

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grado en Ciencias Ambientales



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA
SUPERIOR DE GANDIA

**“ESTUDIO DE LA RED DE
ALCANTARILLADO Y SU INFLUENCIA
EN EL RIESGO DE INUNDACIÓN,
SAGUNTO”**

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor/a:
Muñoz Bueno, Cristina

Tutor/a:
Marti Gavila, Jesus

GANDIA, 2021

RESUMEN

El municipio de Sagunto no cuenta con ningún archivo actualizado que muestre el sistema de alcantarillado completo. Esto dificulta el mantenimiento de la red y la reparación de esta. Por ello Aigües de Sagunt ha sacado a concurso una oferta de trabajo para elaborar esta información. La empresa elegida ha sido la empresa para la que trabajo, Sertopograf, y con ella se llevará a cabo este estudio.

En este proyecto se realizará una toma de coordenadas en superficie de pozos e imbornales, tanto aguas residuales como pluviales, posteriormente se abrirán los pozos para saber las conexiones, las alturas de cada una de ellas y el material de los tubos que las conforman.

Estos datos se integrarán en QGIS con toda la información de una zona concreta del municipio en capas formato shapefile, en las que se podrán observar conexiones y pendientes. Estos archivos nos servirán para realizar una simulación del funcionamiento de la red y ver posibles contrapendientes o contaminación de las redes.

En último lugar se relacionará el sistema de alcantarillado con el riesgo de inundación y se aportarán posibles soluciones.

ABSTRACT

Sagunto's town council has no up to date archive showing the sewer system in all its complex entirety. This fact makes the conservation of the whole network as well as any possible needed repairing work a rather intractable activity. For that reason, Aigües de Sagunt has thrown competitive tendering proceedings in order to hire a firm which obtains such information for them. The winning company was the one I am currently working for, Sertopograf, which will be in charge of the study.

A coordinate frame on ground level will be developed containing manholes and scuppers of sewage as much as of rainfall waters. Subsequently, all manholes will be open up so as to verify connections, their depths and the type of materials lines have been made of.

All data will be integrated in QGIS containing all information concerning a determined area within the municipality, while building up layers in shapeline format, of which connections and slopes will be open to observation. These files will be used to carry out a simulation on the workings of the network to go on verifying possible pollution or counter slope cases.

Finally, the sewage system will be related to flooding hazard situations and possible solutions will be proposed.

PALABRAS CLAVE

Alcantarillado, Red de saneamiento, Pluviales, Residuales, Pendiente

KEYWORDS

Sewage system, Drainage, Rainfall, Slope, Residual.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	1
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	4
1.1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.2. OBJETIVOS.....	6
2. ESTUDIO DEL MEDIO	7
2.1. DELIMITACIÓN ZONA DE ESTUDIO.....	8
2.2. MEDIO FÍSICO.....	9
2.2.1. GEOLOGIA Y EDAFOLOGÍA.....	9
2.2.2. FAUNA Y FLORA.....	10
2.2.3. CLIMA.....	12
2.2.4. HIDROLOGÍA Y RIESGO DE INUNDACIÓN.....	14
2.3. ZONIFICACIÓN.....	15
2.4. MARCO LEGISLATIVO.....	16
NORMATIVA EUROPEA.....	16
NORMATIVA ESTATAL (ESPAÑOLA).....	17
NORMATIVA COMUNIDAD AUTÓNOMA (COMUNIDAD VALENCIANA).....	17
NORMATIVA MUNICIPAL (SAGUNTO).....	17
2.5. AIGÜES DE SAGUNT.....	18
3. MATERIALES Y MÉTODO	20
3.1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	20
3.2. MATERIALES Y HERRAMIENTAS.....	22
3.3. FASES.....	27
3.3.1. FASE I “PLANIFICACIÓN”.....	27
3.3.2. FASE II “TOMA DE DATOS EN SUPERFICIE”.....	28
3.3.3. FASE III “TOMA DE DATOS EN PROFUNDIDAD”.....	29
3.3.4. FASE IV “EXPORTACIÓN DE DATOS A SIG”.....	32
3.3.5. FASE V “ANÁLISIS DE DATOS”.....	35
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES	36
5. CONCLUSIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Situación del municipio de Sagunto y las localidades limítrofes	7
Figura 2. Zona de estudio del proyecto en el municipio de Sagunt sobre ortofoto representada en QGIS	9
Figura 3. Recorte de plano de Sagunto de la zona de estudio (IGME, 1972).....	10
Figura 4. División de los dos hábitats dentro de la zona definida de estudio en el municipio de Sagunto	11
Figura 5. Datos del estudio climatológico de Sagunto de la tormenta Gloria - Cantidades de lluvia registradas por horas en SAGUNT los días 20 y 21/01/20 (en l/m ²).....	13
Figura 6. Planeamiento Urbanístico de la zona de estudio en el municipio de Sagunto (Zonificación)	16
Figura 7. Esquema del Ciclo Integral del Agua	19
Figura 8. pates de polipropileno	21
Figura 9. Esquema de partes relevantes de un sistema de pozos realizado en AutoCAD ..	22
Figura 10. Captura archivo AutoCAD de la zona de estudio. Fuente: Aigües de Sagunt	23
Figura 11. Foto del distanciómetro marca Wisent	25
Figura 12. GPS HIPER SR de la marca TOPCON.....	25
Figura 13. Croquis de medida de cota de fondo de un pozo con la mira con AutoCAD	27
Figura 14. Tapa de alcantarillado con numeración 10948 posterior a la toma de datos de superficie en Puerto de Sagunto	29
Figura 15. Ejemplo de página principal del programa del número 10945 en Port de Sagunt	30
Figura 16. Ejemplo de la segunda página del programa del número 10945 en Port de Sagunt	31
Figura 17. Ejemplo de la tercera página del programa del número 10945 en Puerto de Sagunto	32
Figura 18. Captura de pantalla de la programación de tres reglas para analizar la pendiente	36
Figura 19. Colector de hormigón de línea de residuales, pozo 7177	37
Figura 20. Colector de PVC corrugado naranja en línea de residuales, pozo 7518	38
Figura 21. Colector de PEAD azul en línea de residuales, pozo 7431.....	38
Figura 22. Foto profundidad pozo 7116 de residuales	39
Figura 23. Croquis sección pozo 7308 de residuales.....	39
Figura 24. Situación de la EBAR del Puerto de Sagunto en la Avenida del Mediterráneo ..	40
Figura 25. Esquema del recorrido de las aguas residuales recogidas en el colector de la Avenida del Mediterráneo.....	41
Figura 26. Aliviadero colector de pluviales de la zona de estudio en Sagunto. Foto realizada 25/03/2021.....	44
Figura 27. Aliviadero del colector de pluviales de la Línea 3 en Sagunto. Foto realizada 24/03/2021.....	45

ANEXOS

ANEXO I. PLANO PENDIENTES RESIDUALES.

ANEXO II. PLANO PENDIENTES PLUVIALES.

ANEXO III. PLANO DIÁMETRO RESIDUALES.

ANEXO IV. PLANO DIÁMETRO PLUVIALES.

ANEXO V. EXTRACTO ENTREVISTA CON TÉCNICOS *AIGÜES DE SAGUNT*.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. INTRODUCCIÓN

A pesar de que el origen del alcantarillado se suele atribuir a Roma, este fenómeno data de mucho antes. Ya en 3200 a.C. se encuentran sistemas de alcantarillado en la India. La civilización del Valle de Indo creó las primeras redes para evacuar las aguas y verterlas al río. El sistema que utilizaron era tan avanzado que no se volvieron a ver hasta el S.XII.

Las primeras redes solo recogían el agua de lluvia, pero con el crecimiento de la población aparecieron otras necesidades, ya que la acumulación de las aguas residuales empezó a provocar la aparición de brotes epidémicos letales entre los residentes de las nuevas ciudades. Comenzaron a recoger las aguas usadas y añadirlas a las pluviales para evacuarlas al cauce de agua más cercano.

No fue sino hasta el S.XIX en Hamburgo (Alemania) cuando aparecieron las primeras redes de alcantarillado tal y como se conocen hoy en día. Comenzaron siendo redes unitarias y en el S.XX aparecieron las redes separativas de pluviales y residuales y con ellas los primeros sistemas de depuración.

La red de saneamiento es una necesidad básica tanto para el medio ambiente como para la salubridad de las civilizaciones. Con el crecimiento demográfico exponencial de la actualidad hay que adaptar estas redes a nuevas necesidades, por ello es necesario tener un registro del estado actual de estas y realizar los cambios pertinentes para adaptarlas a ellas.

En el presente trabajo se realiza un análisis de la red de saneamiento de una zona concreta del municipio de Sagunto, cercana al mar y colindante con el río Palancia cuya gestión está encomendada a la entidad *Aigües de Sagunt*.

Con objeto de situar el sistema de saneamiento de esta zona en concreto dentro del contexto general de la red de todo el municipio de Sagunto, trabajaremos sobre un sistema de archivos SIG (Sistema de Información Geográfica) actualizado y exhaustivo. En este SIG se incluye, principalmente, la red de pluviales y la red de residuales. No todas las tapas de pozo, también conocidas como trapas, tomadas contienen colectores de la red de alcantarillado, por tanto, durante la inspección en profundidad se van cribando las válvulas de agua potable y riego, otras instalaciones, acequias y los pozos obsoletos. Esta información también se anexa al inventario aprovechando el trabajo realizado.

El desarrollo del trabajo en sistema SIG, no solo permite contextualizar convenientemente el entramado en cuestión, sino que también posibilita el análisis del sistema actual de alcantarillado con objeto de planificar futuras obras, solucionar problemas

de pendientes o detectar posibles entradas que contaminen las aguas dada la versatilidad de este formato.

Aigües de Sagunt convocó una licitación para realizar un estudio del sistema de alcantarillado de las zonas tanto urbanizables como urbanizadas del municipio en su totalidad pero de forma minuciosa y pormenorizada. La entidad ganadora, para la que trabajo en la actualidad, fue Sertopograf, una empresa de topografía con sede social ubicada en Albalat dels Sorells, Valencia. El factor clave para la elección de esta empresa consistió en que esta disponía de un programa informático de desarrollo propio diseñado de forma específica para este tipo de recogida de datos. Este programa es tan versátil que se puede utilizar en la tableta con lo que la toma y asiento de datos se efectúa *in situ*.

Además, cuenta con una gran variedad de filtros los cuales permiten la localización de aquella información relevante en cada momento. También es importante el hecho de que se puede extraer la información de cada pozo en formato Excel con lo que se puede exportar al SIG directamente. Como podemos observar, el carácter versátil y, utilizando el término internacional para definir facilidad y fluidez de uso, *user-friendly* de ambos programas, los convierte en herramientas muy potentes.

Para este proyecto se ha elegido una zona en la que se pueden observar las diferencias entre las antiguas redes mixtas frente a las de obra nueva cuya característica distintiva consiste en la separación de los dos tipos de agua: residuales y pluviales. Este subsistema, además, cuenta con un aliviadero al río Palancia cerca de una zona con riesgo de inundación fluvial por lo que es interesante observar la clase de medidas que se han tomado con objeto de evitar o disminuir este riesgo añadido. Utilizaremos el mismo procedimiento básico del proyecto de todo el municipio, pero trasladado a una escala menor correspondiente a la zona de estudio, El procedimiento se estructura en la siguientes fases:

- Fase I “Planificación”
- Fase II “Toma de datos en superficie”
- Fase III “Toma de datos en profundidad”
- Fase IV “Exportación de datos a SIG”

Durante la fase I, se efectúa una primera recogida de información y se recopila material para la fase previa de preparación. En la fase II se obtienen las coordenadas en superficie de cada tapa y se codifican con una numeración específica para cada tapa. En la fase III se abren esas tapas y se hace un estudio en profundidad que se guarda en el programa *on-line*. Y, finalmente, en la fase IV se exportan esos datos, tanto en superficie

como en profundidad, a formato *shapefile*, para posteriormente dibujar conexiones y hacer el cálculo de pendiente.

Sin embargo, a diferencia del procedimiento general, en este trabajo se incluye una quinta fase:

- Fase V “Análisis de datos”

Esta fase consiste en un análisis de los datos una vez exportados, utilizando herramientas SIG para determinar rasgos relevantes de la red y después interpretarlos. Se resaltarán las medidas tomadas contra el riesgo de inundación y otras posibles soluciones que podrían ayudar a aplicarlas junto con el plan principal.

La importancia de este estudio se resume en dos aspectos clave en cualquier sistema de desagüe moderno y cercano al delta de un río a la vez. El primer punto hace hincapié y analiza el impacto del aumento demográfico en la gestión de aguas residuales del municipio de Sagunto. El segundo factor considerado como determinante reside en el gran riesgo de inundación existente en la zona objeto de estudio derivado de la destrucción del cauce del río Palancia.

1.2. OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo se pueden concretar en dos puntos principales que resumen el proyecto en conjunto y cuatro objetivos secundarios que hacen referencia a partes importantes del proyecto de forma transversal. Es necesario hacer hincapié que los objetivos se desarrollaran durante el trabajo en una empresa privada, SERTOPOGRAF.

OBJETIVOS PRINCIPALES:

- Generar un inventario de las redes de pluviales y saneamiento en superficie y profundidad de una zona concreta del término municipal de Sagunto en sistema SIG.
- Analizar el funcionamiento de estas redes para detectar posibles problemas que puedan afectar al medio ambiente.

OBJETIVOS SECUNDARIOS:

- Conocer el sistema de redes de saneamiento en profundidad.

- Detectar y concretar los riesgos derivados del aumento demográfico en la zona en la red de residuales.
- Relacionar el riesgo de inundación con la red de saneamiento de pluviales.
- Aportar posibles soluciones para los problemas derivados del análisis.

2. ESTUDIO DEL MEDIO

Sagunto es un municipio costero situado en la Comunidad Valenciana, España. Esta región pertenece a la Comarca del Camp de Morvedre al Norte de la provincia de Valencia. Limita con 21 localidades y al Sureste con el Mar Mediterráneo (Figura 1). Las coordenadas geográficas del centro de Sagunto son: 39°40'35"N 0°16'24"O.

El término se extiende sobre una superficie de 132 km² situado en la zona histórica del Bajo Palancia. Dentro del municipio podemos encontrar varias subdivisiones en términos de población, acceso, economía, etc. La más importante, desde cualquier punto de vista, reside en la existencia de dos núcleos urbanos cada vez menos diferenciados debido a la previsión del plan urbanístico cuyo principal propósito radica en la unión de ambos centros de población.

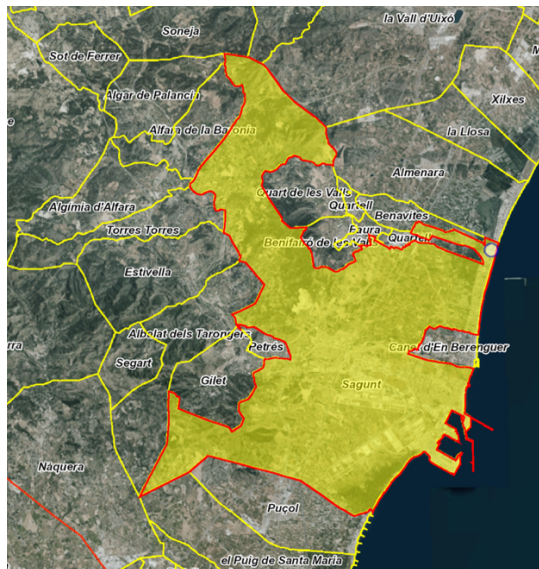


Figura 1. Situación del municipio de Sagunto y las localidades limítrofes

Fuente: Visor Cartográfico de la Generalitat Valenciana

Un núcleo urbano corresponde al casco histórico y a sus ensanches. Este núcleo toma el nombre de Sagunto, o Sagunto-Pueblo. Es la zona más antigua donde comenzó a crearse este territorio diferenciado ya en el siglo VI a.C. con el nombre de Arse.

A principios del siglo XX se construyeron industrias de gran importancia en la siderurgia cerca de la costa. Esto supuso que se creara el segundo núcleo urbano. Los

nuevos trabajadores y sus familias se instalaron cerca de este nuevo foco industrial que empezó a llamarse Puerto de Sagunto por motivos evidentes. El Puerto de Sagunto es el núcleo con un número mayor de residentes tanto permanentes como de temporada. Debido al fomento del turismo de sol y arena junto a una playa de gran calidad en términos de uso vacacional, a los trabajadores de la industria se sumó otro tipo de población de sesgo residencial, temporal y cambiante. De esta manera, la industria y el turismo fueron los catalizadores del crecimiento vertiginoso de un centro poblacional inexistente apenas un siglo atrás. (Ayuntamiento de Sagunto, 2017).

En términos más concretos, el crecimiento demográfico puede observarse en los datos de empadronamiento oficial. De 6915 habitantes en 1857 a más de 64000 habitantes empadronados en 2020 según la fuente del INE (INE, 2020).

Además de estas dos principales sub-divisiones en términos urbanísticos, el municipio cuenta con otras pedanías como Almardá y El Grao; tres partidas (Partida de Montíver, Partida de Gausa y Partida de la Vila) y cinco urbanizaciones relevantes (Monte Picayo, Pla del Bou, Pere Gil, Los Valles y Norte Palancia).

2.1. DELIMITACIÓN ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio está situada dentro de este municipio de Sagunto, más concretamente, en el núcleo urbano del Puerto de Sagunto colindante al río Palancia y al mar Mediterráneo. Esta zona tiene una superficie de 24.2 Hectáreas y un perímetro de 2 km. Engloba un total de 340 pozos que se dividen en 103 de pluviales, 191 de residuales, 26 sin abrir y 20 definidos como otros. En la siguiente *Figura 2* aparece la zona exacta de estudio y sus límites.

Dentro de *los anexos I a IV* se puede observar un mapa general de la zona con todos los pozos y sus conexiones. También se aprecian los imbornales que hacen un total de 157. Se han excluido los puntos de bases topográficas para no añadir información que pudiese entorpecer la interpretación del plano.

La línea 1 y la línea 3 están fuera de la superficie de la zona de estudio, pero se incluyen dentro de esta debido a la influencia de estas en la red de estudio. Su importancia reside en la función que cada una de estas líneas cumple en relación al área específica. La **línea 3** lleva las aguas pluviales de la playa al aliviadero más cercano al mar, aunque la mayoría de sus pozos no han podido ser abiertos debido a la acumulación de arena y sal en las juntas de la tapa y la dilatación y oxidación de los materiales por su cercanía a la costa. Respecto a la **línea 1** de residuales también se ha incluido en este trabajo por ser el sistema colector que recoge el saneamiento de la zona elegida y lo lleva a una EBAR. No se ha

Este municipio, también cuenta con una geología reseñable en la zona del cauce del río Palancia, con formaciones muy diferentes debido a la influencia fluvial. Esta zona pertenece al Cuaternario, y esta formada, en el centro del cauce, por materiales arcilloso-arenosos que han sido moldeados por el agua circulante del propio río. Sus márgenes, también del Cuaternario, más concretamente del Holoceno superior, se caracterizan por un abanico aluvial del tipo deltaico con arcillas arenosas rojas con cantos.

La zona de estudio, como podemos ver en la *Figura 3* obtenida de un recorte de un plano de Sagunto realizado por el IGME en 1972, pertenece al margen del río Palancia (IGME, 1972).

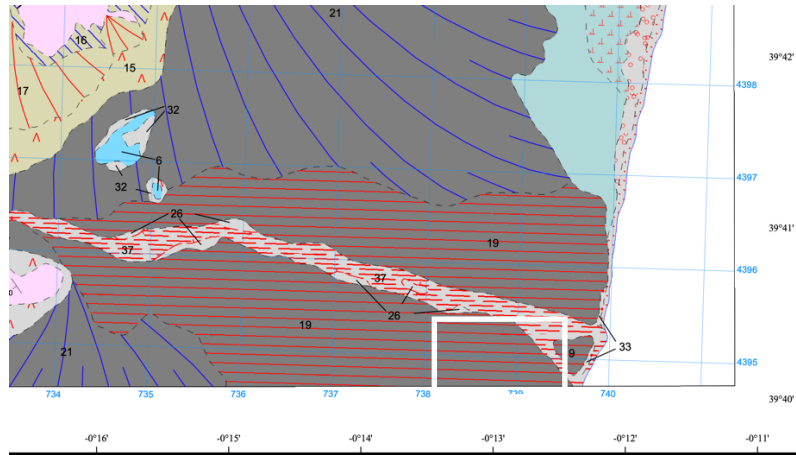


Figura 3. Recorte de plano de Sagunto de la zona de estudio (IGME, 1972).

El recuadro blanco marca la zona elegida para este trabajo. Como es evidente, toda la zona de estudio está dentro del cauce/delta del río Palancia o márgenes inmediatos, y como se ha remarcado antes, esta zona pertenece al Cuaternario y esta formada por arcillas.

2.2.2. FAUNA Y FLORA

Según la Auditoría Ambiental de Sagunto elaborada por la Diputación de Valencia de Medio Ambiente, el municipio se puede dividir en cinco entornos o hábitats que tiene en común elementos ambientales que acogen a especies de fauna y flora concretas. Estos cinco hábitats son:

1. Zonas de regadío intensivo: cultivos.
2. Hábitat urbano.
3. Entorno litoral.
4. Zonas montañosas (Sierra Calderona y Sierra de Espadán).
5. Zonas húmedas (marjales).

Centaurea saguntina, *Dianthus multiaffinis*, *Leucojum valentinum*, *Limonium duffourii*, o Cola de gato (Diputación de Valencia).

En este mismo delta también nidifican y crían algunas aves autóctonas como el charrancito común (*Sternula albifrons*), charrán patinegro (*Sterna sandvicensis*) y el charrán común (*Sterna hirundo*). Estas tres especies están protegidas por un bajo grado de vulnerabilidad debido a la destrucción y fragmentación de su hábitat natural (Generalitat Valenciana, 2021).

A pesar de que la zona limitada no incluye los primeros metros de costa, las aguas cercanas si pueden verse afectadas por la línea natural del agua desde el punto de vertido. En los primeros metros del talud continental, bajo el agua, hay gran variedad de especies, pero algunas son más sensibles a los cambios que otras.

Es importante tener en cuenta la existencia de praderas de Posidonia, ya que son un claro marcador ambiental. Adentrándose en el mar, se encuentran a unos 25 m, aproximadamente, del municipio de Sagunto. Actualmente estas praderas ya se encuentran muy degradadas por la superpoblación y la contaminación (Diputación de Valencia).

2.2.3. CLIMA

Sagunto cuenta con un clima mediterráneo, es decir, inviernos suaves y veranos calurosos. Además, por su latitud templada, el mar funciona como un regulador de temperatura natural. Su temperatura media se sitúa alrededor de los 16°C con una amplitud térmica anual de 12°C.

Respecto a precipitaciones, se caracteriza por ser un territorio seco. La principal la razón es que se encuentra sotavento. A partir de estudios anteriores se obtiene una media de precipitación anual de unos 466 mm.

La humedad es relativamente alta en comparación con la baja cantidad de precipitación. Esta oscila entre 62 y 69% (*Climate data, 2021*).

Aunque es un clima estable de forma general, sin embargo, esta zona adolece de unas particularidades climatológicas no tan deseables para la población humana. De forma estacional el municipio se ve afectado por lluvias torrenciales, es decir precipitaciones muy abundantes en poco tiempo, y esto provoca grandes inundaciones. A primera vista, parecería que las infraestructuras, en general, están previstas para el caso de precipitaciones menos copiosas.

Como ilustración, se ha elegido la última tormenta bautizada como "Gloria". Según el estudio meteorológico de Sagunto de esta tormenta, que tuvo lugar del 19 al 22 de enero del 2020, se registraron hasta 14.2 l/m² en periodos de 10 minutos.

En la *Figura 5* se refleja la cantidad de lluvia en l/m² por hora en el municipio de Sagunto durante los dos días que duró esta tormenta.

En este gráfico se observa que el índice de precipitación se mantuvo estable y moderado durante la mayor parte del tiempo, exceptuando los grandes picos sucedidos de las 19 a 20h y de las 23 a las 24h del día 20 de enero, y de 7 a 8h del 21 de enero. Durante estos picos, los sumideros no tuvieron capacidad suficiente para recoger toda el agua que cayó en tan poco tiempo. El caudal de evacuación, no dimensionado para eventos cuantitativos tan dramáticos provocó la aparición de inundaciones temporales con grandes bolsas de terreno completamente anegado, hasta que, con el tiempo, el sistema de drenaje consiguió evacuar la gran cantidad de agua precipitada (*Informe Meteorológico Sagunt, 2021*).

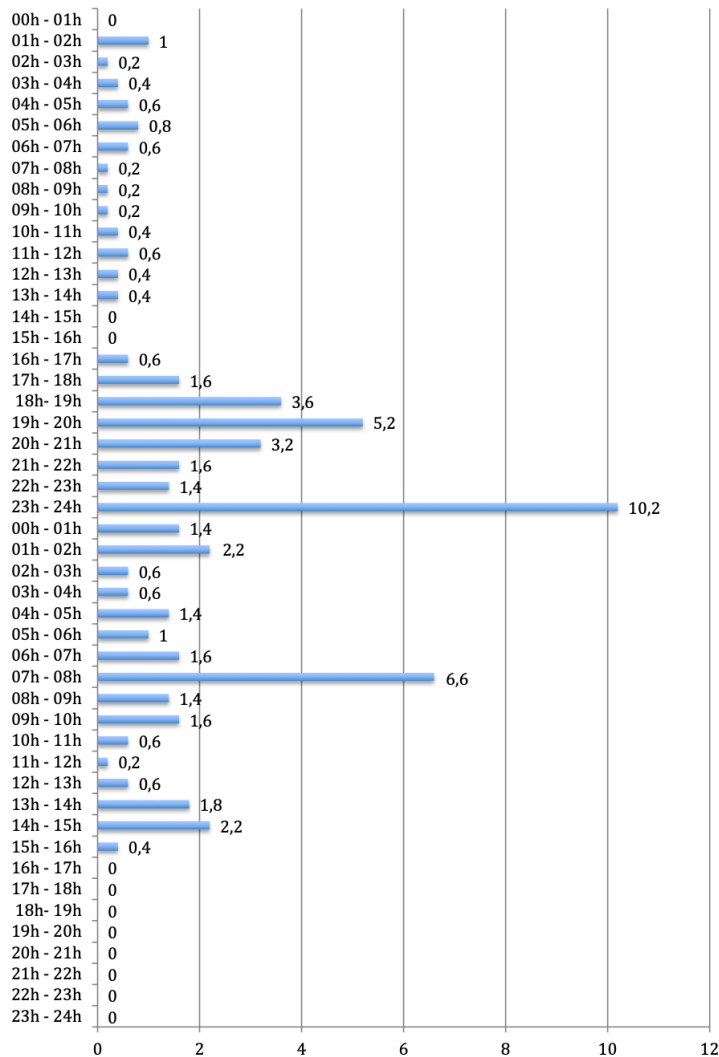


Figura 5. Datos del estudio climatológico de Sagunto de la tormenta Gloria - Cantidades de lluvia registradas por horas en SAGUNT los días 20 y 21/01/20 (en l/m²)

Podríamos asimilar estos sucesos como hechos aislados y excepcionales, pero sin ir más lejos, en noviembre del 2020, de forma inesperada, en Sagunto se pudieron observar hasta 49 l/m² en una hora de 18 a 19h el día 5 de noviembre, casi quintuplicando la máxima cantidad de lluvia registrada durante el temporal “Gloria”. Como es obvio esto excede cualquier capacidad de drenaje, tanto del terreno como de las infraestructuras (Estudio Meteorológico Sagunt, 2021).

2.2.4. HIDROLOGÍA Y RIESGO DE INUNDACIÓN

El municipio cuenta con dos zonas de marjal (La Marjal del Moro y la Marjal de Almenara), las cuales, además de contribuir a la hidrología de la zona, también forman un entorno rico en biodiversidad y actúan de reserva para muchas aves.

Por otro lado, la zona de estudio se encuentra dentro del ecosistema natural del río Palancia. De forma más específica, su situación coincide plenamente con el delta del río, por lo tanto, la zona más baja, sin pendientes naturales y con una capa freática ya altamente hidrolizada a base de una mezcla de agua salada y dulce como corresponde a cualquier zona de marjal. Además, este tramo se caracteriza por un régimen irregular y un estiaje largo, pero interrumpido por lluvias aisladas que hacen aumentar el caudal de forma notable y repentina.

El flujo y caudal del río están regulados, en gran manera, por la presa de Algar y el embalse del Regajo. Estos embalses justifican su existencia como aprovechamiento para el consumo humano de unas aguas escasas, erráticas y provenientes de un abastecimiento pluvial y, muy escasamente nival. Es tal su escasez que el 100% del caudal es retenido entre ambos pantanos resultando en un caudal de régimen 0, como norma general. Por lo tanto, el cauce del río permanece seco la mayor parte del año.

Dada esta situación, una de las amenazas más graves para la urbanización en esta zona, y, desde luego para la población, proviene de la desaparición de un caudal mínimo permanente y continuo. La falta de erosión y presión natural de las aguas sobre los márgenes de forma continua ha generado una situación excepcionalmente inestable. Las fuerzas combinadas de la actividad humana, el viento, el mar y las lluvias degrada y allana la desembocadura, por lo que cuando el río fluye carece de cauce. En el peor de los casos, por desgracia, bastante frecuente, se suma la avenida de las aguas del río, la falta de caudal, el desbordamiento de la rivera marítima, precipitaciones muy abundantes sobrevenidas, además de la afluencia de presión del resto de los circuitos de alcantarillado de la ciudad sobre los colectores de esta zona baja. La situación es difícilmente canalizable.

A pesar del esfuerzo del consistorio, de las reformas ya realizadas y las que se pretenden hacer es muy difícil controlar este riesgo, y es que a la amenaza natural se le une la presión urbanística. El aumento de población ha supuesto nuevas construcciones y con ello la pavimentación de las vías, reduciendo así la cantidad de terrenos filtrantes para el agua.

El asfalto no es permeable, y las pendientes de las calles no siempre se pueden adaptar a la pendiente que debe llevar el agua. Con la red de pluviales se consigue combatir este problema, pero, para ello, el pozo, los colectores, las conexiones y los imbornales deberían estar en buen estado y ser suficientes.

PATRICOVA son las siglas del Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención del riesgo de inundación de la Comunidad Valenciana. Según la *RESOLUCIÓN de 18 de febrero de 2016, de la Conselleria de vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio, por la que se crea el Registro de Municipios con Elevada Peligrosidad de Inundación*, Sagunto no está catalogado como municipio con elevada peligrosidad frente a las inundaciones, sin embargo, Canet d'Em Berenguer, cuya distancia del Puerto de Sagunto corresponde al ancho del río, sí. Esto puede deberse a múltiples factores como el tipo de gestión, la situación geográfica del municipio o a como afecta el riesgo.

No obstante, Sagunto ciudad sí que forma parte de los municipios de gran un riesgo aunque no se encuentre entre los más elevados. Según el PATRICOVA, el delta es una zona de gran riesgo, justo donde se encuentra la zona de estudio.

2.3. ZONIFICACIÓN

En el estudio del medio también es importante comprender los usos del territorio para actuar en función de estos. La zonificación muestra la tipificación habitual: Suelo urbano, suelo urbanizable, suelo no urbanizable común y suelo no urbanizable protegido. Según su categoría, la zona cuenta con una serie de restricciones.

Según el mapa cartográfico del SIOSE de 2016, a pesar de ser Sagunto un municipio con mucha población, el término municipal incluye un área muy grande formada por paisajes de montaña, litoral y fluvial, por lo que la mayor parte de las zonas son suelos no urbanizables.

En el caso de la zona de estudio, como se puede apreciar en la *Figura 6*, la mayor parte del suelo es suelo urbano, así como las parcelas. Mientras que la red de drenaje subterráneo forma parte del suelo urbano asfaltado. La salida de los pozos de pluviales al aliviadero se encuentra en suelo no urbanizable protegido. Para verter las aguas limpias en esta zona se necesita la autorización de la Confederación Hidrográfica del Júcar.

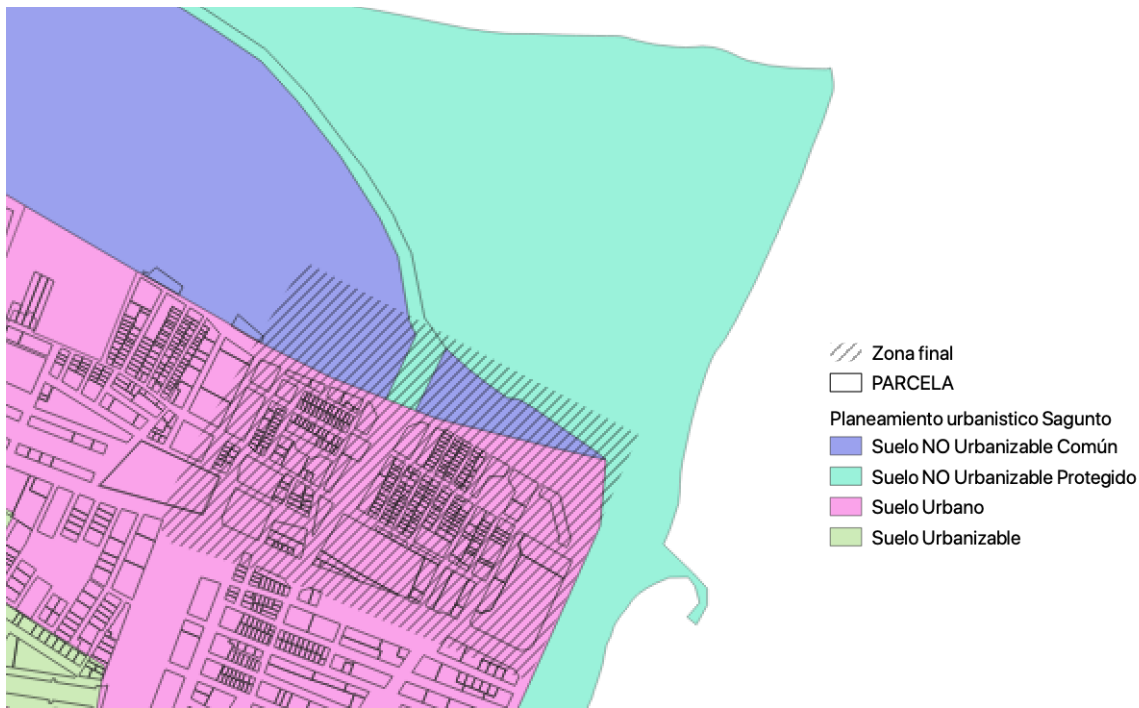


Figura 6. Planeamiento Urbanístico de la zona de estudio en el municipio de Sagunto (Zonificación)

2.4. MARCO LEGISLATIVO

En términos de normativa sobre la red de alcantarillado hay que tener en cuenta el doble carácter de su naturaleza. Por un lado, se determina por su carácter urbanístico, ya que es un servicio básico en la infraestructura civil, por lo tanto, vendrá regido por la normativa urbanística.

La segunda vertiente, la gestión ambiental, se deriva de la importancia del ciclo del agua y el gran papel que tiene el alcantarillado en él. Este segundo rasgo es el que tiene mayor relevancia en este trabajo y en él se centrará la recopilación de legislación en el apartado.

Tendremos en cuenta cuatro niveles jerárquicos diferentes por orden decreciente: normativa europea, estatal, autonómica y en último lugar municipal.

NORMATIVA EUROPEA

- **Directiva 91/271/CEE.** Esta directiva establece reglas para la recogida y tratamiento de las aguas residuales. Exige, también, la obligación de depurar las aguas

residuales en regiones mayores de 2000 habitantes. Además, fija unos límites de concentración en los residuos tratados en las EDARs.

- **Directiva Marco en Política de Aguas (2000/60/CE).** Prevé una normativa dura para conseguir objetivos en materia de medio ambiente alcanzando la sostenibilidad. Se incluyen aspectos hidro-morfológicos y se fomenta su conservación.

NORMATIVA ESTATAL (ESPAÑOLA)

- **Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.** Define el concepto de residuo aunque no prevé unas condiciones demasiado restrictivas.
- **Real Decreto Ley 11/1995.** Somete la legislación española a la Directiva Europea 91/271/CEEI, estableciendo límites para las aguas residuales.
- **Ley 46/1999, de 13 de diciembre.** Adapta la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas a la Directiva Marco en Política de Aguas (2000/60/CE) para incluir aspectos relacionados con el medioambiente.

NORMATIVA COMUNIDAD AUTÓNOMA (COMUNIDAD VALENCIANA)

EPSAR es la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana. A partir de la Ley 2/1992 se crea este órgano para gestionar la normativa en saneamiento de aguas residuales en la Comunidad Valenciana asociada a la Consellería de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural (Generalitat Valenciana, 2020).

- **Ley 2/1992, de 26 de marzo, del Gobierno Valenciano, de saneamiento de las aguas residuales de la Comunidad Valenciana.** Esta es la normativa autonómica consolidada sobre el saneamiento en la Comunidad Valenciana.

NORMATIVA MUNICIPAL (SAGUNTO)

- **Ordenanza municipal de prevención y control de contaminación de las aguas residuales,** por la que se establece limitaciones de concentraciones en los vertidos, así como adaptaciones de tratamiento dependiendo del caudal en aguas residuales.

- **Ordenanza municipal de control de vertidos a la red municipal de alcantarillado**, en la que se implanta la necesidad y obligación de crear acometidas que separen los tipos de aguas de cada vivienda para su posterior evacuación en el correspondiente colector.

2.5. AIGÜES DE SAGUNT

Aigües de Sagunt es una entidad surgida en 2009 como resultado de la unión del Ayuntamiento de Sagunto (51%) con la empresa Global Omnium (49%). Esta nueva entidad pasará a gestionar el ciclo del agua de forma integral. Sus funciones alcanzan desde la dirección de todo el sistema de saneamiento del municipio hasta la dotación del agua potable.

Su función más importante es la de cumplir con el objetivo de mantener un ciclo integral, devolviendo el agua al entorno natural, manteniendo, tanto como sea posible, la calidad original de esta (*Aigües de Sagunt*, 2021).

El principal esfuerzo va dirigido a la reestructuración del sistema de forma que la recogida del agua de lluvia sea independiente a las aguas usadas o residuales. Las aguas de lluvia que no se filtran en el terreno se convierten en escorrentía superficial. Parte de esa agua sigue la línea de máxima pendiente de las calles volviendo a la masa de agua más cercana. La que se queda estancada es evacuada por imbornales, canalizada a los pozos pluviales y a través de colectores, transportada, de forma artificial, simulando el ciclo del agua subterránea, al aliviadero más cercano.

El problema surge con las aguas residuales. Estas aguas usadas llevan una cantidad muy alta de materia orgánica junto con otros contaminantes. Si fuesen devueltas sin tratar, generarían un alto impacto ambiental, y ensuciarían las aguas que posteriormente usamos. Para evitar esto se crean las EDARs, Estaciones de Depuración de Aguas Residuales, Sagunto cuenta con la suya propia, además de algunas EBARs, Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales. Una vez son tratadas, las aguas son devueltas al medio. Así el Ciclo Integral del Agua puede observarse en el esquema de la *Figura 7*.

El Responsable de Departamento de SIG, Manuel Montabes Prieto y el Coordinador Técnico de *Aigües de Sagunt*, Alejandro García Polo, nos concedieron sendas entrevistas de gran valor interpretativo y técnico, esta entrevista detallada puede consultarse en el *Anexo V*. Gracias a su desinteresada aportación y compromiso, se han podido extraer conclusiones esenciales para el análisis de datos, cuya importancia se verá reflejada en el apartado 4 “Resultados y conclusiones”.

Además, en esta entrevista nos han abierto las puertas para conocer el funcionamiento interno de esta entidad así como la historia de la misma. Ambos llegaron a Sagunto en el 2003 como brigadas de mantenimiento. Tras su experiencia, en el 2009 presentaron el Plan Director con la documentación que disponían según su experiencia de campo, para formar *Aigües de Sagunt*.

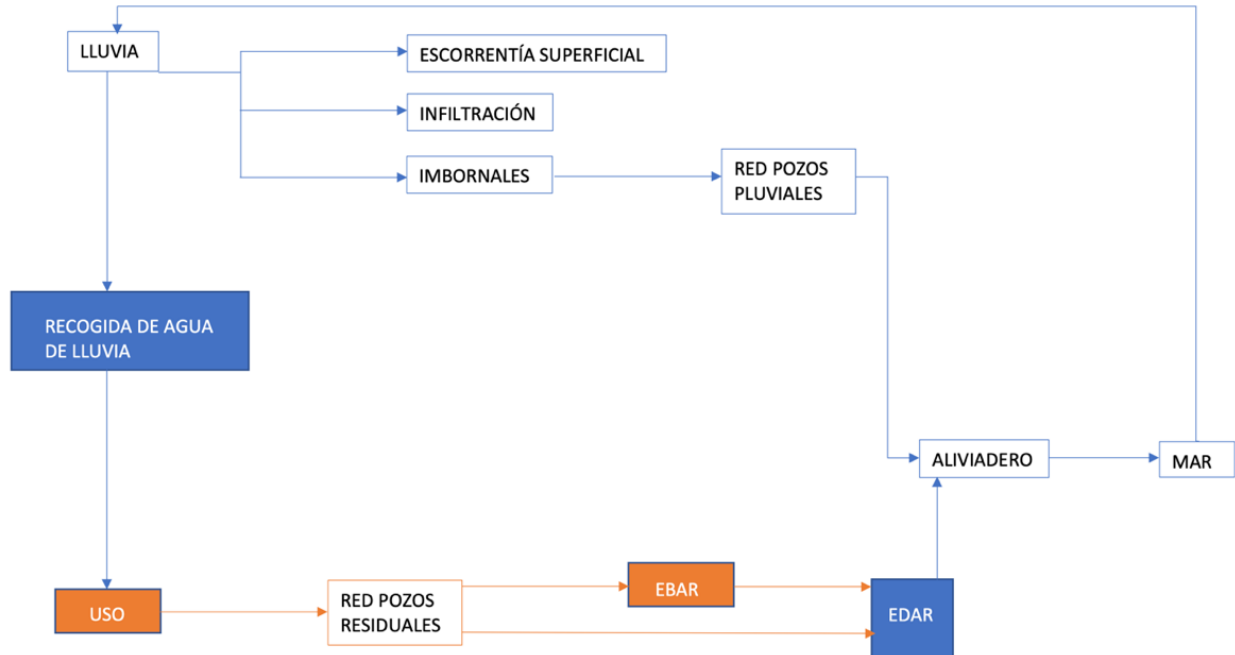


Figura 7. Esquema del Ciclo Integral del Agua

Una vez formada, *Aigües de Sagunt* comenzó a gestionar todo el ciclo del agua, un trabajo anteriormente asignado al ingeniero o la constructora que edificara esa manzana. El Ayuntamiento contaba con un plano en CAD que había ido formando a partir de los datos que le habían sido enviados de cada red diseñada. Antes no existía el documento de final de obra. Tras el diseño inicial que se le comunicaba a la Administración Pública, de forma subrepticia, se realizaban cambios no autorizados ni previstos en el diseño original. Estos cambios no eran reflejados en ningún documento.

Esto ha derivado en un plano inexacto, que solo permite interpretar la red de una forma general, pero no hacer simulaciones precisas. La intención de *Aigües de Sagunt* era actualizar el Plan Director del municipio para una gestión más eficiente de las redes. Esta licitación sobre el inventario completo y exhaustivo de la red de alcantarillado del municipio de Sagunto se realizó con este fin (*Aigües de Sagunt, 2021*).

3. MATERIALES Y MÉTODO

3.1. CONCEPTOS BÁSICOS

A lo largo del trabajo se utiliza terminología específica formada con expresiones comunes, pero con un significado contextual que en algunos casos es clave para la comprensión y análisis de los datos aportados. Términos básicos en orden alfabético:

- **Abonado:** Cliente abonado a la red. Se entiende a la propiedad que evacua sus aguas, ya sean pluviales o residuales a la red de saneamiento. En la *Figura 9* aparece un abonado, aunque no siempre tienen esa tapa intermedia, que puede ser tanto pluvial de las zonas exteriores como residual de las aguas usadas.
- **Aliviadero:** Punto donde desembocan las aguas pluviales. Suele ser río, mar o lago. En la *Figura 9* aparece representado un aliviadero al río.
- **Cabecero:** Un pozo es cabecero cuando tiene salida, pero no tiene entrada de otro pozo, aunque si pueda tener otras entradas de abonados o imbornales. Se puede observar en la *Figura 9* que el primer pozo de la línea es cabecero.
- **Cota fondo:** Profundidad absoluta del pozo calculada restándole a la cota de superficie la profundidad. El resultado se expresa en metros.
- **Colector:** Tubo que transporta las aguas y residuos entre los pozos, imbornales o abonados. Puede ser de diferentes dimensiones y materiales. Los más utilizados son hormigón, PEAD, PVC, PVC corrugado y Ribloc. En la *Figura 9* vemos los colectores que unen los pozos, y, aunque no señalados de forma concreta, los tubos que unen el abonado o imbornal con el pozo también son colectores.
- **Cota superficie:** Coordenada z de la tapa del pozo que se expresa en metros sobre el nivel del mar. En la *Figura 9* se representa con una línea en color rojo.
- **Croquis:** Dibujo esquemático a mano alzada del pozo. Para cada pozo se hacen dos croquis, uno de planta y otro de sección.
- **Dimensión pozo:** Hace referencia, normalmente, al diámetro del pozo visto desde arriba. Habitualmente los pozos tienen sección circular y su diámetro oscila entre 600-1000 mm. Esta medida se toma de forma intuitiva. Aunque en ocasiones el pozo puede ser rectangular, en cuyo caso la dimensión suele ser de 1x1 m.
- **Entrada:** Los colectores, ya sean de abonados, imbornales u otros pozos, suelen desembocaren un pozo. La apertura del final del colector que se aprecia dentro del pozo toma el nombre de entrada.

- **Imbornal:** Apertura con rejilla en la calzada para recoger el agua de lluvia. En la *Figura 9* se encuentra representado un imbornal y su conexión con el pozo.
- **Imbornal sifónico:** Es un imbornal, pero la parte del colector que recoge el agua está en forma de sifón para evitar malos olores.
- **Material pozo:**
 - **Mampostería:** construida a partir de ladrillos y pasta.
 - **Hormigón *in situ*:** hormigón que se fabrica en el mismo lugar, poniendo un tubo para encofrarlo.
 - **Hormigón prefabricado:** hormigón en secciones delimitadas, ya hecho en fábrica con una forma concreta. Las piezas se apilan unas sobre otras.

- **Pate:** escalón incrustado en las paredes del pozo para facilitar el acceso al pozo en caso de avería. Los pates pueden ser de hierro o de polipropileno como en la *Figura 8*.

Actualmente la mayoría son de polipropileno debido a que los de hierro, a pesar de los tratamientos, se oxidan con facilidad y se rompen debido al gran contenido en materia orgánica del pozo.



Figura 8. pates de polipropileno.

Fuente: <http://iverna2000.com/blog/pates-de-propileno-saneamiento-urbano/>

- **Pozo:** Comúnmente llamado alcantarilla, pero en la palabra pozo englobamos toda la excavación y sus elementos.
- **Profundidad:** Altura, en metros, tomada desde el fondo del pozo hasta la tapa de este. En la *Figura 9* se representa con una línea en color verde.
- **Salida:** El orificio del pozo que tiene máxima pendiente y a través de un colector saca las aguas de ese pozo para derivarlo a otro, aliviadero o lugar de tratamiento.
- **Sección de pozo:** Mirado el pozo desde arriba, la sección presenta una forma, normalmente circular, aunque en algunos casos puede ser rectangular. Algunas excepciones son solo excavaciones sin forma y entonces se le atribuiría a “Otros” en el apartado de sección del pozo.

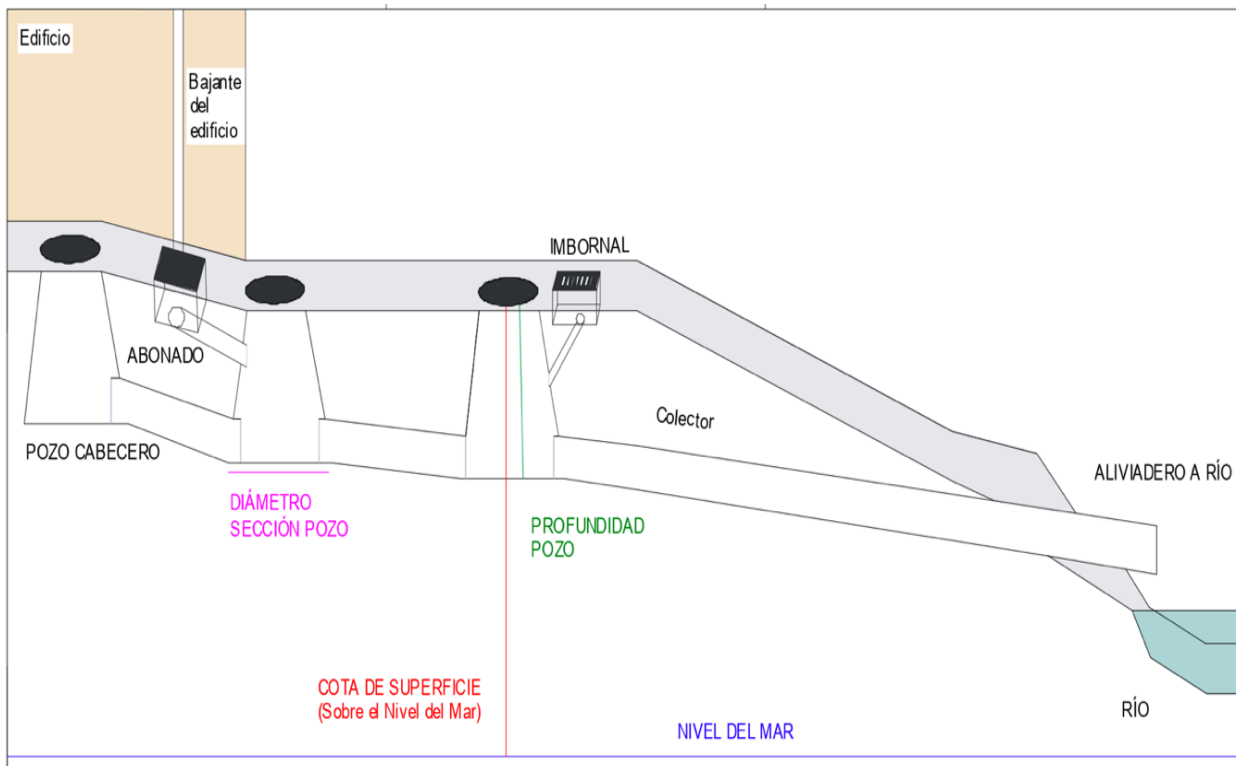


Figura 9. Esquema de partes relevantes de un sistema de pozos realizado en AutoCAD

o Tipo de aguas:

- **Residuales:** Aguas usadas recogidas de los abonados en domicilios e industrias.
- **Pluviales:** Aguas de origen pluvial recogidas en las calles con imbornales o en los sumideros de casas e industrias en patios exteriores y se canalizan con abonados a la red.
- **Mixtas:** Mezcla de aguas residuales y aguas pluviales.

o Otros pozos:

- **Válvula** Agua potable y de riego
- **Obsoleto:** Antigua red de alcantarillado que ya no tiene uso o agujero de tierra o escombro sin utilidad aparente.
- **Instalaciones:** En ocasiones las tapas están mal nombradas y no pertenecen al sistema de gestión de aguas y puede contener instalaciones telefónicas y de gas.
- **Acequia**

3.2. MATERIALES Y HERRAMIENTAS

Este proyecto requiere el uso de diversas herramientas, algunas son aplicaciones que se consultan desde la tableta, otros son aparatos de medidas y tomas de coordenada, y en

último lugar y de menor relevancia para el estudio, aun que necesarios para el trabajo en campo, se encuentran las herramientas para abrir los pozos:

TABLETA Y TIPOS DE ARCHIVO

La **tableta** es el dispositivo informático móvil que se lleva a campo para consultar la información necesaria para la toma de datos en profundidad en forma de archivos:

- **ARCHIVO CAD:** *Aigües de Sagunt* posee un fichero en formato AutoCAD con la red de alcantarillado antigua y otras partes que se han ido añadiendo. Lo cedieron a la empresa como punto de partida. Es muy útil, ya que los pozos encontrados aquí deberían aparecer en su gran mayoría. Además, señala las direcciones de las líneas. En la siguiente imagen *Figura 10* se observan las principales líneas y conexiones de la zona de estudio en concreto:

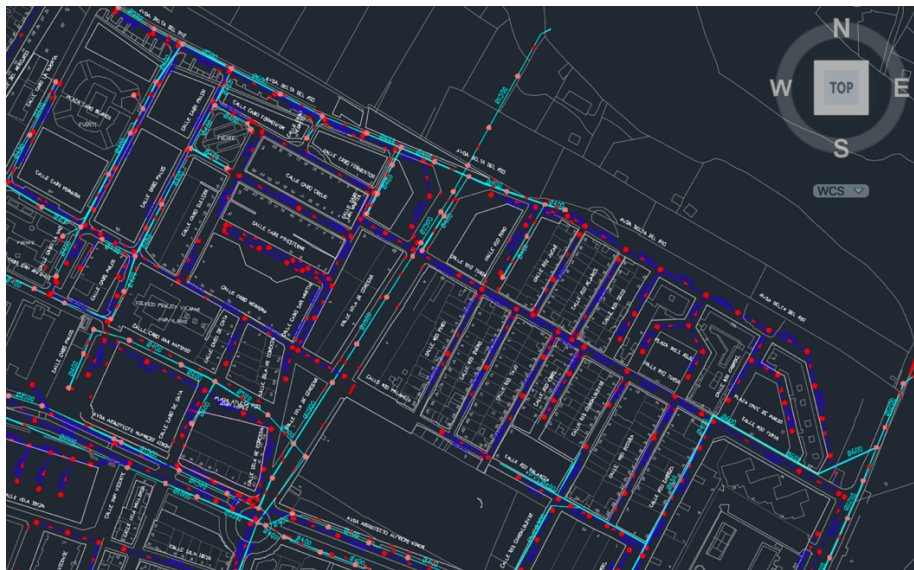


Figura 10. Captura archivo AutoCAD de la zona de estudio. Fuente: Aigües de Sagunt

- **ARCHIVO SIG:** Cada uno o dos días se actualiza un conjunto de archivos de diferentes capas en formato *shape* representadas en SIG con todos los puntos tomados en superficie, los imbornales y las parcelas con las calles. Además, se maquetó de forma que sea posible ver el código de cada pozo sobre el punto. Esta herramienta es de gran utilidad para consultar los pozos conectados con el que estamos inspeccionando. Al situarte en el plano puedes ver, según la dirección de las entradas y salidas, con que pozo debería conectar.

Se empezó a usar este sistema debido a que los códigos de las tapas se borraban, a pesar de tener una pintura especial para exterior, y eso impedía que se pudiera tomar ese número en concreto.

Una vez a la semana, se actualizan en el mismo archivo los pozos ya inspeccionados que se han generado con el Expande, así se puede ver sin abrir el número con el programa, cuales están hechos y cuales no.

Cabe destacar que el software utilizado es el QGIS. **QGIS** es un Sistema de Información Geográfica libre, es decir, completamente gratuito y desarrollado por *Open Source Geospatial Foundation* (Open Source Geospatial Foundation, 2021). Se eligió este SIG por la gran cantidad de herramientas de que dispones dentro de los softwares gratuitos. En este proyecto se usa sobretodo el formato vectorial, excepto para cargar las ortofotos para lo que se utiliza el *Raster*, pero normalmente se trabaja con líneas y puntos.

- **EXPANDE:** Programa utilizado para la toma de datos en la tableta. Este programa cuenta con una base de datos en la nube para no perder la información, y está diseñado bajo demanda de forma exclusiva para el uso de la empresa. Su función es la gestión integral de la información de los pozos. Se puede acceder a estos mediante filtros . Dentro de cada ficha del pozo encontramos cuatro páginas en las que se divide la información tanto para consultas como anotaciones. En el desarrollo de la Fase III se verán con detalle cada una de esas cuatro páginas.

El programa también cuenta con diferentes sistemas de exportación. Para cargar los datos a QGIS se generan archivos Excel con la información. Posteriormente, se traslada a txt y se carga en el QGIS.

INSTRUMENTOS DE MEDIDA Y TOMA DE COORDENADAS

- **DISTANCIÓMETRO**
 - marca: WISENT
 - modelo: EOT0018

Es un medidor láser muy compacto como se observa en la *Figura 11* de 115 x 52 mm y material plástico, que puede medir desde 0.2 a 4 m y guarda las últimas veinte medidas. Tiene una precisión de ± 2 mm que es más que suficiente para el uso que se le va a dar.

Este distanciómetro sirve para medir la profundidad de los pozos cuando se superan los 4 m, ya que este es el límite de la mira. También es útil para pozos con una sección de pozo inferior a los 500 mm de diámetro, por que la galga de la mira no cabe a lo ancho dentro.

Se evita utilizarlo en todos los pozos, a pesar de que es más limpio y práctico, por que cuando el pozo contiene muchos residuos, el agua que contiene hace que refleje el láser y la medida no sea correcta. En otros, casos la campana del pozo no deja medir en línea recta desde la tapa las entradas y salidas por lo que se necesita la galga de la mira para encajarla en el colector.



Figura 11. Foto del distanciómetro marca Wisent

o GNSS

- marca: TOPCON
- modelo: HIPER SR

Este sistema de geolocalización se compone de un receptor o antena captadora de satélites GNSS. La antena se acopla a una barra con diferentes medidas especificadas para tener en cuenta la coordenada z, y a la barra.

El sistema también dispone de una tableta que permite consultar la información y los datos que estas tratando en una pantalla. Esta tableta va enganchada con un soporte a la barra, e incluye un programa para guardar los datos tomados.

Para su correcto funcionamiento debe estar a nivel. Además, debe ir sincronizado con los datos móviles para conectarse a la red Ervas, lo cual permite aumentar la precisión de métrica a centimétrica en coordenadas absolutas. *Figura 12*

Se usa en la toma de cota de superficie de los pozos . Se coloca la barra en el centro de la tapa y se marca el punto con el código correspondiente además de una variable que indica, a priori, el tipo de aguas que contendrá.

Como inconveniente, no funciona bien si no puede triangular su posición con los satélites. En zonas no despejadas suele cometer errores o no funcionar.



Figura 12. GPS HIPER SR de la marca TOPCON.
Fuente: TOPCON

○ ESTACIÓN TOTAL o TAQUÍMETRO

- marca: TOPCON
- modelo: GPT 9000

A pesar de que el GNSS es más cómodo y rápido, no siempre se puede utilizar. Es debido a que este necesita un área despejada, es decir, sin edificios ni árboles que puedan interferir en la señal de los satélites con los que se conecta. En casos de duda o con problemas de este tipo, se utiliza la estación total.

Esta herramienta tiene capacidad para extraer las coordenadas de un punto a partir de uno de base y otro para triangularla. Por eso encontramos una parte de la codificación destinada a las bases topográficas que sirven para estacionar y direccionar esta herramienta.

Esta compuesta por un trípode, la estación y un prisma. El prisma debe ser trasladado por un operario hasta el punto a tomar. Una vez en el sitio, lo sujeta nivelándolo hasta que el otro operario, quien está en la estación, encuentra el prisma, lo enfoca y guarda el punto. Al existir la necesidad de dos operarios que deben comunicarse a distancia se utilizan radioteléfonos.

La precisión de la estación es de ± 2 mm (TOPCON, 2020), pero, puede cometer errores ya que, al tomar una base a partir de otra base y así sucesivamente, se va acumulando el pequeño error de cada una, hasta que finalmente se ha encontrado zonas donde las coordenadas estaban desplazadas en las tres direcciones. Llegado a este punto hay que tomar una nueva estación con GPS para corregir el posible error.

- **Mira:** La mira es una regla rígida de aluminio que alcanza los 4 m en secciones de un metro. A esta mira se le ha añadido un apéndice de hierro, llamado galga, en la parte más baja, de forma perpendicular a la regla, con una longitud de aproximadamente 45 cm y una altura de 5 cm. Esta galga es útil para apoyarla en las entradas que no se pueden medir en línea recta desde arriba.

La mira se inserta dentro del pozo con la galga en la parte de abajo. Para medir, se toma la medida que marca a ras de la tapa, dando la altura de fondo. Para compensar los 5 cm. añadidos por la galga, sumamos otros tantos utilizando un taco de madera en la tapa. *Figura 13.*

MATERIAL PARA ABRIR LOS POZOS

Para la apertura de las tapas se necesitan herramientas específicas:

- Pata de cabra
- Escarpe
- Martillo
- Imán

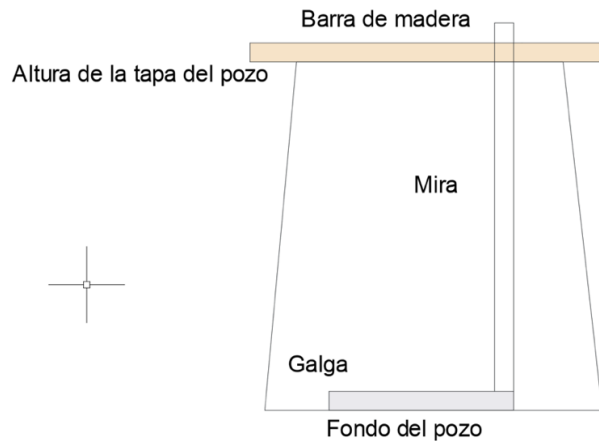


Figura 13. Croquis de medida de cota de fondo de un pozo con la mira con AutoCAD

3.3. FASES

El proyecto se desarrolla en cinco fases diferentes:

1. La fase uno consiste en la toma de datos en superficie
2. la fase dos en la exploración de los pozos en profundidad,
3. en la fase tres se procede a dibujar en el GIS la información recogida,
4. en la fase cuatro se realizará un análisis de red,
5. y en la quinta y última fase se analizarán los posibles problemas y soluciones en relación con el medio ambiente.

3.3.1. FASE I “PLANIFICACIÓN”

Aigües de Sagunt calcula que existen alrededor de 13000 tapas de alcantarillado en el municipio completo de Sagunto, aunque este número tan solo es aproximado.

Nuestro contrato exigía que se analizaran todos los pozos en el período de un año. Así, mensualmente, se deberían abrir e inspeccionar en profundidad un poco más de mil pozos, lo que hace un total de 50 en cada jornada laboral.

Por otro lado, es importante planificar las zonas y la metodología a seguir en cada una. Como bien se ha descrito en el marco territorial, se deben diferenciar los diferentes núcleos poblacionales, otorgarles una codificación independiente y priorizar el orden.

Dimensionamos la codificación con la masa de pozos visible en el fichero dwg de red de saneamiento antigua, más un margen para las nuevas por insertar. Además de los pozos, en la nueva codificación hay que incluir imbornales y bases topográficas. A priori, se había organizado de la siguiente manera:

- 0-1999 → Norte Palancia → pozos en la zona del Norte Palancia del núcleo urbano de Sagunto.
- 2000-3999 → Sagunto pueblo → pozos en la zona del casco antiguo de Sagunto.
- 4000-5999 → Polígono Vidanova → pozos en la zona de los polígonos que unen el núcleo urbano de Sagunto con el núcleo urbano del Puerto de Sagunto.
- 6000-13000 → Puerto de Sagunto → pozos en la zona del núcleo urbano de Sagunto.
- 15000-16000 → Monasterios
- 20000-21000 → Almardá
- 30000 → BASES TOPOGRÁFICAS
- 50000-sin código final → IMBORNALES

Esta tipificación es crucial a la hora de filtrar para ver en que estado estaba cada zona.

3.3.2. FASE II “TOMA DE DATOS EN SUPERFICIE”

En esta fase se recolecta información de las coordenadas x, y, z en superficie de las tapas de los pozos e imbornales. Para tomar esta información de la forma más exacta posible se utilizan la estación total y/o el GPS, obteniendo finalmente una precisión de 2 cm de error.

Al comenzar, se intenta con el GPS, ya que muchas zonas estaban lo suficiente despejadas para conectar con los satélites necesarios y esta herramienta solo requiere un operario para realizar la toma de datos. Si no se puede, se utiliza la estación total.

Una vez tomado el dato en superficie, este se guarda con un código, el cual se apunta en la tapa para poder localizarlo en la fase dos. *Figura 14.*



Figura 14. Tapa de alcantarillado con numeración 10948 posterior a la toma de datos de superficie en Puerto de Sagunto

Al tomar el pozo no solo se indica el código en la herramienta GPS. Además, se codifica como residual, pluvial, agua potable u otros, y con otros criterios como la cercanía a un imbornal o las líneas del archivo CAD.

En esta fase es muy importante tomar con exactitud la altura sobre el nivel del mar en superficie de cada tapa o imbornal (la coordenada z), ya que la cota de fondo que marca la pendiente se calcula a partir de la resta de la altura del pozo a esta cota inicial.

Una vez recogidos estos datos, se cargan en el programa *online*, al que se puede acceder desde la tableta. Los datos del GPS y de la estación total se guardan en una base de datos. Al extraerlos se eligen los pozos por numeración y el txt se pasa al Expande.

Las fases II, III y IV se acometen simultáneamente. Aunque solo hayamos tomado un número en superficie, ya está listo para la siguiente fase. Mientras un equipo se dedica a la fase II yendo por delante, el otro equipo se encarga de la fase III.

3.3.3. FASE III “TOMA DE DATOS EN PROFUNDIDAD”

Esta fase es la más costosa debido a que hay que abrir cada pozo y señalar todas las características relevantes como alturas, tipos de aguas, otras entradas, material y diámetros de los tubos, etc.

Los pozos son numerados en la tapa, en la fase uno, con un código clave para acceder a la ficha de cada uno en el Expande. A veces se borra por estar expuesto a la erosión del clima y al paso de vehículos, por eso nos guiamos por el archivo SIG actualizado

periódicamente y cargado en la tableta. El programa de la tableta consta de cuatro páginas para cada pozo donde se apuntaban los datos que podemos ver en la *Figura 15*. Se pueden observar los datos principales que se muestran al abrir el pozo en la **página principal** del programa. En este caso, el dato más relevante corresponde a la altura del pozo además del tipo de aguas.

The screenshot shows the 'Fichas pozos [Modificar]' interface. At the top, there's a header with a green checkmark, a refresh icon, and a trash icon. Below the header, the 'Codigo' field contains '10945' and a message says '*** El codigo no existe ***'. A navigation bar has tabs for 'Principal', 'Entradas/Salidas', 'Croquis', and 'Documentos'. The main form is divided into two columns. The left column contains fields for 'Coordenada X' (737255.961), 'Coordenada Y' (4394969.179), 'Coordenada Z' (17.816), 'Clase' (Pozo), 'Zona' (PUERTO SAGUNTO), 'Nombre calle' (JUAN NEGRIN), 'Situacion' (Acera), 'Profundidad (m)' (1.73), 'Diametro tapa (mm)' (650), 'Material pates' (Polipropileno), 'Seccion pozo' (Circular), 'Dimension pozo' (600), 'Fecha de inspeccion' (30/07/2020), 'Estado inspeccion' (3), and 'Observaciones'. The right column contains fields for 'Obs. importacion' (PR), 'Fecha carga coord.' (29/07/2020), 'Dentro de propiedad' (No), 'Tipo de aguas' (Pluviales), 'Tipo de pozo' (Registro), 'Material tapa' (FD (Fundicion Ductil)), 'Material pozo' (Hormigón in situ), and 'N° pates' (2).

Figura 15. Ejemplo de página principal del programa del número 10945 en Port de Sagunt

Las entradas y salidas del pozo se apuntan en la **segunda página** del programa, como se ve en el ejemplo de la *Figura 16*. En este caso se tienen en cuenta los diámetros de los tubos, así como su material y su conexionado, ya sea con pozo, imbornal o abonado. El dato más importante son las alturas, sobretodo de las entradas y salidas que conectan con otros pozos, para el cálculo correcto de la pendiente.

Medimos la altura con la mira y, en caso de que el diámetro de la sección del pozo sea estrecho o la altura exceda los 4m, medimos con el distanciómetro. Se evita medir con el distanciómetro ya que todas las entradas no están en línea recta desde la parte de arriba del pozo, y al coger ángulo para medir, la altura se distorsiona.

Es necesario destacar que, en la toma de datos, las alturas se identifican teniendo en cuenta un criterio concreto. Partimos de la salida, ya que normalmente solo tienen una, aunque hay excepciones. Colocándonos en la salida, se mira al frente. La entrada número

uno es la que está en esa posición. A continuación, las conexiones se numeran en la dirección de las agujas del reloj.

Fichas pozos [Modificar]

Codigo: 10945 *** El codigo no existe ***

Principal Entradas/Salidas Croquis Documentos

Encontrados 3 registros. Página 1 de 1 Ir a 1 N° líneas 15

Tipo	Numero E/S	Subtipo	Seccion	Diametro	Profundidad	Prof. absoluta	Conexion	Material colector	Observaciones
Seleccionar		Seleccionar	Seleccionar	Selección			Seleccionar	Seleccionar	
1 SALIDA	1	TUBO	CIRCULAR	400	1.73	16.086	POZO	RIBLOC	
2 ENTRADA	2	TUBO	CIRCULAR	250	1.23	16.586	ABONADO	PVC	
3 ENTRADA	1	TUBO	CIRCULAR	400	1.73	16.086	POZO	RIBLOC	

Figura 16. Ejemplo de la segunda página del programa del número 10945 en Port de Sagunt

La **tercera página** del programa, representada en la *Figura 17*, consiste en el dibujo de dos croquis. El primero representa la sección del pozo visto desde arriba teniendo en cuenta que la salida del pozo debe estar mirando hacia abajo.

Este croquis consiste en un dibujo en planta donde se apuntan las conexiones de cada entrada y salida, hacia que dirección, y en caso de que la conexión sea a pozo, se debe indicar el número del pozo con el que conecta.

En el segundo croquis se dibuja la sección del pozo con la salida a la derecha como referencia, y se indica solo si es entrada o salida y que numeración tiene cada una.

Finalmente, en la **cuarta página** del programa se cargan dos archivos fotográficos del interior y de la superficie del pozo. Ambas fotografías se toman desde la salida. En el caso de la primera se pretende abarcar a todas las entradas y salidas posibles y en la última, una visión general de la situación del pozo.

Se dividen entre pozos de pluviales, pozos de residuales y otros pozos donde se encuentran las válvulas, obsoletos y los que no se han podido abrir, ya sean estos de saneamiento o no, ya que nunca se sabrá de forma cierta hasta que alguna vez se abran.

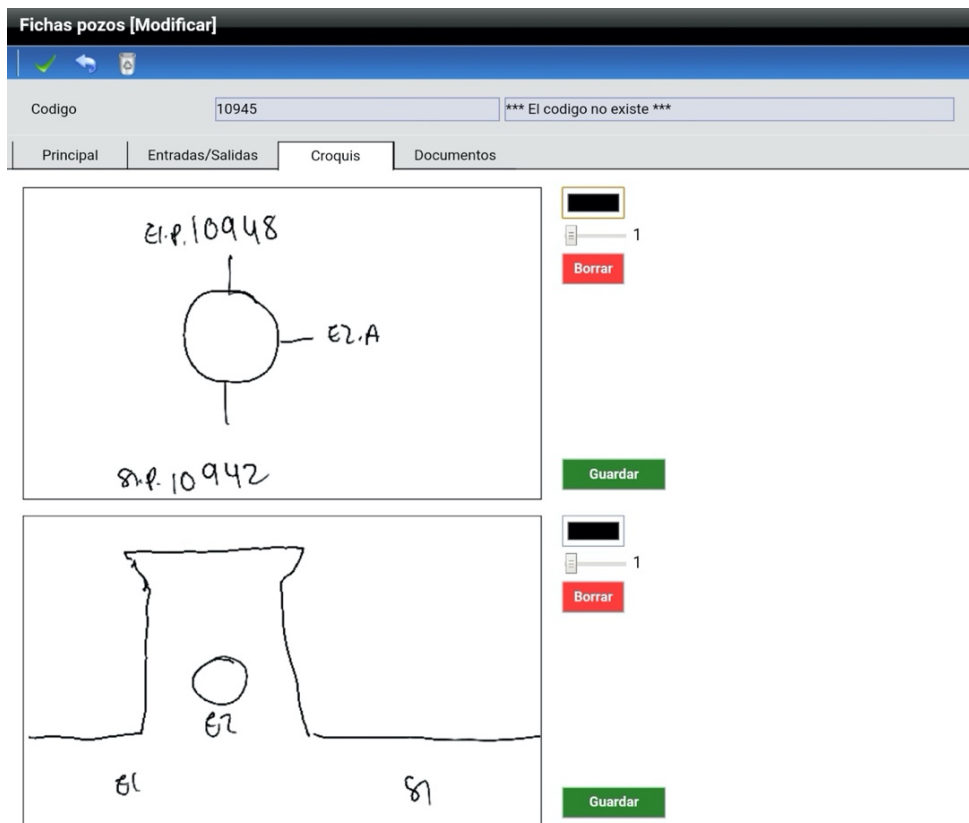


Figura 17. Ejemplo de la tercera página del programa del número 10945 en Puerto de Sagunto

3.3.4. FASE IV “EXPORTACIÓN DE DATOS A SIG”

Llegados a este punto ya contamos con toda la información necesaria que puede recogerse en campo, así que, en esta fase, se procede a cargar los datos en SIG. Es necesario tener en cuenta el sistema de coordenadas, ya que vamos a trabajar con la coordenada z y en una zona concreta. En este caso utilizaremos el sistema ETRS89/ UTM zona 30, EPSG 3042.

Sería más adecuado el EPSG 25830 en lugar de el EPSG 3042, ya que el EPSG 3042 es recomendable para planos a escala 1:500000, y el EPSG 25830 para levantamientos topográficos a menor escala, como es el caso de este trabajo (Junta de Andalucía, 2021). Pero en oficina se trabaja con el EPSG 3042 por defecto.

Este proceso se efectúa mediante tres fases:l:

PASO 1 □ Descarga de los datos recogidos con el GPS o con la estación total en un ordenador, guardado en formato “txt” y subido al SIG. Estos datos son de superficie, e incluyen tanto pozos, como imbornales y bases. Los tres tienen en cuenta las tres dimensiones. Una vez cargada la información y, separada en columnas en la tabla de

atributos, se extraen en capas diferentes los imbornales y las bases, para dar el tratamiento específico a cada uno.

Para ello se abre la tabla de atributos, se edita y se filtra por tipo. Una vez filtrado como imbornales (con el tipo IMB) o bases (con el tipo BASE) se exportan a una nueva capa independiente y se borran de la capa original. Así quedan los tres elementos separados en diferentes capas.

La razón por la que se conserva la capa original de los pozos y no se exporta a una diferente como las bases e imbornales es por que los pozos se codifican de diferentes maneras en el campo *tipo*, según sean residuales (PR), pluviales (PP), agua potable (PA) u otros (PX). Exportarlos supone hacer varios filtros y es más sencillo conservarlos en la capa original.

PASO 2 □ Descarga de datos tomados en el expande en cada pozo. En este punto, el programa Expande permite extraer los datos en Excel, con cada pozo en una fila. En las diferentes columnas se encuentra información sobre el código, tipo de aguas, la profundidad absoluta, el diámetro de los colectores y las entras y salidas, además de otros datos de menor importancia como el diámetro del pozo.

La información del Excel se pasa a formato txt y se exporta en el SIG. Este proceso es más costoso que el paso 1, ya que el número de columnas es superior, separarlas es más difícil y se debe tener en cuenta que el nombre de las columnas debe ser exactamente igual que en las de las capas anteriormente cargadas de los pozos en profundidad, para que, a la hora de unir las capas, deben quedar en la misma columna los datos de todos los pozos.

PASO 3 □ De forma manual, se unirán los pozos con una capa de líneas. La capa *shape* de líneas debe ser creada activando la coordenada z y además debe haber dos capas; una para el colector de pluviales y otra para el colector de residuales. A la hora de unirlos se activará la edición de la capa de líneas, y la barra de *autosemblado*. En la barra de *autosemblado* se abre la configuración avanzada y se edita para que solo se ensamble a los pozos de su tipo.

Los pozos se unen en la dirección en la que circula el agua. Así, las coordenadas de inicio y final de la línea corresponderán con las del colector real. Además, cada unión entre pozos deben ser líneas independientes, no polilíneas, para tratar cada una de forma individual. Las conexiones se sacan abriendo una por una las fichas de los pozos en el Expande y consultando el primer croquis en el que aparecen los pozos de conexión de cada uno.

Durante este proceso de unión, en el cual se abren las fichas individuales, se aprovechará para añadir dos columnas más en cada capa de colectores. Una columna pertenecerá al diámetro del colector en milímetros y la otra al material del colector. Para añadir estos dos tipos de información debe editarse la capa y hacer clic en insertar columna y se le da formato “numérico (real)” para la sección de diámetros y formato “texto” para los materiales.

PASO 4 □ Es el último paso de esta fase, consiste en calcular las pendientes de cada línea. Una vez dibujadas se entra en la tabla de atributos y se crean cuatro campos:

- Z inicial
- Z final
- Distancia
- Pendiente

Al crear las cuatro capas se configura como número de tipo decimal con un tamaño de 10 caracteres y tres decimales, para que todos los datos tengan la misma precisión y formato.

Con la edición de capa activa, en la tabla de atributos se abre la calculadora de campos, se hace click en actualizar campos existentes y se indica el campo que pretendes calcular. Para cada campo de los anteriores se utiliza una fórmula:

- **Z inicial:** $Z(\text{start_point}(\$geometry))$
- **Z final:** $Z(\text{end_pont}(\$geometry))$

Con estas dos ordenes de Z inicial y Z final, desarrolladas en el anterior párrafo, se consigue transportar la información de la coordenada z de la capa de puntos a la de líneas, por eso es importante dibujar las líneas en la dirección correcta, ya que DE Z inicial adopta el punto en el que se ha empezado y HASTA Z final el punto en el que se ha cerrado la línea.

- **Distancia:** $\$length$

Este comando se utiliza para calcular la longitud de la línea en metros.

- **Pendiente:** $((Z\ final - Z\ inicial) * 100) / Distancia$

En el cálculo de la pendiente se obtiene el resultado en porcentaje para que resulte más intuitivo y fácil de interpretar.

Aquí termina la fase III. A pesar de que la pendiente no se considera exportación de datos, ya que no hay ningún dato en las anteriores fases sobre la pendiente, se cierra con esto las líneas y la información necesaria para entregar.

3.3.5. FASE V “ANÁLISIS DE DATOS”

El análisis con QGIS se centra en las pendientes, ya que el resto puede consultarse en las tablas. Las pendientes son muy difíciles de calcular mediante la simple lectura de los datos por la gran cantidad de parámetros diferentes.

Es necesario tener en cuenta, que cuando la pendiente es negativa tendrá un funcionamiento correcto y en caso de que sea positiva estará a contra pendiente. La contra pendiente puede ser aceptable en ciertos casos, ya que los errores de toma de datos se van acumulando. Puede permitirse algún error, pero no hasta el punto de impedir el correcto funcionamiento de la red, por eso se establece una variable de tolerancia.

En primer lugar, se fija el valor de tolerancia para el proyecto. Se refiere al margen de aceptación que va a tener la pendiente positiva. En general se establecerá en 1%. Para ello hay que entrar en propiedades del proyecto, posteriormente en variables de expresión y ahí crear una variable. Esta variable se puede cambiar y actualizar las reglas de análisis para hacer diferentes pruebas. Para poder hacer referencia a la variable se le dará el nombre de “@p_tolerancia”.

A continuación, para resaltar las pendientes que sean positivas y las que estén por encima de la tolerancia establecida, deben crearse reglas. Estas pueden crearse para la tabla de atributos o para la simbología. En este proyecto se han aplicado a ambas.

Las reglas han de ser escritas con el lenguaje mostrado en la *Figura 18*. Con ello, conseguimos que se identifiquen los códigos con esos tres colores dependiendo de la situación de la pendiente.

El **naranja** indica que la pendiente es positiva y por encima de la tolerancia, el **rosa** que la pendiente es positiva, pero por debajo de la tolerancia y, por último, el **verde** indica una pendiente negativa, es decir, con un funcionamiento correcto

Este tipo de codificación por colores de la capa permite captar a simple vista la zona que tiene algún colector a contra pendiente. Para el posterior análisis se ha utilizado la información para la elaboración de los *Planos 2 y 3 del Anexo II*.

abc	Pendiente>Tolerancia
123	"Pendiente" > @p_tolerancia
abc	Pendiente<=Tolerancia
123	"Pendiente" <= @p_tolerancia and "Pendiente" >0
abc	Pendiente OK
123	"Pendiente" <0

Figura 18. Captura de pantalla de la programación de tres reglas para analizar la pendiente

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En punto expondremos, analizaremos y concluiremos los resultados obtenidos en la zona de trabajo utilizando como referencia los datos expuestos en los anexos. Tanto los resultados como la existencia misma de los circuitos, pozos, líneas, EBARs, EDARs, etc. incluidos en esta sección no son exportables al resto del saneamiento de la ciudad de Sagunto excepto si existe mención específica.

En la zona de estudio se encuentran tanto colectores nuevos, diseñados por *Aigües de Sagunt*, como antiguos con diferentes autorías. Dado que no se dispone de registros exactos de las ejecuciones de las obras anteriores, se hace más complicada la tarea de distinguir de forma exacta la antigüedad de cada colector. Una buena forma de diferenciarlos es viendo si le acompaña de forma paralela una red de pluviales. Según el *Artículo 3º de la Ordenanza municipal de control de vertidos a la red municipal de alcantarillado*, las redes deben ser separativas, por lo que las reformas realizadas para la creación de colectores de pluviales se aprovechan para la restauración de las de residuales. Esto se debe a que el levantamiento de la calle y el reasfaltado son realmente costosos y crean un gran impacto en la vida de los vecinos, así que se evitan tener que volverlo a hacer. Las calles donde se encuentren colectores de pluviales nuevos, contarán también, normalmente, con una línea de residuales renovada.

También destacan en esta zona algunos colectores por estar rodeados de imbornales y sin red de pluviales cercana. Esto también es una pista para detectar los colectores antiguos. En estos momentos los imbornales deben ir únicamente a pluviales, y solo en algunos casos, se puede conectar algún imbornal en el pozo cabecero de la red residual, para fomentar la escorrentía en ese colector. Las calles con imbornales directamente conectadas al tubo en la red de pluviales se han marcado en color negro. Al llover, los imbornales filtran agua al sistema de residuales aumentando el caudal de la red por encima de sus capacidades.

Una forma de distinguir las redes nuevas de las antiguas es por su material y/o diámetro. Anteriormente los **diámetros** eran de 250 a 400 mm, con una media de 300 o 350 mm como puede verse en el plano incluido en el *Anexo IV* y, en la actualidad, los colectores

principales de residuales parten de un diámetro de 350 o 400 mm y se van ampliando hasta prácticamente los 1000 mm. Este cambio se debe al aumento de población del municipio, y sobre todo de esta zona, especialmente sensible a la urbanización turística.

Por otro lado, respecto a los **materiales** utilizados en la zona, destacan los colectores antiguos por que normalmente se ejecutaban con hormigón como aparece en la *Figura 19*, tanto *in situ* como prefabricado. Se elegían estos materiales por que eran robustos y duraderos. El hormigón se ha desgastado y ha provocado derrumbes, así como atascos, ya que su rugosidad impide que las partículas de mayor tamaño se deslicen libremente.

Los nuevos circuitos de residuales de esta zona están realizados con materiales plásticos, como PVC, PVC corrugado y PEAD. También existen algunos realizados con Ribloc, pero este material se utiliza, normalmente, para diámetros superiores a los 1000 mm, por su relación entre el diámetro y el coste.

A partir de un diámetro superior a 250 mm encontramos PVC corrugado, más resistente a la compresión, mientras que por dentro se mantiene liso. En realidad, casi todos los colectores principales están construidos con corrugados por su mayor diámetro. En el campo se diferencian, sobre todo, por el color. El PVC de la zona es liso, pequeño y gris. Por otro lado, el PVC corrugado es algo más complicado de determinar, debido a que las estrías del exterior estaban, a menudo, tapadas por la cobertura del pozo y, a pesar de que normalmente es naranja, podía darse en otros colores y confundirlo tanto con PVC liso como con PEAD. En la *Figura 20* se puede ver el colector de residual de un pozo con PVC corrugado.



Figura 19. Colector de hormigón de línea de residuales, pozo 7177

El PEAD, o polietileno de alta densidad, tiene también el exterior corrugado y en color negro y se diferencia normalmente por tener, en el interior, un color azul, pero en ocasiones puede ser blanco e incluso naranja. En *Figura 21* se alcanza a ver un tubo de PEAD de 400 mm de diámetro, con el interior azul y el exterior negro.

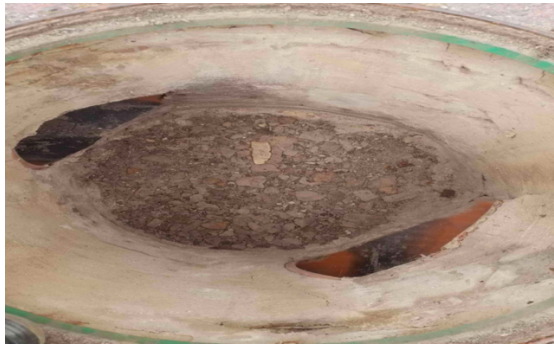


Figura 20. Colector de PVC corrugado naranja en línea de residuales, pozo 7518



Figura 21. Colector de PEAD azul en línea de residuales, pozo 7431

Al pozo de la *Figura 20* no se le está dando uso en el momento de la foto, por lo tanto, no se puede comparar. Pero observando la *Figura 19* de hormigón y la *Figura 21*, es apreciable que en el colector de hormigón el agua está más estancada y el nivel es más alto, mientras que en el caso del PEAD la línea del fluido está mucho más baja gracias a la superficie lisa y deslizante de los compuestos plásticos.

En el *Anexo I* se representan las pendientes del colector de residuales tal y como se han marcado en *Figura 18* en el apartado 3.3.5.

Los nuevos colectores en esta área están diseñados para llevar siempre pendiente negativa, pero en los colectores más antiguos se puede encontrar alguna contrapendiente real, causada por el descuido de las diferentes promotoras que conectaban los pozos fiándose del proyecto anterior. Esto ha podido dar lugar a algunos errores de diseño.

Se han podido detectar varios errores, aunque la mayoría vienen por fallos en la elaboración del GIS o en las medidas en campo. Sin embargo, solo se han destacado dos contrapendientes reales. Una de ellas perteneciente a un colector antiguo, y es una contrapendiente pequeña, perteneciente a la unión entre los pozos 7116-7117, y tiene un valor de +0.08 cm correspondiente a un 2.7306% de pendiente, que ha podido ser ocasionada por derrumbamientos del hormigón que se pueden apreciar claramente en la

Figura 22. En la que se ve la estructura del hormigón armado del pozo sin hormigón, aún así el agua circula, aunque con dificultad, pero encuentra camino entre los escombros.



Figura 22. Foto profundidad pozo 7116 de residuales

La segunda contrapendiente real es del pozo 7308 al 7307, el desnivel es de +0.21 m equivalentes a una pendiente del 1.6543%. Aquí tiene sentido esta contrapendiente, ya que actúa como pozo sifónico. A pesar de que la cota de fondo del pozo 7308 es de 3.16 cm, la salida está a 3.57 cm que si que le da pendiente al colector aun que no al pozo. La situación es la expresada en la *Figura 23* que pertenece al croquis de sección del pozo 7308.

La EBAR es una Estación de Bombeo de Aguas Residuales. La EBAR asignada al circuito de residuales de nuestra zona de estudio, en concreto, se sitúa en la Avenida del Mediterráneo en el Puerto de Sagunto, justo donde marca el punto rojo en la *Figura 24* y esta gestionada por la EPSAR. Es decir que esta EBAR depende de la Generalitat Valenciana y no del Ayuntamiento de Sagunto y, por tanto, no de *Aigües de Sagunt*.

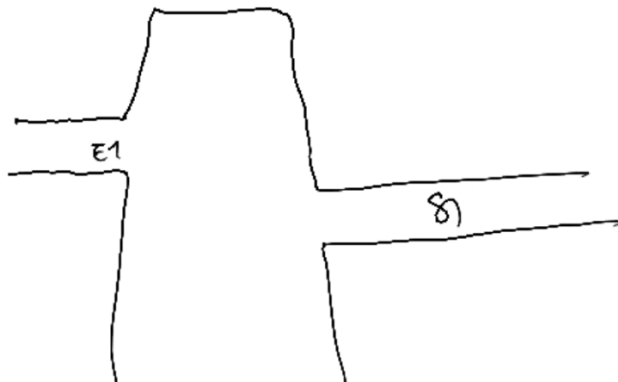


Figura 23. Croquis sección pozo 7308 de residuales

La gestión de las EBARs del municipio de Sagunto pertenece a la EPSAR desde el año 2000, excepto la EBAR de la que se habla y se analiza en este proyecto. Esta estación, también llamada EBAR nº3 o EBAR del Mediterráneo, seguía bajo la gerencia del

Ayuntamiento de Sagunto. No se produjo el cambio de gestión hasta el 2008 cuando se firmó un convenio con la EPSAR para ceder esta.



Figura 24. Situación de la EBAR del Puerto de Sagunto en la Avenida del Mediterráneo

El funcionamiento general de esta estación de bombeo se basa en la recogida de uno de los colectores principales de residuales del núcleo urbano del Puerto de Sagunto (colector de la Avenida del Mediterráneo), incluido, como no, los de nuestra zona. Una vez recibe las aguas sucias, las pasa por una reja de gruesos para eliminar objetos grandes que entorpezcan su transporte. Luego, este fluido pasa a unos depósitos, lo cuales, a partir de un proceso de sedimentación y filtrado, mejoran el proceso anterior. Por último, a partir de colectores subterráneos tapados de impulsión, envía las aguas a la EDAR para posteriormente ser tratadas.

Las siglas EDAR hacen referencia a Estación Depuradora de Aguas Residuales. En el municipio de Sagunto se pueden encontrar hasta tres, una compartida con Canet que sirve al núcleo urbano de Almadà (Sagunto) y Canet d'Emberenguer, otra en la zona de Monasterios y, por último, la más grande y que da servicio a la zona de estudio, la situada en el polígono industrial como se muestra en la Figura 25 en color morado.

Esta depuradora da servicio a los municipios de Albalat dels Tarongers, Sagunto, Petrés, Gilet y Estivella. La explotación pertenece a UTE SAV-DAM y esta preparada para tratar un caudal máximo de 20.664 m³ diarios. Esta compuesta por dos líneas, por un lado, la línea de aguas y por otro la línea de tratamiento de fangos generados por la línea principal de tratamiento del agua. El proceso de la línea principal de aguas se basa en un pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario, pero no cuenta con tratamiento terciario ni desinfección (EPSAR, 2021).

Este circuito consiste en la recogida de las aguas del colector principal de la Avenida del Mediterráneo, llevarlos a la EBAR nº3 donde se filtran con rejillas y se bombea hasta la EDAR de Sagunto. Por último, las aguas son tratadas en esta planta hasta alcanzar el objetivo establecido por el *Real Decreto Ley 11/1995* el cual indica los límites de contaminantes presentes en los vertidos. Una vez las aguas ya están purificadas se devuelven al mar desde la EDAR hasta el punto de vertido, dónde se canaliza, por un sistema de acequias, hasta el puerto marítimo. Todo este recorrido esquematizado en un plano se puede consultar en la *Figura 25*.

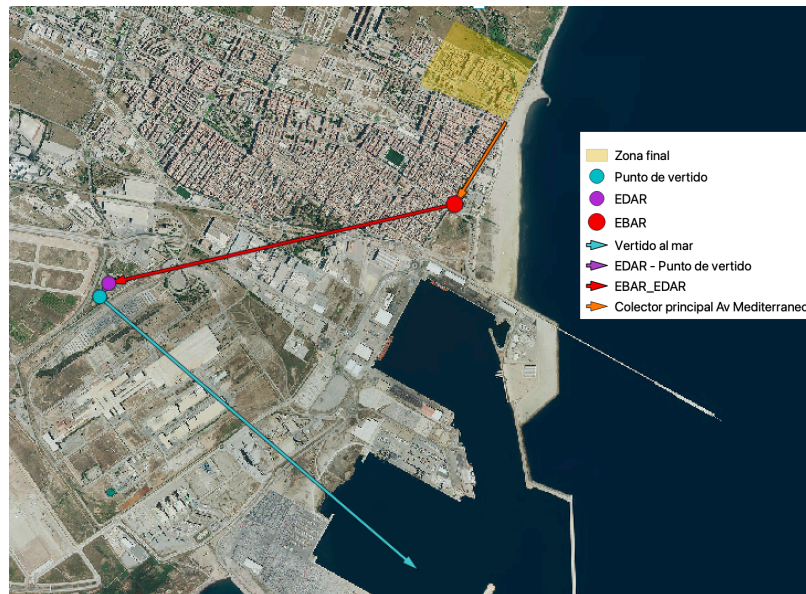


Figura 25. Esquema del recorrido de las aguas residuales recogidas en el colector de la Avenida del Mediterráneo

El colector de residuales de la Avenida del Mediterráneo data de más de 20 años atrás, la infraestructura está desgastada por el paso del tiempo y tiene filtraciones del freático, además de un flujo constante de caudal. Cuando un pozo siempre tiene un caudal mínimo de base que nunca desaparece, se dice que el pozo está en carga, es decir que, siempre que este en funcionamiento, habrá un nivel mínimo de flujo. Este flujo constante genera un sedimento o poso al fondo y esto provoca interferencias en las medidas. La mira no puede tocar el fondo y el distanciómetro mide solo hasta el poso, por lo que las medidas son variables ya que la altura tomada no es la cota real del pozo, pero la línea mantiene un correcto funcionamiento.

Posteriormente, se pretenden realizar nuevas mediciones buscando una solución para que sea más exacta la cota, pero, hoy en día, no se cuenta con la disponibilidad de esos datos para el trabajo.

El colector es una gran tubería de hormigón y PEAD, según los tramos, con una dimensión de entre 800 y 1000 mm de diámetro y circula en línea recta recogiendo también las aguas de las calles perpendiculares. Finalmente desemboca en la EBAR y en ella se bombea el agua hasta la EDAR.

Después de haber realizado los mismos procedimientos sobre otras áreas, por ejemplo, en todas las zonas urbanizadas de la ciudad de Silla (Valencia) o Sant Carles de la Ràpita (Tarragona), y, por lo tanto, con medios suficientes para establecer comparaciones, cabe destacar que la zona de estudio y, en general, toda la zona urbanizada de Sagunto, dispone de un sistema de alcantarillado con características y calidad similares e, incluso superiores a los otros.

Las diferencias más relevantes entre estas dos poblaciones y Sagunto estriban en la situación costera, respecto de Silla, y la capa freática de tipo marjal de la zona de estudio, respecto de las dos además de encontrarse sobre el delta del río Palancia. En definitiva, podemos concretar los siguientes resultados:

a) A pesar de los continuos esfuerzos del Ayuntamiento y de *Aigües de Sagunt*, tanto en el circuito de pluviales como el de residuales, todavía existen muchos elementos antiguos contruidos con materiales inapropiados para las nuevas circunstancias, como la mampostería *in situ* de casi todos los pozos antiguos. Sin embargo, Los complejos trámites, inconveniencias para la población así como el presupuesto necesario para intervenir en ellos dificulta la actualización de estos.

b) Las pendientes, tanto de pluviales como de residuales, son suficientes para un funcionamiento normal y no han resultado tan relevantes como podíamos prever en un principio. Sin embargo, no están diseñadas para un uso a pleno rendimiento continuo pues, en determinados puntos, como en la línea 7308 a 7309 y 7116 a 7117 existe contrapendiente aunque se utilice como medida sifónica. Además, el resto de pendientes no alcanzan, ni de lejos, el 1%. El colector general debería asumir el defecto de pendiente aumentando la suya.

c) Escasa capacidad de reacción de los circuitos ante un exceso de precipitaciones. Como hemos podido comprobar, el circuito de residuales se utiliza como válvula de presión ante un aporte excesivo de aguas proveniente de pluviales. En cuanto a los de pluviales, es evidente que no soportarán un temporal de lluvias de fenómenos cada vez más frecuentes como el "Gloria". Si hacemos un cálculo aritmético, podemos comprender que los circuitos de residuales, pero sobre todo los de pluviales no serán capaces de aliviar el exceso.

Según el informe de la Generalitat Valenciana (<https://agroambient.gva.es/documents/162218839/169913297/informe+lluviasenero+2020+v3.pdf/bb434584->

[294f-4bc4-9aea-4817b94ec6cd](https://www.aytosagunto.es/eses/laciudad/utilidades/Infometeo/informe_04_05_nov_2020.pdf)) la precipitación acumulada en Sagunto durante el Gloria alcanzó el nivel de los 111 l/m² acumulados. Otro informe del Ayuntamiento de Sagunto (http://www.aytosagunto.es/eses/laciudad/utilidades/Infometeo/informe_04_05_nov_2020.pdf) evalúa la Intensidad máxima de lluvia en 10 minutos en 14,2 l/m² (día 05 entre 18:30 y 18:40). Según este mismo informe, el jueves 5/11/2020, entre las 18:00 y las 19:00 se registraron 49,2 l/m². Si durante una hora cayeron 49,2 l/m² y la sección media de los colectores secundarios es de 400 mm mientras que la del principal es de 2000 mm (ver Anexo IV) el cálculo de las posibilidades de desagüe resulta claramente ilustrativo.

La velocidad de flujo o de caudal es igual a la cantidad de agua que puede evacuar dividido por la sección del tubo. Una vez ecualizadas las unidades, tenemos 49,2 l/m² (casi 5 cm. de altura sobre el piso) multiplicado por una superficie de 150.000 m² (242.000 en realidad, aunque para realizar el cálculo, lo vamos a limitar a 150.000 para absorber posibles terrenos permeables, etc.) correspondiente a la zona de estudio, resulta que cayeron 7.380.000 litros sobre la superficie en una hora, es decir, un total de 7.280 m³ de agua. Si el radio del colector es de 1m, la sección sería de 3,1415 m². Si aplicamos la fórmula, tenemos que la velocidad de flujo del colector principal debería alcanzar los 2.050 l/s en el supuesto de que este debiese evacuar la totalidad del agua. Si, a la aplicación del principio de Bernoulli, le sumamos tanto pérdidas localizadas como continuas, el ideal de una evacuación completa sería utópico, como poco, dada la viscosidad del agua, la rugosidad de la canalización, la presión máxima soportable, la presión atmosférica durante el fenómeno sobre el agua, etc.

Este cálculo no solo indica que la red no será capaz de deshacerse del agua, sino que las dimensiones del colector necesario para evacuar tal cantidad de agua, a presión normal, serían imposible de asumir.

La solución de este problema radica más en el diseño de materiales resistentes, el arriostamiento o apuntalamiento de las redes para evitar deformaciones y derrumbes, la construcción y diseño de calles bien peraltadas con el alivio de un exceso de precipitaciones en mente, el diseño y construcción de muchos más depósitos auxiliares, también llamados depósitos de tormentas, que asumiesen un rebose del nivel de agua, así como evitar, en lo posible, la impermeabilización del terreno. Pero todavía más importante sería la planificación de nuestras ciudades diseñando los proyectos urbanos con muchas más zonas verdes, evitando el abuso de la masificación urbanística o la excesiva dedicación del suelo para su uso por vehículos y no para el tránsito de personas, plantas y animales. Estos son desiderandos utópicos pero posibles.

d) El colector de residuales de la Avenida del Mediterráneo sobre el que desagua el circuito de residuales de nuestra zona, data de más de 20 años atrás. La infraestructura está

desgastada por el paso del tiempo y el tipo de material. Además, tiene filtraciones del freático comprobadas por el nivel irregular de la circulación de rango o en carga. Este circuito es un peligro en potencia, pues, además de contaminar el suelo debido a las filtraciones, el deterioro de sus paredes amenaza con un derrumbe ante un aumento de presión del agua.

Además, no se ha podido calcular si la cámara de aire que se acumula entre el agua y la parte superior de los tubos es expulsada correctamente para evitar que haga de cuña en las grietas existente. Este fenómeno es similar a la gelifracción. El aire penetra en las más pequeñas fisuras, las expande para después retornar a una presión atmosférica normal. En este momento, el terreno ha perdido su consistencia y se producen continuos derrumbes. Uno de los ejemplos más notables de este fenómeno se encuentra en la rotonda en el cruce de las calles Luis Cendoya con Avenida Mediterráneo, cuyo sistema forma parte del colector general al que está conectada nuestra zona. Se ha creado, alrededor del sistema de alcantarillado, una bóveda de aire de grandes dimensiones bajo una fina capa de asfalto.

e) Existen demasiados imbornales conectados a pozo de residual. En caso de temporal, las tapas de residuales revientan, así como muchas de las estructuras fijas. Sería conveniente el uso de secciones menores, o elementos estranguladores en estas conexiones imbornal-residuales para reducir la presión sobre las tapas.

f) La EBAR que gestiona nuestra zona es demasiado antigua y está infradimensionada. Sería conveniente intervenir drásticamente para evitar un colapso de la red que sería catastrófico.

g) En las sub-áreas más antiguas de nuestra zona de estudio no existe circuito de pluviales. El desagüe está confiado a la pendiente y el peralte superficial. Esta cantidad no canalizada engrosa el caudal de algunos circuitos de pluviales anejos, elevando la presión y el caudal sobre un sistema diseñado para precipitaciones menores.



Figura 26. Aliviadero colector de pluviales de la zona de estudio en Sagunto. Foto realizada 25/03/2021



Figura 27. Aliviadero del colector de pluviales de la Línea 3 en Sagunto. Foto realizada 24/03/2021

5. CONCLUSIONES

En definitiva, el estudio del sistema de alcantarillado de una ciudad como la de Sagunto, y, en especial de una zona con una serie de problemas de especial relevancia tales como la urbanización sobre terrenos de marjal, la cercanía al río y la excesiva presión urbanística ha puesto de relieve la falta de respeto por un medio ambiente poco propicio para el uso que se le da.

Estas áreas deberían ser conservadas como espacios naturales reservados para un hábitat más natural. Por un lado, el ecosistema ha sufrido una degradación total. Ha dejado de ser un espacio rico en terrenos de marjal así como el paisaje de dunas característico. La flora y fauna autóctona han desaparecido casi por completo, relegadas a pequeñas parcelas protegidas por la corporación local y algunas por la Generalitat. Un espacio de convivencia secular entre humanos y naturaleza, caracterizados por una escasa urbanización, terrenos permeables hasta el nivel freático y escasa densidad de población humana ha sido completamente invadido por una capa impermeable de asfalto y hormigón.

Por otro lado, la excesiva población de la zona, está expuesta a desastres naturales de cierta relevancia. Durante frecuentes episodios de lluvias torrenciales, las calles, aceras, subterráneos y casas acaban inundados, con toda la pérdida material y humana en los que tales desastres suelen concluir. Es evidente que no existen soluciones para estas catástrofes ni a corto ni a medio plazo. La amenaza constante de calles inundadas de aguas residuales mezcladas con las provenientes de las precipitaciones, de derrumbes en las aceras y el asfaltado, de situaciones dramáticas de personas aisladas, de rescates por los servicios de

emergencia, hace que nos preguntemos hasta qué punto es necesario o aconsejable que el ser humano invada este tipo de terrenos.

El cauce de un río seco pero que mantiene la posibilidad de inundaciones por riadas y pantanadas como las ya ocurridas con anterioridad, la orilla de un mar engañosamente calmado como el Mediterráneo, cuyas aguas se rebelan de forma habitual, superando sus límites y adentrándose en unas calles incapaces de deshacerse de sus aguas, las aberrantes construcciones artificiales que obstaculizan el ciclo natural del agua en un lugar cuyo hábitat natural está sustentado y compuesto básicamente por agua nos debería hacer recapacitar sobre la innecesaria urbanización de estos ecosistemas.

Los enormes, y mayormente irresolubles, problemas que el ser humano encuentra a la hora de sustituir el circuito natural del agua por uno artificial no es si no, un ejemplo más de la necesidad irremediable de adaptar el ser humano, como una más de las especies naturales que viven en nuestro planeta, al medio ambiente en el que desea vivir. La belleza natural de la playa del Puerto de Sagunto, como una más de la triste situación de nuestras playas, se ha desvirtuado hasta tal punto que no explica la razón por la cual cualquier individuo desea instalarse en esta zona.

¿Que ha sido de las playas inacabables, de las extensas dunas, de los caminos de tierra propicios para el asombro ante tanta majestuosidad, para la meditación, el juego o la charla amigable rodeados de juncos y el continuo discurrir de las aguas? Ha acabado sustituido por una maqueta gigantesca de hormigón, plástico y asfalto, tal como la puedes encontrar en Madrid, Barcelona o Nueva York. ¿Qué hemos ganado?

BIBLIOGRAFÍA

- Aigües de Sagunt. (24 de Marzo de 2021). *Aigües de Sagunt*. Obtenido de Ciclo Integral del Agua: <https://www.aiguesdesagunt.es/Empresa/Nuestro-trabajo/Ciclo-integral-del-agua/>
- Aigües de Sagunt, R. d. (15 de Febrero de 2021). Entrevista a Responsable de Departamento de GIS y el Coordinador Técnico de Aigües de Sagunt. (C. M. Bueno, Entrevistador)
- Ayuntamiento de Sagunto. (2017). *Estrategia de desarrollo urbano sostenible e integrado de sagunto*. Sagunto: Join Sagunt.
- Climate data. (12 de Febrero de 2021). *CLIMATE-DATA.ORG*. Obtenido de Sagunt Clima (España): <https://es.climate-data.org/europe/espana/comunidad-valenciana/sagunt-57166/>
- Diputación de Valencia. (s.f.). *Auditoría Ambiental*. Sagunto: Imedes.
- EPSAR. (26 de 05 de 2021). *EDAR Sagunt*. Obtenido de Sagunt 0: <https://www.epsar.gva.es/sagunt-0>
- Estudio Meteorológico Sagunt. (6 de 2020 de 2021). *Ayuntamiento de Sagunto*. Obtenido de Episodio lluvias torrenciales 04 y 05 de noviembre del 2020: http://www.aytosagunto.es/eses/laciudad/utilidades/Infometeo/informe_04_05_nov_2020.pdf
- Generalitat Valenciana. (30 de Marzo de 2021). *Banco de Datos de Biodiversidad de la Comunidad Valenciana*. Obtenido de Buscador BDB: <http://bdb.gva.es/va/buscador>
- Generalitat Valenciana. (1 de Septiembre de 2020). *EPSAR*. Obtenido de Entitat de Sanejament d'Áigües: <https://www.epsar.gva.es>
- IGME. (1972). *Mapa Geológico de España 1:50000*. Sagunto 668: IGME.
- INE. (3 de Enero de 2020). *INE*. Obtenido de Cifras oficiales de población resultantes de la revisión del Padrón municipal a 1 de enero: <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=2903&L=0>
- Informe Meteorológico Sagunt. (6 de 2020 de 2021). *Ayuntamiento de Sagunto*. Obtenido de Episodio temporal "Gloria" (del 19 al 22 de enero de 2020): http://www.aytosagunto.es/eses/laciudad/utilidades/Infometeo/informe_19_22_ene_2020.pdf
- Junta de Andalucía. (24 de Marzo de 2021). *Junta de Andalucía*. Obtenido de Códigos EPSG de Sistemas de Referencia: <http://www.juntadeandalucia.es/>

- medioambiente/site/rediam/menuitem.04dc44281e5d53cf8ca78ca731525ea0/?vgnextoid=2a412abcb86a2210VgnVCM1000001325e50aRCRD&lr=lang_es
- Open Source Geospatial Foundation. (26 de Marzo de 2021). *QGIS*. Obtenido de Descubre QGIS: <https://www.qgis.org/es/site/about/index.html>
- TOPCON. (2020). *Estación Total con Sistema Robótico*. Madrid: Topcon Europe Pos