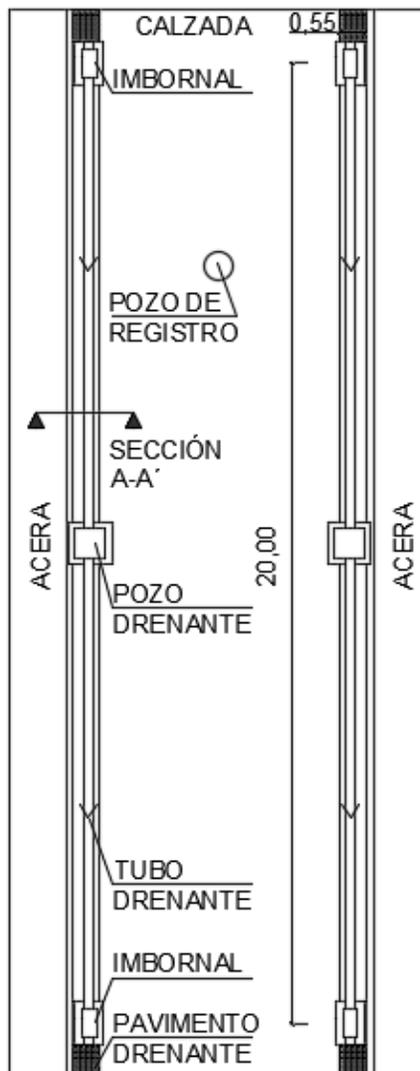
Tubo drenante Ø200mm.

Pozo drenante.

Granulometría de la grava utilizada para relleno de la zanja: 5mm.

Figura 96: Planta de la zona a ejecutar

PLANTA DE LA ZONA A EJECUTAR



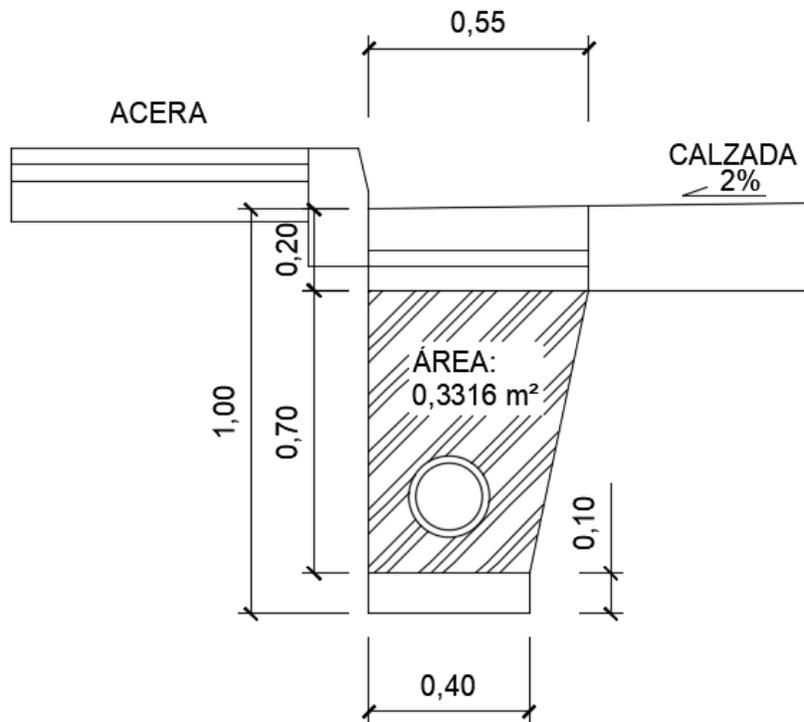
Fuente: Elaboración propia

## Cálculo del volumen de grava

- Volumen de zanja

Figura 97: Zanja de unión entre imbornales

### ZANJA DE UNIÓN ENTRE IMBORNALES Y POZOS DRENANTES (SECCIÓN A-A')



Fuente: Elaboración propia

-Zanja entre imbornales (relleno de grava)

$$\text{Área } 0,3316\text{m}^2 * 18,20\text{m (longitud)} * 2 \text{ zanjas} = 12,07 \text{ m}^3$$

-Deducción de la parte proporcional ocupada por el tubo drenante:

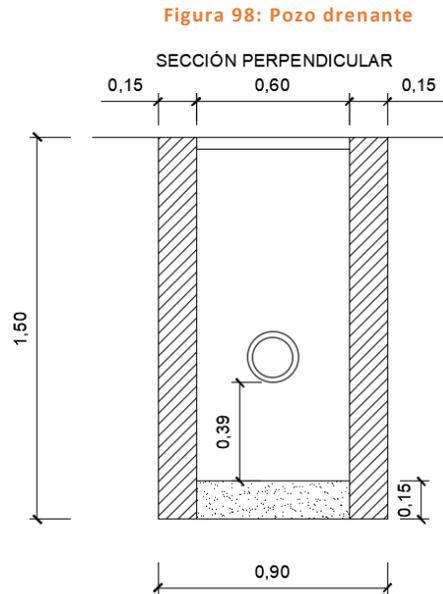
$$\text{Tubo drenante } \varnothing 200\text{mm}: \pi * 0,10^2 = 0,0314\text{m}^2 * 18,20\text{m (longitud del tubo)} = 0,57\text{m}^3 * 2 \text{ tubos} \\ = 1,14\text{m}^3$$

-Volumen de zanjas longitudinales.

$$12,07\text{m}^3 - 1,14\text{m}^3 = \mathbf{10,93\text{m}^3}$$

- Pozo drenante

Consideramos que en los pozos drenantes se acumulará el fluido hasta la infiltración desde la zona inferior del tubo de entrada hasta la zona inferior de la capa de arena. Por lo tanto, se incluirá como volumen igual que las zanjas antes calculadas.



Fuente: Elaboración propia

-Pozo drenante

$$0,60 \times 0,60 \times 0,39 \text{ metros} = 0,14 \text{m}^3 \times 2 \text{ pozos} = 0,28 \text{m}^3$$

Volumen total de las 2 zanjas más los 2 pozos drenantes:

$$10,93 \text{m}^3 + 0,28 \text{m}^3 = \mathbf{11,21 \text{m}^3}$$

Por lo tanto, para nuestro Modelo 2 “Zanja longitudinal más pozo drenante” y con estos datos, sabemos la cantidad de agua que alberga las zanjas más los pozos drenantes ya calculados con una saturación al 100% de ellos. Al tener un tipo de granulometría de grava y, por lo tanto, un tipo de porosidad eficaz, utilizaremos la porosidad mínima de la tabla de Sanders.

$$\text{Zanjas más pozos drenantes} = 11,21 \text{m}^3 \times 13\% = 1,45 \text{m}^3 = 1.450 \text{ litros}$$

### 7.2.3. Cálculo de la sección equivalente de la zanja principal

Calculando la sección equivalente de las dos zanjas longitudinales por las que circula el fluido que no se infiltra al terreno, obtendremos una comparación con el caudal que circula por un colector con diferentes diámetros.

Según la porosidad de la grava obtendríamos en el área de nuestro modelo saturado al 100% que:

$$\text{-Área de zanja} = 0,3316\text{m}^2 * 13\% = 0,043\text{m}^2$$

TOTAL= 0,043m<sup>2</sup> por donde circula el fluido

Para hallar el caudal de la sección completa consideramos que el fluido circula con una velocidad de 0,5 metros/segundo y aplicándole un coeficiente **k = 0,5** para minorarlo, obtendríamos un caudal Q:

$$\text{superficie} * \text{velocidad} = Q$$

$$0,043\text{m}^2 * 0,5\text{m/s} = 0,022\text{m}^3/\text{s}$$

Aplicándole el coeficiente K:

$$0,022 * 0,5 = 0,010\text{m}^3/\text{s} * 2 \text{ zanjas} = \mathbf{20 \text{ litros/s circulan por la sección equivalente de las dos zanjas.}}$$

Caudal que circula a una velocidad de 0,5 m/s, por una tubería de:

- Ø 400mm = 63 litros/s
- Ø 250mm = 24 litros/s
- Ø 200mm = 15 litros/s

### 7.2.4. Estimación económica

Se hallará la diferencia para una estimación económica entre el precio común de zanja con el tubo de salida del imbornal y el aporte de grava y tubo drenante de PVC que incorpora el nuevo modelo.

Tabla 5: Comparación estimación económica 2

m de zanja con colector de 200 mm

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
0,250h	Oficial 1ª Albañilería	19,85	4,962	
0,415h	Peón especial	18,9	7,843	
1,30m <sup>3</sup>	Arena gruesa	10,06	13,078	
1,00m	Cinta señalización	0,1	0,1	
1,00m	Tubo 200•mm	5,57	5,57	
0,165h	Pisón mecánico manual	3,01	0,496	
			<b>TOTAL €</b>	<b>32,049</b>

m de zanja con colector +colector drenante de PVC de 200 mm

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
0,250h	Oficial 1ª Albañilería	19,85	4,962	
0,415h	Peón especial	18,9	7,843	
1,34m <sup>3</sup>	Arena gruesa	10,06	13,48	
0,332m <sup>3</sup>	Gravilla diámetro 5 mm	10,73	3,558	
2,00m	Cinta señalización	0,1	0,2	
1,44m <sup>2</sup>	Filtro geotextil FP-130 g/m <sup>2</sup>	0,7	1,01	
1,00m	Tubo 200 mm	5,57	5,57	
1,00m	Tubo drenante PVC 200•mm	13,33	13,33	
0,165h	Pisón mecánico manual	3,01	0,496	
			<b>TOTAL €</b>	<b>50,449</b>

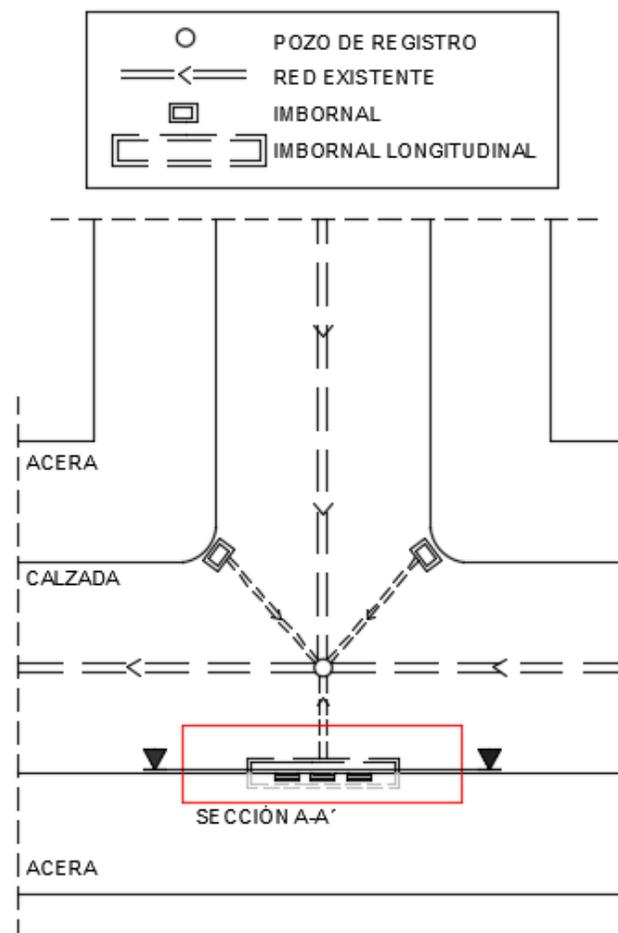
Fuente: Elaboración propia

### 7.3. SUDS adaptables a los Modelos

#### 7.3.1. Imbornal longitudinal

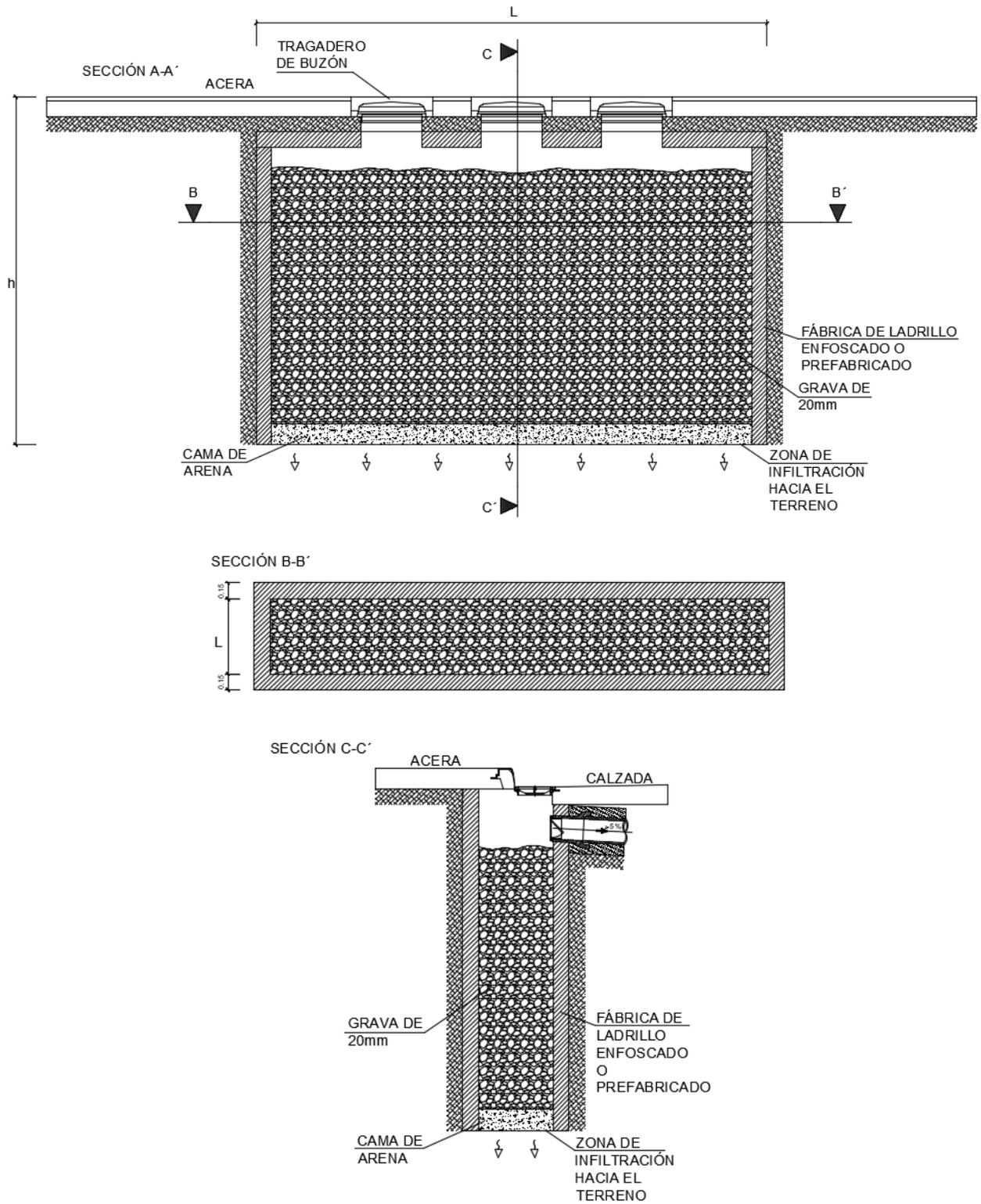
Este sistema permite incorporar tragaderos de buzón y aumentar la longitud del imbornal según la cantidad de agua pluvial que requiera evacuar la zona. Se asemeja a un imbornal común en la construcción, pero tiende a filtrar el agua de impurezas como un pozo drenante debido al relleno de grava que alberga interiormente y a infiltrarlo hacia el terreno por la capa inferior de arena. La diferencia con los Modelos anteriores se visualiza en el confinamiento de la grava para evitar que se disperse el fluido hacia otros lugares. Se mantendrá el tubo de salida hacia el pozo de registro para cuando el terreno no logre absorber el fluido con la rapidez necesaria.

Figura 99: Imbornal longitudinal



Fuente: Elaboración propia

Figura 100: Secciones de "Imbornal longitudinal"

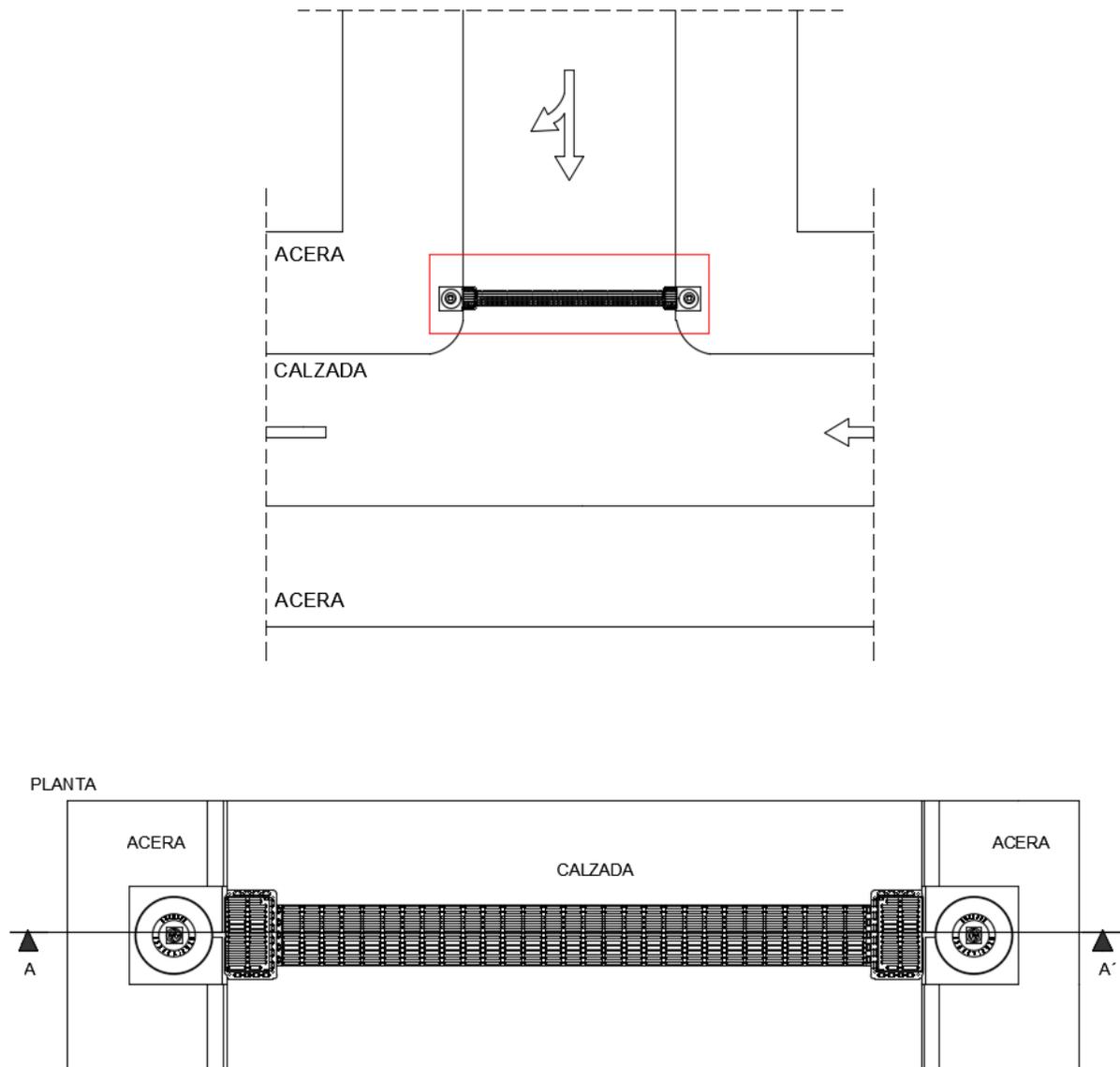


Fuente: Elaboración propia

### 7.3.2. Rejilla transversal

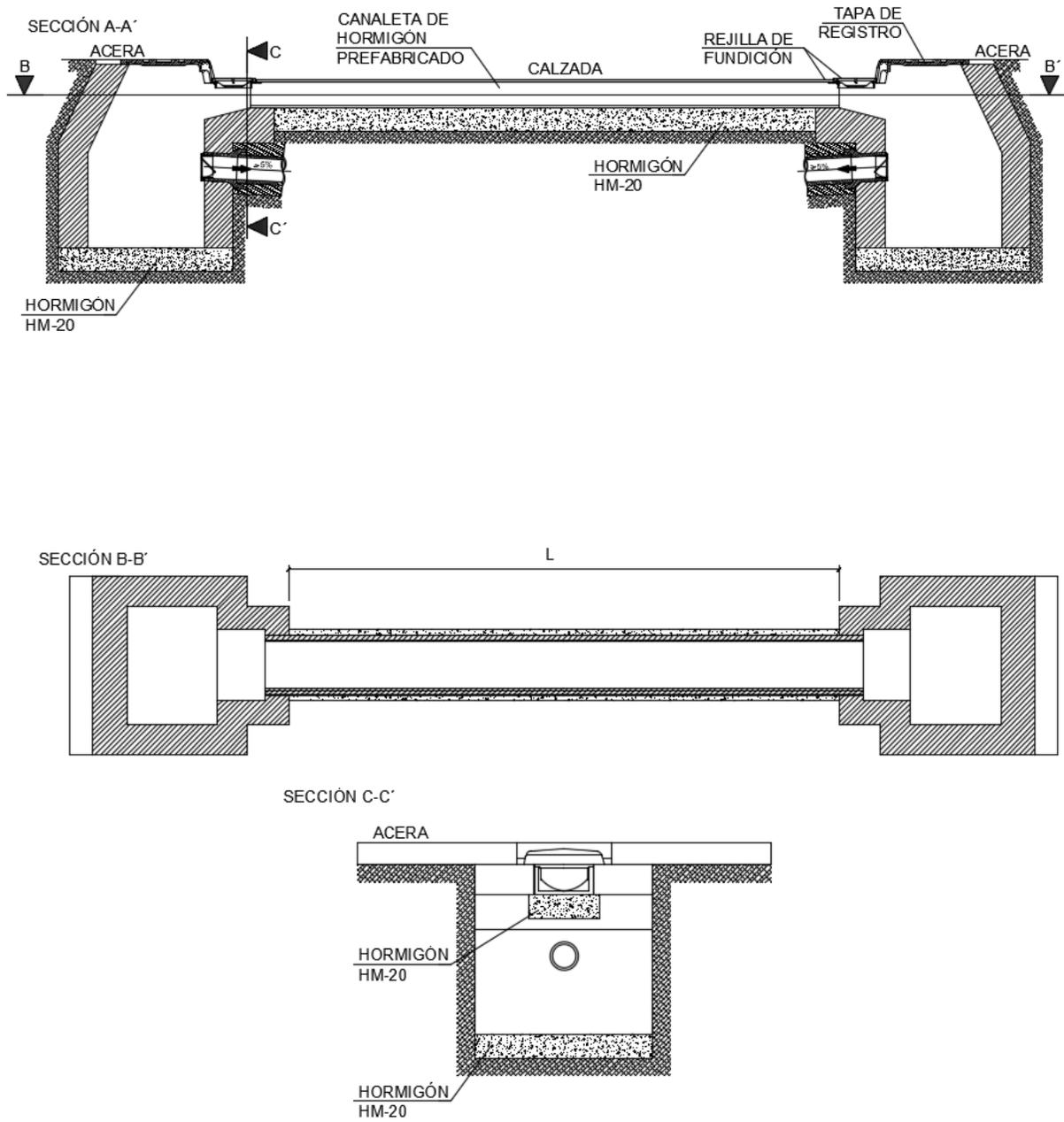
Para la siguiente adaptación se propone un sistema ya aplicable en algunos lugares para la evacuación del agua pluvial como es la unión de una canaleta de hormigón prefabricado unido a dos imbornales, pero que incorporado a los Modelos antes estudiados es eficaz para aumentar la capacidad de captación, pudiéndose ampliar en número de rejillas e imbornales según el lugar y el fluido a acoger.

Figura 101: Rejilla transversal



Fuente: Elaboración propia

Figura 102: Secciones "rejilla transversal"

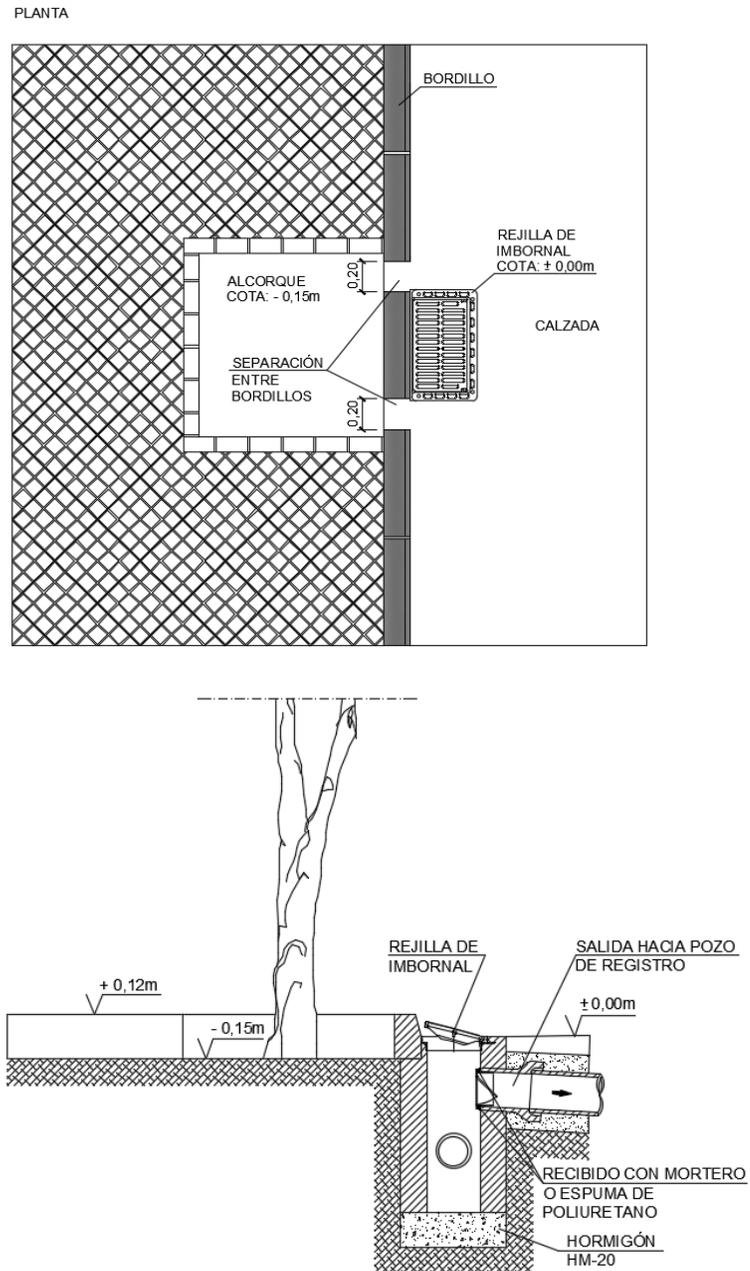


Fuente: Elaboración propia

### 7.3.3. Alcorque

El agua que llega a un alcorque es en parte, el que recibe por la misma lluvia y el que le llega de las aceras. Si la cota del mismo alcorque estuviera más baja que la calzada y el imbornal, y hubiera espacio entre bordillos para que el agua ingresara, el agua se acumularía y se podría infiltrar en el mismo poco a poco. El agua restante acabaría entrando por el imbornal.

Figura 103: Alcorque



Fuente: Elaboración propia

#### **7.4. Límites y precauciones**

En función del tipo de terreno donde se implante, se deberán estudiar las afecciones a la resistencia del terreno. Asimismo, se deberá tener en cuenta la posibilidad de asentos del terreno debido a las variaciones de humedad constantes, especialmente en las épocas de lluvia y con el riego o baldeo de calles.

La acumulación de agua en el terreno produce cargas superficiales a las del terreno seco que pueden afectar a la resistencia del propio terreno y especialmente a estructuras de contención cercanas.

## 8. RESUMEN DE ESTUDIOS Y PROPUESTAS

La implantación de los Modelos antes enunciados se puede realizar en cualquier calle que albergue una instalación de saneamiento. Independientemente de la anchura de ellas.

Al estar definidas para uso de almacenamiento e infiltración al terreno, cabe destacar en el Modelo 1 “Zanja Central” el gran volumen de almacenaje de fluido que puede mantener para casos en los que la zona recibe un exceso de lluvia. Una cantidad que, en el caso de ser extraordinaria, mantiene un aliviadero hacia la instalación para no obstruir el tragadero del imbornal.

El mantenimiento del Modelo 1 es bajo y análogo al que puede llevar una instalación de saneamiento actual debido a que, estando bajo la superficie, y ejecutándose para que específicamente libere toda el agua posible hacia la grava, acabará siendo la principal razón para el correcto funcionamiento del sistema aun cuando exista algún tipo de incidencia en las conexiones o la degradación parcial del material.

En el Modelo 2 “Zanja longitudinal más pozo drenante” obtenemos un almacenaje menor del fluido, pero, según la profundidad del pozo drenante, una mayor rapidez en la infiltración. Este modelo se puede compaginar con varios tipos de materiales. En el caso estudiado, se ejecuta con una franja de pavimento drenante entre imbornales para mayor facilidad y rapidez de infiltración del fluido hacia los tubos que unirán con los pozos. Si no se ejecuta con el pavimento drenante, el sistema seguirá siendo eficiente por la unión entre imbornales. Si la salida del imbornal, se eleva según el modelo, la circulación prevista por los tubos y los pozos hará efectiva la idea del sistema aun sin el pavimento.

El mantenimiento del Modelo 2 es relativamente más específico que el anterior porque lleva instaladas unas válvulas antirretorno en los imbornales para su eficaz actividad. Aun así, la labor del sistema no impedirá la infiltración por la incidencia del fallo de alguna válvula, siendo admisible, pero no en su plenitud, para un funcionamiento óptimo del sistema.

## 9. CONCLUSIONES

Puede decirse que el objetivo principal de este trabajo ha sido alcanzado. Habiendo obtenido una recopilación de los distintos sistemas urbanos de drenaje ya instalados en multitud de poblaciones, se ha optado por modelar un sistema que se puede implantar en cualquier ciudad y en cualquier calle según su anchura siempre que lleve alojada una instalación de saneamiento.

Podemos destacar varios puntos en los que el beneficio de los modelos propuestos es importante:

- El bajo nivel de mantenimiento de los modelos para su perfecta eficiencia.
- El espacio superficial inexistente.
- La utilización de materiales comunes en la construcción.
- La facilidad de ejecución con una mano de obra no especializada.
- La implementación de los modelos con independencia de la amplitud y la pendiente de la calle.

### 9.1. Futuras líneas de trabajo

Me ha parecido interesante buscar sistemas con materiales comunes y que no ocupen espacio en la vía. En este caso, viendo que la versatilidad de cada modelo puede adaptarse de múltiples formas para seguir siendo eficaz, parece un buen comienzo para el estudio de nuevas ideas.

Este trabajo es un pequeño planteamiento que demuestra que es un camino sugerente que puede seguir desarrollándose en un futuro para abrirse a nuevos proyectos en cuanto a la infiltración del agua pluvial.

## 10. REFERENCIAS

### 10.1. Libros

- Título: “El urbanismo ecológico: su aplicación en el diseño de un ecobarrio en Figueres”. Rueda, Salvador, 1954-, coaut. Barcelona: Agencia de Ecología Urbana de Barcelona; 2012.
- Título: “Un manual de hidrogeología de campo”. Autor: Brown, David. Empresa editorial de aguas subterráneas; Mar / Abr 2001. Agua subterránea, Vol.39 (2), p.164.

### 10.2. TFG Y TFM

- Trabajo Fin de Grado. Título: “Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. Una Alternativa de Futuro”. Autor: Antonio Jesús Fuentes Roldán. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla. Fecha: 2 de julio de 2015.
- Trabajo Fin de Grado. Título: “Los SUDS, regeneradores urbanos en entornos vulnerables”. Autora: Julia Otaño González. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Fecha: 2018.
- Trabajo Fin de Grado. Título: “S.U.D.S. Hacia una gestión integral del ciclo urbano del agua”. Autor: Antonio Miguel Rodríguez Arbelo. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Fecha: 2017.
- Trabajo Fin de Máster. Título: “Estudio para la construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en el Campus de Rabanales en Córdoba”. Autora: Lidia Pérez Sánchez. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Sevilla. Fecha: 2017

### 10.3. Normativa

#### Abastecimiento

##### Marco Europeo

Directiva 98/83/CE, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. Establece los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1998-82174>

Directiva 2008/105/CE relativa a las normas de calidad ambiental (NCA) en el ámbito de la política de aguas. Su objeto es establecer normas de calidad ambiental para las sustancias prioritarias y para otros contaminantes, con el objetivo de conseguir un buen estado químico de las aguas superficiales. Por ella, se modifica la Directiva 2000/60/CE: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2008-82606>

Directiva 2009/90/CE, por la que se establecen las especificaciones técnicas del análisis químico y del seguimiento del estado de las aguas. Complemento a la regulación establecida hasta la fecha en relación al seguimiento del estado químico de las aguas. Consulta sobre la revisión de la Directiva relativa al Agua potable (DAP) que ha sido lanzada recientemente por la CE. La organización Agua Pública Europea (APE) participa como grupo de expertos: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32009L0090>

### **Marco Estatal**

Real Decreto 60/2011, normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas. Relativa a las normas de calidad ambiental (NCA), también incorpora los requisitos técnicos sobre análisis químicos. Adaptación de las Directivas 2008/105/CE y 2009/90/CE: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-1139>

Real Decreto/140/2003, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Adaptación de la Directiva 98/83/CE: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-3596&p=20160730&tn=2>

Real Decreto 314/2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, modificado conforme a la Ley 8/2013, de Rehabilitación, Regeneración y Renovación Urbanas. Exigencia básica HS 4: Suministro de agua: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2006-5515>

### **Aguas residuales**

#### **Marco Europeo**

Directiva 2006/118/CE relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:32006L0118>

Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas. Define los sistemas de recogida, tratamiento y vertido de las aguas residuales urbanas. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1991-80646>

Directiva 2000/60/CE Marco del Agua (DMA) por la que se establece el marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2000-82524>

#### **Marco Estatal**

Real Decreto Ley 11/1995, por el que se aprueban las normas aplicables al tratamiento de aguas residuales urbanas: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1995-27963>

Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1996-7159>

Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-14276>

Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-21092>

Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-13042>

Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-13182>

## **Calidad del Agua**

### **Marco Estatal**

Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2015-9806>

Real Decreto 1514/2009, de 2 de octubre, por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2009-16772>

Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2008-20680>

Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-3596>

### **Agua Pluvial**

#### **Marco Europeo**

Directiva 2007/60/CE. Evacuación y gestión de los riesgos de inundación: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32007L0060>

Directrices sobre mejores prácticas para limitar y compensar la impermeabilización del suelo, Comisión Europea 2012: [https://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil\\_es.pdf](https://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil_es.pdf)

## **Marco Estatal**

Real Decreto 233/2013. Regula el Plan Estatal de fomento de alquiler de viviendas, la rehabilitación, y la regeneración y renovación urbanas. En su artículo 26, incluye subvenciones en reducción del uso de agua potable y riego, gestión sostenible de las escorrentías urbanas y cubiertas verdes. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-3780>

Real Decreto 1290/2012. Modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico y el Real Decreto 509/1996. Regula el tratamiento de aguas de tormentas e introduce la necesidad de laminación de las mismas para evitar desbordamientos de sistemas de saneamiento. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2012-11779>

## **Otras Normas relacionadas**

Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-21490>

Real Decreto-ley 17/2012, de 4 de mayo, de medidas urgentes en materia de medio ambiente: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2012-5989>

Ley 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente (incorpora las Directivas 2003/4/CE y 2003/35/CE): <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2006-13010>

Real Decreto 822/2008, de 16 de mayo, por el que se crea la Oficina del Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2008-10709>

Real Decreto 2618/1986, de 24 de diciembre, por el que se aprueban medidas referentes a acuíferos subterráneos al amparo del artículo 56 de la Ley de Aguas: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1986-33757>

Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2010-11184>

Se debe cumplir el marco legislativo a nivel europeo, estatal y aquellas directrices que marquen las Cuencas Hidrográficas e incluso las leyes de carácter autonómico.

#### 10.4. Artículos, Revistas, Blogs y Guías

-Título: “Agua y Desarrollo Sostenible”. Autores: Ramiro Aurín Lopera, Josefina Maestu, Olcay Ünver, John H. Matthews, Guillermo Mendoza, Mai-Lan Ha, Kyana R.L. Young, Joan B. Rose, Gareth George, Tomás A. Sancho Marco, Ángel Simón Grimaldos, Liana Ardiles, Adama Nombre y Emiliano Rodríguez Briceño. Edita: Oficina de Naciones Unidas de apoyo al Decenio “El agua, fuente de vida”. Fecha: 2005-2015.

-Título: Aqua-Riba “Guía para la incorporación de la gestión sostenible del agua en áreas urbanas: aplicación a la rehabilitación de barriadas en Andalucía”. Moraleja Ituarte, Alejandro deldirector Sevilla: Agencia Obra Pública, Consejería Fomento y Vivienda la Junta de Andalucía; 2015.

-Título: “Guía Básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Libres”. Autores: Sara Perales Momparier y Elena Calcerrada Romero. Edita: Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad, Ayuntamiento de Madrid y Dirección General de Gestión del Agua y Zonas verdes. Fecha: 2018.

-Título: “Innovación y Sostenibilidad en la Gestión del Drenaje Urbano: Primeras Experiencias de SuDS en la Ciudad de Barcelona”. Autores: M<sup>a</sup> Dolors Febles Domènech (Arquitecta), Sara Perales Momparler (Ingeniera de Caminos C. y P.) y Roberto Soto Fernández (Arquitecto).

-Título: “Aplicación de sistemas de drenaje urbano sostenible en el desarrollo urbanístico de Paterna (Valencia)”. Autor: Luis Altarejos García, CPS Ingenieros, Obra Civil y Medio Ambiente, S.L.

-Título: “Infraestructura verde urbana”. Autor: José Fariña. Fecha: 2012.

-Título: “Guías de Adaptación al Riesgo de Inundación: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible”. Edita: Ministerio para la Transición Ecológica. Fecha: 2019.

-Título: “Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes”. Edita: LITEAM. Artículo 422.2, (pág. 230)

-Título: Retos y futuro de los SuDS en España. Jornada RedSuDS 2017.

-Título: Ponencia “Experiencias y lecciones aprendidas en la Gestión de las Aguas Pluviales mediante SUDS en Sevilla”. Autor: Ángel Mena Miranda. División de Ingeniería de EMASESA. Fecha: 2019.

-Título: “El Uso Sostenible de las Aguas Subterráneas”. Autores: M.Ramón Llamas, Nuria Hernández-Mora y Luis Martínez Cortina. Fundación Marcelino Botín.

-Título: “GIAE, La Gestión Integral del Agua de Lluvia en Entornos Edificados”. Autor: Empresa de Transformación Agraria, S.A. Edita: Empresa de Transformación Agraria, S.A. Grupo TRAGSA.

### 10.5. Referencias WEB

-(1)¿Qué son los SUDS? En este video <https://www.youtube.com/watch?v=LMq6FYiF1mo>, SUSDRRAIN explica pormenorizadamente la filosofía de los SUDS.

-(2)Ciudades Esponja. Video explicativo: <https://www.youtube.com/watch?v=iv7zNwHAbmU>

-Roberto Soto, Arquitecto de Barcelona Gestió Urbanística, S.A.(BAGURSA): <https://www.iagua.es/blogs/roberto-soto/experiencias-sistemas-urbanos-drenaje-sostenible-barcelona>. Experiencias de sistemas urbanos de drenaje sostenible en Barcelona.

-Resumen de la Ley de Agua Limpia de 1972. Estados Unidos. “Clean Water Act”: <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-water-act>

-Sistema Nacional de Eliminación de descargas de Contaminantes (NPDES). Estados Unidos. “National Pollution Discharge Elimination System”: <https://www.epa.gov/npdes>

-Infraestructura Verde, Nueva York. “NYC Green Infrastructure Plan”: <https://www1.nyc.gov/site/dep/water/green-infrastructure.page>

-Grupo CONAMA, “Agua y ciudad: Sistemas urbanos de drenaje sostenibles”. Grupo de trabajo ST-10. 2018. <http://www.conama2018.org/web/generico.php?idpaginas=&lang=es&menu=370&id=13&op=view>

-“Ley de Darcy, Conductividad Hidráulica”. Javier Sánchez San Román. Dpto de Geología. Universidad de Salamanca [http://hidrologia.usal.es/temas/Ley\\_Darcy.pdf](http://hidrologia.usal.es/temas/Ley_Darcy.pdf)

-“Tanques de tormentas”. Alberto Ayesa. Ingeniero Industrial. Gerente Hidrostank, S.L. <http://www.hidrostank.com/downloads/016.1-Tanques-de-tormenta.pdf>

-Tanques de tormentas. Ferrovial, sala de prensa. 2014. <https://newsroom.ferrovial.com/es/noticias/inauguracion-tanque-tormentas-etxebarri-vizcaya-2/>

-Pablo Gallardo Muñoz (Arquitecto, Docente y Pintor): <http://acuarelapg.blogspot.com/>

## 11. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cloaca Máxima, Fuente: obrasdeinfraestructuraromanasticum.....	3
Figura 2: Grabado de Giovanni Piranesi, Fuente: Aquae Fundación.....	3
Figura 3: Cantidad de escorrentía según el tiempo, Fuente: Guía de adaptación al riesgo de inundación: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.....	3
Figura 4: El ciclo del agua, Fuente: geologicalmanblog .....	4
Figura 5: Precipitaciones (mm), Fuente: GIAE, “La Gestión Integral del Agua de Lluvia en Entornos Edificados”.....	5
Figura 6: Mapa de precipitaciones por zonas, Fuente: GIAE, “La Gestión Integral del Agua de Lluvia en Entornos Edificados”.....	5
Figura 7: Esquema del funcionamiento de la cadena de gestión del agua, Fuente: Guía de adaptación al riesgo de inundación: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible .....	5
Figura 8: SUDS en Madrid, Santander y Barcelona, Fuente: RUMBO 20.30. CONAMA 2018. Agua y Ciudad. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.....	6
Figura 9: Termografía urbana. Análisis de temperatura de diferentes acabados superficiales, Fuente:Guía de adaptación al riesgo de inundación:Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible .....	6
Figura 10: Relación entre escorrentía e infiltración en función del grado de urbanización, Fuente: Guía de adaptación al riesgo de inundación: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible .....	7
Figura 11: Cantidad de escorrentía e infiltración en función del tiempo y de la cantidad de precipitación, Fuente: Guía de adaptación al riesgo de inundación: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.....	7
Figura 12: Sistema conjunto de pavimento y cuneta para unificar toda la lluvia en un mismo punto, Fuente: Pennsylvania Stormwater BMP Manual, 2006.....	8
Figura 13: Trastorno del Ciclo del agua debido a la urbanización actual, Fuente: GIAE, “La Gestión Integral del Agua de Lluvia en Entornos Edificados” .....	8
Figura 14: Aspecto que presentan algunas calles del casco viejo de Tudela (Navarra) en la inundación de 2018, Fuente: El País .....	9
Figura 15: Planeta Tierra, Fuente: blogs.iadb.org .....	10
Figura 16: Vitoria-Gasteiz. Eje piloto de intervención, sección, Fuente: elblogdefarina.blogspot.com .....	12
Figura 17: Ciudad esponja, Fuente: unikpavermachine.com.....	13

Figura 18: Franja de pavimento drenante e imbornal, Fuente: SUDS a Barcelona (Roberto Soto Fernández) .....	14
Figura 19: Aspecto de un depósito de captación previo tras la colocación del pavimento drenante, Fuente: sudsostenible.com .....	15
Figura 20: Situación del pavimento, Fuente: sudsostenible.com .....	15
Figura 21: Consecuencias de las lluvias en el Parque Apeadero, Fuente: sudsostenible.com .....	16
Figura 22: Sección tipo de proyecto del Parque Apeadero, Fuente: sudsostenible.com .....	16
Figura 23: Situación actual del pavimento drenante, Fuente: Ponencia, Ángel Mena Miranda. EMASESA .....	17
Figura 24: Detalle de borretención, Fuente: Proyecto Avda. del Greco EMASESA .....	17
Figura 25: Esquema de instalación de saneamiento, Fuente: Dibujo de Pablo Gallardo Muñoz .....	21
Figura 26: Esquema de las uniones de pozos al colector principal, Fuente: Dibujo de Pablo Gallardo Muñoz .....	22
Figura 27: Imbornal tipo rejilla de PVC, Fuente: Instrucciones Técnicas para Redes de Saneamiento de EMASESA.....	23
Figura 28: Imbornal mixto rejilla-buzón/Tipo I – PVC, Fuente: Instrucciones Técnicas para Redes de Saneamiento de EMASESA.....	23
Figura 29: Imbornal mixto rejilla-buzón/Tipo II – PVC, Fuente: Instrucciones Técnicas para Redes de Saneamiento de EMASESA.....	24
Figura 30: Buzón tragadero Tipo Valencia, Fuente: GLS Prefabricados.....	24
Figura 31: Tragadero, Fuente: CEMAT Grupo industrial .....	24
Figura 32: Instalación de tragadero, Fuente: editorial.cda.ulpgc.es.....	24
Figura 33: Colocación de imbornales, Fuente: Pablo Gallardo Muñoz .....	25
Figura 34: Ubicación en serie y en paralelo, Fuente: hidrostank.com .....	26
Figura 35: Tanque de tormentas de la Alameda de Hércules. Sevilla, Fuente: Emasesa.....	27
Figura 36: Tanque de tormentas antes del llenado, Fuente: hidrostank.com.....	28
Figura 37: Tanque de tormentas de Etxebarri, Fuente: aguasresiduales.info.....	29
Figura 38: Tanque de tormentas de Etxebarri, Fuente: El Correo .....	30
Figura 39: Zanja longitudinal, Fuente: construblog.....	33
Figura 40: Sección zanja, Fuente: construblog .....	33
Figura 41: Cuneta verde, Fuente: AQUA-RIBA .....	33

Figura 42: Sección de cuneta, Fuente: AQUA-RIBA .....	33
Figura 43: Detalle de cuneta verde, Fuente: Normas para Redes de Saneamiento Canal de Isabel II .....	34
Figura 44: Superficie permeable mediante módulos, Fuente: tecnopavimentos.blogspot.com .....	35
Figura 45: Hormigón permeable, Fuente: 360enconcreto.com .....	35
Figura 46: Badén para ralentizar el fluido antes del pozo drenante, Fuente: AQUA-RIBA ....	36
Figura 47: Estanque de infiltración, Fuente: Sudsostenible.com .....	37
Figura 48: Parque inundable, Fuente: elplural.com (Parque inundable La Marjal, en Playa de San Juan, Alicante).....	37
Figura 49: Nuevo parque inundable en Copenhagen, Fuente: tfg2016marisaaguayo.wordpress .....	38
Figura 50: Deposito enterrado bajo aparcamiento conjunto a pavimento permeable, Fuente: drenajesostenible.com .....	38
Figura 51: Depósitos de retención exterior, Fuente: houzz.es.....	39
Figura 52: Pozo de infiltración, Fuente: Detalles Constructivos, Antonio Baglieri .....	40
Figura 53: Área de retención de agua pluvial, Fuente: CONSTRUBLOG.....	40
Figura 54: Sección de área, Fuente: CONSTRUBLOG.....	40
Figura 55: Cubierta ajardinada, Fuente: construible.com .....	41
Figura 56: Cubierta ajardinada para huerto urbano, Fuente: projar.es .....	41
Figura 57: Estimación del coeficiente de Hazen, Fuente: Dibujado a partir de valores numéricos de Weight (2008) Sánchez San Román, F. Javier.....	48
Figura 58: Curvas de Breddin para estimación de la permeabilidad de materiales granulares no consolidados superponiendo la curva granulométrica, Fuente: Sánchez San Román, F. Javier.....	49
Figura 59: Variación de la porosidad con la granulometría en materiales detríticos no consolidados, Fuente: Sánchez San Román F. Javier. ....	50
Figura 60: Valores estimados de la porosidad (%) según SANDERS (1998), Fuente: A manual of field hydrogeology.....	50
Figura 61, Fuente: Sánchez San Román F. Javier. ....	51
Figura 62: Tubo drenante de Ø200mm, Fuente: adecuada.....	52
Figura 63: Especificaciones de tubería drenante, Fuente: adecuada.....	52
Figura 64: Volumetría Modelo 1 “Zanja Central”, Fuente: Elaboración propia .....	53
Figura 65: Sección frontal de la zanja central, Fuente: Elaboración propia .....	54

Figura 66: Sección longitudinal de la zanja mostrando cortes estratigráficos, Fuente: Elaboración propia.....	54
Figura 67: Sección frontal de la zanja principal, Fuente: Elaboración propia.....	55
Figura 68: Posible situación por exceso de lluvia, Fuente: Elaboración propia.....	56
Figura 69: Secciones de imbornal, Fuente: Elaboración propia.....	56
Figura 70: Imbornal, Fuente: Elaboración propia.....	57
Figura 71: Recorrido del fluido, Fuente: Elaboración propia.....	58
Figura 72: Planta de la zona a calcular, Fuente: Elaboración propia.....	59
Figura 73: Zanja principal. Zona superior, Fuente: Elaboración propia.....	60
Figura 74: Zanja principal. Zona inferior, Fuente: Elaboración propia.....	61
Figura 75: Zanja secundaria, Fuente: Elaboración propia.....	62
Figura 76: Planta de la zona a calcular. Secciones, Fuente: Elaboración propia.....	63
Figura 77: Sección del Modelo, Fuente: Elaboración propia.....	63
Figura 78: Volumetría Modelo 2 "Zanja longitudinal más pozo drenante", Fuente: Elaboración propia.....	66
Figura 79: Sección frontal de las zanjas longitudinales, Fuente: Elaboración propia.....	67
Figura 80: Sección frontal de los pozos drenantes, Fuente: Elaboración propia.....	67
Figura 81: Sección longitudinal de la zanja, imbornal y pozo drenante, Fuente: Elaboración propia.....	68
Figura 82: Sección perpendicular de la zanja de unión, Fuente: Elaboración propia.....	69
Figura 83: Sección longitudinal de imbornal con uniones de tubos drenantes, Fuente: Elaboración propia.....	70
Figura 84: Sección perpendicular de imbornal, Fuente: Elaboración propia.....	70
Figura 85: Planta de la situación de la zanja entre imbornales, Fuente: Elaboración propia.....	71
Figura 86: Sección longitudinal de pozo drenante, Fuente: Elaboración propia.....	72
Figura 87: Sección transversal de pozo drenante, Fuente: Elaboración propia.....	72
Figura 88: Situación de la lluvia acumulada con elementos antirretornos, Fuente: Elaboración propia.....	73
Figura 89: Situación de finalización del modelo, Fuente: Elaboración propia.....	74
Figura 90: Sección de finalización del modelo, Fuente: Elaboración propia.....	74
Figura 91: Secciones de la acumulación de lluvia con intensidad menor, Fuente: Elaboración propia.....	75
Figura 92: Secciones de la acumulación de lluvia con intensidad mayor, Fuente: Elaboración propia.....	75

Figura 93: Planta de la red actual de saneamiento, Fuente: Elaboración propia .....	76
Figura 94: Planta de la red modificada con pozos y tubos drenantes, Fuente: Elaboración propia.....	76
Figura 95: Planta de la situación del pavimento de la calzada con la nueva implantación, Fuente: Elaboración propia .....	77
Figura 96: Planta de la zona a ejecutar, Fuente: Elaboración propia .....	78
Figura 97: Zanja de unión entre imbornales, Fuente: Elaboración propia.....	79
Figura 98: Pozo drenante, Fuente: Elaboración propia .....	80
Figura 99: Imbornal longitudinal, Fuente: Elaboración propia.....	83
Figura 100: Secciones de "Imbornal longitudinal", Fuente: Elaboración propia .....	84
Figura 101: Rejilla transversal, Fuente: Elaboración propia .....	85
Figura 102: Secciones "rejilla transversal", Fuente: Elaboración propia .....	86
Figura 103: Alcorque, Fuente: Elaboración propia .....	87

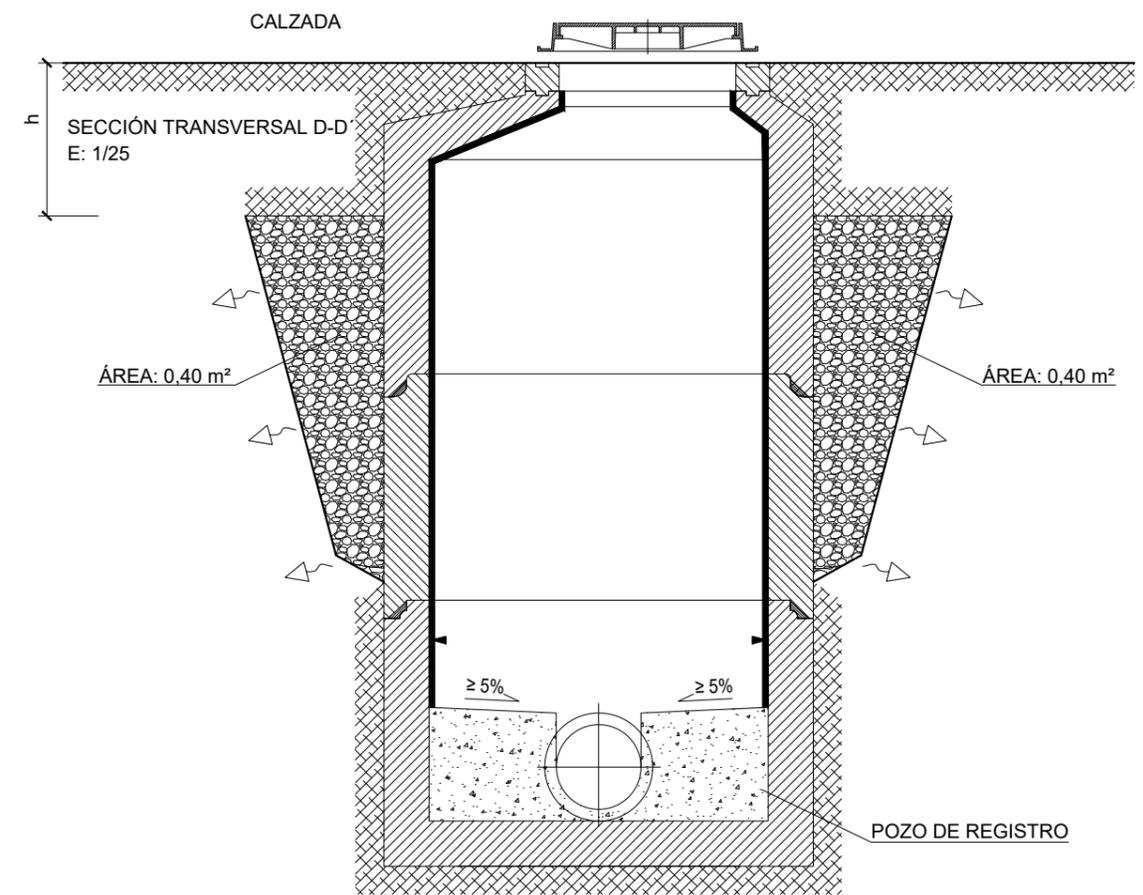
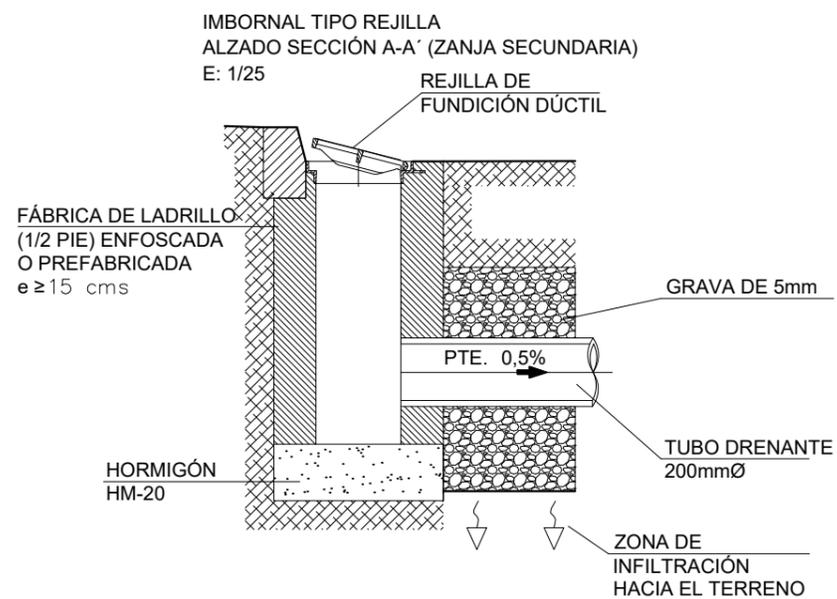
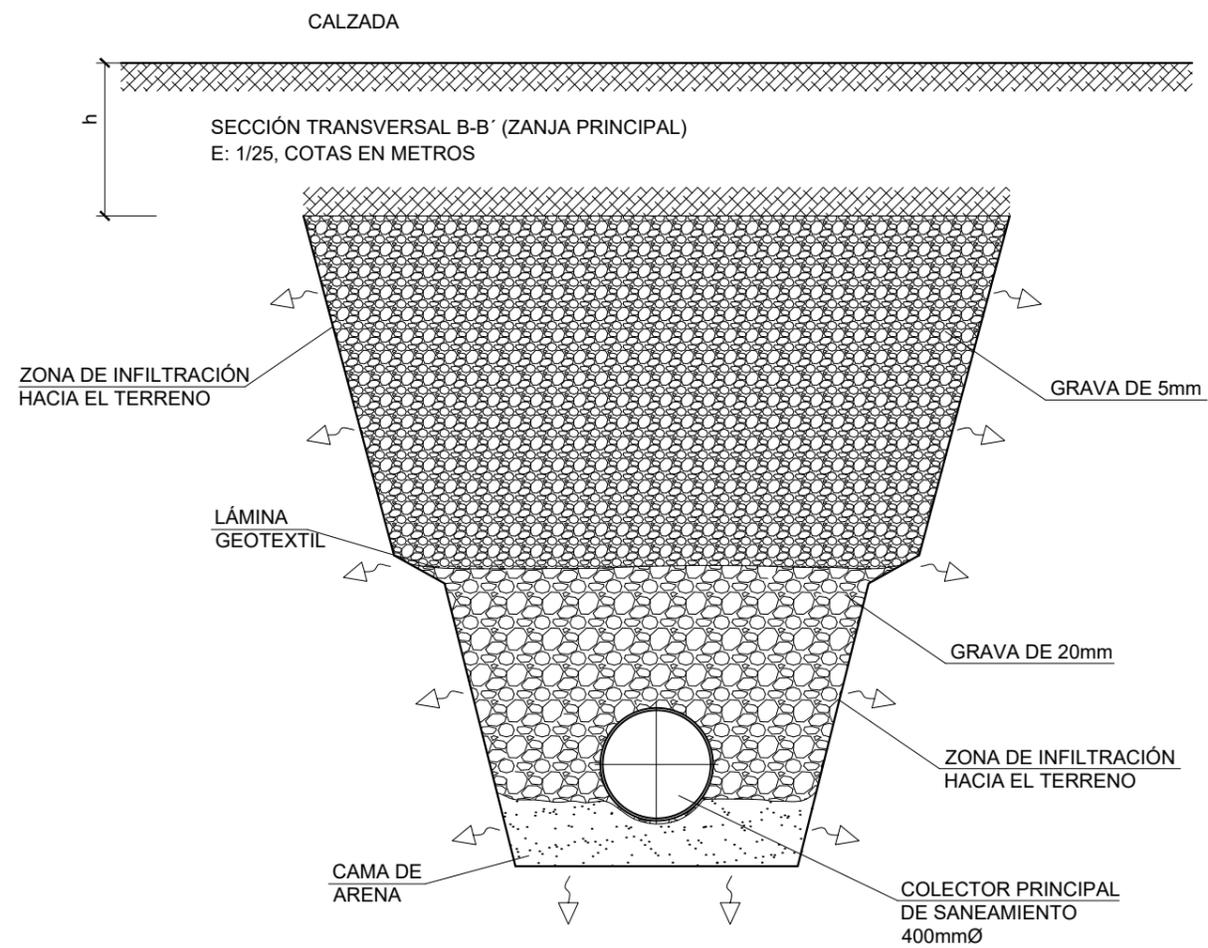
## 12. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de SUDS, Fuente: Elaboración propia.....	32
Tabla 2: Permeabilidad intrínseca de algunos tipos de suelos, Fuente: Dr. Juan Manuel Macías Bernal .....	46
Tabla 3: Recomendación de permeabilidad, Fuente: Soil Conservation Service .....	47
Tabla 4: Comparación estimación económica 1, Fuente: Elaboración propia.....	65
Tabla 5: Comparación estimación económica 2, Fuente: Elaboración propia.....	82

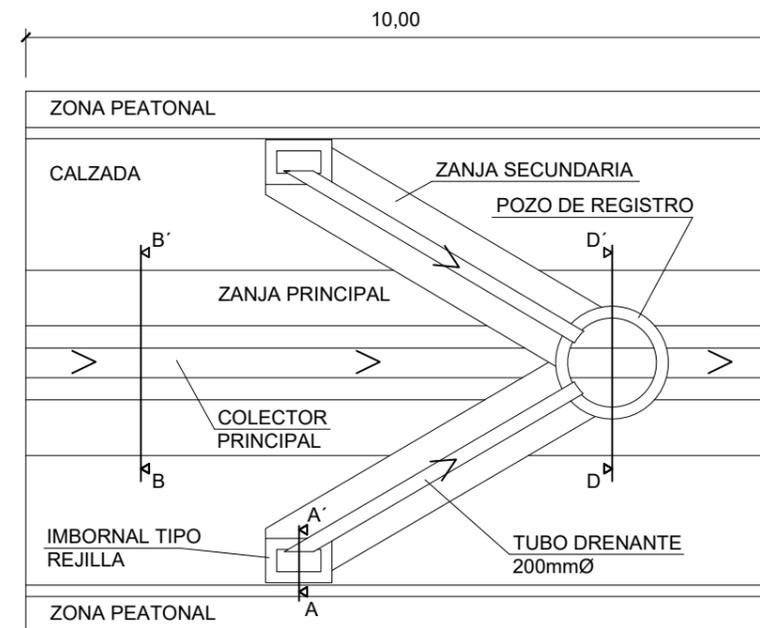
## 13. ANEXOS

### 13.1. Planos

- Plano 1.1. Secciones. Modelo 1 “Zanja Central”
- Plano 1.2. Acotados. Modelo 1 “Zanja Central”
- Plano 2.1. Secciones. Modelo 2 “Zanja longitudinal más pozo drenante”
- Plano 2.2. Acotados. Modelo 2 “Zanja longitudinal más pozo drenante”



PLANTA DE LA ZONA A EJECUTAR SIN ESCALA

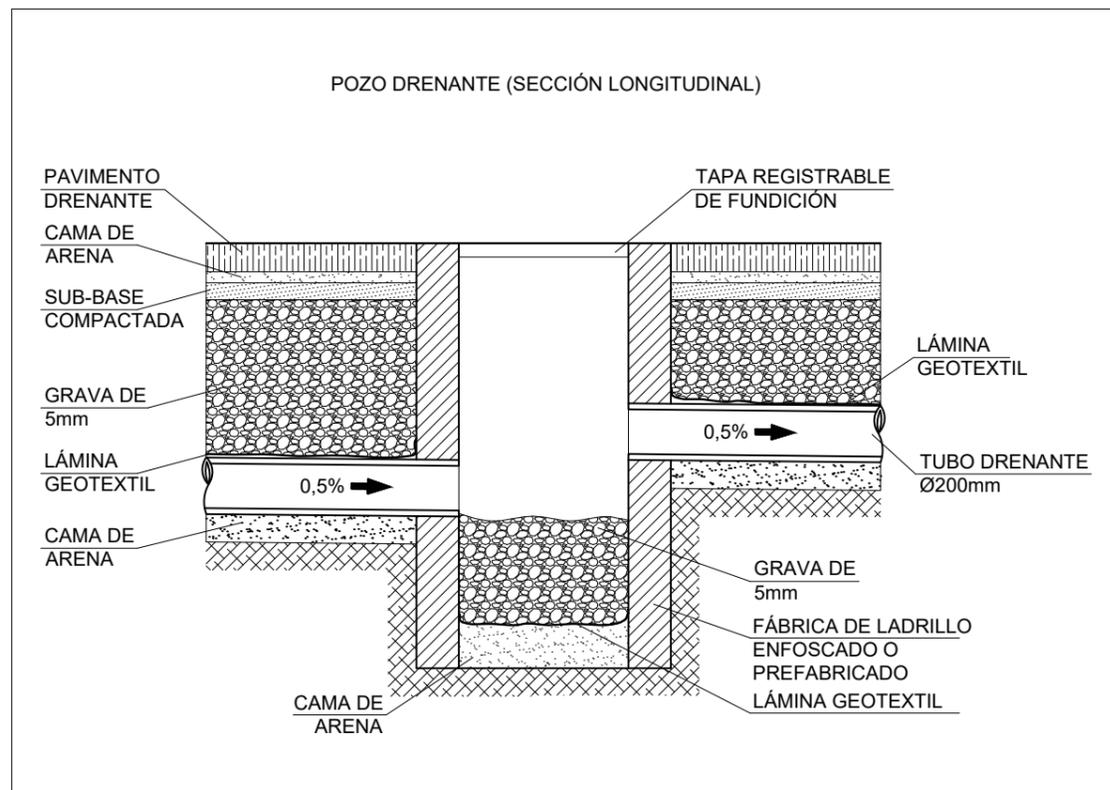


- PARA NUESTRO MODELO, SABEMOS LA CANTIDAD DE AGUA QUE ALBERGA LAS ZANJAS YA CALCULADAS CON UNA SATURACIÓN AL 100% DE ELLAS. AL TENER 2 TIPOS DE GRANULOMETRÍA Y, POR LO TANTO, DOS TIPOS DE POROSIDAD EFICAZ, UTILIZAREMOS LA POROSIDAD MÁXIMA Y MÍNIMA DE LA TABLA DE SANDERS:
  - ZANJA PRINCIPAL (ZONA SUPERIOR) + ZANJAS SECUNDARIAS =  $28,63 \text{ m}^3 \cdot 13\% = 3,72 \text{ m}^3 = 3720 \text{ litros}$
  - ZANJA PRINCIPAL (ZONA INFERIOR) =  $9,63 \text{ m}^3 \cdot 26\% = 2,50 \text{ m}^3 = 2500 \text{ litros}$
- PARA HALLAR EL CAUDAL DE LA SECCIÓN COMPLETA, CONSIDERAMOS QUE EL FLUIDO CIRCULA CON UNA VELOCIDAD DE 0,5 m/s Y APLICÁNDOLE UN COEFICIENTE  $K=0,5$  PARA MINORARLO, OBTENDRÍAMOS UN CAUDAL Q:
 
$$\text{SUPERFICIE} \cdot \text{VELOCIDAD} = Q$$

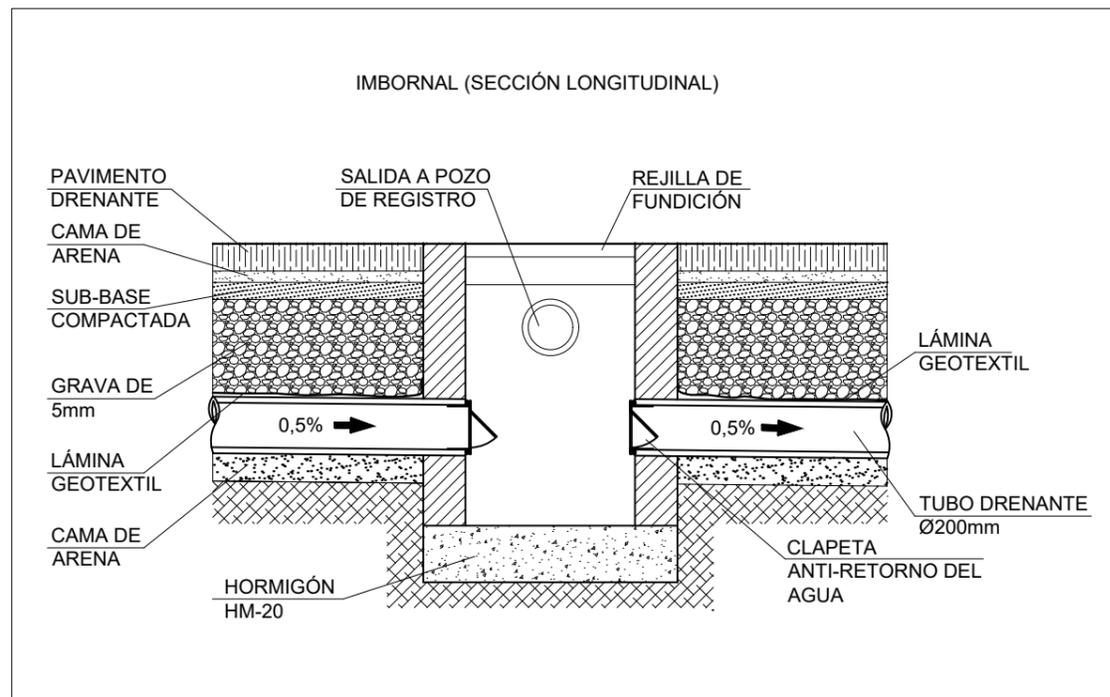
$$0,69 \text{ m}^2 \cdot 0,5 \text{ m/s} = 0,345 \text{ m}^3/\text{s}$$
 APLICÁNDOLE EL COEFICIENTE K:
 
$$0,345 \cdot 0,5 = 0,17 \text{ m}^3/\text{s} = 170 \text{ l/s}$$
 CIRCULAN POR LA SECCIÓN EQUIVALENTE

<b>MODELO 1 "ZANJA CENTRAL"</b>			
ESCALA:	PLANO:	AUTOR:	FECHA:
<b>1:25</b>	<b>SECCIONES</b>	JOSÉ CARLOS BAENA AMAYA	1/6/2020
			Nº PLANO: <b>1.1</b>



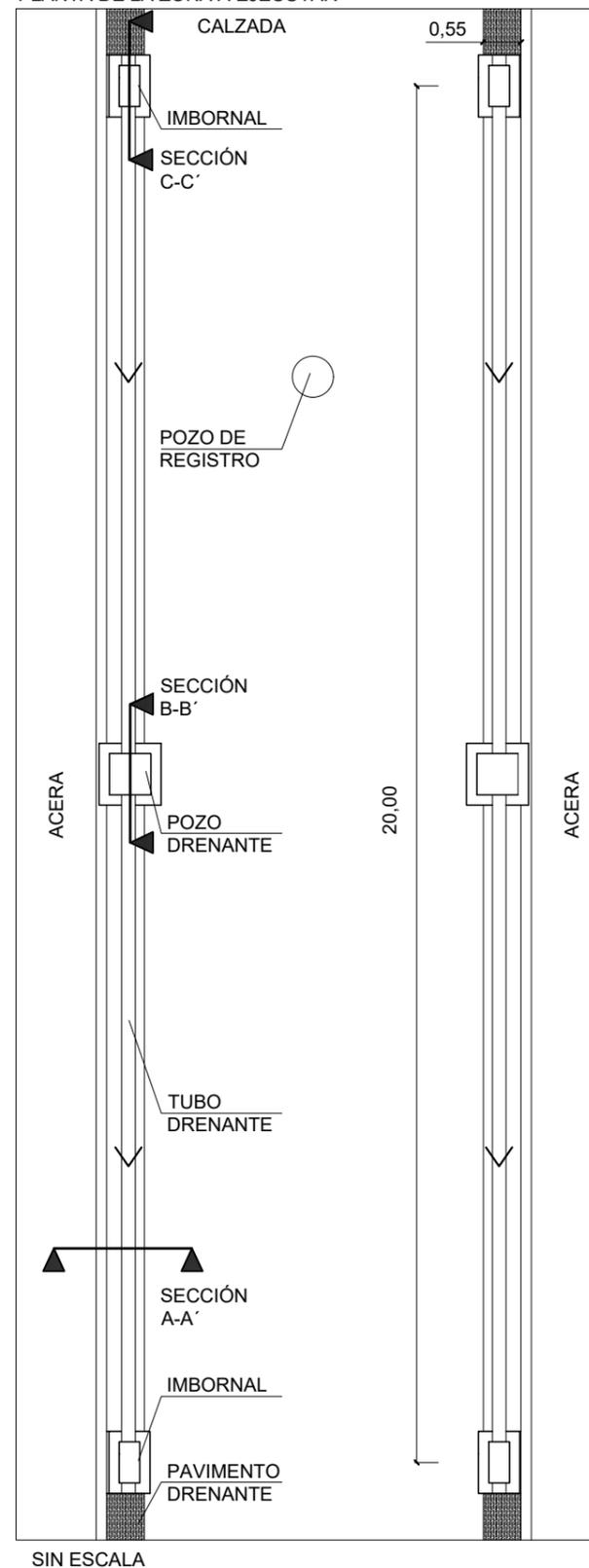


SECCIÓN B-B'

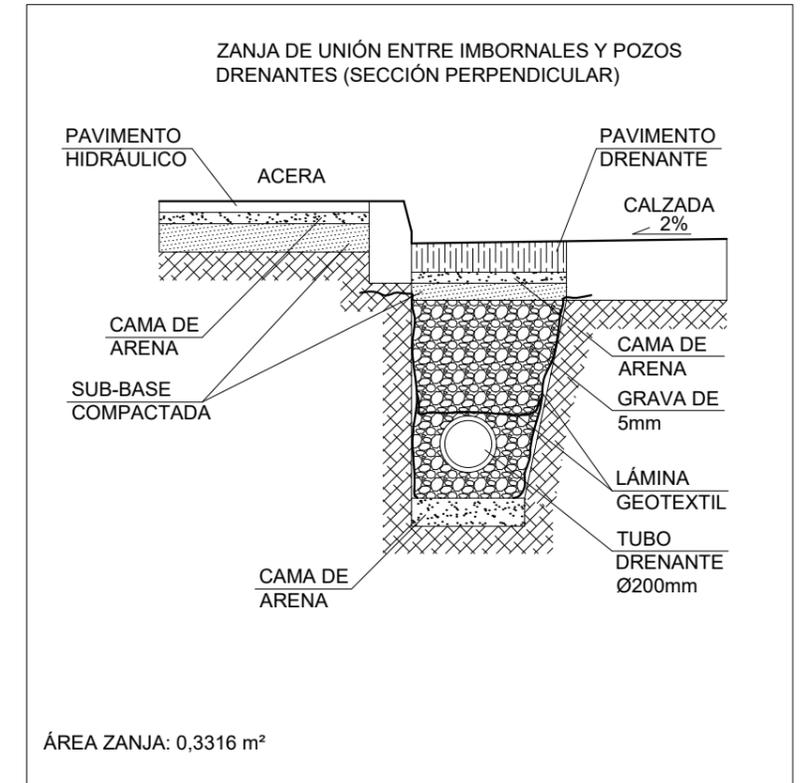


SECCIÓN C-C'

PLANTA DE LA ZONA A EJECUTAR



SIN ESCALA



SECCIÓN A-A'

ÁREA ZANJA: 0,3316 m²

- PARA NUESTRO MODELO, SABEMOS LA CANTIDAD DE AGUA QUE ALBERGA LAS ZANJAS MÁS LOS POZOS YA CALCULADOS CON UNA SATURACIÓN AL 100% DE ELLAS. AL TENER 1 TIPO DE GRANULOMETRÍA Y, POR LO TANTO, UN TIPO DE POROSIDAD EFICAZ, UTILIZAREMOS LA POROSIDAD MÍNIMA DE LA TABLA DE SANDERS:  
- ZANJAS MÁS POZOS DRENANTES =  $11,21 \text{ m}^3 \cdot 13\% = 1,45 \text{ m}^3 = 1450 \text{ litros}$
- PARA HALLAR EL CAUDAL DE LA SECCIÓN COMPLETA, CONSIDERAMOS QUE EL FLUIDO CIRCULA CON UNA VELOCIDAD DE 0,5 m/s SOLO POR LAS 2 ZANJAS, Y APLICÁNDOLE UN COEFICIENTE  $K=0,5$  PARA MINORARLO, OBTENDRÍAMOS UN CAUDAL Q:  $\text{SUPERFICIE} \cdot \text{VELOCIDAD} = Q$   
 $0,043 \text{ m}^2 \cdot 0,5 \text{ m/s} = 0,022 \text{ m}^3/\text{s}$   
APLICÁNDOLE EL COEFICIENTE K:  
 $0,022 \cdot 0,5 = 0,010 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 2 \text{ ZANJAS} = 20 \text{ l/s}$  CIRCULAN POR LA SECCIÓN EQUIVALENTE

## MODELO 2 "ZANJA LONGITUDINAL MÁS POZO DRENANTE"

ESCALA:

1:25

PLANO:

SECCIONES

AUTOR:

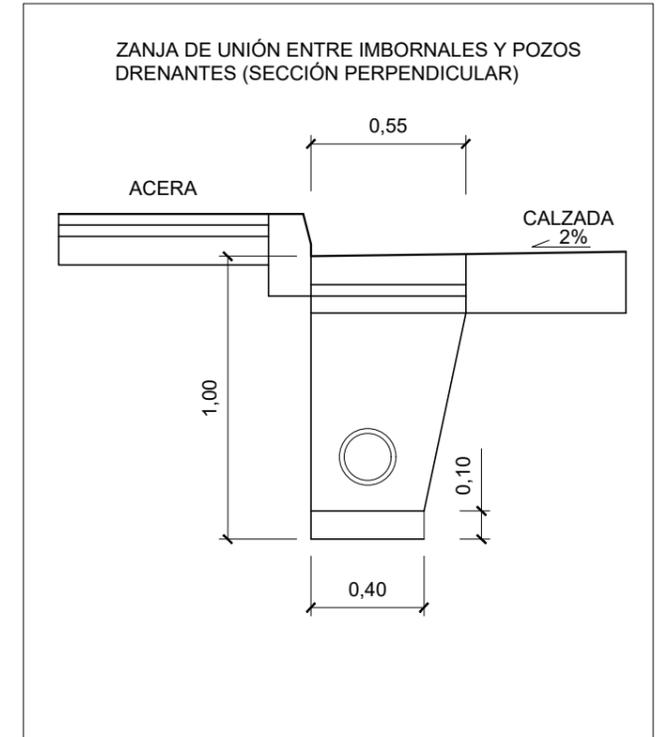
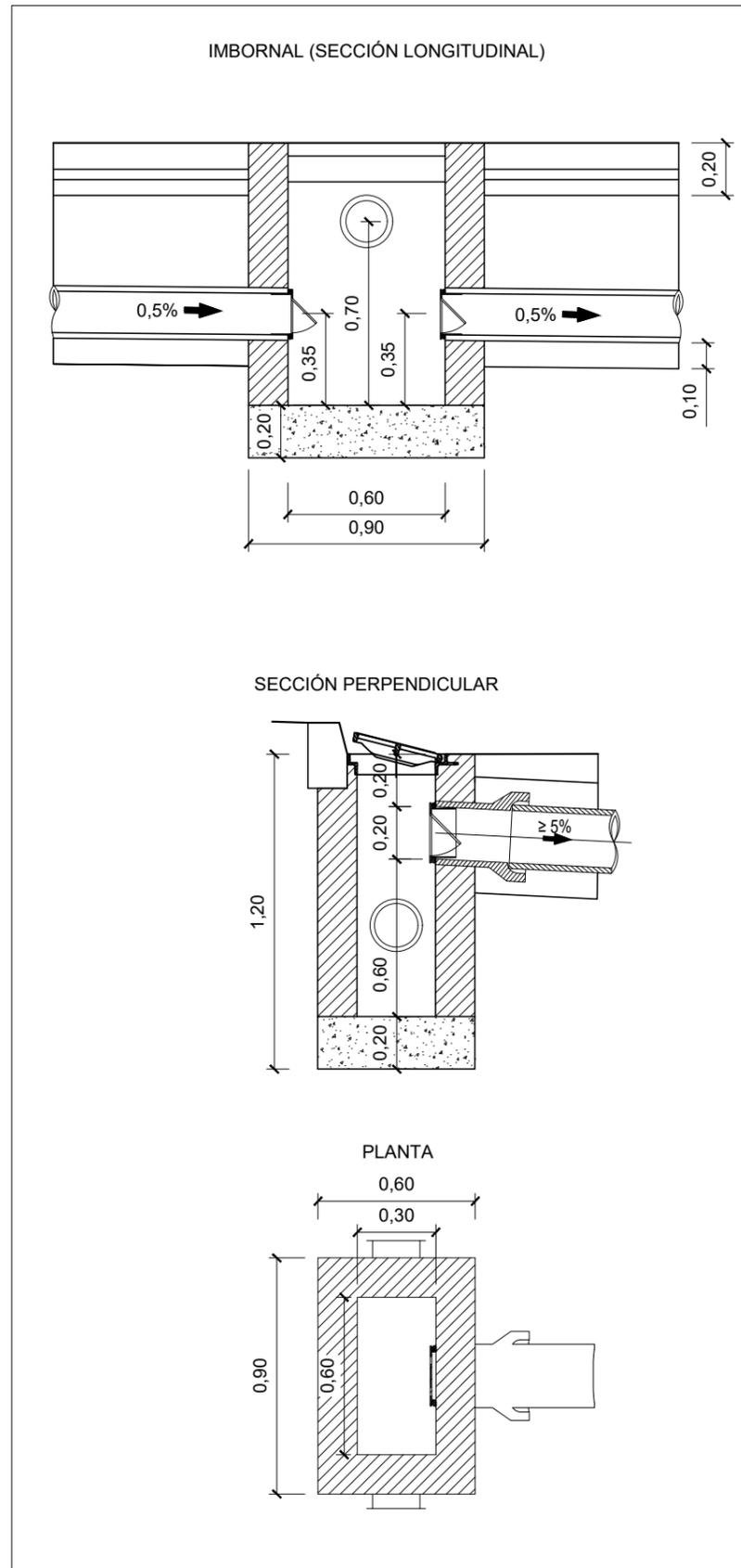
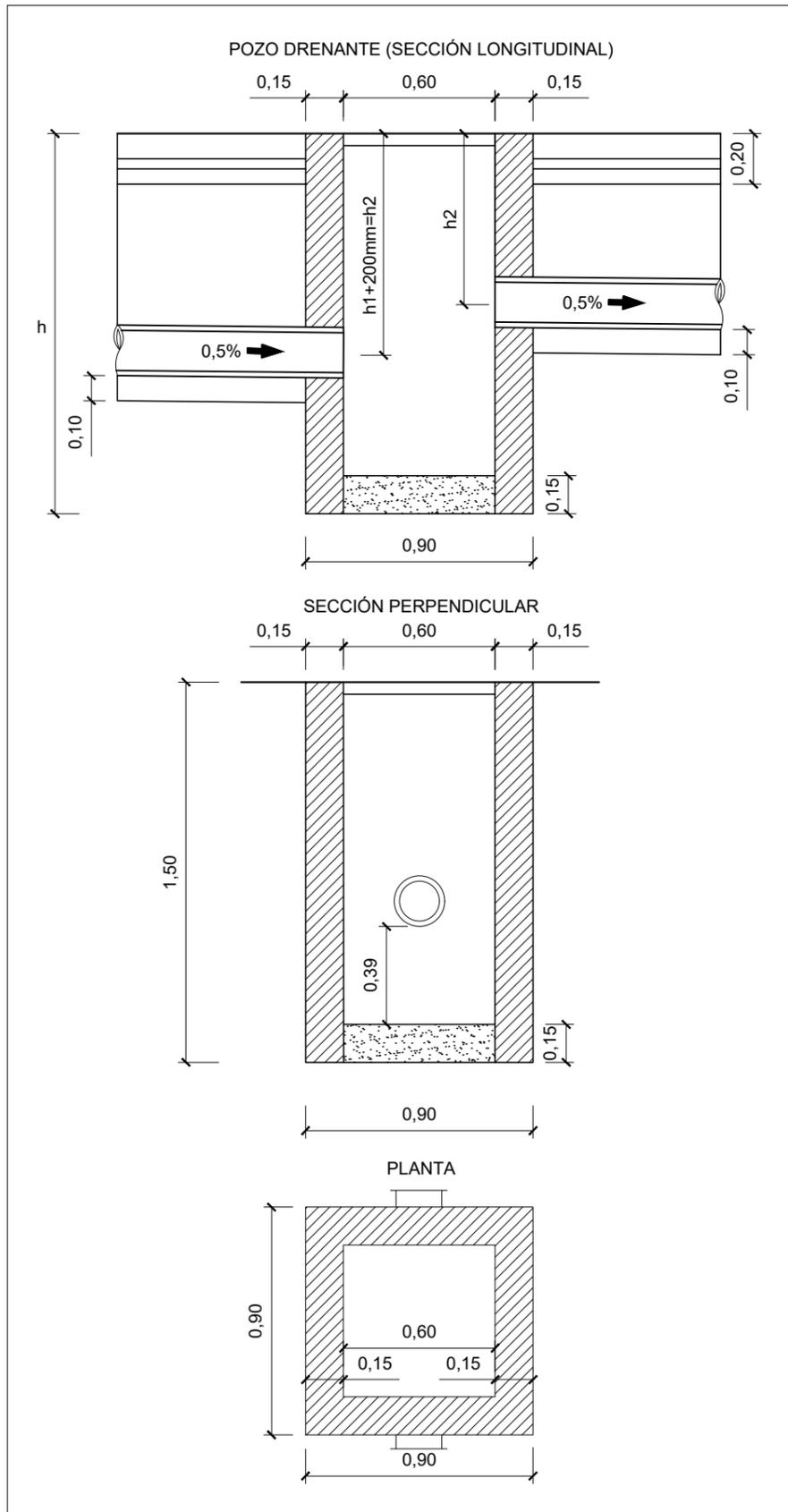
JOSÉ CARLOS BAENA AMAYA

FECHA:

1/6/2020

Nº PLANO:

2.1



**MODELO 2 "ZANJA LONGITUDINAL MÁS POZO DRENANTE"**

ESCALA:

**1:25**

PLANO:

**ACOTADOS**

AUTOR:

JOSÉ CARLOS BAENA AMAYA

FECHA:  
1/6/2020

Nº PLANO:  
**2.2**