

## Resumen

El presente Proyecto tiene por objeto definir las características técnicas de la Instalación de fontanería para, en conformidad con la normativa vigente, dotar de agua potable y agua caliente sanitaria un pequeño complejo hotelero situado en el Pirineo catalán, así como la red de evacuación.

Al mismo tiempo, se estudia y analiza la gestión del agua, con el objetivo de conseguir un ahorro en dicho recurso. De esta manera, se presentan y comparan una red tradicional y una red basada en el reciclaje de aguas residuales.

En este segundo caso se han escogido las aguas procedentes de duchas y lavabos, definidas como aguas grises y diferenciándose así de las aguas negras procedentes de los inodoros y bidés. Otra medida adoptada que se suma aquí a la eficiencia en el consumo de agua es el uso de dispositivos de ahorro en los aparatos de consumo.

Precedente al diseño de la instalación, se exponen las posibles alternativas existentes, tanto a la hora de gestionar el agua utilizada en el hotel como en la depuración de la misma. La decisión de adoptar uno u otro sistema o tecnología es, debido a la naturaleza del proyecto, uno de los factores de mayor peso en este trabajo.

Para ello, se comienza con un estudio de las necesidades hídricas del hotel. Se establecen medidas de eficiencia en los aparatos de consumo, a la vez que se estima la demanda de agua en los diferentes puntos de consumo del hotel, punto de partida para el diseño y dimensionado de la instalación. En la instalación de reciclaje se exponen cada una de las fases de depuración del agua.

El trabajo concluye con el estudio de impacto ambiental, imprescindible para una instalación de estas características, y un análisis económico del proyecto, evaluando con todo ello la viabilidad del sistema diseñado para el caso concreto de la edificación escogida.



# Sumario

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>SUMARIO</b>	<b>3</b>
<b>1. GLOSARIO</b>	<b>7</b>
<b>2. PREFACIO</b>	<b>9</b>
2.1. Origen del proyecto .....	9
2.2. Motivación .....	9
<b>3. INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
3.1. Objetivos del proyecto.....	11
3.2. Alcance del proyecto.....	11
3.3. Normativa .....	12
<b>4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL COMPLEJO</b>	<b>15</b>
4.1. Características del complejo .....	15
4.1.1. Emplazamiento .....	15
4.2. Características arquitectónicas .....	17
4.2.1. Edificio principal .....	17
4.2.2. Bungalows .....	17
4.3. Clasificación y detalles de la actividad.....	20
<b>5. CONSUMO DE AGUA</b>	<b>21</b>
5.1. Hipótesis de partida de la demanda de agua .....	21
5.2. Mecanismos ahorradores .....	23
5.2.1. Griferías y duchas.....	23
5.2.2. Inodoros .....	24
5.2.3. Riego del jardín.....	25
5.3. Hipótesis final de la demanda de agua.....	25
5.3.1. Aparatos de consumo.....	25
5.3.2. Riego del jardín.....	27
5.3.3. Piscina y Spa .....	27
<b>6. INSTALACIONES DE SUMINISTRO Y EVACUACIÓN (SIN REUTILIZACIÓN DE AG)</b>	<b>29</b>
6.1. Descripción de la instalación de AFS .....	29
6.1.1. Acometida de agua potable .....	29

6.1.2.	Llave de registro. ....	30
6.1.3.	Tubo de alimentación. ....	30
6.1.4.	Contador y llaves. ....	31
6.1.5.	Tuberías de agua sanitaria. ....	31
6.1.6.	Válvulas y aparatos auxiliares de la red de distribución de IFF. ....	33
6.1.7.	Dispositivos de protección contra retornos. ....	34
6.1.8.	Aislamiento de tuberías de IFF. ....	34
6.2.	Descripción de la instalación de ACS y retorno. ....	35
6.2.1.	Necesidades. ....	35
6.2.2.	Cálculo de la demanda energética mensual. ....	37
6.2.3.	Distribución de ACS por el edificio. ....	38
6.2.4.	Distribución de la red de Retorno por el edificio. ....	39
6.3.	Descripción de la red de evacuación. ....	39
6.3.1.	Instalación Aguas Pluviales. ....	40
6.3.2.	Instalación evacuación. ....	42
6.3.3.	Instalación Ventilación. ....	45
6.4.	Grupos de presión. ....	45
<b>7.</b>	<b>REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES</b> _____	<b>49</b>
7.1.	Definición y particularidades. ....	49
7.1.1.	Diferenciación entre aguas grises y negras. ....	49
7.1.2.	Contaminación microbiológica del AG. ....	50
7.1.3.	Contaminación físico-química del AG. ....	50
7.2.	Otros aspectos a considerar. ....	50
7.2.1.	Aspectos técnico-sanitarios. ....	50
7.2.2.	Aspectos medioambientales. ....	51
7.2.3.	Aspectos legales. ....	51
7.2.4.	Aspectos económicos. ....	51
7.2.5.	Aspectos sociales. ....	51
7.3.	Sistemas de tratamiento de aguas grises. ....	52
7.3.1.	Tratamientos biológicos. ....	53
7.3.2.	Tratamientos físico-químicos. ....	54
7.3.3.	Elección del sistema. ....	58
7.4.	Métodos de desinfección. ....	61
<b>8.</b>	<b>INSTALACIONES DE SUMINISTRO Y EVACUACIÓN (CON REUTILIZACIÓN DE AG)</b> _____	<b>65</b>
8.1.	Descripción de la instalación de AFS. ....	65
8.1.1.	Tuberías de agua sanitaria. ....	65

8.2.	Descripción de la instalación de ACS y retorno.....	66
8.3.	Descripción de la red de evacuación de aguas pluviales.....	66
8.3.1.	Instalación Aguas Pluviales .....	66
8.4.	Instalación evacuación y depuración de aguas grises .....	67
8.4.1.	Datos de partida .....	68
8.4.2.	Desbaste.....	70
8.4.3.	Separador de grasas .....	71
8.4.4.	Decantación.....	72
8.4.5.	Tratamientos de filtración y adsorción .....	73
8.4.6.	Desinfección .....	75
8.4.7.	Bombeo .....	77
8.4.8.	Depósito de aguas depuradas.....	78
8.4.9.	Sistema de gestión .....	79
8.4.10.	Necesidades espaciales y constructivas .....	81
8.4.11.	Eficiencia de la instalación de reciclaje.....	84
8.4.12.	Instalación Ventilación .....	86
8.5.	Grupos de presión.....	86
8.6.	Control y mantenimiento .....	86
<b>9.</b>	<b>ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL</b> .....	<b>89</b>
9.1.	Reciclaje y eficiencia en el uso del agua .....	89
9.2.	Contaminantes (reutilización de AG) .....	89
9.3.	Impacto sonoro y olores (reutilización de AG).....	90
9.4.	Comparación del impacto ambiental de los dos sistemas .....	90
<b>10.</b>	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO</b> .....	<b>91</b>
10.1.	Presupuesto .....	91
10.2.	Viabilidad económica .....	91
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>95</b>
	<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>97</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>99</b>
	Referencias bibliográficas .....	99
	Bibliografía complementaria .....	99



# 1. Glosario

ACS: agua caliente sanitaria.

AFS: agua fría sanitaria.

AG: aguas grises.

AN: aguas negras.

AR: aguas residuales.

DN: diámetro nominal.

Kp: coeficiente de simultaneidad.

NH: necesidades hídricas.

PEHD: polietileno de alta densidad.

PRFV: poliéster reforzado con fibra de vidrio.

PMin: presión mínima exigida.

PNec: presión necesaria.

Qi: caudal instantáneo en el punto de consumo i.

Qinst: caudal instalado.

Qsim: caudal simultáneo.

UD: unidad de desagüe.

$\emptyset_{int}$ : diámetro interior de la tubería.

$\Delta P$ : caída de presión.

$\Delta H$ : altura manométrica.

$\Delta P/v$ : pérdida de carga

$\Delta P_{req}$ : diferencia de presión requerida equivalente a la altura manométrica a salvar.

Q: energía útil

Cp: calor específico (en el caso del agua 4.185KJ/(Kg·K))

$\Delta T$ : diferencia de temperaturas

m: flujo másico

DBO5: demanda biológica de oxígeno (tras 5 días)

DQO: demanda química de oxígeno

SS: sólidos en suspensión



## 2. Prefacio

### 2.1. Origen del proyecto

El origen de este proyecto surge principalmente de las iniciativas que se ofrecen en la actualidad para solucionar el problema de la escasez de agua, tanto en la provincia de Girona como en el resto del Estado. Es bien conocido el peso que a día de hoy han adquirido las políticas de ahorro de agua, una importancia que, si nos ceñimos a los factores que la sustentan actualmente, no deja de crecer.

Las medidas de eficiencia y ahorro se han ido plasmando, y lo continuarán haciendo, en guías prácticas, normativas, ordenanzas, etc., donde el reciclaje de aguas grises, semilla y núcleo de este estudio, está bastante presente. La idea primera que motiva la realización del proyecto es pues estudiar la viabilidad de la implantación de un sistema de aguas grises en un complejo hotelero de pequeño tamaño. El agua gris puede definirse como el agua residual doméstica de origen no fecal.

El planteamiento de una medida de ahorro de agua como la reutilización de ésta mediante el reciclaje no puede tratarse por separado. Es decir, la consideración de otras medidas de eficiencia se hace imprescindible para un diseño coherente. Por ello se incluyen en este trabajo soluciones como la captación de pluviales o la eficiencia en los aparatos de consumo y el riego, acciones más sencillas y de notorio resultado.

### 2.2. Motivación

Las razones que impulsaron al autor de este trabajo en su elección eran múltiples. En primer lugar, los temas aquí tratados permiten desarrollar y consolidar algunos de los conocimientos adquiridos en la rama medioambiental, a la vez que conducen a un estudio de la innovación tecnológica en el tratamiento de aguas.

En segundo lugar, como se ha apuntado más arriba, el proponer soluciones viables a un problema real. Finalmente, el interés por realizar un proyecto basado en la sostenibilidad y el uso de energías renovables, y la experiencia que todo ello puede aportar de cara a un futuro profesional donde estos conceptos adquieren cada vez mayor importancia.



## **3. Introducción**

### **3.1. Objetivos del proyecto**

El presente proyecto busca encontrar la solución más sostenible y rentable para el suministro, gestión y evacuación de aguas de un complejo turístico situado en el Pirineo catalán, en el municipio de Llívia.

Dicho complejo constará de un edificio principal con recepción, restaurante, spa y habitaciones y 20 bungalows de diferentes tamaños y disposiciones. Además, dentro del complejo habrá una piscina, zonas ajardinadas, un pequeño huerto y zonas donde practicar deporte.

Con tal de realizar la instalación óptima se valorarán diferentes sistemas de reaprovechamiento de aguas y depuración de aguas grises.

### **3.2. Alcance del proyecto**

El proyecto se centrará principalmente en diseñar, dimensionar y seleccionar todos los elementos relacionados con el ciclo del agua y sus instalaciones, motivo por el que se obviarán todos los detalles de otras instalaciones necesarias para el complejo (eléctricas, climatización, etc.).

La instalación proyectada comprende todos los elementos necesarios desde la acometida del agua al edificio hasta los puntos de consumo. Se indican aquellos detalles y aspectos constructivos esenciales y necesarios para los objetivos expuestos. Por otro lado, sería interesante un seguimiento de la instalación de reciclaje una vez implantada. Con ello se conseguiría un análisis de los aspectos químicos de la depuración más detallado de lo que supone un estudio meramente

No se están dentro del alcance del proyecto la climatización ni la recirculación de las piscinas, así como el sistema elegido para generar agua caliente sanitaria o el circuito contra incendios.

### 3.3. Normativa

Para la realización del Proyecto se han tenido en consideración las siguientes Normativas, Reglamentos y Ordenanzas vigentes en la fecha de realización del mismo:

- Código técnico de la Edificación. Dentro de esta normativa, he utilizado el Documento Básico de salubridad, en concreto el HS 4 (Suministro de agua).
- Contadores de agua fría. O.28/12/88 (BOE: 06/03/89).
- Normas básicas para las instalaciones interiores de suministro de agua. Orden de 9 de diciembre de 1975, del Ministerio de Industria (BOE núm. 11, 13/01/1976) (C.E. - BOE núm. 37, 12/02/1976).
- Diámetros y espesores mínimos de tubos de cobre para instalaciones interiores de suministro de agua. Resolución del 14 de febrero de 1980, de la Dirección General de la Energía (BOE núm. 58, 07/03/1980).
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE). Real Decreto 1751/1998, de 31 de julio, del Ministerio de la Presidencia (BOE núm. 186, 05/08/1998) (C.E. - BOE núm. 259, 29/10/1998) Y posteriores modificaciones de sus Instrucciones Técnicas Complementarias.
- La directiva energética en el edificio (RITE), el Decreto 21/2006 del 14 de febrero por el cual se regula la adopción de criterios ambientales y de ecoeficiencia en los edificios.
- RD865/2003: 4 de julio por el que se establecen los criterios higiénicos-sanitarios para la prevención y control de legionelosis. (BOE núm.171 del 18 de julio).
- Reglamento e instrucciones técnicas de climatización, calefacción y A.C.S. Real Decreto 1618/1980 del B.O.E 06/07/79 y posteriores.
- CTE DB HR Protección frente al ruido (RD 1371/2007 (BOE 23/10/2007) i corrección de errores (BOE 20/12/2007 i 25/1/2008) i RD 1675/2008(BOE 18/10/2008)).
- Código técnico de la Edificación. Documento Básico de salubridad, HS 5 (Evacuación de aguas).
- NTE-ISA Instalaciones de salubridad. Alcantarillado.
- NTE-ISA Instalaciones de salubridad. Saneamiento en edificios.
- NTE-ISA Instalaciones de salubridad. Ventilación.

- Normas UNE, para tuberías de PVC: UNE-EN 1453 y 1329 para evacuación de aguas residuales y pluviales; UNE-EN 607 para canalones de aguas pluviales; UNE-En 12200 para bajantes de pluviales; y UNE-EN 1401 para conexión a red de saneamiento.
- Normas UNE, para tuberías de PVC: UNE-EN 1453 y 1329 para evacuación de aguas residuales y pluviales; UNE-EN 607 para canalones de aguas pluviales; UNE-En 12200 para bajantes de pluviales; y UNE-EN 1401 para conexión a red de saneamiento.
- Norma Técnica de la Edificación NTE, capítulo de Saneamiento ISS del año 1973.



## 4. Descripción general del complejo

### 4.1. Características del complejo

#### 4.1.1. Emplazamiento

La instalación objeto del presente proyecto está emplazada en la N-154 parcelas 123 y 87, C.P.17527, Llívia, Provincia de Girona.

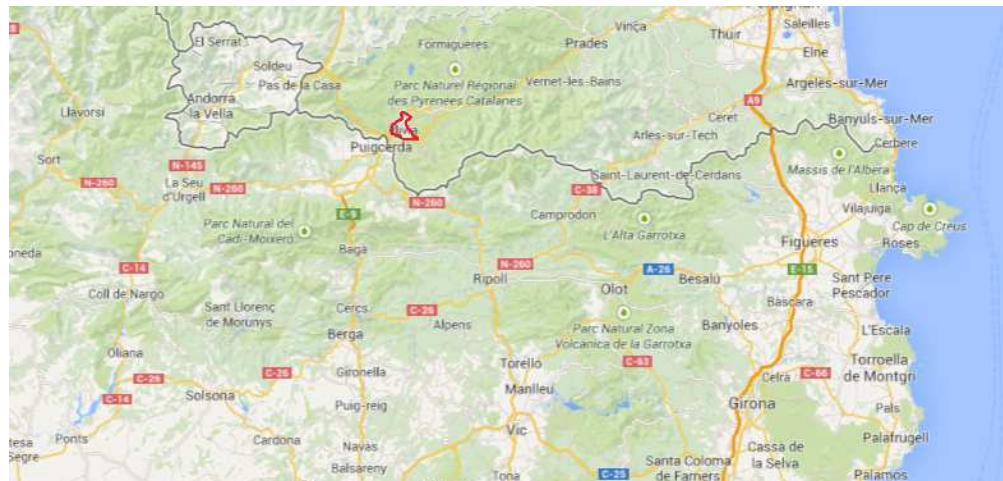


Figura 4.1 Planos ubicación del municipio



Figura 4.2 Plano ubicación según catastro



Figura 4.3 Plano ubicación vía satélite

La superficie del terreno es de 20.453 m<sup>2</sup>



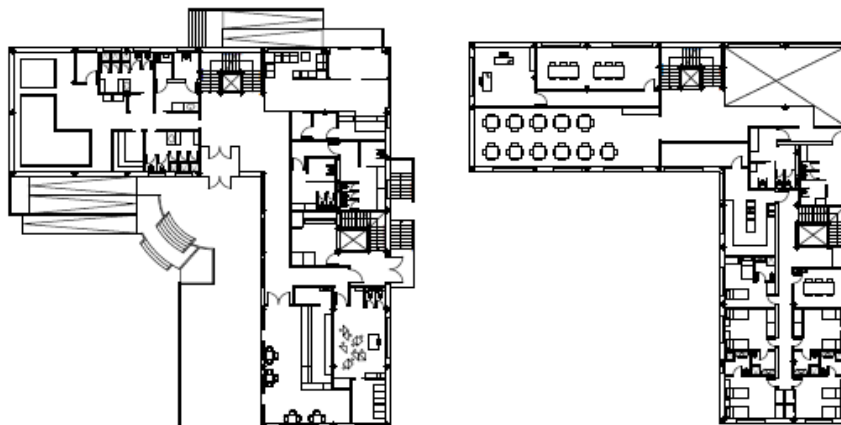
## 4.2. Características arquitectónicas

### 4.2.1. Edificio principal

El edificio principal constará de dos plantas de 395 m<sup>2</sup> cada una, la planta baja dedicada a la recepción, guardería, cafetería y el Spa y la primera planta a habitaciones, restaurante y cocina.

Contamos con 25 urinarios, 19 grifos y 18 duchas, distribuidos a lo largo de la planta baja y la primera planta. El suministro, como se puede apreciar en la siguiente figura, tendrá que ser distribuido en 3 montantes, dos de los cuales subirán los dos pisos, mientras que el tercero estará destinado a la zona de Spa de la planta baja.

Además, contamos con dos piscinas cubiertas de 35,1 y 15,7 m<sup>3</sup> que estarán conectadas entre sí.



*Figura 4.4 Vista en planta de los dos pisos del edificio*

### 4.2.2. Bungalows

Existirán tres tipos de Bungalow, según las necesidades del huésped:

Contaremos con diferentes cantidades de aparatos según el modelo:

**1H:** 1 urinario, 1 bañera, 1 lavabo y 1 fregadero

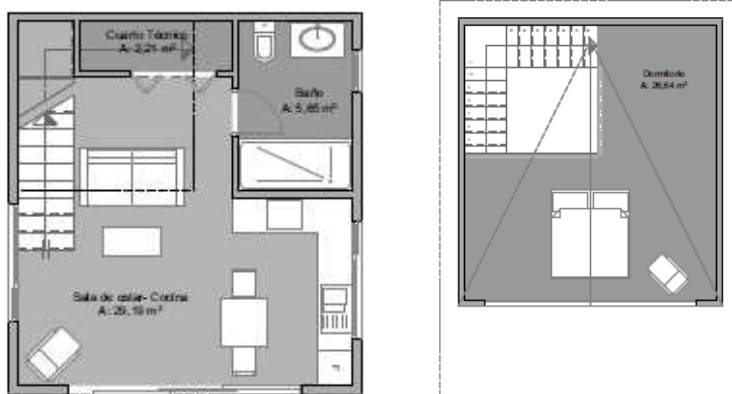


Figura 4.5 Planta 1H

**2H2P:** 1 urinario, 1 bañera, 1 bidé ,2 lavabos y 1 fregadero

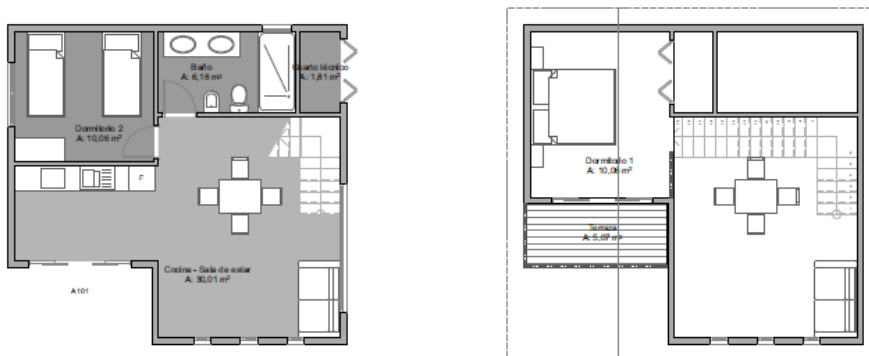


Figura 4.6 Planta 2H2P

**2H1P** (diseñado para huéspedes con movilidad reducida): 1 urinario, 1 bañera, 1 lavabo y 2 fregaderos

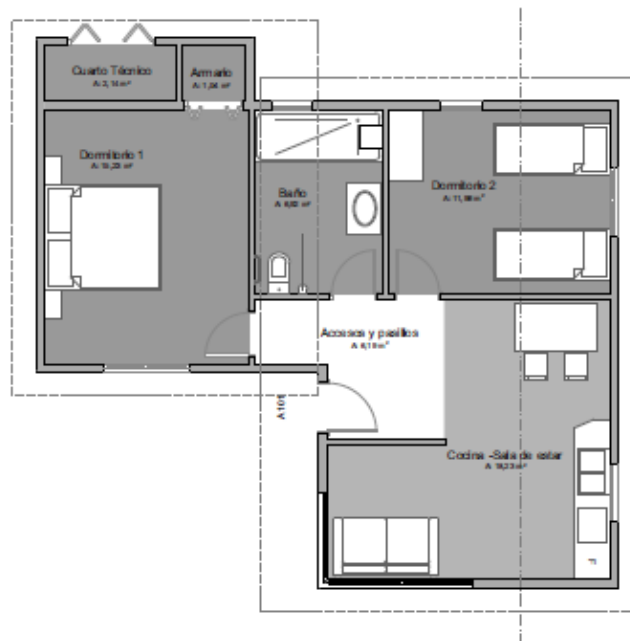


Figura 4.7 Planta 2H1P

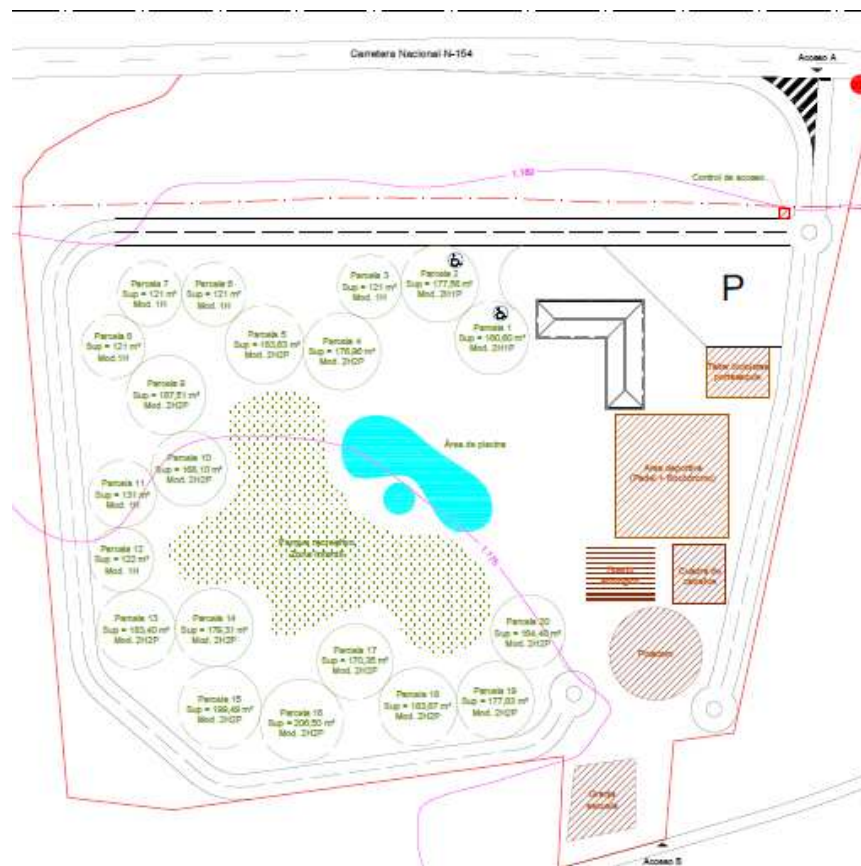


Figura 4.8 Distribución parcelas bungalows

### 4.3. Clasificación y detalles de la actividad

Esta empresa desarrollará una actividad como hotel-camping abierto todo el año, enfocando sus servicios a turistas de temporada, ya sea en verano o invierno.

La intención de la empresa es ofrecer, además de los servicios habituales, vacaciones “low-cost” a colectivos en riesgo de exclusión social durante las temporadas bajas y días laborables, por lo que la ocupación del complejo será más constante que en otros hoteles similares de la zona.

Según la *Classificació Catalana d'Activitats Econòmiques (CCAIE)* esta actividad se clasificaría en la sección I (Hostelería) con descendencia a 551 Hoteles y alojamientos similares.

En total, el complejo tiene capacidad para **78 huéspedes** (10 en el edificio principal y 68 en los bungalows).

## 5. CONSUMO DE AGUA

### 5.1. Hipótesis de partida de la demanda de agua

Uno de los puntos de partida a la hora de acometer una estrategia de planificación para el ahorro, aprovechamiento y reciclaje de agua será el conocimiento de los diferentes consumos y demandas. En nuestro caso, se estudia por un lado el consumo doméstico del hotel y, por otro, el agua demandada para el riego del jardín. El consumo interior se estudia a partir de datos estadísticos que servirán de hipótesis de partida. Para el riego, las hipótesis se realizan a partir de métodos de cálculo de la evapotranspiración.

Según el Instituto Nacional de Estadística, el consumo medio de agua en España es de 167 litros por habitante y día. En Europa, el consumo medio se sitúa en 125-130 l/hab.día mientras que en los Estados Unidos, unos 220-250 l/hab.día. Sin embargo, estas cifras se refieren únicamente al consumo domiciliario, quedando fuera los consumos asimilables (comercial, trabajo, ocio), que dejarían los 167 l/hab.día anteriores en unos 185 l/hab.día.

Las principales variables que condicionan la demanda doméstica, entre muchas otras, son la categoría de la instalación o nivel de servicio y la tipología edificatoria. En la tabla siguiente se indican los consumos según estos dos aspectos.

Uso principal de la edificación	Categoría alta	Categoría media	Económica
Vivienda en bloque urbano corriente	190	125	100
Vivienda unifamiliar	225	165	120
Gran hotel (por huésped)	600	450	300
Pequeño hotel (por huésped)	<b>220</b>	200	150
Media pensión (por huésped)	200	180	120

Tabla 5.1 Consumos domésticos en l/hab.día

Así pues, dada la naturaleza del caso a estudiar, el consumo total será de 220 l/hab.día, correspondiente a un pequeño hotel de alta categoría. Este dato se toma sólo como hipótesis de partida, es decir, sin medidas de ahorro.

Igualmente necesarias son las hipótesis de demanda por aparatos de consumo para establecer un balance aproximado en el sistema de reutilización. En este apartado también se debe tener en cuenta el tipo de edificación.

En la tabla siguiente se exponen los consumos para un hotel con una dotación de 220 l/hab.día:

Uso o aparato	Porcentaje	l/hab.día
Ducha-baño	40	88
Lavabo	7,3	16,06
Cocina	7,4	16,28
Colada	10,7	23,54
Inodoro	24,8	54,56
Bidé	1	2,2
Otros	3,8	8,36
Fugas	5	11

*Tabla 5.2 Hipótesis de demanda por puntos de consumo.*

Con estos consumos como hipótesis de partida se calculan los consumos reales aproximados teniendo en cuenta el porcentaje de ahorro conseguido con las soluciones descritas a continuación.

## 5.2. Mecanismos ahorradores

### 5.2.1. Griferías y duchas

La elección se basa en dos líneas de intervención: disminuir el caudal de agua por el orificio de salida y reducir el gasto mediante el control del mecanismo de apertura y cierre.

En lo que se refiere a las alternativas eficientes de control de apertura y cierre es primordial desechar la opción de suministro de agua fría y caliente con llaves independientes a favor de un sistema monomando. Dicho sistema presenta la ventaja de una mayor comodidad de uso que se traduce en una reducción de la pérdida de agua debido a una fácil regulación del caudal y la temperatura. A esto hay que añadir la práctica desaparición de fugas y goteo gracias a la tecnología de dichos aparatos.

Dos son los principales inconvenientes de los grifos monomandos: por una parte, el usuario acostumbra a accionarlo hasta el máximo y por otra, también se tiende a dejar en un punto intermedio entre los extremos frío y caliente, de manera que se utiliza agua mezclada sin necesidad. Para evitar estas situaciones se elige un modelo de apertura en dos fases, con el fin de no abrir siempre al máximo de caudal, y apertura en frío (el recorrido de la maneta es de centro a izquierda).

Los grifos temporizados no son del todo idóneos en este caso, donde la eventualidad de quedar abiertos es bastante remota y no compensaría su instalación. Para terminar con los mecanismos de apertura y cierre, existe la opción de los grifos con sensor de apertura, una alternativa difícilmente amortizable en nuestro caso.

En cuanto a la reducción del caudal, las soluciones más empleadas son las que modifican la curva característica de la grifería (presión-caudal). Existen variantes de este concepto que consiste básicamente en mezclar el agua con aire para reducir el consumo sin que el usuario tenga la sensación de recibir menos agua. Una de ellas son los perlizadores, basados en el efecto venturi, que provoca una micronización del agua. Otra posible solución son los limitadores de caudal, pero tienen éstos la desventaja de no garantizar unas condiciones óptimas a bajas presiones.

Así pues, como ejemplo de todo lo dicho para los grifos de lavabos, bidés y fregaderos, y aunque esté fuera del alcance de este estudio la elección de estos aparatos (a cargo del responsable o dueño del hotel), encontramos los diferentes modelos monomando de ecogrifos comercializados por Tehsa, S.L. con perlizador y apertura en frío y en dos fases como una de las alternativas que cumplen con los requisitos. El ahorro de agua conseguido es, según la empresa, del 60%, previsión que en la práctica es algo optimista. Es por ello

que se estimará un ahorro del 40% con estas soluciones, porcentaje más razonable según la mayoría de fuentes consultadas.

La elección de las duchas se llevará a cabo con los mismos criterios, teniendo en cuenta que el caudal nunca deberá ser inferior a los 8 l/min, que parece ser el límite para su eficacia higiénica.

La grifería termoestática de Tehsa, S.L., que incorpora, además de un limitador de caudal, un mando de control de caudal y temperatura, originando reducciones del consumo, tanto de agua como de energía, de hasta el 50%. Esto se consigue “termoestatizando” las griferías monomando, sustituyendo el cartucho cerámico por otro intercambiable termoestático, de forma que el usuario podrá prefijar de antemano la temperatura del agua, evitando así los tanteos previos que originarían un derroche de recurso y energía.

Con esta solución se consigue un ahorro aproximado del 45%, aunque se debe tener en cuenta que sólo se hará efectivo si nos duchamos, puesto que en los baños no se economiza el gasto.

La adquisición de estos dispositivos es sumamente económica, costando entre 5 y 20€ la unidad, según el punto de consumo a optimizar.

### **5.2.2. Inodoros**

Los mecanismos ahorradores se estudiarán para inodoros con descarga por gravedad, debido a que la descarga presurizada no es conveniente en este caso ya que requiere grandes diámetros de tuberías, válvulas y una elevada presión de la red, además de los ruidos y molestias que puede causar. Para estos aparatos, conseguir un ahorro de agua es bastante sencillo. Dos son las principales alternativas: doble pulsador o interrupción de la descarga. Ésta última consiste en parar el proceso de vaciado de la cisterna de manera voluntaria pulsando por segunda vez. El doble pulsador radica en dividir el accionamiento en dos partes con diferente volumen de descarga cada una. Debido a que la atención y el esfuerzo exigidos al usuario son menores con el doble pulsador, se ha escogido esta opción con descargas de 3 y 6 litros, frente a los 10-12 litros por descarga de los inodoros tradicionales.

Teniendo en cuenta que el inodoro se utiliza unas 5 ó 6 veces al día por persona, de las cuales 3 ó 4 son para aguas menores, se considerará un consumo de 21 l/hab.día.



### 5.2.3. Riego del jardín

Dado que la mayoría de las especies que tendrá la zona verde del conjunto serán especies autóctonas del Pirineo y, por lo tanto, no necesitarán grandes cantidades de riego: no supondremos ninguna medida de ahorro.

## 5.3. Hipótesis final de la demanda de agua

### 5.3.1. Aparatos de consumo

Con los datos de los apartados anteriores de este capítulo se puede hacer un cálculo aproximativo del gasto de agua. La tabla 6.4. nos muestra dichos consumos con el porcentaje de ahorro citado más arriba.

Para el cálculo del ahorro de la ducha-baño se ha considerado un baño a la semana, es decir, 32 l/día por persona, quedando para las duchas 56 l/hab.día de los 88 l. iniciales. Con un ahorro del 45% en las duchas resultan 30.8 l/hab.día que sumados a los del baño nos dan un total de 62.8 l/hab.día. El ahorro en la cocina baja un poco más del 40% (de lavavajillas y grifos) debido a que, en muchos casos, el uso del agua depende solamente de la cantidad. Algo parecido ocurre con “otros usos” (baldeo, de boca, etc.), aunque de manera más pronunciada. Las fugas se han calculado de manera proporcional al consumo total (5%).

Uso o aparato	Sin ahorro (l/hab.día)	Ahorro (%)	Con ahorro (l/hab.día)
Ducha-baño	88	28,6	62,8
Lavabo	16,06	40	9,6
Cocina	16,28	35	10,6
Colada	23,54	45	13
Inodoro	54,56	61,5	21
Bidé	2,2	40	1,3
Otros	8,36	30	5,9
Fugas	11	40	6,6

*Tabla 5.3 Hipótesis de demanda por puntos de consumo con ahorro.*

El consumo a partir del cual se diseñan los sistemas de suministro y evacuación será pues de 131 l/hab.día que, frente a los 220 l/hab.día de la hipótesis de partida, representa un ahorro del 40.5%. Los usos agotadores del recurso (fugas y otros) suponen un 9.5% del total. Considerando como aguas grises las evacuadas en el lavabo y la ducha resulta un volumen de 72.4 l/hab.día, que representa el 55.3%. Las aguas negras, el resto (35.2%), son 45.9 l/hab.día. del total de aguas evacuadas del hotel, las AG son el 61.2%, mientras las AN el 38.8%. Todo esto lo tendremos en cuenta en el capítulo 9.

Los volúmenes más significativos de la instalación proyectada, a falta de las necesidades hídricas del riego, calculados para una ocupación media del 70% (55 clientes más 4 habitantes equivalentes de los 10 trabajadores), son:

Uso o aparato	Con ahorro (l/hab.día)	Ocupación del 70% (m <sup>3</sup> /día)
Ducha-baño	62,8	3,7
Lavabo	9,6	0,56
Cocina	10,6	0,62
Colada	13	0,77
Inodoro	21	1,24
Bidé	1,3	0,07
Otros	5,9	0,35
Fugas	6,6	0,38

*Tabla 5.4 Consumo con ocupación media del 70%*

Consumo: 7,71 m<sup>3</sup>/día

### 5.3.2. Riego del jardín

El consumo de agua para el jardín será difícil de cuantificar, ya que el riego es por manguera y, en principio, no es necesario mucho aporte hídrico (recordemos que la mayoría de especies que se plantarán serán autóctonas de los Pirineos).

La distribución de la zona verde del jardín será la siguiente:

	Superficie (m <sup>2</sup> )	Consumo diario (l/m <sup>2</sup> )	Consumo diario (l)	Consumo anual (l)
Césped	30	7	210	76650
Plantas autóctonas	180	1,8	324	118260
Total			534	194910

*Tabla 5.5 Consumos jardín*

Tendremos un consumo de 194,9 m<sup>3</sup> de agua para riego.

Si se considera el riego del jardín del hotel como un consumo asignable a los clientes del mismo, a los 131 l/hab.día se deben sumar aquí los 194910 litros repartidos entre los días en que esté abierto el hotel (300 días al año) y las 59 personas que se han establecido de media.

Queda pues un consumo de 11,3 l/hab.día por riego, con un total de 144,3 l/hab.día.

### 5.3.3. Piscina y Spa

Para el cálculo de consumos, dimensionado de tuberías y vaso de compensación de las piscinas del complejo se han seguido consejos básicos en la materia, sin profundizar en aquellos aspectos que no quedan abarcados en el alcance del proyecto.

Obteniendo los siguientes datos:

Piscinas	Cubierta	Exterior
Superficie (m2)	36	220
Volumen (m3)	46,8	286
Vaso (5% de la superficie) (m3)	1,80	11
Renovación diaria (m3) (5%)	2,34	14,3

*Tabla 5.6 Renovación diaria Piscinas*

Teniendo en cuenta que la piscina exterior sólo se usará durante los meses de más calor (Junio-Septiembre), multiplicaremos su consumo de renovación por 0,33 a la hora de calcular el consumo diario repartido a lo largo del año.

De lo cual resulta una renovación diaria total de las piscinas de 7,11 m3.

Considerando este consumo asignable a los clientes y considerando una ocupación del 70%, tenemos que habrá un consumo de 120,5 l/hab.día por renovación de piscinas.

Lo cual nos dará un total de **264,8 l/hab.día** en el complejo.

Además, se obtienen los siguientes valores para el dimensionamiento de las tuberías:

Piscinas	Cubierta	Exterior
Renovación diaria (m3) (5%)	2,34	14,3
tiempo renovación (h)	2	4
Q renovación (l/s)	0,325	0,993
Diámetro tubería renovación (m)	0,023	0,0288
Velocidad renovación (m/s)	0,782	1,524
Q bomba recirculación (l/s)	0,542	3,310
Diámetro tubería recirculación (m)	0,023	0,0542
Velocidad recirculación (m/s)	1,304	1,435
Tiempo llenado (días)	1	5
Q llenado (l/s)	0,542	0,662
Diámetro tubería llenado (m)	0,023	0,0288
Velocidad llenado (m/s)	1,304	1,016

El diseño de los circuitos de recirculación no se ha calculado más profundamente, puesto que sus singularidades y complejidades escapan al alcance del proyecto.

## **6. Instalaciones de suministro y evacuación (sin reutilización de AG)**

### **6.1. Descripción de la instalación de AFS**

Esta instalación está formada por las redes de suministro de agua, sus elementos de protección y corte y los aparatos de consumo.

La tubería de acometida, desde la red de abastecimiento de agua existente hasta el contador será de 20 m de longitud, formada por tubo de polietileno de alta densidad banda azul (PE-100), de 79,6 mm de diámetro interior (DN 110), PN=16 atm y llave de corte alojada en arqueta prefabricada de polipropileno, con sus correspondientes collarines, accesorios, válvulas, etc.

La tubería de acometida del hotel hace su entrada al edificio principal por la fachada noreste a una cota de -0.40m aprox. Antes de su entrada se instalará una arqueta de registro con su respectiva válvula de corte.

Se instalará un contador general para todo el complejo. El contador dispondrá de las correspondientes llaves de corte y válvula de retención, grifo de prueba y filtro de malla. Este contador estará alojado en una cámara.

La red dispondrá en su geometría de las oportunas llaves de corte divisorias, sectorización, etc. estas llaves quedarán instaladas en lugares accesibles para su manipulación, por el personal de mantenimiento. Así pues, habrá una llave de corte en cada uno de los núcleos húmedos además de otra general del edificio. En cada planta tendremos llaves de corte independientes para cada zona. En los tramos largos se dispondrán los correspondientes manguitos para absorber la dilatación de la tubería con los cambios de temperatura.

#### **6.1.1. Acometida de agua potable**

La acometida es la tubería que enlaza la red exterior de la instalación con la tubería de la red de distribución, realizada de Polietileno de Alta Densidad PE-80 PN-16.

Atraviesa el edificio por un orificio practicado a modo que el tubo quede suelto y le permita la libre dilatación, si bien quede suficientemente apretado para que a la vez el orificio

quede impermeabilizado, será para un caudal de 6,46 l/s y un diámetro de 80mm, según se justificará en los cálculos adjuntos.

La acometida irá enterrada en una zanja de 0,10x0,15 a una cota de -0.38m hasta llegar al contador general del edificio.

Condiciones de caudal y presión de la compañía suministradora:

- Caudal regular y suficiente.
- Presión suficiente.

Esto quiere decir que no necesitaremos grupo de presión para elevar el agua al punto más desfavorable.

### **6.1.2. Llave de registro.**

Se instalará una llave de registro, del mismo diámetro que la de la tubería de acometida del tipo de compuerta para corte general provista de un mecanismo desmultiplicador (husillo ascendente) que evite el cierre rápido, y se situará en una arqueta registro de dimensiones 40 x 40 x 40 y acabado adecuados, situado en el exterior del edificio y próximo a su entrada con

Tapa de Fundición de fácil identificación. Esta Válvula tiene por misión el cierre del suministro.

La presión mínima de servicio será de 5Kg./cm<sup>2</sup> y su enlace con tubo se efectuará con bridas PN 16 según UNE 19153 y UNE 19159.

Esta válvula la maniobrará exclusivamente el suministrador o persona autorizada, sin que los huéspedes, propietarios ni terceras personas puedan manipularlas.

### **6.1.3. Tubo de alimentación.**

El tubo de alimentación es la tubería que enlaza la "llave de registro" del edificio con el contador. En nuestro caso será un tubo de alimentación de agua potable, enterrada, formada por tubo de polietileno de alta densidad, de 110 mm de diámetro exterior.

#### 6.1.4. Contador y llaves.

El contador para el complejo es el aparato destinado a medir el consumo del huésped, y se instalará en el tubo de alimentación, será de un sistema y modelo aprobado por el S.T.I. para 7 l/s.

Se instalará en una cámara para el contador general de dimensiones 2200x800x800 mm, delante del contador se instalará la llave de paso, y posterior a él la llave de “Corte de Usuario”, de tal forma que pueda ser comprobado, retirado, o instalado, sin necesidad de vaciar la instalación.

Posterior a la llave de Corte se instalará una válvula de retención/válvula antiretorno para evitar e impedir que el agua del interior del edificio pueda retornar a la red.

Entre la llave de Corte y la Retención se prevé la instalación de un manchón con boca hacia abajo de ½ R.G. con tapón, para comprobaciones por parte de la compañía suministradora, o de quien lo precise.

Todo ello quedará situado en el interior de la cámara.

#### 6.1.5. Tuberías de agua sanitaria.

Se incluyen aquí todas las conducciones desde la entrada del agua de acometida hasta los puntos de consumo de agua potable, incluidos todos los montantes y derivaciones necesarios. El esquema unifilar de esta parte de la instalación es el siguiente:

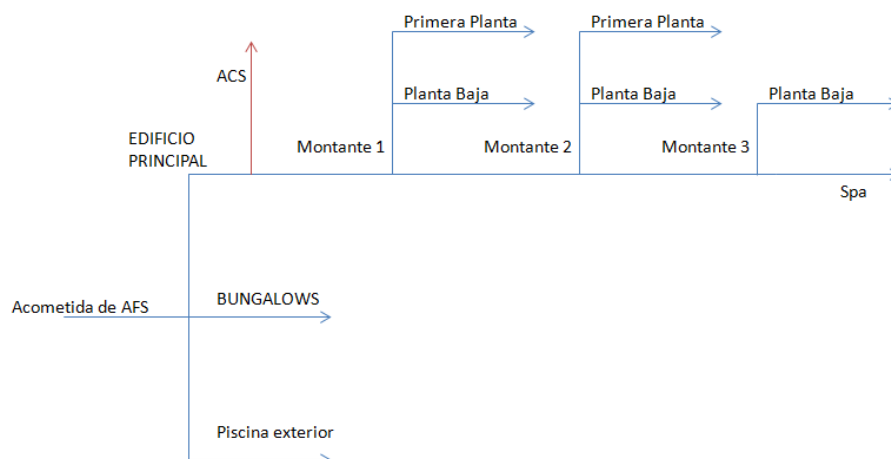


Figura 6.1 Esquema unifilar de la instalación de AFS.

El diámetro de las derivaciones últimas a los puntos de consumo se especifica en el código técnico (HS4 – 10), así como los caudales instantáneos en cada uno de ellos. La siguiente tabla lo indica:

Aparato de consumo	Caudal instantáneo mínimo AFS / ACS (l/s)	Tubo de cobre o plástico (mm)
Lavabo, bidé	0.10 / 0.065	12
Ducha	0.20 / 0.10	12
Bañera	0.30 / 0.20	20
Fregadero	0.20 / 0.10	12
Lavavajillas	0.25 / 0.20	20
Lavadora	0.60 / 0.40	25
Inodoro con cisterna	0.10	12

Tabla 6.1 Diámetro y caudal mínimos de los aparatos de consumo [CTE, HS4].

Es necesario para el dimensionado calcular en primer lugar el coeficiente de simultaneidad,  $K_p$ . Para ello las curvas de simultaneidad más adecuadas son las expuestas por el autor Pedro María Rubio en su libro de “Instalaciones sanitarias” procedentes de las normas AFNOR francesas. Se basan en el cálculo probabilístico según la fórmula usada también por las normas básicas:

$$K_p = \frac{1}{\sqrt{n-1}}$$

$n$  = número total de puntos de agua instalados (siempre  $n \geq 2$ ).

Posteriormente se calcula el caudal instalado ( $Q_{inst}$ ) en cada derivación:

$$Q_{inst} = \sum n_i \cdot Q_i$$

$Q_i$  = caudal instantáneo del punto de consumo  $i$ .

$n_i$  = número de puntos de consumo del tipo  $i$ .

A continuación se halla el caudal simultáneo ( $Q_{sim}$ ) según la fórmula:

$$Q_{sim} = K_p \cdot Q_{inst}$$



Finalmente se calcula el diámetro interior de la tubería:

$$\varnothing_{int} = \sqrt{\frac{4000 \cdot Q_{sim}}{\pi \cdot v}}$$

v= velocidad del fluido en m/s (se escoge un valor de 1.5 m/s como velocidad ideal).

El caudal simultáneo se expresa en litros por segundo, con el diámetro en mm.

En el Anexo B se muestran también los valores de todos los datos necesarios para el cálculo del dimensionado.

Se adjunta tabla resumen de los caudales y diámetros requeridos en algunos tramos del sistema el sistema:

	Qsim (l/s)	DN
Montante 1 (Edificio Principal)	0,67	DN40
Montante 2 (Edificio Principal)	0,55	DN40
Montante 3 (Edificio Principal)	0,65	DN40
Total Edificio principal	1,874	DN75
Total Bungalows	1,64	DN63
Piscina Exterior (cap 5.3.3)	0,99	DN40

*Tabla 6.2 Diámetros y caudales principales de AFS*

#### **6.1.6. Válvulas y aparatos auxiliares de la red de distribución de IFF.**

Las válvulas que se montarán en la red de distribución de agua fría serán del tipo bola de latón para diámetros inferiores o iguales a dos pulgadas y del tipo mariposa para los diámetros superiores.

En el interior de los cuartos húmedos, se instalarán válvulas de paso en la alimentación antes de efectuar la distribución en el interior.

Se colocarán válvulas de paso en cada alimentación a un grupo o zona de servicios, de esta manera se facilitan los trabajos de reparación y mantenimiento al poder sectorizar la red de distribución.

Las tuberías dispondrán de uniones flexibles en los puntos donde crucen juntas de dilatación del edificio, capaces de absorber los movimientos y las dilataciones que puedan producirse, reduciendo de esta manera las tensiones en los soportes y en la propia tubería.

#### **6.1.7. Dispositivos de protección contra retornos.**

Conforme se explica a lo largo del proyecto se disponen de válvulas de retención en los siguientes puntos:

- Posterior a la llave de corte junto al contador.
- En el colector de distribución se dispone para cada circuito de salida de su correspondiente válvula de retención.
- En el circuito alimentador del AF para el ACS.

#### **6.1.8. Aislamiento de tuberías de IFF.**

Todas nuestras tuberías al ser de polipropileno, teniendo en cuenta las propiedades de este material no hará falta aislarlo de ninguna forma, sino que el propio tubo ya es aislante de por sí y evita las condensaciones. Así mismo en su instalación se debe prever para facilitar su dilatación y evitar el contacto con la luz solar y condiciones extremas, para así alargar la vida del producto.

Las tuberías vendrán pintadas con colores normalizados según norma DIN, y también vendrá indicado su grosor pintado por el fabricante.

## 6.2. Descripción de la instalación de ACS y retorno

El agua caliente sanitaria (ACS) se obtendrá, siempre que se pueda, íntegramente a través de la energía solar térmica. Existen en el mercado sistemas solares compactos para la producción de ACS que incluyen todo lo necesario. La elección de dicho sistema de captación escapa al alcance de este proyecto.

La instalación de ACS debería estar formada por el sistema de captación solar, el depósito acumulador solar, la caldera, el acumulador secundario de apoyo al sistema de solar térmico y la red de distribución de ACS hacia los baños.

La instalación de agua caliente sanitaria para el edificio se inicia en la sala de calderas situada en la planta subterráneo con llave de corte a fin de poder independizar la instalación en caso de avería o necesidad, facilitando los trabajos de reparación y mantenimiento.

Dado que la composición de dicha instalación termo-solar escapa al alcance del proyecto, así que nos limitaremos a comentar la energía que esta debería prestar.

### 6.2.1. Necesidades

Con la intención de proyectar una instalación lo más respetuosa posible con el medio ambiente, y a la vez cumplir con la normativa vigente establecida por el CTE, se aprovechará la energía solar térmica mediante la instalación de colectores solares destinados a producir agua caliente sanitaria.

Para ello se debe saber la demanda energética diaria y sabiendo que la temperatura final del acumulador debe de ser de 60°C. Esto lo encontramos en la siguiente tabla del CTE:

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

Tabla 6.3 Consumo de litros de agua según actividad

A ciencia cierta es difícil predecir la cantidad de litros de agua que se gastarán en el complejo pero aproximadamente (suponiendo ocupación completa):

	Personas	Litros ACS día	Total día
Personal	10	3	30
Huésped	78	35	2830
Total			2860

*Tabla 6.4 Consumo ACS con ocupación completa*

Para saber la cantidad total de agua a calentar escogemos la zona climática correspondiente en donde se encuentra el complejo. Según el mapa de zonas climáticas español, Llívia se encuentra en la zona II.



*Figura 6.2 Zonas climáticas de España*

Las instalaciones estarán obligadas a calentar un 66% del agua con paneles solares, según la siguiente tabla que también encontramos en el CTE:

Demanda total de ACS del edificio (lit)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-1.000	50	60	70	70	70
1.000-2.000	50	63	70	70	70
2.000-3.000	50	66	70	70	70
3.000-4.000	51	69	70	70	70
4.000-5.000	58	70	70	70	70
5.000-6.000	62	70	70	70	70
> 6.000	70	70	70	70	70

Tabla 6.5 Porcentaje de ACS mínimo suministrado por energía solar

### 6.2.2. Cálculo de la demanda energética mensual.

$$Q = m \cdot Cp \cdot \Delta T$$

Donde:

Q: Se corresponde a la energía útil mensual necesaria.

Cp: Es el calor específico del agua 4.185KJ/(Kg·K)

m: flujo másico del agua

$\Delta T$ : Es la diferencia de temperaturas del agua, es decir la consumida menos la de la red.

Aproximadamente, estas son las temperaturas a las que se recibe el agua de la red dependiendo de la época del año, así como los consumos a partir de éstas:

Mes	Temperatura acometida	Temperatura a uso	Q(MJ/día)	Q(MJ/mes)	KWh/día	KWh/mes
Enero	6	60	646,3	20036,3	179,5	5565,7
Febrero	7	60	634,4	17762,1	176,2	4934,0
Marzo	8	60	622,4	19294,2	172,9	5359,5
Abril	10	60	598,5	17953,7	166,2	4987,1
Mayo	12	60	574,5	17810,0	159,6	4947,3
Junio	14	60	550,6	16517,4	152,9	4588,2
Julio	14	60	550,6	17067,9	152,9	4741,1
Agosto	13	60	562,5	17439,0	156,3	4844,2
Septiembre	12	60	574,5	17235,5	159,6	4787,7
Octubre	10	60	598,5	18552,1	166,2	5153,4
Noviembre	8	60	622,4	18671,8	172,9	5186,6
Diciembre	6	60	646,3	20036,3	179,5	5565,7
TOTAL AÑO			218376,2		60660,3	

Tabla 6.6 Necesidades energéticas para generar ACS

Por lo tanto, el sistema termosolar que elija el propietario deberá ser capaz de suministrar, al menos, el 66% de esta demanda energética.

### 6.2.3. Distribución de ACS por el edificio.

La red de ACS a 60° parte del cuarto de calderas que se encuentra en la planta Subterráneo. La red parte de un diámetro interior de 54,2mm (DN75).

Esta red sigue el mismo esquema unifilar que hemos visto en la distribución de agua fría, con la diferencia de que la piscina exterior no recibirá ACS:



*Figura 6.3 Esquema unifilar de la instalación de ACS*

Para el cálculo del sistema de tuberías se utiliza el mismo sistema mostrado en el apartado referente a las instalaciones de agua fría sanitaria.

El cálculo y los diámetros nominales de las tuberías de ACS se indican en el Anexo B.

Se adjunta tabla resumen de los caudales y diámetros requeridos en algunos tramos del sistema el sistema:

	Qsim (l/s)	DN
Montante 1 (Edificio Principal)	0,64	DN32
Montante 2 (Edificio Principal)	0,27	DN32
Montante 3 (Edificio Principal)	0,33	DN32
Total Edificio principal	1,24	DN50
Total Bungalows	0,98	DN50
Piscina Cubierta (cap 5.3.3)	0,33	DN32

*Tabla 6.7 Diámetros y caudales principales de ACS*

#### **6.2.4. Distribución de la red de Retorno por el edificio.**

Al haber más de 15m de distancia desde la salida de ACS hasta el punto más alejado tendremos que disponer de esta red. La red de Retorno es una red paralela a la de ACS que lo que hace es recoger el agua estancada en la tubería de ACS y devolverla al cuarto de máquinas para que se vuelva a calentar para su reutilización como ACS.

La red de Retorno va en sentido contrario que la red de ACS.

### **6.3. Descripción de la red de evacuación**

El diseño del sistema de evacuación de aguas pluviales se realizará basándose en el criterio de flujo en tubería llena.

En el complejo disponemos de 2 tipos de instalación de evacuación, una de ellas será de aguas pluviales y la otra de aguas fecales.

Para el estudio de una red de evacuación de aguas pluviales de un edificio es necesario el conocimiento de la intensidad, duración y frecuencia de la lluvia.

### 6.3.1. Instalación Aguas Pluviales

A continuación explicaremos la red de aguas pluviales. Empezaremos por la zona más alta del edificio, donde se recogen las aguas pluviales, disponemos 2 cubiertas, ambas inclinadas. Como vemos en la normativa, tiene que tener un sumidero por 150m<sup>2</sup> en proyección horizontal. Nosotros cumplimos esta normativa, como veremos más adelante.

Las aguas pluviales procedentes de la cubierta se recogerán mediante unos canalones de PVC semicirculares y con sujeciones metálicas.

Estas aguas pluviales son canalizadas hasta las bajantes más próximas que a tal efecto se dispondrán en el edificio.

Las dimensiones de los canalones dependen de la superficie de cubierta que recogen:

Máxima superficie de cubierta en proyección horizontal (m <sup>2</sup> )				Diámetro nominal del canalón (mm)
Pendiente del canalón				
0.5 %	1 %	2 %	4 %	
35	45	65	95	100
60	80	115	165	125
90	125	175	255	150
185	260	370	520	200
335	475	670	930	250

Superficie de cubierta en proyección horizontal (m <sup>2</sup> )	Número de sumideros
S < 100	2
100 ≤ S < 200	3
200 ≤ S < 500	4
S > 500	1 cada 150 m <sup>2</sup>

Superficie en proyección horizontal servida (m <sup>2</sup> )	Diámetro nominal de la bajante (mm)
65	50
113	63
177	75
318	90
590	110
805	125
1.544	160
2.700	200

Tabla 6.8 Diámetros de canalones, bajantes y número de sumideros

Nuestra cubierta inclinada será de 395m<sup>2</sup> en proyección horizontal. Con lo que hemos decidido colocar 4 bajantes. La superficie máxima que tendrá que abastecer cada bajante será de 98,7m<sup>2</sup>. Con lo que el canalón será de 125 mm de diámetro, con una pendiente del 2%. Cada bajante será de 63mm de diámetro.

El material empleado para la red de bajantes será el tubo de PVC según norma UNEEN-329-1 para aplicaciones tipo B, con accesorios de unión encolados o mediante junta elástica del mismo material.



La sujeción de las bajantes se realizará de forma que las sujeciones actúen única y exclusivamente como soportes-guía (puntos deslizantes). Bajo ningún concepto dichos anclajes serán de tipo de apriete.

La asignación de los diámetros de las bajantes se hará en función de la superficie de cubierta a evacuar y para una intensidad pluviométrica de 90 mm/h, tal como indican las siguientes tablas del CTE (el municipio se encuentra en Zona B isoyeta 40):

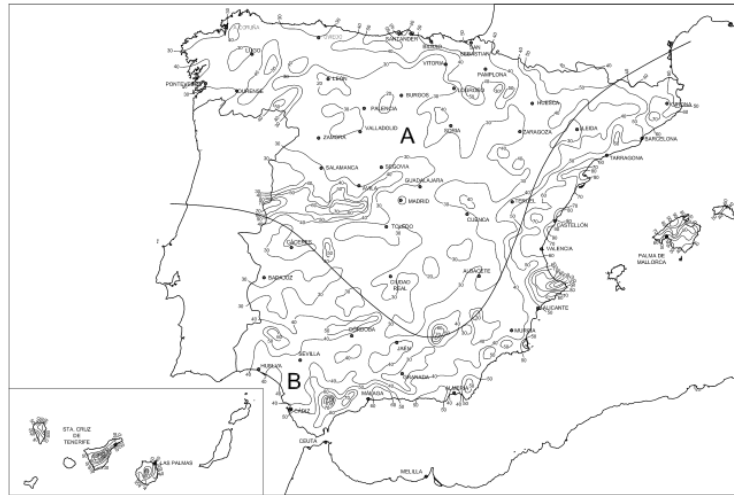


Figura 6.4 Mapa de isoyetas y zonas pluviométricas

	Intensidad Pluviométrica <i>i</i> (mm/h)											
<b>Isoyeta</b>	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<b>Zona A</b>	30	65	90	125	155	180	210	240	275	300	330	365
<b>Zona B</b>	30	50	70	90	110	135	150	170	195	220	240	265

Tabla 6.9 Intensidad pluviométrica

Se colocarán arquetas a pie de bajantes verticales.

Las arquetas a construir se ejecutarán según detalles constructivos y tendrán unas dimensiones según la siguiente tabla del CTE:

	Diámetro del colector de salida [mm]								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
<b>L x A [cm]</b>	40 x 40	50 x 50	60 x 60	60 x 70	70 x 70	70 x 80	80 x 80	80 x 90	90 x 90

Tabla 6.10 Diámetro colector de salida

Serán, por la tanto, arquetas de 50x50cm.

Estarán hechas de ladrillo macizo con el interior revocado y tapas provistas de junta de goma para una total estanqueidad frente a los olores. El interior de la base de cada arqueta se realizará con una pendiente de cinco centímetros para evitar estancamientos y un mejor desagüe de las aguas.

Las arquetas podrán ser registrables o no registrables, dependiendo del caso, según se explica en el pliego de especificaciones técnicas, llamando registrables aquellas arquetas que es posible su acceso desde la solera pavimentada de la planta donde se ejecuta la red de albañales.

Se realizarán arquetas de paso si un tramo tiene más de 15 metros o se unen dos redes de colectores.

Se realizará una arqueta sifónica a 90cm de la red alcantarillado de aguas pluviales. Dicha arqueta tiene la función de hacer de barrera para que olores y gases no circulen en sentido contrario y aparezcan en el complejo.

Sus dimensiones serán: 60x70 x altura variable.

Esta red de colectores discurrirá enterrada. La canalización enterrada estará construida en PVC corrugado de doble pared y contará con las arquetas de registro o pozos necesarios para garantizar el acceso sencillo a todo punto de la red en caso de obstrucción o limpieza.

La pendiente de los colectores, será como mínimo del 1 % en todo su recorrido para mejorar y facilitar la evacuación.

### **6.3.2. Instalación evacuación**

Los desagües de aparatos sanitarios y derivaciones constituyen la parte inicial de la instalación de saneamiento.

Está formada por los sifones y conductos que recogen el agua vertida en los distintos aparatos sanitarios y la conducen horizontalmente, con cierta pendiente, hasta la bajante.

Todos los aparatos sanitarios dispondrán de sifón individual para evitar la transmisión de olores desde la red de saneamiento al interior del edificio.

El desagüe de los aparatos sanitarios se efectuará por el falso techo de la planta inferior hasta conectar al bajante. Los diámetros de los desagües de los distintos aparatos obedecerán a la relación indicada en cálculos.

Tipo de aparato sanitario	Unidades de desagüe UD		Diámetro mínimo sifón y derivación individual (mm)	
	Uso privado	Uso público	Uso privado	Uso público
Lavabo	1	2	32	40
Bidé	2	3	32	40
Ducha	2	3	40	50
Bañera (con o sin ducha)	3	4	40	50
Inodoro	Con cisterna	4	100	100
	Con fluxómetro	8	100	100
Urinario	Pedestal	-	-	50
	Suspendido	-	-	40
	En batería	-	3.5	-
Fregadero	De cocina	3	40	50
	De laboratorio, restaurante, etc.	-	-	40
Lavadero	3	-	40	-
Vertedero	-	8	-	100
Fuente para beber	-	0.5	-	25
Sumidero sifónico	1	3	40	50
Lavavajillas	3	6	40	50
Lavadora	3	6	40	50
Cuarto de baño (lavabo, inodoro, bañera y bidé)	Inodoro con cisterna	7	100	-
	Inodoro con fluxómetro	8	100	-
Cuarto de aseo (lavabo, inodoro y ducha)	Inodoro con cisterna	6	100	-
	Inodoro con fluxómetro	8	100	-

*Tabla 6.11 UD's y diámetros individuales según aparato sanitario*

Equivaliendo un UD a 0,03l/s de caudal estimado.

Todas las derivaciones o desagües se montarán de forma que dispongan de la máxima pendiente para obtener un mínimo tiempo de descarga en los aparatos.

Los inodoros verterán a la bajante más próxima. A ser posible el recorrido será menor que 1 m. a través del manguetón, no directamente, por lo que si ha de atravesar el forjado o muro, se deberá colocar un pasamuros relleno de material elástico e impermeable entre éste y el manguetón para permitir el libre movimiento del mismo sin perjudicar las juntas por rigidización excesiva de éstas.

Las bajantes son los conductos verticales que recogen las aguas residuales desde los manguetones de inodoros y las conducen hasta los colectores horizontales situados en las zonas inferiores del edificio hasta las arquetas a pie de las propias bajantes para su posterior evacuación. Cada bajante se proyecta con ventilación principal. Esta disposición garantiza una rápida y adecuada evacuación de las aguas sin que se produzca desifonamientos con esparcimiento de olores.

Las uniones entre bajantes se realizarán de dos tipos, encoladas y con anillos dilatadores en aquellos puntos en que se prevea la necesidad de absorber dilataciones, con un mínimo de un anillo dilatador por planta.

A partir de las siguientes tablas del CTE dimensionaremos la red de evacuación, así como los bajantes:

Máximo número de UD			Diámetro (mm)
Pendiente			
1 %	2 %	4 %	
-	1	1	32
-	2	3	40
-	6	8	50
-	11	14	63
-	21	28	75
47	60	75	90
123	151	181	110
180	234	280	125
438	582	800	160
870	1.150	1.680	200

Tabla 6.12 Diámetro y pendiente de los canalones según UD's

Máximo número de UD, para una altura de bajante de:		Máximo número de UD, en cada ramal para una altura de bajante de:		Diámetro (mm)
Hasta 3 plantas	Más de 3 plantas	Hasta 3 plantas	Más de 3 plantas	
10	25	6	6	50
19	38	11	9	63
27	53	21	13	75
135	280	70	53	90
360	740	181	134	110
540	1.100	280	200	125
1.208	2.240	1.120	400	160
2.200	3.600	1.680	600	200
3.800	5.600	2.500	1.000	250
6.000	9.240	4.320	1.650	315

Tabla 6.13 Diámetro de la bajante según UD's y altura

Se colocarán arquetas a pie de bajantes verticales.

Las arquetas a construir se ejecutarán según detalles constructivos y tendrán unas dimensiones de 40x40 cm con una profundidad variable en el encuentro con cada colector debido a la pendiente que llevan éstos. Estarán hechas de ladrillo macizo con el interior revocado y tapas provistas de junta de goma para una total estanqueidad frente a los olores. El interior de la base de cada arqueta se realizará con una pendiente de cinco centímetros para evitar estancamientos y un mejor desagüe de las aguas.

Las arquetas podrán ser registrables o no registrables, dependiendo del caso, según se explica en el pliego de especificaciones técnicas, llamando registrables aquellas arquetas que es posible su acceso desde la solera pavimentada de la planta donde se ejecuta la red de albañales.

El diámetro de los colectores de aguas fecales se obtiene en la tabla 4.5 del Documento Básico HS 5 Evacuación de aguas (Salubridad), en función de su pendiente y de la superficie a la que sirve.

Calcularemos el total para saber la arqueta sifónica que dimensión tendrá. En total tenemos 631 UD con lo que necesitaremos un diámetro de 160mm.

Se realizaran arquetas de paso en encuentros de colectores o en tramos de más de 15 metros de largo.



Los desplazamientos de los bajantes y la red horizontal de colectores colgados de saneamiento se realizarán con tubería de PVC, según norma UNE-EN 1329-1 tipo BD, con accesorios del mismo material encolados o mediante junta elástica. Su trazado queda indicado en los planos correspondientes del proyecto con pendientes mínimas del 1% hasta su conexión con la red de alcantarillado de aguas residuales.

La red de evacuación exterior al edificio es separativa, y dispone de una red de colectores de PVC enterrado que desemboca al colector municipal.

### 6.3.3. Instalación Ventilación

Según el CTE Documento básico HS 5 Evacuación de aguas (Salubridad), solo es necesaria ventilación primaria ya que nuestro edificio dispone de menos de 7 plantas.

Dicha ventilación la aplicaremos en los bajantes de aguas grises y aguas fecales.

## 6.4. Grupos de presión

Esta instalación necesitará de tres grupos de impulsión: uno para AFS, otro para ACS y un tercero para el retorno de ACS.

En los puntos de consumo, la presión mínima según el CTE debe ser de 100 kPa para los grifos comunes y de 150 kPa para calentadores. La presión en cualquier punto de consumo no debe superar los 500 kPa. Así pues, el grupo impulsor deberá garantizar la presión mínima en el punto más desfavorable. Dicho punto, en los tres casos a estudiar, es el más alejado, en cuanto a metros de tubería, de los situados en el bungalow de la parcela 19. El cálculo de las pérdidas de carga de cada uno de los circuitos se encuentra en el anexo C, para ello se han empleado las siguientes fórmulas:

$$h_{local} = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{lineal} = f \times \frac{L v^2}{D 2g}$$

Siendo:

K: Coeficiente determinado en forma empírica para cada tipo de punto singular [ $K_{\text{codo}}=0,5$  ;  $K_{\text{válvula}}=2$  ;  $K_{\text{reductor}}=(1-(D2/D1)^2)$ ] (adimensional)

v: velocidad media del agua (m/s)

L: longitud del tramo de tubería (m)

D: diámetro del tramo de tubería (m)

g: aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

f: coeficiente de fricción (adimensional)

Obteniendo:

Pérdidas de carga de los diferentes circuitos (mca)	Suministro de agua fría sanitaria	Suministro de agua caliente sanitaria	Retorno de agua caliente sanitaria
	8,242	12,751	11,671

Dichos valores se aplican a la conocida fórmula:

$$H_m = H_g + P_c + 10 \frac{P_i - P_a}{\gamma}$$

Donde:

$H_g$  = Altura geométrica. Desnivel existente entre el nivel mínimo de aspiración y el punto más alto de impulsión expresado en metros.

$P_c$  = Pérdidas de carga. Resistencia que ofrece al paso del líquido las tuberías, curvas, válvulas, etc. Expresada en metros.

$$-10 \frac{P_i - P_a}{\gamma}$$

=Presión diferencial existente sobre las superficies del líquido en impulsión y aspiración. Expresada en metros.

Obteniendo así:

Altura manométrica requerida por la bomba (mca)	Suministro de agua fría sanitaria	Suministro de agua caliente sanitaria	Retorno de agua caliente sanitaria
	24,3	28,8	17,7

Con estas alturas manométricas y los caudales simultáneos totales calculados en los capítulos 6.1.3 y 6.2.3 se puede proceder a la selección del grupo impulsor.

Caudal simultáneo (l/s)	Suministro de agua fría sanitaria	Suministro de agua caliente sanitaria	Retorno de agua caliente sanitaria
	4,5	2,54	2,54

En este proyecto se ha utilizado el software de la casa de bombas Grundfos (WinCAPS) para optimizar dicha elección.

Los grupos impulsores elegidos son los siguientes, todos ellos duplicados y en paralelo para evitar parones en el servicio:

1. Suministro de agua fría sanitaria: Grundfos **SP 17-4** bomba multicelular y de potencia nominal de 2,2 kW

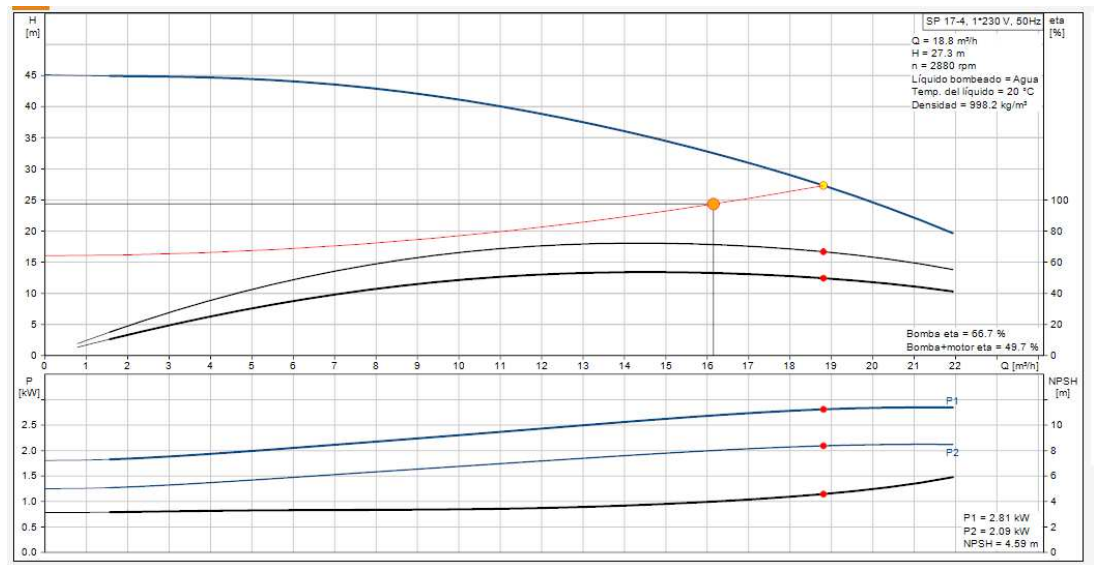


Figura 6.5 Curva de funcionamiento de la bomba de suministro de AFS

- Suministro de ACS: Grundfos **CM10-3 A-R-A-E-AVBE** bomba centrífuga de aspiración axial compacta, horizontal, multietapas y de potencia nominal 1,9 kW

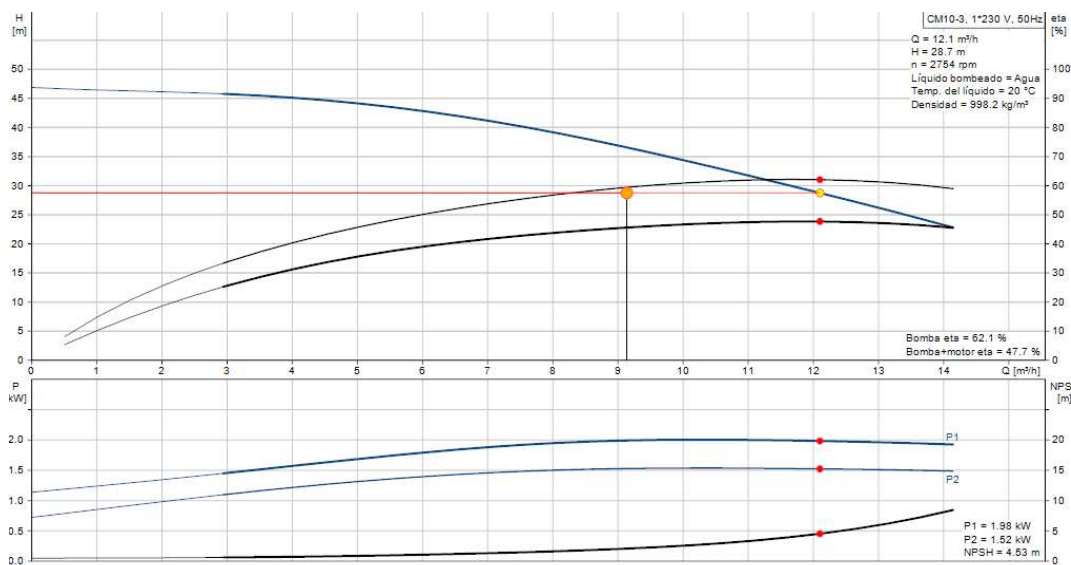


Figura 6.6 Curva de funcionamiento de la bomba de suministro de ACS

- Retorno de ACS: Grundfos **CM10-2 A-R-A-E-AVBE** bomba centrífuga de aspiración axial compacta, horizontal, multietapas y de potencia nominal 1,3 kW

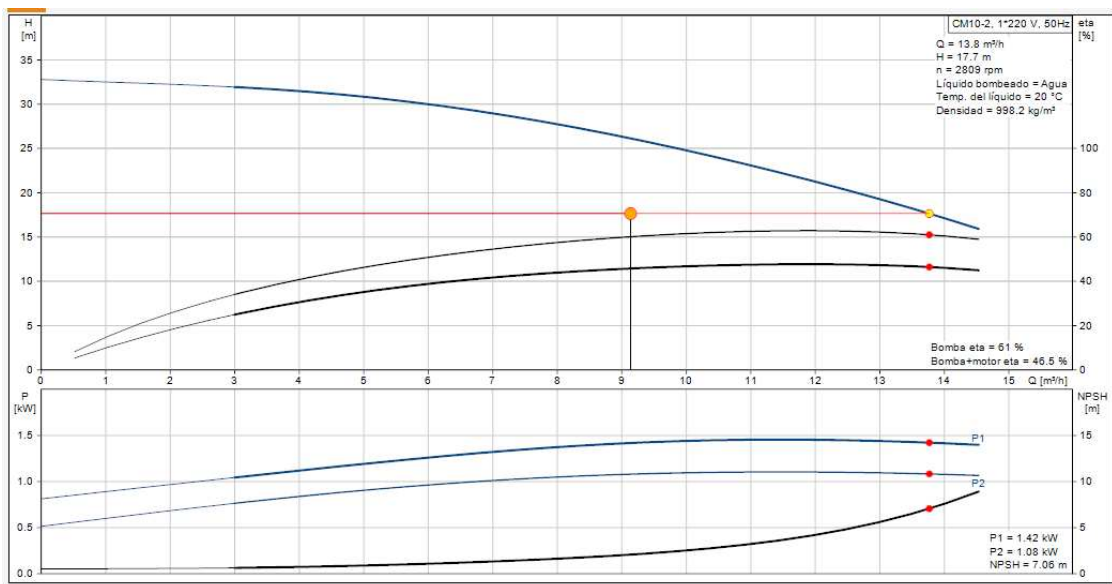


Figura 6.7 Curva de funcionamiento de la bomba de retorno de ACS

De todos ellos se puede ver más información en el Anexo H.



## 7. Reutilización de aguas grises

### 7.1. Definición y particularidades

El agua gris puede definirse como el agua residual doméstica de origen no fecal. Por tanto, pueden incluir el agua procedente de duchas, lavabos, cocinas, lavadoras, lavavajillas, etc., y excluye el agua procedente de la descarga de los sanitarios y urinarios.

#### 7.1.1. Diferenciación entre aguas grises y negras

La razón por la cual se separan las aguas negras de las grises se debe a una serie de diferencias clave que influyen en el rendimiento del sistema. A grandes rasgos, se enumeran las principales:

- Las aguas grises contienen sólo 1/10 de nitrógeno comparado con las aguas negras.

Nitrógeno (como nitrito y nitrato) es el más serio y difícil de retirar como agente de polución que afecta al agua potable. Las aguas grises contienen bastante menos nitrógeno y no es necesario que lleve el mismo proceso de tratamiento que las aguas negras.

- Las aguas negras son la fuente más importante de los patógenos humanos. Los organismos que amenazan la salud humana no crecen fuera del cuerpo (a menos que estén incubados) pero son capaces de sobrevivir especialmente en las heces humanas. Separando aguas grises de aguas negras se reducirá drásticamente el peligro expuesto por estos patógenos si se aliviara a las aguas grises de las heces que los transportan.

- El contenido orgánico típico de las aguas grises se descompone mucho más rápido que el contenido típico de las aguas negras. La cantidad de oxígeno requerida para la descomposición del contenido orgánico en aguas grises durante los primeros cinco días (DBO5) constituye el 90% del total. El DBO5 de las aguas negras es sólo el 40% del oxígeno requerido (DBO1 para aguas grises es alrededor del 40% de la última demanda de oxígeno y DBO1 para aguas negras es sólo el 8%). Esto significa que el problema de la descomposición en aguas negras es que continuará consumiendo oxígeno mucho más allá del punto de desagüe de lo que lo hará las aguas grises.

Así pues las aguas grises y negras son tan diferentes, que parece lógico separarlas y tratarlas separadamente por el bien de la protección de la salud y como ahorros significativos. Sin embargo, hay que señalar que si las aguas grises se dejan sin tratar por

unos días se comportarán como aguas residuales. Ambas desarrollarán malos olores (al convertirse en anaeróbico) y ambas contendrán gran número de bacterias.

### **7.1.2. Contaminación microbiológica del AG**

Los principales problemas relacionados con la reutilización de aguas grises son debidos a la posibilidad de transmisión de enfermedades por la exposición a microorganismos presentes en los caudales a reutilizar (virus, bacterias y protozoos). De hecho, se considera que el mayor riesgo que lleva asociado es de tipo microbiológico. En este punto, cabe resaltar que cuanto mayor es la población involucrada en un proyecto de reutilización, mayor es la probabilidad de presencia de virus, por ser éstos de procedencia humana.

Así pues, siempre se recomienda una adecuada desinfección residual como etapa final de tratamiento antes de cualquier reutilización. En ese caso, también debe investigarse las consecuencias de la liberación de desinfectantes y sus subproductos.

### **7.1.3. Contaminación físico-química del AG**

Otra cuestión es la contaminación por suciedad o distintos productos químicos de las aguas grises a reutilizar. En caso de reutilización como aguas de regadío, los contaminantes pueden permanecer en el suelo, llegar a los acuíferos o ser absorbidos por las plantas. Los riesgos químicos suelen estar asociados a compuestos procedentes de los productos de limpieza/higiene. Con mucho menor impacto, también se pueden detectar la presencia de metales pesados procedentes de la degradación de tuberías y otros elementos del sistema.

Además de los procesos de contaminación, también deben tenerse en cuenta los inconvenientes técnicos derivados de la presencia de partículas sólidas, como la obstrucción de bombas, filtros y otros elementos del circuito. En cualquier caso, la contaminación físico-química supone un riesgo menor que la microbiológica.

## **7.2. Otros aspectos a considerar**

### **7.2.1. Aspectos técnico-sanitarios**

Posiblemente sean los factores más importantes: un buen diseño y funcionamiento del sistema que permita asegurar la calidad higiénica y sanitaria del agua reciclada. Los requisitos de la instalación básicamente consisten en evitar cualquier tipo de contacto del agua gris con el circuito de agua potable, identificar con un color distinto la red de AG, señalar debidamente los depósitos y grifos del jardín, así como las cisternas de los

inodoros, indicando la no potabilidad de esa agua. Dichos requisitos se incluirán en la instalación.

La adición de colorante al agua tratada como medida de precaución no se considerará, en un principio. Sin embargo, se estudiará esta opción una vez la instalación esté en funcionamiento y según los niveles de peligrosidad y aceptación social (ver aspectos sociales).

A su vez, esta medida podría solucionar el problema estético que conlleva una posible turbidez del agua depurada.

Otra medida higiénica que deberá adoptar el establecimiento es la descarga de las cisternas de las habitaciones desocupadas una vez al día, a fin de evitar la proliferación de microorganismos patógenos y posibles olores. Dicha medida se puede incluir en las funciones del personal de limpieza.

Se consideran grupos de riesgo el personal encargado del mantenimiento de estos sistemas, los niños y los ancianos. También se considera que corren más riesgo los usuarios visitantes u ocasionales que los habituales.

### **7.2.2. Aspectos medioambientales**

El medio ambiente no debe verse perjudicado. Para ello debe controlarse la calidad del efluente, evaluar el impacto ambiental y compararlo con el de otras alternativas, aspectos que se tendrán en cuenta a lo largo del trabajo.

### **7.2.3. Aspectos legales**

Los proyectos de reutilización de aguas deben ser fomentados desde la Administración, que además de dotar de las infraestructuras necesarias, deberá dictar las normativas de instalación y mantenimiento. A lo largo de la memoria se hace referencia, en cada caso, al marco legal.

### **7.2.4. Aspectos económicos**

Es importante que el agua reciclada tenga un precio final competitivo para definir la viabilidad del proyecto. A tal efecto, se analiza este factor en el capítulo 9.

### **7.2.5. Aspectos sociales**

El éxito o fracaso de cualquier iniciativa de reciclaje depende, además del sistema propiamente dicho, de su aceptación social. Una vez instalado el sistema se deberá

mantener un flujo de información entre los usuarios y los encargados del hotel con el fin de potenciar el grado de aceptación y estudiar posibles mejoras. En este punto, una posibilidad es la realización de encuestas por parte de los clientes del hotel. En nuestro caso, y debido al trato familiar que supone un pequeño hotel, se considera más efectivo un “sondeo informal” entre los huéspedes, sin descartar la opción de una encuesta por escrito. Una consecuencia positiva que se desprende de esta práctica puede ser una mayor concienciación por parte de los usuarios que redundará en una disminución en el consumo de agua y energía.

En cuanto a los factores estéticos, se deberá tener en cuenta que el aspecto del agua tratada no provoque un rechazo por parte de los usuarios. A tal efecto, podemos afirmar, según experiencias similares, que la baja o nula turbidez del agua tratada es fácil de conseguir con las principales alternativas estudiadas [capítulo 7.3]. En cualquier caso, se procurará instalar unos váteres que ayuden a disimular el posible impacto estético (los colores claros hacen menos visible la turbidez).

### 7.3. Sistemas de tratamiento de aguas grises

Se estudian a continuación las principales alternativas del sistema base del tratamiento de las AG. En el capítulo 8 se describen procesos anteriores al principal escogido aquí, y en función de éste, que servirán de apoyo para un buen funcionamiento y un aumento de la eficiencia.

En este punto, es particularmente interesante mencionar el artículo “El papel de las nuevas tecnologías en la propuesta española de normativa sobre reutilización de aguas” donde, si bien no se citan las AG por separado, se exponen las principales alternativas de depuración. Éstas son: lagunas de maduración, filtración a través de un lecho de arena y tecnologías de membrana (microfiltración y ultrafiltración).

A continuación se resumen las posibilidades encontradas en la bibliografía consultada referente a los sistemas de tratamiento de aguas grises.

#### a) Biológicos

- Biorreactores:
  - De membrana (MBR)
  - Filtros biológicos aireados (BAF)
  - Reactores biológicos secuenciados (SBR )
- Lagunaje:
  - Aerobia (con O<sub>2</sub>)
  - Anaerobia (sin O<sub>2</sub>)
  - Facultativa (sin o con poco O<sub>2</sub>)

- De membrana aireados (MBAR)

## b) Físico – químicos

- |                                    |  |
|------------------------------------|--|
| • Filtración:                      | • Coagulación – floculación:                     |
| - Mallas (25 – 500 $\mu\text{m}$ ) | - $\text{AlCl}_3$ , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ |
| - Filtros de arena                 | - $\text{FeCl}_3$ , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ |
| - Ultrafiltración                  | - Polielectrolitos                               |
| - Carbón activo                    |  |

### 7.3.1. Tratamientos biológicos

Los tratamientos biológicos más utilizados son los biorreactores y, en menor medida, el lagunaje. La biotecnología utilizada en los **reactores biológicos**, a la vanguardia mundial en el ámbito del medio ambiente, ha provocado que la depuración biológica desbanque a muchos de los procesos físico-químicos que hasta hace poco tiempo se consideraban insuperables. Dentro de los biorreactores podemos considerar los biorreactores de membrana (MBR), los filtros biológicos aireados (BAF), los reactores biológicos secuenciados (SBR), y los biorreactores de membrana aireados (MBAR). En general, estos biorreactores consisten en dispositivos en los que se ha fijado una determinada flora bacteriana que es la encargada de la degradación de los compuestos orgánicos presentes en el agua. El efluente obtenido suele de ser de buena calidad, mejor cuanto más lentamente circula el agua (depende de cada diseño) y, en general, requieren un bajo mantenimiento.

No obstante, la poca experiencia que se tiene de algunos de estos procesos biológicos, debido a la innovación que suponen, provoca ciertos inconvenientes (capítulo 7.3.3). Además, son sistemas caros, lo que se traduce en un precio elevado para el agua regenerada, del orden de 3 €/m<sup>3</sup>. Relativo al recidaje de aguas grises cabe destacar la solución patentada por la empresa alemana Hansgrohe, el Aquacycle900. En este sistema, después de una filtración, las aguas pasan a dos depósitos de 300 l. donde se tratan mediante bio-cultivos, siendo bombeada periódicamente a una última cámara de desinfección UV.

El **lagunaje** consiste en la depuración biológica en estanques de estabilización. En la primera laguna tiene lugar la homogeneización del caudal; le sigue una sedimentación

primaria y después un tratamiento de los residuos orgánicos, bien por oxidación bacteriana aeróbica (laguna aerobia), bien por digestión anaeróbica (laguna anaerobia) o bien una combinación de ambos procesos (laguna facultativa). El lagunaje es una opción poco usada debido a que requiere de una mayor superficie y los tratamientos son temporalmente más prolongados, además de las pérdidas por evaporación que supone.

### **7.3.2. Tratamientos físico-químicos**

La normativa vigente podría definir estos tratamientos como terciarios [Directiva 91/271/CE], o de afine. También como aquellos asignados a conseguir un efluente de calidad destinado a la reutilización. Para este estudio, los procesos de filtración y adsorción se considerarán como aquellos que nos van a proporcionar un recurso doméstico con unas características compatibles y aceptables para su reciclaje a falta, como mínimo, de un proceso de desinfección.

La filtración mecánica consiste, en esencia, en que el afluente atraviese un medio filtrante, el cual retiene gran parte de impurezas, dejando pasar el líquido. Por tanto, su objetivo radica en separar partículas y microorganismos que no han sido retenidos por los procesos anteriores. Es un proceso físico y mecánico, aunque, dado el origen residual de las aguas, deberemos tener en cuenta otros fenómenos, principalmente de naturaleza biológica. Por otro lado, junto a este proceso, existe la necesidad de proceder a un tratamiento de adsorción, destinado a la obtención de unas características organolépticas idóneas. La adsorción es un fenómeno superficial que ocurre en ciertos materiales (adsorbentes), eficientes para retener moléculas orgánicas (adsorbatos) extraídas de la fase líquida en la que se encuentran sumergidas. Por tanto, la capacidad de adsorción de un material está en relación directa con la proporción entre la superficie del mismo y el tiempo de contacto entre líquido y adsorbente. Para conseguir un tratamiento de adsorción óptimo, el afluente deberá estar exento de MO biodegradable: los tratamientos previos deberán ser eficaces y precisos.

En definitiva, mientras que en la filtración mecánica la inmovilización de materia en suspensión va colmatando progresivamente el medio filtrante, lo que implica el aumento de carga hidráulica (disminución de la velocidad de infiltración), la adsorción no provoca colmatación mecánica alguna, sino que cuando los poros se saturan, sencillamente no adsorben, sin incidir en la velocidad y carga hidráulica de la instalación.

#### **1. Filtración por gravedad en medio granular**

La filtración a gravedad se define como aquella en la que el agua atraviesa el lecho sin necesidad de aplicar una fuerza exterior. En realidad se trata de una infiltración a un terreno, con recuperación de efluente, donde los substratos naturales han sido sustituidos

por otros artificiales. Las aguas regeneradas son repartidas homogéneamente sobre la capa filtrante donde, tras atravesarla, son recogidas con unos drenes inferiores. Debido al gran espacio que ocupan, dos son las maneras de concebirlo: como suelos extensivos y cubiertos o en forma de depósitos accesibles.

Los **filtros extensivos** pueden fácilmente acoplarse al entorno de la edificación. Las posibilidades de diseño son innumerables: desde la combinación de diferentes superficies de acabado hasta la disposición de cubiertas ajardinadas que funcionen como filtros, en tal caso con el inconveniente de tener que bombear las aguas. Con esta solución, además de tratar las AG se drenarán también las aguas de lluvia.

Sin embargo, son bastantes los inconvenientes que pueden aparecer (problemas de mantenimiento, pérdidas importantes de agua, insuficiente calidad de los efluentes como para destinarlos a otros usos, etc.), aunque mediante una correcta planificación, diseño y ejecución pueden subsanarse. Por otro lado, la aparición de procesos biológicos paralelos a la filtración es inevitable, pudiendo provocar estados anaerobios y, por tanto, colapsando aún más los estratos filtrantes. Como consecuencia, aparecerá la necesidad de restituir el material filtrante por medio de una obra de restauración de cierta envergadura. Para reducir la necesidad de dicha restitución las soluciones son variadas: uso de biotecnología, colocación de columnas de ventilación o aporte de agua de lluvia.

Los **filtros accesibles** responden a idéntica tecnología que los extensivos, pero introduciendo el lecho filtrante en un vaso o depósito cerrado accesible. Las ventajas que lo singularizan son las siguientes:

- a) Al estar cerrados, permiten una mayor carga hidráulica, pues la inundación del lecho no implica riesgo sanitario o estético alguno.
- b) Como son accesibles, el mantenimiento periódico es factible. Éste consiste en la retirada de los fangos superficiales, remover el lecho para su descolmatación y aireación y restituir el material.
- c) Dado que se posibilita la restitución del lecho, el filtro puede tener también capacidad adsorbente, bien conjuntamente, o bien disponiendo de un lecho multiestrato.
- d) Es posible plantearse el uso de elementos prefabricados, con el consecuente Control de Calidad en origen.

Como inconvenientes se observan los siguientes:

- a) Cuando el filtro sea inundado, hay que estudiar bien la posibilidad de contra flujos del efluente.

b) El tipo y período de mantenimiento obliga a que dispongamos de dos cámaras en paralelo.

c) Al igual que en los extensivos, la calidad del efluente final es relativa. Aun así, como rendimientos destacados tenemos [Collado Lara, 1992]: hasta un 99% en SS y la práctica totalidad de los grandes microorganismos (protozoos, nematodos, etc.).

Por tanto, la filtración por gravedad está condicionada por la disponibilidad de espacio suficiente, la calidad del agua demandada y, lo más importante, la necesidad de un mantenimiento que sólo se compensaría con una ocupación mucho más alta que el caso estudiado.

## **2. Filtración a presión por medio granular**

La filtración por medio granular bajo presión, tanto para la retención mecánica como para la adsorción, es la tecnología más sencilla de todas, siendo perfectamente adaptable a instalaciones de pequeño caudal. Consiste en introducir el afluente tras un aporte energético, de forma que atraviesa ascendente o descendientemente el lecho granular. A diferencia de la filtración a gravedad, los elementos a presión están definidos por las siguientes características:

- Inevitablemente, necesitan de un elemento de bombeo previo. El funcionamiento del sistema no será continuo, como en los de gravedad, sino interrumpido en períodos según la producción de agua.
- Permite cargas hidráulicas más altas, por lo que el espacio necesario es mínimo. Se trata de cuerpos bastante pequeños en comparación con los filtros accesibles.
- El efluente resultante es de una calidad superior. Se garantizan unas características cualitativas suficientes como para cubrir el nivel de calidad que se requiere (para riego e inodoros)
- Su comercialización en elementos compactos prefabricados implica una serie de ventajas, destacando el Control de Calidad en origen, su adaptabilidad a cualquier instalación, la automatización de los procesos, su mantenimiento, etc.

## **3. Filtración por membrana**

Las tecnologías de filtración mecánica por medio granular podemos considerarlas como las clásicas. Frente a éstas se sitúa la filtración por membrana, técnica surgida del avance de los denominados filtros por malla. Ésta se fundamenta en la separación a que da lugar una membrana cuando un líquido la atraviesa. Tendrá que existir una aplicación de fuerza al



fluido suficientemente fuerte para que una porción de mezcla acuosa la traspase (parte perneada). El resto, llamado rechazado, es lo que la membrana no filtra. Debido a la adaptabilidad a pequeñas instalaciones y a la calidad exigida de las aguas filtradas se analizan sólo dos tipos de membranas: la micro-filtración (MF) y la ultra-filtración (UF).

Experiencias realizadas en el campo de la reutilización directa de AR urbanas demuestran que un mismo efluente tratado mediante micro-filtración y ultrafiltración presentan similares características a efectos de destinos que requieren aguas de "Calidad 3". Evidentemente, la UF obtiene mejores efluentes, prescindiendo incluso de un proceso posterior de adsorción, pero demanda gastos energéticos hasta doce veces superiores, además de implicar operaciones de mantenimiento más complejas y un incremento en el uso de productos químicos para la regeneración periódica de la membrana.

El elemento básico de la filtración es el tipo de membrana, cuya configuración determina el tipo de módulo. La disposición en paralelo de un conjunto de módulos, según el caudal a tratar, define la unidad de filtración. Entre las configuraciones de membrana para MF/UF, o módulos existentes, destacan dos de ellas, por ser las más adaptables a los caudales domésticos generados en edificaciones individualizadas: módulos tubulares, como sistema tradicional, y módulos de membrana sumergida. La innovación de este último sistema radica en que el propio cubículo donde se introducen las membranas actúa al mismo tiempo de reactor biológico, como elemento de almacenamiento y de pozo de bombeo.

En definitiva, la filtración por membrana diferirá de la filtración granular en varios aspectos:

- a) La influencia en la edificación y su entorno es inexistente, pues son elementos más o menos compactos que sencillamente tendremos que ubicar en algún local.
- b) Son elementos de alta tecnología heredados del tratamiento de agua en la industria, por lo que el Control de Calidad en origen está garantizado. Sin embargo, aunque la automatización de los procesos es necesaria, requiere de una mano de obra relativamente especializada para su mantenimiento periódico.
- c) Originan un mayor coste energético, por lo que su viabilidad irá en función de la dotación y ocupación del edificio.
- d) La calidad del efluente resultante es, en todos los casos, superior al obtenido mediante tecnologías granulares.

Referente a este último punto, algunos índices de reducción que se dan en la MF por membrana sumergida, independientemente de la calidad del afluente y previo a la adsorción y desinfección, son concentraciones inferiores a 1 mg/litro de DBO5, el 99.99% de reducción en SS y un índice de turbidez inferior a los 0.1 NTU. Según otro análisis en

una planta piloto con un sistema de UF de membrana sumergida, destinada al tratamiento de efluentes secundarios para su reutilización urbana, las calidades finales obtenidas son: DBO5 < 2 mg/litro; DQO < 34 mg/litro; SS < 1 mg/l; Turbidez < 1 NTU.

### 7.3.3. Elección del sistema

El método seguido para la evaluación de las diferentes alternativas estudiadas no es global sino selectivo, en el sentido en que algunos condicionantes de los sistemas bastarán para desechar la elección. De hecho, entre los sistemas de depuración existentes válidos para el reciclaje de aguas grises, se han expuesto sólo en este apartado los que cumplen dos requisitos de vital importancia:

- a) Posibles impactos, relacionados principalmente con los olores y los ruidos producidos, a tener particularmente en cuenta en un hotel.
- b) Estacionalidad, pues la tecnología debe asimilar el hecho de que el hotel permanece cerrado dos meses al año, que será el mínimo tiempo de paro de la instalación.

Los criterios finales que especifican la idoneidad del sistema a utilizar de entre los estudiados son los siguientes:

- c) Accesibilidad y ubicación, que definen las necesidades espaciales y la posibilidad de incorporar la tecnología al entorno.
- d) Caudales a tratar, condicionantes por la idoneidad de cada una de las tecnologías según la dotación.
- e) Fiabilidad del sistema, garantizándose una calidad mínima exigida.
- f) Mantenimiento según el grado de especialización de la mano de obra y del tiempo necesario.
- g) Coste de la ejecución de la instalación, del mantenimiento y de su explotación.

A partir de estos cinco factores nos podemos decantar ya por una de las alternativas. En primer lugar, las **tecnologías a gravedad** no garantizan las calidades requeridas y, además, la reducción de nutrientes es muy superior a los conseguidos por la filtración a presión. Los filtros extensivos también tienen la desventaja de unas necesidades espaciales y un coste de ejecución que no es acorde con el volumen de agua que queremos tratar. Por último, en los filtros verdes se han observado ciertos problemas sanitarios y de malos olores que no podemos permitir.

Coincidiendo con las experiencias reales existentes, las unidades de **micro-filtración y ultra-filtración** serán permisibles en instalaciones de cierta envergadura, con dotaciones superiores a los 10 m<sup>3</sup>/día, caudal muy superior a los 5,54 m<sup>3</sup>/día de nuestra instalación. Ello es debido a cuestiones económicas, ya que las tecnologías de membranas son superiores a todas las descritas, con sus consecuentes costes energéticos y de mantenimiento.

Como ya se ha indicado, las tecnologías analizadas en este apartado necesitan de un posterior tratamiento de adsorción y de desinfección. Las características organolépticas siempre se garantizarán con la adsorción por medio granular funcionando a presión. Dicho proceso, como se verá más adelante, es susceptible de unificarse con la filtración a presión, simplificando así el sistema.

En referencia a los dos primeros requisitos mencionados al comienzo de este apartado (posibles impactos y estacionalidad) cabe mencionar aquí la alternativa que supone el uso de la **biotecnología**. Se puede resumir cuáles son las ventajas y los inconvenientes de los dos tipos de tratamiento, biológico y físico-químico. En tal caso, los biológicos adquieren ventaja en los siguientes aspectos:

- Hay una menor producción de lodos excedentes, lo que conlleva una evacuación más sencilla de los fangos producidos.
- La calidad global de los efluentes tratados es superior. Sin embargo, el tratamiento necesario en nuestro caso se puede cubrir satisfactoriamente con procesos físico-químicos.
- Capacidad superior en degradar la materia orgánica.
- Las tecnologías existentes son más adaptables a pequeños caudales.

Por el contrario los físico-químicos implican las siguientes ventajas:

- Son procesos más rápidos, aunque no más eficaces. El tiempo no es un factor predominante en el proyecto.
- Existen menos problemas técnicos a la hora de reiniciar el proceso tras un paro de la instalación (limpieza, averías, estacionalidad en su uso, etc.)
- Alta efectividad en la destrucción de microorganismos patógenos. No obstante, la desinfección nunca se delegará sobre estos tratamientos, que están diseñados para la degradación de otros tipos de contaminantes.

- Existe menor riesgo en la aparición de malos olores, en particular sépticos, y, como consecuencia, en la proliferación de insectos.

El tratamiento de filtración y adsorción a presión por medio granular supe algunas desventajas de las mencionadas, como la adaptabilidad a pequeños caudales. Por otra parte, factores como los problemas de paro y la aparición de malos olores, además de los pocos años de vida, de dichos tratamientos biológicos junto con un coste más elevado, nos indica la primera opción como la alternativa más adecuada para nuestro proyecto.

En la tabla 7.1 se muestra una matriz de selección, si bien no es un método del todo válido en nuestro caso ya que, como se ha indicado, la elección del sistema es restrictiva con los dos primeros requisitos mencionados. Aún así, la evaluación puede ser bastante orientativa en según qué casos. Tanto el peso dado a cada factor (de 5 a 20) como la nota de cada una de las alternativas (de 1 a 10) se han fijado de manera aproximada según todo lo explicado en este capítulo.

Para ello se han seguido los criterios de selección de Collado Lara. Como aclaración, se citan a continuación los subapartados que se han tenido en cuenta en cada categoría. Simplicidad de construcción: obra civil y equipos. Mantenimiento y explotación: simplicidad de funcionamiento, necesidad de personal, duración del control, frecuencia en el control. Rendimientos: DBO, DQO, SS, Nt, Pt, Coliformes. Estabilidad: efecto de la temperatura, turbidez efluente y variación de caudal y carga. Impacto ambiental: olores, ruidos, insectos, riesgo para la salud, efectos en el suelo. Como conclusiones de la matriz se podrían sacar en todo caso las desventajas de los filtros extensivo y accesible frente a las otras tres soluciones.

De cualquier modo, la elección del sistema ya ha sido descrita más arriba.

	<b>Peso</b>	<b>Filtro extensivo</b>	<b>Filtro accesible</b>	<b>Filtro a presión</b>	<b>Biocultivos</b>	<b>Filtro membrana</b>
<b>Superficie necesaria</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>Simplicidad construcción</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>Explotación y mantenimiento</b>	<b>20</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>Costo de construcción</b>	<b>15</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>6</b>

Costo de explotación y mantenimiento	15	5	4	8	7	7
Rendimiento	10	5	5	7	8	10
Estabilidad	20	9	8	9	7	9
Impacto ambiental	20	6	5	8	8	9
Nota	-	6,4	5,9	8,1	7	7,8

Tabla 7.1. Matriz de selección de las principales alternativas de depuración de AG

## 7.4. Métodos de desinfección

Para la desinfección, proceso diseñado para la reducción de la concentración de microorganismos patógenos, se utilizan numerosos agentes de diferente naturaleza, que pueden modificar las características físico-químicas del efluente resultante. Estos aspectos se deben tener en cuenta por las posibles influencias fisiológicas en el usuario, suelos o en las especies vegetales regadas. Los factores más importantes en la elección de un sistema de desinfección serán la eficacia, el posible impacto ambiental y los costes económicos iniciales, de mantenimiento y de explotación.

Existen varias técnicas desinfectantes: mediante la adición de cloro, cloro y amoníaco, dióxido de cloro, ozono, radiación ultravioleta, calorificación, adición de metales (plata o cobre), surfantes, permanganato potásico, etcétera. No obstante, debido a la no demostrada eficacia de alguno de ellos, la comercialización, el factor económico y de adaptabilidad a pequeños caudales, solamente nos interesa comparar tres de ellos: la cloración, la ozonización y la radiación ultravioleta.

La **cloración** conlleva un proceso químico donde la disolución de una pequeña cantidad mezclada con agua pasa a generar ácido fuerte, lo que se viene a llamar cloro libre disponible.

Éste tiene gran eficacia germicida, debido a su facilidad por combinar y oxidar diferentes compuestos orgánicos esenciales para la vida de las células. La cloración no requiere de un sistema muy complejo y es uno de los tratamientos tradicionales más comunes. Esta alternativa es la única tecnología adaptable a los caudales domésticos capaz de mantener el último tramo de la instalación en condiciones asépticas seguras.

Sin embargo, son los aspectos fisiológicos y organolépticos consecuentes de la cloración del agua lo que sitúa esta técnica como la menos idónea para el caso que nos ocupa. Estas desventajas son la destrucción del micro-ecosistema natural (en la flora y fauna residente en la piel humana); el peligro de inhalación de vapores de cloro y sus derivados; las consecuencias de la ingestión y del riego, pues el cloro destruye, oxida o combina con sustancias orgánicas internas al ser vivo; la producción de olores y subproductos mutagénicos y peligrosos en la reacción del cloro inicial con los restos orgánicos. Además de estos aspectos, existen otros inconvenientes de esta tecnología: se necesitará de algún tratamiento posterior de descloración, requiere un control periódico elevado y, por último, como se indica más abajo, los costes económicos son mayores que otras alternativas.

La técnica de la **ozonización** consiste en generar oxígeno a partir de la degradación de las moléculas de ozono, que son inestables a temperatura y presión ambientales. Esta oxidación tiene una aptitud germicida, además de oxigenar el efluente con las consecuentes mejoras organolépticas del agua. La concentración final de DQO se reduce a mínimos. Su eficacia germicida y la oxigenación son, junto a la fiabilidad del sistema, las principales ventajas de la tecnología. Tiene también puntos a favor sobre la cloración, como pueden ser el no usar reactivos químicos que contaminen el agua y un menor tiempo de contacto.

La unidad de ozonización se compone principalmente de tres aparatos: el productor de ozono, un tanque de contacto-reacción y uno o varios filtros de desozonización. El consumo energético del sistema es alto. Por otro lado, el ozono es muy corrosivo en contacto con el agua, como consecuencia, sólo unos cuantos materiales comúnmente utilizados en la construcción pueden utilizarse. Una alta concentración de ozono en el aire que nos rodea puede originar problemas fisiológicos al ser humano. En conclusión, no parece ésta la tecnología más idónea para la desinfección de los caudales que se generan en edificaciones individuales, dada la complejidad del sistema, el coste energético en la producción artificial de ozono y la necesidad de un mantenimiento exhaustivo.

La **radiación ultravioleta** (UV) destaca sobre los dos sistemas anteriores por su admisibilidad económica y sencillez. En un estudio al respecto, para caudales de 500 m<sup>3</sup>/h, las cargas económicas demuestran tal aserto: 0.275 euros/m<sup>3</sup> para la ozonización, 0.190 euros/m<sup>3</sup> en la cloración y 0.052 euros/m<sup>3</sup> que supone una unidad UV (tabla 7.2.). Se han incluido en dicho estudio los costes iniciales, los de mantenimiento y de explotación. Si se considera que la instalación trata caudales horarios mucho más bajos, la radiación UV supera aún más el resto de tecnologías. Por otra parte, la influencia de un par de unidades UV en las dimensiones de la sala de instalaciones es mínima: aquella que necesiten dos tubos fluorescentes, contenidos en un armario, con un cuadro de control y maniobra en la tapa de acceso. Su mantenimiento, además de la sustitución de las lámparas, se reduce a

la limpieza de éstas dos o tres veces al año. El mayor inconveniente del sistema es su nula capacidad desinfectante residual, por lo que transcurridas 36 horas después de la esterilización no se garantiza la asepsia del agua tratada. Este problema se tratará en el capítulo 8, donde se expone el sistema diseñado, dimensionando un depósito final donde el agua de abastecimiento a los inodoros sea renovada con frecuencia, y con la posibilidad de añadir una pequeña cantidad de cloro si fuera necesario.

En conclusión, cuando el caudal a tratar no supera unos pocos litros por segundo, la radiación UV está por encima de las otras alternativas expuestas. La comparativa entre los tres sistemas se expone en la tabla 7.2.

<b>Propiedades</b>	<b>Cloro</b>	<b>Ozono</b>	<b>UV</b>
<b>Eficacia del sistema</b>			
Destrucción bacteriológica	Alta	Alta	Alta
Destrucción de algas	No	Sí	Dosis altas
Destrucción de virus	No	Sí	Sí
Efecto residual desinfectante	Alto	Bajo	Nulo
<b>Efectos secundarios</b>			
Características organolépticas del efluente	Negativas	Positivas	No afecta
Producción de toxinas	Alta	Desconocida	Ninguna
Producción de olores	Alta	Moderada	Ninguna
Corrosión de tuberías	Sí	Muy poco	No
<b>Necesidades de calidad del afluente de entrada</b>			
Concentración en sólidos en suspensión	Bastante	Bastante	Bastante
Influencia del pH en el agua	Bastante	Moderada	Ninguna
Influencia de la temperatura del agua	Bastante	Bastante	Ninguna

<b>Mantenimiento y explotación</b>			
Tiempo de contacto necesario	>20 min	10-20 min	<10 seg.
Mano de obra relativamente especializada	Sí	Sí	No
Facilidad del mantenimiento	No	Relativa	Sí
Frecuencia del mantenimiento	Frecuente	Continua	Poco frecuente
Sistema de control y automatización	Muy efectivo	Efectivo	Muy efectivo
<b>Instalación y ubicación del sistema</b>			
Necesidad de tanque de contacto-reacción	Sí	Sí	No
Almacenamiento de productos químicos	Sí	No	No
Espacio total necesario	Alto	Alto	Muy bajo
Seguridad y medio ambiente	Peligroso	Peligroso	Seguro
<b>Coste económico</b>			
Capital inicial de instalación	Muy bajo	Alto	Bajo
Mantenimiento	Bajo	Alto	Muy bajo
Energético	Ninguno	Bajo	Bajo
Relación precio-caudal tratado	0,19€/m <sup>3</sup>	0,27€/m <sup>3</sup>	0,05€/m <sup>3</sup>

*Tabla 7.2. Comparación de los diferentes tipos de desinfección*



## 8. Instalaciones de suministro y evacuación (con reutilización de AG)

### 8.1. Descripción de la instalación de AFS

Esta instalación alternativa dispondrá de un suministro de AFS muy similar a la versión mostrada en el capítulo 6, salvo las siguientes excepciones:

-Dada la necesidad de proveer aguas depuradas a los inodoros, su abastecimiento se hará vía una red de tuberías adicional. Por lo tanto, las tuberías de la red de AFS original soportarán menos caudal, aunque como veremos no lo suficiente como para reducir el diámetro de las mismas.

-Debido a las complicaciones sanitarias y de construcción que supondría, sólo el edificio principal dispondrá de reutilización de aguas grises. Por lo tanto, la red de bungalows permanecerá inalterada.

-Todas las menciones a la acometida, llave de registro, dispositivos antiretorno, aislamiento, etc se mantendrán en esta distribución.

#### 8.1.1. Tuberías de agua sanitaria.

Se incluyen aquí todas las conducciones desde la entrada del agua de acometida hasta los puntos de consumo de agua potable, incluidos todos los montantes y derivaciones necesarios. El esquema unifilar de esta parte de la instalación será el siguiente:

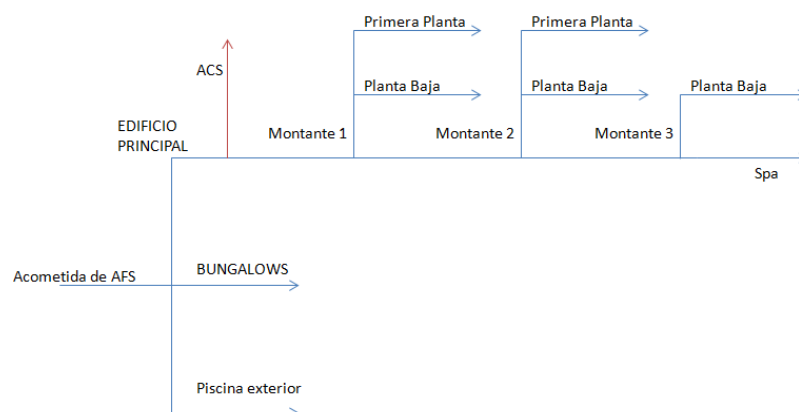


Figura 8.1 Esquema unifilar de la instalación de AFS.

Como se puede ver, la red ha permanecido inalterada respecto a la presentada en el capítulo 6. Se usará el mismo método descrito entonces para obtener los diámetros ideales.

## 8.2. Descripción de la instalación de ACS y retorno

La red de ACS no se verá afectada por el uso (o no) de reutilización de aguas grises. Por lo tanto, esta permanecerá inalterada respecto a la presentada en el capítulo 6.

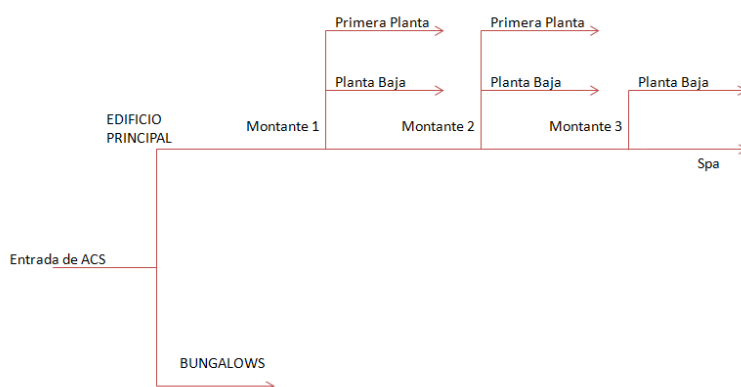


Figura 8.2 Esquema unifilar de la instalación de ACS.

## 8.3. Descripción de la red de evacuación de aguas pluviales

En esta red alternativa disponemos de 3 tipos de instalación de evacuación, una de ellas será de aguas pluviales, otra de aguas grises a depurar y una última de aguas negras.

Estas dos últimas contarán con un capítulo independiente cada una debido a la extensión del estudio

### 8.3.1. Instalación Aguas Pluviales

Esta red, igual que la de ACS permanecerá inalterada respecto a la presentada en el capítulo 6

## 8.4. Instalación evacuación y depuración de aguas grises

Como punto de comienzo en el reciclaje de las aguas se debe mencionar aquí el origen de éstas. Si bien se habla durante todo el trabajo de las aguas grises, es conveniente recordar que estamos refiriéndonos a las aguas procedentes de las duchas/bañeras y los lavabos, que son, habitualmente, las menos contaminadas dentro de las AG. Es decir, se excluyen efluentes como el de la colada, la cocina, etc. Así pues, el principal objetivo de la instalación de depuración es reducir los valores de contaminación hasta, como mínimo, los indicados por ley [Anexo I del Real Decreto 140/2003]. Debe citarse aquí el Proyecto de Real Decreto por el que se establecen las “Condiciones Básicas para la Reutilización Directa de las Aguas Residuales Depuradas”, pendiente de aprobación. No obstante, el nuevo CTE incluye, en su apartado 3.2.1.6 del Documento Básico HS-4 de Suministro de Agua, las condiciones y exigencias para los sistemas de tratamiento de agua. En conclusión, los valores que se han tenido en cuenta en este estudio (para usos interiores no potables y riego) son los mínimos planteados por varias fuentes.

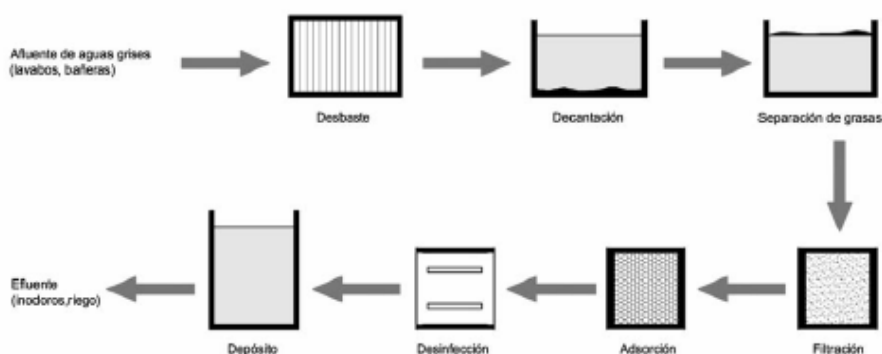
Parámetro	Medida	Aguas grises	Inodoros	Riego	Reducción
DBO <sub>5</sub>	mg/litro	55	≤10	<25	81.8
DQO	mg/litro	110	-	-	-
SS	mg/litro	42	≤10	<25	76.2
Turbidez	NTU	≥4	≤2	≤2	≥50
pH	-	7.36	6-9	6-9	-
N total	mg/litro	8.7	-	-	-
P total	mg/litro	2.3	-	-	-
Coli. Fecal.	Ud/100 ml	-	0	≤200	-
Nematodos	Ud/litro	-	0	≤1	-

Tabla 8.1 Parámetros contaminantes de las AG y mínimos exigidos para riego e inodoros.

La gran variabilidad en la composición de las aguas grises supone una dificultad añadida al tratamiento. Al mismo tiempo, la depuración precisa de procesos anteriores y posteriores al tratamiento principal que aseguren la eficacia y el buen funcionamiento del sistema. Como tratamientos previos se incluyen la siempre necesaria reja de desbaste, seguida de un depósito donde, a la vez que se almacenan las aguas para su posterior bombeo al proceso de filtración y adsorción, se decantan los grandes sólidos y se separan las grasas. Cabe mencionar la importancia que le dan los autores consultados a una desinfección final del agua tratada para asegurar la asepsia de ésta.

Después de ello, el agua se almacena hasta ser bombeada a los inodoros o el aljibe.

La línea de depuración queda pues separada en dos tramos diferenciados: el de conducción por gravedad, donde no existe gasto energético, que incluye el pretratamiento de desbaste y los tratamientos primarios de decantación y desengrasado; y el tramo a presión, desde el mismo módulo donde se ubica el decantador-separador, que incluye un puesto de bombeo, pasando por la filtración-adsorción y la desinfección hasta el depósito de almacenamiento.



*Figura 8.3 Esquema simplificado de las fases de depuración de las aguas grises.*

Existen unas exigencias mínimas a cumplir en este tipo de instalaciones [CTE, HS-4]. Deben realizarse las derivaciones adecuadas de forma que no exista discontinuidad en el suministro de agua. También es necesario dotar al sistema de dispositivos de medida que permitan comprobar la eficacia prevista en el tratamiento. Los aspectos relativos al lugar donde se ubica el sistema de tratamiento se indican en el capítulo 8.4.10. El acceso a dicho local se producirá desde el exterior, estando restringido al personal no autorizado.

#### **8.4.1. Datos de partida**

A la hora de considerar la reutilización de aguas grises, un factor importante a tener en cuenta es que la red de tuberías de aguas recirculando no se puede extender más allá del edificio principal. Por lo tanto sólo serán estos inodoros los que utilicen aguas grises depuradas.

Se parte de los datos de consumo obtenidos en el capítulo 5, pero modificando los números de manera que se tienen 10 huéspedes con habitación, 10 empleados y 30-68 (según temporada) huéspedes sin habitación (cuyos consumos serán calculados como la mitad)

Por lo tanto, los cálculos se realizarán a partir de 30 habitantes equivalentes en temporada baja y de 49 en temporada alta.

	Alta	Baja
Aguas a depurar (AG) (Duchas y lavabos)	5,09 m <sup>3</sup> /día	3,12 m <sup>3</sup> /día
Consumo inodoros (AG depuradas)	2,67 m <sup>3</sup> /día	1,64 m <sup>3</sup> /día
Excedente	2,42 m <sup>3</sup> /día	1,48 m <sup>3</sup> /día
Necesidad riego	0,53 m <sup>3</sup> /día	0,53 m <sup>3</sup> /día

*Tabla 8.2 Volúmenes mensuales de AG y descarga de inodoros según la ocupación.*

El caudal punta máximo de la acometida de la depuración resulta de la siguiente fórmula:

$Q_{\text{máx.}} = K \cdot \Sigma UD$ , donde

K: coeficiente de simultaneidad, que para un hotel es de 0.7.

UD: unidades de descarga, en l/s, que son:

Aparato	Cantidad	UDs (público)	Q(l/s)
Lavabo	16	2	0,6
Ducha	14	3	0,9

*Tabla 8.2 UD's y Q para AG a depurar*

Nos queda un  $Q_{\text{máx.}} = 15,54$  l/s.

Por último, el volumen de agua requerida para los inodoros del hotel, según los cálculos de consumo, será, con el hotel al completo, de 2670 l/día. En temporada media, la cantidad de agua necesaria se reduce a 1640 l/día. El excedente (el 50%, según cálculos aproximativos) será impulsado al aljibe para su posterior uso como agua de riego.

Siguiendo los métodos descritos en el capítulo 6.3, se obtienen los diámetros de las tuberías de recogida de AG: DN32, DN40, DN50 y DN75 (según los tramos)

### 8.4.2. Desbaste

Los procesos considerados como pretratamientos que se llevan a cabo en la depuración de las aguas grises serán estrictamente: aliviadero de aguas en exceso, desbaste fino y desengrasado. No obstante, las aguas excedentarias se evacuarán en el depósito de almacenamiento-decantación (tratamiento primario). El primer proceso a que serán sometidas las aguas procedentes de lavabos y duchas será un desbaste para la retención de sólidos de tamaño grueso (pelos, etc.). Con ello se previenen algunos inconvenientes posteriores, que afectarían negativamente al funcionamiento y rendimiento de la depuración, como las obturaciones o las grandes deposiciones de sólidos gruesos.

Básicamente, las alternativas que se ofrecen en este proceso son, por una parte, que la limpieza sea manual o automatizada y, en segundo lugar, que sea un tamizado o un desbaste propiamente dicho. En el primer caso, resulta bastante evidente que, dadas las dimensiones de la instalación proyectada, la limpieza mediante sistemas automáticos no tiene sentido por su mayor complejidad y coste. El inconveniente es el mantenimiento manual, que se reduce simplemente a limpiar la rejilla (con una frecuencia no mayor a una vez al mes, dato que, de cualquier modo, se modificará en función de la experiencia).

En cuanto al tamaño de las rejillas, si la distancia entre huecos es de 3 a 100 mm se llaman rejillas de desbaste, en cambio si son de 0.2 a 3 mm, se definen como tamizado. A efectos prácticos, utilizaremos rejillas de desbaste con separación de 4 mm, que es un desbaste fino, puesto que retienen la gran mayoría de sólidos gruesos sin provocar una rápida obturación. Para ello se ha tenido en cuenta la procedencia de las aguas. Así pues, el tamizado es conveniente cuando se quiera sustituir por el tratamiento primario de decantación, opción que desechamos debido a que se aprovecha el necesario almacenamiento para realizar allí la decantación. El inconveniente mayor del tamizado es que necesita de una limpieza periódica más intensa, que implica que estemos tratando con una tecnología automatizada, con todo lo que supone.

La rejilla de desbaste se ubica en la arqueta de recogida, antes de que el agua entre en la sala de depuración (plano 8). Para ello se elige un colector accesible prefabricado de PEHD (figura 8.5), en lugar de uno de construcción in situ, debido a aspectos de seguridad y eficacias. Allí, un colador de chapa de acero perforado de 4 mm de hueco retiene gran cantidad de sólidos, además de facilitar cierta decantación en la parte del fondo. El volumen es de 80 l., con un peso de 12 Kg. Se procederá a su extracción y limpieza manual cada 100 - 120 m<sup>3</sup>, según los datos del fabricante y teniendo en cuenta la procedencia de las aguas tratadas.

Como ya se ha indicado, el agua llega hasta aquí por gravedad con una tubería de diámetro 79,6 mm (DN 110) (Q<sub>máx.</sub>= 15,6 l/s). Dicha conducción va enterrada a 0.75 m de

profundidad en la unión con la arqueta, debido a la inclinación del 5% que se les da a los colectores. El más desfavorable de éstos tiene una longitud de 15 m, y, por tanto,  $15 \times 0.05 = 0.75$  m. La figura 8.4 muestra la arqueta de desbaste.

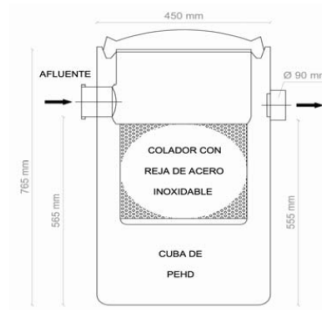


Figura 8.4 Colector con filtro prefabricado.

### 8.4.3. Separador de grasas

Del mismo modo que se eliminan las partículas más densas por decantación, existen grasas (o jabones, lociones corporales, etc.) con menor densidad que el agua que realizan el proceso inverso para ser eliminados de las aguas a depurar, es decir, suben a la lámina superior. Esto se consigue mediante un separador de grasas. Colocando en el depósito unos tubos a ambos extremos se impide la salida de los compuestos desmenuados. De esta forma, se obliga a que el agua circule por debajo de la lámina superior, saliendo con una concentración de grasas del 5-10% con respecto al afluente. Pese a que el diseño y construcción *in situ* de un separador de grasas no es complejo, a efectos de seguridad, resistencia, estanqueidad y efectividad, se optará por utilizar un modelo prefabricado.

La grasa flotante almacenada en la parte superior se deberá quitar manualmente mediante una tapa registrable, o bien vaciando y limpiando el depósito. El período de retirada se realiza cada cuatro meses aproximadamente, según el fabricante. Dicha suposición se refiere a todas las aguas residuales así que, teniendo en cuenta que las que estamos tratando (AG) tienen un contenido mucho menor en grasas la frecuencia puede bajar sustancialmente. No obstante, el período depende del caudal de agua tratado. En cualquier caso, y al igual que la reja de desbaste, la propia experiencia será quien dicte la frecuencia de limpieza. Por otra parte, en la zona inferior del separador se producirá una decantación que habrá que limpiar y clarificar cada cierto tiempo, de unos 6 meses para redes completas y un año para redes individuales de cocinas o lavaderos. Teniendo todo esto en cuenta, la retirada de grasas se trata en el capítulo siguiente.

#### 8.4.4. Decantación

Como ya se ha indicado, se escoge un modelo prefabricado para el separador. De entre las opciones que hay en el mercado es particularmente atractivo para el caso que nos ocupa el modelo que presenta el separador junto con un decantador primario previo. Con esto se consigue simplificar sustancialmente los procesos además de reducir los costes. La decantación de las partículas no retenidas en el desbaste previo facilita el posterior proceso de filtración, aumentando su eficiencia y disminuyendo su saturación. Es un tratamiento necesario para una buena depuración, ayudando además a que no haya turbulencias en el separador. El volumen del compartimiento de decantación-sedimentación es normalmente del orden del 30- 40% del separador de grasas.

La limpieza se puede llevar a cabo conjuntamente y consistirá en el vaciado y retirada de los fangos y grasas cada 200 m<sup>3</sup> como máximo. La alternativa sería la evacuación automatizada de los fangos y grasas mediante una bomba, opción más compleja y costosa que sólo se plantearía con una frecuencia de extracción mucho mayor.

La principal restricción de esta primera etapa de depuración surge debido al estado anaerobio en que entran las aguas grises al estar retenidas más de 12 horas. Dicho proceso comporta la aparición de olores sépticos que deberemos evitar. Es por ello que en la elección del sistema compacto del decantador-separador se opta por un modelo de baja capacidad, en relación con los 4-5m<sup>3</sup> de AG que llegan al día. Se elige el separador de grasas con decantador y columna de vaciado modelo DGR00E, comercializado por Bio-Depur S.L., que incorpora un puesto de bombeo necesario para etapas posteriores. La columna de vaciado facilita la limpieza del tanque al poder extraer fácilmente el agua y el fango depositado. En la figura I.1. (Anexo I) se muestra dicho modelo con las principales medidas.

Como características técnicas se deben resaltar las siguientes. Está fabricado en polietileno de alta densidad (PEHD). El diámetro nominal de las bocas de entrada y salida es de 110 mm, compatible con la salida de la arqueta de desbaste, del mismo diámetro. El peso total es de 70 kg. El volumen del decantador es de 100 l., el del separador, de 250 l. y el puesto bombeo de 350 l. Como se verá en el siguiente apartado, se incluirá una bomba sumergible que conduzca el agua a los tratamientos posteriores. Con esta capacidad total de 700 l se soluciona el posible problema de los olores ya que en el peor de los casos (1230 l/día) el agua estaría como máximo 13 horas y media, bajo hipótesis de flujo continuo. Esto, unido a la continua renovación del agua y al hecho de que el volumen retenido el máximo de tiempo es mucho menor que el total, hace del sistema un proceso fiable en cuanto a olores.



#### 8.4.5. Tratamientos de filtración y adsorción

El tratamiento base elegido es pues la **filtración a presión por medio granular** ( ver Cap. 7.3).

Como ya se ha indicado, los elementos compactos prefabricados implican una serie de ventajas que no podemos ignorar. Pero, en primer lugar, analizaremos la idoneidad o no de unificar en un mismo proceso los tratamientos de filtración mecánica y de adsorción. Además de la idoneidad de proceder primero a la filtración y posteriormente a la adsorción, uno de los inconvenientes principales de juntar dichos tratamientos es el mantenimiento (limpieza y sustitución de los materiales), que no tienen porqué coincidir en el tiempo. Es por ello que se estudia a continuación el proceso de contra-lavado.

El **contra-lavado** del medio filtrante puede consistir en la fluidización del lecho, la retirada superficial de los fangos suspendidos, o ambas cosas a la vez. Se puede realizar con agua o aire, incorporando en este caso un compresor a la instalación. No obstante, la inyección de aire significa una ligera pérdida de material. Por tanto, optamos por un contra-lavado con agua, fluidificando el lecho y retirando los lodos suspendidos al mismo tiempo. La activación de dicho proceso se puede llevar a cabo gracias a un panel manométrico. La automatización del panel consiste en conectarlo a la entrada y salida del agua que, debido a la colmatación del estrato filtrante, sufrirá un cambio de presión. El contra-lavado nunca deja intacto el lecho y, por tanto, siempre origina una pérdida de rendimiento. Esto, junto al espesamiento de la arena debido a la retención de los sólidos, obliga a la restitución periódica del material filtrante.

En el caso del medio adsorbente, la detección del estado de saturación no se determina por la diferencia de presiones a la salida y entrada del agua, sino con un medidor de turbidez y color programado a la salida del efluente. La restitución del material es incluso más importante que en la filtración mecánica, pues el contra-lavado en adsorción regenera poco el material. En consecuencia, y debido a la naturaleza del sistema a diseñar (caudal pequeño, por lo tanto, mínimo presupuesto, por lo tanto, sencillez), parece lógico unificar ambos contra-lavados en una misma acción. Para ello, con un programador, indiferentemente del grado de saturación de los dos elementos, se producirá el contra-lavado, favoreciendo la explotación del sistema y simplificando la instalación. Por otro lado, la restitución del material se llevará a cabo al mismo tiempo, simplificando así la mano de obra.

Escogidos unos procedimientos de lavado y restitución del material filtrante y adsorbente simultáneos, parece lógico unificar en un mismo cuerpo estos dos procesos. Así se ha diseñado en algunos de los sistemas de AG consultados. Aunque, si bien es cierto que la eficacia de un sistema separado de filtración y adsorción es algo mayor, la solución

adoptada disminuye el coste y simplifica aún más la instalación, considerándola como suficiente para el grado de depuración necesario.

En cuanto al **lecho filtrante**, es evidente que para aumentar la eficacia del sistema se debe optar por un lecho multiestrato, donde varias capas de granulometría y masas catalíticas diferentes garantizan la retención física de los grandes sólidos (primeras capas) y un buen acabado del proceso en los últimos estratos, de menor granulometría. Como materiales densos, suelen utilizarse gravas inertes o granate, piedra fina compuesta de silicato doble de alúmina y hierro. Para las capas intermedias se usa la arena de sílice o sílex, prevaleciendo sobre otros (marmolita, nitrato de chile triturado, etc.) por su alta eficacia y bajo precio.

En el estrato superior, como material ligero, normalmente se disponen carbones naturales o activados. Cualquiera de los carbones activos granulados ha demostrado en el campo de la reutilización de aguas residuales urbanas su capacidad como filtrantes mecánicos, consiguiendo efluentes finales de características excepcionales, suficientes, a falta de desinfección, para cubrir la calidad requerida para riego e inodoros. Sin embargo, debido a su alta eficacia y bajo precio, destaca la antracita: un carbón inerte desde el punto de vista físico-químico, que lo hace excelente para el tratamiento de las aguas por sus características adsorbentes.

### **Selección del filtro a presión**

Así pues, el funcionamiento del filtro no será continuo, es decir, el agua conducida a filtración se bombeará intermitentemente y, lógicamente, el lavado del medio filtrante se llevará a cabo cuando éste no esté trabajando. La dirección del flujo será descendente, sentido más común, ahorrando así trabajo a la bomba. El modelo FTC 273/10/T de filtro de lecho alto multicapa comercializado por BLB Depuradoras, S.L. parece muy adecuado a los requisitos de la instalación. El cuerpo que contiene al medio filtrante (figura 8.5) es de poliéster reforzado de fibra de vidrio. La profundidad del lecho filtrante es de 90 cm con un diámetro de 25 cm, lo que hace un área de filtración de 0.05 m<sup>2</sup>. La velocidad del fluido aconsejada va de 10 a 25 m/h, con lo que se escoge un caudal de 0.8 m<sup>3</sup>/h, que proporciona una velocidad de 16 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h.

Para el medio filtrante se escoge, de entre los comúnmente utilizados, el medio múltiple de arena, antracita y granate. La capa superior es de 30 cm de antracita de 1.4 mm de tamaño medio de grano, seguida de otros 40 cm de sílex de 0.5 mm de grano y, debajo, 20 cm de granate de 1.8 mm. El peso total del filtro es de 80 kg. Los tubos de conexión de entrada y salida tienen un diámetro de una pulgada (25.4 mm). El modelo incorpora una válvula automática en su parte superior que controla la presión del tanque. Incorpora además una boca de registro en su parte inferior para el cambio de la carga filtrante.

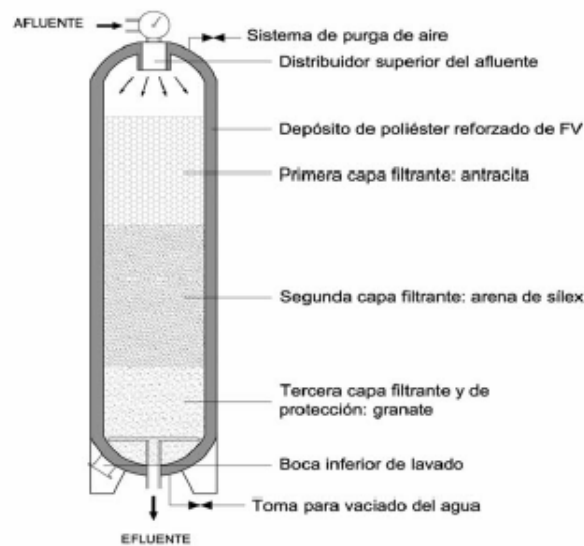


Figura 8.5 Filtro granular a presión de tres capas.

La velocidad aconsejada para el contralavado va de 25 a 40 m/h. Se escoge una velocidad de 35 m/h, que supone un caudal de 1.75 m<sup>3</sup>/h. Dicho lavado utiliza el agua ya depurada del depósito de almacenamiento, impulsada por la bomba allí instalada al cuerpo de filtración y adsorción. La frecuencia de lavados aconsejada por el fabricante es de entre cada 70 - 100 m<sup>3</sup>.

Con un caudal diario máximo de 15 m<sup>3</sup>, se efectuará el contralavado una vez al mes, cada 70 como máximo, asegurando un óptimo funcionamiento del filtro. El agua de lavado se evacua a la red de aguas negras una vez utilizada. En cada lavado se utilizarán 350 litros, en un tiempo de 12 min. Debido al poco volumen de agua utilizada, en relación con el volumen total depurado, no supondrá una pérdida significativa.

#### 8.4.6. Desinfección

La desinfección por radiación ultravioleta consiste en la inactivación de los microorganismos patógenos presentes en las aguas. Ello se produce debido a que la radiación atraviesa la pared celular alterando el ADN, ocasionando un desorden genético que provoca una inhibición en la capacidad reproductora de la célula. Este espectro de onda se consigue a partir de una lámpara de mercurio. A efectos de la instalación, donde los bajos caudales a tratar son constantes ya que provienen de un elemento de bombeo, nos interesan las lámparas de baja presión, que produce casi exclusivamente una radiación espectral constante de 254 nanómetros. Otras ventajas importantes frente a las lámparas de media-alta presión es que producen una diferencia de temperaturas de 40-50 °C frente a los 500 °C de alta presión, además de tener un rendimiento relativo dos o tres veces superior.

Los principales factores que afectan al rendimiento de la lámpara (disminuyen su intensidad) a tener en cuenta son: la absorción que acusa el tubo protector de cuarzo que rodea a la lámpara separándola del agua, que es del orden del 5-7 %; el envejecimiento de la lámpara; por último, la calidad del agua, que se considera aquella que surge de los tratamientos de filtración y adsorción, por lo que el factor de transmisión nunca superará el 85%.

Por otro lado, la dosis recomendada para la desinfección con irradiaciones de 254 nm, según la UE [es de 30000  $\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$  (16000 en EEUU). La dosis y la intensidad se relacionan de la siguiente forma:  $D = Ixt$ , donde  $t$  es el tiempo de exposición del agua a la luz UV.

El modelo de lámpara de desinfección a escoger vendrá definido, principalmente, por la intensidad y, sobretodo, por el caudal de agua tratado. Teniendo en cuenta que del proceso de filtración llega el agua a la desinfección con un caudal diseñado de 0.8 m<sup>3</sup>/h, existen dos opciones: o bien instalar una sola lámpara de caudal nominal aproximadamente igual, o diseñar el sistema con varias lámparas en paralelo que sumen dicho caudal (que, debido al volumen de agua tratado, no serán más de dos). La ventaja de esta última opción reside en la posibilidad de funcionamiento a media carga en caso de avería o fallo de una de las lámparas. El inconveniente, el aumento del coste, que en nuestro caso es del orden de 50-100 €, cifra coherente con la seguridad que proporciona el sistema en paralelo. Con todo lo dicho, se escogen dos esterilizadores modelo Aquada1 de 40000  $\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ , de Wedeco.

Las características técnicas de las lámparas son: para 0.4 m<sup>3</sup>/h de caudal nominal, 10 s. de tiempo de exposición, 12.7 mm de conexión y 35 W de potencia con una alimentación de 220 V.

La cámara de irradiación es de acero inoxidable AISI-304, garantizando la protección de las personas. Sus dimensiones son de 90x470 mm. El diámetro interior es de 70 mm. La vida útil de las lámparas es de 7500 horas y la presión máxima de trabajo de 9 bar. Incorpora un modulo de control electrónico con sistema de aviso óptico de fallo en la lámpara. El sistema de desinfección se muestra en la figura 8.7.

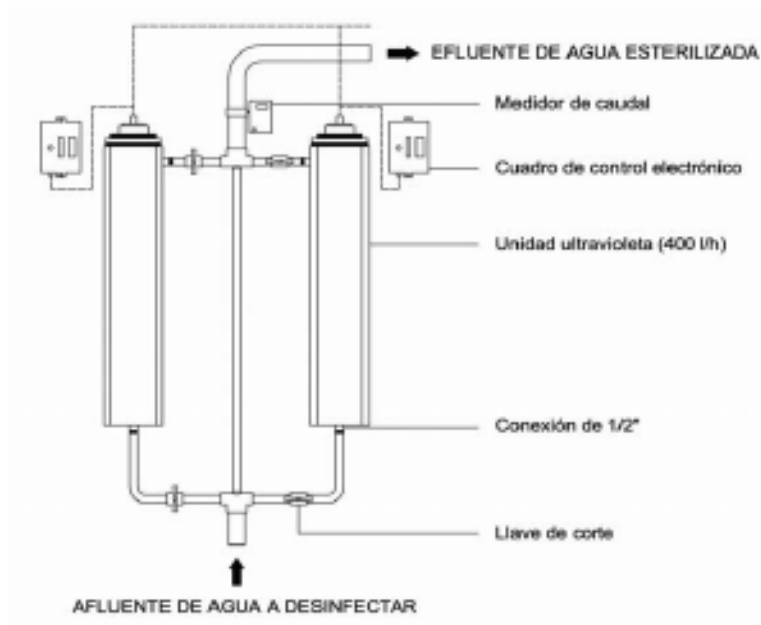


Figura 8.6 Instalación de las lámparas UV de desinfección.

#### 8.4.7. Bombeo

Hasta el separador de grasas el agua llegará por gravedad. Una vez aquí se necesita de una bomba que la conduzca a los tratamientos físico-químicos posteriores, así como un tanque de bombeo donde pueda trabajar. Se debe tener en cuenta que en toda la línea de depuración, los únicos elementos móviles y susceptibles de originar ruidos son las bombas. Esto tiene dos consecuencias a estudiar. Por un lado, la vida útil de las bombas será menor que el resto de aparatos de la instalación. Por otro, los posibles ruidos que originen deben minimizarse cuanto se pueda, y es por ello que se elige una bomba sumergible dentro del separador de grasas.

Siguiendo el mismo procedimiento empleado en el capítulo 6.4 obtenemos los datos necesarios para la elección del grupo impulsor:

Suministro de aguas grises	Caudal simultáneo (l/s)	Altura manométrica (mca)
	3,279	13,56

Mediante el Software WinCAPS, acotando los resultados a bombas sumergibles, se obtiene el siguiente grupo impulsor como más apropiado para esta instalación: **SQ 5-15**, bomba sumergible multicelular con potencia nominal de 0,7 kW.

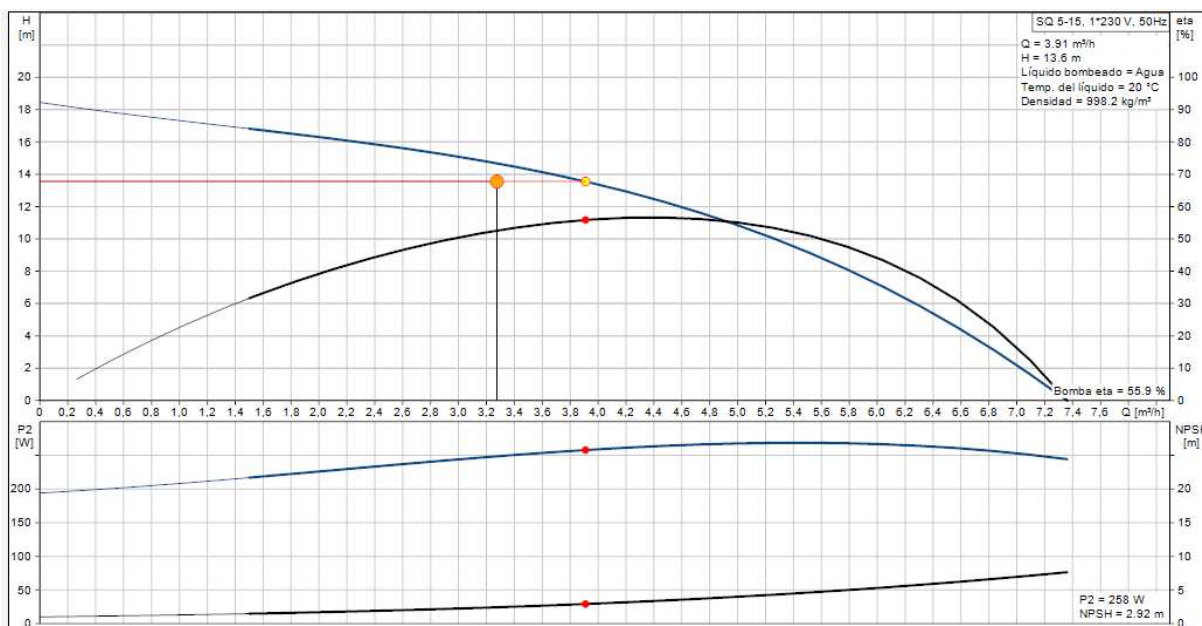


Figura 8.7 Curva de funcionamiento de la bomba de suministro de AG

### 8.4.8. Depósito de aguas depuradas

Una vez recorrido todo el circuito de depuración hasta la desinfección, el agua tratada se almacena en un depósito para su posterior bombeo a los inodoros. Dicho tanque se instala en superficie, debido al espacio que ofrece el sótano. Con ello se evitan las obras necesarias para enterrar el depósito y la tubería que conduce al aljibe. Además, las tareas de mantenimiento y reparación tienden así a simplificarse. Una condición básica que se debe cumplir es la protección contra la luz y los cambios de temperatura a fin de evitar la proliferación de algas y de bacterias. El volumen idóneo es difícil de estimar. Un depósito demasiado pequeño puede vaciarse con facilidad por la demanda de los inodoros, siempre imprevisible. Por otro lado, un tanque excesivamente grande, además de aumentar los costes, puede provocar el estancamiento de un volumen de agua suficiente como para no garantizar las condiciones asépticas alcanzadas con las lámparas UV.

La elección del tamaño del depósito se hace pues en base a los cálculos aproximativos de la demanda de agua. En temporada baja, el volumen de agua que entra (agua depurada) es de 4270 l/día (ver Cap. 5.3) mientras que el agua demandada por los inodoros es de 357 l/día. Con el hotel lleno, el agua recuperada son 2244 l/día, y la necesaria para las cisternas, 1239 l/día. Así pues, con una capacidad de 1500 litros se asegura el abastecimiento a la vez que se consigue una renovación satisfactoria del agua almacenada: 19.5 horas para una renovación completa en T.B. y 10.7 horas en T.A. (ver

Cap. 5.3). En cualquier caso, y como se indica en el capítulo siguiente, ante una posible falta de agua, se bombeará la almacenada en el aljibe.

El depósito escogido es el modelo CHS 1500, comercializado por BLB Depuradoras, fabricado en PRFV, cumple con los requisitos antes mencionados. Es un tanque cilíndrico vertical de 1,5 m<sup>3</sup> de volumen. Tiene un diámetro de 1150 mm y una longitud de 1500 mm. Además de venteo y boca de acceso, dispone de una salida rebosadero, que conduce el agua sobrante al aljibe. En el interior se instala un mecanismo con cuerpo flotante para indicar el nivel del agua.

#### **8.4.9. Sistema de gestión**

Se hace imprescindible en el sistema diseñado instalar un mecanismo de gestión de los flujos de agua que se tratan. Para ello se necesitan tres elementos: los medidores, que aportan los datos necesarios, un control electrónico, que procesa dichos datos y obtiene unos resultados en forma de órdenes y, por último, los actuadores, que cumplen estas órdenes. Para diseñar todo esto se debe realizar previamente un estudio que defina las acciones a realizar. Dichas acciones consisten básicamente en bombeo y desvío de los flujos.

##### *a) Depósito de agua potable*

Tiene un medidor de nivel (flotador) que indica a la toma de agua del acuífero si debe funcionar o no. Cuando el indicador de nivel muestre un mínimo predeterminado dará la señal a la bomba para que trabaje hasta un máximo fijado. También incorpora las bombas (nº 1a y 1b) que abastecerán a los depósitos de presión neumática de la instalación de agua potable.

##### *b) Aljibe*

Cuando esté lleno, un rebosadero conducirá el agua sobrante a la línea de aguas negras, a la vez que dará la orden de desviar las aguas grises, que se dirigen a la depuradora, a la misma línea de aguas negras. Este desvío volverá a cambiarse cuando el medidor de nivel del aljibe acuse un descenso preestablecido. Con ello, se ahorra una posible depuración innecesaria, ya que habrá excedentes de agua para abastecer a los inodoros. La bomba del aljibe (nº 2) funcionará cuando lo demanden los puntos de uso exterior (riego) y cuando el depósito de aguas depuradas esté vacío (inodoros).

En caso de que el aljibe de pluviales se vacíe, el medidor de nivel de éste avisará para que la bomba de abastecimiento de agua subterránea entre en funcionamiento. La conducción de ésta discurre desde un desvío de la tubería antes de la entrada al depósito de agua

potable, hasta unirse con la conducción que lleva el agua sobrante del depósito de agua depurada al aljibe.

Cuando el flotador alcance un nivel prefijado de llenado, se ordenará el paro de la bomba.

*c) Depósito de aguas depuradas*

Está provisto de un rebosadero hacia el aljibe, con conducción por gravedad. Tiene también un flotador para medir el nivel, y una bomba (nº 3) que abastecerá a los inodoros cuando lo requieran, a través de un depósito neumático. Si el flotador indica un nivel mínimo, se da la orden de que llegue agua desde el aljibe hasta un nivel medio fijado.

Se dispondrá también de un temporizador para que, una vez al mes, la bomba impulse agua hacia la unidad de filtración para lavarla durante 12 minutos.

*d) Puesto de bombeo del decantador-separador de grasas*

Cuando el medidor del nivel del depósito esté al mínimo, la bomba (nº 4) recibirá la orden de paro. Si está al máximo, hay varias opciones:

- De 12 de la noche a 8 de la mañana, la bomba no trabaja para evitar posibles problemas de ruidos. Por tanto, un rebosadero evacuará las aguas hacia la línea de AN.
- Si no se da esta franja horaria, la bomba impulsa el agua hacia la unidad de filtración hasta que se llegue al nivel mínimo.

Cuando el medidor de nivel indique una posición intermedia entre el máximo y el mínimo:

- Si la bomba lleva más de 12 horas sin trabajar y no estamos en la franja nocturna, se da la orden de bombear con el fin de evitar olores sépticos. Se necesita pues un temporizador.
- Si la bomba lleva menos de 12 horas sólo se bombeará si son las 11 de la noche, para conseguir que durante la franja nocturna el agua que llegue pueda ser almacenada.

En cualquier caso, la bomba no trabajará si el filtro está en proceso de contralavado.

En conclusión, serán necesarios para el control del sistema diseñado elementos tales como: medidores de nivel para cada uno de los depósitos comentados; un temporizador para el puesto de bombeo de la depuradora y otro para el contralavado; llaves de desvío en cada una de las bifurcaciones de las tuberías. Además de las bombas instaladas y las pertinentes llaves de paso y antirretorno en cada elemento de la red. Por último, un autómatas programable, o PLC, dirigirá todos los procesos descritos.



#### 8.4.10. Necesidades espaciales y constructivas

El lugar destinado a la instalación de depuración es la misma sala donde se ubican los elementos de elevación, la caldera, contador, así como la acometida del suministro de agua (en la planta subterráneo del edificio principal). Las dimensiones que tiene suponen 120 m<sup>2</sup>. Dicho espacio es más que suficiente para albergar la instalación, no obstante, también puede servir para guardar otros elementos de mantenimiento del hotel (o de la misma depuradora).

Los requisitos básicos que deben cumplir las salas de instalaciones donde albergar tecnologías de tratamientos de aguas son las siguientes:

- a) En primer término, los requisitos relativos a la funcionalidad. Una accesibilidad que permita el transporte y sustitución de los elementos integrantes, así como las dimensiones necesarias para que el mantenimiento y la explotación del sistema sean óptimos.
- b) Los relativos a la seguridad. Comprenderán aspectos de edificación, seguridad eléctrica y de protección contra incendios.
- c) Por último, los relacionados con la higiene, salud y medio ambiente. Aquí se incluyen temas de ventilación, salubridad, acústica, protección contra humedades, etc.

Como estamos analizando elementos compactos y prefabricados suministrados por empresas comerciales acreditadas, todas las partes de la instalación cumplen las especificaciones normativas exigidas por el Ministerio de Industria. Por otro lado, al no sobrepasar los 70 kW de potencia nominal instalada en la sala no se considera el lugar de "Seguridad elevada" [RITE-98, c. III, art. 7.3]. Así pues, los requisitos relativos a la **funcionalidad** se cumplirán siguiendo unos criterios de ubicación (figura 8.7). Cualquier aparato se colocará, como mínimo, a 0.60 metros de tres de las cuatro paredes que delimitan la sala, y a no menos de 0.80 metros del techo. Su fijación al suelo debe ser lo más horizontal posible, salvando la pendiente del solado con bases antivibratorias. La distancia entre aparatos nunca será inferior a los 0.30 metros. Los accesos a la sala serán de abertura hacia el exterior, con una anchura de 1.4 m, suficiente para que cualquiera de los aparatos pueda atravesarlo.

Con respecto a la **protección contra incendios**, la normativa no especifica qué grado de riesgo tienen este tipo de locales [Documento Básico SI]. No obstante, por analogías con salas de instalaciones convencionales (salas de calderas, de maquinaria, lavanderías...) lo consideramos en el peor de los casos como locales de Riesgo Bajo. Por tanto, en lo que concierne al proyecto estudiado, bastará con colocar un extintor de 5 kg de capacidad, de eficacia 21B, por ser bastante manejable y versátil para apagar cualquier foco de tipo

eléctrico. Se acompañará de un letrero indicativo e irá colgado a una distancia de 1.7 m del suelo a su parte más alta. Otro aspecto relativo a la seguridad a tener en cuenta, debido a la presencia continua de agua, es el tipo de suelo del local, ya que debe ser antideslizante. En este caso no hay problema con el solado de hormigón.

El problema relativo a la **ventilación** se trata también en el CTE [Documento Básico HS-3 de Salubridad], que calculamos en función de la actividad que se desarrolla en su interior. Al no existir ocupación alguna en su interior, lo lógico será equipararla por analogía a un cuarto de máquinas, cuyas necesidades de ventilación serán las de aportar el aire frío necesario para que la temperatura interior no supere los 35°C. Se debe tener en cuenta que la presencia continua de agua obliga a considerar la existencia de patologías relacionadas con las humedades y condensaciones. A tal efecto, se considera válida la disposición existente en la sala: una puerta de 2.9 m<sup>2</sup> con una ventana en la pared opuesta para facilitar una ventilación natural. Dichas *aberturas mixtas* deben cumplir dos requisitos, según el CTE: que la distancia de cualquier punto del local a la abertura más próxima sea menor de 15 m, cumplido sobradamente; que el área efectiva de las aberturas tenga un mínimo exigido. En nuestro caso, dicha área será de 8.qV, siendo qV el caudal mínimo exigido (10·Superficie, 490 l/s), es decir, 0.4 m<sup>2</sup>, que también se cumple.

En cuanto al **ruido y las vibraciones**, la ubicación de la sala es bastante buena, ya que se sitúa en un dos plantas alejado de las habitaciones del hotel. Aún así, en la parte superior de la sala hay dos ventanas. Cabe decir que la normativa al respecto está en estos momentos actualizándose [DBHR: Protección frente al ruido]. Los elementos de depuración susceptibles de originar ruidos y vibraciones son las bombas y el filtro a presión. En cuanto a las primeras, el problema se soluciona eligiendo unas bombas sumergibles instaladas en sendos depósitos, amortiguando así los ruidos. No obstante se deberá utilizar un material con características absorbentes en el depósito enterrado para que no se produzcan efectos de reflexión de las ondas sonoras, creando una posible fuente de resonancia. Por otra parte, el filtro a presión se colocará sobre una bancada antivibratoria [UNE-100153], consistente en unir el soporte del filtro al suelo por medio de un perno con un silentblock en medio. Según el fabricante, el filtro produce unos 60 dB en funcionamiento, siendo el límite de 45 dB en el medio exterior [NBE-CA-88]. Las paredes del local deben pues disminuir en 15 dB el ruido generado.

Con respecto a la **salubridad** de la sala, se dota al local de un sistema de evacuación de aguas capaces de acumularse (fugas o filtraciones) o en previsión de desalojar roturas de las canalizaciones o de un elemento singular. Según el RITE, en su articulado referente a las salas de máquinas (ITE-02.7) indican que éstas deberán disponer de un desagüe eficaz, con una tubería mínima de Ø 100 mm. Se realizará pues un solado con pendiente del 2% hacia un sumidero, desde donde se conducirán las aguas hacia la red de AN.

Todos los aparatos que consuman energía estarán conectados a la red eléctrica según la normativa. La **seguridad eléctrica** de la instalación, con la presencia de un buen conductor como es el agua, es un aspecto importante a tener en cuenta. La sala de instalaciones se definirá, según el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT, artículo 11), como un local mojado y afecto a un servicio eléctrico. En definitiva, como un habitáculo de consideración especial a efectos de seguridad. Los dispositivos de maniobra se instalan según MIBT-016, incluyendo un interruptor omnipolar automático con sistema de corte electromagnético en el origen del circuito. Los receptores a bombas y aparataje se instalan siguiendo las condiciones generales expresadas en MIBT-034, con las protecciones contra la proyección de agua, sobreintensidades y falta de tensión. El material utilizado para la sujeción de los cables será hidrófugo y aislante. Los tubos de protección deberán ser estancos. Se vetará el uso de aparatos portátiles dentro del local (iluminación, por ejemplo), excepto cuando se utilice para ello un circuito diferente, o la tensión sea muy baja.

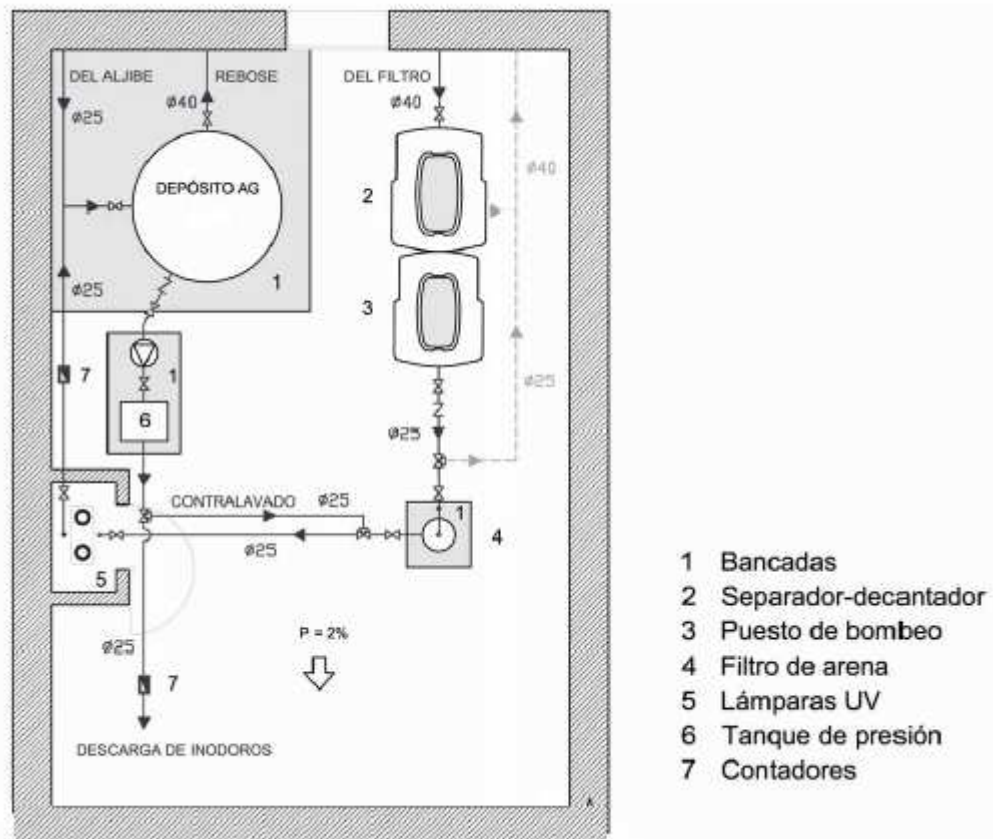


Figura 8.8 Ejemplo de disposición de los elementos de depuración de aguas grises

#### 8.4.11. Eficiencia de la instalación de reciclaje

Una vez generada el agua gris, su composición y características varían significativamente con el tiempo (durante el almacenamiento y transporte) debido fundamentalmente a la actividad biológica que conlleva la degradación de muchos productos químicos presentes en ella. Así, por ejemplo, el pH, el oxígeno disuelto y los detergentes disminuyen rápidamente con el tiempo, mientras que la DQO aumenta en condiciones anaerobias. Debido a la rápida proliferación bacteriana y ante el riesgo adicional de aparición de olores desagradables, el agua gris no debe guardarse más de, como máximo, 48 horas.

El tiempo medio de residencia del agua en cada uno de los tratamientos ha sido estudiado en los capítulos pertinentes. Así pues, desde la entrada al filtro de gruesos hasta la salida del tanque de almacenamiento de AG tratada (depósito de los inodoros), el agua es retenida un tiempo total de 32 horas, con la hipótesis más desfavorable, es decir, de menor ocupación.

Teniendo en cuenta que la mayoría de este tiempo discurre cuando ya ha sido tratada, o al menos en parte, se considera un buen diseño de la instalación en cuanto al factor tiempo se refiere.

A continuación se estudian los parámetros de contaminación que definen la eficacia del sistema, estimando la eficiencia del mismo en un rango derivado de experiencias similares. Es, por lo tanto, algo aproximativo que, como es de suponer, se supeditará siempre a los análisis realizados una vez esté en marcha la instalación.

##### *Turbidez y sólidos en suspensión*

En términos generales, el AG es relativamente baja en SS y turbidez, lo cual indica que buena parte de los contaminantes están en disolución. Las disminuciones de estos parámetros son debidos fundamentalmente a los procesos de sedimentación y filtración. Se sitúan en torno al 75% para los SS y del 35% para la turbidez.

Las diferencias en los porcentajes de reducción entre los dos parámetros son debidas a la diferente naturaleza de las partículas implicadas en cada caso. Los SS incluyen pelos y otros materiales que quedan retenidos en los filtros; en cambio, la turbidez incluye a coloides y otros materiales que pueden superar los filtros.

##### *Coliformes totales*

Como ya se ha comentado, el AG no tratada se encuentra bacteriológicamente muy contaminada. La eficiencia de la desinfección UV referente a coliformes totales se puede aproximar según la fórmula:

$N = N_0 \exp(-KIt)$

$N$  = Nro de colonias de coliformes en 100 ml después de la irradiación UV

$N_0$  = Nro de colonias de coliformes en 100 ml antes de la irradiación UV

$K$  = constante de velocidad,  $\text{cm}^2/\text{Ws}$

$I$  = intensidad de la radiación UV,  $\text{W}/\text{cm}^2$  a  $\lambda = 253,7 \text{ nm}$

$t$  = tiempo de exposición en segundos

#### *Detergentes aniónicos*

Los detergentes aniónicos son rápidamente degradados por los microorganismos. Además, precipitan en el sedimentador junto con el Ca y el Mg, resultando una reducción global mayor al 50%.

#### *Demanda química de oxígeno (DQO)*

La DQO del agua gris no tratada presenta unos valores muy próximos a la demanda correspondiente al agua de salida de una planta depuradora, lo cual nos indica que desde el punto de vista de contaminantes con carácter reductor ambos efluentes presentan contenidos similares. Por otro lado, el porcentaje de reducción se sitúa en torno al 47%.

#### *Nitrógeno y fósforo totales (NT y PT)*

El nitrógeno total de las AG no tratadas es claramente superior al nitrógeno de las aguas potables lo cual, en parte, se justifica por la presencia de compuestos nitrogenados en los productos de higiene corporal (por ejemplo urea). La presencia de materiales fecales multiplica este parámetro. Lo mismo sucede con el fósforo, aunque distinto sería si se incluyeran las aguas de lavandería, que normalmente presentan altos contenidos en fosfatos.

Los valores de NT y PT pueden actuar como reactivos limitantes de la biodegradación y multiplicación del número de bacterias. De hecho, para llevar a cabo un tratamiento biológico satisfactorio se ha recomendado la adición de estos elementos (juntamente con otros elemento traza, principalmente Cu y Zn). También es sabida la ventaja que supone, para un agua destinada a riego, la presencia de estos nutrientes.

### *Conductividad*

Los valores de conductividad guardan relación directa con la concentración iónica total. Dicho parámetro aumenta en el AG no tratada debido a la aportación de los jabones. En nuestro caso, y al tratarse de un circuito abierto en el que las aguas se reutilizan tan sólo una vez, la conductividad no presenta grandes problemas.

El agua almacenada en el aljibe, destinada al riego (pluviales y AG depuradas), es en principio de mayor calidad debido principalmente a la pureza del agua de lluvia. El volumen de agua depurada que se mezcla con la pluvial es, según los cálculos, algo inferior a esta última. Sin embargo, se harán necesarios unos análisis para comprobar la contaminación bacteriológica.

Según los resultados, se procedería a incluir como tratamiento la cloración de dichas aguas.

#### **8.4.12. Instalación Ventilación**

Tal como comentamos en el caso anterior, solo es necesaria ventilación primaria ya que nuestro edificio dispone de menos de 7 plantas.

Dicha ventilación la aplicaremos en los bajantes de aguas grises y aguas fecales.

### **8.5. Grupos de presión**

Esta instalación necesitará de cuatro grupos de presión. Se utilizarán los descritos en los capítulos 6.4 y 8.4.7.

Una descripción concisa de cada uno de ellos se puede encontrar en el Anexo H.

### **8.6. Control y mantenimiento**

El éxito de un sistema de reutilización depende tanto del propio diseño, como de la aceptación social y de un mantenimiento adecuado. En general, estos sistemas no presentan grandes problemas de mantenimiento. Se tomarán medidas simples de protección para el personal encargado (mascarilla y guantes, botas y mono), que se consideran suficientes para garantizar la seguridad de las tareas.

Las operaciones de mantenimiento las llevarán a cabo personal laboral del hotel, ya que no requieren conocimientos específicos. Diferenciando entre las labores necesarias durante el funcionamiento del sistema y las de final de temporada, las primeras se centran en:

- Limpieza manual del prefiltro del colector de aguas grises. Con 5,56 m<sup>3</sup> de hipótesis de caudal máximo y una frecuencia de limpieza de 100 m<sup>3</sup>, dicha operación se realizará cada mes y medio ( $100 / 5,56 = 18$  días) en las condiciones más desfavorables. Tiempo estimado: 5 min. dos veces al mes.
- Limpieza manual de las rejillas de las arquetas de agua pluvial. La frecuencia dependerá del agua caída. Tiempo estimado: 10 min. 2 veces al mes.
- Lavado del cuerpo de filtración-adsorción. El proceso está automatizado (Cap. 8.4.5).
- Purgado del material sedimentado y retirada de las grasas en el decantador-separador. Cada tres meses (90 - 100 m<sup>3</sup>, según la ocupación) se desvían las AG no tratadas hacia la línea de AN para proceder al vaciado y limpieza de dicho depósito. Tiempo estimado: 30 min. cada 3 meses.
- Descarga de las cisternas de las habitaciones desocupadas una vez al día, con el objeto de que el agua gris no quede almacenada más tiempo del deseado.
- Recambio de las luces UV en caso necesario. La vida útil es según los fabricantes (ver Cap. 8.4.6) de 7500 horas, con un caudal de 0.4 m<sup>3</sup>/h, podrá desinfectar 3000 m<sup>3</sup>.

Teniendo en cuenta que hay instaladas dos lámparas en paralelo, cada una es capaz de durar más de 10 años. Cabe decir que en estos cálculos no se han tenido en cuenta el número de veces que se encienden y se apagan las luces, factor que afecta a la vida útil.

Todas las acciones citadas anteriormente tienen un tiempo estimado de 20 minutos al mes. Es importante subrayar que las estimaciones del mantenimiento del sistema son sólo aproximaciones que pueden variar según la experiencia que se obtenga a partir de la puesta en marcha del sistema. Las acciones a realizar en la temporada de cierre del hotel, o de paro de la depuradora, cuando no coincidan (ver capítulo 8.4.2), serán:

- Limpieza manual de los canalones y los filtros de pluviales y grises, para evitar posibles obturaciones.
- Restitución del material filtrante y adsorbente (antracita, sílex y granate). Con ello, cada sustitución se produce después de filtrar unos 520 m<sup>3</sup>.

- Vaciado y limpieza de todos los tanques de depuración. Para ello, se desvía el desagüe de AG hacia las AN hasta que comience la nueva temporada.
- Vaciado de las cisternas de los inodoros de las habitaciones cerradas.
- Limpieza y purga, en caso necesario, del material decantado (fangos) en el aljibe.
- Limpieza de las placas térmicas y las luces UV, para aumentar su eficiencia.
- Revisión, limpieza y recambio de piezas del sistema de depuración de AN ( Anexo G).

En cuanto al control que requiere la instalación, se hace necesario un seguimiento de todos los elementos que integran el sistema para asegurar su correcto funcionamiento. El análisis de las aguas es importante para llevar a cabo la inspección. Se deben coger muestras de: el aljibe, las AG no tratadas (entrada de la depuradora) y el depósito de AG tratadas (salida de la depuradora), como mínimo. Quizás sea interesante analizar también el agua de las cisternas de los inodoros y la subterránea (agua potable), además de algunos puestos intermedios de la depuración para saber así la eficiencia de cada uno de los tratamientos. Como es lógico, la frecuencia de estos análisis será mayor en los primeros meses de la puesta en marcha del sistema (análisis semanales).

Lo ideal en este caso sería incluir los análisis de agua como parte de los servicios que ofrece el diseño del sistema. Al no ser así, los análisis en un laboratorio ajeno encarecerán el seguimiento de la instalación. La toma de muestras requiere un tiempo aproximado de 10 minutos a la semana durante los primeros meses. Los parámetros a medir son el pH, la conductividad, la turbidez, los SS, la DQO, nitrógeno total, etc. Por último, es también indispensable instalar contadores para el agua potable (depósito de agua subterránea), para el AG no tratada y tratada (entrada y salida de la depuradora) y, aunque no tan necesario, para el agua de entrada al aljibe. Todos los volúmenes así medidos ayudarán a reajustar el diseño de la instalación en caso necesario, e igualmente los parámetros contaminantes.



## 9. Análisis del impacto ambiental

En este capítulo consideraremos los dos sistemas estudiados y sus diferentes impactos. Al final del mismo realizaremos una pequeña comparativa.

En la valoración del impacto ambiental del proyecto se han considerado los consumos de agua y energía como los factores más determinantes para su evaluación. No obstante, cabe mencionar el impacto positivo que produce un sistema de ahorro de agua a nivel social: una concienciación de la importancia del recurso por parte de los usuarios. Por otra parte, y aunque no se llegue a cuantificar por la dificultad que supone, se debe tener en cuenta la emisión de contaminantes que conlleva la obra necesaria para la implantación de las instalaciones, así como el gasto energético (convertible siempre en emisiones) que supone la fabricación de todo el material empleado: 110 MJ/kg de polipropileno o los 80 MJ/kg para el PVC.

### 9.1. Reciclaje y eficiencia en el uso del agua

El ahorro de agua es, a la vez que el principal objetivo del proyecto, el primer impacto a considerar. Éste se debe a dos medidas: la instalación de aparatos de consumo eficientes y la instalación de reciclaje de aguas grises (tabla 9.1). Según las hipótesis establecidas en este trabajo, la estimación del ahorro conseguido por el sistema de aguas recicladas es el consumo de los inodoros: **372.000 litros anuales** (considerando una ocupación del 70%)

En cuanto a la eficiencia en los puntos de consumo interiores, si bien no es una medida especialmente “llamativa” (es ésta la tendencia actual en cualquier instalación de fontanería), la cantidad de agua que evitamos consumir es del orden del 40.5 % (ver Cap. 6), es decir, **1.593.000 litros al año**, frente a los aparatos tradicionalmente utilizados.

Así pues, el total ahorrado con ambas medidas asciende a **1.965.000** litros anuales en el caso de la utilización de aguas recicladas, y a **1.593.000** en el caso de que no se utilicen.

Esto representa un ahorro de **111 l/pers.día** si nos atenemos a las hipótesis estudiadas (una ocupación de 59 personas, 300 días al año).

### 9.2. Contaminantes (reutilización de AG)

La reducción de contaminantes que, a través del agua, se transmiten al suelo, se produce principalmente en el sistema de tratamiento de aguas negras. La depuración de las aguas grises consigue también una reducción en el desbaste y el decantador-separador de grasas.

Sin embargo, en los procesos de filtración y adsorción, la carga contaminante que se consigue eliminar se envía, mediante el contralavado, a la línea de aguas negras. Esta situación se traduce en una dificultad a la hora de cuantificar la reducción de la carga contaminante. La hipótesis seguida consiste en calcularla a partir de la calidad de un agua residual (AN más AG) con los valores de la calidad del efluente del sistema Biodigester (capítulo 8.6). La tabla 9.3 muestra la reducción de los tres parámetros principales.

Parámetro	Aguas residuales	Efluente tratado	Reducción mínima
DBO <sub>5</sub>	350	< 20	330
DQO	790	< 150	640
SS	350	< 30	320

**Tabla 9.2.** Principales parámetros de calidad, en mg/l.

### 9.3. Impacto sonoro y olores (reutilización de AG)

Se han tomado las medidas necesarias para que los ruidos y olores no sean un problema. La depuración se realiza en el sótano del edificio principal. El filtro a presión, elemento susceptible de originar ruidos molestos, se instala con una bancada antivibratoria, además de impedir que trabaje a ciertas horas (de 12 de la noche a 8 de la mañana).

El diseño de la instalación de depuración impide que las aguas grises sin depurar permanezcan el tiempo suficiente como para provocar olores desagradables (menos de 48 horas). Por otro lado, las aguas ya depuradas no presentan, con el tratamiento aquí descrito, problemas de olores.

### 9.4. Comparación del impacto ambiental de los dos sistemas

Se ha visto que, utilizando el sistema "standard", sólo aplicando medidas de eficiencia en los puntos de consumo, se ahorran **1.593 m<sup>3</sup>** al año, una cantidad para nada despreciable.

Utilizando el sistema de reutilización de aguas grises, este ahorro asciende a **1.965 m<sup>3</sup>** al año. Esta instalación, además, implica una reducción significativa en los contaminantes del agua vertida. Esto es de especial importancia en un ambiente rural como el que acoge el hotel horizontal objeto del proyecto.

El único punto flaco que se le podría atribuir a este segundo sistema es la contaminación producida por la producción adicional de tuberías de PVC y PP, cantidades despreciables dada la pequeña magnitud del proyecto.

## 10. Análisis económico

### 10.1. Presupuesto

Para la elaboración del presupuesto se ha dividido el mismo en 4 partes, asignando a cada una de las dos opciones las partes correspondientes. El presupuesto detallado se puede ver en el Anexo K.

	Sin reutilización	Con reutilización
Instalación fontanería	41.148€	41.740€
Instalación aguas pluviales	5.173€	5.173€
Instalación de depuración	-	12.632€
Total instalaciones hidráulicas	46.321€	59.545€
Obra civil	40.000€	45.000€
Presupuesto de ejecución material	86.321€	104.545€
Gastos generales (10%)	8.632€	10.455€
Beneficio industrial (5%)	4.316€	5.227€
Presupuesto total	99.269€	120.227€
IVA	20.847€	25.248€
Presupuesto de ejecución por contrato	120.116€	145.474€

**Tabla 10.1.** Presupuesto

Los gastos generales necesarios para la obra incluyen: la energía y el agua que se emplean; el transporte; las instalaciones provisionales; el equipo necesario; el personal técnico; también se incluyen los imprevistos que puedan surgir. En la partida de obra civil se incluye el material necesario para la obra, así como los honorarios de todos los trabajadores según las horas estimadas.

### 10.2. Viabilidad económica

La viabilidad económica se evaluará comparando ambos presupuestos, considerando el ahorro energético y de costes en agua, así como los costes de funcionamiento y de mantenimiento.

El precio por metro cúbico se fija en 1,59€, que es el precio medio del agua en servicios de abastecimiento y saneamiento en el año 2013.

Para estimar la amortización del sistema se debe tener en cuenta que el precio del agua en nuestro país tiende a aumentar a un ritmo elevado, según las predicciones.

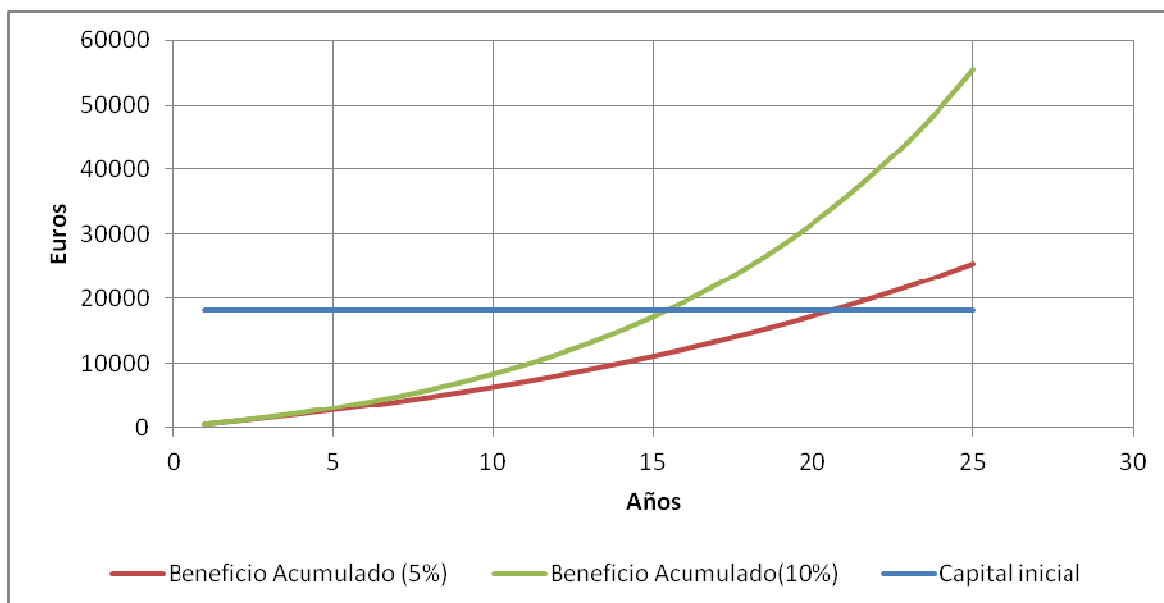
Ello se debe no sólo al gran aumento de población experimentado en nuestro territorio. La Directiva Marco del Agua, establece dos premisas: la unificación del precio del agua para toda la Unión Europea y la recuperación de costes, es decir, que el precio repercute directamente en los usuarios y no en la administración. Con todo ello, y visto lo que pagan otros países de nuestro entorno como Francia (3,46 €/m<sup>3</sup>) o Gran Bretaña (3,11 €/m<sup>3</sup>), podemos asegurar que el ahorro de agua es una medida con futuro.

En la siguiente tabla, se pueden apreciar los gastos y ahorros económicos que comportaría la instalación con recirculación de aguas grises frente a la instalación tradicional, que sólo cuenta con las medidas de eficiencia en los puntos de consumo:

Coste económico anual	Sistema con reutilización de AG
Capital inicial de instalación (€)	18.225
Mantenimiento (€)	70
Energético (€ // kWh)	3,72 // 30
Material (€)	35
Gasto anual (€)	108,72
Ahorro conseguido (€ // m <sup>3</sup> )	591,5 // 372

**Tabla 10.2.** Costes y beneficios conseguidos con el sistema de ahorro de agua

Se aplica un incremento del gasto anual del 3%, según la tendencia actual. Para el ahorro de agua, sin embargo, se considera que la subida del precio del metro cúbico tiene una tendencia anual de entre el 5 y el 10%, según lo explicado más arriba. En la figura 10.1 se muestra un gráfico con los costes acumulativos (capital inicial más el gasto anual) y los beneficios por el ahorro de agua, según los incrementos citados, para el sistema integrado (aprovechamiento de AG y pluviales). Así pues, el período de retorno se sitúa en torno a los 16 – 21 años.



**Figura 10.1.** Amortización del sistema de reutilización de AG

Otros parámetros útiles para evaluar la viabilidad de la solución son el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). En este caso, se han calculado dichos valores para un horizonte de 20 años que, si bien es algo amplio, también es coherente con el tipo de instalación proyectada.

Incremento anual del precio del agua del 10%:

VAN = 5.958 € ; TIR = 4,32%

Incremento anual del precio del agua del 5%:

VAN = -4.425 € ; TIR = -0,38%

Esta instalación será, por tanto, poco rentable y arriesgada, puesto que si los pronósticos de subida de precios del agua (al menos al 10%) no se cumplen el retorno podría ser demasiado alto. Si nos hemos de regir por lo estrictamente económico, la opción que no contempla ahorro de agua activo será más rentable.



## Conclusiones

Se ha efectuado un análisis exhaustivo de dos posibles sistemas de suministro y evacuación de aguas para un hotel horizontal.

La depuración del agua gris ha demostrado ser un sistema sencillo que no requiere de personal técnico especializado para su correcto control y mantenimiento. Una etapa de filtración, después de la eliminación de los sólidos de mayor tamaño, seguida de una desinfección, son suficientes para obtener un producto más que aceptable. No obstante, dicha afirmación debe ser confirmada con el necesario seguimiento de la instalación proyectada, a falta de una comprobación real de la respuesta de dichos procesos.

La solución del reciclaje del agua es una medida que no puede plantearse sin haber considerado previamente otros sistemas de ahorro. La eficiencia en los aparatos de consumo, con un ahorro aproximado del 40%, es un claro ejemplo de solución sencilla pero eficaz.

De los resultados se deduce que, en este caso, no es económicamente rentable aplicar un sistema de ahorro de agua tan complejo como el propuesto. Sin embargo, las diferencias en el impacto ambiental son notables y debería estudiarse si la aplicación de este sistema de reutilización de aguas implica acceso a alguna subvención por parte de la administración.





## Agradecimientos

Este trabajo no habría sido posible sin la inestimable colaboración de a algunas personas que me han brindado su ayuda, sus conocimientos y su apoyo.

Quiero agradecer a Eloy, Esteve y Javier, el haberme hecho de guías en campos en los que apenas me adentraba por primera vez, ofreciéndome toda la ayuda que me sido necesaria.

También quiero agradecer a mi familia y amigos, por darme su apoyo incondicional y enseñarme que el esfuerzo y la perseverancia son el camino a seguir.

Por último, a Marina, por su afecto, comprensión y estímulo constante.

A todos ellos, gracias.



## Bibliografía

### Referencias bibliográficas

- [1] COLLADO LARA, R., *Depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades*. Editorial Paraninfo, S.A., 1992.
- [2] MARCH, J. G., GUAL, M., OROZCO, F., *Experiencias on greywater reuse for flushing toilets*. *Desalination* (164), 2004, p. 241-247.
- [3] PALMA CARAZO, I. J., *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y técnicas de reciclaje*. Ediciones Universidad de Navarra, S.A., 2003.

### Bibliografía complementaria

AQUATHERM [<http://www.aquatherm.es/>]

ASTRALPOOL [<http://www.astralpool.com/>]

BIODIGESTER IBÉRICA. *Depuración natural*. [<http://www.biodigester.com,>].

BLB DEPURADORAS, S.L. [<http://www.depuradoras.es>].

CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE). Documentos básicos.

GRUNDFOS, *Bombas Grundfos España* [<http://es.grundfos.com/>]

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, *Entorno físico y medio ambiente*. [<http://www.ine.es>].

OTTO ECO, *Nuevos conceptos en la desinfección en la desinfección de aguas mediante luz ultravioleta*. *Rev. Tecnología del Agua* (194), 1999.

POLYSAN, *Sistemas de tuberías y accesorios* [<http://polysan.es/>]

WATER EFFICIENT SOLUTIONS. *The journal for water resource management* [<http://www.waterefficiency.net/WE/WEhome.aspx>]