



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo



Universidad de Oviedo

Escuela de Ingeniería de Minas, Energía y Materiales

Máster Universitario en Ciencia y Tecnología de Materiales

**Saneamiento de Núcleos de Población de la Parroquia
de Báscones**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Autor: Frank Emilio Blanco Alvarez

Tutores: José Florentino Álvarez Antolín
Juan Elías Jares Barredo

Julio 2023

Dedicatoria

A mis padres.

Agradecimientos:

Agradezco a Dios por permitirme alcanzar esta meta.

A mi esposa Elizabeth por alentarme con amor a seguir hasta el final.

A mis padres Agustín y Margarita por reconfortarme en todo momento.

A mis tutores, Juan Elías Jares Barredo y José Florentino Álvarez Antolín, por su ayuda y consejos en la confección de este trabajo.

Al claustro de profesores del Máster.

A todos mis compañeros del máster, especialmente a Ana y Kenny, gracias muchachos por todo lo vivido este año.

A Jose Navias "El John", gracias hermano por toda tu ayuda.

A Bello, siempre dispuesto a ayudar cada vez que he necesitado de él.

A todos aquellos que de una forma u otra impulsaron la realización de este proyecto.

ÍNDICE

Resumen:.....	1
Introducción.....	2
Situación actual y necesidad de las obras a proyectar.....	1
Objetivo del proyecto.....	2
Justificación de la solución adoptada	3
Descripción de las obras	4
Población.....	5
Estudio de caudales	8
Estudio de Materiales.....	20
Presupuesto	41
Conclusiones.....	43
Bibliografía	44
Anexos	46

Resumen:

El presente proyecto tiene como objetivo la construcción de sistemas de saneamiento para las poblaciones de Fuexo, Berció y Nores, los pueblos pertenecen a la Parroquia de Báscones/Berció del consejo de Grado en Asturias. Como objetivo principal nos planteamos la mejora del sistema de saneamiento y asegurar la correcta gestión de las aguas residuales de ambas localidades.

Para el diseño de los colectores y alcantarillas se seguirán las normativas constructivas aplicables para el tratamiento de aguas residuales y se realizarán estudios previos del caudal y la calidad del agua, así como la capacidad y dimensiones de la alcantarilla.

El proyecto contempla la excavación del terreno, la instalación de los conductos y la construcción del resto de accesorios hidráulicos para la recogida de las aguas (pozos de registro, albañales, arquetas ciegas, etc.). Además del diseño en planta se hará una comparación exhaustiva de cuál es el material más apropiado para la construcción de la misma.

Estos sistemas de saneamiento permitirán el transporte eficiente del agua residual alas EDAR (depuradoras de aguas residuales) existentes.

Los saneamientos diseñados no se encuentran en zonas sensibles desde el punto de vista ambiental, por lo que no es necesario adoptar medidas extraordinarias durante la ejecución de las obras.

Los vertidos se realizarán en arroyos muy próximos al río Nalón, el más caudaloso de Asturias y por ello no se esperan impactos importantes. Será necesario comunicar al Organismo de Cuenca de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico (CHC) el incremento de caudales vertidos (autorización de vertido).

Introducción

El proyecto fundamentado pretende mejorar el saneamiento de varias poblaciones del municipio de Grado, de acuerdo con lo estipulado con el Plan Director de Saneamiento del Principado de Asturias 2020-2030.

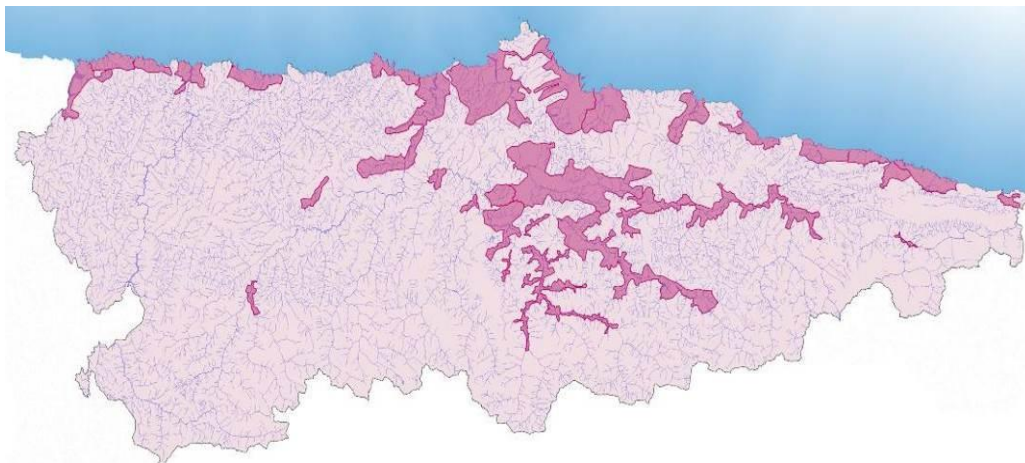
El Plan director establece las pautas en materia de saneamiento y depuración para cada uno de los núcleos poblacionales del Principado (más de 8.000), que se integran en los 78 municipios existentes.

En términos generales el Plan director propone las siguientes actuaciones en materia de recogida de aguas residuales y depuración:

1. Agrupaciones Urbanas de reporte a la Unión Europea. Estas agrupaciones de más de 2.000 habitantes recogen el agua de una o varias agrupaciones urbanas (el carácter del suelo calificado como urbano es fundamental) y de núcleos rurales próximos al suelo urbano y después de una malla de conducciones de alcantarillado el agua es transportada a una EDAR con un grado de tratamiento alto. Los resultados de depuración son enviados a la Unión Europea para su control. En Asturias el número de estas aglomeraciones es de 30, pero concentran la mayor parte de la población (más del 90 %). Un municipio (Oviedo, Gijón, etc.) puede pertenecer a varias aglomeraciones urbanas por tener suelo urbano que vierte a diferentes cuencas (Oviedo-San Claudio, Oviedo-Villapérez, Oviedo-Las Caldas, Gijón-Este, Gijón-Oeste). Igualmente, varios municipios pueden pertenecer a la misma aglomeración (Vegadeo y Castropol a lo aglomeración ría del Eo).
2. Agrupaciones Urbanas no reportables. Corresponden a núcleos de población con suelo urbano y posibles núcleos rurales próximos que vierten a una EDAR (estación depuradora de aguas residuales). Para ello existe un tramado de conducciones de alcantarillado.

3. Agrupaciones rurales. Consiste en varios núcleos rurales con una población de más de 100 habitantes (alguno de los núcleos) que agrupados vierten en una EDAR.
4. Sistemas rurales. Núcleos de población de más de 100 habitantes o de menos de 100 habitantes que disponen en la actualidad de una EDAR y/o un sistema de alcantarillado.
5. Sistemas individuales. En los núcleos rurales de menos de 100 habitantes, que no dispongan en la actualidad de alcantarillado ni EDAR se pretende sistemas de depuración individuales (por vivienda), que en general será fosas sépticas o equivalentes.

Ilustración no.1: Ámbito territorial aglomeraciones urbanas mayores de 2.000 habitantes equivalentes



Fuente: Plan Director de Saneamiento

6. Como vemos el Plan Director da una solución para cada núcleo de población del Principado de Asturias en materia del alcantarillado y depuración.
7. El Ayuntamiento de Grado, con base en el citado Plan Director de Saneamiento, pretende mejorar la recogida de aguas residuales de varios

núcleos de la parroquia de Báscones y otros. En concreto se pretende mejorar la recogida de aguas residuales de los núcleos de Fuexo, Berció y Nores, poblaciones situadas sobre la carretera nacional N-634, que en otro tiempo fue una arteria principal de comunicaciones de Oviedo con el suroccidente de Asturias (en estos momentos se está construyendo una autopista con un tramo activo entre Oviedo y La Doriga, que atraviesa el concejo de Grado).

Situación actual y necesidad de las obras a proyectar

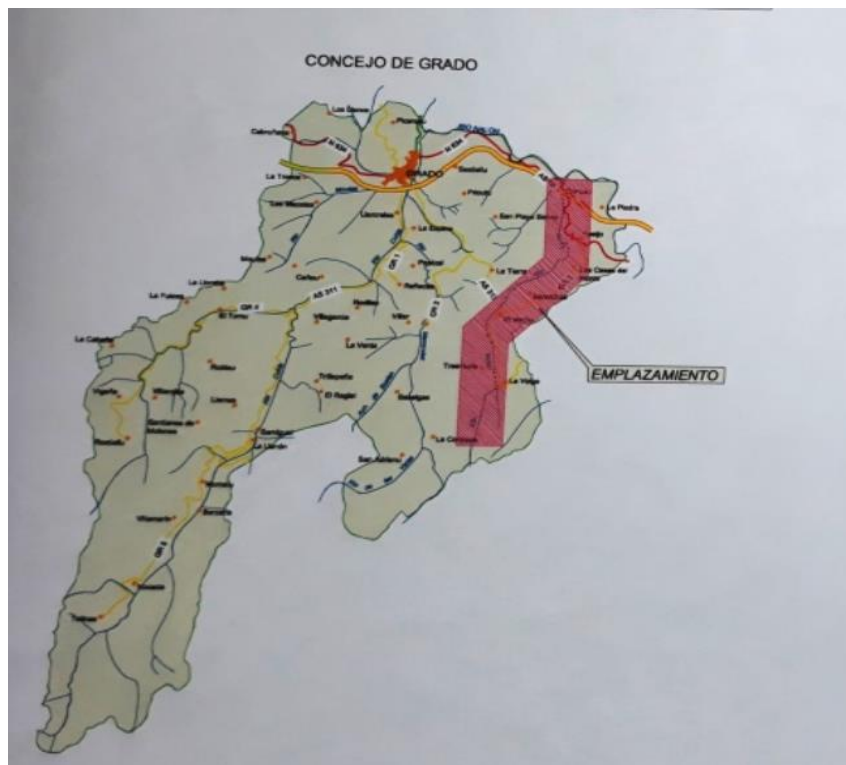
Como se expresó anteriormente, el objetivo de este proyecto es mejorar el sistema de saneamiento de la zona noroeste del municipio de Grado, que afecta a los núcleos de población de Fuexo, Berció y Nores.

La situación actual en materia de saneamiento es la siguiente:

1. Existe un colector general en la margen izquierda del río Sama de Grado que vierte en la EDAR de Llera todos los vertidos que se encuentra a su paso: Llera, Nalió, Somines, Báscones, Veiga Peridiellu, Barzana, Doró (mediante bombeo) y Sama de Grado.
2. Existe un sistema de alcantarillado no desarrollado para Fuexo y Berció con una EDAR (reja de desbaste+filtro biológico) que vierte en el Arroyo Fuexo en las proximidades del río Nalón.

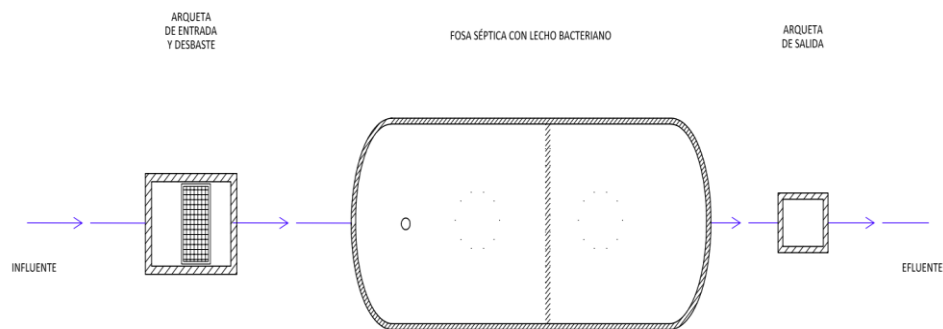
En el proyecto de saneamiento del río Sama y EDAR de Llera, ya contemplaba la incorporación de un colector en el margen derecho del río cuya población más importante es Nores.

Ilustración no.2: Saneamiento del río Sama (margen izquierda)



De acuerdo con el inventario de TRAGSATEC, la EDAR de Fuexo y Berció, tiene una capacidad para 156 habitantes equivalentes, más que suficiente para depurar el agua residual recogida por el sistema de saneamiento de este proyecto.

Ilustración no.3: Esquema de la EDAR de Fuexo y Berció



Fuente: TRAGSATEC

Objetivo del proyecto

El objetivo del proyecto es realizar el saneamiento de las poblaciones de Fuexo, Berció y Nores mediante una malla de red de alcantarillado que vierta mediante colectores de 400 mm de PVC compacto de la serie 4 en las depuradoras existentes de Llera y Fuexo/Berció. Las alcantarillas de recogida de las aguas residuales se realizarán en el mismo material y presión de trabajo, pero con diámetro 315 mm. Los diámetros en PVC y los plásticos en general son exteriores, por lo que, el diámetro interior depende de la serie o presión de trabajo de la tubería. En otros materiales (fundición dúctil, hormigón, etc.) los diámetros son exteriores.

El proyecto incluye la ejecución de los pozos de registros, la realización de las acometidas domiciliarias o albañales que sea necesario ejecutar, así como, las arquetas ciegas de conexión a la altura de las fachadas.

Igualmente se incluye la demolición y posterior reposición de pavimentos de aglomerado asfáltico, hormigón en masa o solados de baldosa; y la reposición de servicios afectados durante la ejecución (agua potable, alumbrado, electricidad, etc.)

El proyecto no incluye la ejecución de nuevas estaciones depuradoras de aguas residuales, dado que las existentes, de acuerdo con la auditoría realizada por la empresa pública TRAGSA, cumplen los requerimientos establecidos.

Justificación de la solución adoptada

Se han planteado dos alternativas para poder dar servicio a la zona afectada. La primera consiste en conectar los tres pueblos y llevarlos a la EDAR existente en la zona de Berció, pero tras un análisis detallado de las condiciones topográficas, se determinó que esta solución no sería viable.

El principal desafío identificado para la conexión es la diferencia significativa de altitud entre las ubicaciones. Tras realizar estudios topográficos pertinentes, se determinó que la altitud de Nores es considerablemente más baja en comparación con Fuexu y Berció. Esto implica que el flujo de aguas residuales tendría que ser mediante bombeo, y, por tanto, se requiere un consumo energético considerable, así como, un mayor costo y complejidad operativa asociados a la implementación y el mantenimiento de sistemas de bombeo a largo plazo.

Ante esta problemática se plantea una segunda alternativa que supone un giro total sobre el planteamiento inicial y que consiste en llevar a cabo la conexión de Nores hacia la EDAR de Llera existente (que recoge en la actualidad varias poblaciones de la margen izquierda del río Sama), la cual ha sido diseñada para manejar los caudales estimados de Nores. Esta solución estaría basada en el principio de gravedad, con el objetivo de evitar los sistemas de bombeo, lo que implica el uso de pendientes naturales y el diseño cuidadoso de la tubería para garantizar un flujo continuo y eficiente de las aguas hacia la EDAR correspondiente.

Descripción de las obras

Las obras de saneamiento funcionarán todas por gravedad y consisten en lo siguiente:

Fuexu y Berció:

- Se ejecutará dos colectores principales de PVC de 400 mm, SN4, estos tendrán una longitud de 441,26 m y 872,94 m, y tendrá pendientes variables adaptándose al terreno por el que discurre. Contaran estos colectores con 18 y 35 pozos de registro respectivamente en todos los cambios de alineación, así como en los puntos de acometidas
- A los dos colectores principales verterán 8 alcantarillas que recogerán el agua residual de las viviendas existentes en estas poblaciones. Estas alcantarillas de recogida de aguas se ejecutarán en PVC 315 mm SN4. Las viviendas se conectarán al sistema de alcantarillas, siempre que sea posible, utilizando pozos de registro. En casos excepcionales podrán utilizarse piezas especiales (injertos) para conexión directa sobre la alcantarilla. En todo caso a la salida de la vivienda se construirá una arqueta ciega o revisable que permita la inspección de la conexión. El tubo de acometida o albañal para la conexión de cada vivienda o tendrá un diámetro mínimo de 160 mm.

Nores:

- Se ejecutará un colector principal de PVC de 400 mm, SN4, este tendrá una longitud de 1.620,02 m, y tendrá pendientes variables adaptándose al terreno por el que discurre. Tendrá este colector 65 pozos de registro en todos los cambios de alineación, así como en los puntos de acometidas. Al igual que en el caso anterior existirá un sistema de alcantarillas para la recogida de las aguas residuales de las viviendas y

un diseño de acometidas domiciliarias o albañales igual a lo referido para Fuexo y Berció.

En el presupuesto de las obras se puede conocer las mediciones estimadas de cada una de las unidades que constituyen los sistemas de saneamiento proyectados.

Población

Para el cálculo de los saneamientos se parte de la población existente en la actualidad en los núcleos a sanear.

En principio se considera, que el agua de lluvia que entra en los colectores es muy limitada, dado el carácter rural de las poblaciones. No obstante, se tiene en cuenta en el diseño, una cantidad de agua de lluvia. Se realiza el cálculo de la población a partir de los datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), nomenclátor poblacional.

Fuexu:

Se evalúa la población con las bases de datos del INE y del SADEI. Consultado el censo INE, se observa que desde el año 2000 al 2022, la población ha sufrido una disminución relevante, pasando de los 103 habitantes en el año 2000 a 79 habitantes en el año 2022, lo que supone una caída de población de casi un 24 %.

Vistos los datos y evaluado el descenso de población del ámbito rural de Asturias en general, particularmente en Grado, se adopta como población actual y futura la misma:

$$\mathbf{P. actual = P. futura = 79 habitantes}$$

Berció:

Se evalúa la población con las bases de datos del INE y del SADEI. Consultado el censo INE desde el año 2000 al 2022, se observa que la población se ha mantenido regular durante estas últimas dos décadas, contando con una población de 98 habitantes en el año 2022. Se adopta, por tanto, como población actual y futura la misma:

$$\mathbf{P. actual = P. futura = 98 habitantes}$$

Nores:

De igual forma, se evalúa la población a partir de las bases de datos del INE y del SADEI. Una vez consultado el censo INE desde el año 2000 al 2022, se observa que la población ha sufrido un descenso, pasando de 35 habitantes en el año 2000 a 28 habitantes en el año 2022, lo que supone una caída de población de casi un 20 %. Vistos los datos y evaluado el descenso de población del ámbito rural de Asturias en general y en particular para Grado, se adopta como población actual y futura la misma:

$$\mathbf{P. actual = P. futura = 28 habitantes}$$

Ilustración no.4: Población del Padrón

INEbase																										
Nomenclátor: Población del Padrón Continuo por Unidad Poblacional a 1 de enero																										
			Año 2000	Año 2001	Año 2002	Año 2003	Año 2004	Año 2005	Año 2006	Año 2007	Año 2008	Año 2009	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016	Año 2017	Año 2018	Año 2019	Año 2020	Año 2021	Año 2022	
Provincia	Municipio	Unidad Poblacional	Población	Población	Población	Población	Población	Población	Población	Población	Población	Población	Población	Población	Población	Población	Población	Población	Población	Población	Población	Población	Población	Población	Población total	
33 Asturias	026 Grado	020400 FUEXU	103	102	97	99	100	102	103	94	95	92	100	98	96	94	93	97	98	96	93	92	89	85	79	
33 Asturias	026 Grado	020700 NORES	35	33	37	32	32	34	35	34	37	32	28	29	27	32	33	35	35	28	26	23	26	27	28	
33 Asturias	026 Grado	040000 BERCIO	93	98	95	87	78	81	85	85	96	95	105	112	102	101	100	100	97	94	92	97	96	96	98	



Báscones
221 habitantes



Año: 2022 | Ámbito territorial: Grado | Parroquia: Báscones | Entidad: Selección

Toponimia: INE | Pdo. Asturias

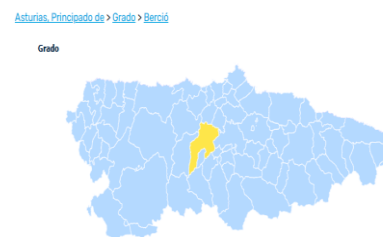
Enlaces: Información estadística | Descargar datos

Datos físicos

Datos de población

Entidades

Báscones	Ambos sexos	Hombres	Mujeres
> Total	221	112	109
> Báscones	12	6	6
> Belandres	20	9	11
> Borondés	36	23	15
> Casas del Monte, Las	16	11	7
> Casucas, Las	3	2	1
> Fuexu	79	35	44
> Nalió	23	12	11
> Nores	28	14	14



Berció
98 habitantes



Año: 2022 | Ámbito territorial: Grado | Parroquia: Berció | Entidad: Selección

Toponimia: INE | Pdo. Asturias

Enlaces: Información estadística | Descargar datos

Datos físicos

Datos de población

Entidades

Berció	Ambos sexos	Hombres	Mujeres
> Total	98	53	45
> Llau, El	65	37	28
> Vallina, La	33	16	17

Estudio de caudales

A continuación, se calculan los caudales de aguas residuales con el fin de definir los caudales de proyecto para el diseño de los colectores y las estructuras hidráulicas.

Los caudales a definir serán los derivados de la población. No se ha tenido en cuenta el comercio (industria) no hay, ni la ganadería por ser insignificante. Las aguas pluviales no serán recogidas por el sistema de saneamiento, drenándose a través de escorrentía hacia las cotas bajas de la localidad, por donde discurre rodeando la localidad el río Nalón. No obstante, en el cálculo del caudal punta se tiene en cuenta una posible afluencia de agua de lluvia.

En primer lugar, se definen los procedimientos de cálculo, y a continuación se resumen los resultados obtenidos al final del capítulo.

Caudales de aguas residuales domésticas

Para la determinación de los caudales se ha utilizado como base el documento “Especificaciones técnicas básicas para proyectos de conducciones generales de saneamiento” publicado en diciembre de 1995 por la entonces Confederación Hidrográfica del Norte. Según dicho documento, el caudal medio en litros/segundo se ha obtenido con una dotación de 250 litros/habitante y día para el año actual y de 350 litros/habitante y día para el año horizonte (Norte, 1995).

Caudal Medio:

- Pa: Población actual
- Ph: Población horizonte
- QD_m^a: Caudal de aguas residuales domésticas medio actual

$$QD_m^a = \frac{250 \times P_a}{86.400} \text{ l/seg}$$

- QD_m^h : Caudal de aguas residuales domésticas medio horizonte

$$QD_m^h = \frac{350 \times P_h}{86.400} \text{ l/seg}$$

Caudal Punta:

Se obtiene a partir de las siguientes fórmulas, aplicables tanto para el año actual como para el año horizonte.

Para caudales medios mayores de unos 2 l/seg.

$$QD_p = QD_m + 2.6(QD_m)^{0.7}$$

Para caudales medios menores de unos 2 l/seg.

$$QD_p = 5.5(QD_m)^{0.2}$$

Caudal Mínimo:

El caudal mínimo se calcula como el 50% del caudal medio.

$$QD_{min} = 0,5 \times QD_m$$

Gráfico 1: Caudal Actual

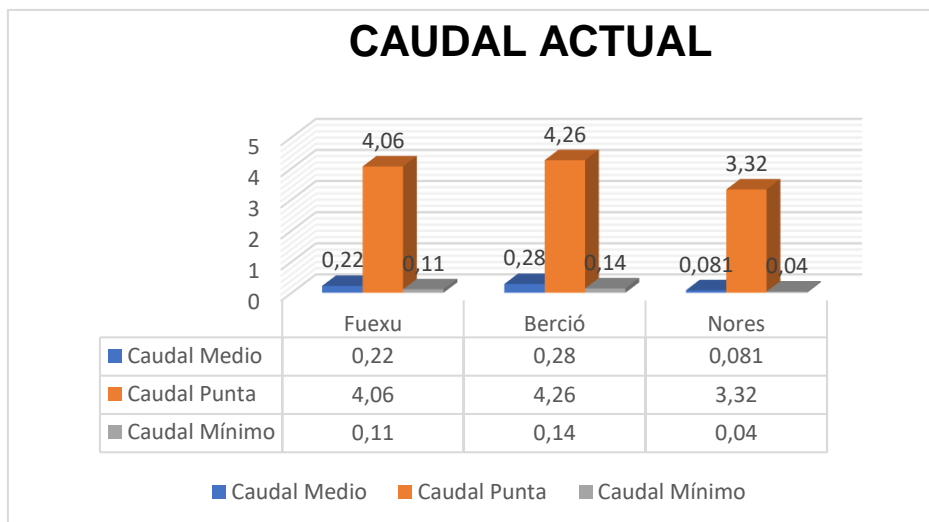
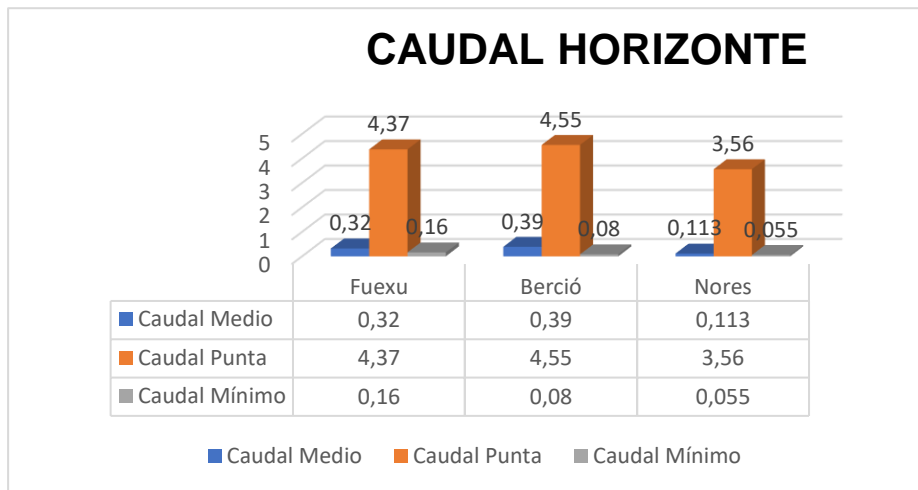


Gráfico 2: Caudal Horizonte



Caudales de aguas residuales industriales

Como ya se dijo, no se recogerán caudales industriales en el colector de este proyecto.

Caudales pluviales

Para la determinación de los caudales pluviales se ha utilizado como base el documento Ernest W. Steel "Abastecimiento de agua y Alcantarillado". Existen otros métodos de cálculo más exactos, pero exigen disponer de mucha más información. Dado que las aguas pluviales en principio no deberían incorporarse al sistema de saneamiento, este método simplificado de este autor norteamericano nos proporciona de una forma simple la cantidad de agua que podría incorporarse accidentalmente al sistema de saneamiento en el escenario de caudal punta. Para ello se han empleado varias fórmulas para determinar el caudal del agua superficial de lluvia en poblaciones relativamente pequeñas cuando faltan los datos necesarios para la utilización del método racional. Una de ellas es la fórmula de Burkli-Ziegler (Steel, 1985).

$$Q = 0.0022 \text{ ARC} \sqrt[4]{\frac{S}{A}}$$

“Q” es el agua que recoge la alcantarilla en litros por segundo. “A” la superficie desaguada en metros cuadrados. “S” la pendiente de la superficie en metros por 1000m. “R” la intensidad media de lluvia en mm por hora, durante el aguacero más fuerte y “C” un coeficiente que depende de la impermeabilidad.

El coeficiente de escorrentía (C) depende en gran parte de la impermeabilidad del terreno por el que el agua circula. Este coeficiente depende del agua que se infiltra en el terreno y otras superficies porosas, de la que se pierde por evaporación (algo se evapora incluso durante los aguaceros) y del agua que se acumula en los charcos y depresiones del terreno, tanto en las superficies permeables como en las impermeables. Entre los valores del porcentaje de impermeabilidad para varios tipos de superficies, se emplean frecuentemente los dados por Kuichling, los cuales se incluyen a continuación.

Tabla no.1. Coeficientes de Escorrentía de Kuichling para varios tipos de suelos

TIPO DE SUPERFICIE	COEFICIENTE
SUPERFICIE DE TECHO IMPERMEABLE.....	0.70 - 0.95
PAVIMENTOS DE ASFALTOS EN BUEN ESTADO.....	0.85 - 0.90
PAVIMENTOS DE PIEDRA, LADRILLO Y BLOQUES DE MADERA CON JUNTAS CEMENTADAS IMPERMEABLES.....	0.75 - 0.85
LOS MISMO CON JUNTAS NO CEMENTADAS.....	0.50 - 0.70
PAVIMENTOS DE BLOQUE INFERIOR CON JUNTAS NO CEMENTADAS.....	0.40 - 0.50
CARRETERAS DE MACADAM.....	0.25 - 0.60
CARRETERAS Y PASEOS CON CALZADA DE GRAVA.....	0.15 - 0.30
PASEOS, JARDINES, PRADOS Y PRADERAS, SEGÚN LA INCLINACION DE LA SUPERFICIE Y LA NATURALEZA DEL SUELO.....	0.05 - 0.25

Fuente: Ernest W. Steel “Abastecimiento de agua y Alcantarillado”

Para la obtención de las precipitaciones diarias máximas correspondientes a un período de retorno considerado se han seguido las siguientes pautas:

- 1) Localizar en los planos el punto geográfico deseado con la ayuda del plano-guía (véase a continuación).
- 2) Estimar mediante las isolíneas presentadas el coeficiente de variación C_v (líneas rojas con valores inferiores a la unidad) y el valor medio de la máxima precipitación diaria anual (líneas moradas).
- 3) Para el periodo de retorno deseado T y el valor de C_v , obtener el factor de amplificación K_T mediante el uso de la tabla K_T
- 4) Realizar el producto del factor de amplificación K_T por el valor medio de la máxima precipitación diaria anual obteniendo la precipitación diaria máxima para el periodo de retorno deseado P .

Ilustración no5: Valores de C_p y C_v .



Tabla no2: Coeficientes de K_t

C_v	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS (T)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0.30	0.935	1.194	1.377	1.625	1.823	2.022	2.251	2.541
0.31	0.932	1.198	1.385	1.640	1.854	2.068	2.296	2.602
0.32	0.929	1.202	1.400	1.671	1.884	2.098	2.342	2.663
0.33	0.927	1.209	1.415	1.686	1.915	2.144	2.388	2.724
0.34	0.924	1.213	1.423	1.717	1.930	2.174	2.434	2.785
0.35	0.921	1.217	1.438	1.732	1.961	2.220	2.480	2.831
0.36	0.919	1.225	1.446	1.747	1.991	2.251	2.525	2.892
0.37	0.917	1.232	1.461	1.778	2.022	2.281	2.571	2.953
0.38	0.914	1.240	1.469	1.793	2.052	2.327	2.617	3.014
0.39	0.912	1.243	1.484	1.808	2.083	2.357	2.663	3.067
0.40	0.909	1.247	1.492	1.839	2.113	2.403	2.708	3.128

Fuente: Máximas luvias diarias en la España peninsular"

Los valores de Kt, se obtienen según la ilustración no.6, con un valor de 1.961 para un período de retorno de 50 años, período que habitualmente se utiliza en este tipo de proyectos que coincide igualmente con el horizonte temporal esperado para el funcionamiento del sistema de saneamiento.

La lluvia máxima será $1,961 \times 55 = 107,86$ mm/día. Para hacerlo por hora $107,86/24 = 4,49$ mm/h

Tabla no3: Caudales Pluviales

PUEBLO O CIUDAD	R	A	S	C	Q
FUEXU	4,49 mm/h	36.300 m2	55 m	0,05	3,5 l/s
BERCIÓ	4,49 mm/h	20.000 m2	45 m	0,05	1,78 l/s
NORES	4,49 mm/h	12.500 m2	25 m	0,05	1,3 l/s

Una vez obtenido el caudal punta, como suma del caudal poblacional y del caudal de lluvia (infiltración), se procede a realizar un predimensionamiento de las conducciones, desde el punto de vista hidráulico. En este punto es preciso señalar que el dimensionamiento final va a depender de muchos más factores además del hidráulico. Por ejemplo, por cuestiones de mantenimiento ningún colector puede tener un diámetro interior inferior a 300 mm, dado que, en caso contrario no se podría introducir los sistemas de limpieza si ocurren atascos. Para el dimensionamiento grosero, se utiliza un programa realizado en Visual Basic que resuelve la fórmula de Darcy-Weisbach (las iteraciones permiten afinar el factor de fricción de Darcy):

Ilustración no.6: Fórmula de Darcy-Weisbach

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{u^2}{2g}$$

Símbolo	Nombre	Unidad
h_f	Pérdida de carga debida a la fricción	m
f	Factor de fricción de Darcy	
L	Longitud de la tubería	m
D	Diámetro interno de la tubería	m
u	Velocidad media del fluido	m / s
g	Aceleración de la gravedad ($\approx 9,80665 \text{ m / s}^2$)	m / s ²

Fuente: Wikipedia

Los cálculos se realizan a tubería llena, como si se tratara de un sistema de abastecimiento. En los saneamientos el agua discurre en lámina libre con llenado parcial de la conducción, por lo que la situación de tubería llena sería el máximo caudal que pudiera transportar la conducción de saneamiento.

Ilustración no.7: Cálculos hidráulicos

Fuexu y Berció

Nores

The screenshot shows the 'Calculos hidráulicos' software interface. The 'Cálculo del diámetro' dropdown is set to 'Fuexu y Berció'. The 'Calcular' button is highlighted. The input fields are: Altura (m.c.a.) = 50, Longitud (m) = 872, and Caudal (l/s) = 14. Under 'Tipo de tubería', 'PVC/PE' is selected. The 'RESULTADOS' section displays: Diámetro (mm) = 87.4307508382878, Altura (m.c.a.) = 50, Caudal (l/s) = 14, Velocidad (m/s) = 2.33190098065627, Rugosidad (mm) = 0.03, N° de Reynolds = 190541.919270391, and N° iteraciones = 13.

The screenshot shows the 'Calculos hidráulicos' software interface. The 'Cálculo del diámetro' dropdown is set to 'Nores'. The 'Calcular' button is highlighted. The input fields are: Altura (m.c.a.) = 25, Longitud (m) = 1620, and Caudal (l/s) = 46. Under 'Tipo de tubería', 'PVC/PE' is selected. The 'RESULTADOS' section displays: Diámetro (mm) = 178.458969485181, Altura (m.c.a.) = 25, Caudal (l/s) = 46, Velocidad (m/s) = 1.83904160940083, Rugosidad (mm) = 0.03, N° de Reynolds = 306722.869583217, and N° iteraciones = 13.

Se ha utilizado la pendiente media del tramo obtenida de la cartografía disponible. Téngase en cuenta que para realizar un cálculo más exacto debería disponerse de una topografía del terreno y calcular el tramo situado entre pozos más desfavorable para obtener el diámetro crítico.

Suponiendo que la pendiente media utilizada es la que se va a encontrar a lo largo del tramo (cuestión que se puede apreciar en la cartografía disponible), se observa que el predimensionamiento indica que conducciones de 100 y 150 mm serían suficientes para el transporte de las aguas residuales a las EDAR.

En este momento se toma una decisión sobre el diámetro a utilizar, para posteriormente comprobar el funcionamiento hidráulico. Se ha mencionado que el diámetro mínimo por cuestiones de mantenimiento es de 300 mm. Además de esto, se tienen ciertas incertidumbres sobre las aportaciones de agua al sistema de saneamiento (es bastante habitual que los imbornales de los viales y algunos pequeños arroyos de fincas acaben en el sistema de saneamiento de forma

irregular). Es por ello que se parte de colectores generales de 400 mm y de 315 mm para el resto de los ramales de alcantarilla.

Con estos diámetros se suponen varios escenarios: 3 pendientes distintas en cada colector y 3 caudales diferentes: mínimo, medio y máximo. Con estos supuestos se ha confeccionado una tabla para comprobar las velocidades de circulación del agua y los calados de tubería (altura de la lámina de agua desde la generatriz inferior del tubo).

En un proyecto constructivo, estas comprobaciones se deberían realizar en cada tramo existente entre pozos de registro, pero en este caso no se dispone de una topografía. No obstante, al trabajar con 3 posibles pendientes extremas se cubre la totalidad de las situaciones que se pueden dar en un proyecto constructivo.

Para realizar el cálculo hidráulico se definen previamente los conceptos a utilizar en la determinación del diámetro de la tubería:

Donde:

- I = Pérdidas de carga en m/m. En el caso de tuberías en las que el agua circula en régimen de lámina libre, es igual a la pendiente.
- V = Velocidad del agua en el interior de la tubería m/seg.
-

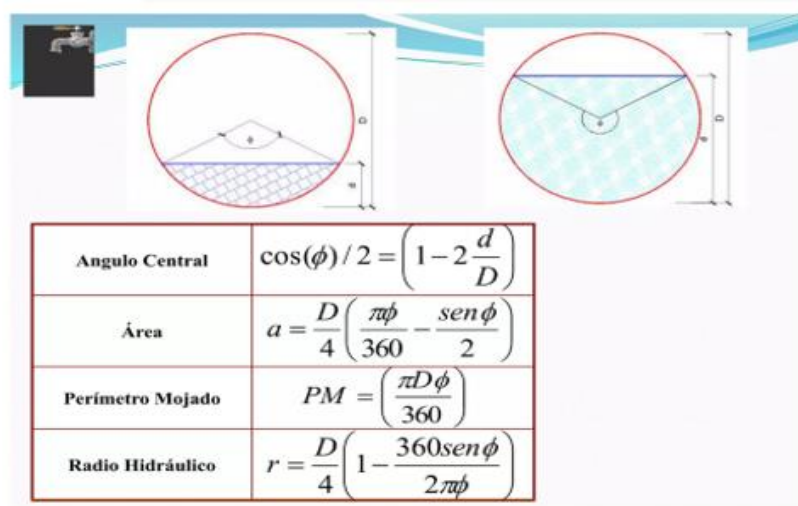
Velocidades recomendables:

- $V_{\text{máx}} = 2,50$ m/seg. Evita el efecto de la abrasión.
- $V_{\text{mín}} = 0,50$ m/seg. Evita la sedimentación.
- η = Coeficiente de la rugosidad de Manning.

Para el PVC (Policloruro de Vinilo); $\eta = 0,008$

R_h = Radio hidráulico. Cociente entre sección mojada y perímetro mojado de la tubería. Se mide en m.

Ilustración no.8: Cálculos hidráulicos



Para sección parcialmente llena

$$R = \frac{D}{4} - \frac{D \cdot \text{sen}(\theta)}{4\theta}$$

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

$$A = \frac{D^2}{8} (\theta - \text{sen}(\theta))$$

$$Q = v \cdot A$$

Para sección llena

$$R = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{D}{4}$$

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

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$

$$Q = v \cdot A$$

Método de Newton-Raphson para la solución de la ecuación de θ

- La función de θ se puede expresar como:

$$f(\theta) = \frac{8Qn}{D^2 S^{0.5} R_h^{2/3}} + \sin \theta - \theta = 0$$
- Con $R_h = \left(\frac{D}{4} - \frac{D \sin \theta}{4\theta}\right)$
- La derivada de la función es:

$$f'(\theta) = \frac{4Qn}{3DS^{0.5} R_h^{5/3}} \left(\frac{\theta \cos \theta - \sin \theta}{\theta^2}\right) + \cos \theta - 1$$
- Así, el procedimiento iterativo quedaría:

$$\theta_{\text{nvo}} = \theta - \frac{f(\theta)}{f'(\theta)}$$

Se calculan los colectores principales de 400 mm con 3 supuestos de pendientes por colector. Primero, se calculan los caudales y las velocidades a sección llena, aplicando la fórmula de Manning, con un procedimiento similar al utilizado con el programa de Visual Basic (fórmula de Darcy-Weichbach).

Tabla no.4: Caudales a sección llena

Material	PVC SN4			
Diámetro (mm)	400			
Espesor (mm)	9,8			
Diámetro interior (mm)	380,4			
Coefficiente de Manning	0,008			
Colectores	Caudal sección llena			
Tramo	Pendiente (m/m)	Rh (m)	Velocidad	Caudal (m3/s)
Fuexo 1	0,12	0,0951	9,021684752	1,025317914
Fuexo 2	0,06	0,0951	6,379294466	0,72500925
Fuexo 3	0,03	0,0951	4,510842376	0,512658957
Barció 1	0,14	0,0951	9,744533257	1,107469922
Berció 2	0,07	0,0951	6,890425545	0,783099492
Berció 3	0,03	0,0951	4,510842376	0,512658957
Nores 1	0,12	0,0951	9,021684752	1,025317914
Nores 2	0,07	0,0951	6,890425545	0,783099492
Nores 3	0,05	0,0951	5,823472467	0,661839867

Una vez que obtenidos los resultados a sección llena (caudal y velocidad) se introducen los caudales mínimos, medios y máximos que pueden discurrir en las conducciones con el objetivo de obtener velocidades y caudales en estos 3 supuestos. Una forma de hacerlos sería la utilización de las tablas de Thormann-Franke.

Entrando con la relación de caudales de la 3ª columna (caudal punta/caudal a tubo lleno, caudal medio/caudal a tubo lleno o caudal mínimo/caudal a tubo lleno) se obtendría la relación de velocidades o la relación entre el calado y el diámetro.

Ilustración no.9: Tablas de Thorman-Franke

0,000	0,00	0,000	0,158	0,55	0,056	0,268	0,74	0,160	0,613	1,06	0,680
0,023	0,17	0,001	0,159	0,56	0,057	0,272	0,75	0,165	0,620	1,06	0,690
0,032	0,21	0,002	0,160	0,56	0,058	0,276	0,76	0,170	0,626	1,06	0,700
0,038	0,24	0,003	0,162	0,56	0,059	0,281	0,76	0,175	0,633	1,06	0,710
0,044	0,26	0,004	0,163	0,57	0,060	0,285	0,77	0,180	0,640	1,07	0,720
0,049	0,28	0,005	0,164	0,57	0,061	0,289	0,77	0,185	0,646	1,07	0,730
0,053	0,29	0,006	0,166	0,57	0,061	0,293	0,78	0,190	0,653	1,07	0,740
0,057	0,30	0,007	0,167	0,57	0,062	0,297	0,78	0,195	0,660	1,07	0,750
0,061	0,32	0,008	0,168	0,58	0,063	0,301	0,79	0,200	0,667	1,07	0,760
0,065	0,33	0,009	0,170	0,58	0,064	0,309	0,80	0,210	0,675	1,07	0,770
0,068	0,34	0,010	0,171	0,58	0,065	0,316	0,81	0,220	0,682	1,07	0,780
0,071	0,35	0,011	0,172	0,58	0,066	0,324	0,82	0,230	0,689	1,07	0,790
0,074	0,35	0,012	0,174	0,59	0,068	0,331	0,83	0,240	0,697	1,07	0,800
0,077	0,36	0,013	0,175	0,59	0,069	0,339	0,84	0,250	0,701	1,08	0,805
0,080	0,37	0,014	0,176	0,59	0,070	0,346	0,85	0,260	0,705	1,08	0,810
0,083	0,38	0,015	0,177	0,59	0,071	0,353	0,86	0,270	0,709	1,08	0,815
0,086	0,39	0,016	0,179	0,59	0,072	0,360	0,86	0,280	0,713	1,08	0,820
0,088	0,39	0,017	0,180	0,60	0,073	0,367	0,87	0,290	0,717	1,08	0,825
0,091	0,40	0,018	0,181	0,60	0,074	0,374	0,88	0,300	0,721	1,08	0,830
0,093	0,41	0,019	0,182	0,60	0,075	0,381	0,89	0,310	0,725	1,08	0,835
0,095	0,41	0,020	0,183	0,60	0,076	0,387	0,90	0,320	0,729	1,07	0,840

Fuente: Sistemas de PVC para saneamientos

Con el objetivo de automatizar el cálculo, en lugar de utilizar las tablas anteriores se introducen las fórmulas de la tabla no.8 y mediante el método iterativo de Newton-Raphson con una hoja de cálculo, se obtiene el mismo resultado.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para los 3 supuestos de caudales:

Tabla no.5: Caudal mínimo

Caudal mínimo					
Q min	Theta (min)	Rh	f(theta)	f'(theta)	Theta (min)
0,00011	0,370342707	0,002159027	0	-0,429413132	0,370342707
0,00011	0,401363141	0,002532827	0	-0,503185713	0,401363141
0,00011	0,435010272	0,002971106	0	-0,589499526	0,435010272
0,00016	0,396820124	0,002476262	0	-0,492062871	0,396820124
0,00016	0,430088158	0,00290487	0	-0,576475073	0,430088158
0,00016	0,474628896	0,003530568	0	-0,699288458	0,474628896
0,00055	0,315361887	0,001568512	0	-0,312554872	0,315361887
0,00055	0,335684801	0,00177601	0	-0,353672721	0,335684801
0,00055	0,349043016	0,001919293	0	-0,382007458	0,349043016

Tabla no.6: Caudal medio

Caudal medio					
Q med	Theta (med)	Rh	f(theta)	f'(theta)	Theta (med)
0,00032	0,474634661	0,003530653	0	-220,8858265	0,474634661
0,00032	0,514544539	0,004141182	0	-91,50051193	0,514544539
0,00032	0,557881089	0,004856817	0	-37,95084515	0,557881089
0,00039	0,488162779	0,003732351	0	-241,2853219	0,488162779
0,00039	0,529235131	0,004377665	0	-99,93273222	0,529235131
0,00039	0,584279059	0,005319293	0	-34,08175038	0,584279059
0,000113	0,37265297	0,00218586	0	-388,8650481	0,37265297
0,000113	0,396706942	0,002474861	0	-196,014639	0,396706942
0,000113	0,412521725	0,002674403	0	-127,8101598	0,412521725

Tabla no.7: Caudal máximo

Caudal máximo					
Q max	Theta (max)	Rh	f(theta)	f'(theta)	Theta (max)
0,02306	1,310860874	0,024989383	0	-0,747986115	1,310860874
0,02306	1,428901524	0,029214265	0	-0,875316251	1,428901524
0,02306	1,559608988	0,034126994	0	-1,04442837	1,559608988
0,01637	1,182516819	0,020664756	0	-0,623966558	1,182516819
0,01637	1,287403257	0,024176868	0	-0,729007129	1,287403257
0,01637	1,430308481	0,029265911	0	-0,89771219	1,430308481
0,02256	1,303777534	0,024743038	0	-0,741021778	1,303777534
0,02256	1,393973027	0,027941492	0	-0,836580281	1,393973027
0,02256	1,453944996	0,03013779	0	-0,905816522	1,453944996

Tabla no.8: Velocidades y Calados

Velocidades			Calado		
Vmin(m/s)	Vmed(m/s)	Vmax(m/s)	Hmin(mm)	Hmed(mm)	Hmax(mm)
0,723334838	1,004008317	2,640724128	3,251522954	5,330895852	23,25862945
0,568926246	0,789590369	2,074471868	3,817134639	6,25993305	27,38006739
0,447455081	0,620924046	1,629223445	4,481327906	7,351670231	32,2522829
0,856061852	1,125370856	2,616613752	3,731493696	5,637579271	20,36064845
0,673302361	0,885021942	2,055930415	4,380878672	6,620368717	23,95875364
0,50199612	0,659740648	1,530542073	5,330766959	8,058796921	29,25264233
0,584555638	0,729315727	2,308431223	2,359602891	3,292098837	18,90441822
0,485015879	0,605098759	1,913900503	2,672785434	3,72937237	21,45048572
0,431673965	0,538533766	1,702453008	2,889188298	4,031567417	23,21377417

Con las 3 tablas anteriores se alcanzan los resultados que se pretendían obtener: velocidades en los 3 casos y calado.

Una vez terminado el cálculo de las velocidades y del calado, se aprecia que, en el caso del último cumple para el diámetro escogido, pero se cuenta con la misma suerte con respecto a las velocidades, debido a que, tanto las mínimas como las máximas exceden el valor permisible.

De los resultados obtenidos se puede apreciar que en el caso de las velocidades mínimas y máximas se estaría en el límite de lo recomendable. Para solucionar esta eventual problemática habría que recurrir a determinadas soluciones:

1. Para velocidades mínimas anormalmente bajas se podría intentar el incrementar la pendiente de dichos tramos (mayor excavación), siempre y cuando se pueda recuperar ese exceso de pendiente de la conducción en los siguientes tramos. También se podría recurrir a cámaras de descarga, Otra solución sería la realización de mantenimientos de limpieza más frecuentes.
2. Para velocidades máximas anormalmente bajas se debería realizar las actuaciones de instalación contrarias a los anteriormente dicho. Utilización de menores pendientes con la colocación de pozos de resalto, en donde las caídas bruscas se realizan en el interior del pozo (véase los planos constructivos).

Estudio de Materiales

Es importante considerar ciertas demandas sociales y medioambientales en el desarrollo de las instalaciones hidráulicas en general, especialmente aquellas relacionadas con el sistema de saneamiento de aguas residuales.

Los requisitos mencionados han tenido un impacto significativo en el desarrollo de sistemas de tuberías para saneamiento. En estos sistemas tanto la composición y forma de los tubos como el diseño de los componentes de la red se han orientado hacia la consecución de instalaciones más herméticas duraderas y con menor coste de operación. Esta optimización de las

características de la instalación se logra utilizando materiales que reducen el consumo energético y por ende las emisiones de CO₂ durante todo el ciclo de vida de los componentes. En resumen, la selección de los materiales utilizados en las redes de saneamiento también debe contribuir a un desarrollo sostenible teniendo en cuenta las necesidades futuras.

Se clasifican los materiales en dos grupos principales tal y como muestra la siguiente tabla:

Tabla no.9: Clasificación de materiales

MATERIALES RÍGIDOS	MATERIALES PLÁSTICOS	
Hormigón en masa	PVC liso compacto	PE liso compacto
Hormigón armado	PVC liso alveolar	PE corrugado
Fibroceso	PVC liso multicapa	PP corrugado
Gres vitrificado	PVC corrugado	PRFV filament winding
Fundición nodular	PVC acostillado	PRFV centrifugado
Fundición dúctil	PVC helicoidal	Hormigón polímero

Fuente: Catálogo de Sistema SANECOR

Una primera clasificación sería la que distingue materiales rígidos de materiales flexibles, ambos con sus ventajas e inconvenientes. Los primeros se refieren básicamente a materiales convencionales, usados desde hace ya mucho tiempo, mientras que los segundos se corresponden con materiales plásticos que son los que mayor desarrollo han experimentado en las últimas décadas (SANECOR, 2022).

De todos los materiales relacionados en la tabla anterior, sólo unos pocos han ido destacando a nivel nacional por su buena relación calidad/coste.

Así, por ejemplo, el hormigón en masa, siendo muy barato, está cayendo en desuso por su baja resistencia mecánica y sus problemas de instalación. Las tuberías de gres o fundición, tienden a desaparecer por su alto coste. Las tuberías de fibrocemento dejaron de fabricarse al prohibirse el uso del amianto, aunque aún siguen teniendo una presencia muy importante en las redes existentes. Las tuberías de PVC acostilladas, alveoladas, o multicapa, han perdido presencia en España, al no resultar suficientemente competitivas. Por último, hay tuberías que por su alto coste se utilizan solo en aplicaciones

especiales, como es el caso de las de polietileno compacto, que se limitan en general a emisarios submarinos, o las de hormigón polímero, compuestas de resina de poliéster reforzada con áridos, solo usadas como tuberías de hinca (SANECOR, 2022).

El texto anterior corresponde a un fabricante de tubería plástica extrusionada (lógicamente no es imparcial en sus conclusiones), pero puede ser indicativo de la problemática de cada una de las tuberías, menos del propio fabricante que hace las afirmaciones.

A continuación, se realiza un análisis de las conducciones que existen en el mercado tomando como referencia los comentarios de catálogos de fabricantes y opiniones de profesionales del sector, ventajas e inconvenientes:

Tubos de hormigón de sección circular sin camisa de chapa

Se pueden establecer varias clasificaciones atendiendo al uso que de ellas se haga o a su configuración constructiva (Trujillo, 2008)

Según la presión existente en el interior de la conducción se tiene:

- Tuberías para conducciones sin presión.
- Tuberías para conducciones a presión.

Según su constitución:

- Tubos de hormigón en masa.
- Tubos de hormigón armado.
- Tubos de hormigón armado con chapa metálica.
- Tubos de hormigón pretensado.
- Tubos de hormigón pretensado y con chapa metálica.
- Tubos de hormigón con fibra de acero.

De esta clasificación, se obtienen las siguientes subdivisiones, según los sistemas y formas de compactación utilizados en la fabricación de los tubos:

- Fabricación mediante prensas vibrocompactadoras de eje vertical, con vibración interna.

- Fabricación por compresión radial.
- Fabricación mediante sistemas híbridos entre los dos tipos descritos.

Por su composición:

- Hormigón en masa: formado por una pared de hormigón, que le confiere estanqueidad, y que no contiene armadura alguna o si lleva no tiene función estructural.
- Hormigón con fibra de acero: formado por una pared de hormigón, que le confiere estanqueidad, y por una armadura constituida por fibras de acero uniformemente distribuidas, al objeto de mejorar las características mecánicas del tubo.

Ventajas

- Las conducciones de hormigón son económicas.
- Mayor coste a mayor diámetro.
- Se fabrica a medida.
- Dispone de las mayores secciones del mercado.
- Muy buen funcionamiento cuando no existen condicionantes externos.
- La resistencia mecánica no disminuye con el paso del tiempo, sino que llega a aumentar.
- No le afectan las temperaturas durante su acopio.

Inconvenientes

- Instalación difícil al requerir maquinaria para el manejo de los tubos por su elevado peso.
- Longitud corta de los tubos lo que lleva a mayor número de juntas.
- La junta puede quedar suelta tras montar el tubo con una estanqueidad relativa, lo que facilita la penetración de raíces.
- Poca desviación angular en la alineación recta durante el montaje.
- Sensible a vertidos a altas temperaturas y anómalos.
- Se producen ataques químicos de las aguas residuales transportadas.
- Mala rugosidad.

Tubo de gres vitrificado

Los tubos de gres son de aplicación exclusivamente para saneamiento en lámina libre, si bien admite pequeñas presiones hidráulicas interiores. Son utilizados en el caso de diámetros medios, aunque los tubos de gres de diámetros pequeños (menores de 300 mm) tienen aplicación para el drenaje subterráneo. Las tuberías de gres están compuestas por arcillas de distintos orígenes, trituradas y homogeneizadas. Las propiedades del producto final, es decir, del tubo, serán acordes a las de dichas arcillas. Las tuberías de gres deben cumplir la norma UNE EN 295.

Ventajas

- Excelentes cualidades frente a la agresividad química y la abrasión mecánica y soportan temperaturas extremas.
- Bajo coeficiente de dilatación térmica y baja rugosidad, permitiendo alcanzar altas velocidades.
- Prácticamente las tuberías tienen una vida útil ilimitada.
- Resistente a la corrosión.
- Los tubos nunca se deforman.

Inconvenientes

- Aunque tiene buena resistencia mecánica, es frágil ante impactos puntuales.
- Alto precio

Tuberías de fundición dúctil y acero

Sólo se instalan en sistemas de saneamiento en casos excepcionales. Su uso corresponde generalmente a otro tipo de aplicaciones (conducciones con presión, protección de otras tuberías, etc.) (Trujillo, 2008).

Ventajas

- Alta resistencia a la presión interior.
- Buena estanqueidad.
- Lisas.

Inconvenientes

- Sensible a la corrosión por ácidos y al ataque del SH₂
- Alto precio

Tubos plásticos

El uso de materiales plásticos en las tuberías de saneamiento tiene múltiples ventajas en comparación con el resto de materiales (SANECOR, 2022).

Resistencia Química

Una de las características más sobresalientes de las tuberías plásticas, cualquiera que sea su material, es que poseen resistencias muy altas a la mayoría de los productos presentes en las aguas residuales. Si bien el PE y especialmente el PP se comportan mejor a altas temperaturas, el PVC es más resistente que los anteriores frente al ataque de grasas, aceites minerales y combustibles, tan frecuentes en las aguas urbanas de escurrentía

Ausencia de corrosión

Las tuberías plásticas en general son inertes a los efectos de la corrosión. Esto supone una ventaja importante, ya que el material de las conducciones no debe oxidarse por corrosión aerobia ni sufrir corrosión anaerobia provocada por los componentes y microorganismos de las aguas circulantes y de los terrenos circundantes

Resistencia a la abrasión

Las conducciones deben ser resistentes a la abrasión a que serán sometidas por las partículas sólidas arrastradas por el efluente. Esto es particularmente importante en conductos utilizados en sistemas de saneamiento unitario y en la red de pluviales de los sistemas separativos

De hecho, la abrasión en la superficie interna de cualquier tubería plástica progresa muy lentamente. Puede asegurarse que a velocidades normales el desgaste por abrasión es insignificante y la duración de la tubería por este motivo prácticamente ilimitada. Así se ha podido contrastar en las tuberías de PVC que,

al ser las de material plástico que más tiempo llevan instaladas, han demostrado mantener un excelente comportamiento frente a este tipo de ataque.

Capacidad hidráulica

Esta es una propiedad estrechamente relacionada con la necesidad de conducir las aguas residuales rápidamente y sin estancamiento. En las redes de saneamiento de agua intervienen factores no presentes en las conducciones de aguas limpias, tales como depósitos sobre el fondo y paredes de los conductos, pozos de registro, mayor número de juntas, etc. También se tiene en cuenta el efecto, sobre dicha rugosidad equivalente, del uso y conservación de la conducción. Se indican a continuación los valores comúnmente utilizados en conducciones de aguas residuales

Tabla no.10. Valores de coeficiente K para distintos materiales

TIPO DE TUBERÍA	K (mm)
Gres	0.10-0.25
PVC pared interna lisa	0.10-0.25
PE-AD pared interna lisa	0.10-0.25
PRV centrifugado	0.10-0.25
PRV filament winding	0.20-0.50
Fibrocemento	0.25-0.40
Hormigón liso de alta calidad	0.40-0.80
Hormigón liso de calidad media	0.80-1.50
Hormigón rugoso	1.20-4.00
Hormigón "in situ"	2.50-6.00

Fuente: Catálogo de Sistema SANECOR

Rendimiento y costes de instalación. Seguridad en el montaje

Las tuberías plásticas son en general muy ligeras, y en el caso de las estructuradas aún lo son más. Esta característica redonda en costes de manipulación y montaje muy bajos, ya que se obtiene un importante ahorro tanto en la maquinaria como en el personal necesario durante la instalación.

Además de lo anterior, el bajo peso incrementa muy considerablemente el rendimiento de la obra lo que produce una reducción del plazo, y por tanto de los

costes fijos, que puede ser determinante para la viabilidad económica del proyecto.

Por último, aunque no menos importante, otra ventaja fundamental de la ligereza de estas tuberías es la mayor seguridad del personal que realiza la instalación. Para tuberías profundas, donde es necesario realizar la entibación de las paredes de la zanja, cuanto menos tiempo permanezcan los operarios en la misma mayor será la seguridad en la obra.

Deposiciones e incrustaciones

La superficie interna de las tuberías plásticas es altamente impermeable, lo que impide la formación de depósitos sustancias presentes en las aguas residuales y pluviales. En contraste, este fenómeno es significativo en tuberías construidas con materiales a base de cemento, como hormigón, fibrocemento y fundición con mortero de revestimiento interior.

La velocidad más alta del agua en las tuberías plásticas reduce al mínimo la acumulación de sedimentos, a diferencia de lo que ocurre en tuberías convencionales con alta porosidad. Sin embargo, en el caso de las tuberías plásticas, es importante tener en cuenta que, dependiendo del material, los tubos pueden presentar una flexibilidad longitudinal marcada y puede existir pandeo en exceso: este fenómeno puede generar cambios en la pendiente y por lo tanto la acumulación de depósitos no deseados. Sin embargo, en tuberías de saneamiento de PVC este problema no se produce ya que este material tiene un alto módulo elástico.

Estanqueidad en las uniones

En la actualidad, es de vital importancia garantizar que no haya fugas en una red de saneamiento que puedan actuar como fuente de contaminación para el medio ambiente. También es necesario prevenir la infiltración de agua subterránea en el interior de las tuberías ya que si es significativa puede aumentar el consumo de energía, los costos de tratamiento y afectar el funcionamiento normal de las redes y estaciones depuradoras. Por tal motivo es imprescindible asegurar la perfecta estanqueidad de las tuberías, especialmente en las juntas, acometidas,

pozos, entre otros, que representan los puntos críticos para cumplir con este requisito fundamental.

La estanqueidad en las tuberías plásticas, es en general mayor que en las rígidas, toda vez que un tubo flexible colabora con su deformación a un mejor cierre con la unión elástica.

Flexibilidad de la conducción

Con frecuencia las conducciones de una red se ven sometidas a esfuerzos y deformaciones producidos por asentamientos diferenciales del terreno, lo cual no debe ser causa de roturas o cualquier tipo de fugas. Esto exige una flexibilidad de la conducción tal que le permita adaptarse a las deformaciones, minimizando los esfuerzos locales que se produzcan.

Una conducción plástica de uniones elásticas se adapta a los asentamientos, absorbe fácilmente las tensiones producidas, en tanto que, en un sistema de elementos rígidos, incapaz de adaptarse a las mismas deformaciones, aparecen enormes esfuerzos que pueden ser causa de roturas y consecuentes fugas.

Consumo energético

De acuerdo con un estudio realizado por el Laboratorio de Modelización Ambiental del Departamento de Proyectos de Ingeniería de la Universidad Politécnica de Cataluña, el consumo energético y la emisión de CO₂ a la atmósfera, a lo largo de todo el ciclo de vida de estos productos, son muy bajos en las tuberías plásticas si lo comparamos con los valores que se asignan a los tubos de hormigón armado (María *et al.*, 2005).

Este ciclo de vida contempla todas las etapas por las que pasa el producto durante su vida útil:

- Extracción de las materias primas que conforman el tubo.
- Transporte de las materias primas a la planta de producción de tuberías.
- Fabricación de las tuberías.
- Transporte de los tubos a la obra donde se instalarán.
- Instalación de las tuberías.
- Utilización de los tubos: labores de mantenimiento y reparaciones

Tabla 11: Tuberías de saneamiento - Consumo energético y emisión de CO2 para 3 m de tubería

	CONSUMO DE ENERGÍA (kW/h)	EMISIÓN DE CO ₂ (kg DE CO ₂)
PVC liso SN4 (80% reciclado) DN315	69,0	22,0
PVC corrugado SN8 (80% reciclado) DN315	34,7	11,5
PE corrugado SN8 (80% reciclado) DN400	64,4	21,0
PP corrugado SN8 (80% reciclado) DN400	60,4	21,6
PVC SN4 (0% reciclado) DN315	262,2	76,9
PVC corrugado SN8 (0% reciclado) DN315	121,3	36,1
PE corrugado SN8 (0% reciclado) DN400	211,0	58,6
PP corrugado SN8 (0% reciclado) DN400	191,0	61,5
Hormigón DN400	345,0	129,4

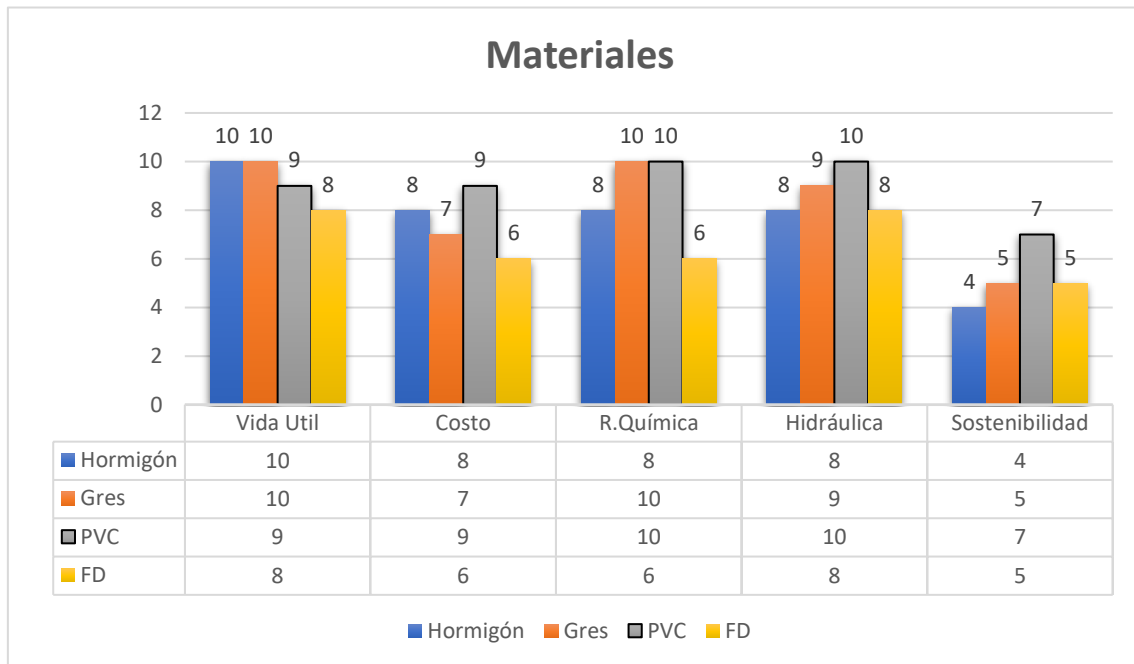
Fuente: Catálogo de Sistema SANECOR

Como puede observarse los valores de los materiales plásticos son inferiores a los del hormigón, debido al bajo peso y al bajo contenido en materias primas de los primeros respecto al segundo. Esta diferencia es mucho mayor si se utilizan materiales plásticos con un alto índice de reciclado.

De igual forma, se observa que, en las dos tuberías de PVC se ha considerado como diámetro D315 mm, mientras que en el resto se ha considerado un diámetro equivalente superior D400 mm.

En la siguiente gráfica se resumen las ventajas del PVC en con el resto de los materiales, siendo 1 la puntuación más baja y 10 el máximo posible.

Gráfica No.3 Comparación de Materiales



A continuación, se realiza otra comparación aplicando un análisis atributivo a cada material. Según los índices de mérito siguientes puede observarse cuál es el más idóneo para su utilización en este proyecto.

$$K_i = 0.2 \frac{\frac{E}{\rho C p}}{\frac{E}{\rho C p_{max}}} + 0.2 \frac{\frac{\sigma_y}{\rho C p}}{\frac{\sigma_y}{\rho C p_{max}}} + 0.3 \frac{\frac{K_c}{\sigma_y}}{\frac{K_c}{\sigma_y_{max}}} + 0.3 \frac{C}{C_{max}}$$

$$\frac{E}{\rho C p} = \text{Optimizando rigidez minimizando el coste}$$

$$\frac{\sigma_y}{\rho C p} = \text{Optimizando resistencia minimizando el coste}$$

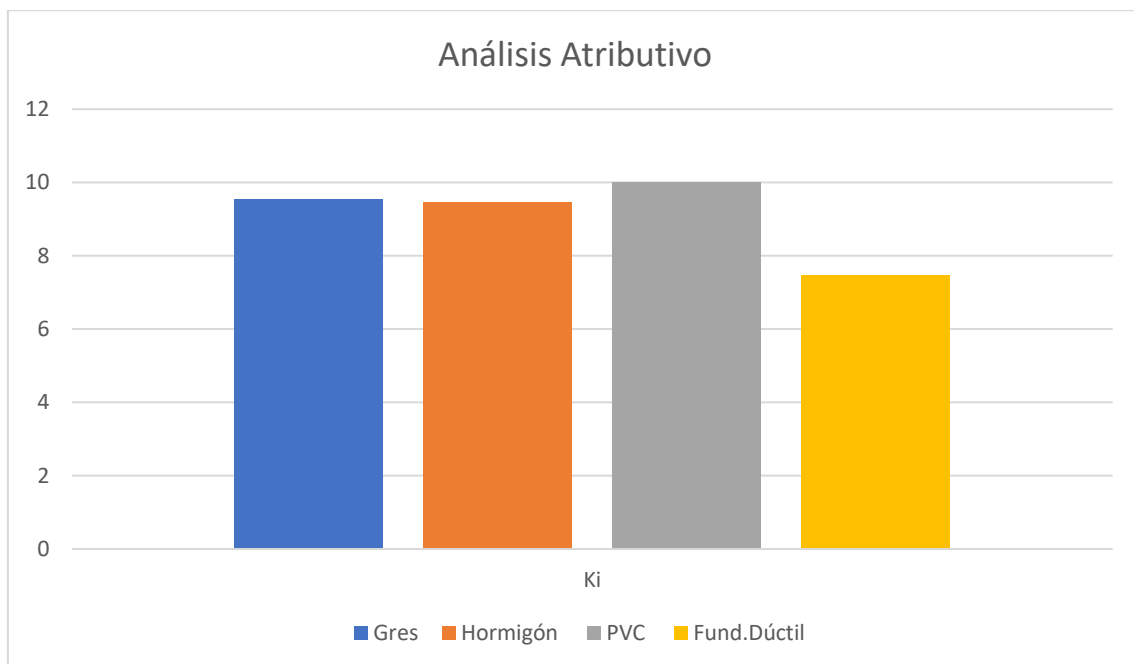
$$\frac{K_c}{\sigma_y} = \text{Minimizando riesgo de rotura catastrófica}$$

$$\frac{C}{C_{max}} = \text{Costo del material por su instalación}$$

Tabla no.12: Cálculo de análisis atributivo

TIPO DE TUBERÍA	PVC SN4	FD	HORMIGÓN	GRES
Diámetro interior (m)	0,38	0,40	0,40	0,40
Diámetros exterior (m)	0,40	0,43	0,68	0,50
Espesor del tubo (m)	0,02	0,03	0,28	0,10
Radio interior (m)	0,19	0,20	0,20	0,20
Radio exterior (m)	0,20	0,21	0,34	0,25
Modulo elasticidad (Mpa)	3.200,00	170.000,00	20.000,00	50.000,00
Densidad del material (kg/m3)	1.400,00	6.920,00	2.400,00	2.350,00
Limite elástico (Mpa)	50,00	270,00	220,00	15,00
Altura de la zanja sobre generatriz (m)	1,00	1,00	1,00	1,00
Densidad del material de zanja (kg/m3)	2.000,00	6.920,00	2.500,00	2.450,00
Presión interior	0,00	0,00	0,00	0,00
Presión exterior (MPa)	0,01	0,04	0,02	0,02
Masa del PVC 1 m tubo (kg)	6,90	58,01	488,10	92,28
Tenacidad a la fractura (k) (MN/m ^(3/2))	3,00	12,00	0,20	1,00
Coste de colocación (€/m)	4,40	6,60	11,00	6,60
Precio €/m	38,25	143,20	43,24	115,20
Precio €/kg	5,55	2,47	0,09	1,25
Indicez de rigide k1 (Nm/€)	412.111,25	9.952.641,54	94.067.595,76	17.044.230,98
Indice de resistencia k2(Nm/€)	6.439,24	15.807,14	1.034.743,55	5.113,27
Indice de rotura k3(m ^{7/2})	0,06	0,04	0,00	0,07
Indice de instalación k4(m/€)	0,23	0,15	0,09	0,15
INDICE DE MÉRITO	0,54	0,40	0,51	0,52
INDICE DE MÉRITO PROYECTADO	10,00	7,46	9,45	9,54

Gráfica No. 4 Análisis Atributivo



Después de realizar ambas comparaciones, se manifiesta claramente como el PVC es ampliamente ganador por encima del resto de materiales.

Los materiales plásticos se pueden clasificar en dos grupos según (Structuralia, 2020):

Termoplásticos: formados por cadenas moleculares lineales o ramificadas, es decir, son de un material homogéneo. Pueden cambiar su forma una o varias veces por la acción combinada de aumento de temperatura y de la presión. Además, para su fabricación se emplea aditivos como estabilizantes, lubricantes, colorantes u otros

Termoestables: formado por cadenas moleculares tridimensionales, es decir, son de un material heterogéneo. Estos impiden cambiar de forma a las piezas porque durante el proceso de fabricación se ha operado con una reacción química irreversible.

De los materiales plásticos empleados en conducciones en el ciclo del agua son termoplásticos el PVC-U, el PVC-O, el PP y el PE; y termoestable el PRFV.

Tubos de PVC-U

Los tubos de PVC-U de pared compacta se componen de una resina de poli (cloruro de vinilo) no plastificado. La fabricación de estos tubos es por extrusión.

Tubos de PVC-O

Los tubos de PVC-O son de escasa aplicación en redes de saneamiento y de drenaje, empleándose solo en impulsiones de pequeños caudales.

Tubos de polietileno (PE)

Los tubos de polietileno se componen de una resina de polietileno. La fabricación es por extrusión. Aparte de las redes de saneamiento se aplica en emisarios submarinos en instalaciones acuáticas, en instalaciones sin apertura de zanja o en rehabilitación de conducciones existentes.

Tubos de polipropileno (PP)

Los tubos de polipropileno de pared compacta se componen de una resina de polipropileno, material obtenido por polimerización del etileno. La fabricación de los tubos es por extrusión, mientras que las piezas se fabrican por inyección de moldes o bien mediante manipulación a partir del tubo.

Tubos de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV)

Los tubos de PRFV son de tipo heterogéneo y están formados por una resina de poliéster no saturado, fibras de vidrio cortada o en continuo, y cargas estructurales, aditivos o áridos cuando lo permita el sistema de fabricación. Los tubos se fabrican habitualmente por: arrollamiento mecánico sobre mandril, centrifugación o contacto.

Ventajas de los tubos termoplásticos: PVC-O, PVC-U, PP y PE

- Montaje sencillo al ser más ligeros y flexibles. Se pueden manejar manualmente para diámetros pequeños.
- La desviación angular en la alineación recta durante el montaje puede ser algo superior.
- Más económicos.
- Longitudes de hasta 6 m, reduciendo el número de juntas y obteniendo así un mayor rendimiento.
- La junta queda bien situada, es estanca y ofrece más resistencia a la penetración de raíces.
- Baja rugosidad lo que permite más caudal a igualdad de sección y pendiente.
- Resistencia a ataques químicos.
- Buen comportamiento bajo heladas.
- No favorecen el desarrollo de hongos.
- Mejora de las propiedades mecánicas frente a cargas exteriores a través de aligeramientos en su pared, tubos de pared estructurada que aumentan la resistencia al aplastamiento con menos material.

Inconvenientes de los tubos termoplásticos: PVC-O, PVC-U, PP y PE

- Prestaciones mecánicas menores que las de hormigones y metálicos.
- Las propiedades mecánicas disminuyen con el paso del tiempo.
- Alto coeficiente de dilatación térmica: sus características disminuyen con la temperatura. Y sensible a las temperaturas durante su acopio.
- Se precisa un buen control de la compactación.
- Problema de flotación cuando existe nivel freático.

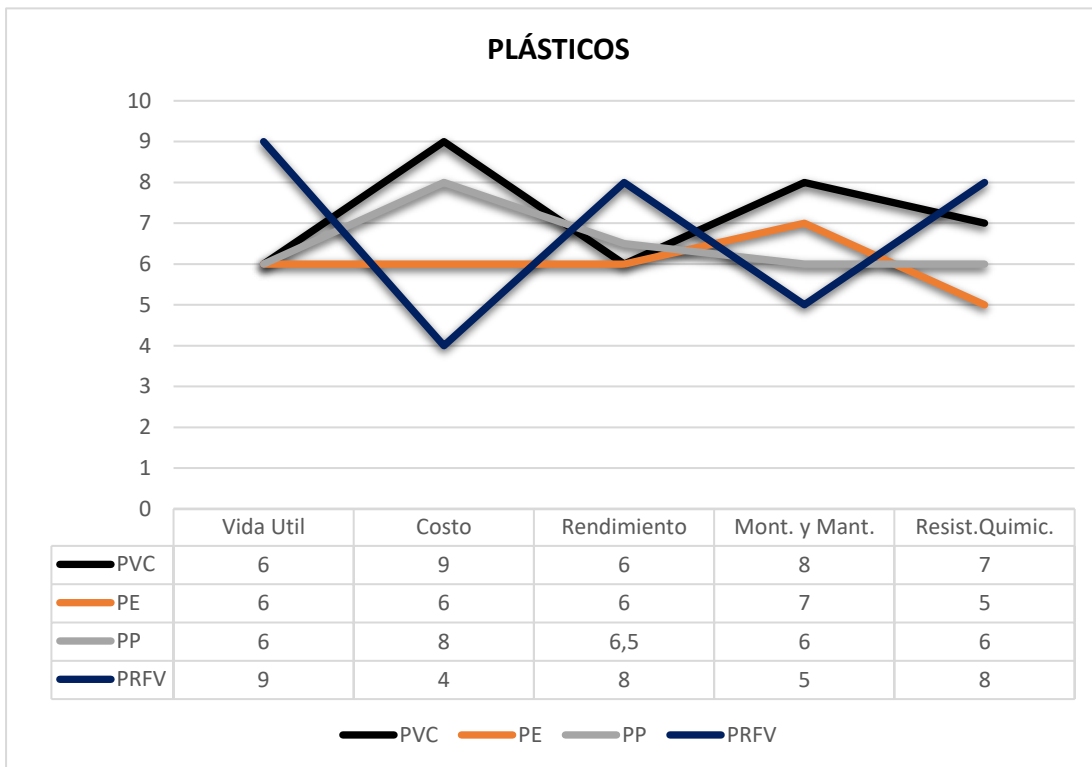
Ventajas de los tubos termoestables: PRFV

- Montaje sencillo al ser más flexibles y ligeros. Se pueden manejar manualmente para diámetros pequeños.
- La desviación angular en la alineación recta durante el montaje puede ser algo superior.
- Longitudes de tubo variables, lo que permite obtener tramos pequeños y grandes adaptándose a las necesidades de cada proyecto.
- La junta queda bien situada, es estanca y ofrece más resistencia a la penetración de raíces.
- Baja rugosidad lo que permite más caudal a igualdad de sección y pendiente.
- Su tipo de fabricación permite realizar distintas variedades piezas.
- Admite una amplia gama de pH, de 1 a 10.

Inconvenientes de los tubos termoestables: PRFV

- Coste económico alto.
- Sensible a las temperaturas durante su acopio.
- Se precisa un buen control de la compactación.
- Problema de flotación cuando existe nivel freático.

Gráfica No.5 Comparación de plásticos



La gráfica anterior refleja como el PVC según los parámetros antes evaluados tiene un mejor comportamiento.

Es por ello que, para la realización de este proyecto el PVC SN4, será el material escogido.

El término SN4 se refiere a la clase de resistencia nominal de la tubería según la norma europea EN1401, la cual es de 4 kN/m², lo que significa que puede soportar una carga máxima de 4000 Newtons por metro cuadrado. Esto indica su capacidad para resistir la presión y la carga aplicada durante el funcionamiento del sistema de drenaje y alcantarillado (UNE, 2020).

Es un material que se caracteriza por su durabilidad y vida útil prolongada, por su elevada resistencia a la corrosión, el óxido y el deterioro causado por la exposición a la humedad, lo que contribuye a prolongar la vida útil del sistema; además es un material ligero, lo que facilita su instalación y manejo. Su ligereza reduce los costos de transporte y facilita el montaje en el lugar de la instalación.

El PVC SN4 tiene una superficie interna lisa que minimiza la acumulación de sedimentos y obstrucciones; y esto lo ayuda a mantener un flujo de agua eficiente, reduciendo la posibilidad de obstrucciones.

Zanjas

Para determinar el ancho y la profundidad de la zanja es necesario conocer el diámetro de la tubería a instalar, las características geotécnicas del terreno y las posibles cargas móviles a transmitir al subsuelo. Para facilitar la manipulación en el interior de la zanja, se recomienda que el ancho mínimo en el punto más bajo de la zanja sea igual al \varnothing de la tubería más 30 cm. En el supuesto de que el terreno sea duro, con piedra, se aconseja incrementar la profundidad de la zanja en 10-15 cm para realizar la cama o asiento de la tubería a base de relleno de arena o tierra vegetal nivelada (Ferro, 2021).

Con este vaciado adicional se consigue evitar el contacto con elementos punzantes que puedan deteriorar el tubo y por tanto alterar sus características de estanqueidad, resistencia, etc. Además, permite realizar una correcta y uniforme nivelación del terreno que garantice la pendiente deseada.

Las zanjas deberán abrirse mecánicamente, debiendo quedar alineadas en planta y con la rasante uniforme, de acuerdo con lo indicado en el proyecto. Entre la apertura de la zanja, el montaje de la canalización y el posterior relleno parcial deberá transcurrir el menor tiempo posible. La maquinaria a emplear debe ser la adecuada a la profundidad y ancho de la zanja y tener en cuenta la presencia de servicios. Es aconsejable, siempre y cuando sea posible, disponer de excavadora giratoria, para poder realizar la carga sobre camión por la parte posterior, eliminando así el riesgo que supone un camión cargado cerca del talud. Además, en zonas urbanas donde las limitaciones de espacio son un condicionante muy significativo, esta solución permite minimizar la afección (CEDEX, 2007).

El relleno de la zanja se realiza por ambos lados del tubo simultáneamente. Para ello se utiliza material exento de piedras.

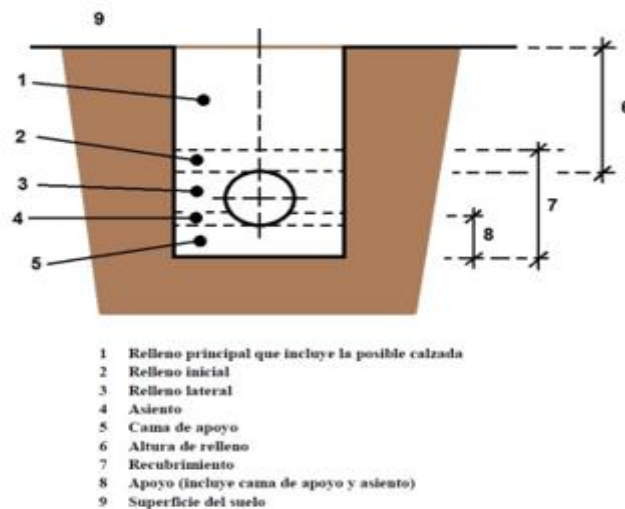
La zanja para realizar en este proyecto no tiene profundidades importantes, por lo que no se considera necesaria la realización de un estudio geotécnico que determine los condicionantes necesarios para su estabilidad durante la construcción.

Atendiendo a las recomendaciones anteriores, las dimensiones que se emplearán para la realización de la zanja donde se colocará la tubería serán 1 metro de anchura y tendrá una profundidad variable dependiendo del terreno.

Asimismo, la zanja en donde se colocará la tubería, dispondrá de acuerdo con (UNE, 2000), dispondrá de las siguientes partes:

- Cama de apoyo: es el relleno que se extiende en el fondo de la zanja para eliminar desigualdades en su base.
- Asiento: parte del relleno que proporciona a la tubería el ángulo de apoyo previsto en proyecto.
- Apoyo: conjunto formado por la cama de apoyo y el asiento del tubo.
- Relleno lateral: es la zona del relleno lateral de la tubería, comprendida entre el asiento y la generatriz superior de la tubería. Es fundamental realizar una buena compactación en el caso de tuberías plásticas para evitar deformaciones.
- Relleno inicial: son los 30 cm de relleno sobre la clave de la tubería.
- Recubrimiento: zona de relleno alrededor y hasta 30 cm sobre la generatriz superior del tubo.
- Relleno principal: es la altura de relleno por encima del relleno inicial, hasta alcanzar la rasante del terreno, incluyendo la posible calzada.
- Altura de relleno: zona que cubre el tubo, desde su generatriz superior hasta la superficie de rodadura de la calzada.

Ilustración no.10: Relleno y compactación de la zanja



Pozos de registro

Los pozos de registro y las arquetas de inspección se han definido como aquellas obras de fábrica que permiten las tareas de mantenimiento y explotación de la red de saneamiento, permitiendo los primeros el acceso a la red de los operarios, mientras que las segundas no (CEDEX, 2007).

Los pozos de registro son, después de los conductos, elementos primordiales de una red de alcantarillado por cuanto cumplen las funciones siguientes:

- Acceso a la red para control de las conducciones y su reparación.
- Acceso para la limpieza de conductos.
- Acceso para control de las características de agua residuales.

Independientemente de su tipología, deben cumplir en cualquier caso con los requisitos establecidos en la norma(UNE, 2016) así como con la reglamentación vigente en materia de Seguridad y Salud.

Los pozos de registro en superficie se rematan con tapas de fundición dúctil o gris cuya resistencia será función del lugar de instalación (tráfico pesado, tráfico medio, peatonal, etc.). Las entradas al pozo suelen tener un diámetro inferior al

del propio pozo, siendo el diámetro mínimo, por cuestiones de mantenimiento, de 0,6 m.

Respecto a los materiales constitutivos de los mismos, a su vez, pueden ser, bien contruidos "in situ", o bien prefabricados (pudiendo ser en este último caso, de una sola pieza o estar compuestos por varios elementos.

Los pozos de registro deben cumplir los siguientes requisitos (CEDEX, 2007):

- El diámetro nominal de los pozos (en el caso de ser estos circulares) debe ser, como mínimo, en general, de 1,0 m, de manera que permitan las operaciones de limpieza, mantenimiento de la red, control de las características de las aguas residuales, etc.
- Excepcionalmente, en instalaciones de pequeña envergadura (por ejemplo, si la altura de tierras sobre la clave de la conducción es menor de 1 m y si el diámetro de la conducción incidente es de hasta 500 mm), el diámetro nominal del pozo puede reducirse hasta 0,80 m.
- Deben disponerse un pozo de registro en:
 - Extremos de la red.
 - Todos los empalmes de conductos.
 - Todas las singularidades de la red, como cambios de alineación o de rasante.
 - A distancia máxima de cincuenta (50) metros. (colectores sin acometida: 150 m.)
 - En cada acometida procedente de bloques de más de doce viviendas, o edificios singulares.
 - En todos los cambios de diámetro. En este caso, a ambos lados del pozo se mantendrá la cota de claves, produciéndose el escalón en la solera.
 - Inmediatamente antes de la entrada a una estación de impulsión.

Pozos de registro contruidos "in situ"

Los pozos de registro fabricados in situ pueden ser de diferentes materiales: hormigón en masa, hormigón armado o fábrica de ladrillo.

Los de hormigón en masa se utilizan en diámetros de 0,80 m o inferiores. Los de hormigón armado de 1,0 m en adelante. Los de fábrica de ladrillo apenas se utilizan en la actualidad por que requieren mano de obra importante y pueden presentar problemas de impermeabilización (revoco con mortero).

Pozos de registro contruidos prefabricados

Fundamentalmente pueden ser de materiales plásticos (polietileno, polipropileno), de hormigón en una única pieza o de tramos de hormigón. Los primeros presentan ciertas desventajas como la deformabilidad o la flotabilidad en el caso de instalarse por debajo del nivel freático. Los de hormigón de una única pieza tienen una puesta en obra complicada debido al peso. Los más utilizados son los que se conforman con anillos de 1m de longitud rematados con un cono para reducir el diámetro en la parte superior. Algunos fabricantes incluyen pates para el acceso.

Alternativamente a los pozos de registro prefabricados, podrán emplearse también pozos de registro contruidos "in situ". Sea cual sea su tipología, la solera de estos pozos contruidos "in situ" debe ser siempre de hormigón en masa o armado, con un espesor que no será inferior a 20 cm.

El pozo diseñado en este proyecto es de hormigón armado fabricado in situ, que, aunque tiene ciertas desventajas en cuanto a la facilidad de instalación, presenta muchas ventajas en cuanto a su resistencia, durabilidad, y estanqueidad. Los planos de detalle pueden verse en los anexos.

Presupuesto

Se recoge a continuación un resumen del presupuesto general de las obras. Se han tenido en cuenta los rendimientos habituales de colocación de tubería, utilizando costes horarios del Convenio de Construcción vigentes en la actualidad en el Principado de Asturias. Cada precio incluye un 5 % de costes indirectos (herramienta y otros insumos necesarios para cada unidad no valorables directamente). Los precios de las conducciones y demás materiales están basados en los precios de suministradores después de aplicar los descuentos habituales para una empresa de tamaño medio.

Se incluye una estimación para reposición de todo tipo de pavimentos: aglomerado asfáltico y hormigón en masa para carreteras y baldosa en aceras. Se incluyen, asimismo, y de acuerdo con la normativa de contratación administrativa, los costes relacionados con la Seguridad y Salud de la obra y los de tratamiento de los eventuales Residuos que se puedan generar.

Finalmente se incluye un 16 % de gastos generales, un 6 % de beneficio industrial y un 21 % en concepto de IVA (impuesto sobre el valor añadido)

Tabla no.13: Presupuesto de la obra

SANEAMIENTO DE LA PARROQUIA DE BÁSCONES			
CONCEPTO	Medición	€/ud	€ Total
M2 Demolición pavimento	3.543,30	4,35	15.413,36
M3 Excavación en zanja	9.095,54	11,15	101.415,28
M3 Relleno arena asiento	1.399,31	15,20	21.269,57
M3 Relleno material seleccionado	6.996,57	3,50	24.488,00
M Tubería PVC 400 SN 4	2.934,22	60,00	176.053,20
M Tubería PVC 315 SN4	4.062,35	34,69	140.922,92
Ud pozo de registro D=1 m. Incluso tapa fundición	280,00	625,00	175.000,00
Ud acometida domiciliaria. Incluso arqueta ciega	115,00	326,00	37.490,00
M2 Reposición pavimento asfáltico	699,66	26,36	18.442,96
M2 Reposición pavimento hormigón	1.049,49	18,26	19.163,61
M2 Reposición de baldosa	349,83	36,25	12.681,28
M Refuerzo de tuberías con hormigón	209,90	23,00	4.827,63
Ud Partida alzada para servicios afectados	1,00	15.000,00	15.000,00
Ud Parida alzada conexiones EDAR existentes	2,00	15.600,00	31.200,00
Ud Gestión de Residuos	1,00	22.000,00	22.000,00
Ud Seguridad y salud	1,00	25.000,00	25.000,00
SUMA			840.367,82
19% Gastos Generales y Beneficio Industrial			159.669,88
Presupuesto de Ejecución sin IVA			1.000.037,70
IVA			210.007,92
Presupuesto de Ejecución con IVA			1.210.045,62

Conclusiones

En síntesis, de este proyecto se pueden extraer las siguientes conclusiones:

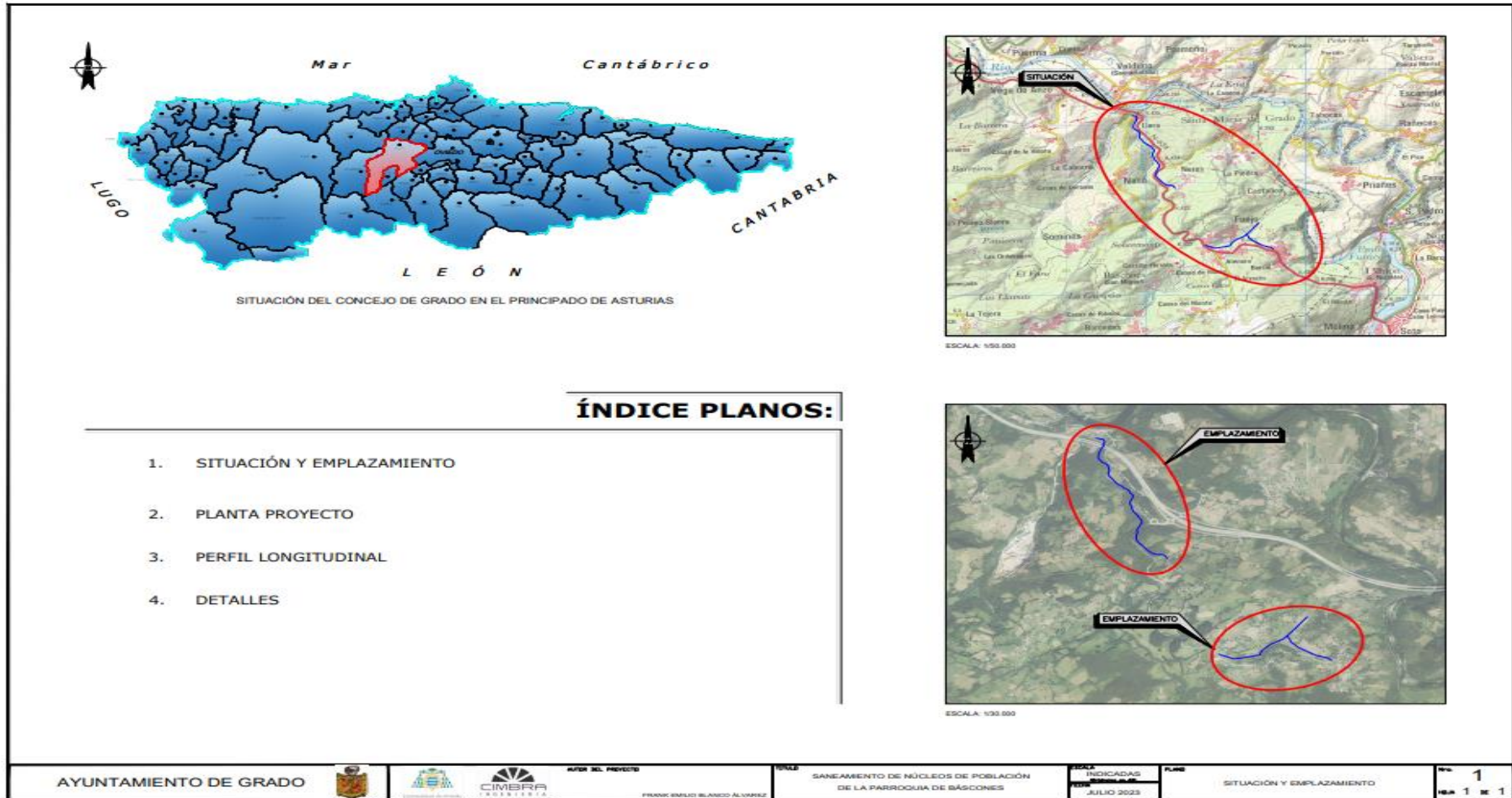
- El proyecto de saneamiento llevado a cabo en las poblaciones de Fuexu, Berció y Nores ha cumplido con éxitos sus objetivos. A través de una red de alcantarillados con colectores de PVC compacto de la serie 4, se logró direccionar las aguas residuales hacia las depuradoras de Llera y Fuexu y Berció.
- La elección del PVC como material principal para las tuberías de alcantarillado permitió garantizar la durabilidad y resistencia necesarias, y los diámetros adecuados de las tuberías asegurando el flujo eficiente de las aguas residuales. Asimismo, se llevó a cabo el diseño de pozos de registros, la instalación de acometidas domiciliarias y la conexión mediante arquetas ciegas, lo que contribuyó a un sistema integral de saneamiento.
- Además, se consideró la reposición de pavimentos afectados, utilizando materiales como aglomerado asfáltico, hormigón en masa y solados de baldosa.
- Es importante destacar que, según la auditoría realizada por TRAGSA, las estaciones depuradoras de aguas residuales existentes cumplen con los requerimientos establecidos, lo que valida la decisión de no construir nuevas instalaciones.
- Se pretende que este proyecto contribuya de manera significativa a mejorar la calidad de vida de las poblaciones de Fuexu, Berció y Nores al garantizar un sistema eficiente y sostenible de gestión de aguas residuales.

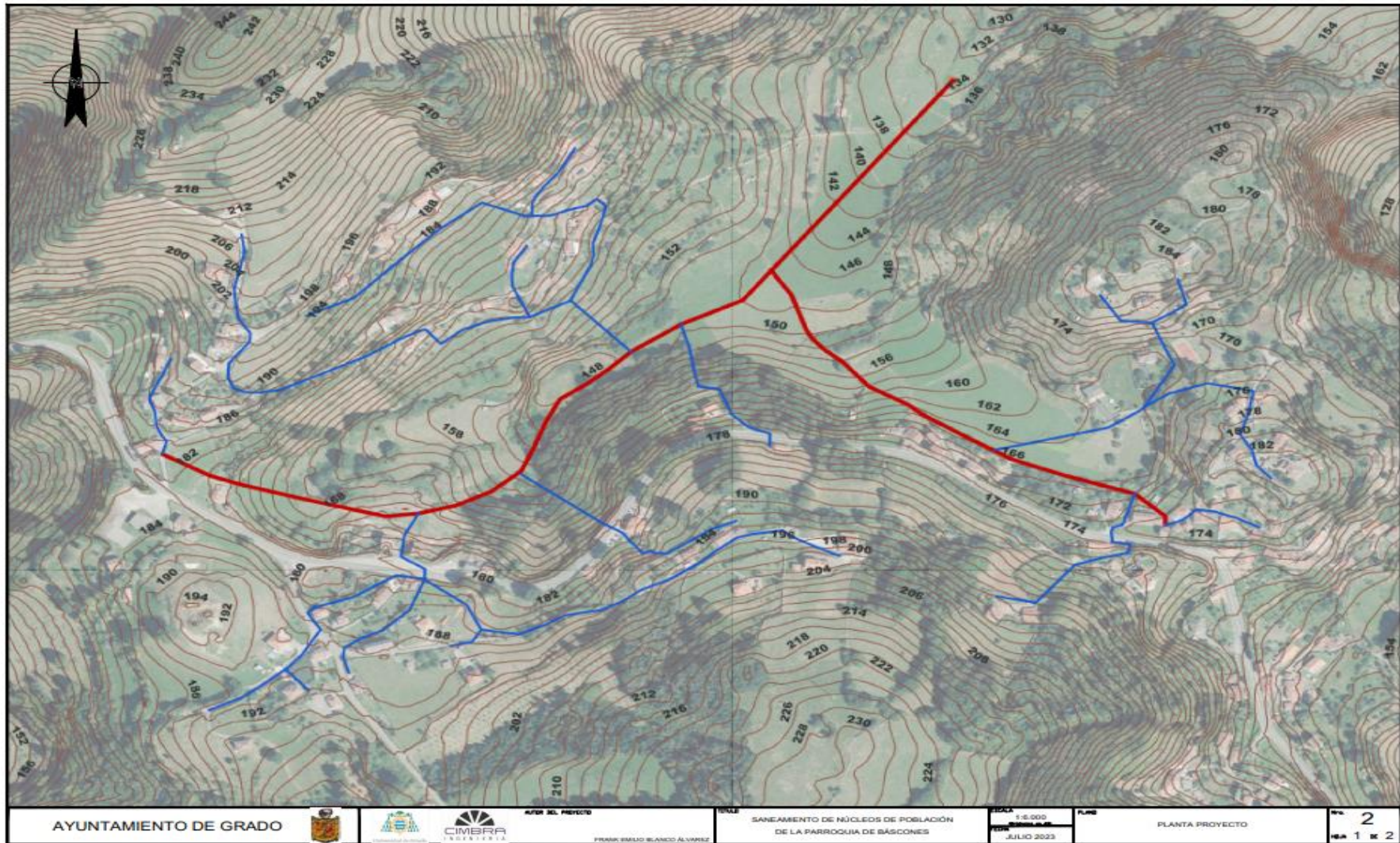
Bibliografía

- Andy Graham, John Day, Bob Bray and Mackenzie, S. (2012). Sustainable drainage systems, maximising the potential for people and wildlife.
- Ashby., M. F. and Jones, D. R. H. (2002) *Engineering Materials 1*.
- BY, M. F. A. (2000) *MATERIALS SELECTION IN MECHANICAL DESIGN*.
- CEDEX (2007). Guía Técnica sobre redes de saneamiento y drenaje urbano.
- EMAYA (1996). NORMAS TÉCNICAS PARA LAS OBRAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO.
- Ferro, P. (2021) *Sistema de saneamiento PVC*.
- Isabel II, Canal (2020) de *Normas para redes de saneamiento*.
- Madrid, A. d. (2018) *Guía Básica de Diseño de sistemas de gestión sostenible de aguas pluviales en zonas verdes y otros espacios libres*.
- María, D. J., Baldasano Recio, Dr. Pedro Jiménez Guerrero, Ageitos, M. G., René, D. and Narváez., P. (2005) 'Estimación del consumo energético y de la emisión de CO2 asociados a la producción, uso y disposición final de tuberías de PVC, PEHD, PP, fundición y hormigón.'
- *Norma 6.3-IC Rehabilitación de firmes, de la Instrucción de Carreteras*.

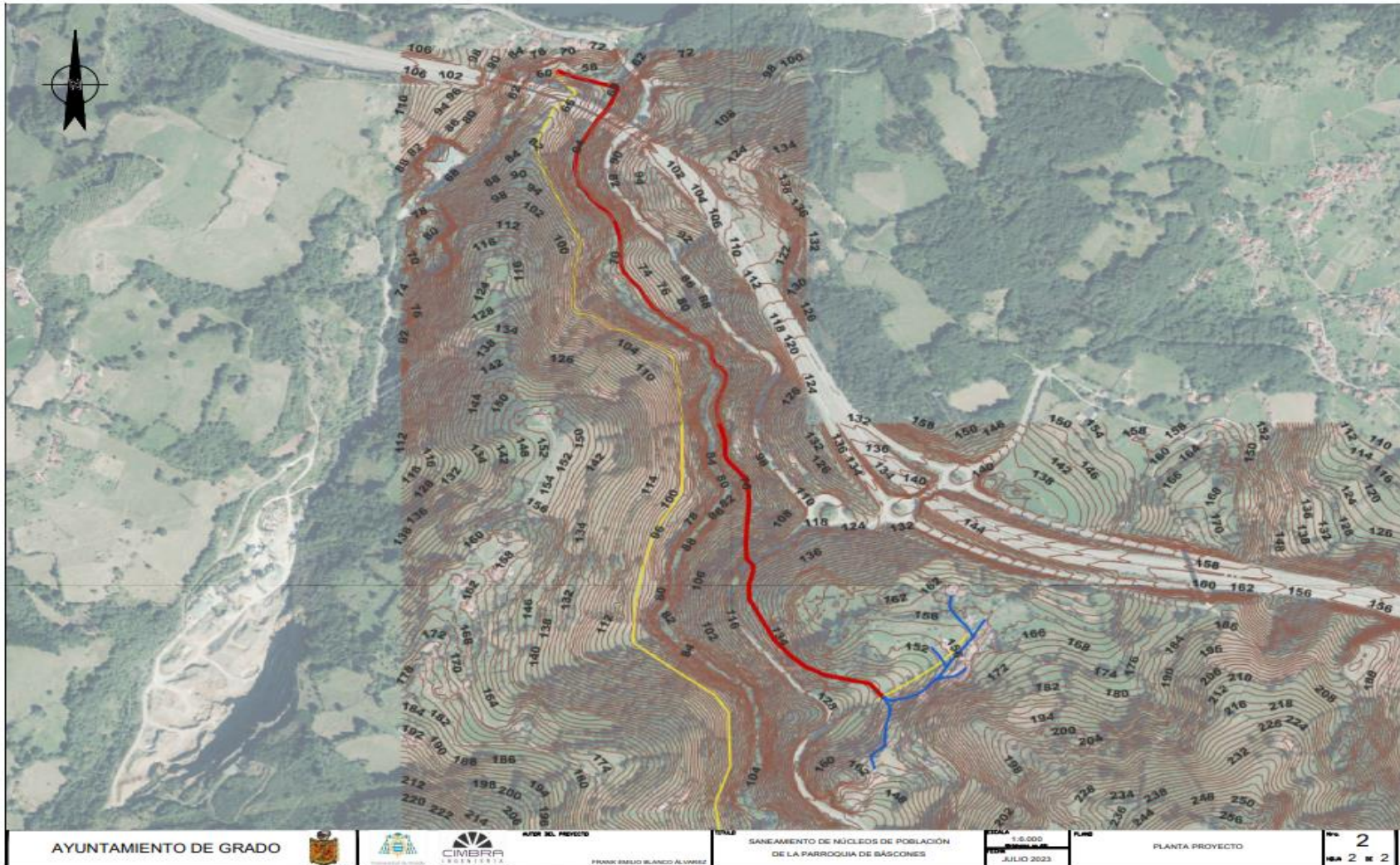
- Norte, C. H. d. 1995. Especificaciones Técnicas Básicas para Proyectos de Conducciones Generales de Saneamiento.
- SANECOR, C. d. S. (2022) *Sistemas de saneamiento de PVC corrugado*.
- Steel, E. W. 1985. Abastecimiento de agua y Alcantarillado.
- Structuralia 2020. REDES DE SANEAMIENTO POR GRAVEDAD.
- Trujillo, R. S. (2008) *La verdad sobre los sistemas de saneamiento*.
- UNE (2000) *Abastecimiento de agua. Especificaciones para redes exteriores a los edificios y sus componentes*.
- UNE 2008. UNE EN 1916 "Tubos y piezas complementarias de hormigón en masa, hormigón armado y hormigón con fibra de acero".
- UNE (2013) UNE-EN 295 *Sistemas de tuberías de gres para saneamiento*.
- *Construcción y ensayos de desagües y redes de alcantarillado*.
- UNE (2016) b. Protectores de la madera. Determinación del umbral de eficacia contra las larvas de *Hylotrupes bajulus* (Linnaeus).
- *UNE-EN 1401-1 Sistemas de canalización en materiales plásticos para saneamiento y alcantarillado enterrados sin presión*.

Anexos

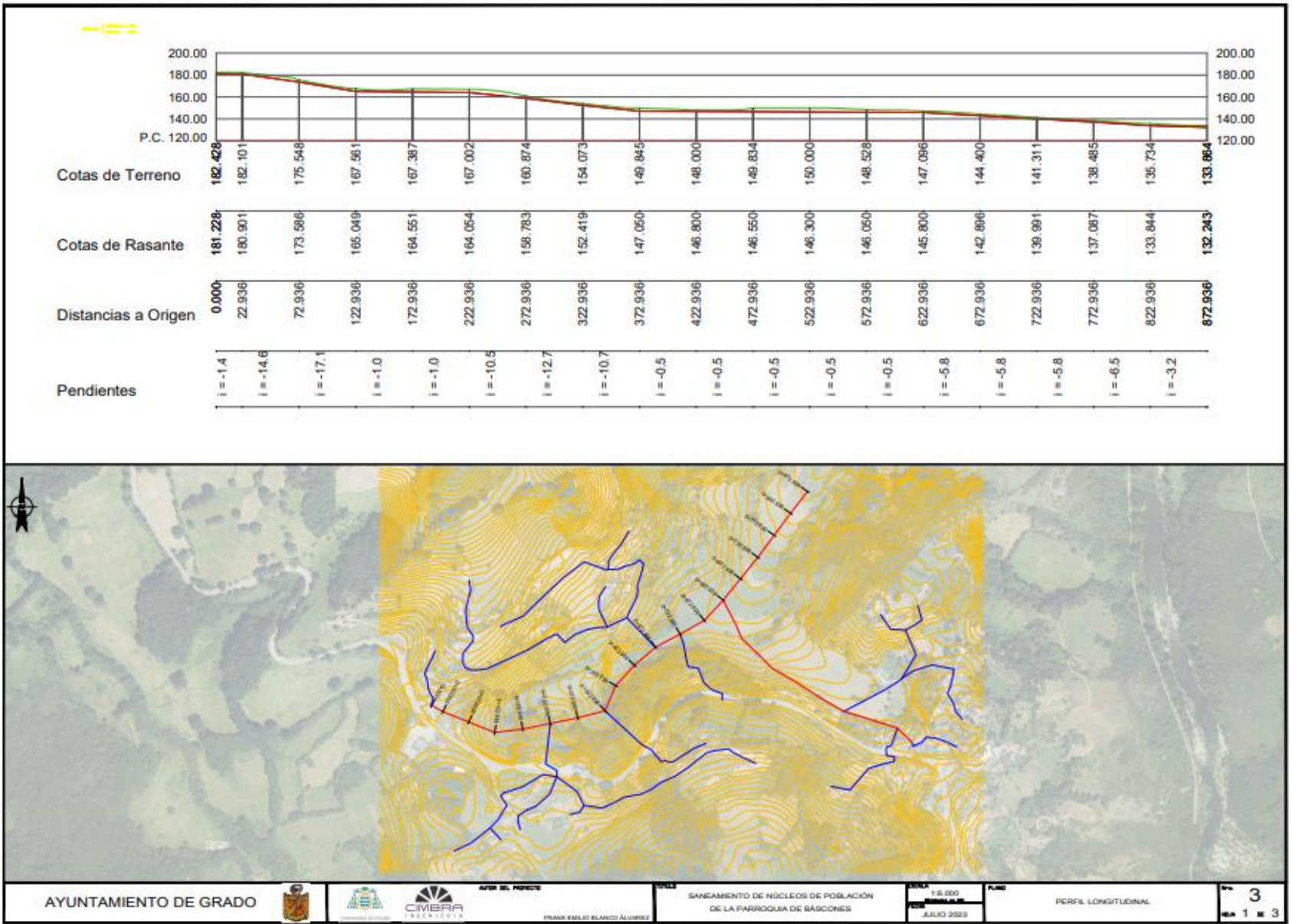


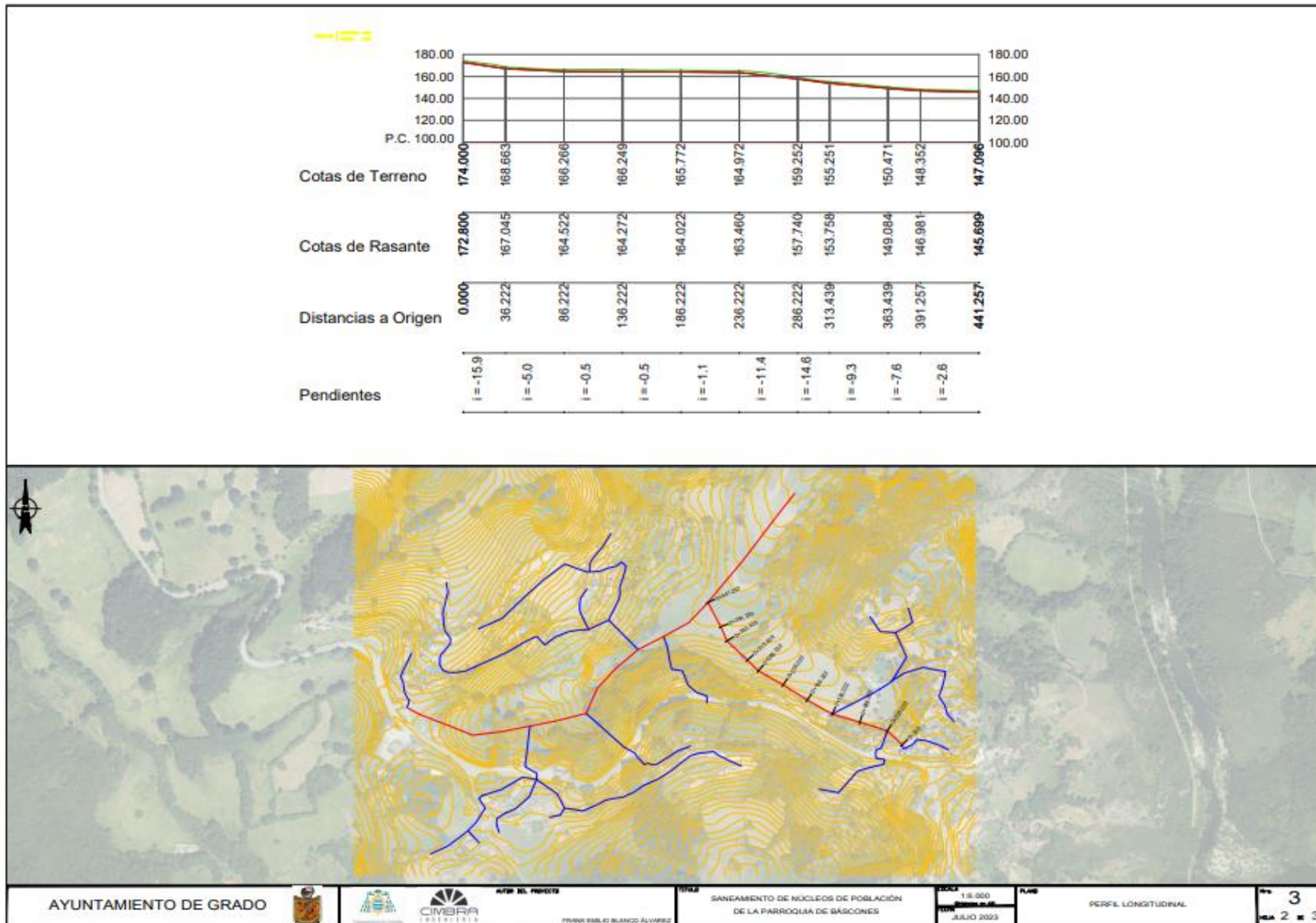


Frank Emilio Blanco Alvarez



Frank Emilio Blanco Alvarez





Frank Emilio Blanco Alvarez



