



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Departamento

Área de Conocimiento

TRABAJO FIN DE GRADO

**MODELADO Y OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN SOTOGRANDE
SAN ROQUE CÁDIZ**

Grado en

Ingeniería de Organización Industrial

Autor: DIEGO MONTERO INFANTES

Tutor: MARÍA ISABEL OLMO SÁNCHEZ

MÁLAGA, Junio de 2.025

RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo analizar y optimizar la red de abastecimiento de agua potable en la urbanización de Sotogrande (San Roque, Cádiz). Para ello, se ha realizado una modelización hidráulica mediante el software EPANET 2.0, evaluando el comportamiento de la red en escenarios de demanda actuales y futuros. Los resultados muestran que, aunque la infraestructura existente resulta adecuada para las condiciones actuales, presenta limitaciones significativas ante el crecimiento urbanístico previsto, comprometiendo su eficiencia operativa.

Como solución, se propone la implantación de una red separativa que libere a la red potable del suministro de agua destinada al riego, permitiendo dedicarla exclusivamente al consumo doméstico. Esta medida mejora sustancialmente el rendimiento hidráulico del sistema y permite una reducción del consumo energético superior al 85 %, lo que se traduce en un ahorro económico anual de más de 760.000 € en el escenario futuro. La propuesta representa una solución integral, técnica y económicamente viable, orientada a garantizar la sostenibilidad del abastecimiento en contextos urbanos con alta variabilidad estacional en la demanda.

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	15
1.1.	Objetivo	15
1.2.	Antecedentes.....	16
1.3.	Localización y emplazamiento	17
2.	DESCRIPCIÓN DE LA RED ACTUAL DE ABASTECIMIENTO EN ALTA DE AGUA POTABLE.....	19
2.1.	Descripción de los elementos de la red	19
2.1.1.	Depósitos	19
2.1.2.	Pozos.....	23
2.1.2.1.	Pozo Ranney	23
2.1.2.2.	Pozos/Sondeos profundos.....	25
2.1.3.	Suministro agua en alta (Arcgisa)	27
2.1.4.	Descripción de las impulsiones presentes en la red de abastecimiento de Sotogrande.....	28
2.1.5.	Redes de llenado e impulsión	31
2.1.5.1.	Impulsiones desde pozos	31
2.1.5.2.	Impulsiones desde ETAP	32
2.1.5.3.	Impulsiones entre depósitos	32
2.1.5.4.	Red de distribución de agua potable a la urbanización	34
3.	CÁLCULO DE LA DEMANDA DE AGUA POTABLE EN LA URBANIZACION DE SOTOGRANDE.....	36
3.1.	Estimación de la demanda de abastecimiento de agua potable actual.....	40
3.2.	Estimación de la demanda de abastecimiento de agua potable futura.....	43
4.	MODELADO DE LA RED.....	46

4.1.	Simulación del escenario N°.1: Situación actual	46
4.2.	Simulación del escenario N.º2: situación futura.....	52
5.	PROPUESTA DE MEJORA	57
5.1.	Implantación de redes independientes de abastecimiento a población y riego	57
5.1.1.	Protección de los recursos naturales.....	59
5.1.2.	Contribución a la economía circular.....	60
5.2.	Análisis y Cálculo de la red de consumo doméstico	61
5.2.1.	Demanda actual de consumo doméstico.....	62
5.2.2.	Demanda futura de consumo doméstico.....	64
5.3.	Reducción de los costes energético en impulsiones	65
5.3.1.	Consumo energético escenario número 1: situación actual (incluido riego).....	66
5.3.2.	Consumo energético escenario número 2: situación futura (incluido riego).....	70
5.3.3.	Consumo energético escenario número 3: situación actual (sin riego)	72
5.3.4.	Consumo energético escenario número 4: situación futura (sin riego)	73
5.3.5.	Comparativa del consumo energético.....	75
5.3.5.1.	Comparativa del ahorro actual.....	75
5.3.5.2.	Comparativa del ahorro futuro	76
6.	PROPUESTA RED DE RIEGO.....	77
7.	CONCLUSIÓN	79
8.	BIBLIOGRAFÍA	81

ÍNDICE DE LAS IMÁGENES

Figura 1. Localización geográfica de Sotogrande en mapa físico de España.....	18
Figura 2. Delimitación de la Urbanización de Sotogrande.....	19
Figura 3. Localización de los depósitos.....	21
Figura 4. Depósito de tipo semienterrado de tipo C.....	21
Figura 5. Depósito 1 de Sotogrande.....	22
Figura 6. Depósito 2 de Sotogrande.....	23
Figura 7. Depósito 3 de Sotogrande.....	24
Figura 8. Instalaciones del Pozo Ranney.....	25
Figura 9. Pozo Ranney.....	26
Figura 10. Sondeo número 4.....	26
Figura 11. Esquema de la zona de abastecimiento del C.I.T.N. Sotogrande.....	28
Figura 12. Instalación bombeo del Sondeo 4.....	29
Figura 13. Bombeo de interconexión entre el Depósito 1 y el Depósito 3.....	30
Figura 14. Impulsión desde el Pozo Ranney hasta el Depósito 1.....	33
Figura 15. Tubería de impulsión desde el depósito 1 al depósito 2.....	34
Figura 16. Salida del Depósito 3 a la red de distribución en baja.....	35
Figura 17. Casa tipo urbanización de Sotogrande.....	37
Figura 18. Factura de agua de la empresa Aguas del Valle del Guadiaro.....	40
Figura 19. Modelo de la red de abastecimiento en alta.....	48
Figura 20. Simulación de caudales. Escenario N°.1.....	49
Figura 21. Simulación de velocidades. Escenario N°1.....	51
Figura 22. Modelo de la red de abastecimiento en alta.....	53
Figura 23. Simulación de caudales. Escenario N°.2.....	54
Figura 24. Simulación de velocidades. Escenario N°.2.....	56
Figura 25. Artículo 79. Dotaciones de agua para uso doméstico del Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas.....	59

Figura 26. Modelo de la economía circular.....	61
Figura 27. Simulación de velocidades. Consumo doméstico Actual.....	64
Figura 28. Simulación de velocidades. Consumo doméstico futuro.....	66
Figura 29. Modelo de tubería de 800 mm propuesta.....	79

ÍNDICE DE LAS TABLAS

Tabla 1. Resumen de los sondeos junto a sus características.....	27
Tabla 2. Modelo y características de las bombas empleadas en los Sondeos	31
Tabla 3. Modelo y características de las bombas empleadas en las interconexiones entre depósitos.....	32
Tabla 4: Consumo diario de agua potable estimado por vivienda según usos.....	41
Tabla 5: Número de viviendas abastecidas por cada deposito. Situación actual.....	41
Tabla 6. Resumen del consumo de agua potable por depósito. Situacion Actual.....	43
Tabla 7: Número de viviendas abastecidas por cada deposito. Situación futura.....	44
Tabla 8. Resumen del consumo de agua potable por depósito. Situacion Actual.....	46
Tabla 9. Resumen demanda de los depósitos. Escenario N°.1.....	50
Tabla 10. Resumen de los caudales de abastecimiento de la red. Escenario N°.1.....	50
Tabla 11. Resumen de conducciones de la red de abastecimiento. Escenario N°.1.....	52
Tabla 12. Resumen demanda de los depósitos. Escenario N°.2.....	55
Tabla 13. Resumen de los caudales de abastecimiento de la red. Escenario N°.2.....	55
Tabla 14. Resumen de conducciones de la red de abastecimiento. Escenario N°.2.....	57
Tabla 15. Resumen demanda de los depósitos. Consumo doméstico actual.....	64
Tabla 16. Resumen demanda de los depósitos. Consumo doméstico futura.....	65
Tabla 17. Coste energético diario y mensual estimado de los diferentes sistemas de bombeo.....	70
Tabla 18. Coste energético y mensual estimado en escenario de demanda futura.....	72
Tabla 19. Coste energético del abastecimiento doméstico a partir del Pozo Ranney.....	74
Tabla 20. Coste energético del abastecimiento doméstico futuro mediante red separativa...	76
Tabla 21. Comparativa económica mensual y anual en el escenario actual.....	76
Tabla 22. Comparativa económica mensual y anual en el escenario actual.....	77

MEMORIA

Modelado y optimización de la red de abastecimiento de agua potable en Sotogrande San
Roque Cádiz

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivo

El presente proyecto tiene como objetivo principal analizar la red de abastecimiento en alta de agua potable del C.I.T.N. de Sotogrande, situada en el término municipal de San Roque (Cádiz), y evaluar si la infraestructura existente es capaz de satisfacer la demanda actual y futura de sus habitantes, especialmente durante los periodos de máxima afluencia estacional.

Para ello, se ha realizado un estudio detallado del estado actual de la red, identificando posibles limitaciones en cuanto a capacidad, eficiencia y fiabilidad del suministro. Este análisis ha permitido detectar puntos críticos y necesidades de mejora en la infraestructura, considerando tanto el crecimiento poblacional como el incremento del consumo asociado a la actividad turística y residencial característica de la zona.

Asimismo, el proyecto contempla la evaluación de la viabilidad técnica y económica de la conexión en distintos puntos de la urbanización a la tubería de nueva construcción de 800 mm de diámetro, alimentando desde la ETAP de Arenilla, situada a la cota 170, para alimentar los distintos depósitos que abastecen a la urbanización de Sotogrande. La incorporación de esta conducción permitirá plantear una reconfiguración del sistema de abastecimiento, orientada a optimizar el funcionamiento hidráulico y a reducir los costes energéticos derivados de los bombeos actualmente en servicio.

En definitiva, el trabajo persigue no solo garantizar la cobertura de la demanda de agua potable en perfectas condiciones de calidad, sino también mejorar la sostenibilidad y eficiencia del sistema, contribuyendo a una mejor gestión de los recursos hídricos y energéticos en la urbanización de Sotogrande.

1.2. Antecedentes

Sotogrande es una de las zonas residenciales de lujo más importantes de Andalucía, España e incluso de Europa. Está ubicada en la desembocadura del río Guadiaro en el T.M. de San Roque (Cádiz) y fundada en 1962 por el empresario filipino Joseph McMicking.

A lo largo de los años, Sotogrande ha ido aumentando su extensión hasta llegar a ocupar un total de 1.750 hectáreas. Superficie dividida en 53 subsectores, según su Plan General de Ordenación, en el que se presentan tres grupos diferenciados:

- Urbanización de Sotogrande.
- Puerto Deportivo de Sotogrande.
- Campos de Golf y de Polo.

La urbanización Sotogrande se desarrolla sobre una superficie total de 13.975.548 m².

De los 53 subsectores que componen Sotogrande, 46 de ellos integran la Urbanización.

La zona urbanizada tiene una extensión de 8.126.686 m² y dentro de ella por las características de parcelación, podemos distinguir dos zonas

- Pueblo Nuevo de Guadiaro, compuesto por el Subsector 39, cuya superficie se encuentra dividida en parcelas inferiores a 1000 m².
- El resto de la urbanización con parcelas superiores a 1000 m².

1.3. Localización y emplazamiento

Este trabajo de fin de grado estudia la red de abastecimiento en alta de agua potable en la urbanización de Sotogrande, perteneciente al municipio de San Roque en la provincia de Cádiz.



Figura 1. Localización geográfica de Sotogrande en mapa físico de España

Sotogrande, se encuentra limitada al este por el Mar Mediterráneo y al norte con el Río Guadiaro.

Como se ha indicado anteriormente la urbanización abarca una superficie de 1.750 hectáreas, siendo una de las urbanizaciones de lujo más extensas de Europa. Su localización presenta características muy variadas, combinando zonas costeras de baja altitud, muy cercanas al nivel del mar, con zonas de mayor cota, superando los 250 metros de altitud. Estas diferencias de cota en el terreno implican la necesidad de una compleja red de abastecimiento de agua potable tanto en alta como en baja.

Por otro lado, las especiales características de localización de la urbanización en la costa mediterránea, lo que supone un clima mediterráneo subtropical, caracterizado por inviernos suaves veranos cálidos secos, junto a una gran variación estacional de población, sobre todo en épocas veraniegas debido al turismo, provoca grandes variaciones en la demanda de agua, obligando al servicio de dotación de agua potable y a la propia red de abastecimiento a estar preparado para responder a grandes picos de demanda de agua.

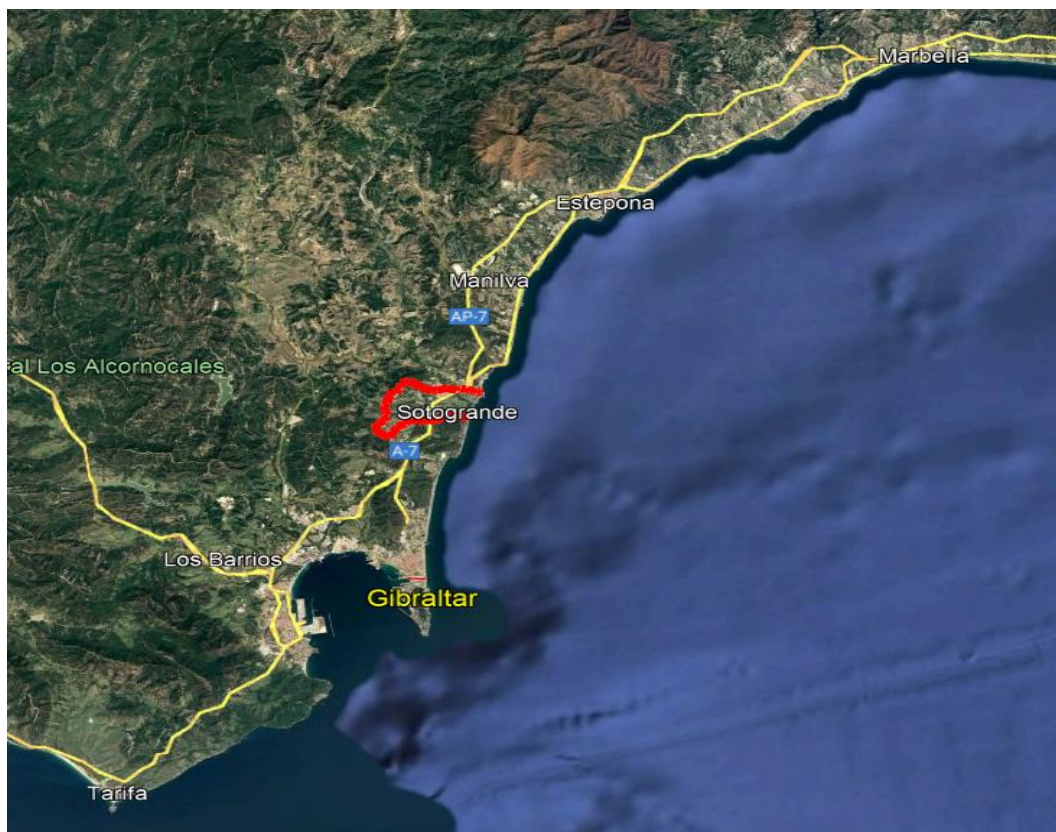


Figura 2. Delimitación de la Urbanización de Sotogrande

2. DESCRIPCIÓN DE LA RED ACTUAL DE ABASTECIMIENTO EN ALTA DE AGUA POTABLE

Actualmente, la red de abastecimiento de agua potable de Sotogrande está conformada por una gran red de distribución en alta compuesta por tres depósitos con una capacidad de almacenamiento total de 16.000 m³ (interconectados) y una red de abastecimiento en baja que partiendo de los depósitos abastece a toda la urbanización.

Los depósitos integrados en la red de abastecimiento en alta de Sotogrande se denominan respectivamente 1, 2 y 3 y tienen capacidades de 8.000 y 4.000 m³.

- Depósito 1: 8.000 m³.
- Depósito 2: 4.000 m³.
- Depósito 3: 4.000 m³.

Estos depósitos reciben agua de distintas fuentes de captación, siendo la principal de ellas un pozo Ranney (de drenes radiales) y gran caudal. Este en caso de intrusión salina cuenta con la ayuda de dos pozos profundos (G5 y G8) situados aguas arriba del Pozo Ranney, en el margen izquierdo del río. Además, hay 14 sondeos (pozos profundos) y por dos tomas de agua en alta procedentes de la ETAP de El Cañuelo y la ETAP de Arenillas ambas gestionadas por la empresa de suministro de agua potable ARCGISA (Mancomunidad del campo de Gibraltar).

Los pozos profundos se utilizan en sustitución del pozo Ranney, para poder hacer frente a circunstancias de emergencia, tales como falta de caudales de río durante el estiaje, posible salinización del agua por intrusión marina y averías de cualquier tipo en la captación principal.

2.1. Descripción de los elementos de la red

2.1.1. Depósitos

Los tres depósitos que abastecen Sotogrande, se encuentran ubicados en tres parcelas situadas en la misma urbanización. Tienen una superficie de aproximadamente 3.400 m², se encuentran valladas en su perímetro.

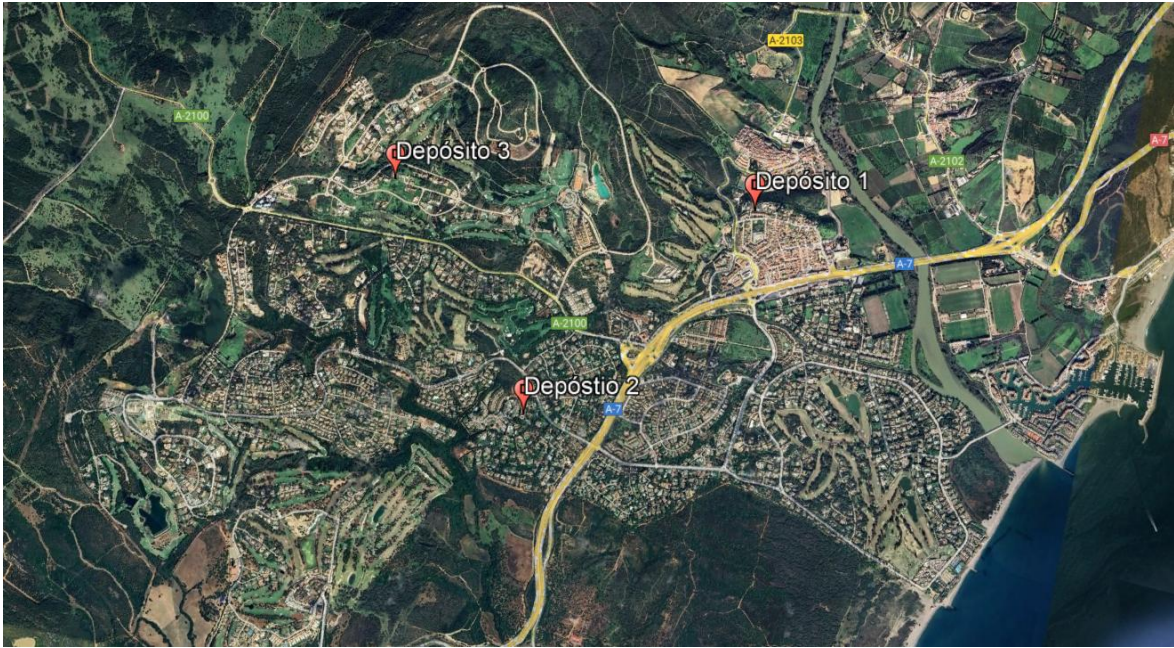


Figura 3. Localización de los depósitos

Los depósitos son de tipo semienterrados del denominado tipo C (imagen del depósito), son de hormigón armado, con ventilación natural mediante ventanas con rejas metálicas y malla de acero inoxidable. En la parte superior cuenta con dos registros de accesos para limpieza y mantenimiento.



Figura 4. Depósito de tipo semienterrado de tipo C

Sus paredes están impermeabilizadas con láminas de PVC para agua potable y la cubierta también se encuentre impermeabilizada con lamina de PVC, incluso peto perimetral y capa de grano de chino de canto rodado para evitar las altas temperaturas.

Estos depósitos están situados a diferentes cotas y se encuentran interconectados o mallados mediante conducciones en alta, que permiten la comunicación entre ellos al objeto de responder a las variaciones estacionales de la demanda.

A continuación, destacamos las principales características de cada uno de los depósitos de la urbanización.

- Depósito n.º 1.
 - Ubicación: HUSO: 30, x:293021.18, y:4019287.4
 - Cota: 47,00 m.s.n.m.
 - Capacidad: 8000 m³.
 - Fuentes de suministro:
 - Pozo Ranney.
 - Sondeos 1, 4, 7, 9, 18, G5 y G8.
 - Agua en alta de las ETAP de Arenillas y ETAP de El Cañuelo gestionadas por ARCGISA.



Figura 5. Depósito 1 de Sotogrande

- Depósito n.º 2.
 - Ubicación: HUSO:30, x:291539.87, y:4017491.25
 - Cota: 91,00 m.s.n.m.
 - Capacidad: 4000 m³.

- Fuentes de suministro:
 - Depósito 1.
 - Sondeos 2, 3, 5, 6, 8, 11, 12, 14 y 15.



Figura 6. Depósito 2 de Sotogrande

- Depósito n.º 3.
 - Ubicación: HUSO: 30, x: 290293.66, y: 4019067.39
 - Cota: 147,00 m.s.n.m.
 - Capacidad: 4000 m³.
 - Fuentes de suministro:
 - Depósito 1 y 2.



Figura 7. Depósito 3 de Sotogrande

Como se advierte el depósito 3 está alimentado exclusivamente por los depósitos 1 y 2, situados a una cota inferior, por lo que en la actualidad la alimentación de este depósito depende exclusivamente de impulsiones de agua.

2.1.2. Pozos

El abastecimiento de agua potable a la urbanización de Sotogrande, como se ha visto se realiza desde diferentes fuentes de captación, entre las cuales podemos destacar los pozos profundos y un pozo Ranney, además de las conducciones en alta procedentes de las ETAP de Arenillas y El Cañuelo.

Las soluciones de pozos profundos y pozo Ranney permiten extraer el agua del acuífero del plioceno y del acuífero de la subálvea del río respectivamente, garantizando así cubrir la demanda de la población en todo momento.

2.1.2.1. Pozo Ranney

El Pozo Ranney, es un pozo de drenes radiales, estos cuentan con diversos tubos perforados de acero con ranuras alargadas en sentido longitudinal dispuestos horizontalmente, que parten de un pozo revestido de hormigón de gran diámetro.

Este pozo se encuentra en los depósitos “aluviales” del Guadiaro-Hozgarganta donde por resolución de la dirección general de obras hidráulicas del 21 de junio de 1966, se concedió a Sotogrande S.A. el aprovechamiento de un caudal de 825 litros/segundo de agua procedente del Rio Guadiaro para el abastecimiento de la Urbanización de Sotogrande y del caserío de Guadiaro.

La citada concesión fue inscrita en el registro de aguas públicas y manantiales de la comisaria de aguas del sur de España, Málaga con el número 29, en fecha 21 de junio de 1966.

El pozo Ranney actual y los equipos de bombeos existentes se han dimensionado para extraer una caudal de 240 litros/segundo.



Figura 8. Instalaciones del Pozo Ranney

La realidad de la captación, por condicionantes de la propia fuente, nos permite extraer caudales solamente en ciclos pluviométricos muy buenos, debido a la salinización de las aguas por intrusión marina en épocas de escasez de lluvia.

La única solución para combatir la intrusión salina sería la de construir una presa aguas abajo del pozo, con los propios acarrees del rio y un aliviadero de labio fijo que garantice el caudal ecológico del rio y la subida de los peces.

Otra de las condiciones de la propia fuente es la alta concentración de manganeso por lo cual el agua está obligada a pasar por la estación de tratamiento de agua potable (E.T.A.P.).



Figura 9. Pozo Ranney

2.1.2.2. Pozos/Sondeos profundos

Los pozos profundos son perforaciones verticales en el suelo. Son realizados para poder acceder a acuíferos subterráneos que se encuentran a gran profundidad.



Figura 10. Sondeo número 4

Los pozos fueron diseñados como un sistema alternativo y complementario para la captación de aguas del río Guadiaro. Se llevó a cabo la construcción de varios pozos profundos en el acuífero plioceno de Sotogrande con el fin de garantizar el abastecimiento en situaciones de emergencia, como la disminución del caudal del río durante el estiaje, la posible salinización de las aguas debido a la intrusión marina o cualquier tipo de avería en la captación principal.

Actualmente, podemos encontrar un total de 14 pozos profundos con una profundidad de entre 20 a 100 metros, con diámetros de entubación variable entre 180 y 400 mm, ubicados en el acuífero del plioceno, situado bajo el suelo de la propia urbanización de Sotogrande, capaces de extraer caudales de 1 a más de 40 l/s.

Su localización estratégica, facilita la obtención del agua potable, facilitando su integración en el sistema de abastecimiento en alta de la urbanización.

En la tabla 1 se presenta la relación de pozos profundos, su profundidad, caudal y depósito al que abastecen.

Sondeo	Profundidad (m)	Caudal (L/s)	Depósito que abastece
1	64	4	1
2	95	3	2
3	90	11	2
4	70	19	1
5	100	0,33	2
6	100	0,33	2
7	55	4	1
8	55	6	2
9	90	5	1
11	70	6	2
12	66	2,5	2
14	70	0,33	2
15	73	4	2
18	90	4,5	1
G5	70	48	1
G8	75	24	1

Tabla 1. Resumen de los sondeos junto a sus características

Modelado y optimización de la red de abastecimiento de agua potable en Sotogrande San Roque Cádiz

Los sondeos G5 y G8 se activan únicamente cuando el pozo Ranney no es capaz de suministrar caudal, ya sea debido a la alta conductividad del agua o a la insuficiencia de caudal derivada del bajo nivel del río Guadiaro.

2.1.3. Suministro agua en alta (Arcgisa)

El sistema cuenta con dos tomas de agua en alta abastecidas por la ETAP de El Cañuelo y ETAP de Arenillas, ambas situadas en la cota 170, el agua llega a través de una tubería de diámetro 600 mm y a futuro a través de una tubería de 800 mm de diámetro. De esta tubería sale una toma de diámetro 300 mm, situada en la cota 20 y lleva el agua hasta el depósito 1. La segunda toma se encuentra situada en la cota 71 y lleva el agua hasta el depósito 2, a través de una tubería de diámetro 150 mm.

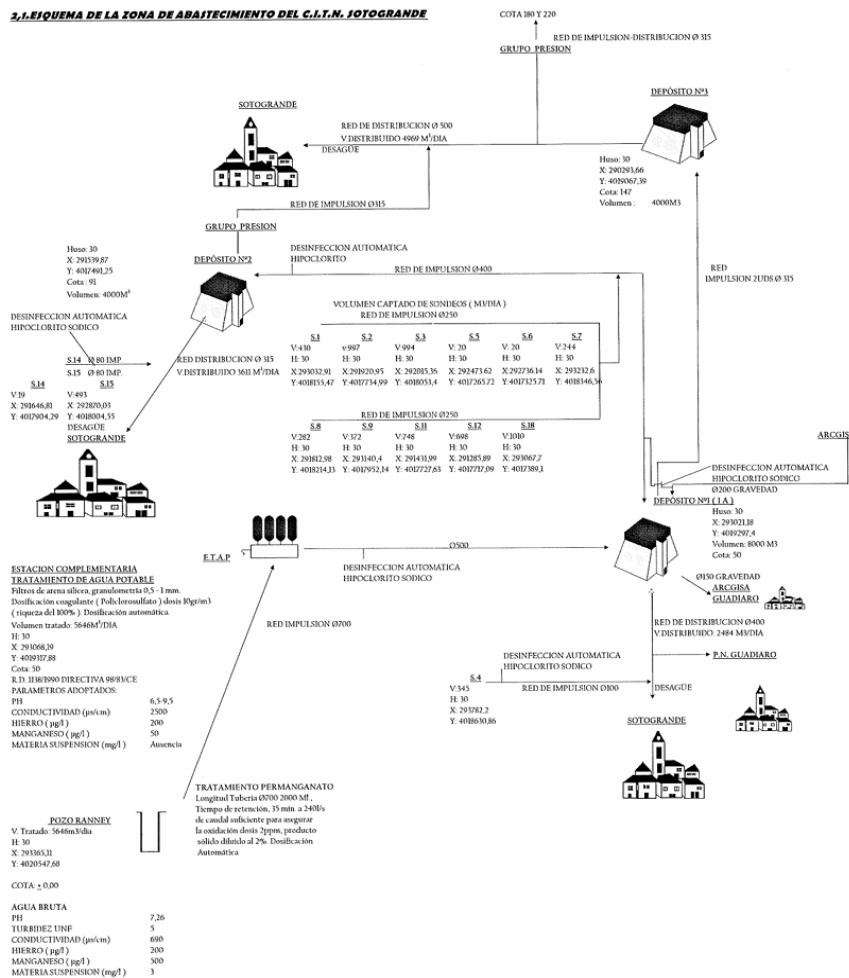


Figura 11. Esquema de la zona de abastecimiento del C.I.T.N. Sotogrande

2.1.4. Descripción de las impulsiones presentes en la red de abastecimiento de Sotogrande

El bombeo es un proceso esencial para el sistema de abastecimiento de agua en Sotogrande, ya que permite trasladar el agua desde los puntos de extracción y almacenamiento hacia los lugares de consumo. Este proceso se realiza mediante bombas electromecánicas, que superan las resistencias naturales al flujo y las diferencias de altura.

En Sotogrande, las bombas se emplean principalmente en dos áreas clave: la extracción de agua de los sondeos y la distribución entre los depósitos.

1. **Bombes en los sondeos:** El agua subterránea es extraída de los distintos sondeos ubicados en la urbanización, mediante bombas sumergidas. Estas bombas permiten cubrir la demanda tanto para consumo doméstico como para riego de la totalidad de la urbanización.



Figura 12. Instalación bombeo del Sonda 4

2. **Bombes en la red de interconexión de los depósitos:** Para asegurar que el agua llegue a los depósitos de cotas superiores, se utilizan bombas de cámara partida y bombas verticales centrífugas. Estas bombas permiten el transporte de agua entre los depósitos, garantizando el abastecimiento de agua en todas las zonas de Sotogrande, especialmente en momentos de alta demanda.



Figura 13. Bombeo de interconexión entre el Depósito 1 y el Depósito 3

Como se desprende de lo anterior, Sotogrande cuenta con una diversidad de bombas, distribuidas en puntos estratégicos de la urbanización, lo que permite optimizar la extracción de agua y su distribución. A continuación, se presenta la tabla de bombas de sondeo, que especifica el tipo, la descripción, la cota y la profundidad de cada una:

Bombes Sondeos

A continuación, en la tabla 2, encontramos una tabla resumen donde se describen algunas de las características más relevantes de las bombas encargadas de mantener un flujo constante de agua desde los sondeos a los depósitos.

Bomba	Tipo	Sondeo en la que se encuentra	Unidades	Profundidad (m)	Caudal (L/s)	Cota (m)
Grundfos	SP 60-15	1	1	64		20
Rovatti	6ECX4/14-6	2	1	95		65
Grundfos	SP 46-14	3	1	90		50
CRI	S65-60/12	4	1	70		10
Grundfos	SP-2A-18	5	1	100		90
Grundfos	SP-2A-18	6	1	100		90
Grundfos	SP-30-10	7	1	55		16
Grundfos	6E-27/10F-6''	8	1	55		50
Rovatti	6E-27/10F-6''	9	1	90		30
Grundfos	SP 30-11	11	1	70		50
Grundfos	SP 46-13	12	1	66		40
Rovatti	6ERC4/15-6''	14	1	70		70
Rovatti	6ERC4/15-6''	15	1	73		70
Rovatti	6E-27/10F-6''	18	1	90		50
Global Efficient Pumps	10M180-3	G5	1	70	180	10
Global Efficient Pumps	10M180-3	G8	1	75	180	10

Tabla 2. Modelo y características de las bombas empleadas en los Sondeos

Bombeos en interconexiones

En la siguiente tabla 3, se relacionan las bombas utilizadas en la red de interconexión de los depósitos, que permiten mantener el sistema operativo de manera eficiente.

Bomba	Tipo	Descripción	Unidades	Profundidad (m)	Caudal (m ³ /h)	Cota (m)
Worthington	6L-11	Bomba del depósito 1 al 2	1	Al mismo nivel del depósito	360	47
Worthington	6L-13	Bomba del depósito 1 al 3	1	Al mismo nivel del depósito	350	47
Grundfos	CR 90-4	Bomba del depósito 2 al 3	4	Al mismo nivel del depósito	90	91

Tabla 3. Modelo y características de las bombas empleadas en las interconexiones entre depósitos

2.1.5. Redes de llenado e impulsión

Las principales redes de llenado de depósitos que podemos destacar en la urbanización de Sotogrande son las siguientes:

2.1.5.1. Impulsiones desde pozos

- Red de impulsión de diámetro 700 mm de hormigón pretensado y armada con camisa metálica, lleva el agua desde el pozo Ranney a la E.T.A.P.
- Red de impulsión de diámetro 250 mm de polietileno electrosoldado, lleva el agua desde los sondeos (pozos profundos) al depósito n.º 2 y al depósito n.º 1.
- Red de impulsión de 315 mm de PVC orientado, lleva el agua desde los sondeos a la red de impulsión de 250 mm de polietileno electrosoldado.



Figura 14. Impulsión desde el Pozo Ranney hasta el Depósito 1

2.1.5.2. Impulsiones desde ETAP

- Red de impulsión de diámetro 500 mm de acero inoxidable, lleva el agua desde la E.T.A.P. Sotogrande al depósito 1 (regulador).

2.1.5.3. Impulsiones entre depósitos

- Red de impulsión de diámetro 315 mm de PVC orientado de junta elástica, lleva el agua desde el depósito n.º 1 al depósito n.º 3.
- Red de impulsión de diámetro 400 mm de fibrocemento y hormigón pretensado, lleva el agua desde el depósito n.º 1 al depósito n.º 2.
- Red de impulsión de diámetro 80 mm y 100 mm, lleva el agua a la red de distribución de 315 mm del depósito n.º 2 y a la red de distribución de 400 mm del depósito n.º 1.

Además de las impulsiones anteriores existe dos conducciones por gravedad de diámetros 600 y 300 mm, que llevan el agua al depósito n.º 1 y 2 desde la E.T.A.P. de Arenillas y de El Cañuelo.

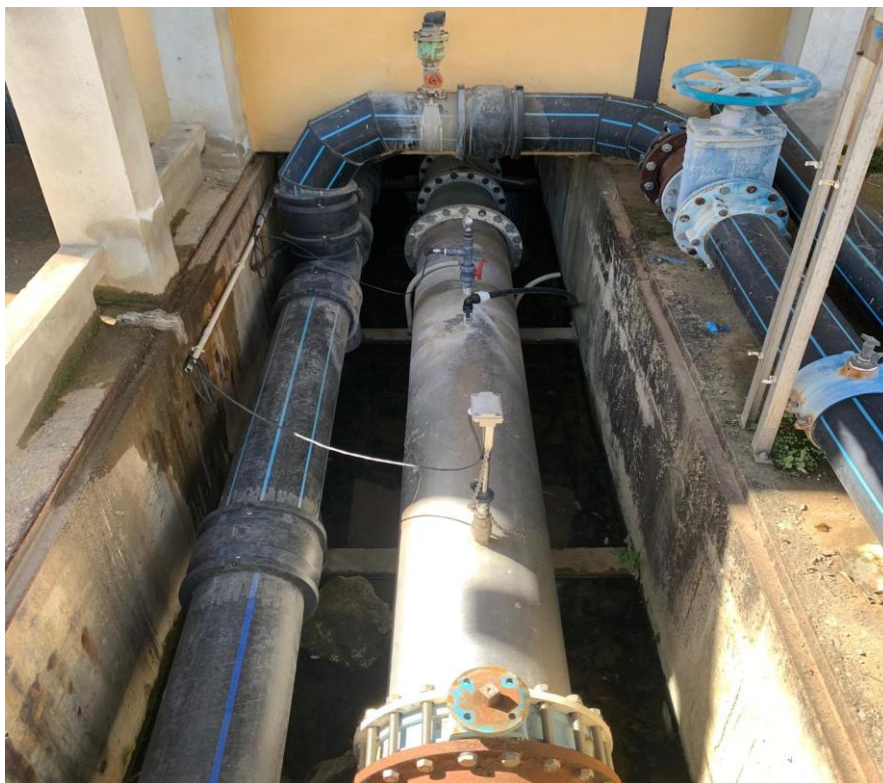


Figura 15. Tubería de impulsión desde el depósito 1 al depósito 2

2.1.5.4. Red de distribución de agua potable a la urbanización

La red de distribución en baja suministra el agua potable a la urbanización. Esta red está dividida en tres sectores mallados que a su vez distribuyen a las distintas áreas de la urbanización.



Figura 16. Salida del Depósito 3 a la red de distribución en baja

Desde los depósitos de almacenamiento y distribución parten las distintas redes con tuberías de fibrocemento, PVC y polietileno, con diámetros comprendidos entre 300 y 450 mm.

Estas arterias principales de distribución se encuentran malladas y cuentan con reductores de presión y alimentan a las distintas redes malladas de distribución de cada uno de los sectores urbanizados.

Los diámetros de las conducciones de estas redes secundarias están comprendidos entre 100 y 450 mm, en tuberías de fibrocemento, PVC y polietileno.

A lo largo de las conducciones de distribución se han instalado bocas contraincendios e hidrantes cada 200 m, así como ventosas automáticas en los puntos altos de la red y válvulas de desagües en todos los puntos bajos y finales de red, para limpieza de las tuberías.

- Red distribución deposito 1.
 - Longitud: 29 km.
 - Viviendas suministradas: 2274 unidades.
- Red distribución deposito 2.
 - Longitud: 20 km.
 - Viviendas suministradas: 582 unidades.
- Red distribución deposito 3.
 - Longitud: 62 km.
 - Viviendas suministradas: 4002 unidades.

3. CÁLCULO DE LA DEMANDA DE AGUA POTABLE EN LA URBANIZACION DE SOTOGRANDE

Sotogrande cuenta actualmente con un total de 4.227 viviendas, de las que 2.393 viviendas cuentan con jardín y 1.834 viviendas no tienen jardín. Este aspecto es fundamental en la estimación del consumo de agua de las mismas.

Por otro lado, es importante destacar que estas viviendas son de grandes dimensiones, por lo que el consumo de agua es considerablemente elevado.



Figura 17. Casa tipo urbanización de Sotogrande

Por lo último, indicar que Sotogrande tiene previsto un proyecto de expansión urbanística, mediante el cual se añadirán 2.435 viviendas más a las existentes. Por tanto, en un futuro próximo, la urbanización contará con un total de 6.662 viviendas, de las cuales serán 4.828 con jardín y 1.834 sin jardín.

En consecuencia, se procede a continuación a estimar el consumo total de agua potable de cada sector y la asignación a cada uno de los depósitos, tanto en la situación actual como en

la situación prevista tras la ampliación de la urbanización, diferenciando análogamente el consumo para riego y para abastecimiento de poblaciones.

Para calcular el consumo de una vivienda, se ha estimado la media del tamaño de las viviendas existente en la urbanización y se han obtenido parcelas de 3500 m² de superficie de media, en las que 2500 están destinados a superficies ajardinadas.

Por otro lado, según información proporcionada por fuentes internas de Sacyr Aguas, se ha podido determinar que, en Sotogrande, el 85% del agua suministrada a las viviendas se destina al riego, mientras que el 15% restante corresponde al consumo doméstico.

En primer lugar, procederemos a la estimación del consumo de agua de riego que tiene una vivienda tipo.

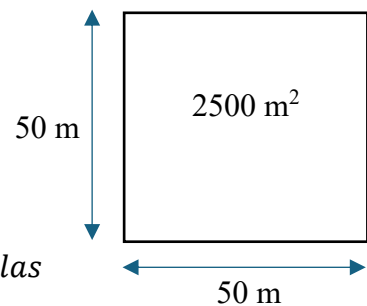
Para el riego de los jardines, se hace uso de unas electroválvulas situadas en éstos. Las electroválvulas más comunes empleadas son de 1' y de 1^{1/2}' con consumos de 5.000 y 8.000 l/h respectivamente.

Cada electroválvula suministra a 8 difusores situados en los jardines de cada vivienda y cada difusor se encuentra a 4 metros de distancia uno del otro por lo que para estimar el riego de cada vivienda se ha procedido a la estimación del número de difusores y electroválvulas por vivienda tipo. Así tenemos que, considerando una parcela a regar de superficie 2500 m² y 50 m de lado, necesitaremos un total de 156,25 difusores \cong 20 *electroválvulas*

$$\frac{50m}{4 \text{ m. difusor}} = 12'5 \text{ difusores}$$

$$12'5 * 12'5 = 156'25 \text{ difusores}$$

$$\frac{156'25 \text{ difusores}}{8 \text{ difusores} * \text{electroválvula}} = 19'53 \cong 20 \text{ electroválvulas}$$



En cuanto a la tipología de electroválvulas de uso más común en el área de Sotogrande, la empresa suministradora SACYR ... indica que son las electroválvulas de 1 pulgada que como se ha indicado tiene un consumo de 5000 l/h (1) y que la duración de los riegos está


programada en 5 minutos diarios, por lo que se calcula que el caudal destinado al riego de cada parcela es de 8333 l/d (2).

$$5000 \frac{L}{h} * \frac{1 h}{60 min} = 83'33 \frac{L}{min} \quad (1)$$

$$20 \text{electroválvulas} * 83'33 \frac{L}{min} * 5 \frac{min}{d} = 8333 \frac{L}{d} \quad (2)$$


Tras evaluar el caudal diario de riego en una vivienda y conociendo el consumo total de la misma en base a la estimación realizada tras la consulta de 18 facturas de consumo de agua potable en viviendas con jardín del área de Sotogrande, facilitadas por Aguas del Valle del Guadiaro, empresa concesionaria del servicio de agua de Sotogrande (figura 18) se obtienen el porcentaje de agua destinada al consumo doméstico y el destinado a riego. (Tabla 4).

Modelado y optimización de la red de abastecimiento de agua potable en Sotogrande San Roque Cádiz



Aguas del Valle del Guadiaro
P^o De Levante s/n Edificio E, Local 7 A, 11310 Sotogrande San Roque (Cádiz)

FACTURA TRIMESTRAL



MANCOMUNIDAD DE MUNICIPIOS DEL CAMPO DE GIBRALTAR

CONTRATO

Factura: A-2023/23100002775 Contador: A17WF713745N / 50mm
 Fecha: 15/09/2023 Período: 3^o TRIMESTRE 2023
 Uso: Residencial Viviendas+Locales: 1

DIRECCIÓN DE SUMINISTRO

11310 - Sotogrande (San Roque) (Cádiz)

DIRECCIÓN DE ENVÍO

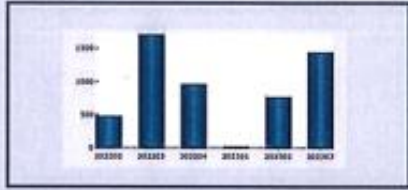
Estimado/a Cliente/a:
 CL/ MARIA DE MOLINA
 11310 - Sotogrande (San Roque) (Cádiz)

DETALLE DE CONCEPTOS FACTURADOS

Concepto	Cantidad	Precio	Importe	Subtotal	IVA
AGUAS DEL VALLE DEL GUADIARO S.L. 87235102					
CUOTA SERVICIO AGUA	1 u/m	60,4000	60,4000	60,4000	10%
CONSUMO DE AGUA				898,6800	10%
Bloque 1:	50 m ³	0,4400	22,0000		
Bloque 2:	150 m ³	0,5400	81,0000		
Bloque 3:	1,244 m ³	0,7200	895,6800		
C. SANEAMIENTO Y DEPURACION	1 u/m	29,1400	29,1400	29,1400	10%
VERTIDO				398,8200	10%
Bloque 1:	50 m ³	0,1700	8,5000		
Bloque 2:	1,394 m ³	0,3800	390,3200		
CANON DE MEJORA				187,7200	10%
Bloque 1:	1,464 m ³	0,1300	187,7200		
CANON FIJO	3,00 m ³ x 1 U/L x 6,0000		0,0000	0,0000	NS
CANON VARIABLE				0,0000	NS
Bloque 1:	8 m ³	0,0000	0,0000		
Bloque 2:	23 m ³	0,0000	0,0000		
Bloque 3:	23 m ³	0,0000	0,0000		
Bloque 4:	1,392 m ³	0,0000	0,0000		

TARIFAS
 Tarifas vigentes según ordenanza fiscal reguladora
 BOP N. 15(16-01-2023)
 BOP N. 58(17-01-2023) - SANEAMIENTO
 BOP N. 88 06-05-2011 - CANON DE MEJORA
 RD 1/2022

HISTÓRICO DE CONSUMO



PROMEDIO DE CONSUMO
 Su consumo diario durante este periodo ha sido de 16,598 m³ y su gasto medio en el periodo ha sido de 20,04 €/ día de los cuales 12,63 €/ día corresponde a agua.

LECTURA Y CONSUMO

Anterior:	23/05/2023	15.504 m ³
Actual:	18/08/2023	16.948 m ³
Consumo:	1444 m ³	

OFICINA VIRTUAL
 Realice sus gestiones cómodamente desde su domicilio en:
www.acuamaonline.com
 Solicite la factura electrónica completamente gratis.

OBSERVACIONES

El pago de esta factura se acredita con la posesión del justificante de cobro o el adeudo bancario y no presupone el pago de las facturas anteriores.
 El importe de esta factura deberá acreditarse en la cuenta:
 (Se recomienda comprobar los datos. Consulte cualquier cambio al teléfono de atención al cliente.)

TOTALES

Base exenta de IVA	0,0000		0,0000
IVA 10,00%	1.674,7600	167,4760	1.842,2360
TOTAL A PAGAR			1.842,24 C

Fecha límite para el pago voluntario: 06/11/2023

ATENCIÓN AL CLIENTE
 856 560 924
 900 109 107
 E-MAIL: infoavg@sacyr.com

P. de Levante s/n Edif E Loc 7A, Pto Dep,
 11310 Sotogrande (San Roque Cádiz)
 Horario: Lunes a Viernes de 9:00 a 14:00 h

sacyr
 AGUA

No se cederán datos a terceros salvo obligación legal. Todos los datos serán tratados por el encargado o subencargado en este caso bajo acuerdo jurídico específico y autorización del responsable.
 Aguas del Valle del Guadiaro S.L.U. Inscrito en el registro mercantil de Cádiz, Tomo 2118, Sec. 8^o del Libro de Sociedades. Folio 183. Hoja CA-46338. Inscrito. 1^o. NIF: B-72355102.

Figura 18. Factura de agua de la empresa Aguas del Valle del Guadiaro

$$8333 \text{ L/d} \rightarrow 85\%$$

$$x \text{ L/d} \rightarrow 15\%$$

$$x = \frac{8333 \frac{L}{d} * 15\%}{85\%} = 1470 \frac{L}{d}$$

Uso	Consumo diario (l/día)	%
Consumo Doméstico	1.470	15%
Consumo Riego	8.333	85%
Consumo total	9.803	100%

Tabla 4: Consumo diario de agua potable estimado por vivienda según usos

3.1. Estimación de la demanda de abastecimiento de agua potable actual

Como se ha señalado previamente, Sotogrande dispone de tres depósitos de agua, cada uno de los cuales suministra a una zona distinta. Por ello, el número de viviendas abastecidas por cada depósito varía en función de su área de cobertura. (Tabla 5)

Depósito	Tipología de vivienda	Número de viviendas a las que abastece
Depósito 1	Con jardín	440
	Sin jardín	1.834
	Total	2.274
Depósito 2	Con jardín	582
	Sin jardín	--
	Total	582
Depósito 3	Con jardín	1.371
	Sin jardín	--
	Total	1.371
Total viviendas abastecidas		4.227

Tabla 5: Número de viviendas abastecidas por cada depósito. Situación actual

Demanda depósito 1:

Cuenta con 440 viviendas con jardín y 1834 sin jardín.

Con jardín:

$$440 \text{ viviendas} * 9.803 \frac{L}{d} = 4.313.320 \frac{L}{d} = 4.313'32 \frac{m^3}{d}$$

Sin jardín:

$$1.834 \text{ viviendas} * 1470 \frac{L}{d} = 2.695.980 \frac{L}{d} = 2.695'98 \frac{m^3}{d}$$

Total:

$$4.313'32 \frac{m^3}{d} + 2.695'98 \frac{m^3}{d} = 7.039'3 \frac{m^3}{d}$$

Demanda depósito 2:

Cuenta con 582 viviendas con jardín.

Con jardín:

$$582 \text{ viviendas} * 9.803 \frac{L}{d} = 5.705.346 \frac{L}{d} = 5.705'346 \frac{m^3}{d}$$

Total:

$$5.705'346 \frac{m^3}{d}$$

Demanda depósito 3:

Cuenta con 1371 viviendas con jardín.

Con jardín:

$$1.371 \text{ viviendas} * 9.803 \frac{L}{d} = 13.439.913 \frac{L}{d} = 13.439'913 \frac{m^3}{d}$$

Total:

$$13.439.913 \frac{L}{d} = 13.439'913 \frac{m^3}{d}$$

Depósito	Tipología de Vivienda	N.º Viviendas (Ud)	Demanda (m3/d)
1	Con jardín	440	4.313,32
	Sin jardín	1834	2.695,98
		2274	7.039,3
2	Con jardín	582	5.705,35
	Sin jardín	-	-
		582	-5.705,35
3	Con jardín	1371	13.439,91
	Sin jardín	-	-
		1371	13.439,91
Total		4227	26.184,56

Tabla 6. Resumen del consumo de agua potable por depósito. Situación Actual

La estimación de la demanda media diaria actual se ha calculado tomando como referencia el periodo estival, correspondiente a los meses de julio, agosto y septiembre. Durante este intervalo como podemos observar en la tabla 6, es de 26.184,56 m3/día.

3.2. Estimación de la demanda de abastecimiento de agua potable futura

Para la estimación de la futura demanda de agua potable en la urbanización de Sotogrande, se tiene en cuenta la ampliación prevista en cuanto al número de viviendas que serán abastecidas desde el depósito nº 3, quedando así el número de viviendas atendidas por cada uno de los depósitos.

Depósito	Tipología de vivienda	Número de viviendas a las que abastece
Depósito 1	Con jardín	440
	Sin jardín	1.834
	Total	2.274
Depósito 2	Con jardín	582
	Sin jardín	--
	Total	582
Depósito 3	Con jardín	3.806
	Sin jardín	--
	Total	3.806
Total viviendas abastecidas		6.662

Tabla 7: Número de viviendas abastecidas por cada deposito. Situación futura

Demanda depósito 1:

Cuenta con 440 viviendas con jardín y 1834 sin jardín.

- Con jardín:

$$440 \text{ viviendas} * 9803 \frac{L}{d} = 4.313.320 \frac{L}{d} = 4.313'32 \frac{m^3}{d}$$

- Sin jardín:

$$1.834 \text{ viviendas} * 1470 \frac{L}{d} = 2.695.980 \frac{L}{d} = 2.695'98 \frac{m^3}{d}$$

- Total:

$$4.313'32 \frac{m^3}{d} + 2.695'98 \frac{m^3}{d} = 7.039'3 \frac{m^3}{d}$$

Demanda depósito 2:

Cuenta con 582 viviendas con jardín.

- Con jardín:

$$582 \text{ viviendas} * 9.803 \frac{L}{d} = 5.705.346 \frac{L}{d} = 5.705'346 \frac{m^3}{d}$$

- Total:

$$5.705'346 \frac{m^3}{d}$$

Demanda depósito 3:

Cuenta con 3806 viviendas con jardín.

- Con jardín:

$$3.806 \text{ viviendas} * 9803 \frac{L}{d} = 37.310.218 \frac{L}{d} = 37.310'218 \frac{m^3}{d}$$

- Total:

$$37.310.218 \frac{L}{d} = 37.310'218 \frac{m^3}{d}$$

*Modelado y optimización de la red de abastecimiento de agua potable en
Sotogrande San Roque Cádiz*

Depósito	Tipología de Vivienda	N.º Viviendas (Ud)	Demanda (m3/d)
1	Con jardín	440	4.313'32
	Sin jardín	1834	2.695'98
		2274	7.039'3
2	Con jardín	582	5.705'346
	Sin jardín	-	-
		582	5.705'346
3	Con jardín	3806	37.310'218
	Sin jardín	-	-
		3806	37.310'218
Total		6662	50.054,864

Tabla 8. Resumen del consumo de agua potable por depósito. Situación Actual

Como hemos podido comprobar, actualmente con la infraestructura existente es suficiente para cubrir la demanda de agua potable, pero a futuro sería necesario mejorar la infraestructura aumentando el número de bombeos como ya se ha comentado anteriormente.

4. MODELADO DE LA RED

Con el objetivo de comprobar el correcto funcionamiento del sistema hidráulico tanto en su estado actual como en un escenario futuro de máxima demanda, se ha realizado la modelación de la red de abastecimiento en alta de agua potable, considerando tanto la interconexión de los depósitos, como el llenado desde pozos, mediante el software EPANET 2.0.

Este análisis se ha enfocado en verificar si la red actual es capaz de abastecer tanto a la población existente, como a la demanda prevista tras la ampliación de las futuras viviendas que se alimentarán desde el Depósito 3. También se proponen, posibles mejoras que garanticen la eficiencia del sistema.

Para ello, se han definido dos escenarios:

1. Escenario nº1. Situación Actual: En este escenario se comprueba la situación actual de la red existente para comprobar si es capaz de garantizar el suministro a las viviendas actuales
2. Escenario nº2: Situación Futura. En este escenario se comprobará la respuesta de la red actual ante el futuro requerimiento de agua, así como se realizarán unas propuestas enfocadas a garantizar el suministro del agua de consumo doméstico

4.1. Simulación del escenario N°1: Situación actual

Para evaluar el comportamiento hidráulico del sistema de abastecimiento de agua en *Sotogrande*, se ha llevado a cabo una simulación hidráulica en estado estacionario mediante EPANET 2.0. Esta herramienta permite analizar la distribución de caudales, presiones y velocidades en los distintos tramos de tubería, facilitando la identificación de zonas críticas, márgenes de mejora y puntos con potencial riesgo de ineficiencia.

En la figura 18, se expone el trazado de la red de interconexión de depósitos, así como la disposición de sondeos y cálculo de llenado de depósitos.

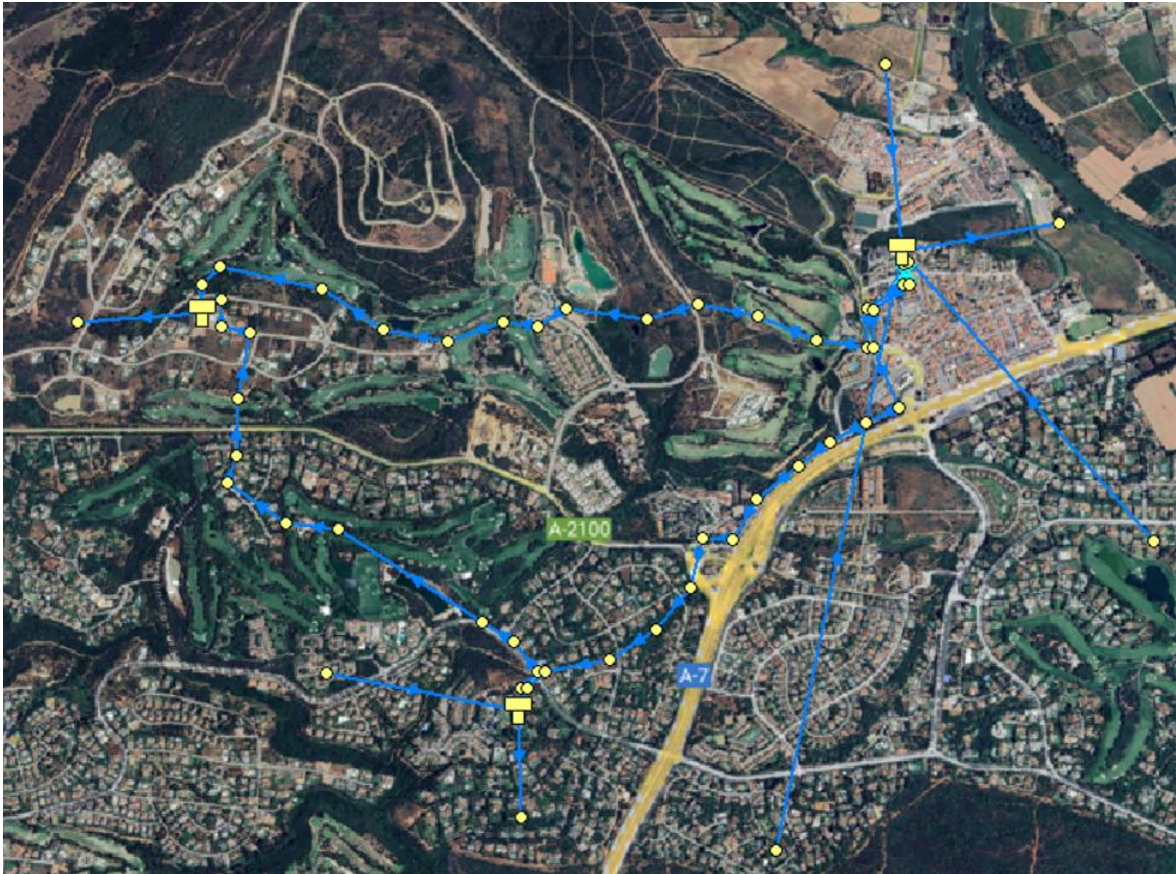


Figura 19. Modelo de la red de abastecimiento en alta

Descripción general de la red

La red de abastecimiento de agua potable en alta está formada por tres depósitos principales y un conjunto de tuberías que distribuyen el caudal mediante las tuberías que interconexionan los depósitos, así como una serie de impulsiones que permiten el llenado de los depósitos desde las diferentes fuentes de captación.

La visualización de la red en EPANET emplea una escala cromática que clasifica los caudales en función de su magnitud, permitiendo una rápida interpretación del comportamiento hidráulico:

- Azul: caudales bajos (< 25 L/s)
- Cian: caudales bajos-medios (25-49 L/s)
- Verde: caudales medios (50–75 L/s)
- Naranja: caudales medios-altos (76-100 L/s)

En la tabla 9 se muestra la demanda abastecida por cada uno de los depósitos.

	Descripción	Demanda (L/s)
Demanda 1 (Dem.1)	Cantidad de agua abastecida por el Depósito 1	81,5
Demanda 2 (Dem.2)	Cantidad de agua abastecida por el Depósito 2	66
Demanda 3 (Dem.3)	Cantidad de agua abastecida por el Depósito 3	155,5
Total	-	303

Tabla 9. Resumen demanda de los depósitos. Escenario N°.1

En la tabla 10 se muestra la relación de los sondeos de abastecimiento a depósitos, así como el nodo que lo identifica en el software Epanet, su cota y el caudal de aportación.

Nodos	Descripción	Cotas (m)	Caudales (L/s)
S.DEP.1	Sondeos para abastecimiento Depósito 1	60	33,5
S.DEP.2	Sondeos para abastecimiento Depósito 2	100	36,5
Pozo Ranney	Pozo de gran diámetro para abastecimiento Depósito 1	65	72
T.Arcgisa	Tubería de 600 mm de suministro de Arcgisa hasta el Depósito 1	70	200
Total	-	-	342

Tabla 10. Resumen de los caudales de abastecimiento de la red. Escenario N°.1

Tras la simulación efectuada, se observa que la red tiene un comportamiento hidráulico estable y eficiente, sin caídas abruptas de caudal ni presiones negativas que puedan indicar inestabilidad o colapso en la distribución.

Además de las presiones en los distintos nodos es importante verificar que las velocidades desarrolladas en las conducciones de abastecimiento en alta se encuentren dentro de los intervalos óptimos de forma que se eviten tanto pérdidas por fricción como fenómenos indeseados como el golpe de ariete.

Intervalos óptimos de velocidad

Se considera recomendable mantener las velocidades dentro del siguiente rango:

- 0,5 a 2,5 m/s en redes de distribución principal.

Esto se justifica por:

- Velocidades bajas ($< 0,5$ m/s): favorecen la sedimentación de partículas y deterioro de la calidad del agua.
- Velocidades altas ($> 2,5$ m/s): aumentan las pérdidas energéticas y el riesgo de erosión.



Figura 21. Simulación de velocidades. Escenario N°1

En la simulación efectuada, las velocidades se mantienen dentro de este intervalo, lo que confirma un diseño hidráulico aceptable para el estado actual.

A continuación, se presentan los tramos que conectan los depósitos entre sí y con los principales nodos, incluyendo su descripción técnica y parámetros clave:

Tubería	Descripción tubería	Diámetro (mm)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)
Tubería D1 al D2	Tubería conexión Depósitos 1 y 2	400	100	1,41
Tuberías D1 al D3	Tuberías conexión Depósitos 1 y 3	300	117,2	1,66
Tubería D2 al D3	Tuberías conexión Depósitos 2 y 3	300	66,48	0,94
Tubería de S.DEP.1	Tubería impulsión desde sondeos a Depósito 1	80	33,5	1,16
Tubería de S.DEP.2	Tubería impulsión desde sondeos a Depósito 2	80	36,5	1,16
Tubería Pozo Ranney	Tubería impulsión desde pozo Ranney al Depósito 1	300	72	1,02
Tubería Arcgisa 1	Tubería Arcgisa hasta el Depósito 1	300	170	1,02

Tabla 11. Resumen de conducciones de la red de abastecimiento. Escenario N°.1

En la tabla 11 se muestra una relación de caudales y velocidades en todas las conducciones de la red en alta en la situación actual. Como se observa en todos los tramos se cumple los rangos de velocidades por lo que con esto aseguramos la máxima calidad en el suministro de agua potable.

4.2. Simulación del escenario N.º2: situación futura

Con el propósito de evaluar el rendimiento del sistema de abastecimiento tras la ejecución de mejoras estructurales previstas, se ha desarrollado una simulación hidráulica en régimen estacionario mediante EPANET 2.0. Esta simulación proyecta el comportamiento esperado de la red en condiciones de máxima demanda futura, considerando tanto el crecimiento urbanístico como una reorganización más eficiente del suministro.

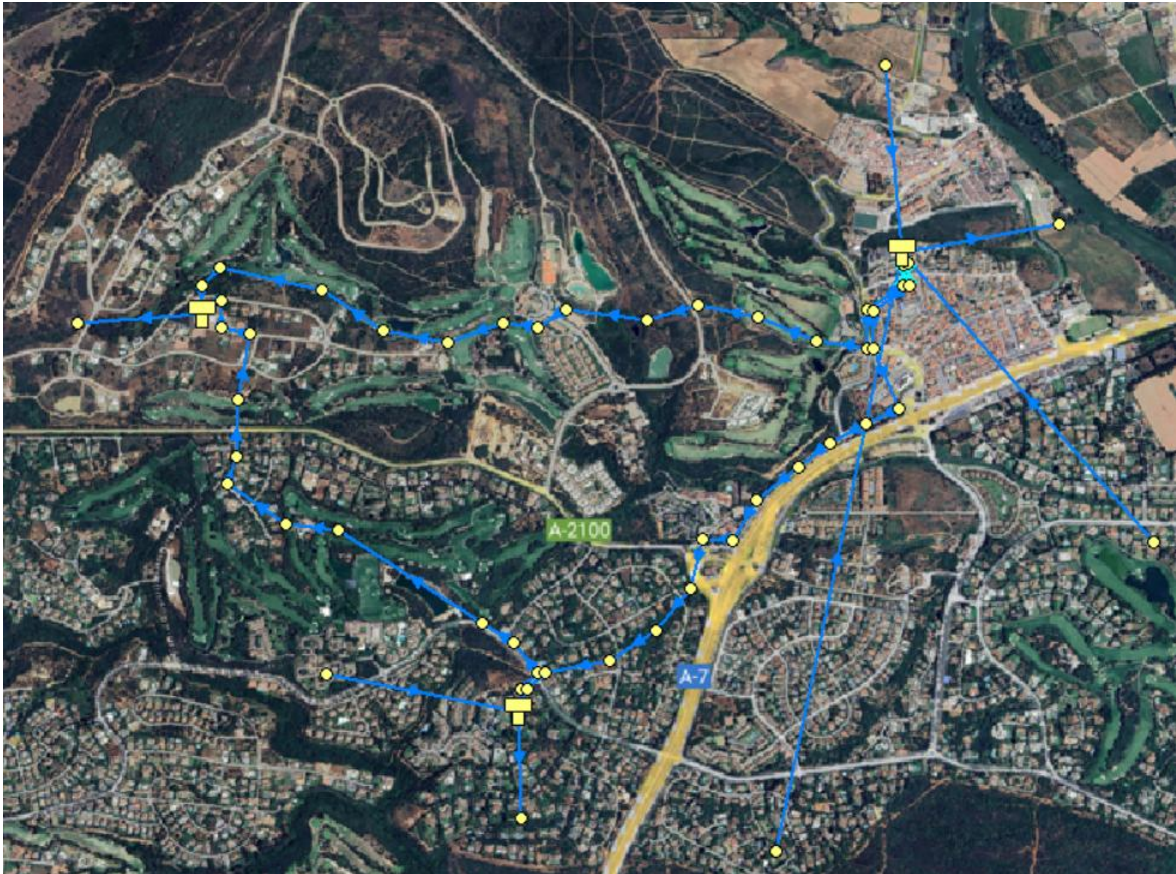


Figura 22. Modelo de la red de abastecimiento en alta

Descripción general de la red

El análisis de la red en la situación, tras la ampliación del número de viviendas a abastecer, permite anticipar posibles puntos críticos, optimizar la distribución de caudales y verificar la capacidad del sistema mejorado para abastecer a toda la población, incluyendo las futuras viviendas que serán alimentadas desde el Depósito 3.

La visualización del modelo, basada en una escala cromática según el caudal transportado, facilita la identificación de tramos con exigencias hidráulicas elevadas o sobredimensionamiento potencial, de forma análoga a la situación actual.

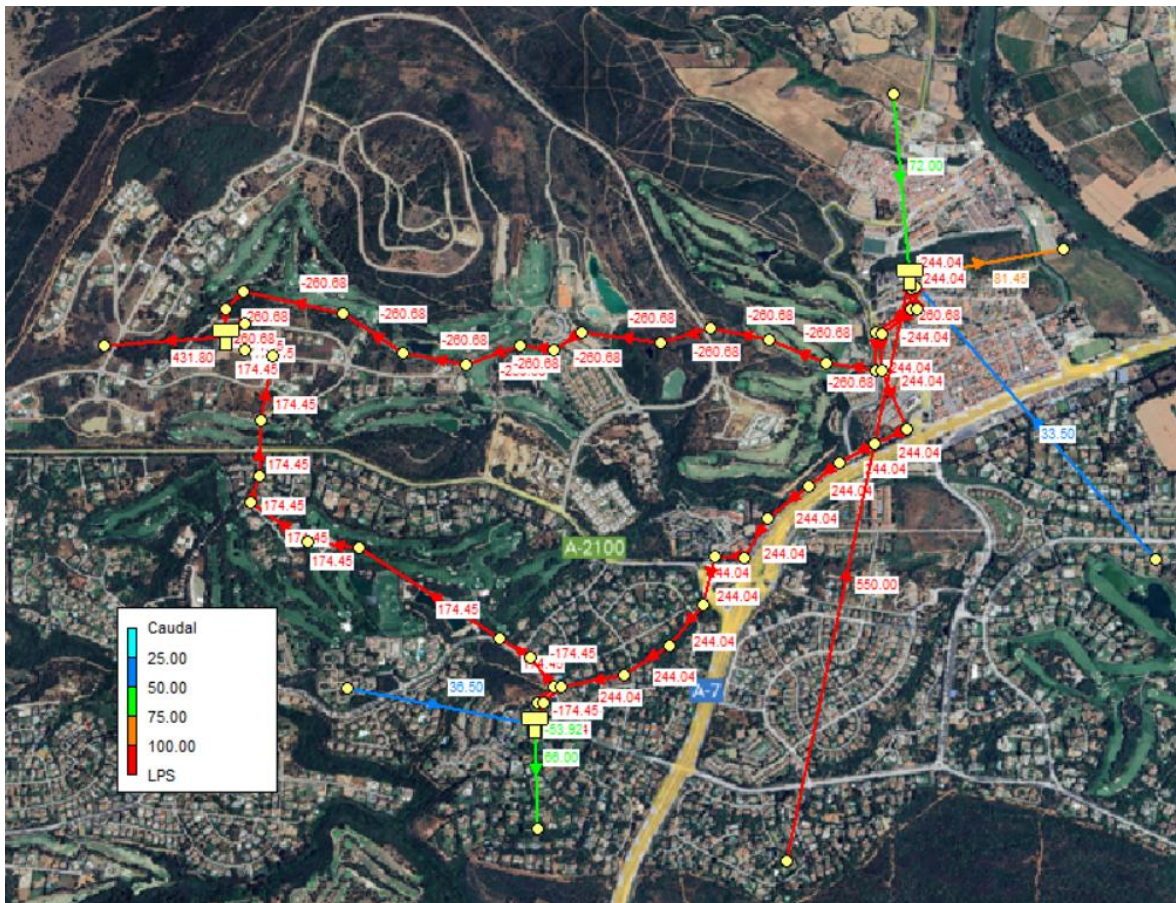


Figura 23. Simulación de caudales. Escenario N°.2

Al igual que en el escenario anterior, se han definido tres nodos de demanda (Dem.1, Dem.2 y Dem.3), que representan los sectores de población abastecidos por cada uno de los depósitos. Su definición se resume en la siguiente tabla:

	Descripción	Demanda (L/s)
Demanda 1 (Dem.1)	Cantidad de agua abastecida por el Depósito 1	81,5
Demanda 2 (Dem.2)	Cantidad de agua abastecida por el Depósito 2	66
Demanda 3 (Dem.3)	Cantidad de agua abastecida por el Depósito 3	431,8
Total	-	579,3

Tabla 12. Resumen demanda de los depósitos. Escenario N°.2

También se han considerado los mismos puntos de captación definidos anteriormente, ya que seguirán siendo la fuente principal del agua distribuida a través de la red:

Nodos	Descripción	Cota (m)	Caudal (L/s)
S.DEP.1	Sondeos para abastecimiento Depósito 1	60	33,5
S.DEP.2	Sondeos para abastecimiento Depósito 2	100	36,5
Pozo Ranney	Pozo de gran diámetro para abastecimiento Depósito 1	65	72
T.Arcgisa	Tubería de 600 mm de suministro de Arcgisa hasta el Depósito 1	70	550
Total	-	-	642

Tabla 13. Resumen de los caudales de abastecimiento de la red. Escenario N°.2

Finalmente, se recogen los principales tramos entre depósitos y nodos, junto con sus características técnicas:

Tubería	Descripción tubería	Diámetro (mm)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)
Tubería D1 al D2	Tubería conexión Depósito 1 y 2	400	244,04	3,45
Tuberías D1 al D3	Tubería conexión Depósito 1 y 3	300	260,68	3,69
Tubería D2 al D3	Tubería conexión Depósito 2 y 3	300	174,45	2,47
Tubería de S.DEP.1	Tubería impulsión desde sondeos a Depósito 1	80	33,5	1,07
Tubería de S.DEP.2	Tubería impulsión desde sondeos a Depósito 2	80	36,5	1,16
Tubería Pozo Ranney	Tubería impulsión desde pozo Ranney al Depósito 1	300	72	1,02
Tubería Arcgisa 1	Tubería Arcgisa hasta el Depósito 1	300	170	2,8

Tabla 14. Resumen de conducciones de la red de abastecimiento. Escenario N^o.2

Los resultados obtenidos a partir de la simulación hidráulica de la red permiten concluir que, en la situación actual, la infraestructura existente es capaz de cubrir adecuadamente la demanda total de la urbanización, es decir, la suma de los consumos domésticos y de riego. Las velocidades registradas en las tuberías se mantienen dentro de los límites operativos recomendados, lo que garantiza un funcionamiento eficiente y seguro del sistema.

No obstante, al proyectar el escenario futuro con el aumento previsto en la demanda total, se observa que la red comienza a mostrar signos de saturación. En particular, se detectan velocidades de circulación superiores a los 2,5 m/s en varios tramos, lo cual indica un sobredimensionamiento de la carga hidráulica que podría derivar en un funcionamiento menos eficiente, mayores pérdidas de carga, ruidos, y un desgaste prematuro de las conducciones.

Por ello, y con el objetivo de garantizar la sostenibilidad del sistema a largo plazo, se propone la implementación de una red separativa. Esta solución técnica será detallada en el siguiente apartado, donde se abordarán tanto su diseño como los beneficios hidráulicos, energéticos y económicos asociados a su puesta en marcha.

5. PROPUESTA DE MEJORA

5.1. Implantación de redes independientes de abastecimiento a población y riego

Tras el análisis y la simulación de los escenarios actuales y futuros, se propone una mejora en la red de abastecimiento de agua en Sotogrande. Esta propuesta tiene como objetivo abordar los principales desafíos detectados en el sistema actual, relacionados fundamentalmente con el consumo excesivo de agua potable y el elevado coste energético asociado, lo cual repercute negativamente tanto en el plano económico como en el ambiental.

La intervención planteada no solo pretende garantizar un suministro adecuado ante la futura expansión urbana de la zona, sino también fomentar una gestión más sostenible y eficiente de los recursos hídricos.

El análisis realizado revela que Sotogrande presenta un elevado consumo de agua potable, motivado en gran parte por las grandes dimensiones de las viviendas y el uso de agua de la red de consumo doméstico para el riego de jardines. De acuerdo con la normativa establecida en el Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, se recomienda una dotación de 180 litros por habitante y día para poblaciones de menos de 50.000 habitantes (ver Figura25)

Artículo 79. Dotaciones de agua para uso doméstico

1. Se establecen las siguientes dotaciones brutas máximas de agua para uso doméstico para la satisfacción de las necesidades básicas de consumo de boca y de salubridad, entendiéndose como dotación bruta el cociente entre el volumen puesto a disposición en la red de suministro en alta y el número de habitantes inscritos en el Padrón Municipal de la zona de suministro más los habitantes equivalentes de población eventual:

Población abastecida por el sistema	Dotación bruta máxima en l/hab/día
< 50.000	180
50.000 – 100.000	170
100.001 – 500.000	160
> 500.000	150

2. Excepcionalmente, en casos debidamente justificados con estudios específicos presentados por el solicitante que deberán ser analizados y aprobados por el órgano administrativo responsable de la planificación hidrológica, se podrán establecer dotaciones superiores a las expresadas en el presente artículo.

Figura 25. Artículo 79. Dotaciones de agua para uso doméstico del Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas

Considerando una previsión futura de 4 habitantes por vivienda, la población estimada para Sotogrande sería de 26.648 habitantes, lo que supondría un consumo teórico de:

$$4 \times 180 = 720 \text{ litros/día por vivienda.}$$

No obstante, los datos actuales muestran que el consumo doméstico real por vivienda alcanzan los 1.470 litros/día, prácticamente el doble de lo recomendado, sin incluir el consumo adicional por riego.

Este elevado consumo pone de manifiesto la necesidad urgente de adoptar medidas que optimicen el uso del agua. Por ello, se propone la separación de las redes de abastecimiento de agua potable y de riego en las viviendas. De este modo, el riego se realizaría mediante una red independiente que utilice agua reutilizada, en lugar de agua potable.

Esta propuesta representa un compromiso firme con la sostenibilidad ambiental, ya que permitiría optimizar el uso de los recursos hídricos disponibles.

Actualmente, el agua potable se emplea para el riego de viales y jardines, lo que supone una práctica poco eficiente que debería ser reemplazada por el uso de agua regenerada, procedente de localidades cercanas y tratada adecuadamente. Esta agua, que actualmente es vertida en gran medida al dominio público marítimo-terrestre sin ser aprovechada, representa una oportunidad para transformar el modelo de gestión del agua en Sotogrande.

En definitiva, la implementación de una red independiente de agua reutilizada para riego contribuiría a reducir significativamente el consumo de agua potable, disminuir los costes energéticos y ambientales, y avanzar hacia un modelo de gestión hídrica más responsable y sostenible.

5.1.1. Protección de los recursos naturales

El riego de jardines públicos y privados en la urbanización de Sotogrande con aguas reutilizadas permitiría un uso más eficiente del agua, un recurso cada vez más escaso. Aun cuando Sotogrande se encuentra situada sobre un gran acuífero que la ha abastecido a lo largo de los años, el severo cambio climático que estamos padeciendo, con unas estaciones de lluvia cada vez más torrenciales y escasas, aumenta la vulnerabilidad del sistema hídrico.

Un ejemplo claro de esta escasez es la sequía que sufrió durante el verano de 2024, la cual se prolongó hasta marzo/abril de 2025 y provocó la convocatoria de una ‘‘mesa de sequía’’ por parte de la Junta de Andalucía. Esta situación solo pudo solventarse gracias a las lluvias que permitieron a los embalses alcanzar niveles adecuados.

Durante esta sequía, se implantaron medidas restrictivas para controlar el uso del agua, tales como la prohibición del riego de campos de golf, jardines y el llenado de piscinas privadas, además de la limitación del lavado de coches fuera de establecimientos autorizados. También se llevaron a cabo cortes de agua nocturnos y se redujo la presión en las redes de distribución para minimizar el consumo total. Estas restricciones evidencian la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento y la necesidad urgente de adoptar estrategias que nos permitan gestionar mejor el recurso.

Es por ello que la medida de desvincular la red de agua de consumo doméstico de la de riego está destinada a proteger este recurso natural, ya que, aunque la situación de sequía se ha

solucionado temporalmente, debemos estar preparados para enfrentar posibles futuros episodios de escasez.

La reutilización de aguas tratadas para actividades no potables, como el riego de jardines y/o baldeo de viales, se presenta como una solución ética y sostenible para aliviar la presión sobre las fuentes de agua potable, permitiendo que el recurso se conserve y distribuya de manera más eficiente.

5.1.2. Contribución a la economía circular

La economía circular es un modelo económico que busca optimizar los recursos, minimizar los residuos y maximizar el valor del producto durante todo su ciclo de vida. Este modelo se aleja de la tradicional línea de "tomar-fabricar-desechar", promoviendo en su lugar la reutilización de los recursos durante el mayor tiempo posible, y cerrando el ciclo de vida de los productos. En lugar de un modelo lineal de consumo, la economía circular establece un enfoque donde los recursos se mantienen en uso el mayor tiempo posible, extrayendo el máximo valor de ellos antes de su eventual eliminación.



Figura 26. Modelo de la economía circular

En el contexto de la gestión del agua, el modelo de economía circular puede aplicarse mediante la creación de un ciclo cerrado del agua. Esto implica mantener el agua en el ciclo

de vida el mayor tiempo posible, aplicando tratamientos adecuados sobre las aguas residuales para reutilizarlas en actividades no potables, como el riego. Al implementar esta práctica, minimizamos la dependencia de los recursos naturales y reducimos el desperdicio de agua, que de otro modo se vertería a los arroyos, mares y océanos sin ser aprovechada, volviendo el agua a la tierra en forma de riego y el sobrante ayudando a la recarga del acuífero.

Es cierto que, para reutilizar las aguas residuales, el tratamiento se deben efectuar tratamientos de agua más exhaustivo que si el agua se destinara únicamente a ser vertida a dominio público hidráulico o a dominio público marítimo terrestre. Sin embargo, gracias a la implementación de estos tratamientos avanzados, como la filtración, ultrafiltración, nanofiltración u osmosis inversa acompañada de una desinfección, ampliamos el ciclo de vida del agua, permitiendo su reutilización de manera eficiente y segura. Además, aprovechar el agua tratada de esta forma no solo contribuye a reducir el consumo de agua potable, sino que también permite que la comunidad avance hacia un sistema de "vertido cero", donde el ciclo del agua se cierra completamente, reduciendo la presión sobre las fuentes naturales y mejorando la sostenibilidad del sistema.

5.2. Análisis y Cálculo de la red de consumo doméstico

La propuesta de separación de las redes de abastecimiento y riego implicaría mantener las instalaciones actuales exclusivamente para el suministro de agua potable destinada al consumo doméstico, mientras que se desarrollaría una red independiente destinada al riego de jardines y al baldeo de viales.

Por ello, y con el fin de verificar la idoneidad de la red existente como infraestructura exclusiva para el abastecimiento de agua potable de uso doméstico, en este apartado se procederá al análisis y cálculo de la red de abastecimiento en alta de Sotogrande, tanto en su situación actual como en un escenario futuro. En dicho análisis se considerarán únicamente los consumos domésticos, ya que, como se ha justificado en el apartado anterior, el suministro de agua para riego tanto de jardines públicos y privados como para el baldeo de viales se plantea a través de una red paralela independiente, específicamente diseñada para el transporte de agua regenerada.

A continuación, se evaluará el comportamiento de la red actual en dos supuestos: el escenario de consumo doméstico actual y el escenario de consumo doméstico futuro.

5.2.1. Demanda actual de consumo doméstico

En el caso de la situación actual, es claro que la red actual está preparada para la distribución de un caudal de agua considerablemente inferior, al haber retirado el caudal correspondiente al riego. En este caso, la comprobación de su eficiencia vendrá de la mano de las velocidades generadas en la red, dado que la disminución de caudal supone una importante disminución de velocidad debido a que:

$$V = \frac{Q}{A}$$

Se ha simulado el funcionamiento de la red actual con los consumos domésticos también de la actualidad para comprobar que esta es válida para lo que queremos utilizarla una vez se implemente la mejora de la red separativa en Sotogrande.

Para ello, vamos a introducir la tabla de consumos empleada para realizar la simulación:

	Descripción	Demanda (L/s)
Demanda 1 (Dem.1)	Cantidad de agua abastecida por el Depósito 1	38,7
Demanda 2 (Dem.2)	Cantidad de agua abastecida por el Depósito 2	9,9
Demanda 3 (Dem.3)	Cantidad de agua abastecida por el Depósito 3	23,3
Total	-	71,9

Tabla 15. Resumen demanda de los depósitos. Consumo doméstico actual

5.2.2. Demanda futura de consumo doméstico

De cara al escenario futuro, es imprescindible anticipar si la infraestructura hidráulica será capaz de sostener un incremento potencial en el consumo doméstico.

	Descripción	Demanda (L/s)
Demanda 1 (Dem.1)	Cantidad de agua abastecida por el Depósito 1	38,7
Demanda 2 (Dem.2)	Cantidad de agua abastecida por el Depósito 2	9,9
Demanda 3 (Dem.3)	Cantidad de agua abastecida por el Depósito 3	64,8
Total	-	113,4

Tabla 16. Resumen demanda de los depósitos. Consumo doméstico futura

A continuación, se expone la simulación del escenario futuro para consumo de agua doméstica, realizado con el software EPANET



Figura 28. Simulación de velocidades. Consumo doméstico futuro

Como podemos observar en la figura 28, la velocidad mínima obtenida en las interconexiones de los depósitos es de 0,73 m/s, por lo que esto confirma que, bajo las condiciones previstas para el futuro, la red seguirá siendo operativa y funcional para cubrir la totalidad de la demanda doméstica, sin comprometer ni el rendimiento hidráulico ni la calidad del servicio.

5.3. Reducción de los costes energético en impulsiones

La implementación de la mejora propuesta en el servicio de agua en Sotogrande resultará en una reducción del 85% en el consumo energético del sistema de distribución. Este significativo ahorro energético se logra gracias a la eliminación del bombeo para el riego, un proceso que hasta ahora ha representado una de las principales fuentes de consumo de energía en la red hidráulica.

Anteriormente, el agua destinada al riego, que se adquiría de ARCGISA, ingresaba al sistema a través del Depósito 1, uno de los puntos más bajos de la red. Esto obligaba a utilizar

bombas eléctricas para enviar el agua a las viviendas situadas a cotas superiores, lo que afecta a más del 95% de las viviendas de Sotogrande. Esta necesidad de bombeo implica un elevado consumo de electricidad y generaba altos costos operativos para la empresa.

Con la nueva mejora, el agua para riego se distribuirá por toda la red hidráulica por gravedad, eliminando la necesidad de bombeo en gran parte del proceso. Este cambio no solo reduce drásticamente el consumo energético, sino que también conlleva un ahorro sustancial en los costos operativos asociados al bombeo, lo que supone un beneficio directo para la empresa y una mejora en la sostenibilidad energética del sistema.

A continuación, se detallan los cálculos que justifican el ahorro energético derivado de esta mejora, contemplando 4 escenarios, los dos primeros corresponderían a la situación actual y futura incluyendo el riego y los dos últimos a la situación actual y futura sin incluir el riego.

5.3.1. Consumo energético escenario número 1: situación actual (incluido riego)

Actualmente, el Depósito 3 demanda un total de 13.441 m³/día para riego, valor que en el futuro podría aumentar hasta 37.313 m³/día. Esta agua se impulsa desde los Depósitos 1 y 2 mediante grupos de bombeo. Por ello, vamos a comenzar calculando la cantidad de agua que se ha de bombear del depósito 2 al depósito 3.

Bombeo del depósito 2 al depósito 3:

El grupo de bombeo instalado en el Depósito 2 está compuesto por cuatro bombas, cada una con una potencia de 30 kW y un caudal nominal de 2.160 m³/día (equivalente a 25 L/s). Por tanto, el caudal máximo total que este sistema puede proporcionar es el siguiente:

$$Q_{max} = Q * N = 2160 * 4 = 8640 \text{ m}^3/d$$

Este valor refleja que el grupo de bombeo del Depósito 2, aun operando a plena capacidad, no es capaz de cubrir por sí solo la demanda actual del Depósito 3, lo que hace necesaria la participación adicional del sistema de bombeo procedente del Depósito 1.

Dado que el sistema se encuentra en funcionamiento de forma continua, el consumo energético diario de los bombes del depósito 2 es:

$$\text{Consumo energético} = P_m * \text{tiempo} * N^{\circ} \text{bombas} = 30 * 24 * 4 = 2880 \text{Kwh}$$

Donde:

- P_m es la potencia unitaria de cada bomba (30 kW),
- t representa el número de horas de funcionamiento diarias (24 h),
- N es el número de bombas (4).

Si se considera un precio medio de la energía de 0,125 €/kWh, el coste económico diario derivado del funcionamiento de este sistema asciende a:

$$\text{Coste} = 2880 * 0.125 = 360 \text{€/día}$$

Este análisis pone de manifiesto que el sistema de bombeo desde el Depósito 2 implica un coste energético diario estimado de 360 €, funcionando de forma continua a máxima capacidad.

Bombeo desde el depósito 1 al Depósito 3:

Como se ha indicado previamente, el grupo de bombeo del Depósito 2 únicamente permite transportar un máximo de 8.640 m³/día, lo que resulta insuficiente para satisfacer por completo la demanda actual del Depósito 3 (13.441 m³/día). Por tanto, el volumen restante de 4.801 m³/día debe ser complementado mediante el grupo de bombeo del Depósito 1.

Este sistema está compuesto por dos bombas, cada una con una potencia de 160 kW y un caudal de 8.400 m³/día (equivalente a 97,22 L/s). Para determinar el tiempo necesario para bombear los 4.801 m³ requeridos, se aplica una regla de tres simple, tomando como referencia el tiempo necesario para bombear el volumen total (8.400 m³ en 24 h):

$$8400 \text{ L/d} \rightarrow 24 \text{ h}$$

$$4801 \text{ L/d} \rightarrow x \text{ h}$$

$$x = \frac{4801 * 24}{8400} = 13.71 \text{ horas}$$

Así, una única bomba operando a su capacidad nominal necesitaría 13,71 horas para bombear el volumen requerido.

El consumo energético asociado a esta operación se calcula como:

$$\begin{aligned} \text{Consumo energético Dep. 3} &= P_m * \text{tiempo} * N^{\circ} \text{bombas} = 160 * 13.71 * 1 \\ &= 2193.6 \text{ Kwh} \end{aligned}$$

Aplicando un precio medio de la energía de 0,125 €/kWh, el coste económico diario se determina mediante:

$$\text{Coste} = 2193.6 * 0.125 = 274.2 \text{ €/día}$$

Extracción de los sondeos y el Pozo Ranney.

Adicionalmente, se ha estimado el volumen de agua extraído desde los sondeos y el Pozo Ranney, partiendo de la hipótesis de que ambos operan a su capacidad máxima. Esta suposición se fundamenta en la necesidad de abastecer la totalidad de la demanda de la urbanización mediante recursos hídricos propios, lo que permite minimizar la dependencia de la empresa suministradora ARCGISA y reducir los costes asociados.

Sondeos.

Se dispone de 14 sondeos, cada uno con una bomba individual. A partir de una media aritmética de los caudales, se ha estimado un caudal medio de 45 m³/h por bomba. El caudal teórico total disponible sería entonces:

$$Q_{max} = 45 \text{ m}^3/\text{h} \times 14 = 630 \text{ m}^3/\text{h} = 15120 \text{ m}^3/\text{d}$$

Sin embargo, la capacidad real de extracción de los sondeos está limitada a 6.047 m³/día.

Para alcanzar este volumen, se determina el tiempo de funcionamiento necesario:

$$15120 \text{ m}^3 \rightarrow 24 \text{ h}$$

$$6047 \text{ m}^3 \rightarrow x \text{ h}$$

$$x = \frac{6047 \times 24}{15120} = 9,6 \text{ horas}$$

Cada bomba tiene una potencia media de 17,6 kW, por lo que el consumo energético diario conjunto de las 14 bombas es:

$$P_m = 17.6 \text{ Kw}$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo energético} &= P_m \times \text{tiempo} \times N^{\circ} \text{bombas} = 17.6 \times 9,6 \times 14 \\ &= 2.365,44 \text{ Kwh} \end{aligned}$$

$$\text{Coste diario} = 2.365,44 \times 0.125 = 295.68\text{€/día}$$

Pozo Ranney.

El Pozo Ranney cuenta con dos bombas, con una capacidad conjunta de 8.640 m³/día (360 m³/h). Sin embargo, el caudal real extraíble está limitado a 6.220 m³/día, lo que requiere el siguiente tiempo de funcionamiento:

$$8640 \text{ m}^3 \rightarrow 24 \text{ h}$$

$$6220 \text{ m}^3 \rightarrow x \text{ h}$$

$$x = \frac{6220 \times 24}{8640} = 17,28 \text{ horas}$$

Dado que cada bomba tiene una potencia de 65 kW, el consumo energético diario es:

$$\text{Consumo energético} = P_m \times \text{tiempo} \times N^{\circ} \text{bombas} = 65 \times 17.28 \times 2 = 2246.4 \text{ Kwh}$$

$$\text{Coste} = 2246.4 \times 0.125 = 280.8\text{€/día}$$

Resumen de costes energéticos de impulsiones

En la Tabla 17 se recoge el tiempo de funcionamiento diario de cada grupo de bombeo y el coste energético asociado, así como su extrapolación mensual, considerando un funcionamiento continuo a lo largo de 30 días.

Bombeo	T.Funcionamiento (h)	Precio/día (€/d)	Precio/mes (€/mes)
Dep. 1 al 3	13.71	274.2	8.226
Dep. 2 al 3	24	360	10.800
Sondeos	9,6	295,68	8.870,4
Pozo Ranney	17,28	280.8	8.424
Total	-	1.210,68	36.320,4

Tabla 17. Coste energético diario y mensual estimado de los diferentes sistemas de bombeo

5.3.2. Consumo energético escenario número 2: situación futura (incluido riego)

Considerando un escenario futuro de crecimiento demográfico y urbanístico en la zona de Sotogrande, se prevé que la demanda de agua en el Depósito 3 alcance los 37.313 m³/día. Esta situación exige una ampliación de la capacidad de bombeo actualmente disponible, con el fin de garantizar el suministro continuo y eficiente del recurso.

En primer lugar, se plantea mantener el grupo de bombeo del Depósito 2 funcionando a su capacidad máxima, es decir:

$$Q_{max} = Q * N = 2.160 * 4 = 8.640 \text{ m}^3/d$$

Este volumen permitiría cubrir parcialmente la nueva demanda, dejando un remanente de:

$$37.313 - 8.640 = 28.673 \text{ m}^3/día$$

que deberá ser suministrado a través del grupo de bombeo del Depósito 1.

Bombeo desde el depósito 1 al depósito 3:

Actualmente, cada bomba instalada en el Depósito 1 tiene una capacidad de 8.400 m³/día, por lo que el caudal total aportado por dos bombas sería:

$$Q_{max} = Q * N = 8.400 * 2 = 16.800 \text{ m}^3/d$$

Sin embargo, esta capacidad resulta nuevamente insuficiente, ya que quedarían por cubrir:

$$28.673 - 16.800 = 11.873 \text{ m}^3/día$$

Dado que con la infraestructura actual no se puede atender esta demanda adicional, se propone la instalación de dos bombas adicionales (para un total de cuatro bombas) en el Depósito 1. De este modo, se alcanzaría una capacidad de bombeo de:

$$Q_{max} = Q * N = 8400 * 4 = 33.600 \text{ m}^3/d$$

Para calcular el tiempo necesario de funcionamiento diario de este nuevo conjunto de bombas para suministrar los 28.673 m³ restantes, se aplica:

$$33600 \text{ m}^3 \rightarrow 24 \text{ h}$$

$$28673 \text{ m}^3 \rightarrow x \text{ h}$$

$$x = \frac{28673 * 24}{33600} = 20.48 \text{ horas}$$

Por tanto, con cuatro bombas operando durante 20,48 horas diarias, sería posible satisfacer completamente la demanda complementaria.

Consumo energético y coste asociado.

Dado que cada bomba presenta una potencia de 160 kW, el consumo energético diario del nuevo sistema de bombeo se calcula como:

$$\begin{aligned} \text{Consumo energético} &= Pm * tiempo * N^{\circ}bombas = 160 * 20.48 * 4 \\ &= 13.107.2 \text{ Kwh} \end{aligned}$$

Aplicando el precio medio de la energía eléctrica (0,125 €/kWh), el coste diario de operación asciende a:

$$\text{Coste} = 13107.2 * 0.125 = 1638.4\text{€/día}$$

La siguiente tabla resume el tiempo de funcionamiento y el coste diario y mensual de los diferentes sistemas de bombeo considerados en este escenario futuro, manteniendo los mismos parámetros operativos que en el escenario actual, salvo la ampliación del sistema en el Depósito 1.

Bombeo	T. Funcionamiento (h)	Precio/día (€/d)	Precio/mes (€/mes)
Dep. 1 al 3	20.48	1.638.4	49.152
Dep. 2 al 3	24	360	10.800
Sondeos	9,6	295,68	8.870,4
Pozo Ranney	17,28	280.8	8.424
Total	-	2.574,88	77.246,4

Tabla 18. Coste energético y mensual estimado en escenario de demanda futura

Estimación del consumo doméstico y coste energético asociado

Una vez determinado el consumo energético total en los escenarios actual y futuro, es posible calcular el potencial de ahorro energético y económico derivado de la implantación de una red separativa en Sotogrande. Para ello, resulta imprescindible analizar el volumen de agua correspondiente exclusivamente al uso doméstico, tanto en la situación actual como en la proyectada a futuro.

5.3.3. Consumo energético escenario número 3: situación actual (sin riego)

En el escenario actual, la demanda doméstica asciende a 6.213 m³/día. Este volumen puede ser totalmente cubierto mediante la explotación del Pozo Ranney, sin necesidad de utilizar agua potable destinada al riego. A continuación, se calcula el tiempo necesario para que las bombas del Pozo Ranney suministren este volumen de agua, considerando que el caudal máximo disponible es de 8.640 m³/día (360 m³/h):

$$8640 \text{ m}^3 \rightarrow 24 \text{ h}$$

$$6213 \text{ m}^3 \rightarrow x \text{ h}$$

$$x = \frac{6213 * 24}{8640} = 17.26 \text{ horas}$$

Esto implica que, con el funcionamiento de las dos bombas durante 17,26 horas diarias, se puede satisfacer la demanda doméstica actual sin necesidad de recurrir a fuentes externas ni a sistemas de bombeo adicionales.

Consumo energético y coste diario.

Cada bomba del Pozo Ranney tiene una potencia nominal de 65 kW, por lo que el consumo energético diario necesario para abastecer esta demanda se calcula mediante:

$$\text{Consumo energético} = P_m * \text{tiempo} * N^{\circ} \text{bombas} = 65 * 17.26 * 2 = 2243.8 \text{ Kwh}$$

Aplicando el coste unitario de la energía eléctrica de 0,125 €/kWh, el coste económico diario asociado sería:

$$\text{Coste} = 2243.8 * 0.125 = 280.4\text{€/día}$$

La Tabla 19 presenta el tiempo de funcionamiento del grupo de bombeo del Pozo Ranney y su coste energético diario y mensual, en el contexto de un sistema optimizado que destina este recurso únicamente al consumo doméstico.

Bombeo	T.Funcionamiento (h)	Precio/día (€/día)	Precio/mes (€/mes)
Pozo Ranney	17.26	280,4	8.412
Sondeos	-	-	-
Total	-	280,4	8.412

Tabla 19. Coste energético del abastecimiento doméstico a partir del Pozo Ranney

5.3.4. Consumo energético escenario número 4: situación futura (sin riego)

En el escenario futuro previsto para Sotogrande, la demanda doméstica de agua ascenderá a 9.797 m³/día. Para satisfacer este volumen, se plantea el uso conjunto de los sondeos y el Pozo Ranney, recurriendo a ambos sistemas en función de su caudal máximo de extracción real, previamente determinado.

Capacidad real de extracción

Aunque los grupos de bombeo presentan caudales nominales superiores, los caudales máximos efectivos de extracción están limitados por la capacidad de captación del terreno. Así, los valores reales disponibles son:

Sondeos: 6047 m³/día

Pozo Ranney: 6.220 m³/día

Reparto de la demanda y tiempos de funcionamiento

Se opta por utilizar inicialmente el Pozo Ranney hasta alcanzar su límite de extracción. La cantidad restante será cubierta mediante los sondeos. El tiempo de funcionamiento necesario para alcanzar estos volúmenes se calcula del siguiente modo:

Pozo Ranney:

$$8640 \text{ m}^3 \rightarrow 24 \text{ h}$$

$$6220 \text{ m}^3 \rightarrow x \text{ h}$$

$$x = \frac{6220 * 24}{8640} = 17.28 \text{ horas}$$

Una vez cubiertos los primeros 6.220 m³, el volumen restante es:

$$9797 - 6220 = 3577 \text{ m}^3/\text{día}$$

Sondeos:

$$15120 \text{ m}^3 \rightarrow 24 \text{ h}$$

$$3577 \text{ m}^3 \rightarrow x \text{ h}$$

$$x = \frac{3577 * 24}{15120} = 5.68 \text{ horas}$$

De este modo, el sistema de abastecimiento doméstico funcionaría con el Pozo Ranney operando durante 17,28 horas diarias y los sondeos durante 5,68 horas diarias, lo que garantiza el suministro completo de la demanda proyectada.

Consumo energético y coste diario

Pozo Ranney:

- Potencia unitaria: 65 kW
- Número de bombas: 2

$$\text{Consumo energético} = Pm * \text{tiempo} * N^{\circ}\text{bombas} = 65 * 17.28 * 2 = 2246.4 \text{ Kwh}$$

$$\text{Coste} = 2246.4 * 0.125 = 280.8\text{€/día}$$

Sondeos:

- Potencia unitaria: 17,6 kW
- Número de bombas: 14

$$\begin{aligned} \text{Consumo energético} &= P_m * \text{tiempo} * N^{\circ} \text{bombas} = 17.6 * 5.68 * 14 \\ &= 1399.56 \text{ Kwh} \end{aligned}$$

$$\text{Coste} = 1399.56 * 0.125 = 174.95 \text{ €/día}$$

El resumen de estos resultados se presenta en la Tabla 20:

Bombeo	T.Funcionamiento (h)	Precio/día (€/día)	Precio/mes (€/mes)
Pozo Ranney	17.28	280.8	8424
Sondeos	5.68	174.95	5248.5
Total	-	455.75	13672.5

Tabla 20. Coste energético del abastecimiento doméstico futuro mediante red separativa

5.3.5. Comparativa del consumo energético

Una vez estimadas las demandas domésticas para los escenarios presente y futuro, se ha procedido a comparar el consumo energético asociado a la red de abastecimiento (doméstico y riego) frente al sistema optimizado con red separativa, independizando el consumo doméstico de la red de riego, ya que como comentaremos posteriormente toda el agua de riego que será empleada en la urbanización de Sotogrande llegará por gravedad, esto implica que todo el bombeo del agua empleada para riego será suprimida.

5.3.5.1. Comparativa del ahorro actual

Actualidad	Consumo Energético (Kwh)	Precio (€/mes)	Precio (€/año)
Consumo Red Actual	9.685,44	36.320,4	435.844,8
Consumo Red Separativa	2.243,8	8.412	100.944
Ahorro Total	-	24.908,4	334.900,8

Tabla 21. Comparativa económica mensual y anual en el escenario actual

Tal como se muestra en la Tabla 21, la implementación de una red separativa en el sistema de abastecimiento permitiría reducir significativamente el consumo energético. Si Sotogrande mantuviese el nivel de consumo actual debido a que aún no se haya producido la expansión urbanística prevista, el ahorro económico alcanzaría los 334.900,80 € anuales, lo que refleja una mejora notable en términos de eficiencia energética y sostenibilidad del sistema.

5.3.5.2. Comparativa del ahorro futuro

Futuro	Consumo Energético (Kwh)	Precio (€/mes)	Precio (€/año)
Consumo Red Futura	20.599,04	77.246,4	926.956,8
Consumo Red Separativa	3.645,96	13.672,5	164.070
Ahorro Total	-	63.573,9	762.886,8

Tabla 22. Comparativa económica mensual y anual en el escenario actual

En el escenario futuro, caracterizado por una mayor demanda derivada del crecimiento urbanístico, los beneficios energéticos de la red separativa resultan aún más evidentes. Tal como muestra la Tabla 22, se lograría una reducción del coste energético anual de 762.886,80 €, consolidando esta medida como una alternativa altamente eficiente y sostenible a largo plazo.

6. PROPUESTA RED DE RIEGO

Aunque el fin principal de este trabajo es la optimización de la red de distribución de agua potable, como línea futura de trabajo se propone el diseño y cálculo de la red de riego por gravedad que se propone en este trabajo.

La integración de sistemas eficientes y sostenibles de riego es esencial para optimizar el uso del agua, especialmente en una urbanización como Sotogrande, donde el consumo de agua para riego es considerable debido a la extensión de jardines y campos de golf.

En primer lugar, es necesario dimensionar una red que sea capaz de soportar la demanda total de agua de riego en la urbanización durante la época estival (julio, agosto y septiembre), cuando las plantas y áreas verdes requieren mayores cantidades de agua. Durante estos meses, el consumo de agua para riego alcanza su pico más alto, lo que hace que un sistema eficiente y adecuado para esta demanda sea esencial. Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo principal es eliminar el uso de agua potable para riego y sustituirla por agua reutilizada, lo que contribuirá tanto a la sostenibilidad como a la reducción del consumo de recursos naturales.

Tras investigar las opciones disponibles, hemos determinado que la mejor forma de conseguir esta agua es comprando agua depurada a ARCGISA, la empresa responsable del tratamiento de aguas residuales en la región. Actualmente, esta agua proviene de poblaciones vecinas y actualmente es vertida al dominio público sin aprovechamiento posterior, lo cual contrasta con nuestra intención de darle una "segunda vida" mediante su reutilización para el riego en la urbanización.

Para transportar el agua reutilizada a nuestras instalaciones, se instalará una tubería de 800 mm de diámetro, que suministrará agua a Sotogrande. Esta tubería pasa por la cota 170 y pasa cerca de la red de distribución del Depósito 3, ubicado en la cota de 147 metros. Gracias a esta diferencia de altura, el agua podría ser introducida en el sistema por gravedad, eliminando la necesidad de bombeo adicional y optimizando el consumo energético, lo que representa una ventaja significativa desde el punto de vista económico y medioambiental.



Figura 29. Modelo de tubería de 800 mm propuesta

Una vez que el agua llegue al Depósito 3, podrá ser distribuida a la red de abastecimiento en baja para satisfacer la demanda de riego en toda la urbanización. Este sistema por gravedad no solo mejora la eficiencia, sino que también reduce el riesgo de fallos o interrupciones en el suministro, ya que la dependencia de bombas es mínima.

En el caso de que el caudal disponible en el Depósito 3 no fuera suficiente para cubrir toda la demanda, la tubería de 800 mm podría conectarse a la red de interconexión de los Depósitos 1 y 2. De esta forma, no solo se aseguraría un caudal continuo y suficiente, sino que también se garantizaría una distribución equilibrada del agua a lo largo de la urbanización. Este mecanismo de interconexión proporciona flexibilidad y redundancia, lo que hace que el sistema sea más eficiente frente a posibles aumentos de demanda o problemas técnicos en alguno de los depósitos.

7. CONCLUSIÓN

El presente Trabajo de Fin de Grado ha permitido realizar un diagnóstico técnico de la red de abastecimiento de agua potable en la urbanización de Sotogrande, exponiendo tanto sus fortalezas operativas actuales como sus principales limitaciones ante el crecimiento urbanístico previsto.

A través del modelado hidráulico con EPANET 2.0 y el análisis detallado del comportamiento de la red en escenarios de demanda actuales y futuros, se ha constatado que la infraestructura existente resulta suficiente para cubrir la demanda presente. Sin embargo, también se ha demostrado que, ante la expansión residencial proyectada, la red comienza a operar cerca de sus límites técnicos, presentando velocidades de circulación superiores a las recomendadas en varios tramos, lo cual compromete la eficiencia y sostenibilidad del sistema. Por otro lado, Se ha constatado un elevado consumo de agua potable, tanto para uso doméstico como para riego, lo cual representa un incumplimiento de las políticas de uso racional del agua establecidas en el Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (PHCMA, 2022).

En respuesta a este desafío, se ha propuesto la implantación de una red separativa que permita desvincular el consumo doméstico del riego, destinando este último a una red independiente alimentada por agua reutilizada proveniente de poblaciones cercanas. Esta medida, además de reducir significativamente la presión sobre los recursos hídricos naturales, posibilita una reducción del 85% en el consumo energético del sistema, lo que se traduce en un ahorro económico anual de hasta 762.886,80 € en el escenario futuro.

Mediante la simulación de escenarios con y sin la red separativa, tanto en condiciones actuales como futuras, se ha podido verificar que la propuesta de mejora no solo es técnicamente viable, sino también altamente eficaz. En el escenario actual, la red reconfigurada es capaz de abastecer sin dificultades la demanda doméstica, operando con velocidades dentro del rango recomendado y eliminando la necesidad de bombeos para el riego. En el escenario futuro, incluso con el incremento significativo del número de viviendas, la red mantiene un comportamiento hidráulico óptimo, garantizando el suministro eficiente y sostenible.

Además, los cálculos energéticos y económicos respaldan la eficacia de esta solución, con reducciones significativas en el consumo eléctrico asociado a las impulsiones, lo que conlleva un ahorro de más de 330.000 € anuales en el presente y más de 760.000 € en un futuro próximo. Estos resultados confirman que la medida propuesta no solo resuelve las deficiencias detectadas, sino que también representa una mejora estructural, alineada con criterios de sostenibilidad y eficiencia.

En definitiva, este trabajo no solo ofrece una propuesta viable de mejora para el abastecimiento en Sotogrande, sino que plantea un modelo replicable en otras urbanizaciones de características similares, contribuyendo a una gestión hídrica más inteligente, sostenible y comprometida con el futuro.

8. BIBLIOGRAFÍA

ARCGISA. (s.f.). *Estudio de abastecimiento y dimensionado de redes de distribución de agua en Sotogrande*.

Ayuntamiento de San Roque. (2025, marzo 15). *La Mesa de la Sequía del Campo de Gibraltar alerta de que la situación sigue siendo grave*. <https://www.sanroque.es/content/la-mesa-de-la-sequ-del-campo-de-gibraltar-alerta-de-que-la-situacion-sigue-siendo-grave>

C.IT.N. Sotogrande. (s.f.). *Protocolos de autocontrol y gestión de la zona de abastecimiento del C.IT.N. Sotogrande (Cádiz)*.

(s.f.). *Estudio hidrogeológico de la U.H. 06.48 Sotogrande*.

Junta de Andalucía. (2022). *Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Artículo 79: Dotaciones de agua para uso doméstico*. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible.