



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUA PARA BLOQUES DE VIVIENDAS

Trabajo realizado por:

Manuel Barbero del Río

Dirigido:

Iñaki Tejero Monzón

Rubén Díez Montero

Titulación:

Grado en Ingeniería Civil

Santander, Junio de 2016

TRABAJO FINAL DE GRADO

A Iñaki Tejero y Rubén Díez, sin ellos no hubiese sido posible este trabajo.

A mis padres y familia, por hacer de mí quien soy.

A mis amigos por permitirme crecer junto a ellos y a Pablo por las aventuras estos años.

Por ser, estar y aguantarme, a Inés.

Índice:

Introducción y resumen del trabajo	11
Introducción	15
Objetivo del trabajo	18
Viabilidad	19
Viabilidad técnica	19
Viabilidad legal y medioambiental.....	19
Viabilidad económica.....	19
Definición de la población de diseño	20
Requerimientos de agua	22
Consumo de agua	22
Demanda de agua	22
Calidad del agua de entrada/salida	23
Calidad del agua de entrada (agua gris de baja carga)	23
Calidad del agua reutilizada (legislación).....	23
Descripción sistema de reutilización propuesto.....	26
Reutilización intravivienda.....	27
Tratamiento de las aguas colectivas.....	29
Toma y análisis de datos.	30
Simulación de funcionamiento.	33
Determinación de los caudales de diseño.	35

Tratamiento de las aguas colectivas	38
Establecimiento de los criterios de diseño y funcionamiento.....	38
Dimensionamiento del tanque de membranas y equipos auxiliares a este.....	38
Dimensionamiento del reactor biológico	40
Dimensionamiento de los equipos auxiliares	41
Planos.....	42
Mediciones y presupuesto estimativo.....	44
Alternativa 2	45
Objetivo.....	45
Planteamiento.....	45
Aportaciones de diseño	46
Dimensionamiento sistema de tratamiento alternativa 2	46
Planos.....	51
Mediciones y presupuesto estimativo.....	53
Capítulo 1 descripción de la propuesta.	55
Introducción	59
Reutilización directa e intravivienda	61
Funcionamiento del sistema:.....	63
Sistema de tratamiento colectivo de las aguas del bloque de viviendas ..	68
Capítulo 2 toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”	71
Introducción	75
Muestra 1	76

Muestra 2	80
Muestra 3	84
Muestra 4	88
Muestra 5	92
Muestra 6	96
Muestra 7	100
Muestra 8	104
Muestra 9	108
Muestra 10	112
Muestra 11	116
Muestra 12	120
Muestra 13	124
Muestra 14	128
Muestra 15	132
Análisis global de los datos obtenidos.....	136
Análisis conjunto de los consumos diarios	136
Frecuencia de uso de los elementos.....	138
Determinación de los caudales de diseño para la vivienda modelo	140
Capítulo 3 simulación de funcionamiento	143
Introducción	147

Exposición de los resultados para la elección de la alternativa óptima ..	148
Resultados preliminares	148
Elección del volumen de reserva del depósito de recarga del inodoro y las aportaciones a considerar	154
Resultados finales	156
Elección del volumen máximo del depósito	164
Exposición de los resultados de cada muestreo y globales conforme a las alternativas escogidas.....	165
Resumen de las simulaciones y establecimiento de los caudales para riego diarios.....	196
Capítulo 4 diseño de un mbr para el tratamiento de las aguas	199
Introducción teórica	205
Cinética de crecimiento	206
Objetivos y esquema del tratamiento biológico.....	209
Fangos activos.....	210
Biorreactores de membranas.....	212
Criterios de diseño	212
Criterios de funcionamiento/explotación de los biorreactores de membrana	219
Dimensionamiento del biorreactor de membranas para la alternativa escogida.....	226
Selección de la membrana a utilizar	228
Diseño de la membrana de ultrafiltración.....	229
Dimensionamiento del proceso biológico	232
Comprobaciones de los cálculos.....	236
Corrección a temperatura de verano	238

Equipos auxiliares	239
Resumen de los datos del diseño	240
Mediciones	244
Objetivo.....	244
Calculo de tuberías y accesorios	244
Cálculo de bombas y agitadores	246
Membranas	246
Depósitos	246
Presupuesto estimativo	248
Tuberías y accesorios	248
Bombas y agitadores.....	249
Membranas	250
Depósitos	250
Bombas soplantes y difusores	251
Instalación eléctrica y automatización	251
Resumen presupuesto	252
Planos	253
Capítulo 5 exposición y dimensionamiento de una segunda alternativa de reutilización	257
Objetivo	261
Planteamiento	261
Dimensionamiento sistema de reutilización alternativa 2.....	263
Determinación del caudal de diseño	263
Dimensionamiento del sistema mbr.....	265

Resumen resultados procedentes del dimensionamiento.....	279
Mediciones	283
Objetivo.....	283
Calculo de tuberías y accesorios	283
Resultados obtenidos	283
Cálculo de bombas.....	284
Membranas.....	285
Depósitos	285
Bombas soplantes y agitadores	286
Instalación eléctrica y automatización	286
Presupuesto estimativo alternativa 2	287
Tuberías y accesorios	287
Bombas y agitadores.....	288
Membranas.....	289
Depósitos	289
Bombas soplantes y difusores	290
Instalación eléctrica y automatización	290
Resumen presupuesto alternativa 2.....	291
Planos	292
Bibliografía	296

Introducción y resumen del trabajo

Índice:

Introducción	15
Objetivo del trabajo.....	18
Viabilidad.....	19
Viabilidad técnica.....	19
Viabilidad legal y medioambiental	19
Viabilidad económica.....	19
Definición de la población de diseño	20
Requerimientos de agua.....	22
Consumo de agua	22
Demanda de agua	22
Calidad del agua de entrada/salida	23
Calidad del agua de entrada (agua gris de baja carga)	23
Calidad del agua reutilizada (legislación)	23
Descripción sistema de reutilización propuesto	26
Reutilización intravivienda.....	27
Tratamiento de las aguas colectivas.	29
Toma y análisis de datos.....	30
Simulación de funcionamiento.....	33
Determinación de los caudales de diseño.	35
Tratamiento de las aguas colectivas	38
Establecimiento de los criterios de diseño y funcionamiento	38

Dimensionamiento del tanque de membranas y equipos auxiliares a este	38
Dimensionamiento del reactor biológico	40
Dimensionamiento de los equipos auxiliares	41
Tanque de homogeneización.....	41
Tanque para alimentación del sistema de riego.....	41
Tamiz rotativo de rejilla perforada de 1mm de luz	41
Planos	42
Mediciones y presupuesto estimativo	44
Alternativa 2	45
Objetivo	45
Planteamiento	45
Aportaciones de diseño	46
Dimensionamiento sistema de tratamiento alternativa 2	46
Membranas.....	46
Reactor biológico	48
Dimensionamiento de los equipos auxiliares	49
Tanque de homogeneización.....	49
Tanque para alimentación del sistema de riego.....	49
Tanque de almacenamiento de agua tratada para recarga de inodoros	49
Tamiz rotativo de rejilla perforada de 1mm de luz	50
Planos	51
Mediciones y presupuesto estimativo	53

INTRODUCCIÓN

El siguiente texto de la revista on-line Ambientum, servirá como introducción del problema existente en torno al agua hoy en día y las opiniones de expertos al respecto:

“El 70,8% de la superficie terrestre está ocupada por agua, pero tan solo un 2,5% de toda el agua existente en el planeta es agua dulce, o sea, apta para consumo. De esta, la mayoría se encuentra inaccesible en glaciares, en los polos, etc, así que tan solo disponemos para consumo del 0,5% que es agua subterránea o superficial. En la Tierra habitan actualmente 6.000 millones de personas, de las cuales, cerca del 20% viven en 50 países que carecen de este vital líquido y, siguiendo con el actual ritmo de consumo, en breve esta se convertirá (se ha convertido ya) en un problema capaz de generar conflictos armados e incidirá (está incidiendo ya) en el futuro de la diversidad biológica de muchas zonas del planeta.

Se entiende por consumo doméstico de agua por habitante a la cantidad de agua que dispone una persona para sus necesidades diarias de consumo, aseo, limpieza, riego, etc. y se mide en litros por habitante y día (l/hab-día). Es un valor muy representativo de las necesidades y/o consumo real de agua dentro de una comunidad o población y, por consiguiente, refleja también de manera indirecta su nivel de desarrollo económico y social. Este indicador social se obtiene a partir del suministro medido por contadores, estudios locales, encuestas o la cantidad total suministrada a una comunidad dividida por el número de habitantes.

Desde comienzos del siglo XX, la población mundial se ha duplicado, mientras que, como resultado del desarrollo industrial y del mayor uso agrícola, la cantidad empleada de este vital elemento se ha sextuplicado. Teniendo en cuenta que en el mundo existe actualmente la misma cantidad de agua que hace 2.000 años y, que se ha incrementado la sobreexplotación, la contaminación y los efectos del cambio climático, actualmente, casi el 40% de los seres humanos cuentan con problemas de escasez de agua, circunstancia que, para el 2.025 afectará a un 66% de la población mundial asentada en países de África y Asia Occidental.

Tal y como citó en su día Kofi Annan, Secretario General de las Naciones Unidas, *"el acceso a agua apta para el consumo es una necesidad humana fundamental y, en consecuencia, un derecho humano básico"*. Se estima que actualmente se consume al año el 54% del agua dulce disponible y, según la UNESCO, a mediados del siglo XXI la población mundial alcanzará los 12.000 millones de habitantes previstos, la demanda se habrá duplicado y las reservas hídricas de nuestro planeta llegarán a su tope.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que la cantidad adecuada de agua para consumo humano (beber, cocinar, higiene personal, limpieza del hogar) es de 50 l/hab-día. A estas cantidades debe sumarse el aporte necesario para la agricultura, la industria y, por supuesto, la

conservación de los ecosistemas acuáticos, fluviales y, en general, dependientes del agua dulce. Teniendo en cuenta estos parámetros, se considera una cantidad mínima de 100 l/hab-día.

El destino aplicado al agua dulce consumida varía mucho de una región a otra del planeta, incluso dentro de un mismo país. Por regla general, el consumo elevado de agua potable se da en países ricos y, dentro de estos, los consumos urbanos duplican a los consumos rurales. A nivel mundial, se extraen actualmente unos 3.600 km³ de agua dulce para consumo humano, es decir, 1.600 litros/hab-día, de los cuales, aproximadamente la mitad no se consume (se evapora, infiltra al suelo o vuelve a algún cauce) y, de la otra mitad, se calcula que el 65% se destina a la agricultura, el 25% a la industria y, tan solo el 10% a consumo doméstico. En la tabla siguiente se muestra una aproximación de este reparto en función de la renta per cápita.

	RENDA ALTA	RENDA BAJA	MEDIA MUNDIAL	ESPAÑA
AGRICULTURA	40	80	65	62
INDUSTRIA	45	10	25	25
CONSUMO HUMANO	15	10	10	12

Tabla 1. Reparto (%) del uso del agua en función de la renta

Para determinar la disponibilidad de agua en un país o área geográfica determinada, se maneja el “umbral de presión hídrica” (1.700 m³/hab-año), por debajo del cual aparecen frecuentemente las sequías y el “umbral de penuria” (1.000 m³/hab-año) por debajo del cual surgen problemas de abastecimiento a la agricultura e industria. Actualmente, se estima que 2.300 millones de personas están sometidas a presión hídrica y 1.700 millones sufren penuria, y se prevé alcanzar respectivamente los 3.500 y 2.400 millones de personas en el año 2.025.

Por otro lado y, debido a la contaminación ambiental (aguas residuales, vertidos a la atmósfera, residuos sólidos, etc.), una fracción importante del agua dulce disponible sufre algún tipo de contaminación. Las fuentes naturales de agua cuentan con procesos de autodepuración, pero cuando se emplea en exceso o es escasa, en general empeora su calidad. Según la OMS, más de 1.200 millones de personas consumen agua sin garantías sanitarias, lo que provoca entre 20.000 y 30.000 muertes diarias y gran cantidad de enfermedades. Los ratios de consumo por habitante difieren enormemente entre distintas zonas del planeta, dependiendo principalmente de la disponibilidad del agua y del nivel de desarrollo del país. En la siguiente tabla se aprecia el consumo en diferentes zonas del planeta (datos 1.996).

ÁREA GEOGRÁFICA	CONSUMO
	m ³ /hab.-año
AMÉRICA DEL NORTE Y CENTRAL	1.874
EUROPA	1.290
OCEANÍA	887
ASIA	529
AMÉRICA DEL SUR	485
ÁFRICA	250
MEDIA MUNDIAL	657
ESPAÑA	1.201

Tabla 2. Consumo de agua por area geográfica

En conclusión, no parece muy descabellado aseverar que, a pesar de que la cantidad de agua disponible en el planeta es suficiente para cubrir las necesidades de la población, su consumo excesivo e incorrecto en muchos países y su escasez en otros, podría provocar la falta de recursos dentro de pocos años. Ante esta situación es necesario un cambio en las tendencias actuales de consumo según la denominada “nueva cultura del agua”, basada en el ahorro de agua, la optimización de su gestión, el respeto y sensibilización hacia este recurso, su reparto equitativo y la valoración como activo ecológico y social.”

Fuente: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/el-consumo-de-agua-en-porcentajes.asp

OBJETIVO DEL TRABAJO

El objetivo principal de este trabajo es el diseño de una instalación que permita mediante distintos sistemas, reutilizar la parte de aguas grises menos contaminadas producidas en un núcleo de viviendas de nueva construcción.

El núcleo de viviendas objeto de este diseño constará de 3 bloques con 7 pisos por bloque, 2 viviendas por piso y una zona ajardinada.

Con este sistema se pretenderá reducir mediante la reutilización de aguas grises, los consumos de agua de la vivienda, para hacerla más sostenible ambientalmente y adaptar estos consumos a las tendencias de ahorro energético y de recursos de los últimos años.

Con este sistema se pretende quede garantizado el funcionamiento del inodoro y el riego de una posible zona verde mediante la reutilización y el reciclaje de aguas grises.

VIABILIDAD

Una vez definidos los objetivos del proyecto y antes de desarrollar las etapas de ingeniería básica, es importante realizar un estudio de viabilidad básico en varios campos.

VIABILIDAD TÉCNICA

Es posible llevar a cabo la implantación de estas instalaciones, con la tecnología disponible hasta la fecha ya que existen multitud de ejemplos en los que ya se han utilizado satisfactoriamente estos sistemas.

VIABILIDAD LEGAL Y MEDIOAMBIENTAL

Se cumplirán con los valores límite, asignados para el riego de zonas verdes con posible contacto para los seres humanos, así como con las recomendaciones de buenas prácticas de diversas guías.

La reutilización del agua regenerada, supone importantes beneficios ambientales, ya que pretende reducir la presión sobre los recursos hídricos convencionales.

VIABILIDAD ECONÓMICA

Es imposible realizar un análisis económico a priori, pero basándose en experiencias previas de aplicación de este tipo de sistemas, se puede esperar un resultado favorable.

DEFINICIÓN DE LA POBLACIÓN DE DISEÑO

El núcleo de viviendas modelo que vamos a establecer será de 3 bloques con 7 pisos por bloque, 2 viviendas por piso y una zona ajardinada, la localización de dicho núcleo será en una zona de la parte seca de España.

Ocupación media: es la que representará el funcionamiento en condiciones normales de toda la instalación, se utilizará para simular el un hipotético funcionamiento de la misma.

Para establecer la ocupación media de estas viviendas, se seguirán las estadísticas del año 2013 publicadas por el INE.

Hogares y población según tamaño del hogar. Año 2013				
	Hogares	%	Poblacion(*)	%
Total	18.217.300	100,0%	46.156.400	100,0%
1 persona	4.412.000	24,2%	4.412.000	9,6%
2 personas	5.547.600	30,5%	11.095.100	24,0%
3 personas	3.870.300	21,2%	11.611.000	25,2%
4 personas	3.278.600	18,0%	13.114.400	28,4%
5 o más personas	1.108.900	6,1%	5.923.900	12,8%

(*) La población total es la residente en viviendas familiares; se excluye por tanto la que reside en establecimientos colectivos

Tabla 3. Ocupación media viviendas (Encuesta continua de hogares. Año 2013 (INE))

El tamaño medio del hogar, según los datos de la tabla anterior, será de 2,53 personas por hogar.

Además, debemos considerar según datos del propio INE (España en cifras 2014) que el 13,7% de las viviendas en España está vacía.

Estableciendo que la ocupación de una vivienda es un suceso aleatorio que sigue las probabilidades obtenidas de la estadística anterior, se simulará el suceso mediante el programa Excel, que determinará la ocupación de las viviendas.

		Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3		
Ocupación vivienda	Probabilidad	Piso 7	2	4	3	2	3	2
0	0,137	Piso 6	2	0	4	1	4	3
1	0,209	Piso 5	4	2	3	5	2	0
2	0,263	Piso 4	2	2	2	4	3	0
3	0,183	Piso 3	2	3	3	2	2	2
4	0,155	Piso 2	1	3	2	1	4	5
5	0,053	Piso 1	5	2	0	2	2	3

Tabla 4. Creación del bloque de viviendas de diseño

REQUERIMIENTOS DE AGUA

CONSUMO DE AGUA

El consumo de agua de los hogares medio en España según datos del INE (encuesta sobre uso y saneamiento del agua año 2012) es de 137 litros/habitante/día.

Los consumos detallados de agua medios que se utilizarán posteriormente para los análisis de viabilidad son los proporcionados por el documento del grupo de Ingeniería Sanitaria y Ambiental del Grupo de Ingeniería del Agua y el Medio Ambiente de la Universidad de Coruña “El reciclaje de aguas grises como complemento a las estrategias de gestión sostenible del agua en el medio rural”.

TIPO DE CONSUMO	L/HAB/DÍA
Bebida	2
Preparación de alimentos	3
Cocinar y beber	5-8
Aseo personal diario (Ni ducha ni baño)	10-20
Limpieza	7-12
Inodoro	35-45
Baños	150-300
Duchas	50-80
Lavadora	50-150
Lavavajillas	20-40

Tabla 5.- Consumos de agua en la vivienda

DEMANDA DE AGUA

La demanda de agua viene fijada por los requerimientos de agua del inodoro, como se ha expuesto antes, 35-45 litros por persona al día, es probable en este sentido, cubrir esta demanda con las aportaciones de agua de ducha que representan 50-80 litros por persona y día, aun así para garantizar una aportación continua y dada la simplicidad del mecanismo, se valorará también el agua del lavabo, teniendo en cuenta que las aportaciones que no sean aprovechadas por el inodoro se utilizarán para riego más adelante.

Por lo tanto, el análisis viene fijado por la necesidad de cubrir completamente la demanda del inodoro, y el caudal sobrante será variable y dependerá de hábitos humanos, es decir, el caudal de riego para cada día será distinto.

CALIDAD DEL AGUA DE ENTRADA/SALIDA

A continuación se exponen los parámetros de calidad del agua de entrada/salida del sistema de reutilización, que servirán de referencia para el desarrollo del trabajo.

CALIDAD DEL AGUA DE ENTRADA (AGUA GRIS DE BAJA CARGA)

La contaminación orgánica y microbiológica generada en la higiene personal, se ve incrementada también por pequeñas cantidades de jabones, champús, dentífricos, cremas de afeitado, detergentes, pelos, aceites corporales, cosméticos, restos de arena y suciedad.

Se tomarán los valores que proporciona AQUA ESPAÑA en su guía de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios:

Parámetro	Valor
Sólidos en suspensión	45 – 330 mg/l
Turbidez	22 – 200 NTU
DBO ₅	90 – 290 mg/l
Coliformes totales	10 ¹ - 10 ⁶ UFC/100 ml
Escherichia Coli	10 ¹ – 10 ⁵ UFC/100 ml
Nitrógeno Kjeldahl	2,1 – 31,5 mg/l

Tabla 6.- Parámetros de calidad del agua en de entrada

Como es lógico, estos valores no asumen el vertido de sustancias inusuales tales como colorantes, pinturas, medicamentos, materias orgánicas, etc. que puedan interferir en la calidad final del agua tratada o en el correcto funcionamiento de los equipos instalados.

Cabe señalar en ese sentido, que convendría disponer en la vivienda de un lavabo conectado a la red de aguas negras.

CALIDAD DEL AGUA REUTILIZADA (LEGISLACIÓN)

La legislación sobre reutilización de aguas no está muy desarrollada, ya que es algo relativamente novedoso. Como referencia se puede utilizar el Real Decreto 1620/2007 de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

En el anexo I.A de dicho RD: Criterios de de calidad para la reutilización de aguas según sus usos, se pueden encontrar los distintos parámetros que van a condicionar el uso del agua reutilizada.

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES ¹	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
1.- USOS URBANOS					
CALIDAD 1.1: RESIDENCIAL ² a) Riego de jardines privados. ³ b) Descarga de aparatos sanitarios. ³	1 huevo/10 L	0 (UFC ⁴ /100 mL)	10 mg/L	2 UNT ⁵	OTROS CONTAMINANTES ⁶ contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas ⁷ deberá asegurarse el respeto de las NCAs. ⁸ <i>Legionella spp.</i> 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)
CALIDAD 1.2: SERVICIOS a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares). ⁹ b) Baldeo de calles. ⁹ c) Sistemas contra incendios. ⁹ d) Lavado industrial de vehículos. ⁹	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT	

Tabla 7. Parámetros de calidad del agua reutilizada

Estos parámetros están perfectamente definidos, y son lógicos dada la naturaleza de las aguas sobre las que se está legislando. En el capítulo I (disposiciones generales) Artículo II (definiciones), se indica que las aguas objeto de esta regulación son “Aguas depuradas: aguas residuales que han sido sometidas a un proceso de tratamiento que permita adecuar su calidad a la normativa de vertidos aplicable”.

Este concepto de “aguas residuales” que introduce la legislación es ambiguo, ya que desde un punto de vista técnico las aguas residuales domésticas se pueden clasificar en:

- Agua gris bruta: aguas residuales domésticas procedentes de duchas, bañeras, y lavamanos. Se excluyen las aguas procedentes de cocinas bidets, lavadoras, lavavajillas, procesos industriales o con productos químicos contaminantes y/o un elevado número de agentes patógenos y/o restos fecales.
- Aguas negras: aguas residuales domésticas que contienen materia fecal y orina.

Se puede concluir que además de ambiguo, el término “aguas residuales” que introduce la legislación es amplio e incluye todos los tipos de aguas residuales. En este estudio se va a reutilizar únicamente la parte de las aguas residuales domésticas “menos contaminadas” es decir las “aguas grises brutas”. En este punto, sería razonable imponer unos criterios de calidad más exigentes a la porción de las aguas más contaminada en origen, esto es precisamente lo que no contempla la legislación.

En base a todo lo expuesto anteriormente, a que en este estudio se han utilizado minuciosamente las recomendaciones de algunas guías publicadas por organismos competentes en la materia, a ejemplos de aplicación similares en otros países, y sobre todo a la formación técnica del autor de este estudio.

Se seguirán los criterios de calidad del agua destinada al riego de zonas verdes expuestos en este Real Decreto, a fin de proporcionar una calidad optima del agua de contacto con el ser humano:

- Nematodos intestinales: 1 huevo/10l.
- Escherichia Coli: 0 UFC/100ml
- Sólidos en suspensión: 10 mg/l.
- Turbidez: 2 UNT

Sin embargo para la reutilización directa del agua que se va a plantear, no se seguirán estos parámetros, ya que el RD impone la calidad de agua para el efluente de un sistema de tratamiento, por lo tanto no establece ninguna restricción de calidad de agua para la reutilización directa.

Una vez introducido el tema y establecido los objetivos y parámetros a seguir, se van a exponer los capítulos de manera resumida que se apoyarán en los anejos correspondientes.

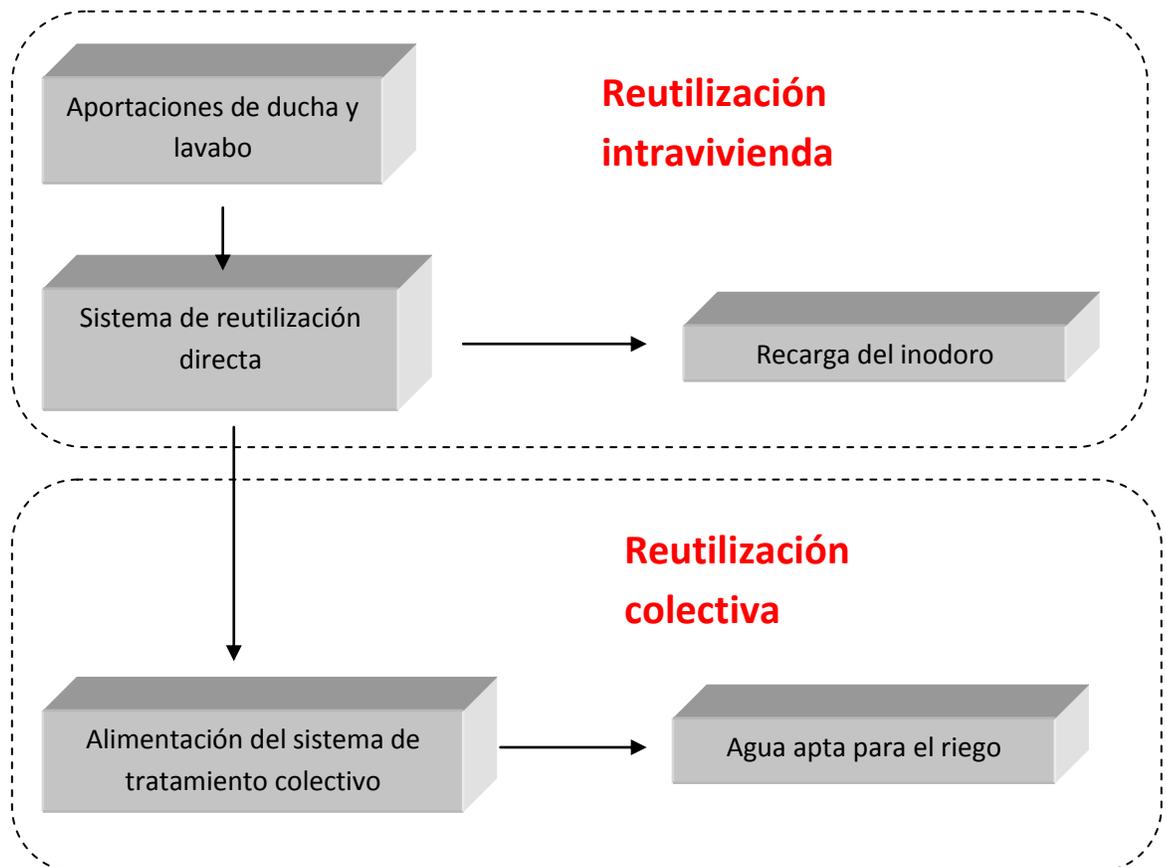
DESCRIPCIÓN SISTEMA DE REUTILIZACIÓN PROPUESTO

El modelo de reutilización de agua domestica que se propone y se va a analizar, es un sistema de MIXTO en cuanto al tratamiento y al uso del agua regenerada, que aprovecha las aguas grises procedentes de la ducha y el lavabo de cada vivienda para rellenar el inodoro, y para el riego de una posible zona verde.

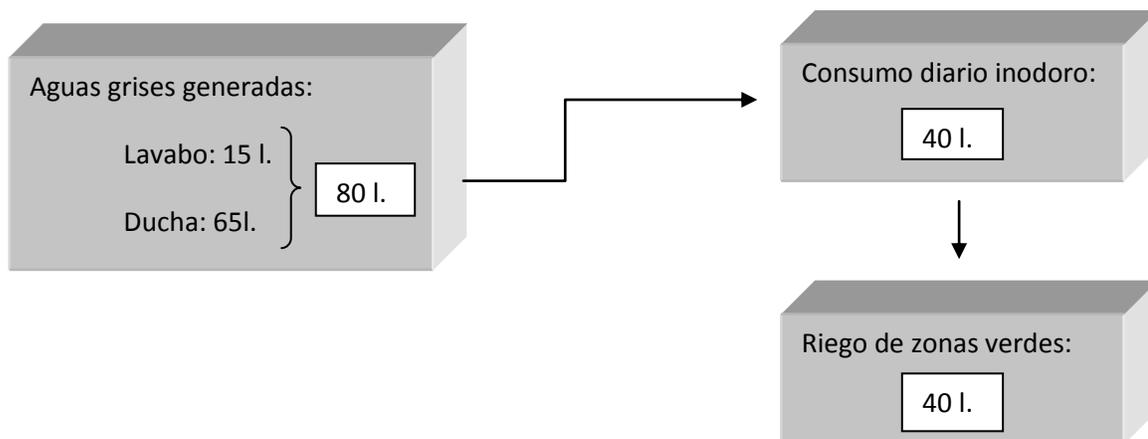
La primera parte es una reutilización directa de aguas grises mediante un sistema intravivienda.

La segunda parte del reciclaje es un sistema colectivo, que recoge aguas grises sobrantes de la recarga del inodoro de cada vivienda y mediante un tratamiento, consigue una calidad apta para el riego de una superficie ajardinada.

El esquema de funcionamiento a priori sería el siguiente:



Y, discretizado para los consumos de un habitante medio:



REUTILIZACIÓN INTRAVIVIENDA.

Este sistema, se basa en la acumulación de agua en un depósito situado en la parte inferior del plato de ducha, y servirá para la recarga del inodoro y para la alimentación del sistema de tratamiento colectivo.

A continuación se presenta una representación en 3D del sistema. El funcionamiento del mismo se muestra con detalle en el capítulo dedicado a tal fin

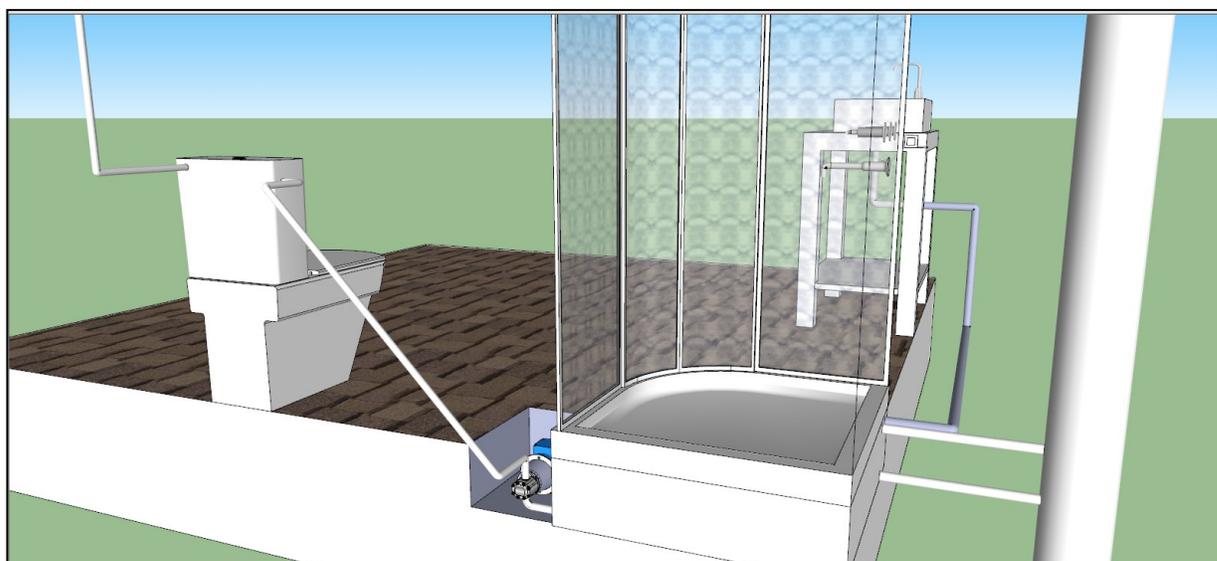


Ilustración 1.-Detalle sistema de reutilización

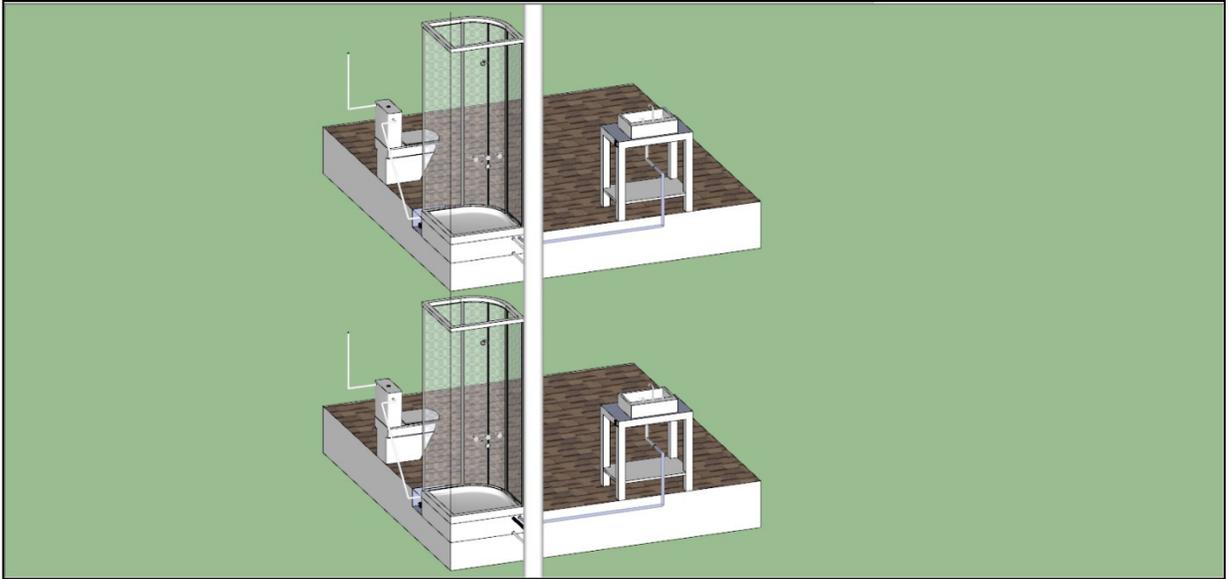


Ilustración 2.-Detalle sistema de reutilización



Ilustración 3.-Detalle sistema de reutilización



Ilustración 4.-Detalle sistema de reutilización

TRATAMIENTO DE LAS AGUAS COLECTIVAS.

El sistema de tratamiento de aguas colectivas, debe proporcionar un efluente que cumpla con los requisitos expuestos en la legislación, además debe ser reducido de tamaño, ya que este se va a situar en un recinto auxiliar a un bloque de viviendas y los olores y ruidos provocados deben ser inexistentes.

Conforme a estos requisitos expuestos, y habiendo consultado diferentes publicaciones se va a proponer un sistema de tratamiento llamado biorreactor de membranas (MBR) en sus siglas en inglés.

Un biorreactor de membranas es una modificación del proceso de fangos activos para el tratamiento de aguas, donde la separación del fango se realiza mediante filtración mediante membranas, en sustitución de la decantación secundaria, obteniéndose un efluente de mayor calidad y prácticamente libre de sólidos en suspensión y microorganismos.

La publicación del CEDEX “Guía Técnica para la implantación de biorreactores de membrana” proporciona una tabla donde se expone la calidad del efluente de diversas instalaciones.

Parámetro	Rango habitual
Sólidos en suspensión	1-5 mg/l
DBO ₅	1-5 mg/l
N total	4.5-1.5 mg/l
P total	1-5 mg/l
Turbidez	0.6-1.5 NTU
E.Coli	Ausencia

Tabla 8.- Calidad del efluente MBR

TOMA Y ANÁLISIS DE DATOS.

La realización de este trabajo se apoya en una serie de encuestas que el autor ha decidido realizar para tener datos de primera mano de los consumos de agua y la distribución horaria a lo largo del día de los mismos.

Para la recogida de datos se han repartido unos formularios tipo a 15 viviendas que desde el punto de vista del autor de este estudio representan una muestra lo más homogénea posible de la sociedad.

Estos formularios constan de dos columnas, inodoro y ducha en las que se anotan los usos de estos elementos en períodos de media hora durante 14 días consecutivos. Y representarán la frecuencia de uso del inodoro/ducha de cada persona en el cuarto o cuartos de baño de su vivienda principal.

También constan de una tabla llamada “test de caudal de ducha” donde se va a intentar medir de una manera sencilla el caudal de la ducha.

En el anejo se muestra detallada toda la recogida de datos y el análisis individual de los mismos.

En este capítulo de la memoria se va a exponer a modo de resumen los resultados globales tras analizar todas las muestras.

Consumo diario por persona inodoro (litros/persona y día)

M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
8.7	8.8	21.6	15.8	13.0	14.1	11.0	15.5	12.1	11.1	10.7	12.0	11.7	10.6	12.1

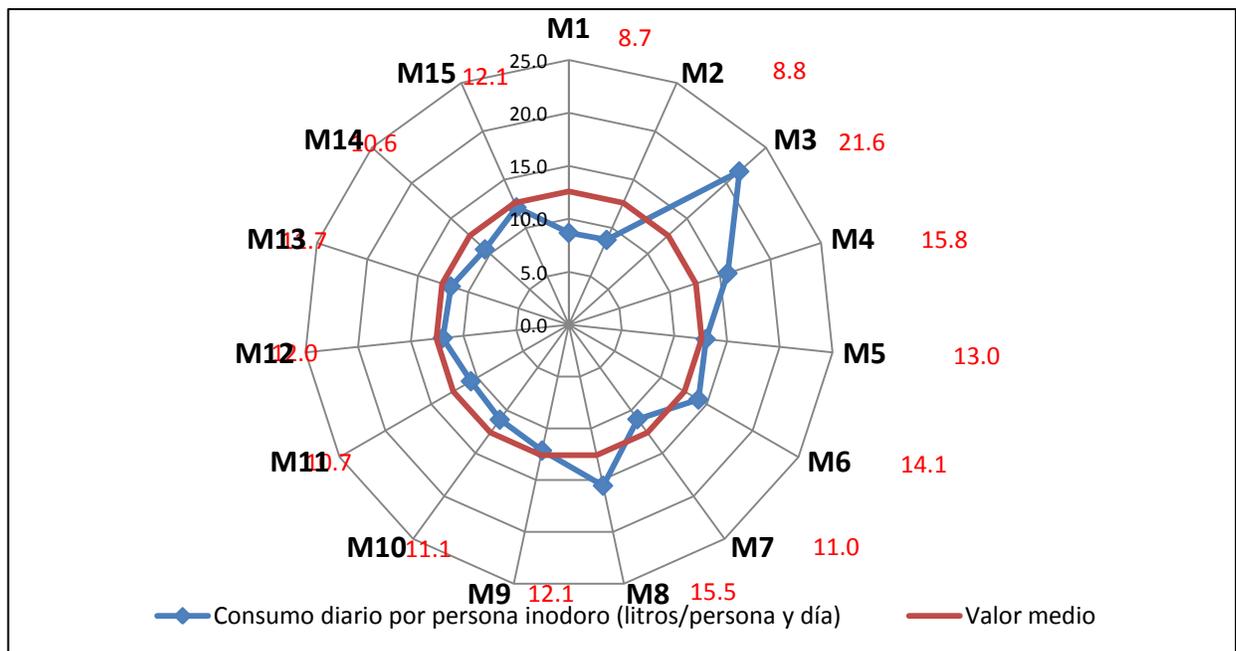


Ilustración 5.- Consumos diarios por persona inodoro

Consumo diario por persona ducha (litros/persona y día)

M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
27.2	23.9	29.8	33.5	30.2	46.5	39.1	35.9	20.8	33.6	37.8	31.8	32.7	27.4	40.0

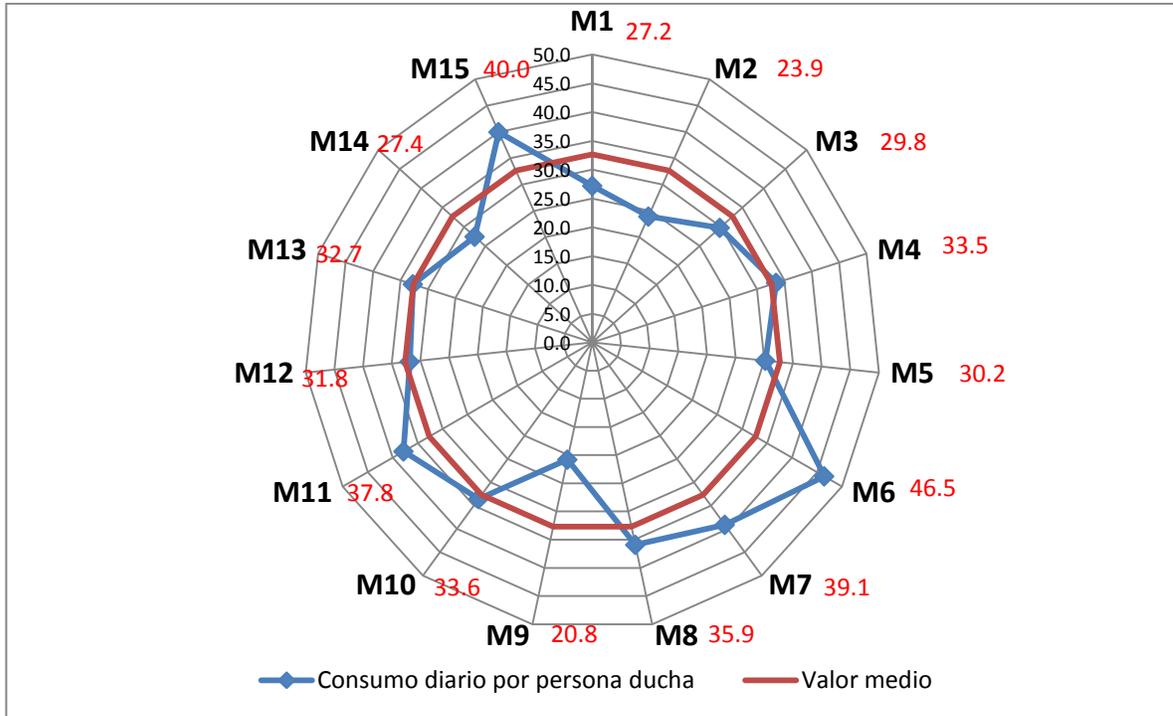


Ilustración 6.- Consumo diario por persona ducha

De los gráficos de frecuencia de uso tanto del inodoro como de la ducha se impone la hora en la que se descarga el depósito inferior a la ducha para tratamiento. Esta hora será la 0:00.

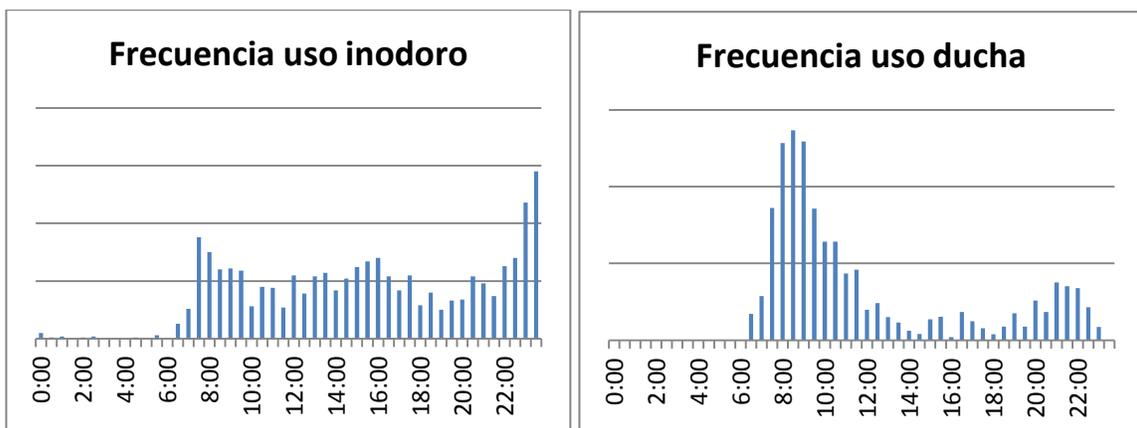


Ilustración 7.-Frecuencias de uso inodoro-ducha

Como conclusión final se establecerán los caudales medios, medios máximos y coeficientes punta según la ocupación de la vivienda, estos son los que se muestran a continuación, donde las demandas corresponden al uso del inodoro, y las aportaciones corresponden a la cantidad de agua gris generada en el lavabo y ducha.

Ocupación vivienda	1 habitante	2 habitantes	3 habitantes	4 habitantes
Demandas medias diarias (litros)	21.6	22.8	32.7	45.0
Aportaciones medias diarias (litros)	34.8	66.7	93.7	150.4

Ocupación vivienda	1 habitante	2 habitantes	3 habitantes	4 habitantes
Demandas medias máximas diarias (litros)	25.5	33.2	44.6	58.5
Aportaciones medias máximas (litros/día)	54.5	110.1	155.3	228.8

Ocupación vivienda	1 habitante	2 habitantes	3 habitantes	4 habitantes
Coficiente punta demandas	1.18	1.46	1.37	1.30
Coficiente punta aportaciones	1.57	1.65	1.66	1.52

Ilustración 8.- Demandas y consumos medios máximos y coeficientes punta

SIMULACIÓN DE FUNCIONAMIENTO.

Una vez descrito el sistema de reutilización, definidos algunos parámetros de funcionamiento y consumos y aportaciones de diseño, se va a simular el funcionamiento del sistema en base a la toma de datos realizada.

De forma preliminar se simulará el funcionamiento para varias alternativas. Cuando estas se hayan fijado, se hará una simulación definitiva que actuará como análisis de viabilidad, donde se evaluará la repercusión que tiene la implantación de este sistema en el consumo de agua en las viviendas.

Las alternativas que se barajaban son:

- Volumen de reserva en depósito para la recarga del inodoro. [7.5 / 9/ 12.5 litros]
- Incorporación o no del caudal del lavabo al sistema de reutilización.
- Volumen máximo del depósito.

Las simulaciones preliminares y los resultados obtenidos de estas se encuentran en el anejo correspondiente, a continuación se muestra la alternativa escogida.

- Aportaciones conjuntas de lavabo y ducha
- Volumen de reserva en el depósito de alimentación del inodoro de 7,5 litros. Este es el volumen que no se evacua para riego y que garantiza el aporte de agua gris al inodoro.
- Volumen máximo del depósito: 250 litros. Las dimensiones del depósito, serán de 100 x 100 x 25 mm, en la cota máxima del depósito se situará un rebosadero.

Al final de este capítulo se obtienen los caudales para riego medios y máximos según la ocupación de la vivienda, son los que siguen.

Habitantes	Muestra	Volumen medio para riego disponible (litros)	Volumen medio diario para riego por habitantes (litros)
1	M3	13.1	13.1
	M1	43.9	
2	M2	28.6	43.7
	M4	45.5	
	M5	37.5	
	M6	50	
	M7	49.8	
	M8	50.7	
3	M9	40.9	61.4
	M10	64.3	
	M11	65.8	
	M12	74.6	
4	M13	104	105.3
	M14	80.4	
	M15	131.6	

Habitantes	Muestra	Volumen máximo para riego disponible (litros).	Volumen medio máximo diario para riego por tipo de vivienda (litros)
1	M3	32.0	32.0
	M1	67.7	
2	M2	78.4	87.5
	M4	76.5	
	M5	76.3	
	M6	119.0	
	M7	94.6	
	M8	99.9	
3	M9	79.8	123.5
	M10	130.9	
	M11	132.5	
	M12	150.8	
4	M13	213.0	188.7
	M14	132.1	
	M15	221.1	

Tabla 9.- Resultados simulación funcionamiento

DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES DE DISEÑO.

Este apartado no tendrá un anejo asociado por su brevedad y servirá para determinar los caudales de diseño para el tratamiento de las aguas.

Del apartado de definición de la población de diseño apoyándonos en las estadísticas publicadas por el INE en 2013, se ha obtenido el núcleo de viviendas de estudio que es el que se muestra a continuación:

	Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3	
Piso 7	2	4	3	2	3	2
Piso 6	2	0	4	1	4	3
Piso 5	4	2	3	5	2	0
Piso 4	2	2	2	4	3	0
Piso 3	2	3	3	2	2	2
Piso 2	1	3	2	1	4	5
Piso 1	5	2	0	2	2	3

Tabla 10. Creación del bloque de viviendas de diseño

Según se ha obtenido del anejo de simulación de funcionamiento, se va a asignar a cada tipo de vivienda un caudal diario para riego en una situación media y una extrema que corresponderá a las aportaciones máximas. A falta de muestras de viviendas de 5 habitantes, se van a promediar los resultados de las viviendas de 4 habitantes.

Por lo tanto la situación para los caudales de riego medios diarios establecidos quedaría de esta forma:

	Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3	
Piso 7	43.7	105.3	61.4	43.7	61.4	43.7
Piso 6	43.7	0	105.3	13.1	105.3	61.4
Piso 5	105.3	43.7	61.4	131.6	43.7	0
Piso 4	43.7	43.7	43.7	105.3	61.4	0
Piso 3	43.7	61.4	61.4	43.7	43.7	43.7
Piso 2	13.1	61.4	43.7	13.1	105.3	131.6
Piso 1	131.6	43.7	0	43.7	43.7	61.4
Total	2061.4				Litros/día	

Tabla 11.- Simulación caudales medios para riego

Y para los caudales de riego medios máximos de esta otra:

Introducción y resumen del trabajo
DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES DE DISEÑO.

	Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3	
Piso 7	87.5	188.7	123.5	87.5	123.5	87.5
Piso 6	87.5	0	188.7	32	188.7	123.5
Piso 5	188.7	87.5	123.5	235.9	87.5	0
Piso 4	87.5	87.5	87.5	188.7	123.5	0
Piso 3	87.5	123.5	123.5	87.5	87.5	87.5
Piso 2	32	123.5	87.5	32	188.7	235.9
Piso 1	235.9	87.5	0	87.5	87.5	123.5

Total	4534.9					Litros/día
--------------	--------	--	--	--	--	------------

Tabla 12.- Simulación caudales de riego máximos

De muestreos realizados, podemos obtener la fluctuación de estos caudales para riego durante la semana. Aunque cada muestra se ha empezado en un día diferente de la semana, ordenando estas podemos obtener un periodo representativo para observar dichas fluctuaciones. En la siguiente gráfica que representa el caudal diario destinado para riego para cada muestra, se observará la relación entre las aportaciones media, mínima y máxima.

	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
M1	45.1	43.9	23.4	66.2	43.6	47.7	66.3	61.8	25.0
M2	45.7	7.5	0.0	78.4	48.7	46.8	29.3	33.6	0.0
M3	10.7	26.9	9.5	14.6	14.6	0.0	5.8	32.0	22.4
M4	34.2	46.2	67.6	31.5	26.5	26.4	39.6	61.6	76.5
M5	7.5	0.0	76.3	26.0	24.3	39.9	54.7	63.0	45.5
M6	91.6	7.5	0.0	33.6	78.9	38.4	119.0	63.4	7.5
M7	94.6	7.5	0.0	51.8	56.5	23.8	73.0	86.6	0.0
M8	63.0	82.1	29.8	32.6	36.9	63.2	29.2	44.4	99.9
M9	35.1	79.8	9.0	21.2	23.6	43.1	7.7	32.6	45.6
M10	0.0	81.8	6.0	83.0	69.7	66.7	85.2	65.8	112.4
M11	87.9	120.0	7.5	1.5	93.7	68.4	93.4	69.4	132.5
M12	70.6	150.8	71.2	42.0	74.9	53.3	72.2	31.8	92.2
M13	105.6	213.0	167.4	75.3	76.5	90.6	62.1	86.9	126.6
M14	87.8	117.1	132.1	53.5	101.3	105.5	81.3	7.5	43.3
M15	71.9	189.1	156.8	104.3	89.7	150.3	193.4	124.4	152.0
SUMA	851.2	1173.4	756.6	715.7	859.3	864.0	1012.1	864.8	981.4

Tabla 13.- Composición semana completa

Introducción y resumen del trabajo
DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES DE DISEÑO.

Aportaciones máximas	1173.3 l.
Aportaciones mínimas	715.67 l.
Aportación media	897.6 litros

Diferencia max-med	23.5%
Diferencia min-med	-20.3%

Por lo tanto podemos asumir unos coeficientes para el caudal máximo como para el caudal mínimo de 1,3 y 0.7 respectivamente para quedarnos del lado de la seguridad.

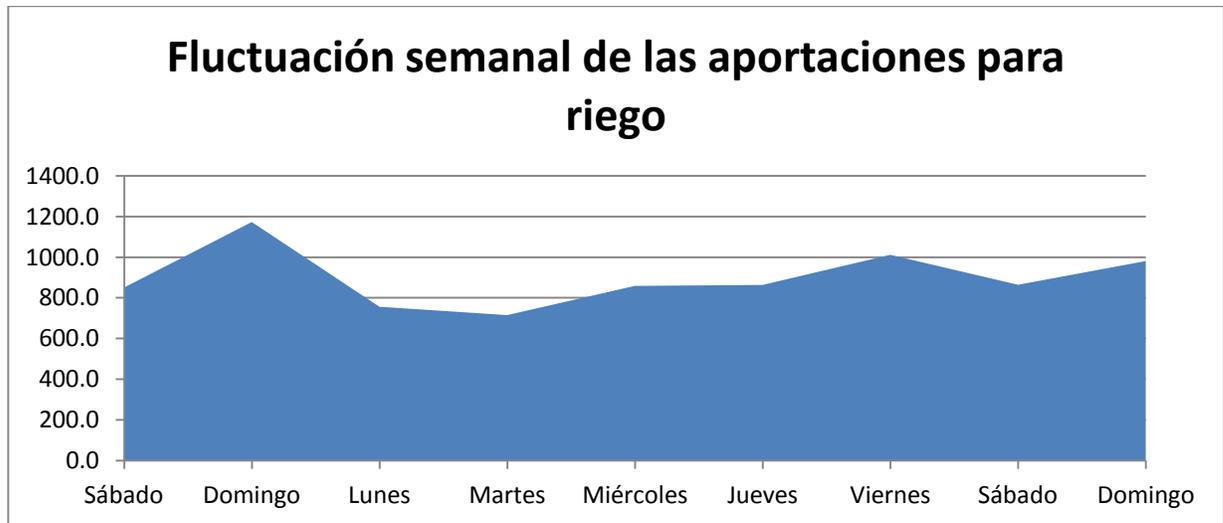


Tabla 14.- Fluctuación semanal aportaciones riego

TRATAMIENTO DE LAS AGUAS COLECTIVAS

Como se ha explicado en la descripción, se ha propuesto un biorreactor de membranas para la depuración de las aguas destinadas para riego, ya que estas tienen que cumplir la legislación existente sobre reutilización de agua para riego de jardines.

A continuación se muestran los resultados del dimensionamiento del biorreactor de membranas cuya introducción y desarrollo se expone en el capítulo correspondiente.

El orden en el que se exponen los mismos corresponde al orden que se ha seguido para el dimensionamiento, siendo este:

ESTABLECIMIENTO DE LOS CRITERIOS DE DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO

-Configuración sumergida no integrada, de cara a facilitar las labores de mantenimiento de las membranas, en especial para los lavados de mantenimiento que se producen a los 6/12 meses, y que si bien por su frecuencia no pudieran parecer importantes, son un aspecto clave en la vida útil de las membranas.

-Membrana de fibra hueca, este factor viene determinado por que este tipo de membranas requieren una menor recirculación en comparación con las membranas de fibra plana, mientras que las necesidades de aireación son las mismas.

-Funcionamiento de la planta a caudal constante, controlando la PTM (presión transmembránica) como indicador del ensuciamiento de las membranas.

- Concentración de SSLM de 5000 mg/l, ya que si bien se cumple de sobra con los requerimientos de calidad previstos, este valor más bajo de lo habitual, provoca que el factor de transferencia de oxígeno, este en unos valores razonables de cara al aprovechamiento energético.

-Recirculación del 200%.

-Ciclo filtrado/retrolavado/relajación de 10/1/1.

-Caudal de contralavado de 1.2 · caudal de filtrado.

DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE MEMBRANAS Y EQUIPOS AUXILIARES A ESTE

Superficie de membranas: 4 m²

Dimensiones del tanque de membranas : 2500 x 250 x 250 *mm*

Volumen de operación tanque de membranas: 0.125 m^3

Cota del agua en el tanque de membranas: 2m (desde la solera del mismo).

Caudal de aireación de las membranas: 1.32 $\frac{m^3}{h}$

Se colocará centrado, un difusor de 20 cm de diametro de burbuja gruesa en el fondo del tanque de membranas conectado a una soplante de 1.5 $\frac{m^3}{h}$ + 1R

-Caudal de filtración: 100 $\frac{l}{hora}$

-Caudal de retrolavado: 120 $\frac{l}{hora}$

Se colocará una bomba reversible de 150 $\frac{l}{hora}$ +1R

Depósito de permeado:

Deberá tener el mismo o mayor volumen que el tanque de membranas, para poder llenar este por completo en los lavados de mantenimiento.

Volumen: 0.125 m^3

Dimensiones: 2500 x 250 x 300 mm

Estará conectado hidráulicamente mediante un rebosadero con el tanque de alimentación para riego, este rebosadero se dispondrá a la cota 1.7m desde la solera del depósito.

Depósito y suministro de hipoclorito sódico:

La cantidad de hipoclorito sódico necesaria es de 1.44 litros.

Esta cantidad es muy pequeña, por lo que se plantea para su dosificación depósitos de 5 litros donde se añadirá la cantidad de hipoclorito correspondiente según las condiciones de operación. Es decir, se llevarán a cabo análisis periodicos donde se determinará la naturaleza del ensuciamiento y se añadirá hipoclorito según sea conveniente

La incorporación de hipoclorito al caudal de retrolavado se hará mediante un gotero regulable de 5 litros/hora de caudal máximo.

Depósito y suministro de ácido cítrico:

La cantidad de ácido cítrico necesaria es de 0.37 litros, al igual que ocurre con el hipoclorito este volumen es infimo por lo que se dispondrá un depósito idéntico al de

hipoclorito donde se añadirá la cantidad de ácido cítrico requerida por las condiciones de funcionamiento.

La incorporación de hipoclorito al caudal de retrolavado se hará mediante un gotero regulable de 5 litros/hora de caudal máximo.

La incorporación de hipoclorito al caudal de retrolavado se hará mediante un gotero regulable de 0.5 litros/hora de caudal máximo. Máximo necesario = 0.36 litros/hora.

DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR BIOLÓGICO

Volumen mínimo reactor biológico: 0.45 m^3

Se dispondrá de un reactor biológico con un volumen total de 0.625 m^3 y unas dimensiones de $2500 \times 500 \times 450 \text{ mm}$.

La cota del agua en operación estará a 2 metros desde la solera.

Además, el resguardo que se ha dispuesto de 0.175 m^3 , permite almacenar la totalidad del volumen del tanque de membranas durante las limpiezas de mantenimiento, de esta manera se evita la pérdida de biomasa.

Caudal de recirculación: $4 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$

Se dispondrá de una bomba de recirculación de $\frac{5 \text{ m}^3}{\text{día}} + 1R$

La purga se hará mediante una válvula accionada mediante automatismo y se verterá el caudal generado con dicha operación a una arqueta municipal.

Caudal de aireación del reactor biológico:

El caudal de aire necesario es de: $10.69 \frac{\text{m}^3 \text{ aire}}{\text{día}}$

Se va a comprobar si cumple las condiciones de mezcla completa:

$$\text{Superficie solera reactor biológico: } 0.5 \cdot 0.45 \text{ m}^2 = 0.225 \text{ m}^2$$

$$\text{Condición mezcla completa: } 2 - 4 \frac{\text{m}^3 \text{ de aire}}{\text{hora} \cdot \text{m}^2}$$

$$\frac{10.69 \frac{\text{m}^3 \text{ aire}}{\text{día}}}{24 \text{ horas} \cdot 0.225 \text{ m}^2} = 1.98 \frac{\text{m}^3 \text{ de aire}}{\text{hora} \cdot \text{m}^2}$$

Las condiciones para que se produzca mezcla completa están muy ajustadas, por lo que para garantizar estas, se va a imponer una condición de mezcla completa de $3 \frac{\text{m}^3}{\text{hora} \cdot \text{m}^2}$

$$Q_{\text{aire}} = 3 \cdot 24 \cdot 0.225 = 16.2 \frac{\text{m}^3 \text{ de aire}}{\text{día}} = 0.675 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

Para ello se van a disponer un difusor en la solera del reactor biológico de 30 cm de diametro conectado a una soplante de $2 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$

DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS AUXILIARES

TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN

Volumen de operación tanque: 6m^3

Dimensiones tanque: 2000 x 2000 x 1750 mm

Estará equipado con una bomba para la alimentación del reactor biológico de 150 litros/hora + 1R.

Además de cara a la reducción de puntas de contaminación dispondrá una agitación mecánica de $20 \frac{\text{W}}{\text{m}^3}$

Lo que representa un motor de 120 W

Tambien dispondrá de un rebosadero en la cota 1.8 m desde la solera del mismo, este rebosadero derivará los caudales punta a la arqueta de desagüe municipal.

TANQUE PARA ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

Volumen de operación tanque: 4m^3

Dimensiones tanque: 2500 x 2000 x 1000 mm

Tambien dispondrá de un rebosadero en la cota 2 m desde la solera del mismo, este rebosadero derivará los caudales punta a la arqueta de desagüe municipal.

TAMIZ ROTATIVO DE REJILLA PERFORADA DE 1MM DE LUZ

Se situará su solera a la cota 1.8 del suelo de tal manera que la cota de agua sea siempre superior a la del agua en el tanque de homogeneización al que estará conectado hidráulicamente, dispondrá de un contenedor para almacenar los sólidos.

PLANOS

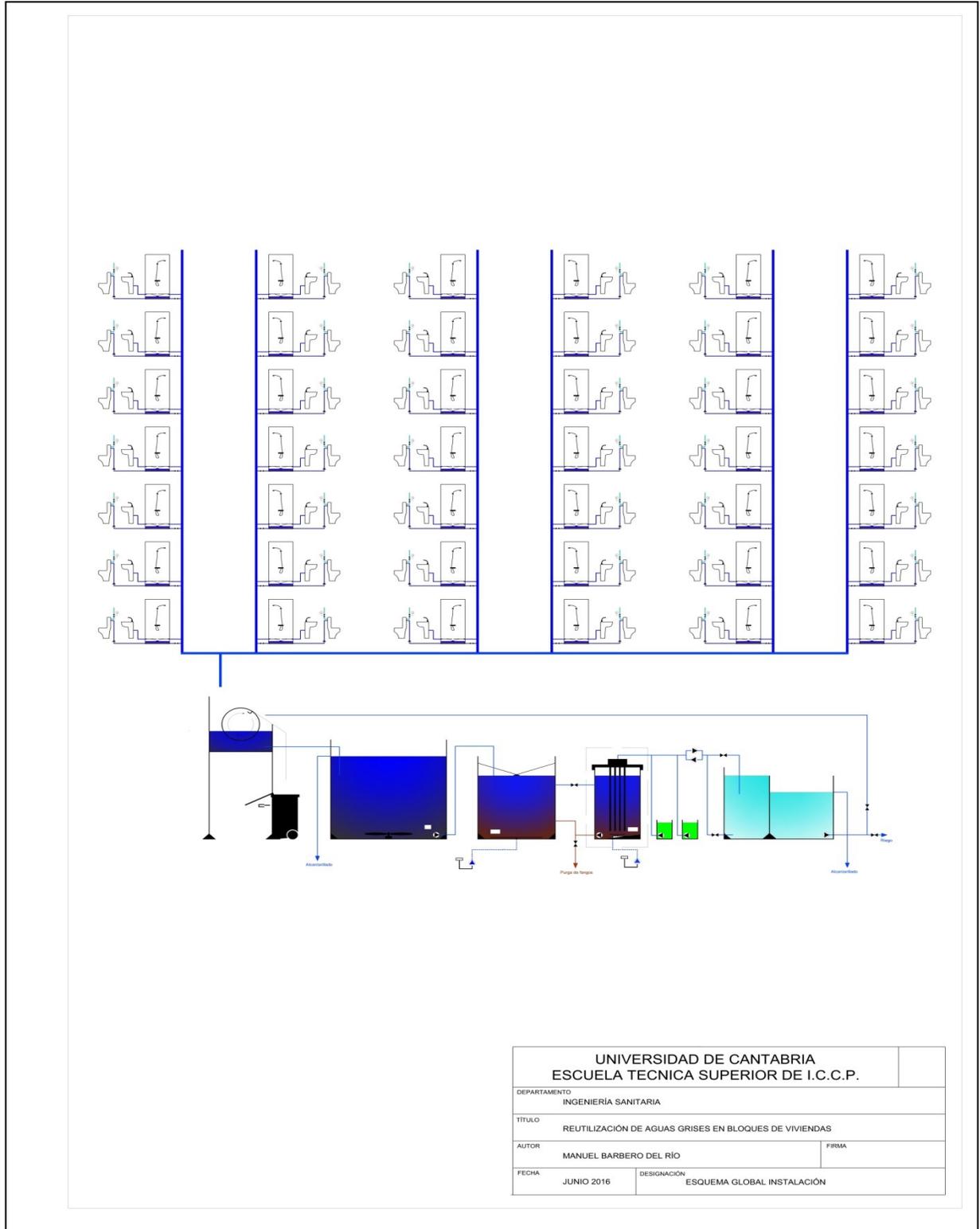


Ilustración 9.-Esquema global de la instalación

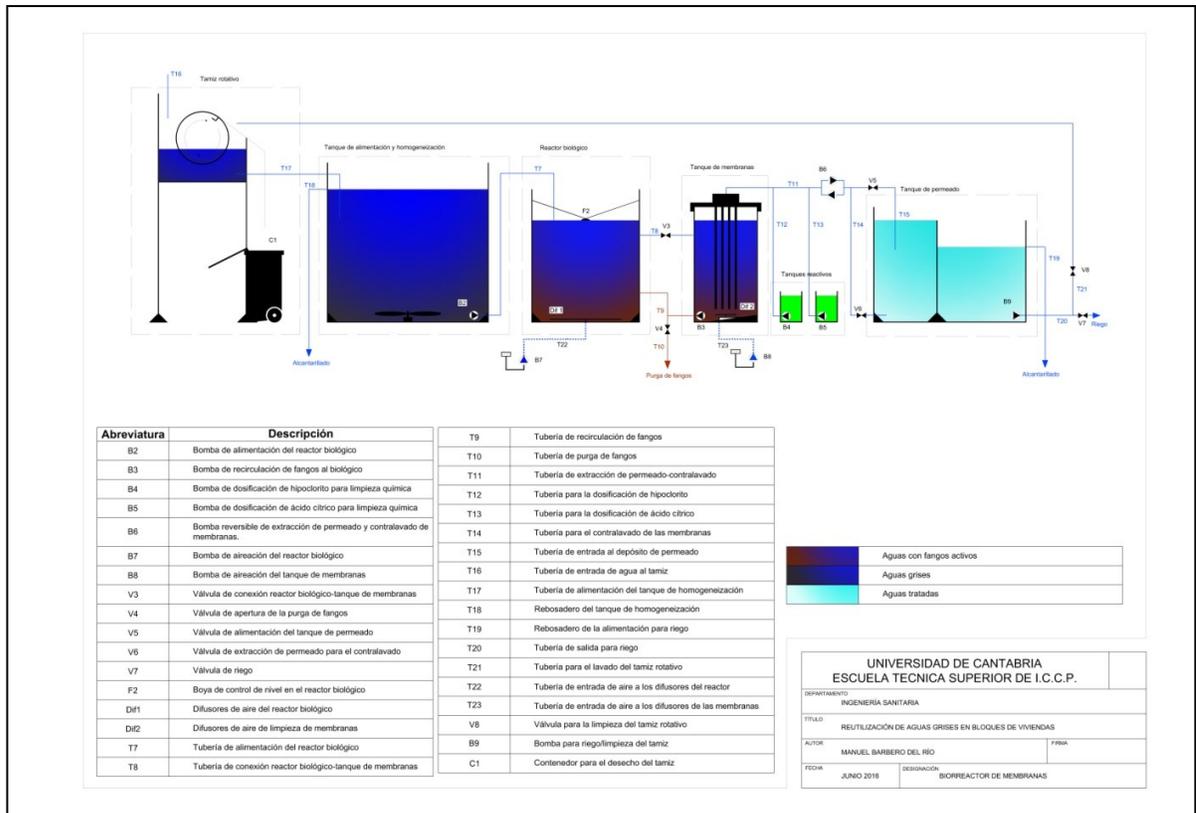
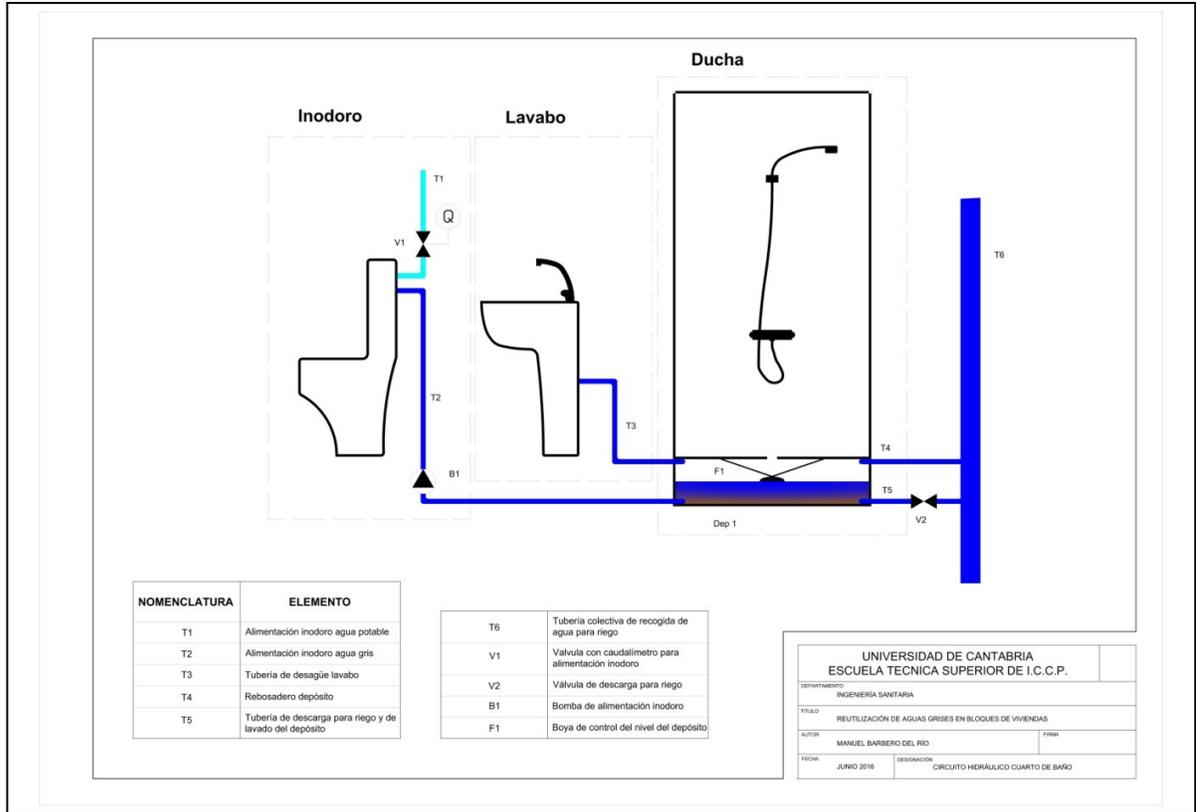


Ilustración 10.-Esquema cuarto de baño y biorreactor de membranas

MEDICIONES Y PRESUPUESTO ESTIMATIVO

Con el fin de estimar los costes de instalación de este sistema, se ha realizado una medición de los elementos que componen el sistema y se ha calculado en el capítulo correspondiente un presupuesto estimativo con la ayuda del director de este TFG.

Precio total tuberías y accesorios	2545.89 €
Precio total bombas y agitadores	42,500.00 €
Precio total tanques	6,086.88 €
Precio total bombas soplantes y difusores	2,720.00 €
Precio total instalación eléctrica y automatización	7,770.00 €
Total	67,622.77 €
IVA (21%)	13,780.78 €
Beneficio industrial (20%)	13,124.55 €
Precio final	92,528.11 €
Precio final por vivienda	2,203.05 €

ALTERNATIVA 2

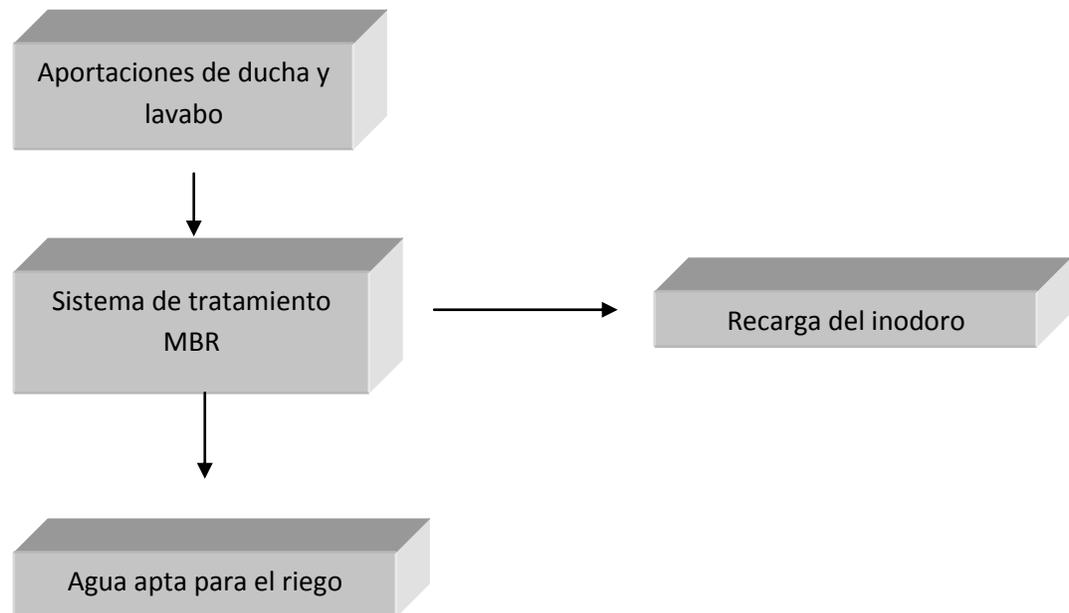
OBJETIVO

Adaptar el sistema de reutilización mostrado en este trabajo, a una posible legislación más exigente en cuanto a criterios de calidad para las aguas destinadas a la descarga del inodoro.

PLANTEAMIENTO

La reutilización en este caso pasa por un tratamiento mediante biorreactor de membranas, mediante el cual se tratarán todas las aguas grises del edificio, para más tarde utilizarlas para riego y descarga de inodoros.

El esquema de funcionamiento sería el siguiente:



La captación de aguas grises en este caso se llevará a cabo mediante una bajante hacia el sistema de tratamiento y se producirá en el mismo instante en el que se están generando dichas aguas.

El sistema de tratamiento, depurará el agua para adaptar su calidad a la legislación vigente.

La recarga del inodoro en este caso, se realizará por gravedad mediante un depósito de agua tratada situado en el punto más alto del edificio. Este depósito contará de un sistema de dosificación de cloro de cara a evitar la aparición de microorganismos.

Las descargas del inodoro se realizarán de forma habitual, mediante el llenado del depósito del mismo y utilizando la boya interior a este como regulador.

Este sistema de reutilización se caracteriza por su simplicidad y es por esto que sería adaptable tanto a una nueva construcción como a una ya existente, mediante una reforma.

APORTACIONES DE DISEÑO

Simulación aportaciones medias

	Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3	
Piso 7	66.7	187.5	93.7	66.7	150.4	66.7
Piso 6	66.7	0	150.4	34.8	150.4	187.5
Piso 5	93.7	66.7	93.7	187.5	0	0
Piso 4	66.7	66.7	66.7	150.4	93.7	0
Piso 3	66.7	93.7	93.7	66.7	66.7	66.7
Piso 2	34.8	93.7	66.7	34.8	150.4	187.5
Piso 1	187.5	66.7	0	66.7	66.7	93.7

Aportaciones diseño 3610.7 Litros/día

Tabla 11.-Simulación aportaciones medias Alternativa 2

DIMENSIONAMIENTO SISTEMA DE TRATAMIENTO ALTERNATIVA 2

El dimensionamiento del biorreactor de membranas en este caso, es análogo al de la primera alternativa. Misma calidad de entrada/salida, mismos parámetros de funcionamiento y configuración, por lo que se van a obviar en este punto y a continuación se muestran por tanto únicamente los resultados del dimensionamiento.

MEMBRANAS

Superficie de membranas: $7.88 m^2$

Dimensiones del tanque de membranas : 2500 x 250 x 300 mm

Volumen de operación tanque de membranas: $0.15 m^3$

Cota del agua en el tanque de membranas: 2m (desde la solera del mismo).

Caudal de aireación de las membranas: $2.6 \frac{m^3}{h}$

Se colocará centrado, un difusor de 20 cm de diametro de burbuja gruesa en el fondo del tanque de membranas conectado a una soplante de $3 \frac{m^3}{h} + 1R$

Caudal de filtración: $180 \frac{l}{hora}$

Caudal de retrolavado: $216 \frac{l}{hora}$

Se colocará una bomba reversible de $250 \frac{l}{hora} + 1R$

Depósito de permeado:

Deberá tener el mismo o mayor volumen que el tanque de membranas, para poder llenar este por completo en los lavados de mantenimiento.

Volumen: $0.15 m^3$

Dimensiones: 2500 x 250 x 300 mm

Estará conectado hidraulicamente mediante un rebosadero con el tanque de alimentación para riego, este rebosadero se dispondrá a la cota 2m desde la solera del depósito.

Depósito y suministro de hipoclorito sódico:

La cantidad de hipoclorito sódico necesaria es de 1.44 litros.

Esta cantidad es muy pequeña, por lo que se plantea para su dosificación depósitos de 5 litros donde se añadirá la cantidad de hipoclorito correspondiente según las condiciones de operación. Es decir, se llevarán a cabo análisis periodicos donde se determinará la naturaleza del ensuciamiento y se añadirá hipoclorito según sea conveniente

La incorporación de hipoclorito al caudal de retrolavado se hará mediante un gotero regulable de 5 litros/hora de caudal máximo.

Depósito y suministro de ácido cítrico:

La cantidad de ácido cítrico necesaria es de 0.37 litros, al igual que ocurre con el hipoclorito este volumen es infimo por lo que se dispondrá un depósito idéntico al de

hipoclorito donde se añadirá la cantidad de ácido cítrico requerida por las condiciones de funcionamiento.

La incorporación de hipoclorito al caudal de retrolavado se hará mediante un gotero regulable de 5 litros/hora de caudal máximo.

REACTOR BIOLÓGICO

Volumen mínimo reactor biológico: 0.92 m^3

Se dispondrá de un reactor biológico con un volumen total de 1.25 m^3 y unas dimensiones de $2500 \times 1000 \times 500 \text{ mm}$.

La cota del agua en operación estará a 2 metros desde la solera.

Además, el resguardo que se ha dispuesto de 0.33 m^3 , permite almacenar la totalidad del volumen del tanque de membranas durante las limpiezas de mantenimiento, de esta manera se evita la pérdida de biomasa.

Caudal de recirculación: $7.2 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$

Se dispondrá de una bomba de recirculación de $8 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} + 1R$

La purga se hará mediante una válvula accionada mediante automatismo y se verterá el caudal generado con dicha operación a una arqueta municipal.

Caudal de aireación del reactor biológico:

El caudal de aire necesario es de: $19.2 \frac{\text{m}^3 \text{aire}}{\text{día}}$

Se va a comprobar si cumple las condiciones de mezcla completa:

Superficie solera reactor biológico: $0.5 \cdot 1 \text{ m}^2 = 0.5 \text{ m}^2$

Condición mezcla completa: $2 - 4 \frac{\text{m}^3 \text{de aire}}{\text{hora} \cdot \text{m}^2}$

$$\frac{19.2 \frac{\text{m}^3 \text{aire}}{\text{día}}}{24 \text{ horas} \cdot 0.5 \text{ m}^2} = 1.6 \frac{\text{m}^3 \text{de aire}}{\text{hora} \cdot \text{m}^2}$$

Las condiciones para que se produzca mezcla completa están muy ajustadas, por lo que para garantizar estas, se va a imponer una condición de mezcla completa de $3 \frac{\text{m}^3}{\text{hora} \cdot \text{m}^2}$

$$Q_{\text{aire}} = 3 \cdot 24 \cdot 0.5 = 36 \frac{\text{m}^3 \text{ de aire}}{\text{día}} = 1.5 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

Para ello se van a disponer dos difusores en la solera del reactor biológico de 30 cm de diámetro conectado a una soplante de $2 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$

DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS AUXILIARES

TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN

Volumen de operación tanque: 10.8m^3

Dimensiones tanque: 2000 x 2000 x 3000 mm

Estará equipado con una bomba para la alimentación del reactor biológico de 200 litros/hora + 1R.

Además de cara a la reducción de puntas de contaminación dispondrá una agitación mecánica de $20 \frac{\text{W}}{\text{m}^3}$

Lo que representa un motor de 220 W

También dispondrá de un rebosadero en la cota 1.8 m desde la solera del mismo, este rebosadero derivará los caudales punta a la arqueta de desagüe municipal.

TANQUE PARA ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

Volumen de operación tanque: 7.2m^3

Dimensiones tanque: 2500 x 2000 x 1500 mm

También dispondrá de un rebosadero en la cota 2.4 m desde la solera del mismo, este rebosadero derivará los caudales punta a la arqueta de desagüe municipal.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA TRATADA PARA RECARGA DE INODOROS

Volumen de operación: $7,8 \text{m}^3$

Dimensiones: 4000 x 2000 x 1000 mm

Volumen del tanque de hipoclorito anexo: 0.6m^3

Dimensiones: 1000 x 1000 x 1000 mm

Dosificación hipoclorito: 20 litros/día.

TAMIZ ROTATIVO DE REJILLA PERFORADA DE 1MM DE LUZ

Se situará su solera a la cota 2 del suelo de tal manera que la cota de agua sea siempre superior a la del agua en el tanque de homogeneización al que estará conectado hidráulicamente, dispondrá de un contenedor para almacenar los sólidos.

PLANOS

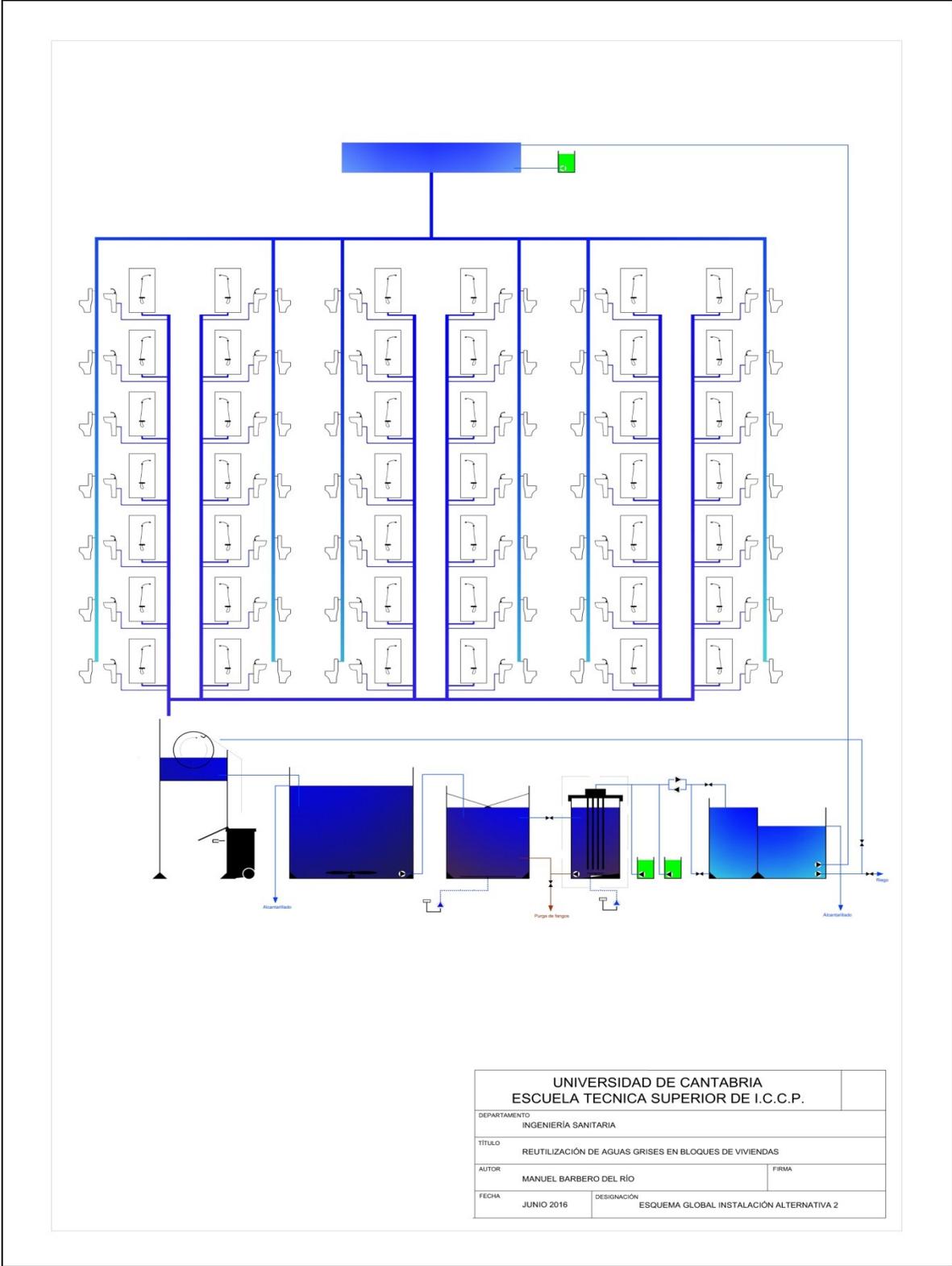


Ilustración 12.- Esquema global instalación Alternativa 2

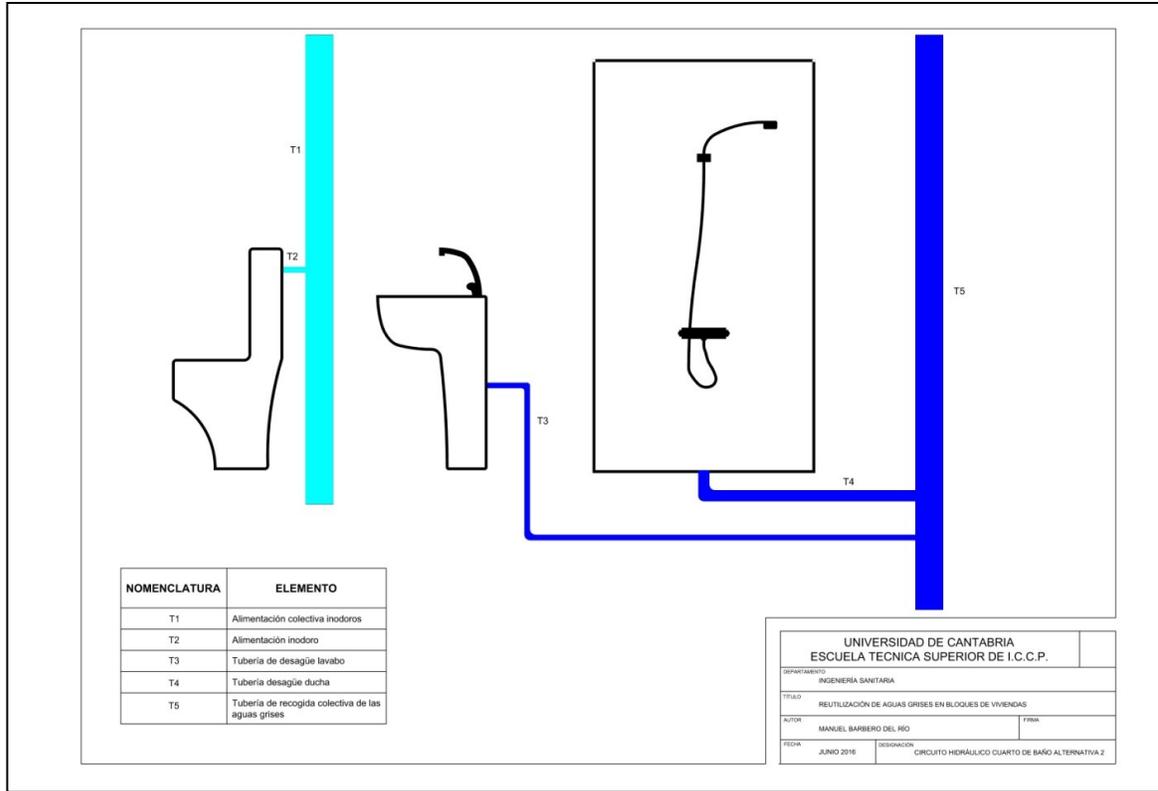


Ilustración 13.- Esquema cuarto de baño Alternativa 2

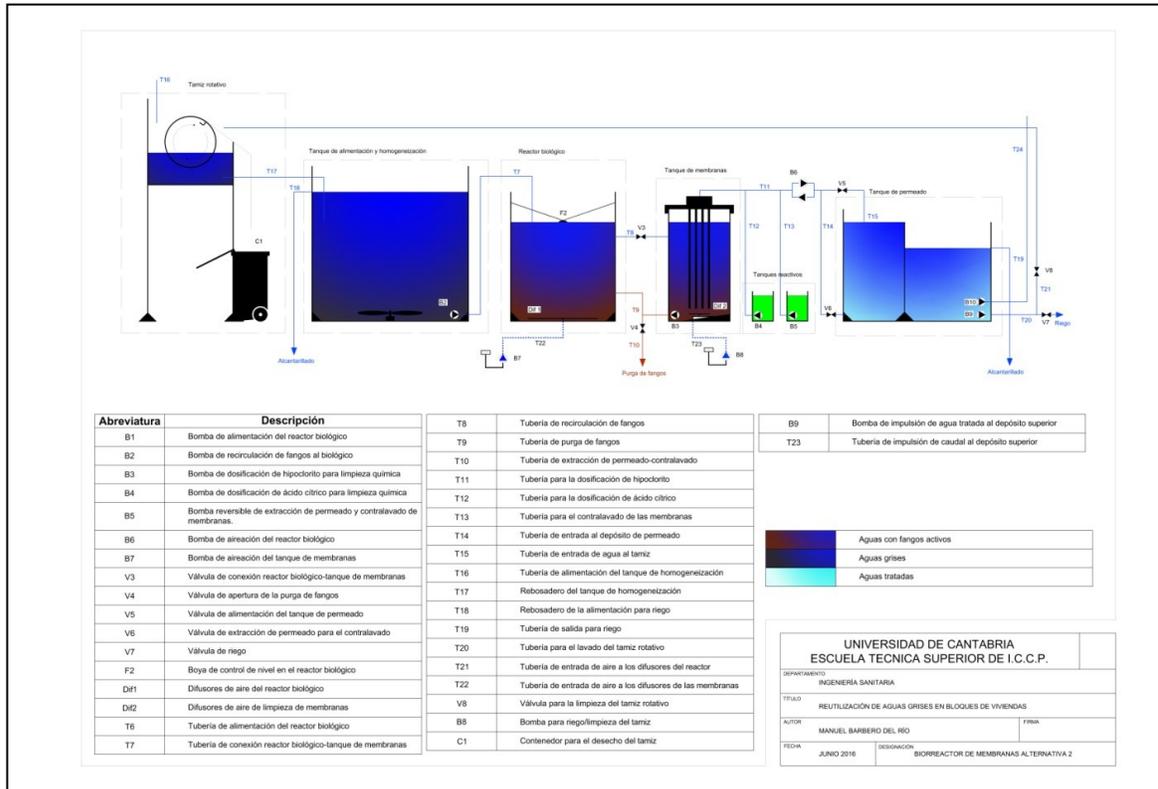


Ilustración 14.- Esquema biorreactor de membranas Alternativa 2

MEDICIONES Y PRESUPUESTO ESTIMATIVO

Precio total tuberías y accesorios	1,148.72 €
Precio total bombas y agitadores	47,200.00 €
Precio total tanques	15,505.40 €
Precio membranas	8,000.00 €
Precio total bombas soplantes y difusores	3,920.00 €
Precio total instalación eléctrica y automatización	6,090.00 €
Total	74,131.42 €
IVA (21%)	15,567.60 €
Beneficio industrial (20%)	14,826.28 €
Precio final	104,525.30 €
Precio final por vivienda	2,488.70 €

Capítulo 1 Descripción de la propuesta.

Índice:

Reutilización directa e intravivienda.....	61
Funcionamiento del sistema:	63
Captación	63
Descarga del inodoro	63
Recarga del inodoro	66
Descarga para riego	67
Limpieza del depósito en periodos de inactividad	67
Sistema de tratamiento colectivo de las aguas del bloque de viviendas	68

INTRODUCCIÓN

El modelo de reutilización de agua doméstica que se va a analizar, es un sistema de MIXTO en cuanto al tratamiento y al uso del agua regenerada, que aprovecha las aguas grises procedentes de la ducha y el lavabo de cada vivienda para rellenar el inodoro, y para el riego de una posible zona verde.

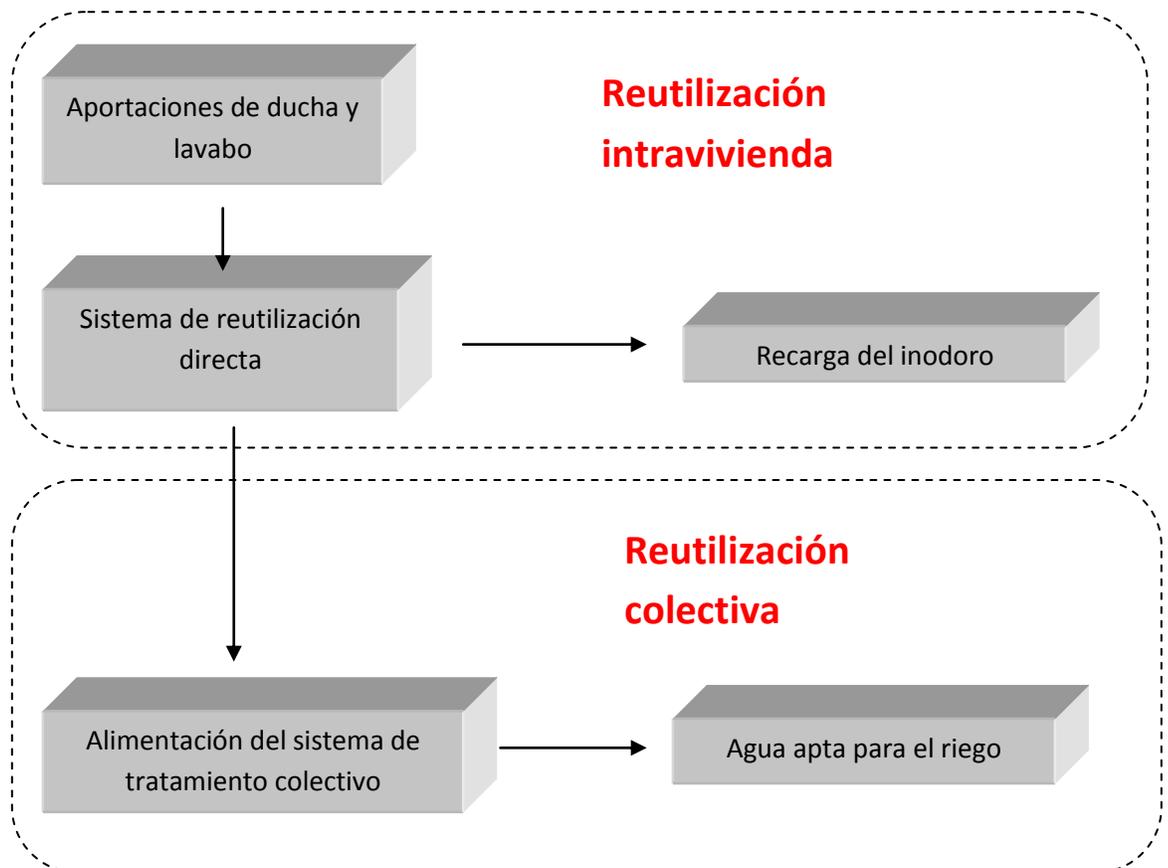
La primera parte es una reutilización directa de aguas grises mediante un sistema local, al tratarse de una reutilización directa, se tendrá que tener especial cuidado en los tiempos de retención máximos que se establecen en la bibliografía, de tal forma que no pudieran aparecer olores desagradables.

La segunda parte del reciclaje es un sistema colectivo, que recoge aguas grises sobrantes de la recarga del inodoro de cada vivienda y mediante un tratamiento, consigue una calidad apta para el riego de una superficie ajardinada.

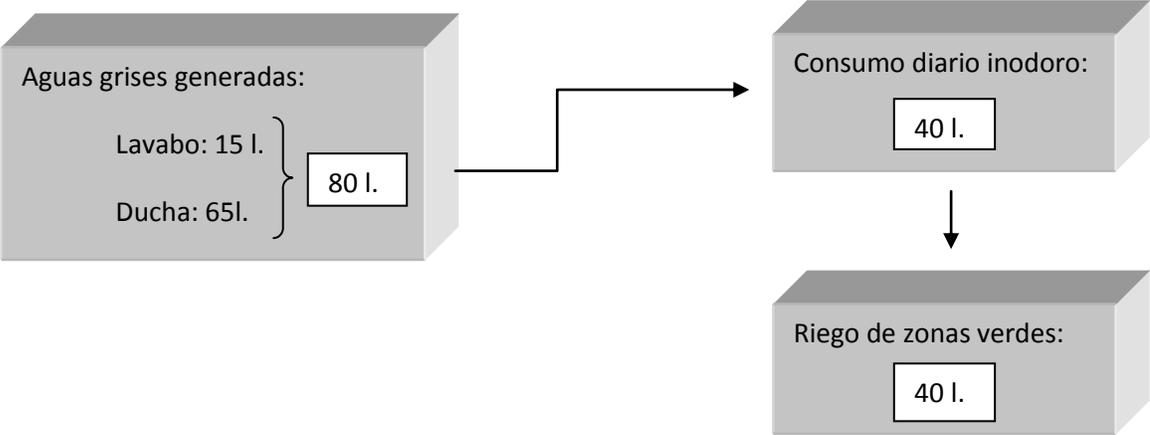
En este apartado se va a presentar detalladamente el sistema de reutilización. Este consta de dos partes:

- 1.-Sistema de reutilización directa e intra-vivienda.
- 2.-Sistema de tratamiento colectivo de las aguas del bloque de viviendas.

El esquema de funcionamiento a priori sería el siguiente:



Y, discretizado para los consumos de un habitante medio:



REUTILIZACIÓN DIRECTA E INTRAVIVIENDA

Este sistema, se basa en la acumulación de agua en un depósito situado en la parte inferior del plato de ducha, y servirá para la recarga del inodoro y para la alimentación del sistema de tratamiento colectivo.

A continuación se presenta una representación en 3D del sistema, seguido de una descripción detallada de cada uno de los elementos que lo componen.

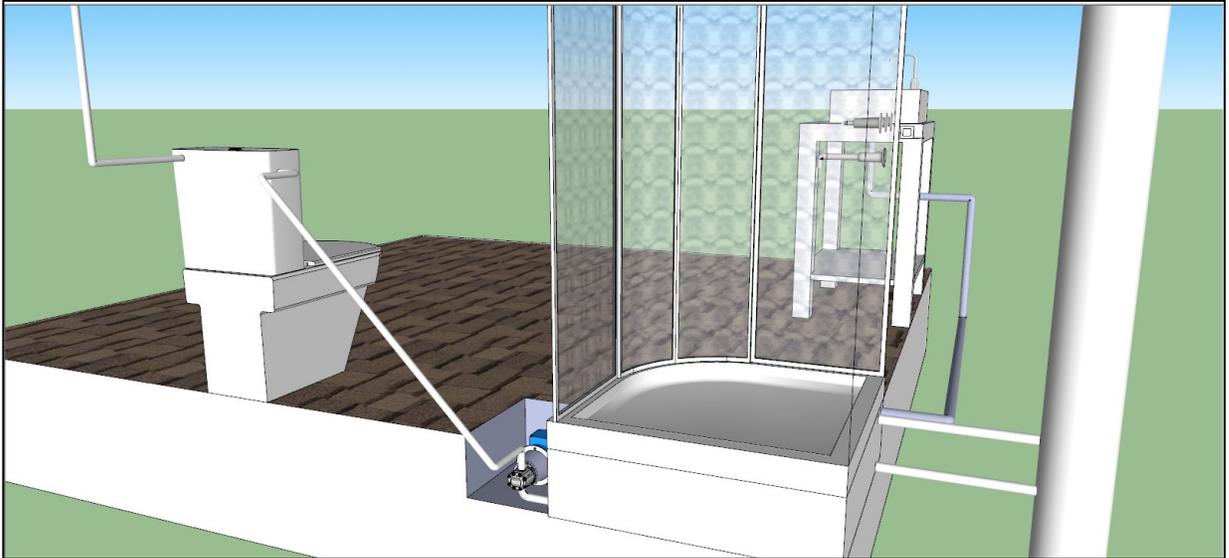


Ilustración 15.-Detalle sistema de reutilización

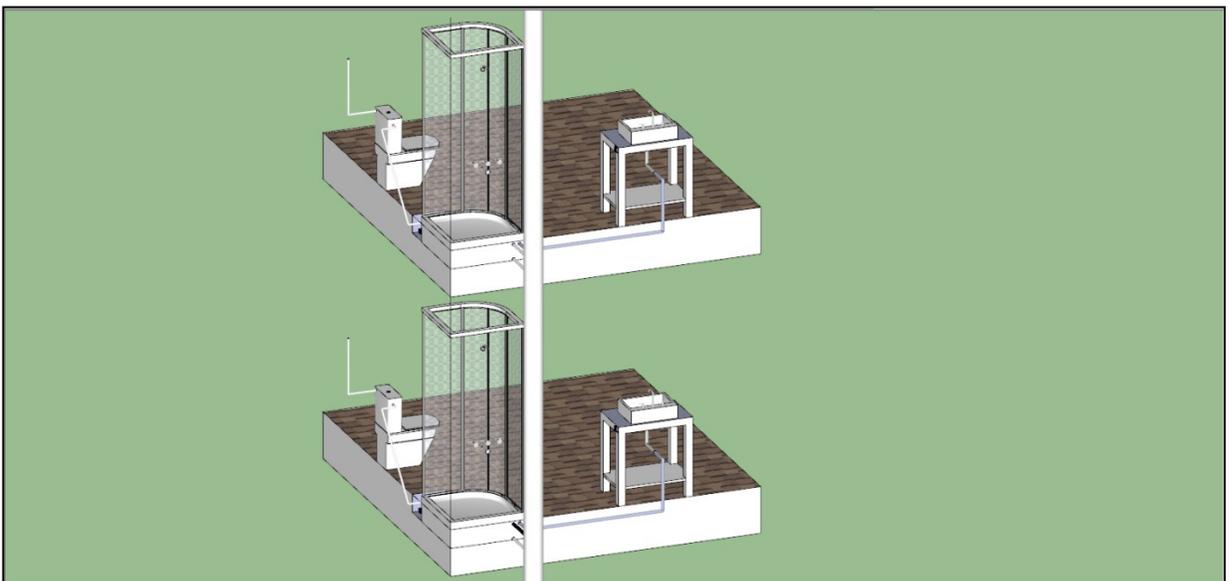


Ilustración 16.-Detalle sistema de reutilización



Ilustración 17.-Detalle sistema de reutilización

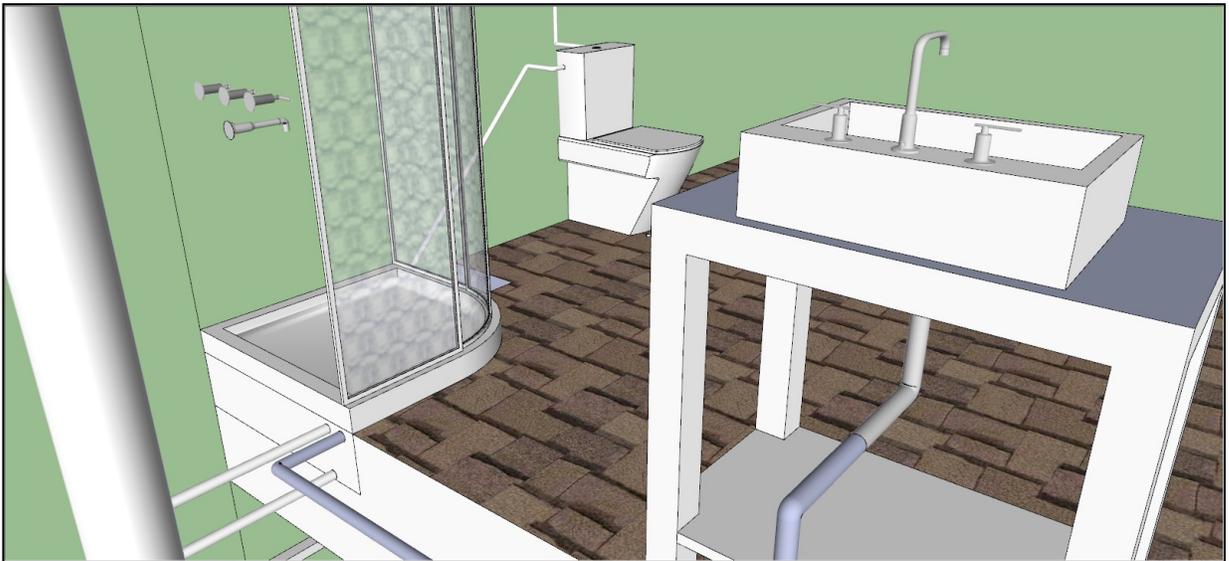


Ilustración 18.-Detalle sistema de reutilización

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA:

A continuación se va a describir como se llevarían a cabo las acciones básicas siguientes:

CAPTACIÓN

La captación del agua se hará mediante un depósito de fibra de vidrio colocado debajo de la ducha a una cota inferior que el suelo. Este depósito almacenará, previo paso por un filtro que retenga sólidos y fibras tipo pelo, el agua procedente de la ducha, así como el agua procedente del lavabo. Tendrá la forma en planta del plato de ducha y el fondo del mismo estará ligeramente inclinado hacia la tubería de evacuación que se mencionará más adelante. Considerando un plato de ducha estándar de 0.8 · 0.8, con una profundidad de 20 cm conseguiríamos un volumen de 100 litros en el mismo, lo cual es aceptable desde un punto de la regulación de caudales punta y aporte continuo al sistema, y además sigue las recomendaciones de AQUA ESPAÑA en lo referente acumulación máxima de agua gris en sistemas individuales.

Es de esperar que la aportación en el depósito (lavabo + ducha) supere a la demanda (inodoro, por ello, y estableciendo que la reutilización prioritaria para esa agua es el inodoro, se dispondrá de un aliviadero con el cual, a partir de una determinada cota, se derivarán los caudales hacia la bajante destinada al llenado del depósito para riego.

Para evitar el almacenamiento de aguas grises durante un largo periodo de tiempo, hecho que podría provocar el desarrollo de microorganismos y olores desagradables, se instalará un programador para controlar la evacuación de las aguas almacenadas en el depósito que actuará en un periodo máximo de 24 horas desde la última descarga del inodoro. Este programador, activará la válvula de desagüe del depósito.

DESCARGA DEL INODORO

La descarga del inodoro se realizará mediante una bomba de agua eléctrica dispuesta a una cota inferior que el suelo y de tal manera que sea accesible desde dentro del cuarto de baño mediante una trampilla, facilitando el mantenimiento o reparación de la misma en caso de avería.

Cuando se pulse el botón de descarga (parcial/completa) del inodoro, esta bomba se activará e impulsará la cantidad de agua que se haya solicitado hacia el inodoro.

Por lo tanto, se sustituye el sistema tradicional de descarga del inodoro por una bomba que impulsa el caudal solicitado directamente.

La situación, a priori poco probable en la que el depósito se quede sin agua para la recarga del inodoro, será detectada mediante una boya en el interior del mismo que activará el paso de agua potable hacia este.

De cara a evitar un posible contacto entre aguas grises y agua potable en la cisterna del inodoro, se dispondrá la tubería de agua potable en una cota superior a la de aguas grises.

Como se puede ver la reutilización de agua en el inodoro es inmediata, y se realiza dentro del cuarto de baño, la reutilización para riego será común para todo el edificio y necesitará de tratamiento que se desarrollará más adelante. Las desventajas de este sistema podrían ser el hecho de que en un momento dado se tuviera que utilizar agua potable para el inodoro, lo cual no es muy probable y las molestias auditivas propias del funcionamiento de una bomba hidráulica.

De manera preliminar se va a calcular el caudal de diseño de la bomba de recarga del inodoro.

Criterios de diseño:

Volumen máximo a impulsar: 4,5 litros.

Tiempo en el que se ha de producir la descarga, se van a estudiar varias posibilidades [2/3/4 segundos].

Tiempo de descarga 2 segundos: $Q_{bomba} = 2.25 \frac{l}{seg} = 8.1 \frac{m^3}{hora}$.

Tiempo de descarga 3 segundos: $Q_{bomba} = 1.5 \frac{l}{seg} = 5.4 \frac{m^3}{hora}$.

Tiempo de descarga 4 segundos: $Q_{bomba} = 1.125 \frac{l}{seg} = 4.05 \frac{m^3}{hora}$.

Se va a escoger una bomba de $5.5 \frac{m^3}{hora}$, con el fin de que la descarga del inodoro se produzca con la mayor brevedad posible y siendo razonables con esta elección.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de esta primera parte del sistema de reutilización.

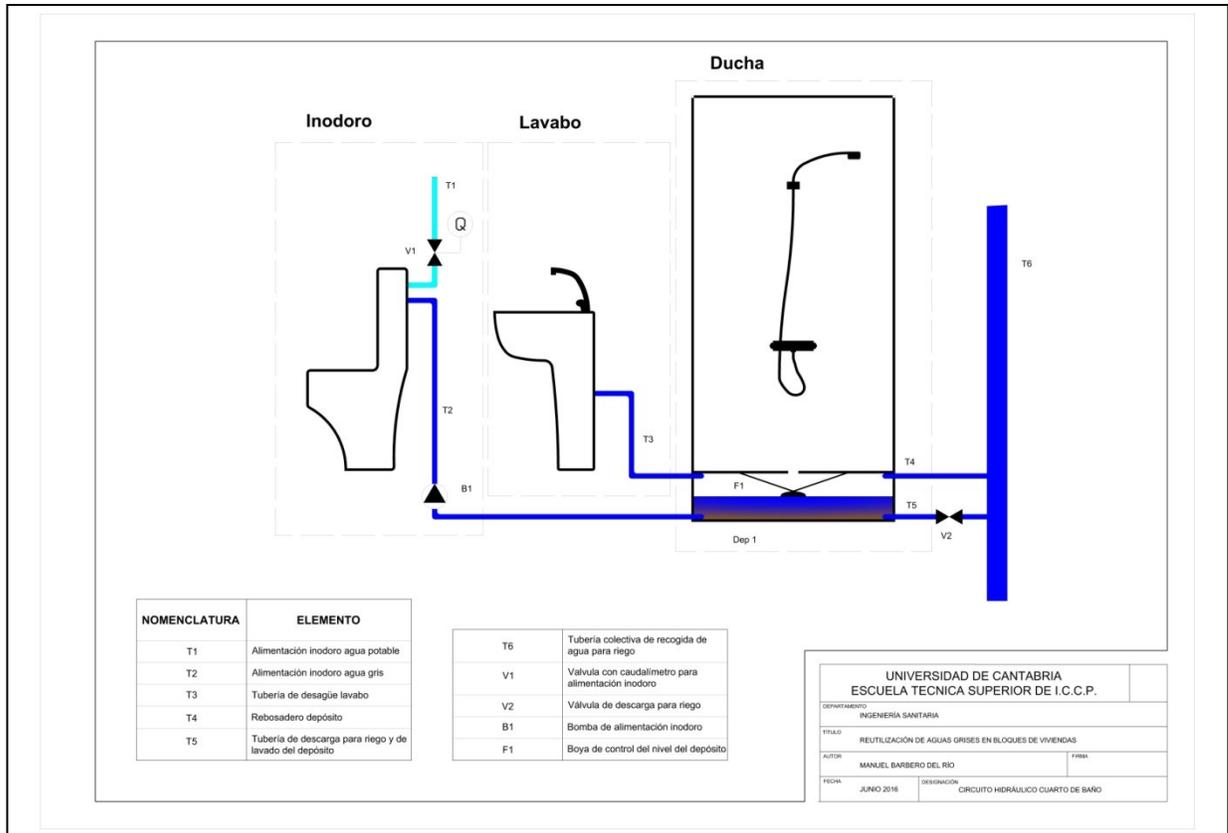


Ilustración 19.-Esquema cuarto de baño Alternativa 1

Nomenclatura	Elemento	Descripción
T1	Alimentación inodoro con agua potable	Tubería conectada a la red de agua potable de la vivienda, la cual aportará agua potable al inodoro en la situación en la que no se satisfaga la demanda del este con agua gris del depósito
T2	Alimentación inodoro con agua gris	Tubería conectada aguas abajo con la bomba de alimentación del inodoro y aguas arriba al depósito del inodoro, esta tubería proporcionará agua al inodoro en una situación de funcionamiento normal.
T3	Tubería de desagüe del lavabo	Tubería de conducción de las aguas del lavabo al depósito de almacenamiento.
T4	Rebosadero depósito	Tubería conectada a una cota fija al depósito de almacenamiento de agua gris y a la tubería de captación para riego, en la situación en la que el volumen del depósito aumente más de lo establecido, actuará como aliviadero de emergencia.
T5	Tubería de descarga para riego y lavado de depósito	Mediante esta tubería se realizará la descarga de agua desde el depósito de almacenamiento de aguas grises hacia captación de agua para riego. Además si se cumple el periodo máximo de retención de agua en el depósito, actuará como desagüe del mismo.
T6	Tubería colectiva de	Esta tubería conectará las tuberías de descarga del

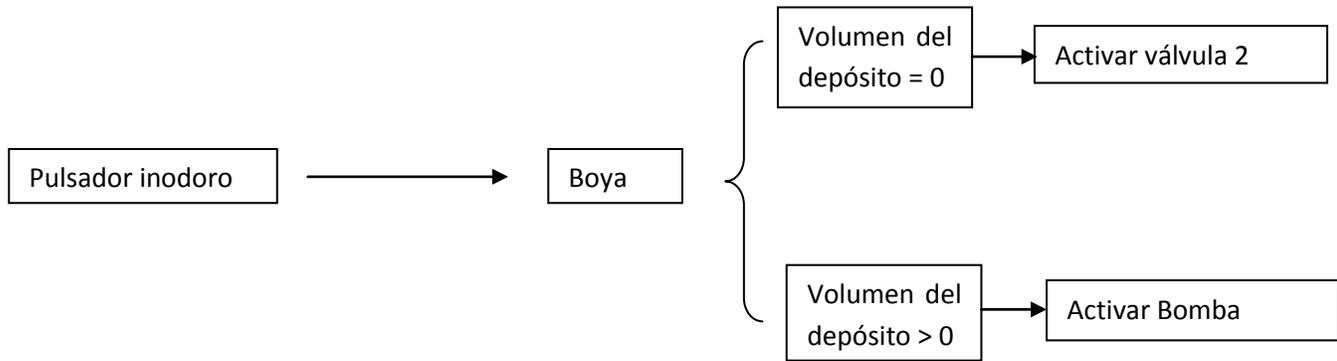
Nomenclatura	Elemento	Descripción
V1	recogida de agua para riego	depósito de cada una de las viviendas a la entrada del sistema de tratamiento de agua.
	Válvula con caudalímetro para la alimentación del inodoro	Esta válvula es la encargada de suministrar agua potable al inodoro en situaciones de escasez de agua gris en el depósito, consta de un caudalímetro mediante el cual se controla la descarga que se haya solicitado desde el pulsador (completa/parcial).
V2	Válvula de paso de agua al sistema de tratamiento y evacuación del depósito	Esta válvula estará controlada por la boya interior al depósito de almacenamiento de aguas grises, y a una hora fija del día evacuará el volumen almacenado en dicho depósito hacia la tubería de captación del sistema de tratamiento. Además, se activará 24 horas después de la última descarga del inodoro con el propósito de evitar el almacenamiento de agua gris durante un tiempo excesivo.
B1	Bomba de alimentación del inodoro	Esta bomba, conectada aguas abajo con el depósito de almacenamiento de aguas grises y aguas arriba con la tubería de recarga del inodoro, impulsará la cantidad de agua solicitada con el pulsador de descarga. El funcionamiento de la misma estará controlado por la boya que activará esta solo en el caso de que exista agua gris en el depósito.
F1	Boya de control	Esta boya monitorizará el nivel de agua en el depósito de almacenamiento de aguas grises, y controlará el funcionamiento de los distintos elementos que comprenden el sistema.
Dep 1	Depósito de almacenamiento de aguas grises	Este depósito almacenará las agua grises provenientes de la ducha e inodoro y tendrá un volumen máximo determinado por la tubería 4 que actúa como rebosadero y un volumen mínimo que se determinará más adelante que servirá para garantizar la disponibilidad de agua gris para el inodoro tras efectuarse la descarga para el sistema de tratamiento.

Tabla 15.-Descripción y resumen elementos cuarto de baño Alternativa 1

El diseño del funcionamiento de la bomba y válvulas controladas electrónicamente, excede el carácter de este trabajo, aun así a continuación se mostrará un esquema de dicho funcionamiento para las acciones básicas:

RECARGA DEL INODORO

Esta acción se iniciará mediante el pulsador de descarga del inodoro, en una de sus dos variantes, descarga parcial o completa. Si la boya detecta que existe volumen suficiente en el depósito para la recarga del inodoro se activará la bomba que impulsará el volumen solicitado, si no es así se activará la válvula 2 que introducirá en el inodoro la cantidad de agua potable solicitada mediante el pulsador.



DESCARGA PARA RIEGO

Esto se realizará a una hora fija todos los días que se determinará más adelante.

La válvula 2 se activará evacuando así el agua almacenada durante el día en el depósito, hasta que la boya detecte que el nivel en el mismo corresponde al volumen mínimo que se escogerá mas adelante con el criterio de satisfacer la demanda del inodoro.

LIMPIEZA DEL DEPÓSITO EN PERIODOS DE INACTIVIDAD

Habiendo transcurrido 24 horas desde la última descarga del inodoro, se activará la válvula 2 que evacuará el volumen acumulado en el mismo.

SISTEMA DE TRATAMIENTO COLECTIVO DE LAS AGUAS DEL BLOQUE DE VIVIENDAS

Como se ha explicado, el sistema de tratamiento de agua para riego debe proporcionar un efluente que cumpla con los requisitos expuestos en la legislación, además debe ser reducido de tamaño, ya que este se va a situar en un recinto auxiliar a un bloque de viviendas y los olores y ruidos provocados deben ser inexistentes.

Conforme a estos requisitos expuestos, y habiendo consultado diferentes publicaciones se va a proponer un sistema de tratamiento llamado biorreactor de membranas (MBR) en sus siglas en inglés.

Un biorreactor de membranas es una modificación del proceso de fangos activos para el tratamiento de aguas, donde la separación del fango se realiza mediante filtración mediante membranas, en sustitución de la decantación secundaria, obteniéndose un efluente de mayor calidad y prácticamente libre de sólidos en suspensión y microorganismos.

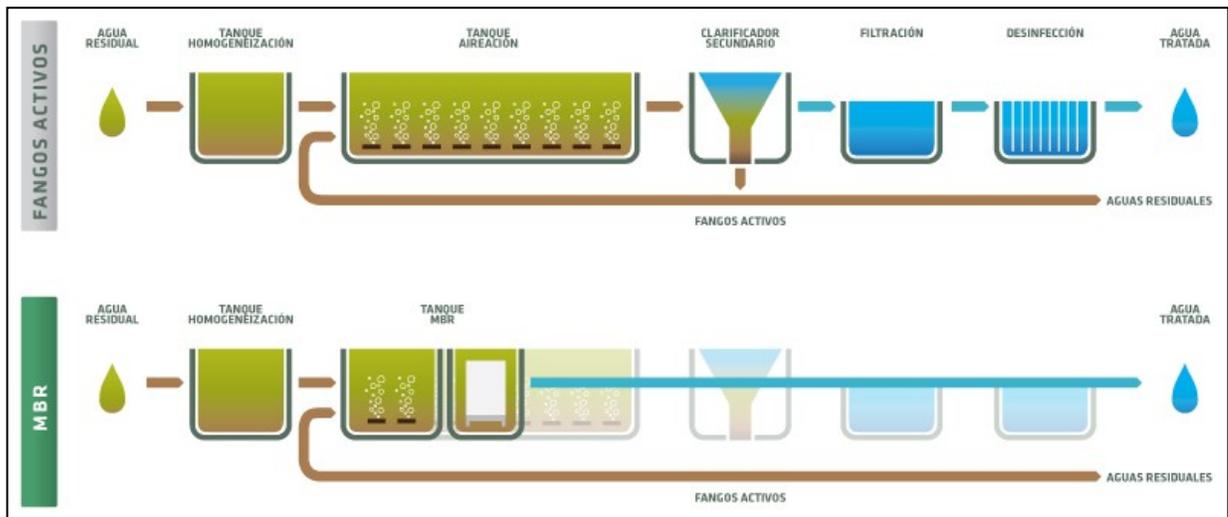


Ilustración 20.- Esquema comparativo de un biorreactor de membranas. Fuente (Europa MBR).

En este proceso se dan las mismas operaciones y fases que en un proceso convencional de fangos activos: oxidación biológica, separación sólido-líquido, recirculación de fangos y purga de fangos en exceso.

La publicación del CEDEX “Guía Técnica para la implantación de biorreactores de membrana” proporciona una tabla donde se expone la calidad del efluente de diversas instalaciones.

Parámetro	Rango habitual
Sólidos en suspensión	1-5 mg/l
DBO ₅	1-5 mg/l
N total	4.5-1.5 mg/l
P total	1-5 mg/l
Turbidez	0.6-1.5 NTU
E.Coli	Ausencia

Tabla 16.- Parámetros típicos efluente MBR

Además expone la gran fiabilidad de estos sistemas en cuanto a la eliminación de microorganismos patógenos, por lo que estaríamos hablando de desinfección en base al RD 1620/2007, que establece como criterio para esta la ausencia de E.Coli.

La reducción de la superficie de implantación de estos sistemas está garantizada en base a la eliminación de la decantación secundaria y a las altas concentraciones de sólidos suspendidos en el licor mezcla a las que permite trabajar el sistema con lo que se reduce significativamente el volumen del reactor biológico.

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

Índice:

Introducción	75
Muestra 1	76
Muestra 2	80
Muestra 3	84
Muestra 4	88
Muestra 5	92
Muestra 6	96
Muestra 7	100
Muestra 8	104
Muestra 9	108
Muestra 10	112
Muestra 11	116
Muestra 12	120
Muestra 13	124
Muestra 14	128
Muestra 15	132
Análisis global de los datos obtenidos	136
Análisis conjunto de los consumos diarios	136
Frecuencia de uso de los elementos	138
Determinación de los caudales de diseño para la vivienda modelo .	140

INTRODUCCIÓN

Para la recogida de datos se han repartido a diferentes personas unos formularios tipo.

Estos formularios constan de dos columnas, inodoro y ducha en las que se anotan los usos de estos elementos en períodos de media hora durante 14 días consecutivos. Y representarán la frecuencia de uso del inodoro/ducha de cada persona en el cuarto o cuartos de baño de su vivienda principal.

También constan de una tabla llamada “test de caudal de ducha” donde se va a intentar medir de una manera sencilla el caudal de la ducha.

Estos formularios van a servir para hacernos una idea concreta de la frecuencia de uso que cada usuario hace de estos elementos.

Hay que señalar, que esta encuesta asume periodos en los que el cuarto de baño no es utilizado, tales como vacaciones o fines de semana.

No se ha visto necesario realizar una encuesta sobre el uso de lavabo, dada la dificultad del mismo y ya que este consumo total apunta a que será muy pequeño en comparación con los otros dos. Se ha estimado que un uso razonable del lavabo puede ser 5 litros por persona y día, y se ha fraccionado su aplicación en tres franjas horarias [(8:00)/(15:30)/(23:00)] que se corresponden con los usos que generalmente se le da a este dispositivo (aseo e higiene personal). Este consumo de agua, lógicamente está aplicado únicamente en los días donde se muestra actividad en la vivienda.

En este anejo se expondrán los datos recogidos, una breve descripción de los encuestados, así como resúmenes y gráficas correspondientes a la frecuencia de uso de cada uno de los elementos.

Al final del anejo y como resumen se expondrán diversas estadísticas conjuntas de todas las muestras, para determinar la validez de los datos recogidos, hacernos una idea más global de los hábitos de uso de los elementos del cuarto de baño y poder tomar decisiones respecto al diseño de algunos elementos del sistema de reutilización. Además se determinarán varios aspectos fundamentales a la hora del diseño como son el caudal medio y máximo tanto de la ducha como del lavabo por tipo de vivienda.

MUESTRA 1

El primer muestreo se ha llevado a cabo en una vivienda de alquiler con un único cuarto de baño en la que viven dos estudiantes que acostumbran a viajar los fines de semana.

El cuarto de baño dispone de bañera, que es utilizada como ducha y un inodoro antiguo con un depósito de alta capacidad.

PERIODO DE ESTUDIO	
FECHA INICIO	11/11/2015
FECHA FINAL	24/11/2015

Test de caudal de ducha							
	Volumen 1 litro			Volumen 2 litros			
Tiempos (Seg)	7.84	7.09	7.56	16.27	16.08	15.1	15.22
Caudal	7.65	8.46	7.94	7.38	7.46	7.95	7.88
Media litros/min	7.82						

Para medir el caudal de la ducha con el agua caliente encendida, se han tomado 7 muestras, en las que se midió el tiempo que se tardaban en llenar recipientes de 1 y 2 litros. Con estos tiempos, se obtiene el caudal, del que se hará una media de entre todas las medidas.

Volumen depósito inodoro:

Se ha medido la capacidad de dicho depósito la cual resulta 9 litros.

Los datos obtenidos de la encuesta, son los siguientes:

Aunque el inodoro sobre el que está hecha esta encuesta, sea antiguo y no disponga de un sistema de descarga parcial, se han anotado las situaciones en las que esta se produciría para realizar, después una simulación de uso del sistema de reutilización.

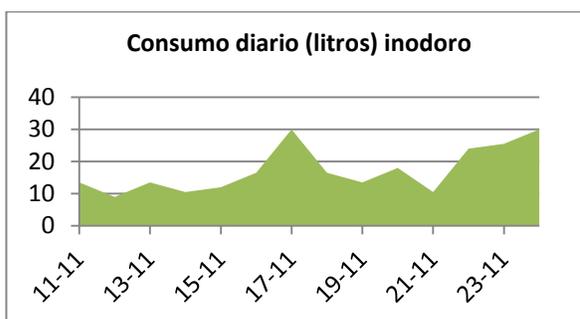
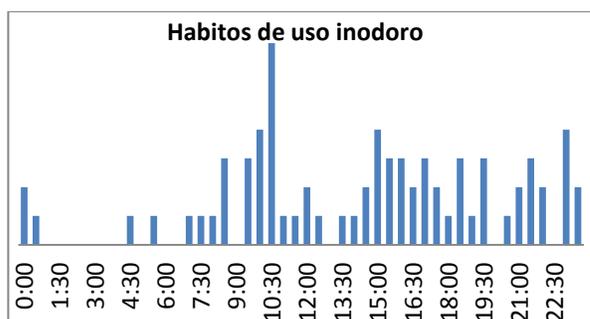
Usos del inodoro:

“p” representa el equivalente a una descarga parcial del inodoro.

“c” representa una descarga completa.

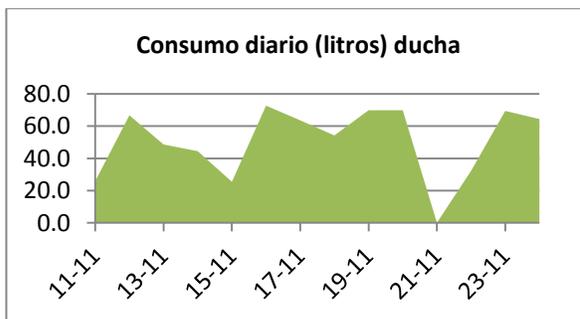
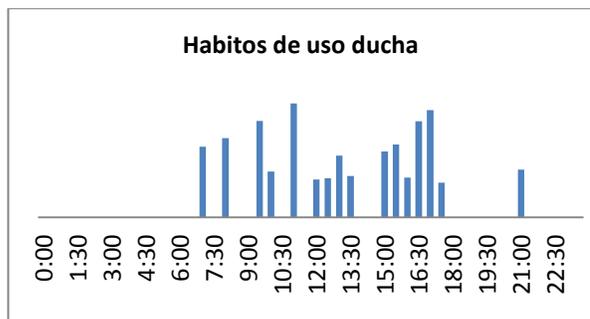
RESUMEN DE USOS DEL INODORO

Nº Descargas	73	
Parciales	57	
Completas	16	
Consumo Total	243	litros
Consumo medio (días activos)	17.4	litros/día
Consumo medio total	17.4	litros/día
Media diaria/pax	8.7	litros/persona y día
Media diaria/pax	8.7	litros/persona y día



RESUMEN DE USO DE LA DUCHA

Nº usos	22	
Tiempo total	90.5	
Consumo Total	707.1	litros
Media diaria (días activos)	54.4	litros/día
Media diaria/pax (días activos)	27.2	litros/persona y día
Media diaria (total días)	50.5	litros/día
Media diaria/pax (total días)	25.3	litros/persona y día
Media ducha	32.1	litros/ducha



Datos inodoro muestra 1

	11-11	12-11	13-11	14-11	15-11	16-11	17-11	18-11	19-11	20-11	21-11	22-11	23-11	24-11
0:00	p													p
0:30			p											
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30								p						
5:00														
5:30					p									
6:00														
6:30														
7:00									p					
7:30							p							
8:00	p													
8:30								p	c	p				
9:00														
9:30							p			p				p
10:00		p					c						c	c
10:30		p		c	p				p		c	c	p	
11:00						p								
11:30			c											
12:00					p									p
12:30	c													
13:00														
13:30													p	
14:00				p										
14:30														pp
15:00							pc	p			p			
15:30									p	c			p	
16:00							p						p	c
16:30			p									p		
17:00		p				p							p	
17:30						c		c						
18:00												c		
18:30						p				c	p			
19:00												p		
19:30							p			p			p	
20:00														
20:30												p		
21:00												p		p
21:30				p			p							p
22:00			p		p									
22:30														
23:00	p					p		p				p		
23:30							p						p	

Datos ducha muestra 1

	11-11	12-11	13-11	14-11	15-11	16-11	17-11	18-11	19-11	20-11	21-11	22-11	23-11	24-11
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														
6:30														
7:00									365					
7:30														
8:00	198							211						
8:30														
9:00														
9:30										330				168
10:00								236						
10:30														
11:00		210					378							
11:30														
12:00					195									
12:30			203											
13:00													319	
13:30													214	
14:00														
14:30														
15:00				341										
15:30									171	206				
16:00								205						
16:30			170											326
17:00		302						252						
17:30						180								
18:00														
18:30														
19:00														
19:30														
20:00														
20:30														
21:00												247		
21:30														
22:00														
22:30														
23:00														
23:30														

MUESTRA 2

Este muestreo se ha llevado a cabo en una vivienda de alquiler con un único cuarto de baño en la que viven dos estudiantes que acostumbran a viajar los fines de semana.

El cuarto de baño dispone de bañera, que es utilizada como ducha y un inodoro antiguo con un depósito de alta capacidad.

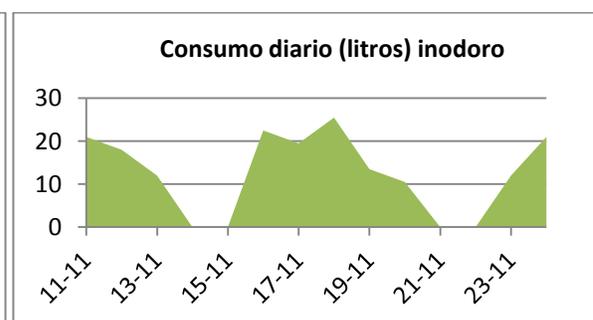
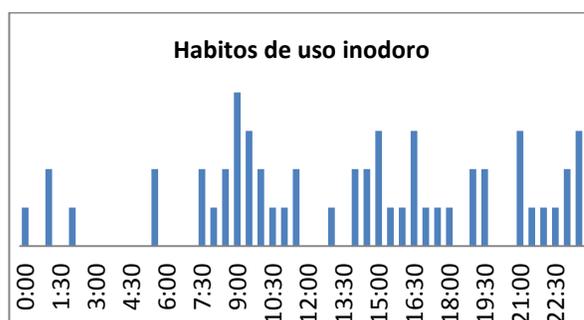
PERIODO DE ESTUDIO	
FECHA INICIO	11/11/2015
FECHA FINAL	24/11/2015

CAUDAL DE LA DUCHA (AGUA CALIENTE)

Test de caudal de ducha							
	Volumen 1 litro		Volumen 2 litros				
Tiempos (Seg)	7.84	7.09	7.56	16.27	16.08	15.1	15.22
Caudal	7.65	8.46	7.94	7.38	7.46	7.95	7.88
Media litros/min	7.82						

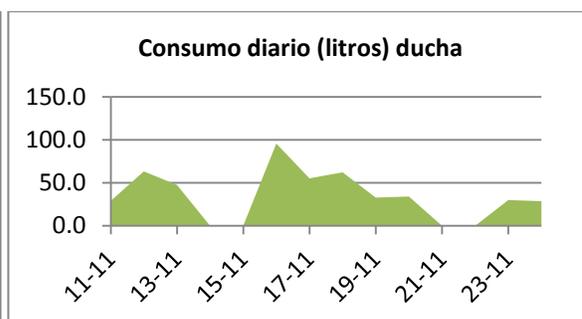
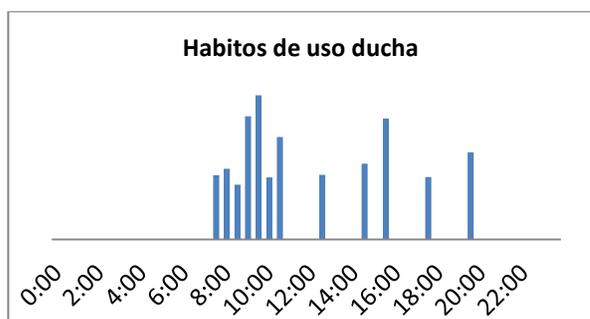
RESUMEN DE USOS DEL INODORO

Nº Descargas	55	
Parciales	48	
Completas	7	
Consumo Total	175.5	litros
Consumo medio (días activos)	17.6	litros/día
Consumo medio total	12.5	litros/día
Media diaria/pax	8.8	litros/persona y día
Media diaria/pax	6.3	litros/persona y día



RESUMEN DE USOS DE LA DUCHA

Nº usos	16	
Tiempo total	61.3	
Consumo Total	478.8	litros
Media diaria (días activos)	47.9	litros/día
Media diaria/pax (días activos)	23.9	litros/persona y día
Media diaria (total días)	34.2	litros/día
Media diaria/pax (total días)	17.1	litros/persona y día
Media ducha	29.9	litros/ducha



DATOS INODORO

	11-11	12-11	13-11	14-11	15-11	16-11	17-11	18-11	19-11	20-11	21-11	22-11	23-11	24-11
0:00							p							
0:30														
1:00	p									p				
1:30														
2:00													p	
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30								p						p
6:00														
6:30														
7:00														
7:30							p		p					
8:00	p													
8:30							c		c					
9:00			p			p			c	pc				
9:30	p					p		c						
10:00		p	p											
10:30														c
11:00		p												
11:30		p											p	

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 2

	11-11	12-11	13-11	14-11	15-11	16-11	17-11	18-11	19-11	20-11	21-11	22-11	23-11	24-11
12:00														
12:30														
13:00								p						
13:30														
14:00						p			p					
14:30						c								p
15:00	p		p										p	
15:30														c
16:00		p												
16:30	p		p					p						
17:00								p						
17:30	p													
18:00						p								
18:30														
19:00							p	p						
19:30		p												p
20:00														
20:30														
21:00		p				p							p	
21:30							p							
22:00								p						
22:30							p							
23:00						p		p						
23:30	p								p					p

DATOS DUCHA

	11-11	12-11	13-11	14-11	15-11	16-11	17-11	18-11	19-11	20-11	21-11	22-11	23-11	24-11
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														
6:30														
7:00														
7:30							229							
8:00								252						
8:30							195							
9:00		176							262					
9:30						245		268						
10:00			221											

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 2

	11-11	12-11	13-11	14-11	15-11	16-11	17-11	18-11	19-11	20-11	21-11	22-11	23-11	24-11
10:30			145											220
11:00														
11:30														
12:00														
12:30													230	
13:00														
13:30														
14:00														
14:30						270								
15:00														
15:30						220		210						
16:00														
16:30														
17:00														
17:30	222													
18:00														
18:30														
19:00														
19:30		310												
20:00														
20:30														
21:00														
21:30														
22:00														
22:30														
23:00														

MUESTRA 3

Este muestreo se ha llevado a cabo en una vivienda con un único cuarto de baño cuyo propietario vive solo pero recibe visitas a menudo. Trabaja en casa y no suele realizar viajes, por lo que pasa mucho tiempo en su hogar.

El cuarto de baño fue reformado en el año 2010 y cuenta con un plato de ducha, lavabo y un inodoro que permite realizar descargas parciales y completas.

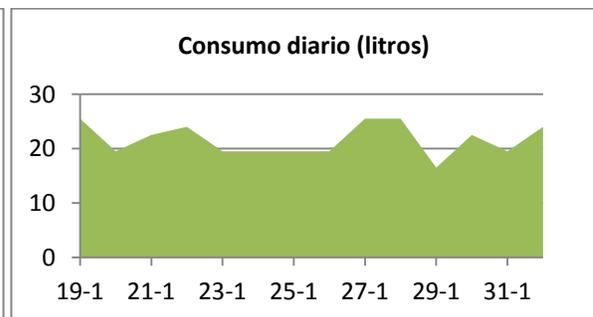
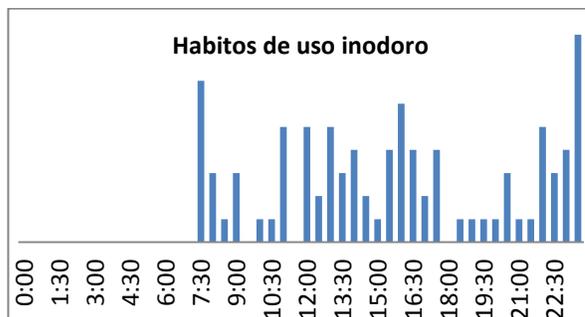
PERIODO DE ESTUDIO	
FECHA INICIO	19/01/2016
FECHA FINAL	02/02/2016

CAUDAL DE LA DUCHA (AGUA CALIENTE)

Test de caudal de ducha							
	Volumen 1 litro			Volumen 2 litros			
Tiempos (Segundos)	7.88	8.01	8.33	17.11	17.58	16.32	16.27
Caudal	7.61	7.49	7.20	7.01	6.83	7.35	7.38
Media litros/min	7.27						

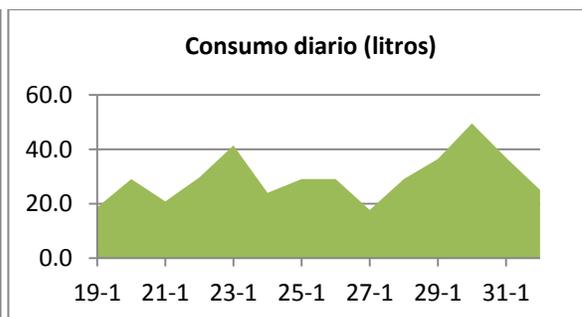
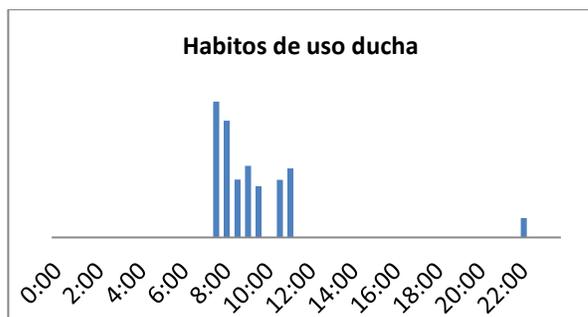
RESUMEN DE USOS DEL INODORO

Nº Descargas	93	
Parciales	77	
Completas	16	
Consumo Total	303	litros
Consumo medio (días activos)	21.6	litros/día
Consumo medio total	21.6	litros/día
Media diaria/pax	21.6	litros/persona y día
Media diaria/pax	21.6	litros/persona y día



RESUMEN DE USOS DE LA DUCHA

Nº usos	15	
Tiempo total	57.3	
Consumo Total	416.6	litros
Media diaria (días activos)	29.8	litros/día
Media diaria/pax (días activos)	29.8	litros/persona y día
Media diaria (total días)	29.8	litros/día
Media diaria/pax (total días)	29.8	litros/persona y día
Media ducha	27.8	litros/ducha



DATOS INODORO

	19-1	20-1	21-1	22-1	23-1	24-1	25-1	26-1	27-1	28-1	29-1	30-1	31-1	1-2
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														
6:30														
7:00														
7:30	p	c	p				P		P		p			P
8:00				p				P		p				
8:30						p								
9:00	c						P						p	
9:30														

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 3

	19-1	20-1	21-1	22-1	23-1	24-1	25-1	26-1	27-1	28-1	29-1	30-1	31-1	1-2
10:00														c
10:30					P									
11:00	p			c		c			c			p		
11:30														
12:00			p	p				p		p		c		
12:30	p				p									
13:00		p				p				c	p		p	
13:30	p		p											p
14:00					c				p			p	p	
14:30		p						c						
15:00										p				
15:30			c	p					p					c
16:00	p					p				p		p	c	p
16:30		p	p				c				c			
17:00				c	p									
17:30							p		p				p	P
18:00														
18:30											p			
19:00								p						
19:30		p												
20:00												p		
20:30	p			p					p					
21:00										p				
21:30			p											
22:00						p	p	p	p			p		
22:30		P			p					p				
23:00			p					p			P	p		
23:30	p			p	p	P	P		p	p			p	P

DATOS DUCHA

	19-1	20-1	21-1	22-1	23-1	24-1	25-1	26-1	27-1	28-1	29-1	30-1	31-1	1-2
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 3

	19-1	20-1	21-1	22-1	23-1	24-1	25-1	26-1	27-1	28-1	29-1	30-1	31-1	1-2
6:30														
7:00														
7:30	154		172				240			240				
8:00		240		245										207
8:30						198			146					
9:00								124			301			
9:30													305	
10:00														
10:30					342									
11:00												409		
11:30														
12:00														
12:30														
13:00														
13:30														
14:00														
14:30														
15:00														
15:30														
16:00														
16:30														
17:00														
17:30														
18:00														
18:30														
19:00														
19:30														
20:00														
20:30														
21:00														
21:30														
22:00									116					
22:30														
23:00														
23:30														

MUESTRA 4

Este muestreo se ha llevado a cabo en una vivienda en la que habita una pareja que suele hacer vida en casa.

La vivienda cuenta con un cuarto de baño que consta de una bañera utilizada mayormente como ducha, lavabo e inodoro con sistema de descarga parcial y completa.

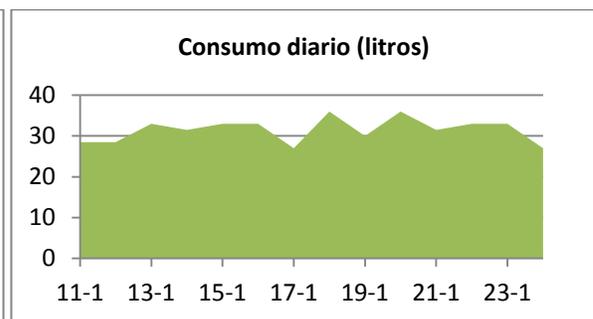
PERIODO DE ESTUDIO	
FECHA INICIO	11/01/2016
FECHA FINAL	25/01/2016

CAUDAL DE LA DUCHA (AGUA CALIENTE)

Test de caudal de ducha							
	Volumen 1 litro		Volumen 2 litros				
Tiempos (Segundos)	8.02	7.93	8.63	17.52	16.94	16.22	16.03
Caudal	7.48	7.57	6.95	6.85	7.08	7.40	7.49
Media litros/min	7.26						

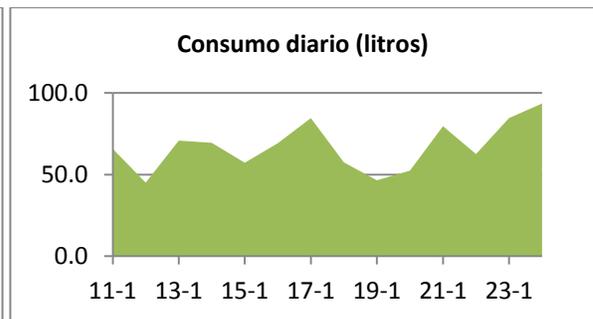
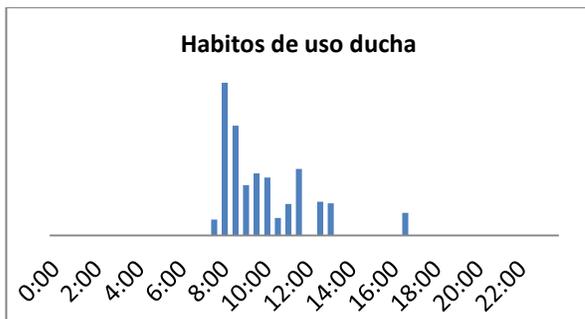
RESUMEN DE USOS DEL INODORO

Nº Descargas	134	
Parciales	108	
Completas	26	
Consumo Total	441	litros
Consumo medio (días activos)	31.5	litros/día
Consumo medio total	31.5	litros/día
Media diaria/pax	15.8	litros/persona y día
Media diaria/pax	15.8	litros/persona y día



RESUMEN DE USO DE LA DUCHA

Nº usos	28	
Tiempo total	129.3	
Consumo Total	938.7	litros
Media diaria (días activos)	67.0	litros/día
Media diaria/pax (días activos)	33.5	litros/persona y día
Media diaria (total días)	67.0	litros/día
Media diaria/pax (total días)	33.5	litros/persona y día
Media ducha	33.5	litros/ducha



DATOS INODORO

	11-1	12-1	13-1	14-1	15-1	16-1	17-1	18-1	19-1	20-1	21-1	22-1	23-1	24-1
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														
6:30														
7:00														
7:30	pp		p	p	p			p		p	p	p		
8:00		p		c	p			c	p	p		p		
8:30		p	p											
9:00	p										c			
9:30							p		pp					p

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 4

	11-1	12-1	13-1	14-1	15-1	16-1	17-1	18-1	19-1	20-1	21-1	22-1	23-1	24-1
10:00						c								
10:30						p				c				
11:00		p	c				p				p	c	c	
11:30													p	
12:00		c			p			p		p		p		c
12:30						p	p				p			
13:00	p		p		p					c				p
13:30				p		p		p			p			
14:00	p	p					c	p					p	
14:30					c							p		
15:00			c	p						p			c	
15:30					c	c	c	c				p	p	
16:00	c	p	p	c		p				p	p			p
16:30								p						c
17:00				p			p		cp		p	c		
17:30	p		p			pp							p	
18:00									p					
18:30														p
19:00					p									
19:30								p						
20:00		p		p	p				p					
20:30											p	p	p	
21:00										pp				
21:30								p	c			p		
22:00		p	p		p								p	
22:30							p		p	p				
23:00	p	p		cp	p			p			p		p	pp
23:30	p		pp			pp	p	p		p	p	p	p	

DATOS DUCHA

	11-1	12-1	13-1	14-1	15-1	16-1	17-1	18-1	19-1	20-1	21-1	22-1	23-1	24-1
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 4

	11-1	12-1	13-1	14-1	15-1	16-1	17-1	18-1	19-1	20-1	21-1	22-1	23-1	24-1
6:30														
7:00														
7:30					192									
8:00	261		381	183				302	190	195		300		
8:30		173		391	281			173			284			
9:00		199	204						194					
9:30	283									238		217		
10:00							317							371
10:30						210								
11:00											374			
11:30						362							428	
12:00														
12:30														402
13:00							382							
13:30														
14:00														
14:30														
15:00														
15:30														
16:00														
16:30													271	
17:00														
17:30														
18:00														
18:30														
19:00														
19:30														
20:00														
20:30														
21:00														
21:30														
22:00														
22:30														
23:00														
23:30														

MUESTRA 5

Piso de estudiantes en el que conviven dos personas. Algún fin de semana al mes vuelven a casa de sus padres.

El cuarto de baño consta de una bañera que suele utilizarse como ducha, lavabo e inodoro con opción a descarga parcial o completa.

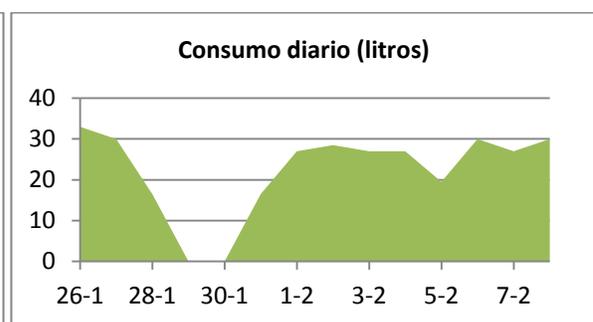
PERIODO DE ESTUDIO	
FECHA INICIO	26/01/2016
FECHA FINAL	09/02/2016

CAUDAL DE LA DUCHA (AGUA CALIENTE)

Test de caudal de ducha							
	Volumen 1 litro		Volumen 2 litros				
Tiempos (Segundos)	7.01	6.73	7.19	15.39	15.83	14.99	14.64
Caudal	8.56	8.92	8.34	7.80	7.58	8.01	8.20
Media litros/min	8.20						

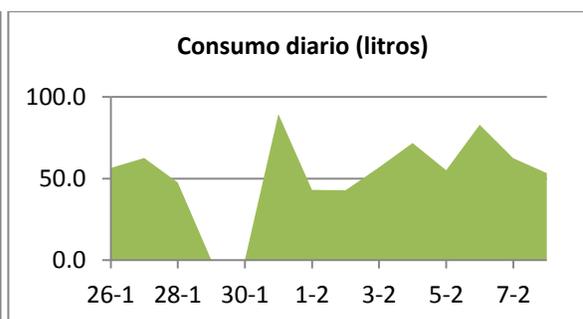
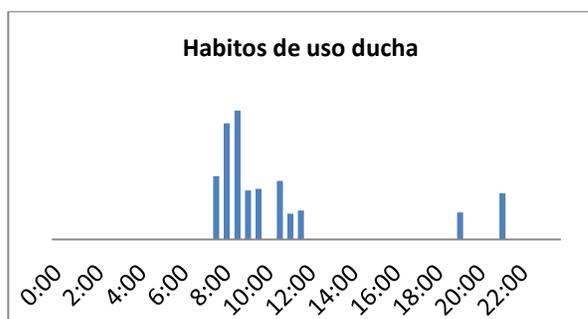
RESUMEN DE USOS DEL INODORO

Nº Descargas	94	
Parciales	74	
Completas	20	
Consumo Total	312	litros
Consumo medio (días activos)	26.0	litros/día
Consumo medio total	22.3	litros/día
Media diaria/pax	13.0	litros/persona y día
Media diaria/pax	11.1	litros/persona y día



RESUMEN DE USO DE LA DUCHA

Nº usos	24	
Tiempo total	88.3	
Consumo Total	724.3	litros
Media diaria (días activos)	60.4	litros/día
Media diaria/pax (días activos)	30.2	litros/persona y día
Media diaria (total días)	51.7	litros/día
Media diaria/pax (total días)	25.9	litros/persona y día
Media ducha	30.2	litros/ducha



DATOS INODORO

	26-1	27-1	28-1	29-1	30-1	31-1	1-2	2-2	3-2	4-2	5-2	6-2	7-2	8-2
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														
6:30														
7:00														
7:30	p							p	p					p
8:00	p		c							c			p	
8:30		p							c					p
9:00	c	c	p				p	c		p			c	
9:30											c			

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 5

	26-1	27-1	28-1	29-1	30-1	31-1	1-2	2-2	3-2	4-2	5-2	6-2	7-2	8-2
10:00							c							
10:30												p		
11:00			p					p			p		p	
11:30														
12:00	p								p			c		
12:30		p								p				
13:00										p				c
13:30			p				p	pp			p			
14:00		p												p
14:30						p						p	p	
15:00	c						p							
15:30		c								c	p	c		c
16:00	p					c	c							
16:30			p											
17:00												p		
17:30	p	p						p						
18:00									p					
18:30							p						p	
19:00												p		
19:30						p		p						p
20:00												p		
20:30														
21:00	p	p							pp	p				
21:30														
22:00							p						c	p
22:30		pp				p		p	c	p	p			
23:00	p										p	p	p	
23:30	p					p	p	p	p	p		p	p	pp

DATOS DUCHA

	26-1	27-1	28-1	29-1	30-1	31-1	1-2	2-2	3-2	4-2	5-2	6-2	7-2	8-2
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 5

	26-1	27-1	28-1	29-1	30-1	31-1	1-2	2-2	3-2	4-2	5-2	6-2	7-2	8-2
6:30														
7:00														
7:30								152	273					139
8:00	291		215							314			214	
8:30		148	133					161		211			243	251
9:00	122								143		172			
9:30		310					141							
10:00														
10:30							174						348	
11:00											231			
11:30												259		
12:00														
12:30														
13:00														
13:30														
14:00														
14:30														
15:00														
15:30														
16:00														
16:30														
17:00														
17:30														
18:00														
18:30														
19:00							243							
19:30														
20:00														
20:30														
21:00							412							
21:30														
22:00														
22:30														
23:00														
23:30														

MUESTRA 6

Piso de estudiantes en el que conviven dos chicas. Entre semana suelen estar en casa la mayor parte del tiempo, y todos los fines de semana abandonan el piso.

La casa cuenta con un baño en buen estado con plato de ducha, lavabo e inodoro.

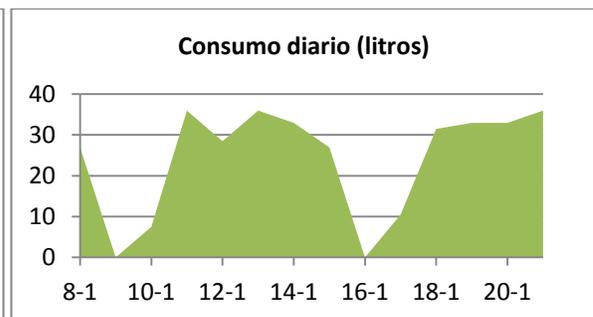
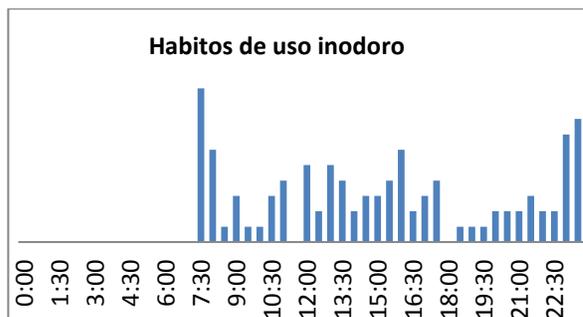
PERIODO DE ESTUDIO	
FECHA INICIO	08/01/2016
FECHA FINAL	22/01/2016

CAUDAL DE LA DUCHA (AGUA CALIENTE)

Test de caudal de ducha							
	Volumen 1 litro		Volumen 2 litros				
Tiempos (Segundos)	6.98	6.33	3.58	15.33	15.05	15.4	15.49
Caudal	8.60	9.48	16.76	7.83	7.97	7.79	7.75
Media litros/min	9.45						

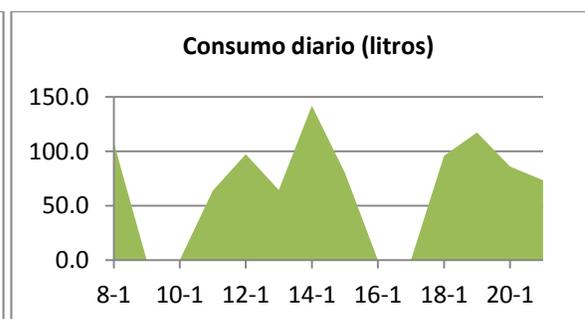
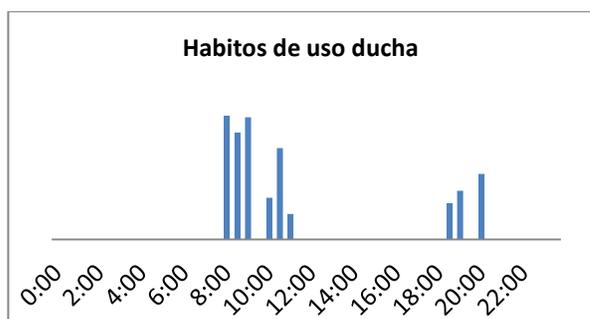
RESUMEN DE USOS DEL INODORO

Nº Descargas	103	
Parciales	83	
Completas	20	
Consumo Total	339	litros
Consumo medio (días activos)	28.3	litros/día
Consumo medio total	24.2	litros/día
Media diaria/pax	14.1	litros/persona y día
Media diaria/pax	12.1	litros/persona y día



RESUMEN DE USO DE LA DUCHA

Nº usos	20	
Tiempo total	98.3	
Consumo Total	929.1	litros
Media diaria (días activos)	92.9	litros/día
Media diaria/pax (días activos)	46.5	litros/persona y día
Media diaria (total días)	66.4	litros/día
Media diaria/pax (total días)	33.2	litros/persona y día
Media ducha	46.5	litros/ducha



DATOS INODORO

	8-1	9-1	10-1	11-1	12-1	13-1	14-1	15-1	16-1	17-1	18-1	19-1	20-1	21-1
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														
6:30														
7:00														
7:30	p				pp	p	p	c			p	p	p	p
8:00				p		p	p	p					p	c
8:30												p		
9:00	p				p						c			
9:30								p						

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 6

	8-1	9-1	10-1	11-1	12-1	13-1	14-1	15-1	16-1	17-1	18-1	19-1	20-1	21-1
10:00				c										
10:30	c			p		c								
11:00	p										p	c	c	
11:30														
12:00						p	p	c					p	p
12:30				p							p			
13:00					p	c	p	p				p		
13:30	p			p							p			p
14:00					p									p
14:30	c						c						p	
15:00	p					p						c		
15:30				c			c						p	c
16:00				p	c	p		p			p	p		
16:30								p						p
17:00	p										p		c	
17:30				pp	p							p		
18:00														
18:30								p						
19:00							p							
19:30														p
20:00							p			p				
20:30											p		p	
21:00						pp								
21:30			c										p	p
22:00							p					p		
22:30			p			p								
23:00					p		p			cp	p			pp
23:30				pp	p	p					p	pp	p	

DATOS DUCHA

	8-1	9-1	10-1	11-1	12-1	13-1	14-1	15-1	16-1	17-1	18-1	19-1	20-1	21-1
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 6

	8-1	9-1	10-1	11-1	12-1	13-1	14-1	15-1	16-1	17-1	18-1	19-1	20-1	21-1
6:30														
7:00														
7:30														
8:00	278				184	119		283						238
8:30				177			318				284		173	
9:00						290		227				342		228
9:30														
10:00													373	
10:30	411											403		
11:00				228										
11:30														
12:00														
12:30														
13:00														
13:30														
14:00														
14:30														
15:00														
15:30														
16:00														
16:30														
17:00														
17:30														
18:00														
18:30											324			
19:00					434									
19:30														
20:00							583							
20:30														
21:00														
21:30														
22:00														
22:30														
23:00														
23:30														

MUESTRA 7

Piso en el que convive una pareja que los fines de semana suelen irse fuera.

La casa cuenta con un baño que dispone de ducha, lavabo e inodoro con opción de descarga parcial y completa.

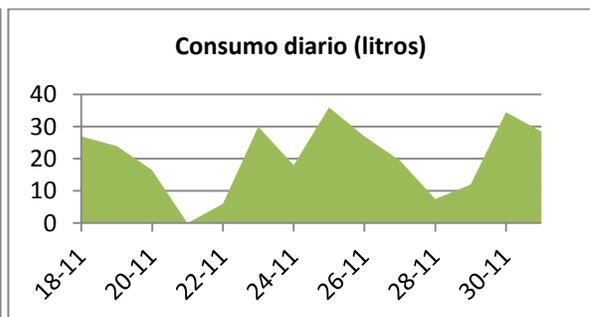
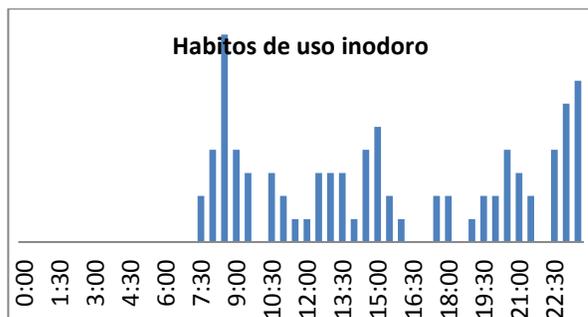
PERIODO DE ESTUDIO	
FECHA INICIO	18/11/2015
FECHA FINAL	02/12/2015

CAUDAL DE LA DUCHA (AGUA CALIENTE)

Test de caudal de ducha							
	Volumen 1 litro		Volumen 2 litros				
Tiempos (Segundos)	6.93	7.1	7.21	15.32	15.83	14.95	14.75
Caudal	8.66	8.45	8.32	7.83	7.58	8.03	8.14
Media litros/min	8.14						

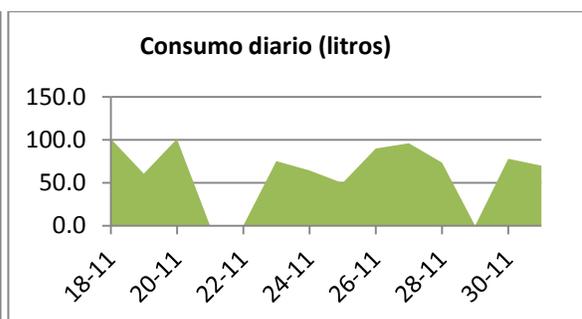
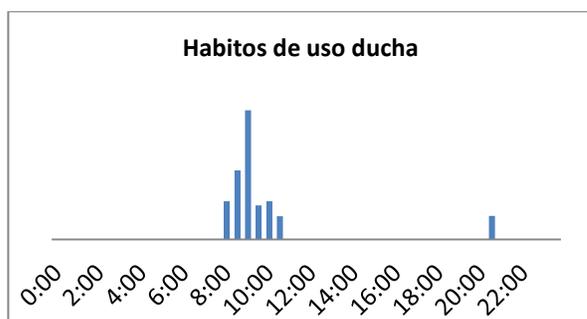
RESUMEN DE USOS DEL INODORO

Nº Descargas	86	
Parciales	67	
Completas	19	
Consumo Total	286.5	litros
Consumo medio (días activos)	22.0	litros/día
Consumo medio total	20.5	litros/día
Media diaria/pax	11.0	litros/persona y día
Media diaria/pax	10.2	litros/persona y día



RESUMEN DE USO DE LA DUCHA

Nº usos	22	
Tiempo total	105.7	
Consumo Total	860.7	litros
Media diaria (días activos)	78.2	litros/día
Media diaria/pax (días activos)	39.1	litros/persona y día
Media diaria (total días)	61.5	litros/día
Media diaria/pax (total días)	30.7	litros/persona y día
Media ducha	39.1	litros/ducha



DATOS INODORO

	18-11	19-11	20-11	21-11	22-11	23-11	24-11	25-11	26-11	27-11	28-11	29-11	30-11	1-12
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														
6:30														
7:00														
7:30										p			p	
8:00	p		p					p		p				
8:30	c	c	p			p	cp		pp		p			
9:00						c					c		c	c
9:30		p						p						p

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 7

	18-11	19-11	20-11	21-11	22-11	23-11	24-11	25-11	26-11	27-11	28-11	29-11	30-11	1-12
10:00														
10:30						p				pc				
11:00			p										p	
11:30								p						
12:00						p								
12:30			c				p		p					
13:00								p						pp
13:30	p						c						p	
14:00						c								
14:30			p				p	c	c					
15:00	p					p			p				c	p
15:30	c							c						
16:00													p	
16:30														
17:00														
17:30								p						p
18:00		p											p	
18:30														
19:00								p						
19:30		p			p									
20:00					p							p		
20:30						p			c			p		p
21:00	p	c						p						
21:30													cp	
22:00														
22:30	p					p				p				p
23:00		pp				p			p	p			p	
23:30	p							pp	p			pp		p

DATOS DUCHA

	18-11	19-11	20-11	21-11	22-11	23-11	24-11	25-11	26-11	27-11	28-11	29-11	30-11	1-12
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 7

	18-11	19-11	20-11	21-11	22-11	23-11	24-11	25-11	26-11	27-11	28-11	29-11	30-11	1-12
6:30														
7:00														
7:30														
8:00	327							173					183	
8:30		163	273			163			392		238			
9:00			472			392	271	194	271		304			394
9:30		284					204							122
10:00										291			392	
10:30										417				
11:00														
11:30														
12:00														
12:30														
13:00														
13:30														
14:00														
14:30														
15:00														
15:30														
16:00														
16:30														
17:00														
17:30														
18:00														
18:30														
19:00														
19:30														
20:00														
20:30	421													
21:00														
21:30														
22:00														
22:30														
23:00														
23:30														

MUESTRA 8

Piso en el que habitan dos personas que pasan gran parte del tiempo en casa. Los fines de semana no suelen viajar.

La casa dispone de un solo cuarto de baño con bañera, lavabo e inodoro que permite realizar descargas parciales y completas.

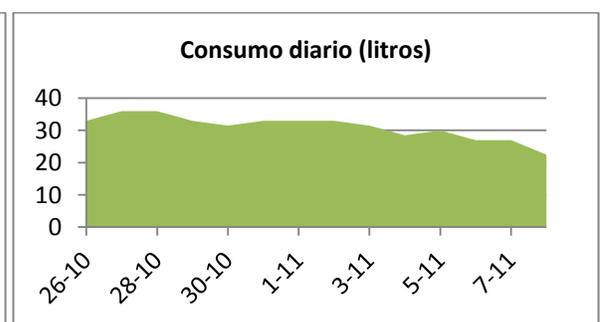
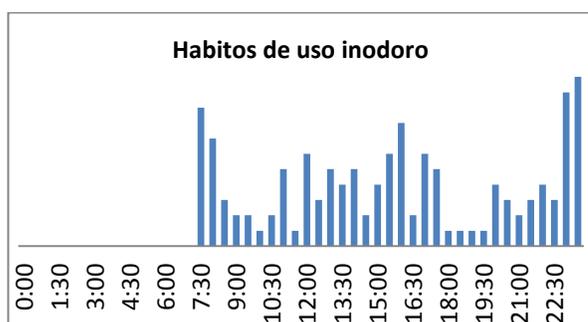
PERIODO DE ESTUDIO	
FECHA INICIO	26/10/2015
FECHA FINAL	08/11/2015

CAUDAL DE LA DUCHA (AGUA CALIENTE)

Test de caudal de ducha							
	Volumen 1 litro			Volumen 2 litros			
Tiempos (Segundos)	7.33	7.09	7.56	16.27	16.08	15.1	15.22
Caudal	8.19	8.46	7.94	7.38	7.46	7.95	7.88
Media litros/min	7.89						

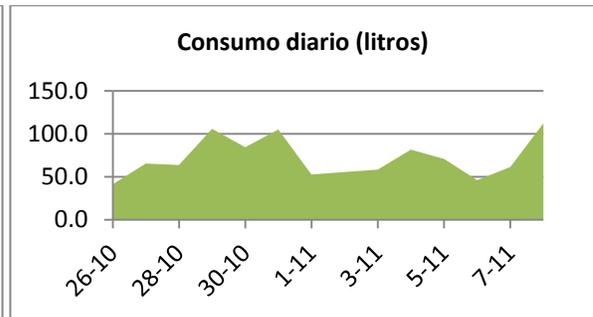
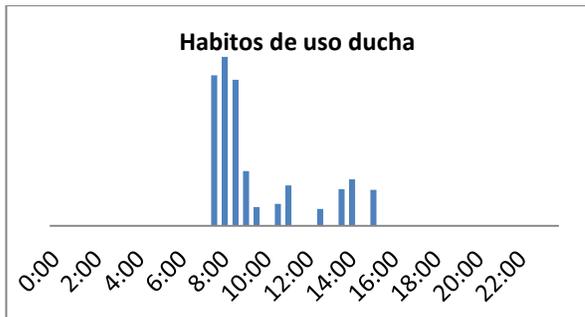
RESUMEN DE USOS DEL INODORO

Nº Descargas	132	
Parciales	106	
Completas	26	
Consumo Total	435	litros
Consumo medio (días activos)	31.1	litros/día
Consumo medio total	31.1	litros/día
Media diaria/pax	15.5	litros/persona y día
Media diaria/pax	15.5	litros/persona y día



RESUMEN DE USO DE LA DUCHA

Nº usos	28	
Tiempo total	127.4	
Consumo Total	1005.5	litros
Media diaria (días activos)	71.8	litros/día
Media diaria/pax (días activos)	35.9	litros/persona y día
Media diaria (total días)	71.8	litros/día
Media diaria/pax (total días)	35.9	litros/persona y día
Media ducha	35.9	litros/ducha



DATOS INODORO

	26-10	27-10	28-10	29-10	30-10	31-10	1-11	2-11	3-11	4-11	5-11	6-11	7-11	8-11
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														
6:30														
7:00														
7:30	p	p	p		p			p	p	pp	p			
8:00		c	p	pp				p	c				p	
8:30	p										p	p		
9:00					c					p				
9:30													pp	

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 8

	26-10	27-10	28-10	29-10	30-10	31-10	1-11	2-11	3-11	4-11	5-11	6-11	7-11	8-11
10:00							c							
10:30			c				p							
11:00	c				p	c		c						p
11:30						p								
12:00		p	p	p				p			c			c
12:30					p		p					p		
13:00	p		c	p						p	p			
13:30		p			p		p		p					
14:00		p				p				p		c		p
14:30				c				p						
15:00	c		p			c			p					
15:30		c		c		p	c	p				c		
16:00	p		p		p		p		c	c	p			p
16:30		p									c			
17:00					p			c	p			p	cp	
17:30	p					p	pp			p				
18:00													p	
18:30											p			
19:00				p										
19:30		p												
20:00				p					p				p	p
20:30					p	p		p						
21:00			pp											
21:30		p						p					c	
22:00	p			p		p								p
22:30			p									p	p	
23:00		p		p	p	p			cp	p	pp			p
23:30	pp	p	p		p	p	pp	p		p		p		

DATOS DUCHA

	26-10	27-10	28-10	29-10	30-10	31-10	1-11	2-11	3-11	4-11	5-11	6-11	7-11	8-11
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 8

	26-10	27-10	28-10	29-10	30-10	31-10	1-11	2-11	3-11	4-11	5-11	6-11	7-11	8-11
6:30														
7:00														
7:30	211		310		271			249	326	194				
8:00		173		610	371				118		246	235		
8:30	103	325	175	195				174		427		116		
9:00											293		273	
9:30													194	
10:00														
10:30							226							
11:00						418								
11:30														
12:00														
12:30							175							
13:00														
13:30						381								
14:00														482
14:30														
15:00														372
15:30														
16:00														
16:30														
17:00														
17:30														
18:00														
18:30														
19:00														
19:30														
20:00														
20:30														
21:00														
21:30														
22:00														
22:30														
23:00														
23:30														

MUESTRA 9

Vivienda en la que habitan tres personas: una pareja con un niño de 7 años. Pasan gran parte del tiempo en casa.

La casa es de nueva construcción y cuenta con un baño principal que dispone de una bañera, lavabo e inodoro con opción a descarga parcial y completa.

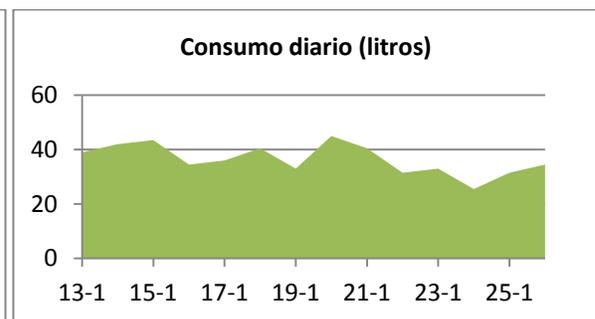
PERIODO DE ESTUDIO	
FECHA INICIO	13/01/2016
FECHA FINAL	27/01/2016

CAUDAL DE LA DUCHA (AGUA CALIENTE)

Test de caudal de ducha							
	Volumen 1 litro		Volumen 2 litros				
Tiempos (Segundos)	6.38	6.79	7.4	17.22	16.85	16.32	15.98
Caudal	9.40	8.84	8.11	6.97	7.12	7.35	7.51
Media litros/min	7.90						

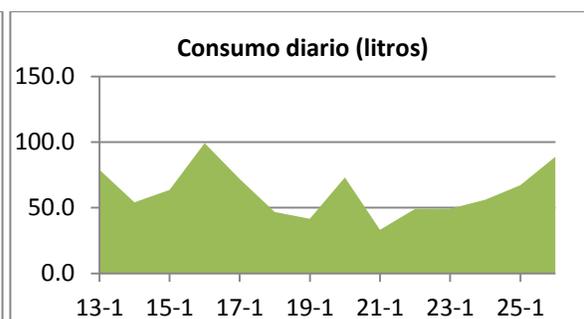
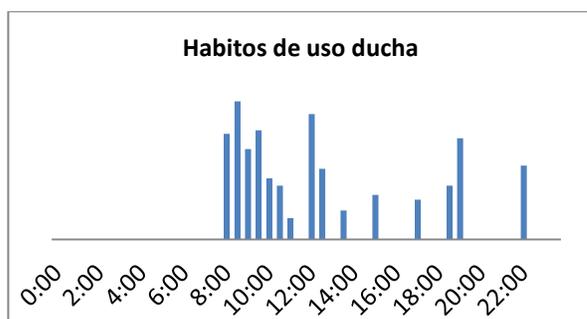
RESUMEN DE USOS DEL INODORO

Nº Descargas	155	
Parciales	125	
Completas	30	
Consumo Total	510	litros
Consumo medio (días activos)	36.4	litros/día
Consumo medio total	36.4	litros/día
Media diaria/pax	12.1	litros/persona y día
Media diaria/pax	12.1	litros/persona y día



RESUMEN DE USO DE LA DUCHA

Nº usos	28	
Tiempo total	110.5	
Consumo Total	873.0	litros
Media diaria (días activos)	62.4	litros/día
Media diaria/pax (días activos)	20.8	litros/persona y día
Media diaria (total días)	62.4	litros/día
Media diaria/pax (total días)	20.8	litros/persona y día
Media ducha	31.2	litros/ducha



DATOS INODORO

	13-1	14-1	15-1	16-1	17-1	18-1	19-1	20-1	21-1	22-1	23-1	24-1	25-1	26-1
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														
6:30														
7:00														
7:30		p				p	p		p				pp	p
8:00	p					c		pp	p	pp				
8:30		c	p				p							p
9:00		p										c	p	
9:30			pp			p		p	c		p			
10:00	p						p							
10:30					c			c			c			c

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 9

	13-1	14-1	15-1	16-1	17-1	18-1	19-1	20-1	21-1	22-1	23-1	24-1	25-1	26-1
11:00	p				p			p	p	c				
11:30			c	p		p							p	
12:00								p				p		
12:30	p			c			c				p			
13:00		p	p		p									p
13:30				c				p	p	p				
14:00		pp					p					c	p	
14:30			p		p	c			c					p
15:00		c						c	p	p		c		
15:30				p	c	p		p			p			
16:00	c										c	p	c	
16:30			p		p	p	c							
17:00										p				
17:30	p	p		p					p		p			
18:00		p	c				p							p
18:30				p	p									
19:00			p											
19:30	p													
20:00				c							p	p		p
20:30			p		p	p		p	p				p	p
21:00						c		p	c	p				
21:30	c	p					p							
22:00	p		c	p		pp					p		p	p
22:30					pp				p			p		
23:00	pp	pp	p	p		p	p	pp		p	p			
23:30	p	p	p	p	p		p	p	p	pp	p		pp	pp

DATOS DUCHA

	13-1	14-1	15-1	16-1	17-1	18-1	19-1	20-1	21-1	22-1	23-1	24-1	25-1	26-1
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														
6:30														
7:00														

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 9

	13-1	14-1	15-1	16-1	17-1	18-1	19-1	20-1	21-1	22-1	23-1	24-1	25-1	26-1
7:30														
8:00		163					154		127				182	
8:30	327					173		193	125					
9:00			163							136				237
9:30		248					162			237				
10:00								362						
10:30						182					137			
11:00					127									
11:30														
12:00				582								162		
12:30					419									
13:00														
13:30				172										
14:00														
14:30														
15:00												264		
15:30														
16:00														
16:30														
17:00											237			
17:30														
18:00														
18:30			320											
19:00	273												328	
19:30														
20:00														
20:30														
21:00														
21:30														
22:00														438
22:30														
23:00														
23:30														

MUESTRA 10

Piso de estudiantes en el cual conviven tres personas. Los tres suelen viajar los fines de semana a casa de sus respectivas familias.

La casa es antigua y el baño consta de una bañera (utilizada siempre como ducha), lavabo e inodoro con cisterna capacitada para realizar descargas parciales o completas.

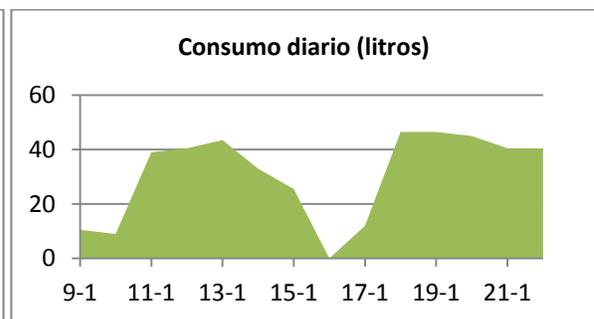
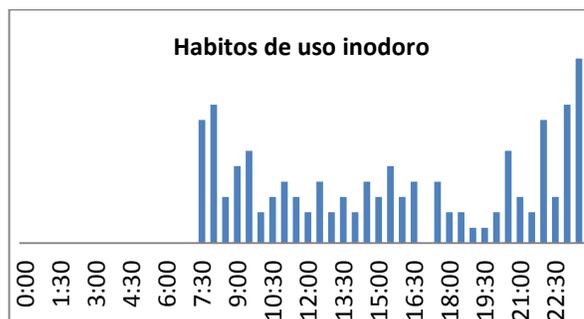
PERIODO DE ESTUDIO	
FECHA INICIO	09/01/2016
FECHA FINAL	23/01/2016

CAUDAL DE LA DUCHA (AGUA CALIENTE)

Test de caudal de ducha							
	Volumen 1 litro			Volumen 2 litros			
Tiempos (Segundos)	6.87	6.54	6.32	15.98	15.3	14.38	14.11
Caudal	8.73	9.17	9.49	7.51	7.84	8.34	8.50
Media litros/min	8.51						

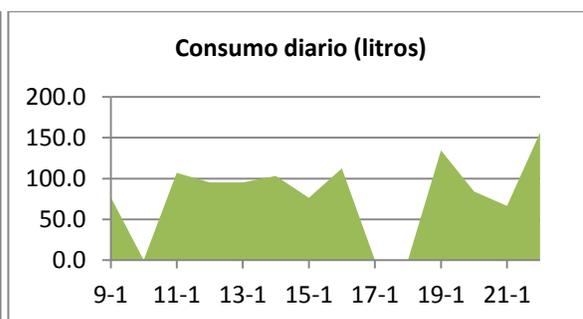
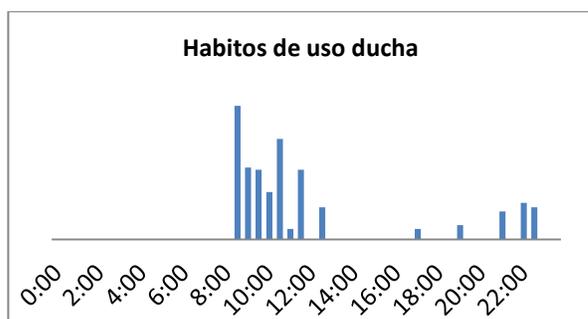
RESUMEN DE USOS DEL INODORO

Nº Descargas	130	
Parciales	102	
Completas	28	
Consumo Total	432	litros
Consumo medio (días activos)	33.2	litros/día
Consumo medio total	30.9	litros/día
Media diaria/pax	11.1	litros/persona y día
Media diaria/pax	10.3	litros/persona y día



RESUMEN DE USO DE LA DUCHA

Nº usos	33	
Tiempo total	130.2	
Consumo Total	1108.2	litros
Media diaria (días activos)	100.7	litros/día
Media diaria/pax (días activos)	33.6	litros/persona y día
Media diaria (total días)	79.2	litros/día
Media diaria/pax (total días)	26.4	litros/persona y día
Media ducha	33.6	litros/ducha



DATOS INODORO

	9-1	10-1	11-1	12-1	13-1	14-1	15-1	16-1	17-1	18-1	19-1	20-1	21-1	22-1
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														
6:30														
7:00														
7:30				p	p	p	p			p	c		p	p
8:00	pp		p	p	p		p					pp	c	
8:30						p				p				c
9:00	c				p		c				pp			
9:30				c						pp		p	p	p

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 10

	9-1	10-1	11-1	12-1	13-1	14-1	15-1	16-1	17-1	18-1	19-1	20-1	21-1	22-1
10:00			p			p								
10:30											c	c		c
11:00			p	p							p	p		
11:30					p					c			p	
12:00							p					p		
12:30			p		c	c								p
13:00										p	p			
13:30				p	c							p		
14:00						p	c							
14:30				c						p	p		c	
15:00				p			c					c		
15:30					p						c	p	p	p
16:00			c				p							c
16:30						c				p	p		p	
17:00														
17:30			p	p	p									p
18:00						p				c				
18:30					p						p			
19:00										p				
19:30			p											
20:00					c									p
20:30				p					p	p	p	p	p	
21:00				c								p	c	
21:30			c			p								
22:00		p	p		p				p	c			pp	p
22:30				p							pp			
23:00			pp		p	p				p		pp	p	p
23:30		pp	p	p	p	p			pp	p	p	p		p

DATOS DUCHA

	9-1	10-1	11-1	12-1	13-1	14-1	15-1	16-1	17-1	18-1	19-1	20-1	21-1	22-1
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 10

	9-1	10-1	11-1	12-1	13-1	14-1	15-1	16-1	17-1	18-1	19-1	20-1	21-1	22-1
6:30														
7:00														
7:30														
8:00														
8:30	152		235		172	183	172	239			239		193	
9:00	162			382			128							182
9:30	231		193			162						138	103	
10:00							238				327			
10:30					327	382								483
11:00												127		
11:30			326					172				328		
12:00														
12:30								381						
13:00														
13:30														
14:00														
14:30														
15:00														
15:30														
16:00														
16:30														
17:00				127										
17:30														
18:00														
18:30														
19:00					172									
19:30														
20:00														
20:30														
21:00				162									172	
21:30														
22:00														437
22:30										382				
23:00														
23:30														

MUESTRA 11

Piso en el que conviven tres estudiantes universitarios, los cuales suelen abandonar el piso los fines de semana.

La casa cuenta con un baño que dispone de ducha, lavabo e inodoro con opción a realizar descargas parciales y completas.

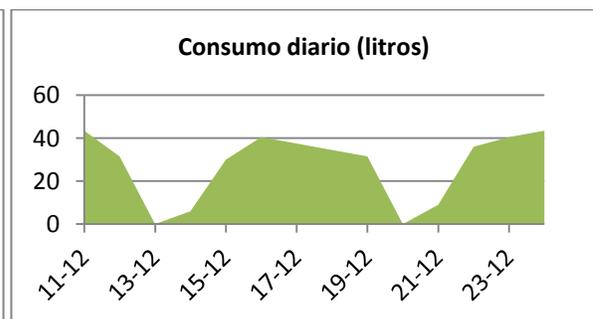
PERIODO DE ESTUDIO	
FECHA INICIO	11/12/2015
FECHA FINAL	25/12/2015

CAUDAL DE LA DUCHA (AGUA CALIENTE)

Test de caudal de ducha							
	Volumen 1 litro		Volumen 2 litros				
Tiempos (Segundos)	7.42	6.98	7.38	16.01	15.22	14.72	14.33
Caudal	8.09	8.60	8.13	7.50	7.88	8.15	8.37
Media litros/min	8.10						

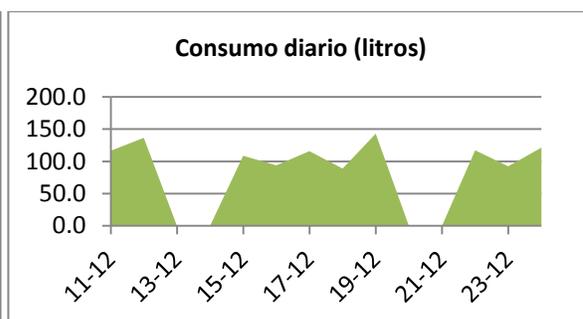
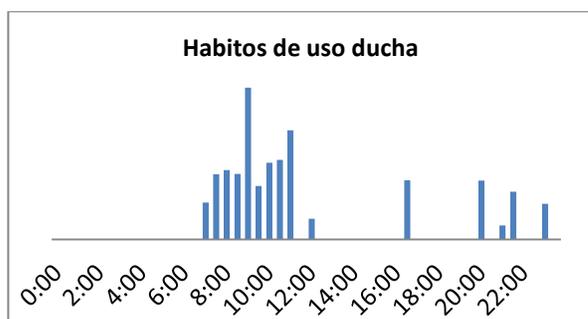
RESUMEN DE USOS DEL INODORO

Nº Descargas	114	
Parciales	86	
Completas	28	
Consumo Total	384	litros
Consumo medio (días activos)	32.0	litros/día
Consumo medio total	27.4	litros/día
Media diaria/pax	10.7	litros/persona y día
Media diaria/pax	9.1	litros/persona y día



RESUMEN DE USO DE LA DUCHA

Nº usos	30	
Tiempo total	140.0	
Consumo Total	1134.2	litros
Media diaria (días activos)	113.4	litros/día
Media diaria/pax (días activos)	37.8	litros/persona y día
Media diaria (total días)	81.0	litros/día
Media diaria/pax (total días)	27.0	litros/persona y día
Media ducha	37.8	litros/ducha



DATOS INODORO

	11-12	12-12	13-12	14-12	15-12	16-12	17-12	18-12	19-12	20-12	21-12	22-12	23-12	24-12
0:00									pp					
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														
6:30														
7:00														
7:30							p						c	
8:00					p			p				p		p
8:30	pp					c	p						p	
9:00		c				p			p			p		
9:30	c				p	p		c				c		pc

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 11

	11-12	12-12	13-12	14-12	15-12	16-12	17-12	18-12	19-12	20-12	21-12	22-12	23-12	24-12
10:00		p					c		c				p	
10:30		p							p					
11:00								p						
11:30	p						p							
12:00						p			p			p		
12:30														
13:00	p				c			p						p
13:30		pp				c	c	c					pp	
14:00							p	c	pc					
14:30		c			c			p					c	
15:00	p					c	p					c		c
15:30						p								p
16:00		p							c			p		
16:30	c	c			p			p				p		p
17:00						p							p	
17:30	p						c							
18:00		p			p									p
18:30												p		
19:00													p	
19:30														
20:00	p													
20:30						p		p						p
21:00														
21:30	c							c					c	
22:00	p			p										cp
22:30					p		p				p	p		
23:00				p		pp		p			pp		p	p
23:30	pp				pp	p	pp					pp	pp	p

DATOS DUCHA

	11-12	12-12	13-12	14-12	15-12	16-12	17-12	18-12	19-12	20-12	21-12	22-12	23-12	24-12
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 11

	11-12	12-12	13-12	14-12	15-12	16-12	17-12	18-12	19-12	20-12	21-12	22-12	23-12	24-12
6:30														
7:00													328	
7:30								169				160		251
8:00							131	204				283		
8:30		293				118							173	
9:00	163				172	216	316		483					
9:30		192						285						
10:00	271						411							
10:30					316				392					
11:00	428					361							183	
11:30														
12:00									184					
12:30														
13:00														
13:30														
14:00														
14:30														
15:00														
15:30														
16:00														
16:30		526												
17:00														
17:30														
18:00														
18:30														
19:00														
19:30														
20:00														523
20:30														
21:00														125
21:30												425		
22:00														
22:30														
23:00					317									
23:30														

MUESTRA 12

Piso en el que habitan tres personas (un adulto y dos adolescentes). Pasan gran parte del tiempo en casa y no suelen irse los fines de semana.

El piso es de construcción reciente y consta de un baño equipado con una ducha, lavabo e inodoro con opción a descargas parciales y completas.

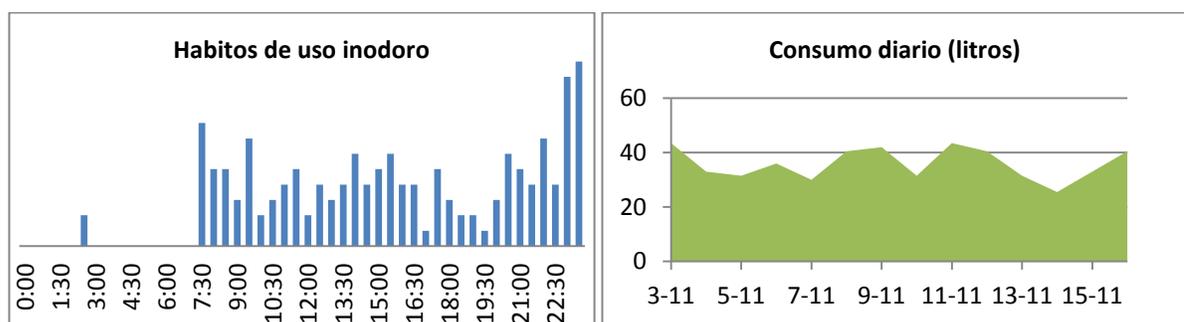
PERIODO DE ESTUDIO	
FECHA INICIO	03/11/2015
FECHA FINAL	17/11/2015

CAUDAL DE LA DUCHA (AGUA CALIENTE)

Test de caudal de ducha							
	Volumen 1 litro		Volumen 2 litros				
Tiempos (Segundos)	7.11	7.39	7.84	15.61	15.74	16.83	15.99
Caudal	8.44	8.12	7.65	7.69	7.62	7.13	7.50
Media litros/min	7.74						

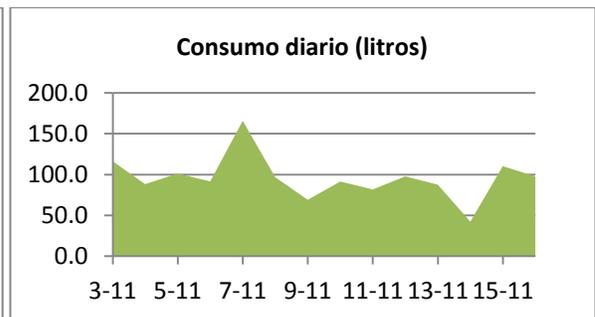
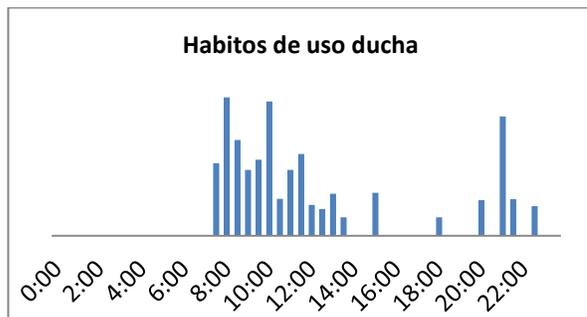
RESUMEN DE USOS DEL INODORO

Nº Descargas	152	
Parciales	121	
Completas	31	
Consumo Total	502.5	litros
Consumo medio (días activos)	35.9	litros/día
Consumo medio total	35.9	litros/día
Media diaria/pax	12.0	litros/persona y día
Media diaria/pax	12.0	litros/persona y día



RESUMEN DE USO DE LA DUCHA

Nº usos	40	
Tiempo total	172.9	
Consumo Total	1337.6	litros
Media diaria (días activos)	95.5	litros/día
Media diaria/pax (días activos)	31.8	litros/persona y día
Media diaria (total días)	95.5	litros/día
Media diaria/pax (total días)	31.8	litros/persona y día
Media ducha	33.4	litros/ducha



DATOS INODORO

	3-11	4-11	5-11	6-11	7-11	8-11	9-11	10-11	11-11	12-11	13-11	14-11	15-11	16-11
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30						pp								
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														
6:30														
7:00														
7:30	p	p	pp				p			p	p			p
8:00				p				pp		c				p
8:30	c	p					c		p		p			
9:00			p				p				c			
9:30				p	p				pp	p		p		c

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 12

	3-11	4-11	5-11	6-11	7-11	8-11	9-11	10-11	11-11	12-11	13-11	14-11	15-11	16-11
10:00		p											p	
10:30	c			c	c									
11:00	p				p			c						p
11:30			p			p			c	p		c		
12:00					p						p			
12:30		c		p		c							p	
13:00	p						p		p					
13:30					p	c		p						p
14:00		p	p				pp				c	p		
14:30	p								p	c				c
15:00					c		c	p			c			p
15:30	c			p	p	p				p		p		
16:00			c	c							p		c	
16:30	p	c							p	p				
17:00								p						
17:30				p		p	p						p	p
18:00		p					p		c					
18:30	p					p								
19:00									p			p		
19:30													p	
20:00				p		c					p			
20:30	p		p		p				p	p				p
21:00					p			p		c		p		c
21:30		p					p					p	c	
22:00			p	p		p			c	pp			p	
22:30	pp										p			p
23:00		p		p		p	pp	p	p	p		p	pp	
23:30	p	p	pp	p		p	p	pp	p				p	p

DATOS DUCHA

	3-11	4-11	5-11	6-11	7-11	8-11	9-11	10-11	11-11	12-11	13-11	14-11	15-11	16-11
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 12

	3-11	4-11	5-11	6-11	7-11	8-11	9-11	10-11	11-11	12-11	13-11	14-11	15-11	16-11
6:30														
7:00														
7:30	163	327					153							
8:00				229			119	143		283	191			264
8:30			143				263		175		271			
9:00		119			273			194						
9:30				317						174				184
10:00			316	164					185		217			310
10:30												328		
11:00	311												275	
11:30						426				301				
12:00									274					
12:30		238												
13:00								372						
13:30						162								
14:00														
14:30														
15:00					381									
15:30														
16:00														
16:30														
17:00														
17:30														
18:00						162								
18:30														
19:00														
19:30														
20:00													317	
20:30														
21:00	428				632									
21:30			326											
22:00														
22:30													263	
23:00														
23:30														

MUESTRA 13

Familia compuesta por dos adultos y dos niños de 8 y 13 años. Pasan gran parte del día en casa y no suelen viajar los fines de semana.

La casa consta con dos baños completos. Cada uno dispone de ducha, lavabo y retrete con cisterna capacitada para realizar descargas parciales y completas.

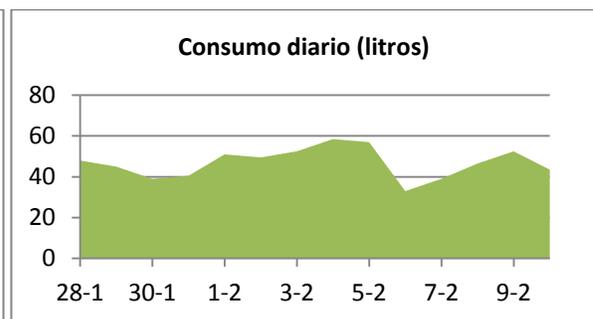
PERIODO DE ESTUDIO	
FECHA INICIO	28/01/2016
FECHA FINAL	11/02/2016

CAUDAL DE LA DUCHA (AGUA CALIENTE)

Test de caudal de ducha							
	Volumen 1 litro		Volumen 2 litros				
Tiempos (Segundos)	7.1	6.73	8.27	16.4	15.9	14.83	14.99
Caudal	8.45	8.92	7.26	7.32	7.55	8.09	8.01
Media litros/min	7.94						

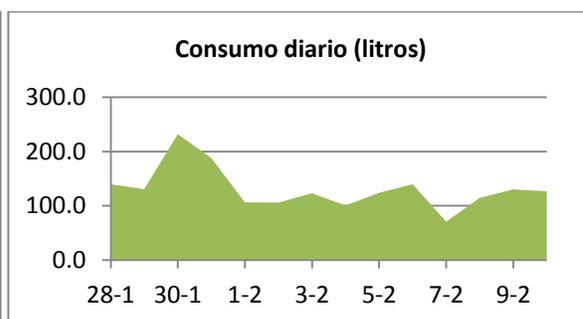
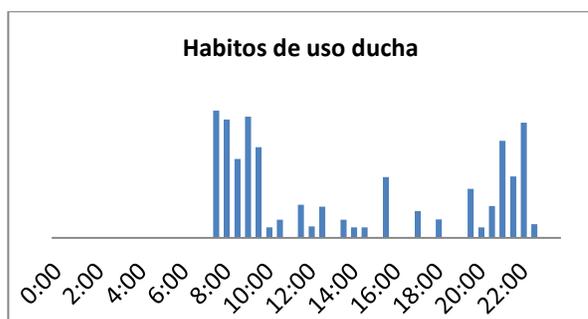
RESUMEN DE USOS DEL INODORO

Nº Descargas	196	
Parciales	151	
Completas	45	
Consumo Total	655.5	litros
Consumo medio (días activos)	46.8	litros/día
Consumo medio total	46.8	litros/día
Media diaria/pax	11.7	litros/persona y día
Media diaria/pax	11.7	litros/persona y día



RESUMEN DE USO DE LA DUCHA

Nº usos	56	
Tiempo total	230.7	
Consumo Total	1832.0	litros
Media diaria (días activos)	130.9	litros/día
Media diaria/pax (días activos)	32.7	litros/persona y día
Media diaria (total días)	130.9	litros/día
Media diaria/pax (total días)	32.7	litros/persona y día
Media ducha	32.7	litros/ducha



DATOS INODORO

	28-1	29-1	30-1	31-1	1-2	2-2	3-2	4-2	5-2	6-2	7-2	8-2	9-2	10-2
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														
6:30														
7:00	p				p		p	c	p			p	pp	
7:30	p	pp				p		p	c			c		p
8:00	p				p	c	p						p	
8:30							c	p	pp			p		c
9:00		p		pp		pp	p							
9:30			p		c			c				p	c	p

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 13

	28-1	29-1	30-1	31-1	1-2	2-2	3-2	4-2	5-2	6-2	7-2	8-2	9-2	10-2
10:00									c					
10:30	p				p			pp			p			p
11:00														
11:30	p												p	
12:00		p					p	p		p	p	pp		
12:30				c	c					c				
13:00		p	p		p			c	p			p		
13:30	c			p	p	p	p						c	p
14:00														
14:30		c	c					c	p	c	c			
15:00	p		c	c			c						cp	
15:30					p	cp	p	p						p
16:00			p	c	c				cp	p		p		c
16:30	c	pc				p				c	p	c	p	
17:00	p							p	p		pp			
17:30				p	cp	p	p							
18:00		c	p										p	
18:30	pp					p	c			p	pc		p	
19:00			pp		p				p			p		
19:30				p			pp	pc					p	
20:00									c		p	c		p
20:30	p		p				p							pp
21:00		p		p	p			p			p	pp		
21:30						p			p	c				
22:00			p			c	p						p	c
22:30				p			pp	p	pp	p			pp	
23:00	pp	cp	p	p		pp					p	p		
23:30	p	p	p	p	pp	p		pp	pp	p	p		p	pp

DATOS DUCHA

	28-1	29-1	30-1	31-1	1-2	2-2	3-2	4-2	5-2	6-2	7-2	8-2	9-2	10-2
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 13

	28-1	29-1	30-1	31-1	1-2	2-2	3-2	4-2	5-2	6-2	7-2	8-2	9-2	10-2
6:30														
7:00														
7:30	154	241				183	382		291			129	128	
8:00					127			193				391	421	271
8:30	243						172	129	394					
9:00		237			329	126	183		128			218	218	
9:30	274					164		318						320
10:00					128									
10:30				217										
11:00														
11:30			392											
12:00											139			
12:30				372										
13:00														
13:30										218				
14:00										128				
14:30											128			
15:00														
15:30			723											
16:00														
16:30														
17:00										317				
17:30														
18:00				219										
18:30														
19:00														
19:30						328						128		128
20:00			127											
20:30											139			238
21:00		346		612			193							
21:30								120		392			217	
22:00	385		511		219				123		129			
22:30		163												
23:00														
23:30														

MUESTRA 14

Piso de estudiantes en el que habitan cuatro individuos. Algunos de ellos viajan los fines de semana, mientras que otros suelen permanecer en el piso.

La casa consta con dos cuartos de baño. Uno dispone de bañera (utilizada mayormente como ducha), lavabo e inodoro. El segundo tiene ducha, lavabo e inodoro. Ambos inodoros tienen opción a realizar descargas parciales o completas.

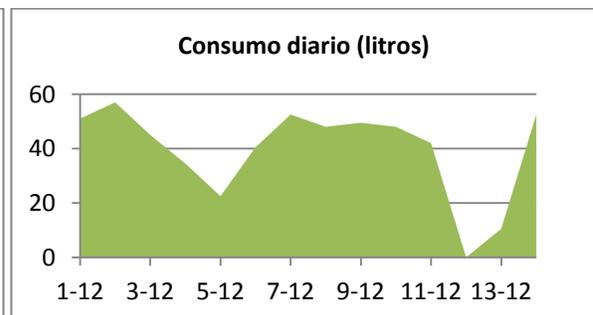
PERIODO DE ESTUDIO	
FECHA INICIO	01/12/2015
FECHA FINAL	15/12/2015

CAUDAL DE LA DUCHA (AGUA CALIENTE)

Test de caudal de ducha							
	Volumen 1 litro		Volumen 2 litros				
Tiempos (Segundos)	8.01	7.88	7.32	17.32	16.98	15.95	15.22
Caudal	7.49	7.61	8.20	6.93	7.07	7.52	7.88
Media litros/min	7.53						

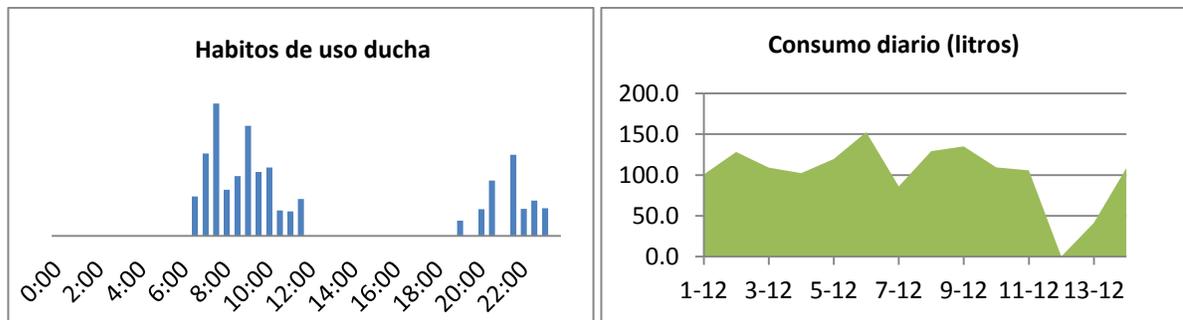
RESUMEN DE USOS DEL INODORO

Nº Descargas	166	
Parciales	129	
Completas	37	
Consumo Total	553.5	litros
Consumo medio (días activos)	42.6	litros/día
Consumo medio total	39.5	litros/día
Media diaria/pax	10.6	litros/persona y día
Media diaria/pax	9.9	litros/persona y día



RESUMEN DE USO DE LA DUCHA

Nº usos	49	
Tiempo total	189.6	
Consumo Total	1427.2	litros
Media diaria (días activos)	109.8	litros/día
Media diaria/pax (días activos)	27.4	litros/persona y día
Media diaria (total días)	101.9	litros/día
Media diaria/pax (total días)	25.5	litros/persona y día
Media ducha	29.1	litros/ducha



DATOS INODORO

	1-12	2-12	3-12	4-12	5-12	6-12	7-12	8-12	9-12	10-12	11-12	12-12	13-12	14-12
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														
6:30	p	p		c				p			p			
7:00		c	pp	p			pp	c	p	p				p
7:30	p								c		pp			
8:00		pp		p			p			pp	p			p
8:30			p					p	pp					c
9:00	c			c	p	c		p		p	p			p
9:30		c			pp		c							

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 14

	1-12	2-12	3-12	4-12	5-12	6-12	7-12	8-12	9-12	10-12	11-12	12-12	13-12	14-12
10:00	p			pp		pc								
10:30											p			
11:00					c	p								
11:30			p	p			p							
12:00	c							c			p			p
12:30	p	p	p	c						p				
13:00	p							p	p					
13:30							c							p
14:00		p	c							c				
14:30								c		c	c			
15:00	p						cp		cp					c
15:30	c	cp						c		p				p
16:00			pc			c			p					
16:30		p				p	p				p			
17:00	cp							p	p		pp			
17:30			c							p				p
18:00						pp	p		p					
18:30	p	p					p			pp	pc			c
19:00								p						
19:30		c					p							pp
20:00						p				p				
20:30	p		p		pp			p						p
21:00		p							p					
21:30									c	p			c	
22:00		pp					p	p						p
22:30			cp		p	pp	pp	p	pp	p			p	pp
23:00	pp	pp	p	pp		p		p	p	p				
23:30							p						p	

DATOS DUCHA

	1-12	2-12	3-12	4-12	5-12	6-12	7-12	8-12	9-12	10-12	11-12	12-12	13-12	14-12
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 14

	1-12	2-12	3-12	4-12	5-12	6-12	7-12	8-12	9-12	10-12	11-12	12-12	13-12	14-12
6:30	217		128					124						
7:00		129		239			112		382		117			
7:30		382	238	128				172	383	139				127
8:00	129						127		129		163			
8:30	128		182				128	271						
9:00		170			372					381				381
9:30	327				128	128				177				
10:00				129		412					271			
10:30					129									173
11:00											291			
11:30						439								
12:00														
12:30														
13:00														
13:30														
14:00														
14:30														
15:00														
15:30														
16:00														
16:30														
17:00														
17:30														
18:00														
18:30														
19:00														183
19:30														
20:00				319										
20:30		341					318							
21:00														
21:30					324			463		174				
22:00			321											
22:30						237			182					
23:00													329	
23:30														

MUESTRA 15

Familia de cuatro personas: dos adultos y dos adolescentes. La casa pasa la mayor parte del tiempo ocupada y no suelen realizar viajes los fines de semana.

La casa cuenta con dos cuartos de baño. El cuarto de baño del matrimonio cuenta con bañera, lavabo e inodoro. El otro cuarto de baño cuenta con ducha, lavabo e inodoro. Ambos inodoros tienen opción a realizar descargas parciales o completas.

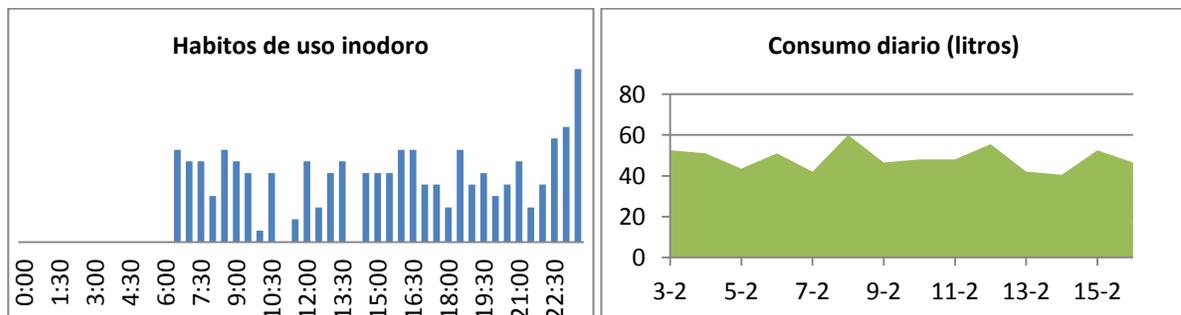
PERIODO DE ESTUDIO	
FECHA INICIO	03/02/2016
FECHA FINAL	17/02/2016

CAUDAL DE LA DUCHA (AGUA CALIENTE)

Test de caudal de ducha							
	Volumen 1 litro		Volumen 2 litros				
Tiempos (Segundos)	7.11	6.84	7.41	15.38	14.99	13.78	14.36
Caudal	8.44	8.77	8.10	7.80	8.01	8.71	8.36
Media litros/min	8.31						

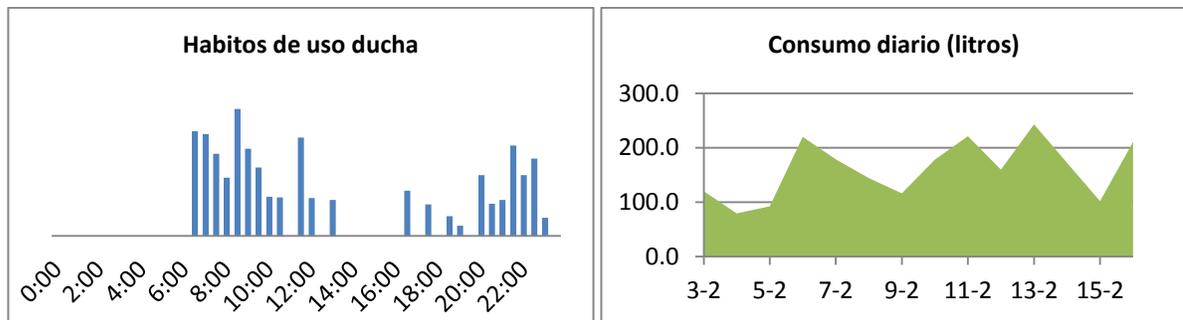
RESUMEN DE USOS DEL INODORO

Nº Descargas	203	
Parciales	156	
Completas	47	
Consumo Total	679.5	litros
Consumo medio (días activos)	48.5	litros/día
Consumo medio total	48.5	litros/día
Media diaria/pax	12.1	litros/persona y día
Media diaria/pax	12.1	litros/persona y día



RESUMEN DE USO DE LA DUCHA

Nº usos	56	
Tiempo total	269.4	
Consumo Total	2239.1	litros
Media diaria (días activos)	159.9	litros/día
Media diaria/pax (días activos)	40.0	litros/persona y día
Media diaria (total días)	159.9	litros/día
Media diaria/pax (total días)	40.0	litros/persona y día
Media ducha	40.0	litros/ducha



DATOS INODORO

	3-2	4-2	5-2	6-2	7-2	8-2	9-2	10-2	11-2	12-2	13-2	14-2	15-2	16-2
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														
6:30	p	c	p			p	p		p	p				p
7:00		p	p			p		c		pp			p	
7:30	p		c			c	p		pp					c
8:00	c				p					p			p	
8:30		c		p		pp	c	p					c	p
9:00	pp		p					pp	p				p	
9:30		p		c			p			c	p			p

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

MUESTRA 15

	3-2	4-2	5-2	6-2	7-2	8-2	9-2	10-2	11-2	12-2	13-2	14-2	15-2	16-2
10:00						c								
10:30				pp	p		p				p	p		
11:00														
11:30					p					p				
12:00			p	p					p		p		p	pp
12:30			c					c				c		
13:00		p		c		p			p			p		p
13:30	p				c		p	p		c		p	p	
14:00														
14:30		c	c	c		p			c		c			
15:00		c			p			c		cp			c	
15:30	cp			p			p					p	p	
16:00		p	p			cp	c	c				c		p
16:30	p		c		c				pc	p	p			c
17:00				p	p	p					pp			
17:30	p							p				cp	p	
18:00		p							c	p				
18:30	p		p		pp					p	pc		c	
19:00		pp				p						p		p
19:30				pc				p		p			pp	
20:00						c	p				p			c
20:30		p			p		pp						p	
21:00				p				p	p		p	p		pp
21:30	p		c			p								
22:00	c	p					c			p			p	
22:30			p	p		pp		p		pp			pp	
23:00	pp	p			pp			p	cp		p			p
23:30	p	p		pp	p	pp	pp	p	p	p	p	pp		

DATOS DUCHA

	3-2	4-2	5-2	6-2	7-2	8-2	9-2	10-2	11-2	12-2	13-2	14-2	15-2	16-2
0:00														
0:30														
1:00														
1:30														
2:00														
2:30														
3:00														
3:30														
4:00														
4:30														
5:00														
5:30														
6:00														
6:30						238	129		280	427			168	
7:00	172	128						234	428					245
7:30		182	127				328			172			165	
8:00	328					237				127				

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”

	3-2	4-2	5-2	6-2	7-2	8-2	9-2	10-2	11-2	12-2	13-2	14-2	15-2	16-2
8:30					239		148		432					685
9:00			273	327				433						
9:30	129					439							246	
10:00		140									327			
10:30					239							217		
11:00														
11:30				539				382						246
12:00											452			
12:30														
13:00												429		
13:30														
14:00														
14:30														
15:00														
15:30														
16:00														
16:30											538			
17:00														
17:30				374										
18:00														
18:30							234							
19:00		123												
19:30														
20:00	239		128		354									
20:30												381		
21:00										428				
21:30				349		128					438		156	
22:00			139					238						345
22:30					459				458					
23:00												218		
23:30														

ANÁLISIS GLOBAL DE LOS DATOS OBTENIDOS

ANÁLISIS CONJUNTO DE LOS CONSUMOS DIARIOS

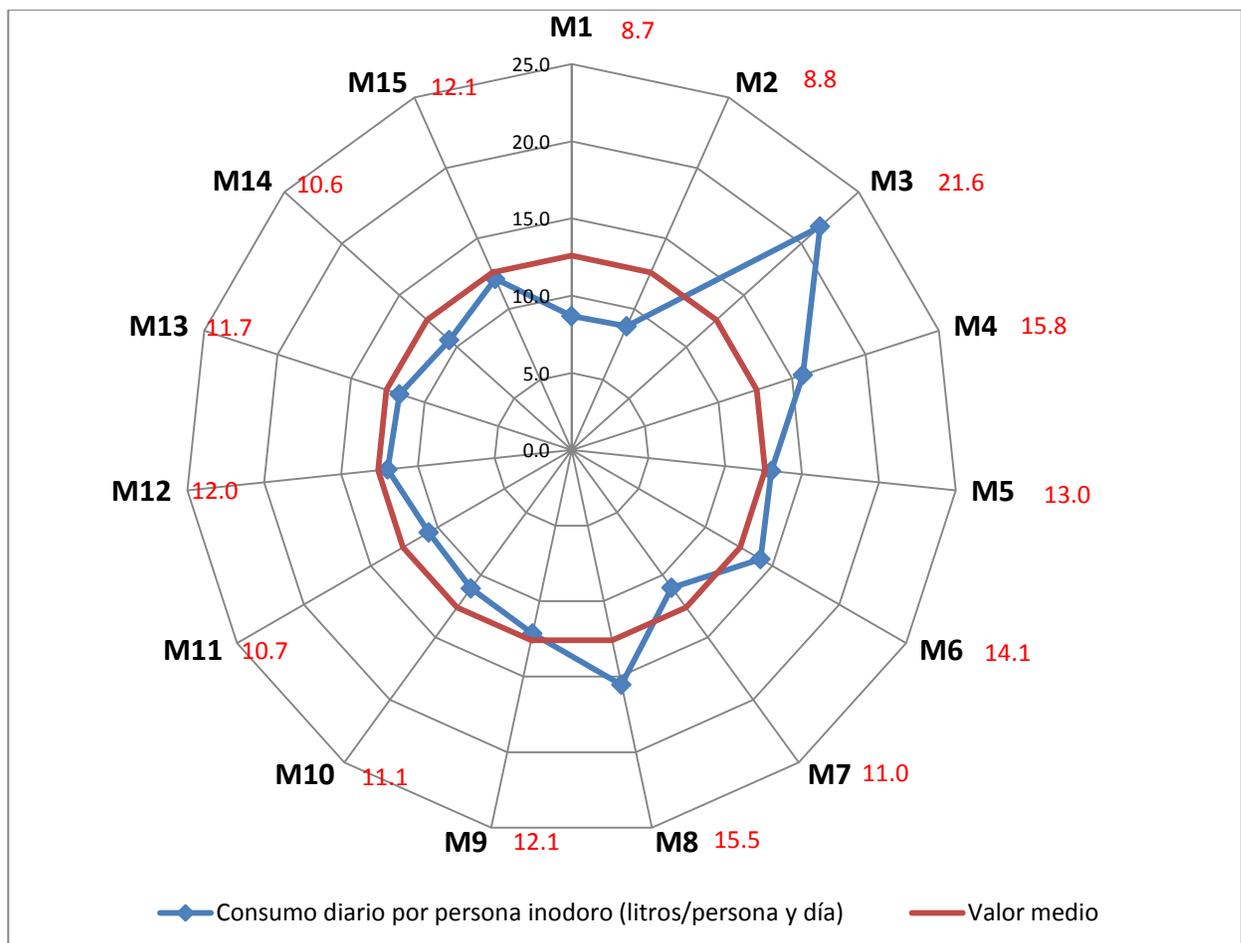
En primer lugar se van a comparar los consumos de inodoro y ducha por persona y día en cada una de las viviendas tipo. Esto se ve necesario para comprobar que no existen errores en las encuestas que puedan falsear los datos y den lugar a valores exagerados.

A continuación se presentan estos datos recopilados para cada una de las 15 muestras:

Consumo diario por persona inodoro (litros/persona y día)

M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
8.7	8.8	21.6	15.8	13.0	14.1	11.0	15.5	12.1	11.1	10.7	12.0	11.7	10.6	12.1

Media	12.59	Desv std	3.24	Error std	0.91
--------------	--------------	-----------------	-------------	------------------	-------------

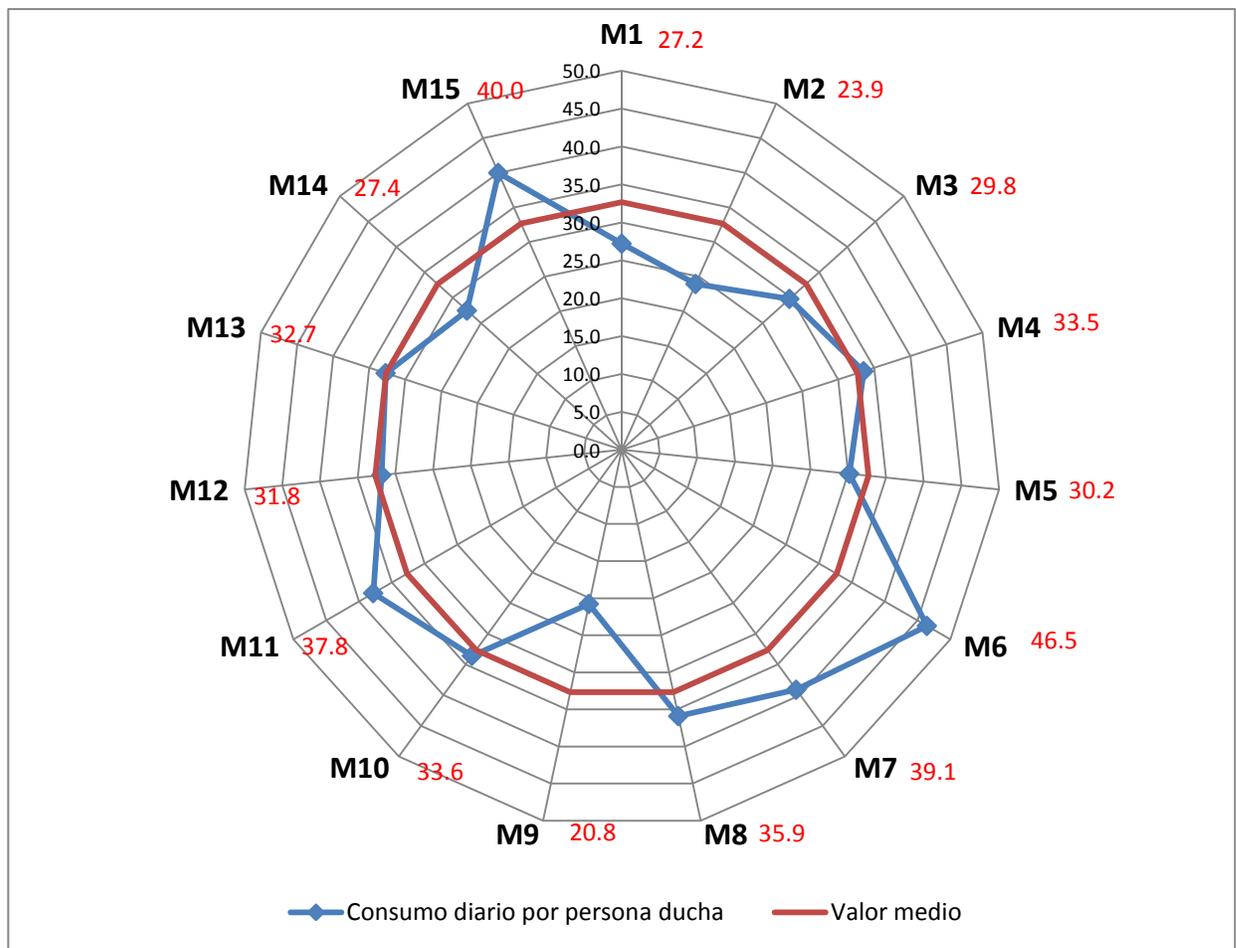


Como se puede observar, los datos obtenidos de las encuestas se agrupan bastante bien en torno a la media y no se observan valores exagerados.

Consumo diario por persona ducha (litros/persona y día)

M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
27.2	23.9	29.8	33.5	30.2	46.5	39.1	35.9	20.8	33.6	37.8	31.8	32.7	27.4	40.0

Media	32.68	Desv std	6.62	Error std	1.15
--------------	--------------	-----------------	-------------	------------------	-------------

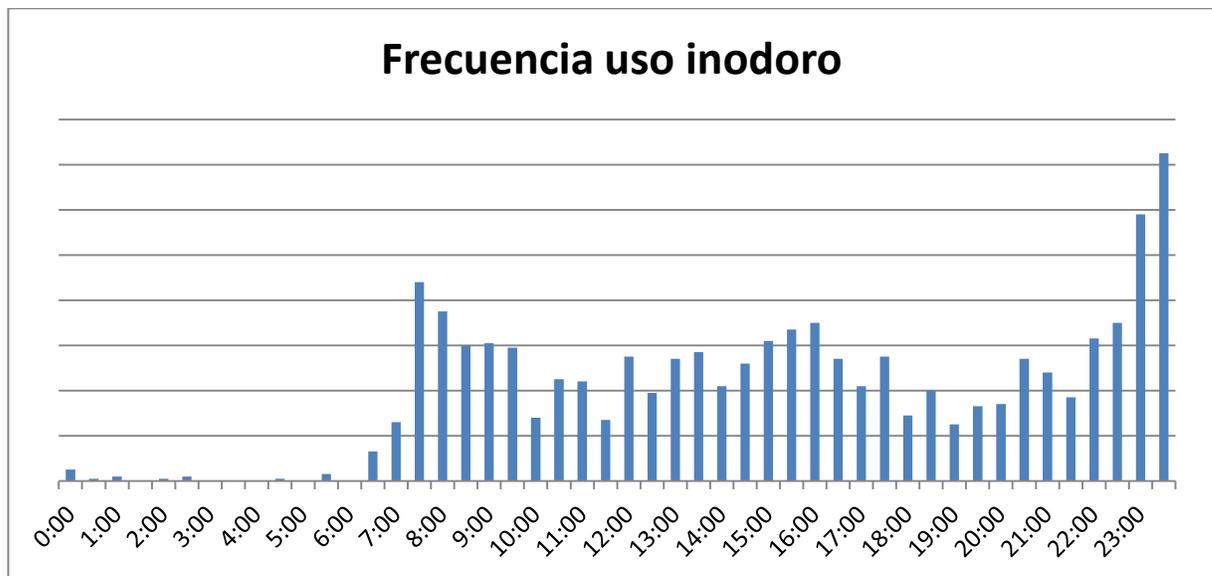


En este caso, que representa el consumo diario de la ducha, los valores también están bastante bien ajustados en torno a la media y se considera que los datos obtenidos a raíz de las encuestas, son válidos.

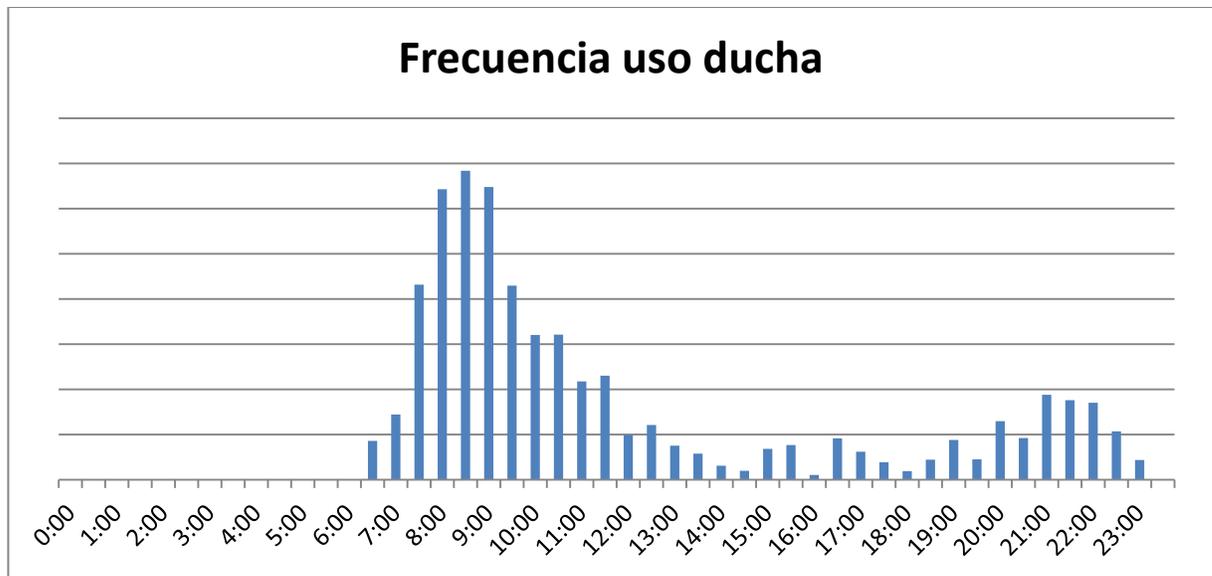
FRECUENCIA DE USO DE LOS ELEMENTOS

Lo siguiente que se va a analizar es la frecuencia de uso de los elementos, es decir los hábitos de uso del inodoro y ducha, estos se han analizado individualmente para cada una de las muestras, en este caso se van a compilar todos los datos procedentes de las encuestas y analizar globalmente.

Este análisis va a determinar el diseño de una de las partes del sistema de reutilización, en concreto la hora en la que se va a derivar el agua para riego desde los depósitos individuales de cada vivienda hacia el tanque conectado con el sistema de tratamiento para riego. Como se ha comentado anteriormente, se necesita satisfacer la demanda del inodoro en todo lo posible por lo que el momento idóneo para realizar esta operación será el anterior a la mayor concentración de uso de la ducha, de esta manera los depósitos individuales destinados a recargar la cisterna del inodoro estarían el menor tiempo posible en su volumen mínimo, lo que limita a su vez el uso de agua potable para la recarga del inodoro.



Como se puede observar el uso del inodoro es constante durante todo el día, exceptuando el periodo comprendido entre las 0:00 y las 7:00 que representa las horas de sueño y una punta de uso a las 23:30.



En este gráfico se observa la distribución de los usos de la ducha a lo largo del día. Tiene forma de campana y el máximo se concentra en torno a las 8:30, siendo más o menos constante a lo largo del resto del día, exceptuando el periodo de 0:00 a 7:00, donde no hay actividad.

Según el criterio expuesto anteriormente para la elección de la hora de derivación del caudal de riego para su tratamiento, esta debería de ser las 6:00-6:30, pero en este punto caben más consideraciones:

Este estudio, aunque los datos aparentemente son compatibles y están bien tomados, es muy pequeño por lo que no contempla una población representativa. Hay un sector de la población que comienza su jornada laboral a las 6:00 y es posible que se duche antes.

Los hábitos de uso de los elementos del cuarto de baño, muestran una inactividad muy notable tanto del uso de la ducha como del inodoro en el periodo 0:00-7:00.

Con todo esto, se ha decidido imponer como hora de descarga de los depósitos individuales, las 0:00 debido a que como se ha explicado no tendría ninguna relevancia de cara a satisfacer las demanda del inodoro dada la inactividad que se muestra a partir de esta hora. Además como se explicará más adelante, se va a disponer un volumen de reserva en el depósito individual de recarga del inodoro, para satisfacer situaciones que saliesen de la norma.

DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES DE DISEÑO PARA LA VIVIENDA MODELO

Para este apartado, se han analizado los consumos de ducha e inodoro según los habitantes de la vivienda. A partir de ahora el consumo del inodoro se denominará demandas y el consumo conjunto de lavabo y ducha aportaciones.

Se van a analizar dos situaciones de, según la ocupación de la vivienda.

Demandas y aportaciones medias, estas son las correspondientes a la media aritmética de las demandas/aportaciones diarias de cada vivienda durante todo el periodo de estudio.

Demandas y aportaciones máximas, corresponden a la media aritmética de las demandas/aportaciones máximas diarias de cada vivienda.

Habitantes		Demanda media por vivienda inodoro	Consumo medio por vivienda ducha	Aportación lavabo por vivienda	Demanda media por tipo de vivienda inodoro	Aportación media por tipo de vivienda ducha	Aportación media por tipo de vivienda lavabo
1	M3	21.6	29.8	5.0	21.6	29.8	5
	M1	17.4	50.5	10.0			
	M2	12.5	34.2	7.1			
2	M4	31.5	67.0	10.0	22.8	57.6	9.1
	M5	22.3	51.7	8.6			
	M6	24.2	66.4	8.6			
	M7	20.5	61.5	9.3			
	M8	31.1	71.8	10.0			
3	M9	36.4	62.4	15.0	32.7	79.5	14.2
	M10	30.9	79.2	13.9			
	M11	27.4	81.0	12.9			
	M12	35.9	95.5	15.0			
4	M13	46.8	130.9	20.0	45	130.9	19.5
	M14	39.5	101.9	18.6			
	M15	48.5	159.9	20.0			

Tabla 17.-Demandas y aportaciones medias por habitantes en la vivienda (litros/día)

Ocupación vivienda	1 habitante	2 habitantes	3 habitantes	4 habitantes
Demandas medias diarias (litros)	21.6	22.8	32.7	45.0
Aportaciones medias diarias (litros)	34.8	66.7	93.7	150.4

Capítulo 2 Toma y análisis de datos “uso del cuarto de baño”
DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES DE DISEÑO PARA LA VIVIENDA MODELO

Habitantes		Demanda máxima por vivienda inodoro	Consumo máximo por vivienda ducha	Aportación máxima lavabo por vivienda	Demanda media máxima por tipo de vivienda inodoro	Aportación media máxima por tipo de vivienda ducha	Aportación media máxima por tipo de vivienda lavabo
1	M3	25.5	49.5	5	25.5	49.5	5
	M1	30	72.7	10			
	M2	25.5	95.8	7.1			
2	M4	36	93.5	10	33.2	101	9.1
	M5	33	89.5	8.6			
	M6	36	142	8.6			
	M7	36	101.5	9.3			
	M8	36	112.4	10			
3	M9	45	99.3	15	44.6	141.1	14.2
	M10	46.5	156.4	13.9			
	M11	43.5	143	12.9			
	M12	43.5	165.8	15			
4	M13	58.5	57	60	58.5	209.2	19.5
	M14	232	152.6	243.1			
	M15	20	18.6	20			

Tabla 18.-Demandas y aportaciones medias máximas por habitantes en la vivienda (litros/día)

Ocupación vivienda	1 hab	2 hab	3 hab	4 hab
Demandas medias máximas diarias (litros)	25.5	33.2	44.6	58.5
Aportaciones medias máximas diarias (litros)	54.5	110.1	155.3	228.8

La relación entre los valores medios y máximos, proporcionan los coeficientes punta que se muestran en la tabla siguiente:

Ocupación vivienda	1 habitante	2 habitantes	3 habitantes	4 habitantes
Coefficiente punta demandas	1.18	1.46	1.37	1.30
Coefficiente punta aportaciones	1.57	1.65	1.66	1.52

Tabla 19.- Coeficientes punta

Capítulo 3 Simulación de funcionamiento

Índice:

Introducción	147
Exposición de los resultados para la elección de la alternativa óptima	148
Resultados preliminares	148
Muestra 1	148
Muestra 2	149
Muestra 3	149
Muestra 4	149
Muestra 5	150
Muestra 6	150
Muestra 7	150
Muestra 8	151
Muestra 9	151
Muestra 10	151
Muestra 11	152
Muestra 12	152
Muestra 13	152
Muestra 14	153
Muestra 15	153
Elección del volumen de reserva del depósito de recarga del inodoro y las aportaciones a considerar	154
Resultados finales	156
Muestra 1	156
Muestra 2:	156
Muestra 3:	157
Muestra 4:	157
Muestra 5:	158

Muestra 6:	158
Muestra 7:	159
Muestra 8:	159
Muestra 9:	160
Muestra 10:	160
Muestra 11:	161
Muestra 12:	161
Muestra 13:	162
Muestra 14:	162
Muestra 15:	163
Elección del volumen máximo del depósito	164
Exposición de los resultados de cada muestreo y globales conforme a las alternativas escogidas	165
Muestra 1	166
Muestra 2	168
Muestra 3	170
Muestra 4	172
Muestra 5	174
Muestra 6	176
Muestra 7	178
Muestra 8	180
Muestra 9	182
Muestra 10	184
Muestra 11	186
Muestra 12	188
Muestra 13	190
Muestra 14	192
Muestra 15	194
Resumen de las simulaciones y establecimiento de los caudales para riego diarios	196

INTRODUCCIÓN

Se van a simular dos funcionamientos, mediante una hoja Excel y en base a la toma de datos recogida en el ANEJO.

1.-Pésimo para satisfacer la demanda del inodoro: Aportaciones solo de la ducha.

2.-Normal: Aportaciones de la ducha y el lavabo.

Se van a adoptar varias hipótesis:

1.-La aportación se realiza después de la demanda para suponer una situación pésima en cuanto a la disponibilidad de agua. Por lo tanto el volumen de agua generado por una ducha a las 0:31 se considera volumen acumulado al inicio de las 1:00.

2.-Los caudales para riego se van a derivar a una hora fija todos los días, esta hora coincidirá con el inicio del periodo de menor demanda del inodoro y previo a la punta de aportaciones desde la ducha, se va a fijar las 0:00 como se ha razonado en el anejo de toma de datos.

3.-Esta derivación para riego se hará teniendo en cuenta un volumen mínimo que permanecerá en el depósito de alimentación del inodoro. La elección de este volumen mínimo se discutirá más adelante y quedará determinado por la necesidad de satisfacer la demanda del inodoro en las primeras horas del día siguiente. Valores razonables para este volumen mínimo serán:

Una descarga parcial y una completa: 7,5 litros.

Dos descargas completas: 9 litros.

Dos descargas completas y una parcial: 12,5 litros.

Una vez que se haya determinado este volumen de reserva, habrá que determinar el volumen máximo de los depósitos de alimentación del inodoro, a partir del cual el agua rebose y se conduzca hacia el depósito de alimentación del sistema de tratamiento para riego.

4.-Ante la dificultad de cuantificar el caudal procedente del lavabo y la poca relevancia que este tiene, se va a estimar en 5 litros por persona y día, y su aplicación se va a suponer en 3 momentos del día (8:30, 16:00 y 23:30). Como se ha explicado en el anejo de toma de datos, este caudal solo es aplicable cuando existe actividad en la vivienda.

EXPOSICIÓN DE LOS RESULTADOS PARA LA ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA ÓPTIMA

RESULTADOS PRELIMINARES

En esta parte, se van a exponer los resultados de todos los muestreos para las alternativas propuestas de cara a decidir al final de esta, la mejor solución en cuanto a:

Volumen de reserva para la recarga del inodoro.

Incorporación o no del caudal del lavabo al sistema de reutilización.

MUESTRA 1

En la tabla se pueden observar distintos indicadores como son el número de veces que se usa el agua potable para la recarga del inodoro, los litros de agua potable consumidos en dichos usos y el volumen disponible para riego para cada una de las hipótesis.

	Volumen de reserva depósito					
	7.5		9		12.5	
	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo
Veces que se usa el agua potable	3	9	2	8	1	6
Litros de agua potable consumidos	7.3	28.5	5.8	24.0	2.3	19.0
Vol. Disponible para riego	614.4	495.6	456.2	491.1	452.7	486.1

MUESTRA 2

	Volumen de reserva depósito					
	7.5		9		12.5	
N veces que se usa el agua potable	4	5	3	4	2	2
Litros de agua potable consumidos	9.5	13.5	8.0	10.5	5.7	5.5
Vol. Disponible para riego	415.8	319.8	313.3	316.8	311.0	311.8
	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo

MUESTRA 3

	Litros No evacuados al día					
	7.5		9		12.5	
N veces que se usa el agua potable	0	2	0	1	0	0
Litros de agua potable consumidos	0.0	4.2	0.0	2.3	0.0	0.0
Vol. Disponible para riego	183.6	117.7	131.9	115.9	131.9	113.6
	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo

MUESTRA 4

	Litros No evacuados al día					
	7.5		9		12.5	
N veces que se usa el agua potable	0	0	0	0	0	0
Litros de agua potable consumidos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vol. Disponible para riego	637.7	497.7	457.3	497.7	457.3	497.7
	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo

MUESTRA 5

	Litros No evacuados al día					
	7.5		9		12.5	
N veces que se usa el agua potable	1	0	1	0	1	0
Litros de agua potable consumidos	0.8	0.0	0.8	0.0	0.8	0.0
Vol. Disponible para riego	533.2	412.3	403.9	412.3	403.9	412.3
	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo

MUESTRA 6

	Litros No evacuados al día					
	7.5		9		12.5	
N veces que se usa el agua potable	2	3	1	3	1	1
Litros de agua potable consumidos	4.7	9.0	0.8	6.0	0.8	1.0
Vol. Disponible para riego	714.8	599.1	605.0	596.1	608.5	591.1
	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo

MUESTRA 7

	Litros No evacuados al día					
	7.5		9		12.5	
N veces que se usa el agua potable	0	3	0	2	0	1
Litros de agua potable consumidos	0.0	9.0	0.0	6.0	0.0	2.5
Vol. Disponible para riego	704.2	583.2	486.8	580.2	486.8	576.7
	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo

MUESTRA 8

	Litros No evacuados al día					
	7.5		9		12.5	
N veces que se usa el agua potable	0	1	0	1	0	0
Litros de agua potable consumidos	0.0	3.0	0.0	1.5	0.0	0.0
Vol. Disponible para riego	710.5	573.5	499.4	572.0	499.4	570.5
	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo

MUESTRA 9

	Litros No evacuados al día					
	7.5		9		12.5	
N veces que se usa el agua potable	0	1	0	1	0	1
Litros de agua potable consumidos	0.0	5.8	0.0	4.3	0.0	0.8
Vol. Disponible para riego	573.0	368.8	399.7	367.3	399.7	363.8
	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo

MUESTRA 10

	Litros No evacuados al día					
	7.5		9		12.5	
N veces que se usa el agua potable	9	18	9	16	8	14
Litros de agua potable consumidos	28.5	61.5	27.0	57.0	23.5	50.5
Vol. Disponible para riego	899.7	737.7	640.9	733.2	640.9	726.7
	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo

MUESTRA 11

	Litros No evacuados al día					
	7.5		9		12.5	
	N veces que se usa el agua potable	0	2	0	0	0
Litros de agua potable consumidos	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vol. Disponible para riego	936.2	759.2	805.2	756.2	805.2	756.2
	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo

MUESTRA 12

	Litros No evacuados al día					
	7.5		9		12.5	
	N veces que se usa el agua potable	0	1	0	0	0
Litros de agua potable consumidos	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Vol. Disponible para riego	1045.1	836.6	748.5	835.1	748.5	835.1
	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo

MUESTRA 13

	Litros No evacuados al día					
	7.5		9		12.5	
	N veces que se usa el agua potable	0	0	0	0	0
Litros de agua potable consumidos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vol. Disponible para riego	1456.5	1176.5	918.6	1176.5	918.6	1176.5
	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo

MUESTRA 14

	Litros No evacuados al día					
	7.5		9		12.5	
N veces que se usa el agua potable	0	0	0	0	0	0
Litros de agua potable consumidos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vol. Disponible para riego	1133.7	873.7	786.9	873.7	786.9	873.7
	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo

MUESTRA 15

	Litros No evacuados al día					
	7.5		9		12.5	
N veces que se usa el agua potable	1	1	1	1	0	0
Litros de agua potable consumidos	3.0	3.0	1.5	1.5	0.0	0.0
Vol. Disponible para riego	1842.6	1562.6	1312.1	1561.1	1312.1	1559.6
	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo

ELECCIÓN DEL VOLUMEN DE RESERVA DEL DEPÓSITO DE RECARGA DEL INODORO Y LAS APORTACIONES A CONSIDERAR

Como se puede observar de las gráficas anteriores que constituyen un resumen de las simulaciones realizadas e independientemente de la alternativa a elegir, se dan pocas situaciones en las que se consuma de agua potable para recarga del inodoro. Esto depende principalmente de los hábitos de consumo de cada vivienda.

Como situación pésima se va a tomar la simulación de la muestra 10, ya que esta es pésima en cuanto al abastecimiento completo del inodoro con agua reutilizada.

	Litros No evacuados al día					
	7.5		9		12.5	
N veces que se usa el agua potable	9	18	9	16	8	14
Litros de agua potable consumidos	28.5	61.5	27.0	57.0	23.5	50.5
Vol. Disponible para riego	899.7	737.7	640.9	733.2	640.9	726.7
	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo	Ducha + lavabo	Ducha NO lavabo

Como se puede observar, el volumen de reserva en el depósito de alimentación del inodoro, no es muy relevante en la cantidad de litros de agua potable consumidos para la recarga de este, si lo es el tener en cuenta las aportaciones de la ducha y lavabo o solo las de la ducha.

En este caso el consumo de agua potable representa un 14% respecto al consumo total del inodoro en la situación más pésima (volumen de reserva 7.5 litros y aportaciones solo ducha).

Sin embargo si tomamos una situación intermedia en la que las aportaciones sean las de la ducha y el lavabo de manera conjunta, este consumo de agua potable baja a un 6.6%, lo cual es una cifra bastante razonable.

Por lo tanto se escoge como situación de dimensionamiento:

Aportaciones conjuntas de lavabo y ducha. Esto es debido a que no es demasiado problemática la fontanería para llevar a cabo esta conexión, además las aportaciones del lavabo aunque son pequeñas, tienen una frecuencia horaria muy marcada, unas características similares al agua procedente de la ducha y a su gran influencia en los resultados finales como se ha podido observar.

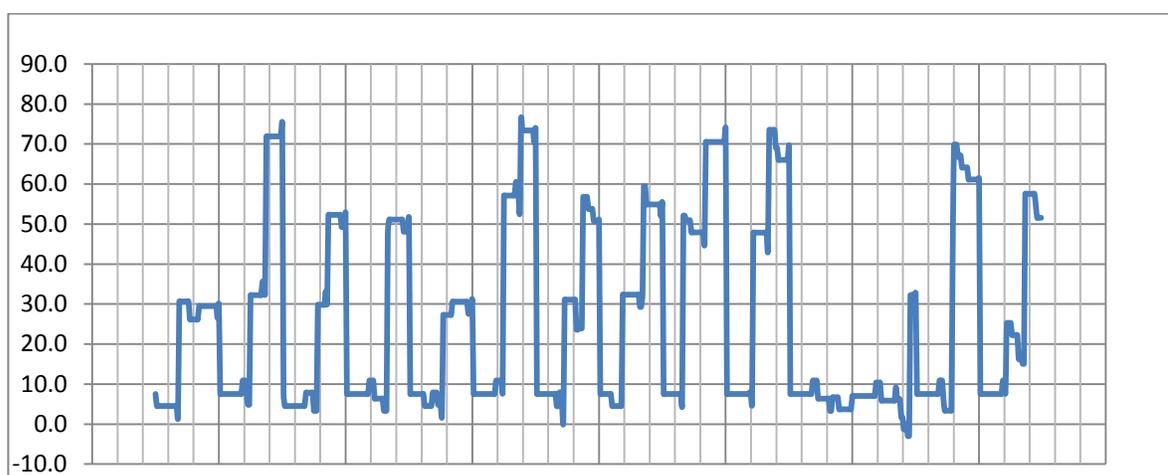
Volumen de reserva en el depósito de alimentación del inodoro de 7,5 litros. Se ha escogido este volumen mínimo de cara a reducir la cantidad de agua almacenada. Aunque como se explica en diferentes guías, no debería ser problemático el almacenamiento de más de 24 horas de este tipo de aguas (aguas grises de baja carga), el autor de este estudio ha decidido además de imponer este tiempo de retención máximo, el volumen mínimo de reserva como criterios de funcionamiento. Con esto se prevé reducir al máximo la posibilidad de aparición de agentes patógenos y malos olores sin comprometer la capacidad de rellenar el inodoro con agua reutilizada.

RESULTADOS FINALES

A continuación, con los criterios escogidos en el apartado anterior, se va a analizar el máximo volumen acumulado en el depósito de recarga del inodoro para las diferentes muestras, y al final de este punto se determinará el volumen máximo del depósito.

Para ello se van a exponer unas gráficas que con un trazo azul, representan la variación de volúmenes en el depósito de recarga del inodoro para cada una de las muestras durante la totalidad del periodo de estudio y su volumen acumulado máximo.

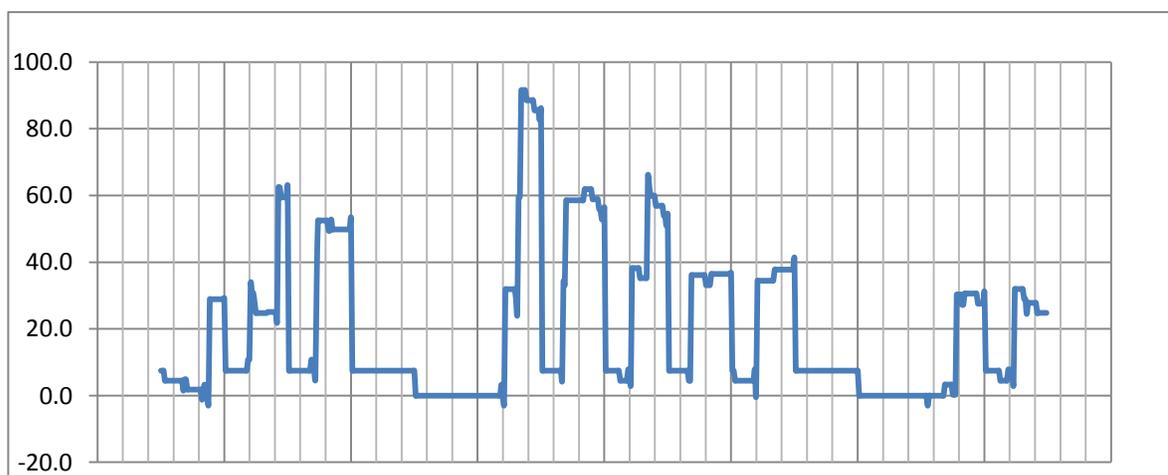
MUESTRA 1



Volumen máximo acumulado en el periodo

76.4 litros

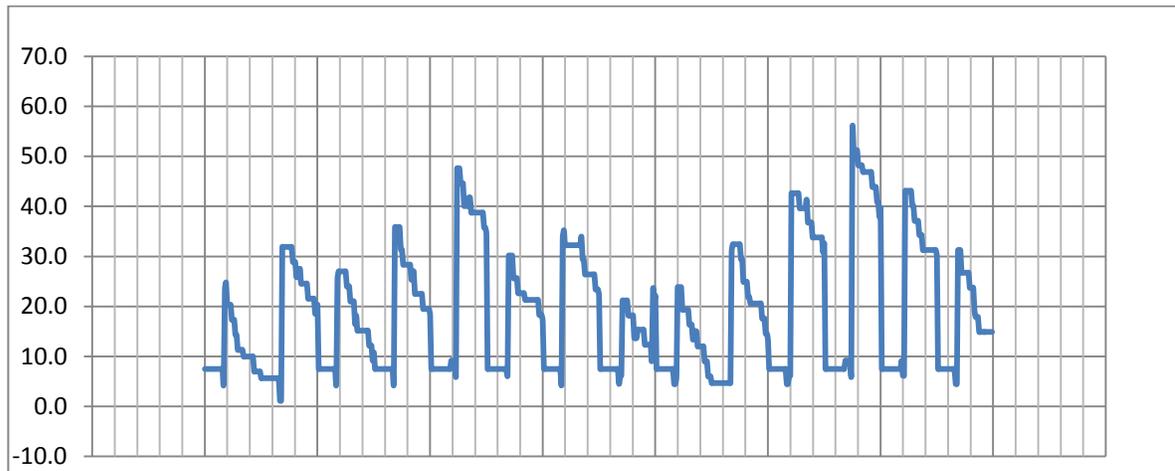
MUESTRA 2:



Volumen máximo acumulado en el periodo

91.6 litros

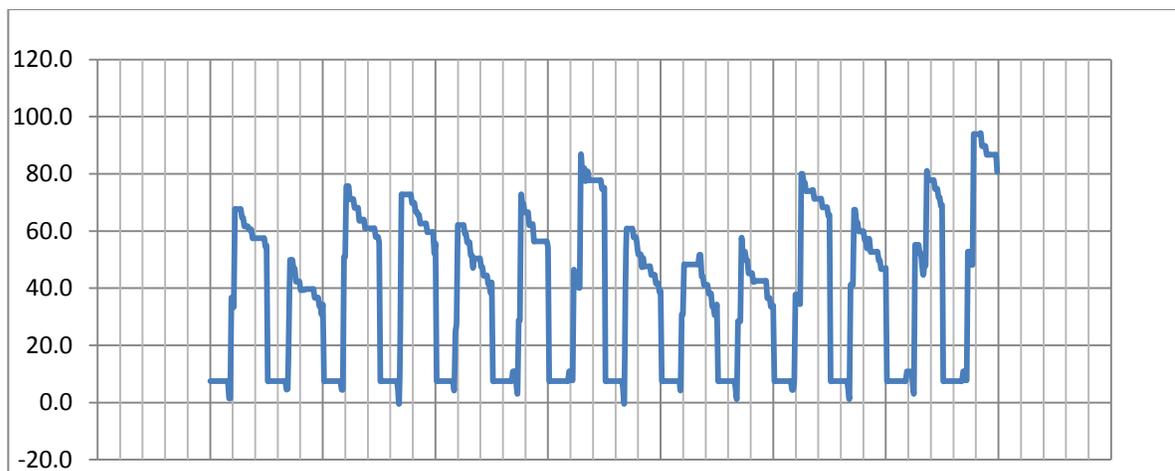
MUESTRA 3:



Volumen máximo acumulado en el periodo

55.7 litros

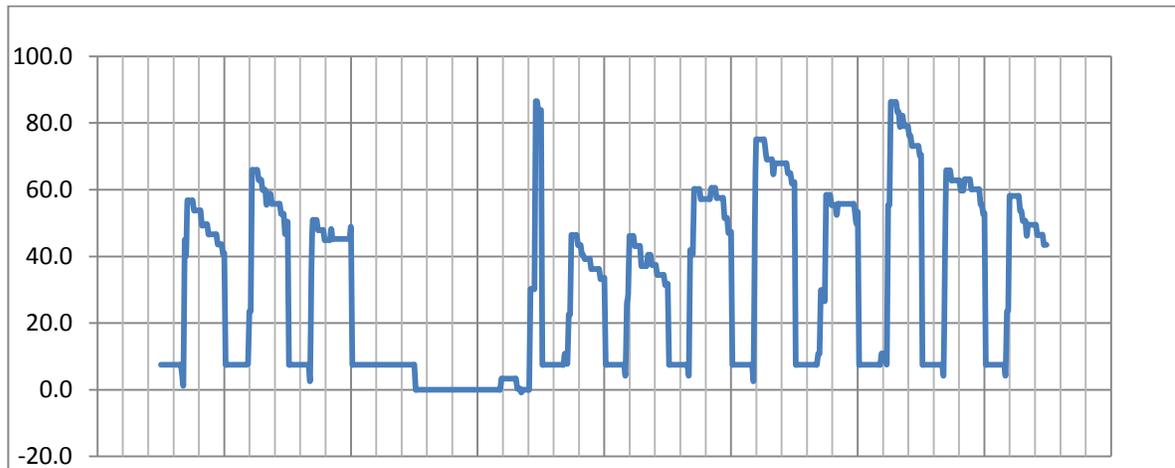
MUESTRA 4:



Volumen máximo acumulado en el periodo

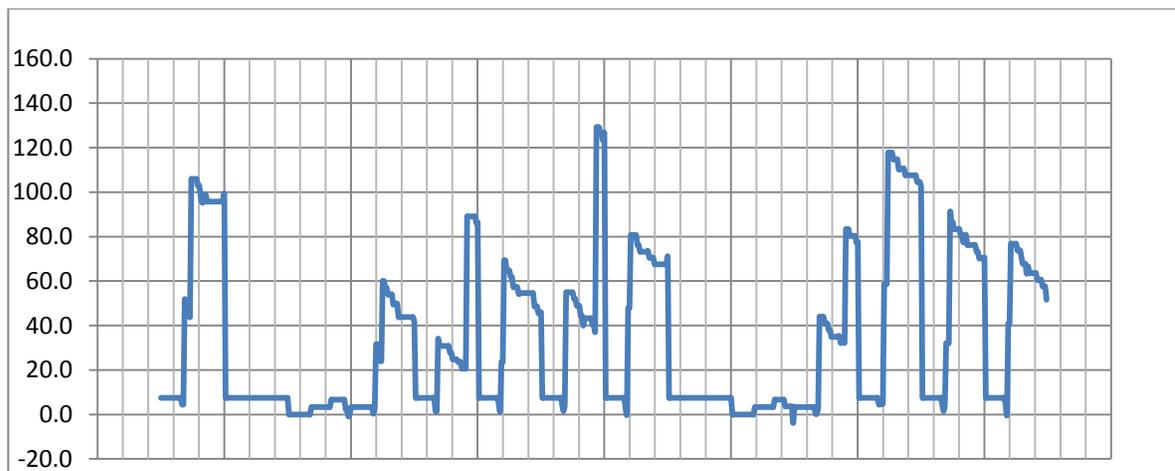
94.2 litros

MUESTRA 5:



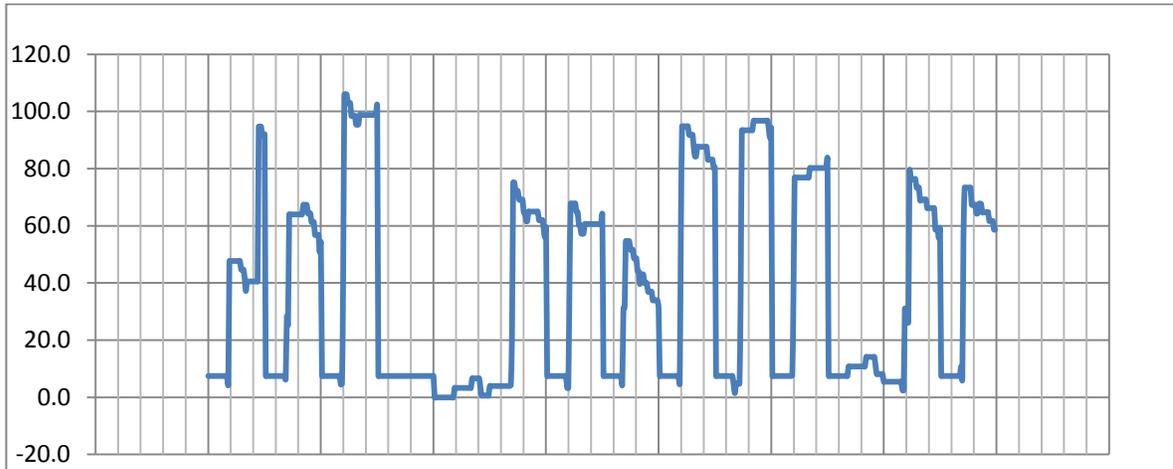
Volumen máximo acumulado en el periodo	86.5 litros
--	-------------

MUESTRA 6:



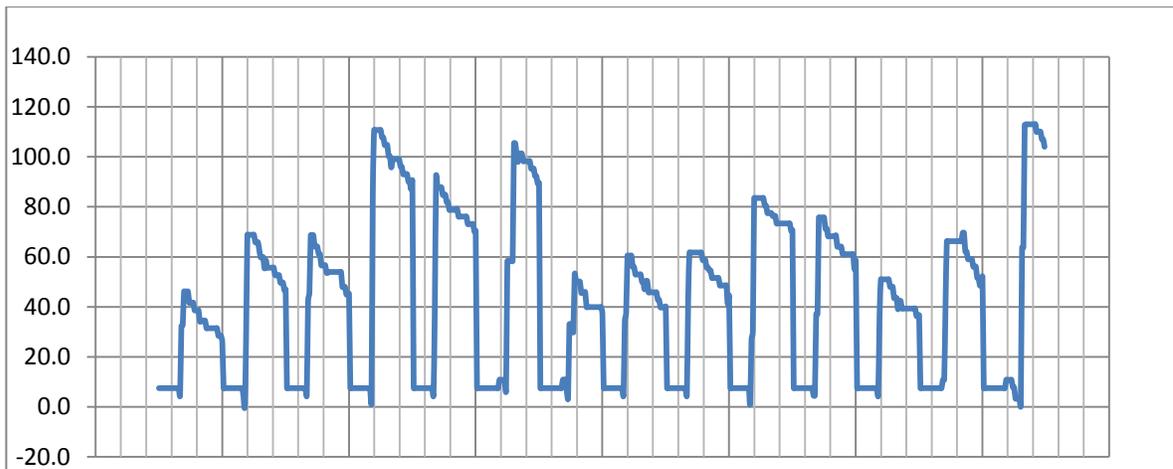
Volumen máximo acumulado en el periodo	129.1 litros
--	--------------

MUESTRA 7:



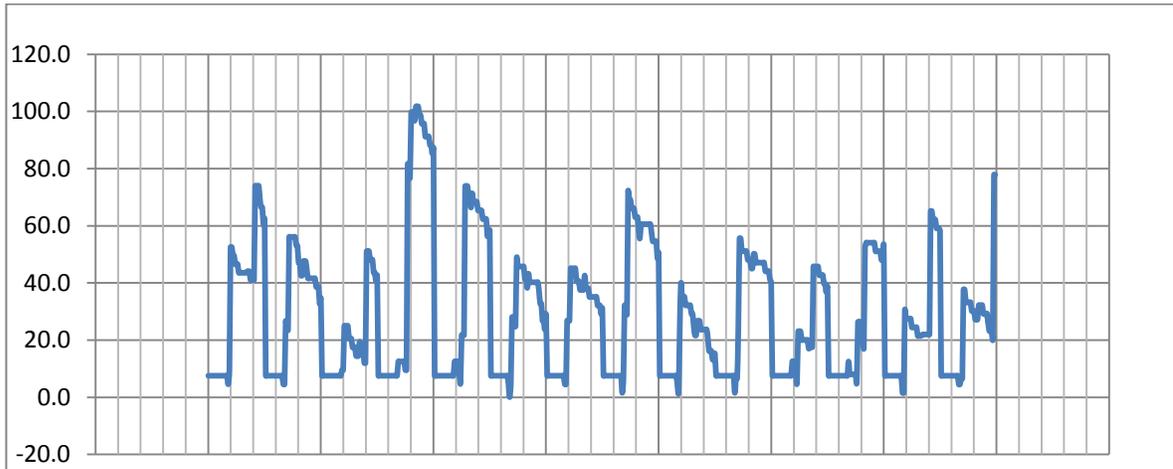
Volumen máximo acumulado en el periodo	105.9 litros
--	--------------

MUESTRA 8:



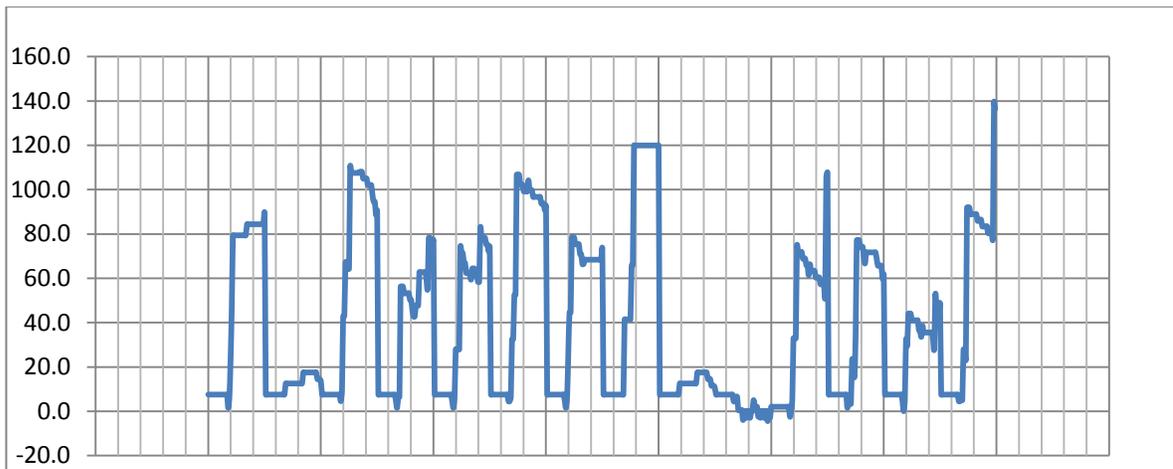
Volumen máximo acumulado en el periodo	113.0 litros
--	--------------

MUESTRA 9:



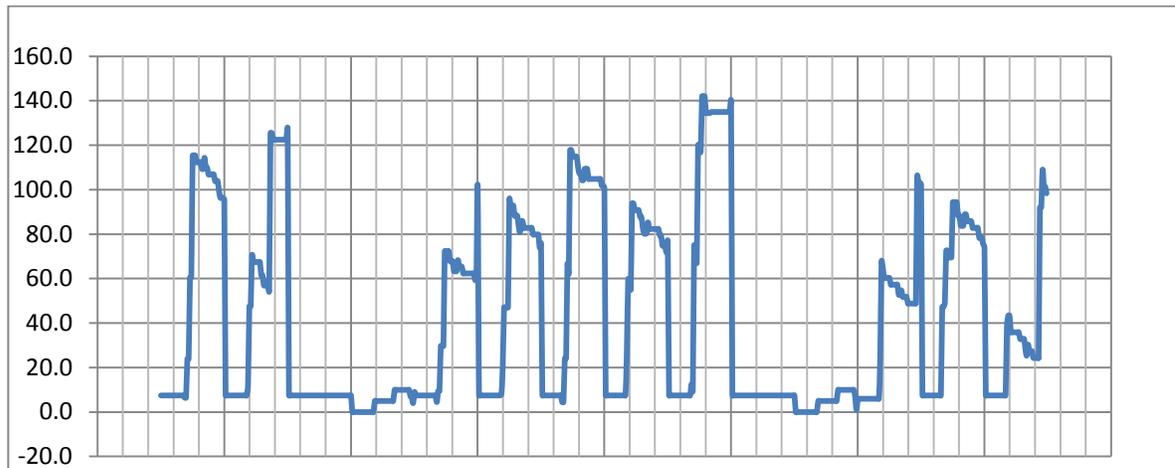
Volumen máximo acumulado en el periodo	101.8 litros
--	--------------

MUESTRA 10:



Volumen máximo acumulado en el periodo	139.4litros
--	-------------

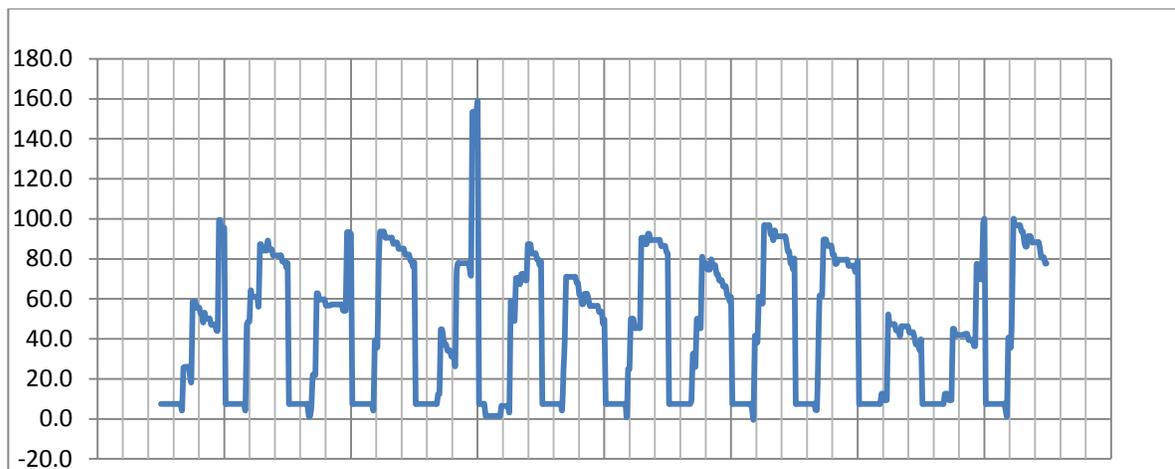
MUESTRA 11:



Volumen máximo acumulado en el periodo

142.0 litros

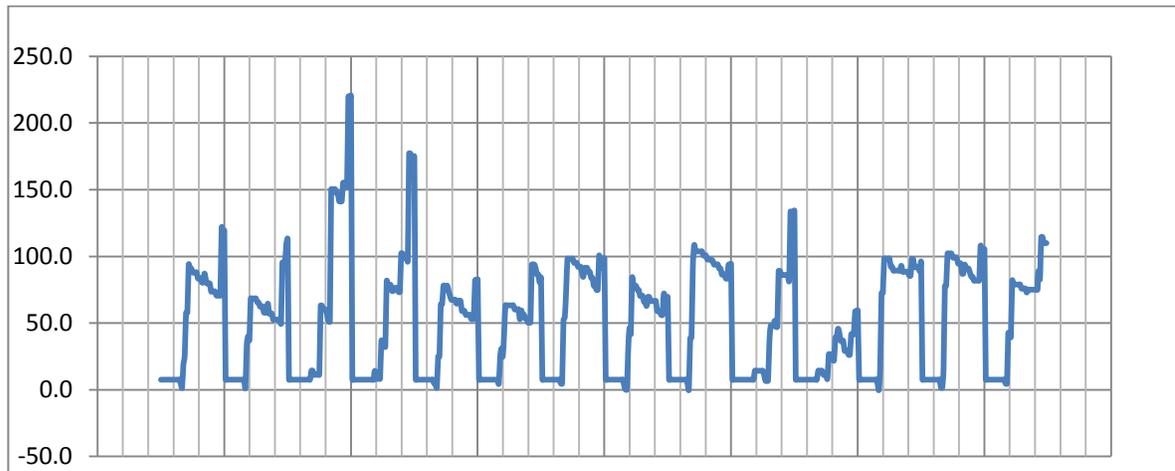
MUESTRA 12:



Volumen máximo acumulado en el periodo

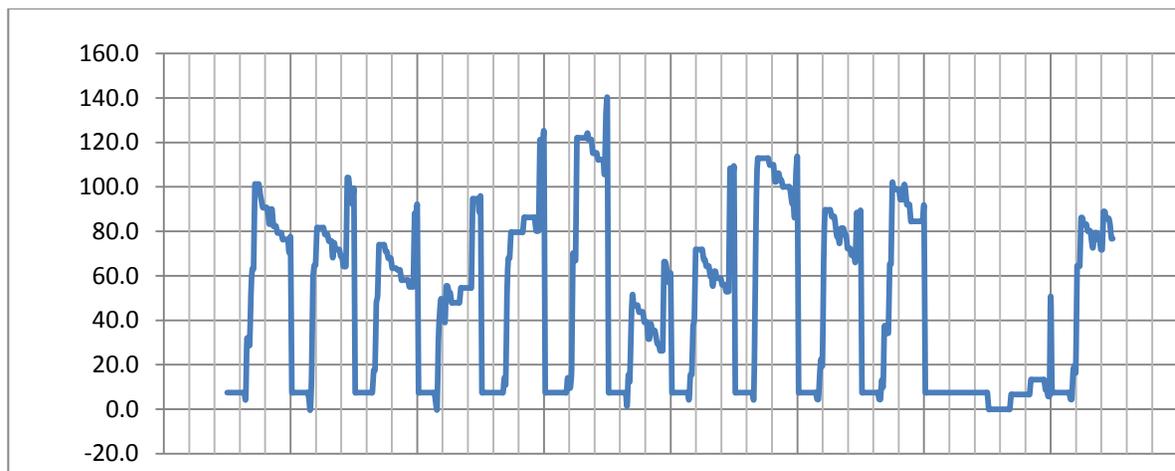
158.3 litros

MUESTRA 13:



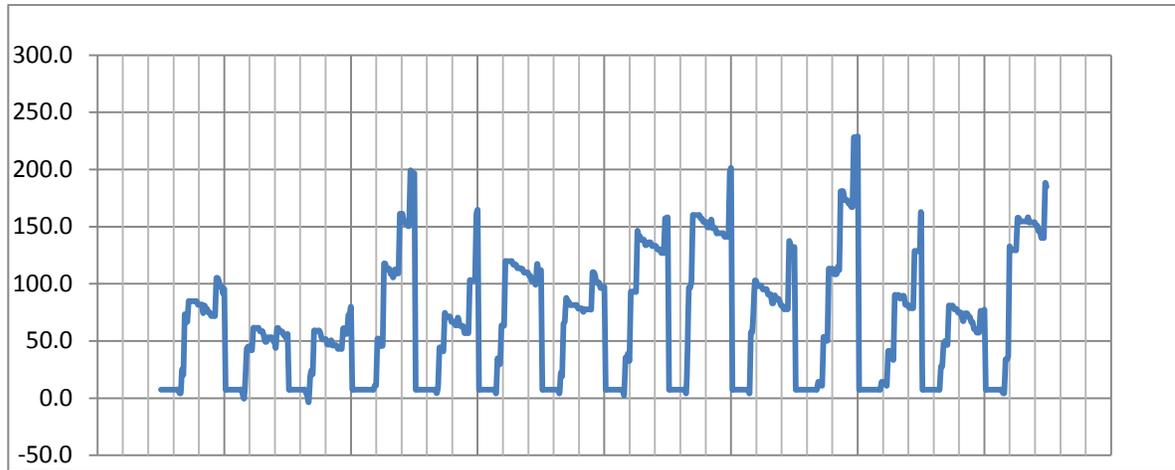
Volumen máximo acumulado en el periodo	220.5 litros
--	--------------

MUESTRA 14:



Volumen máximo acumulado en el periodo	139.6 litros
--	--------------

MUESTRA 15:



Volumen máximo acumulado en el periodo	228.6 litros
--	--------------

ELECCIÓN DEL VOLUMEN MÁXIMO DEL DEPÓSITO

El máximo volumen acumulado durante el periodo de estudio, es 228.6 litros y corresponde al muestreo 15.

El volumen máximo del depósito se va a determinar en función de la disponibilidad de espacio. Unas medidas típicas de un plato de ducha son 100x100 cm, por lo que para almacenar este volumen, se necesitaría un depósito con la forma en planta del plato de ducha y una profundidad de 23 cm en cuya cota más alta se dispondría el rebosadero.

Esta profundidad no se ve excesiva, aunque se podría reducir en función del espacio disponible en cada caso, ya que como se observa en las gráficas, la satisfacción de la demanda del inodoro no se vería afectada por la limitación del volumen.

En todo caso para este estudio e imponiendo como criterio la simplicidad de los cálculos, se va a disponer un depósito con un volumen de 250 litros, con una forma en planta cuadrada de 100 x 100 cm y una profundidad de 25 cm. La solera del depósito como se ha indicado antes deberá estar ligeramente inclinada hacia el desagüe de fondo como se ha mencionado ya.

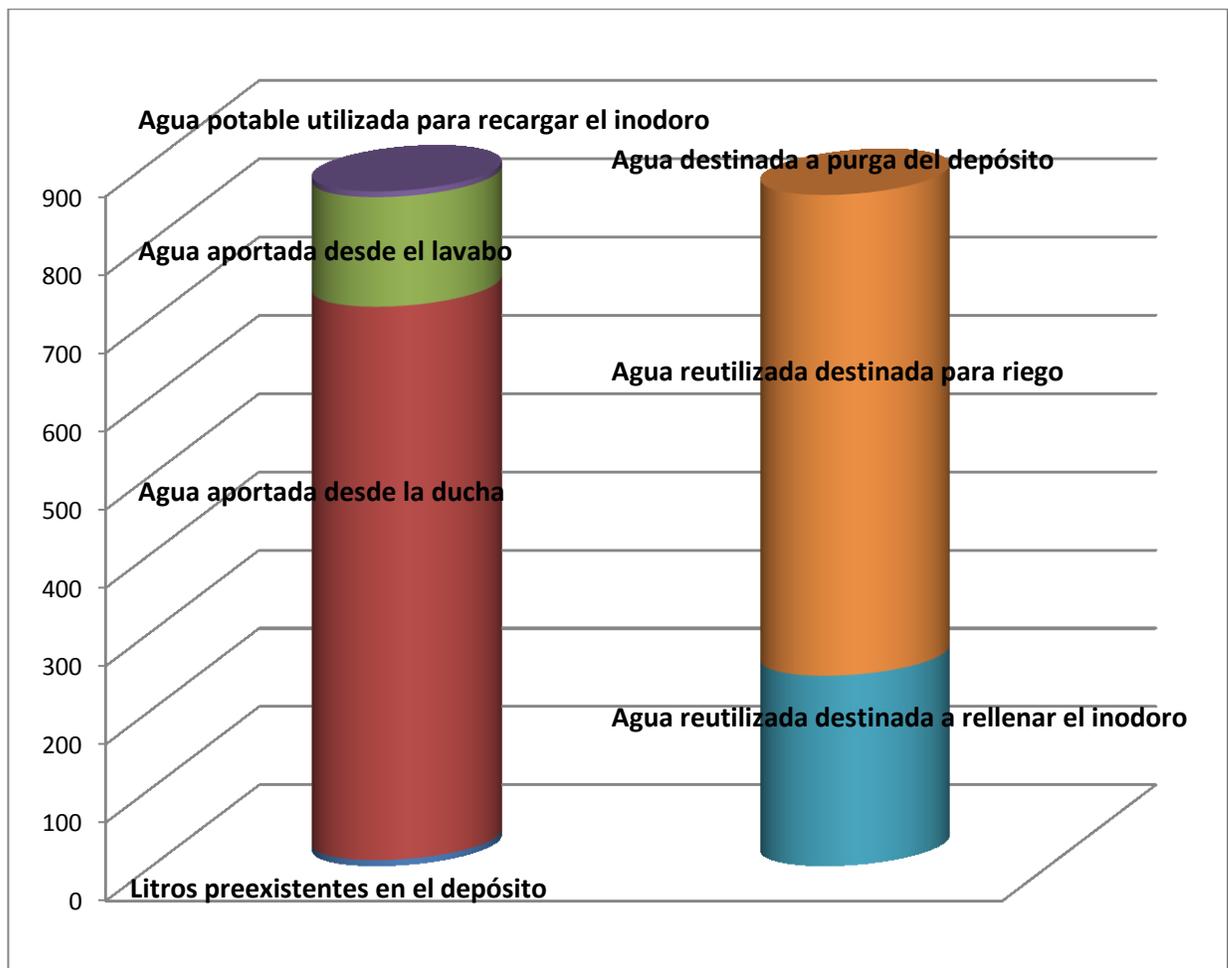
EXPOSICIÓN DE LOS RESULTADOS DE CADA MUESTREO Y GLOBALES CONFORME A LAS ALTERNATIVAS ESCOGIDAS

En este apartado se van a mostrar diversas gráficas, que muestran de manera individualizada diversas gráficas correspondientes al funcionamiento del sistema con las características anteriormente escogidas.

MUESTRA 1

Se han utilizado:	7.5	Litros preexistentes en el depósito
	707.1	litros aportados desde la ducha
	140	desde el lavabo
	7.33	litros de agua potable

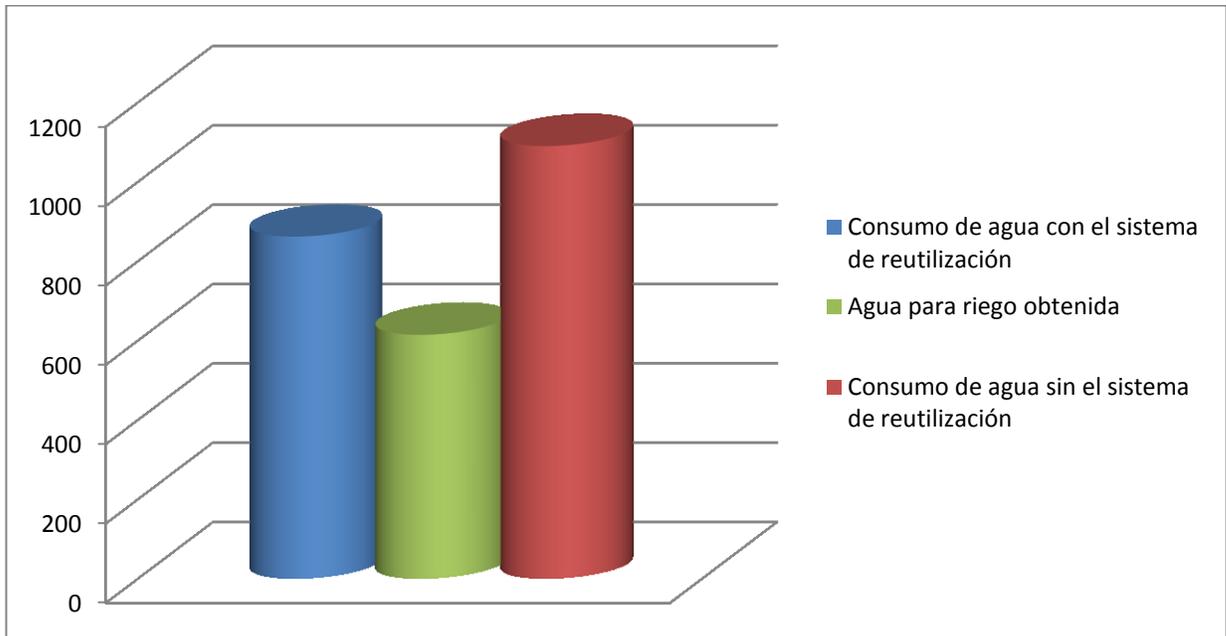
De los cuales:	243	se han utilizado para rellenar el inodoro,
	614.4	se han destinado para riego y
	0	Para la purga del sistema en periodos de inactividad.



Capítulo 3 Simulación de funcionamiento

EXPOSICIÓN DE LOS RESULTADOS DE CADA MUESTREO Y GLOBALES CONFORME A LAS ALTERNATIVAS ESCOGIDAS

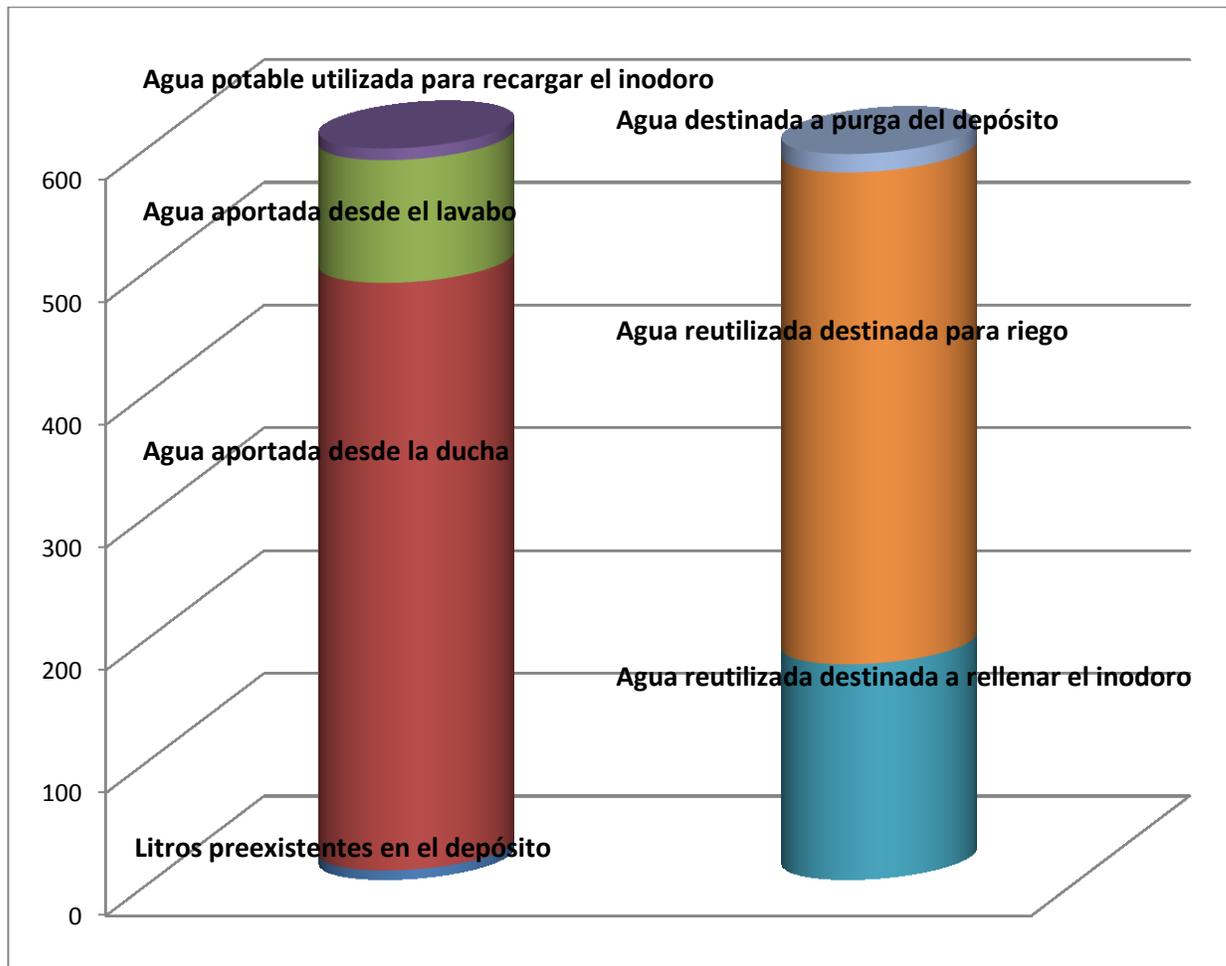
Ahorro teórico de agua potable	235.7	litros
Agua para riego disponible	43.9	litros/día



MUESTRA 2

Se han utilizado:	7.5	Litros preexistentes en el depósito
	478.8	litros aportados desde la ducha
	100	desde el lavabo
	9.5	litros de agua potable

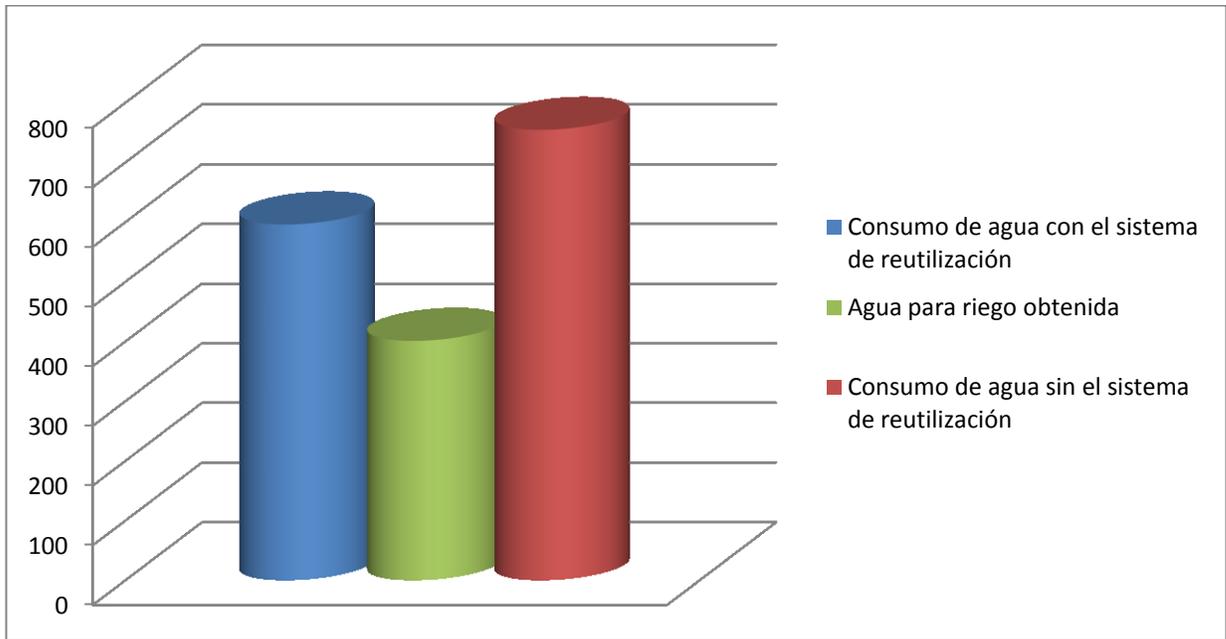
De los cuales:	175.5	se han utilizado para rellenar el inodoro,
	400.8	se han destinado para riego y
	15	para la limpieza del sistema en periodos de inactividad.



Capítulo 3 Simulación de funcionamiento

EXPOSICIÓN DE LOS RESULTADOS DE CADA MUESTREO Y GLOBALES CONFORME A LAS ALTERNATIVAS ESCOGIDAS

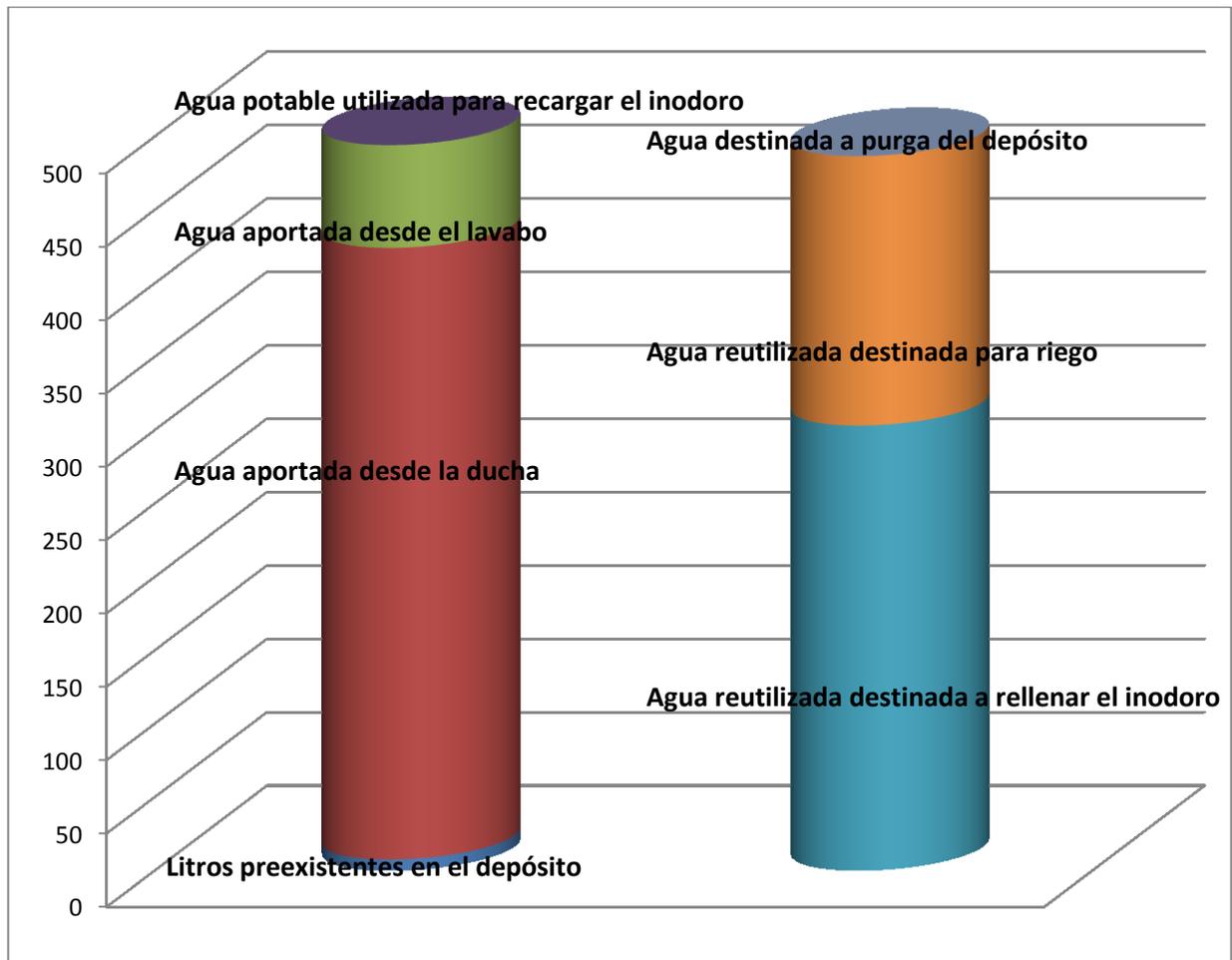
Ahorro teórico de agua potable	166	litros
Agua para riego disponible	28.6	litros/día



MUESTRA 3

Se han utilizado:	7.5	Litros preexistentes en el depósito
	416.6	litros aportados desde la ducha
	70	desde el lavabo
	0	litros de agua potable

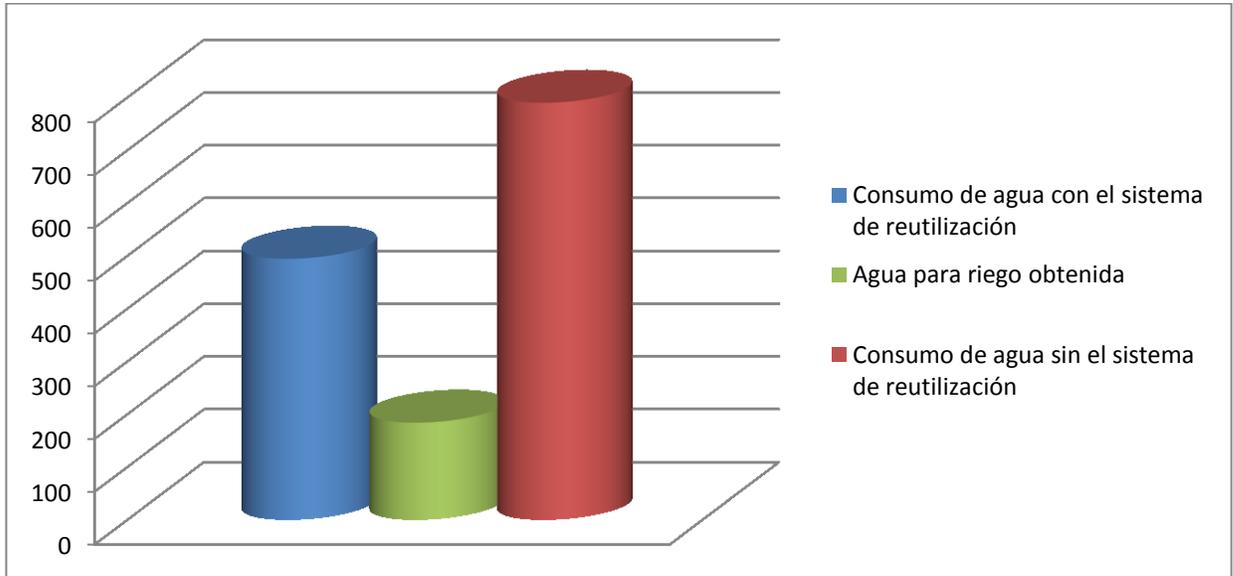
De los cuales:	303	se han utilizado para rellenar el inodoro,
	183.6	se han destinado para riego y
	0	para la limpieza del sistema en periodos de inactividad.



Capítulo 3 Simulación de funcionamiento

EXPOSICIÓN DE LOS RESULTADOS DE CADA MUESTREO Y GLOBALES CONFORME A LAS ALTERNATIVAS ESCOGIDAS

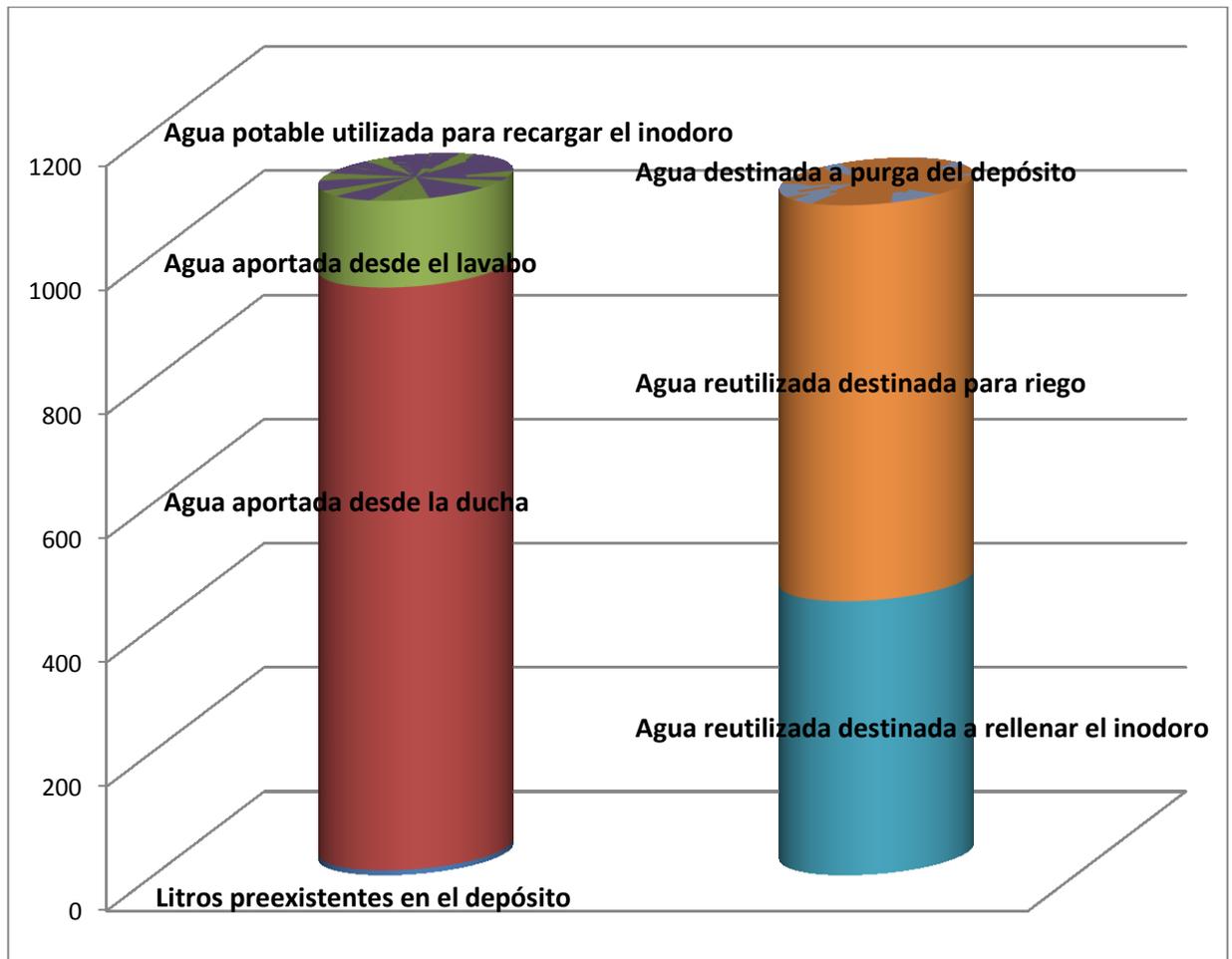
Ahorro teórico de agua potable	303	litros
Agua para riego disponible	13.1	litros/día



MUESTRA 4

Se han utilizado:	7.5	Litros preexistentes en el depósito
	938.7	litros aportados desde la ducha
	140	desde el lavabo
	0	litros de agua potable

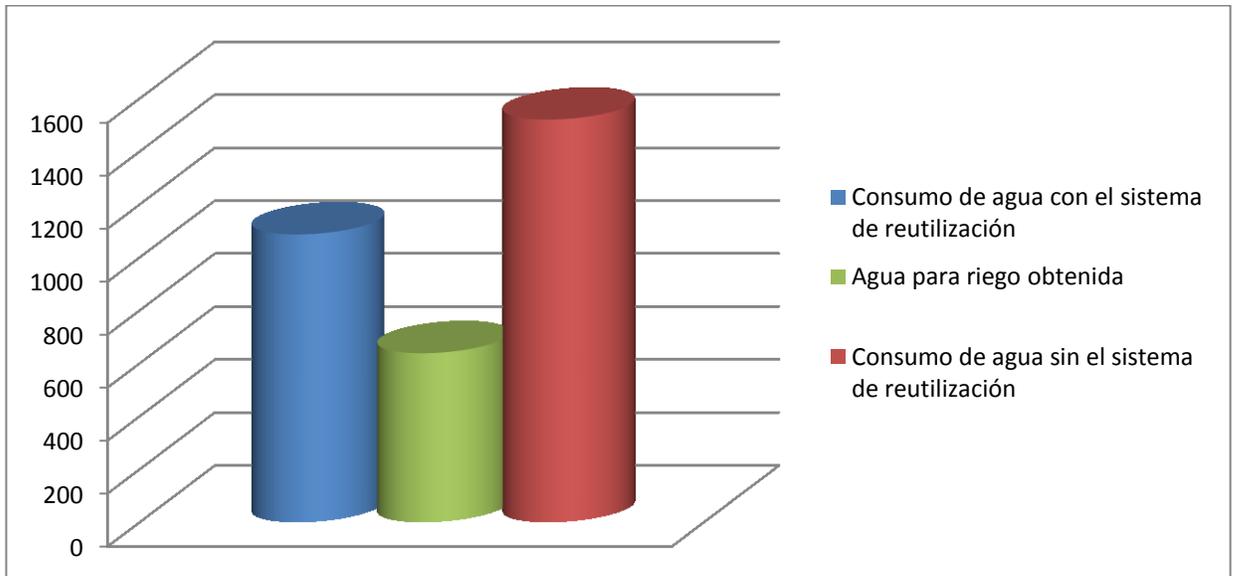
De los cuales:	441	se han utilizado para rellenar el inodoro,
	637.7	se han destinado para riego y
	0	para la limpieza del sistema en periodos de inactividad.



Capítulo 3 Simulación de funcionamiento

EXPOSICIÓN DE LOS RESULTADOS DE CADA MUESTREO Y GLOBALES CONFORME A LAS ALTERNATIVAS ESCOGIDAS

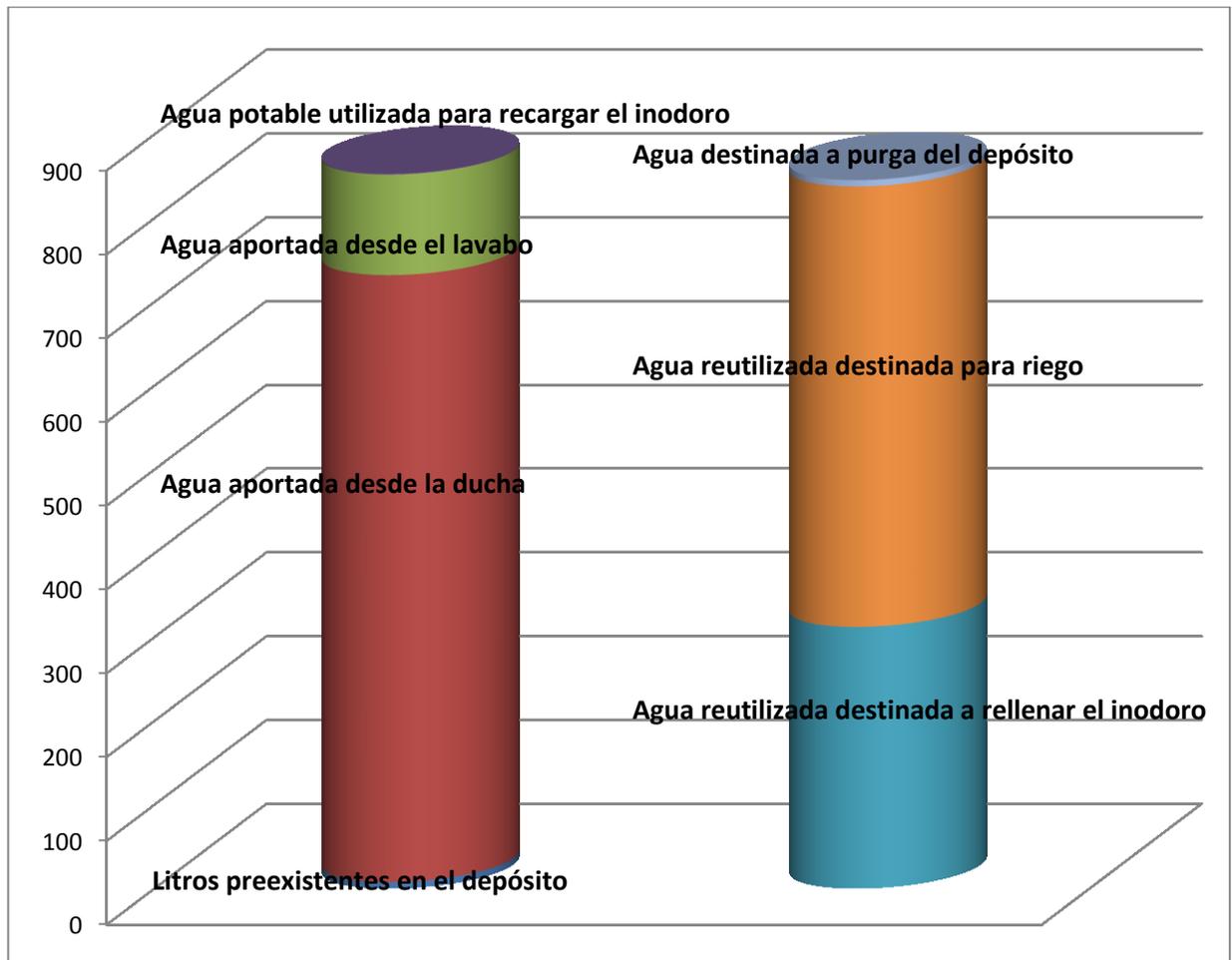
Ahorro teórico de agua potable	441	litros
Agua para riego disponible	45.5	litros/día



MUESTRA 5

Se han utilizado:	7.5	Litros preexistentes en el depósito
	724.3	litros aportados desde la ducha
	120	desde el lavabo
	0.83	litros de agua potable

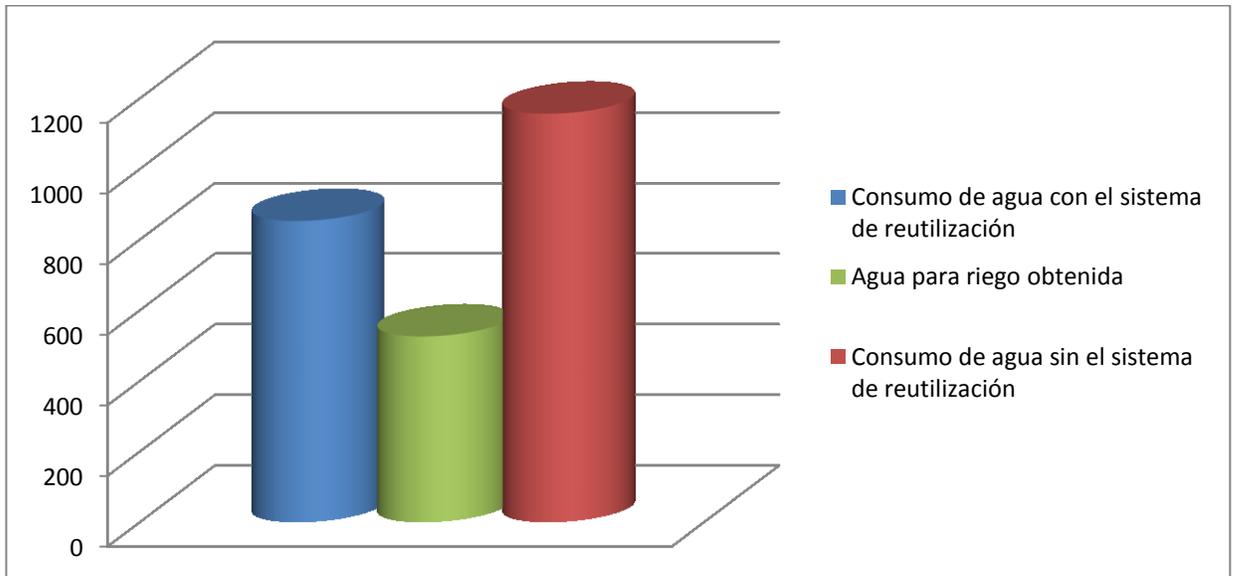
De los cuales:	312	se han utilizado para rellenar el inodoro,
	525.7	se han destinado para riego y
	7.5	para la limpieza del sistema en periodos de inactividad.



Capítulo 3 Simulación de funcionamiento

EXPOSICIÓN DE LOS RESULTADOS DE CADA MUESTREO Y GLOBALES CONFORME A LAS ALTERNATIVAS ESCOGIDAS

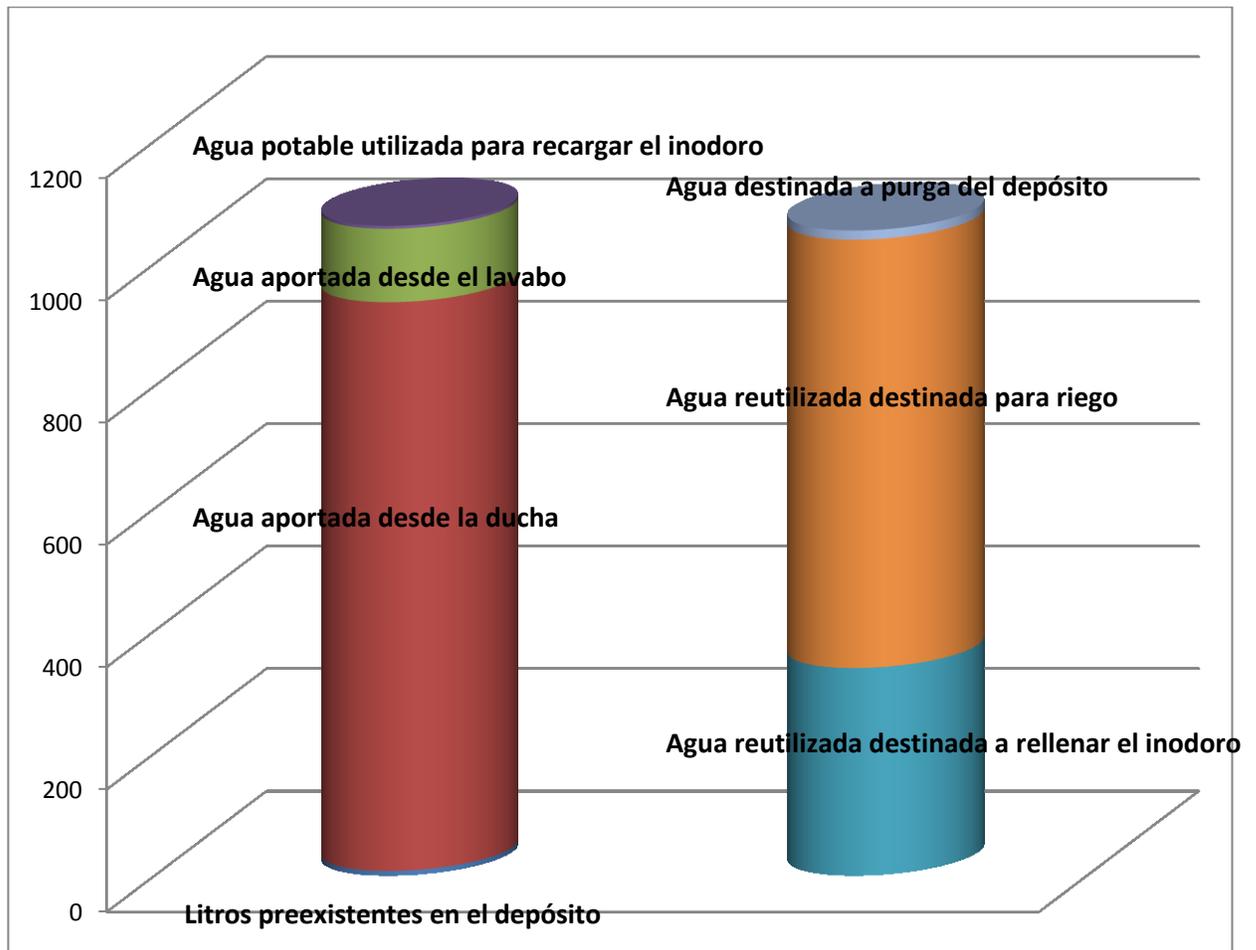
Ahorro teórico de agua potable	311.17	litros
Agua para riego disponible	37.5	litros/día



MUESTRA 6

Se han utilizado:	7.5	Litros preexistentes en el depósito
	929.1	litros aportados desde la ducha
	120	desde el lavabo
	4.67	litros de agua potable

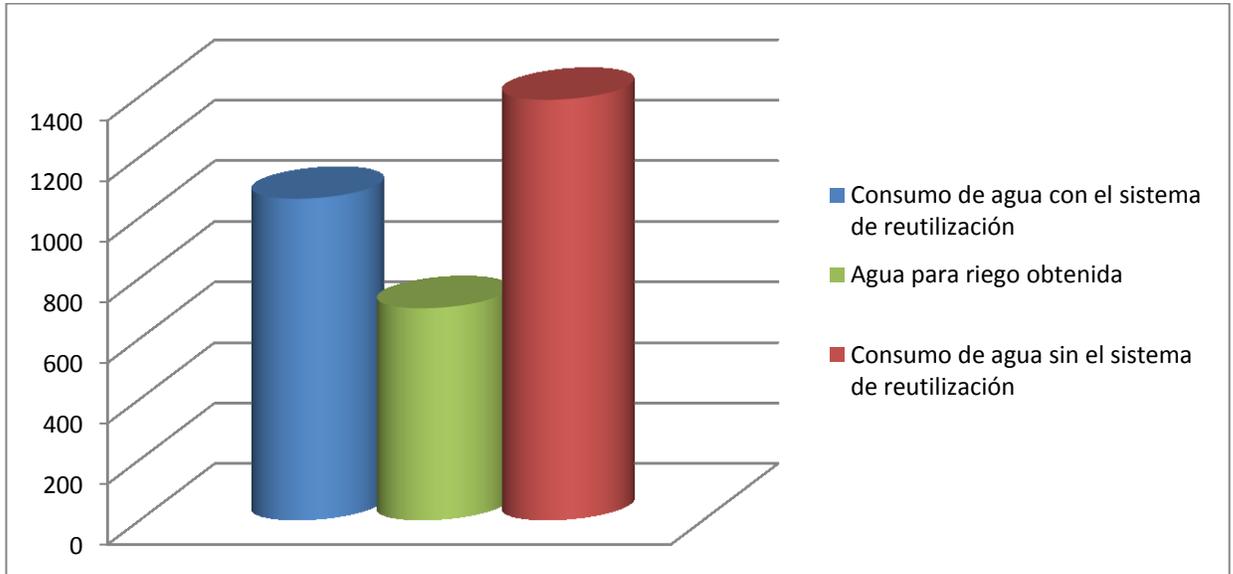
De los cuales:	339	se han utilizado para rellenar el inodoro,
	699.8	se han destinado para riego y
	15	para la limpieza del sistema en periodos de inactividad.



Capítulo 3 Simulación de funcionamiento

EXPOSICIÓN DE LOS RESULTADOS DE CADA MUESTREO Y GLOBALES CONFORME A LAS ALTERNATIVAS ESCOGIDAS

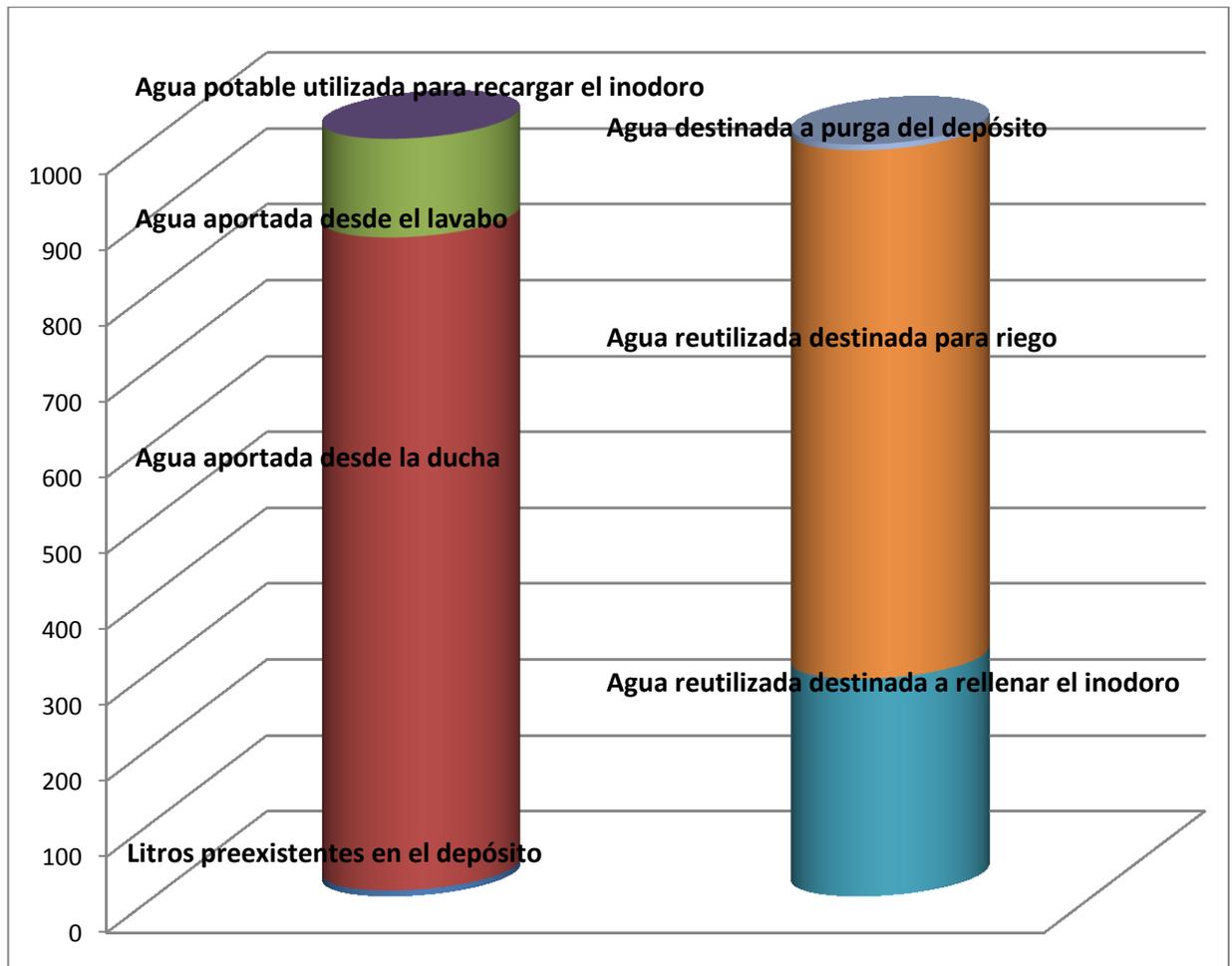
Ahorro teórico de agua potable	334.333333	litros
Agua para riego disponible	50.0	litros/día



MUESTRA 7

Se han utilizado:	7.5	Litros preexistentes en el depósito
	860.7	litros aportados desde la ducha
	130	desde el lavabo
	0	litros de agua potable

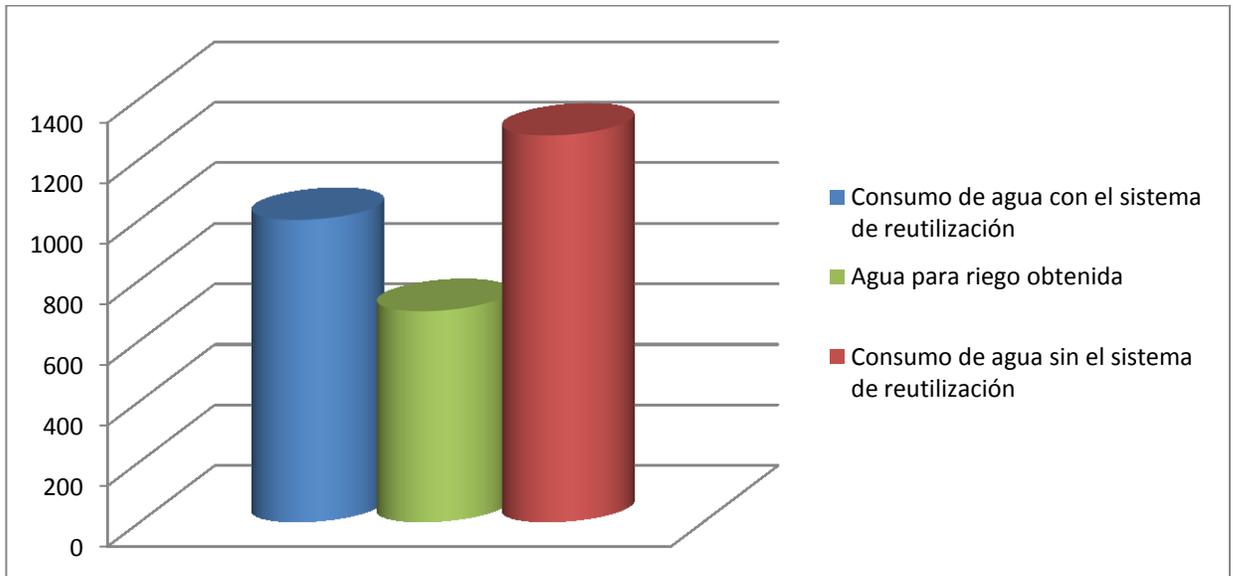
De los cuales:	286.5	se han utilizado para rellenar el inodoro,
	696.7	se han destinado para riego y
	7.5	para la limpieza del sistema en periodos de inactividad.



Capítulo 3 Simulación de funcionamiento

EXPOSICIÓN DE LOS RESULTADOS DE CADA MUESTREO Y GLOBALES CONFORME A LAS ALTERNATIVAS ESCOGIDAS

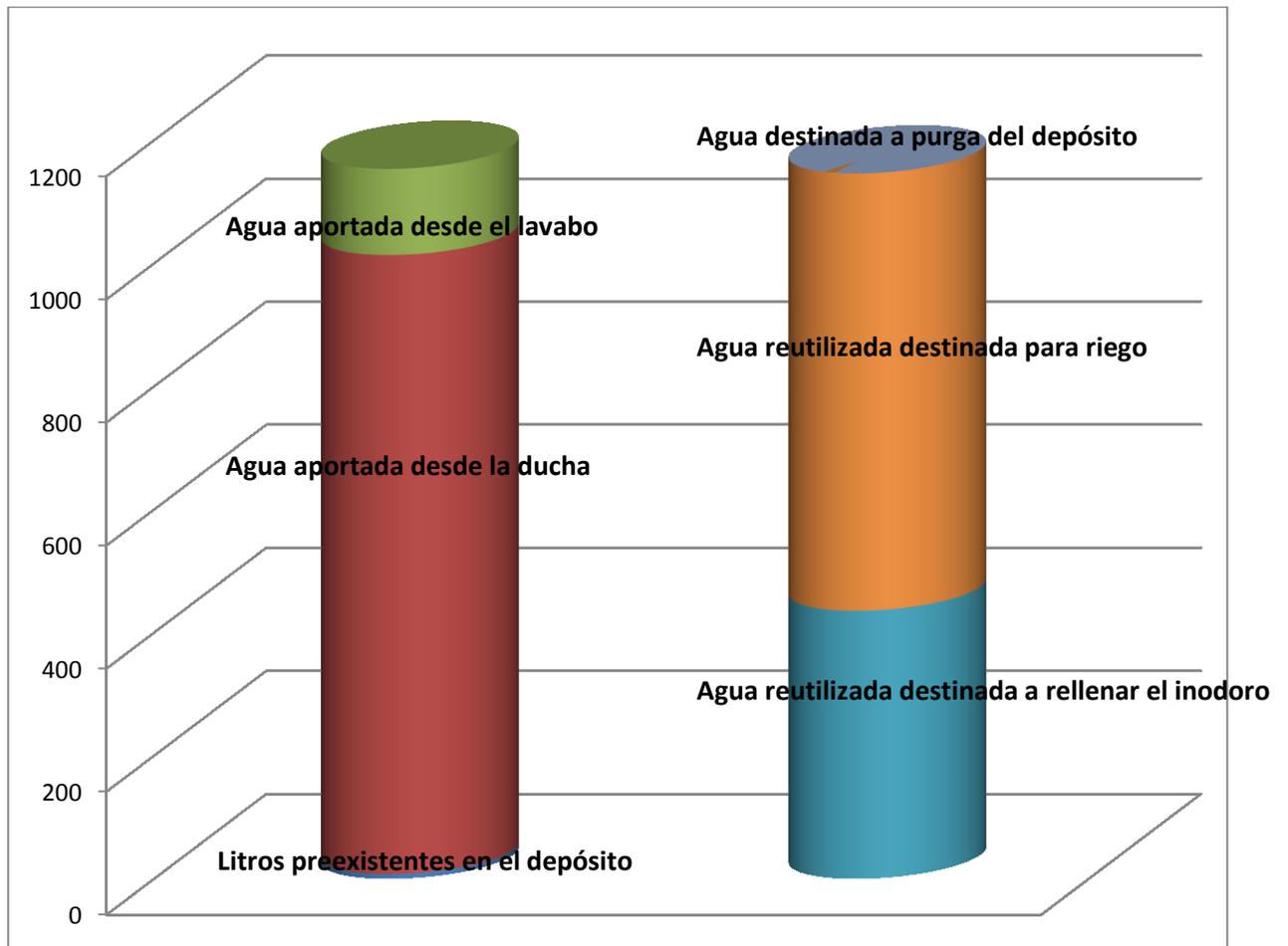
Ahorro teórico de agua potable	286.5	litros
Agua para riego disponible	49.8	litros/día



MUESTRA 8

Se han utilizado:	7.5	Litros preexistentes en el depósito
	1005.5	litros aportados desde la ducha
	140	desde el lavabo
	0	litros de agua potable

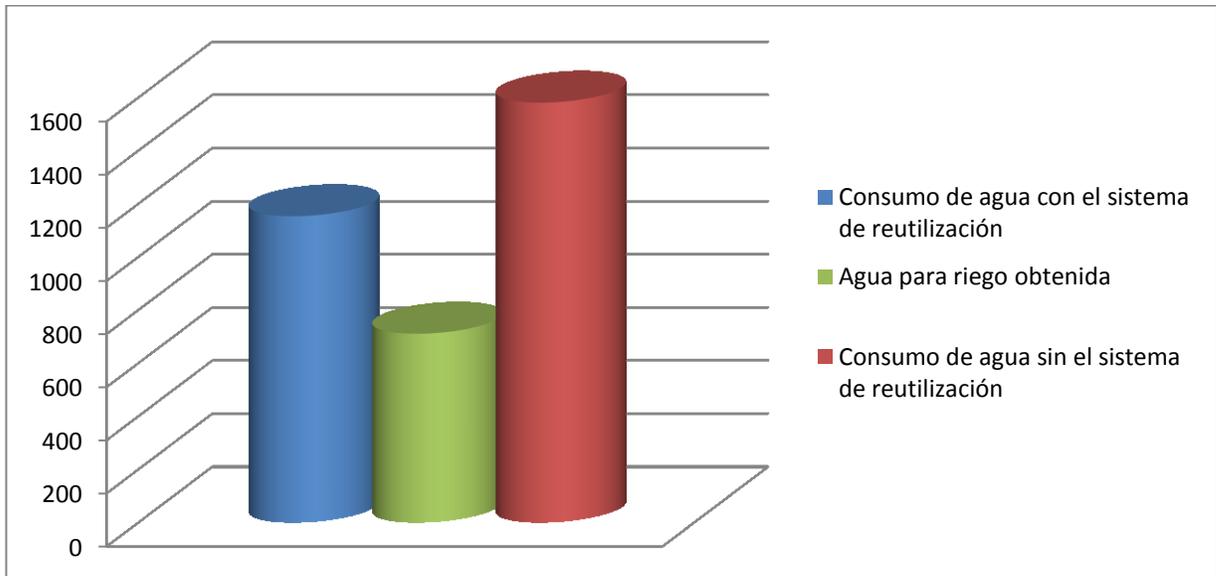
De los cuales:	435	se han utilizado para rellenar el inodoro,
	710.5	se han destinado para riego y
	0	para la limpieza del sistema en periodos de inactividad.



Capítulo 3 Simulación de funcionamiento

EXPOSICIÓN DE LOS RESULTADOS DE CADA MUESTREO Y GLOBALES CONFORME A LAS ALTERNATIVAS ESCOGIDAS

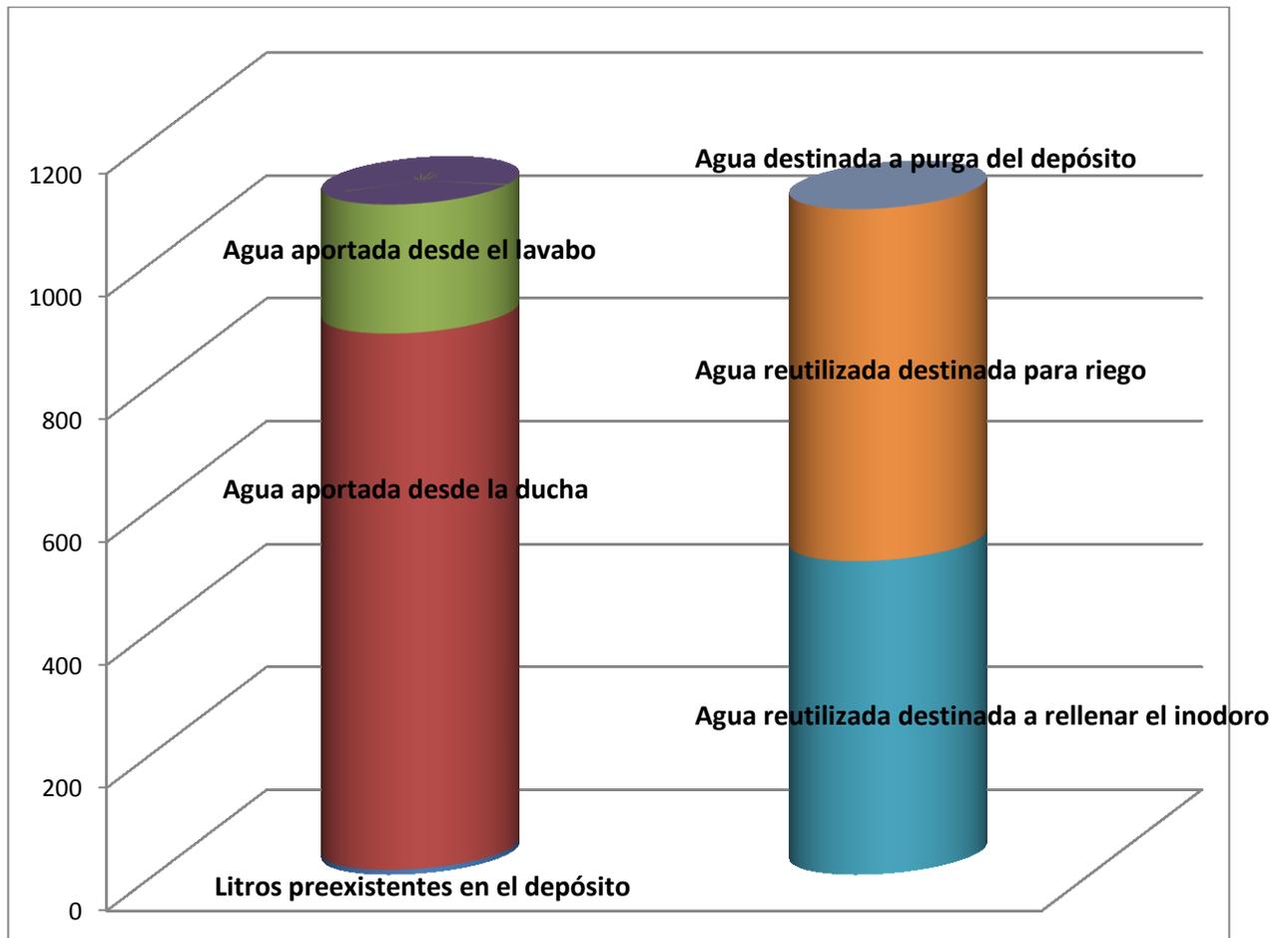
Ahorro teórico de agua potable	435	litros
Agua para riego disponible	50.7	litros/día



MUESTRA 9

Se han utilizado:	7.5	Litros preexistentes en el depósito
	873.0	litros aportados desde la ducha
	210	desde el lavabo
	0	litros de agua potable

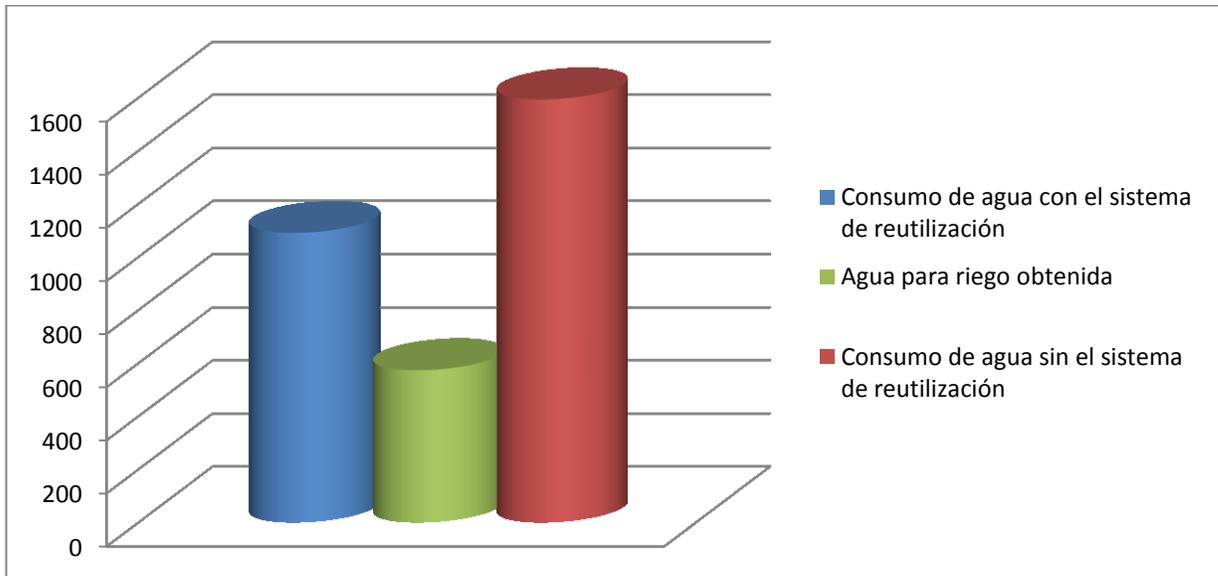
De los cuales:	510	se han utilizado para rellenar el inodoro,
	573.0	se han destinado para riego y
	0	para la limpieza del sistema en periodos de inactividad.



Capítulo 3 Simulación de funcionamiento

EXPOSICIÓN DE LOS RESULTADOS DE CADA MUESTREO Y GLOBALES CONFORME A LAS ALTERNATIVAS ESCOGIDAS

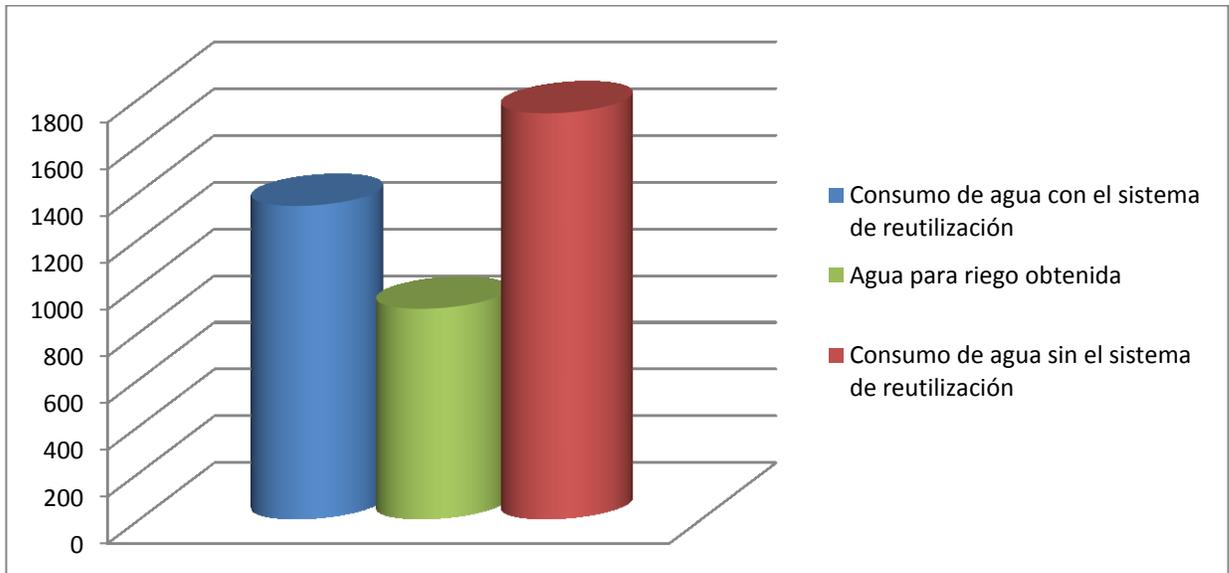
Ahorro teórico de agua potable	510	litros
Agua para riego disponible	40.9	litros/día



Capítulo 3 Simulación de funcionamiento

EXPOSICIÓN DE LOS RESULTADOS DE CADA MUESTREO Y GLOBALES CONFORME A LAS ALTERNATIVAS ESCOGIDAS

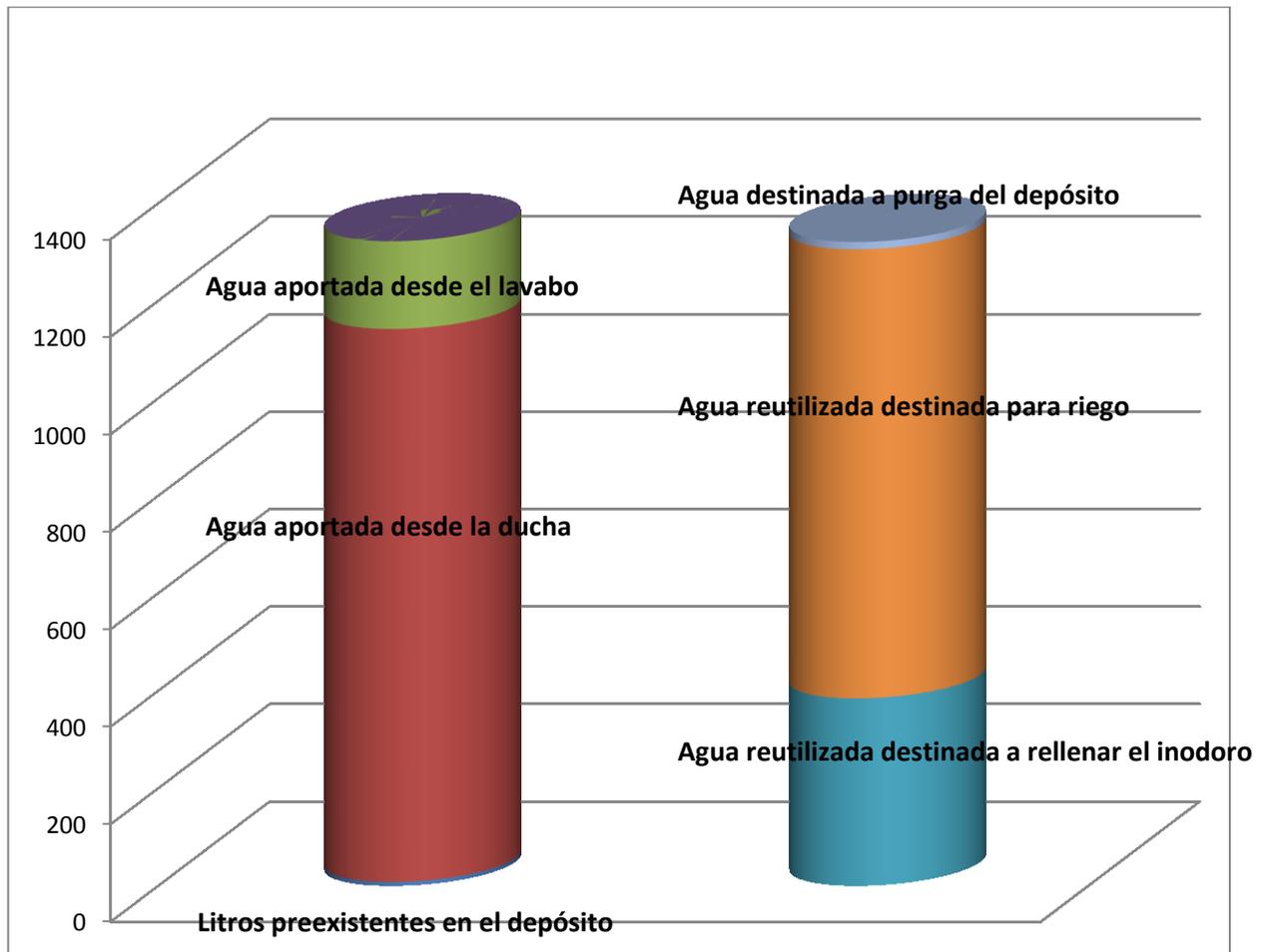
Ahorro teórico de agua potable	403.5	litros
Agua para riego disponible	64.3	litros/día



MUESTRA 11

Se han utilizado:	7.5	Litros preexistentes en el depósito
	1134.2	litros aportados desde la ducha
	180	desde el lavabo
	0	litros de agua potable

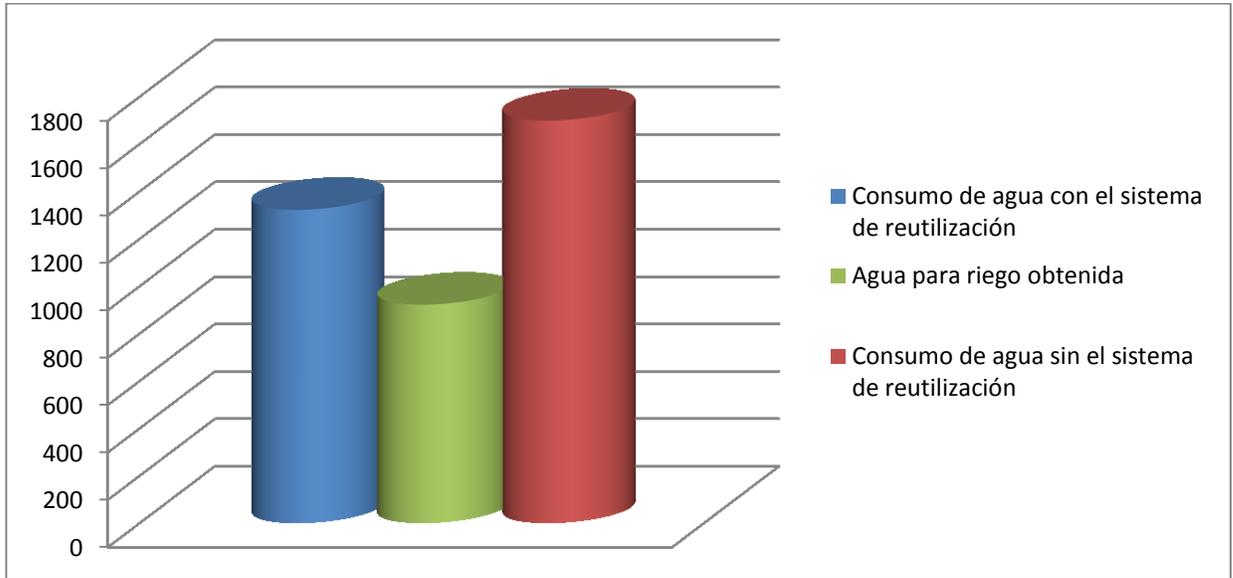
De los cuales:	384	se han utilizado para rellenar el inodoro,
	921.2	se han destinado para riego y
	15	para la limpieza del sistema en periodos de inactividad.



Capítulo 3 Simulación de funcionamiento

EXPOSICIÓN DE LOS RESULTADOS DE CADA MUESTREO Y GLOBALES CONFORME A LAS ALTERNATIVAS ESCOGIDAS

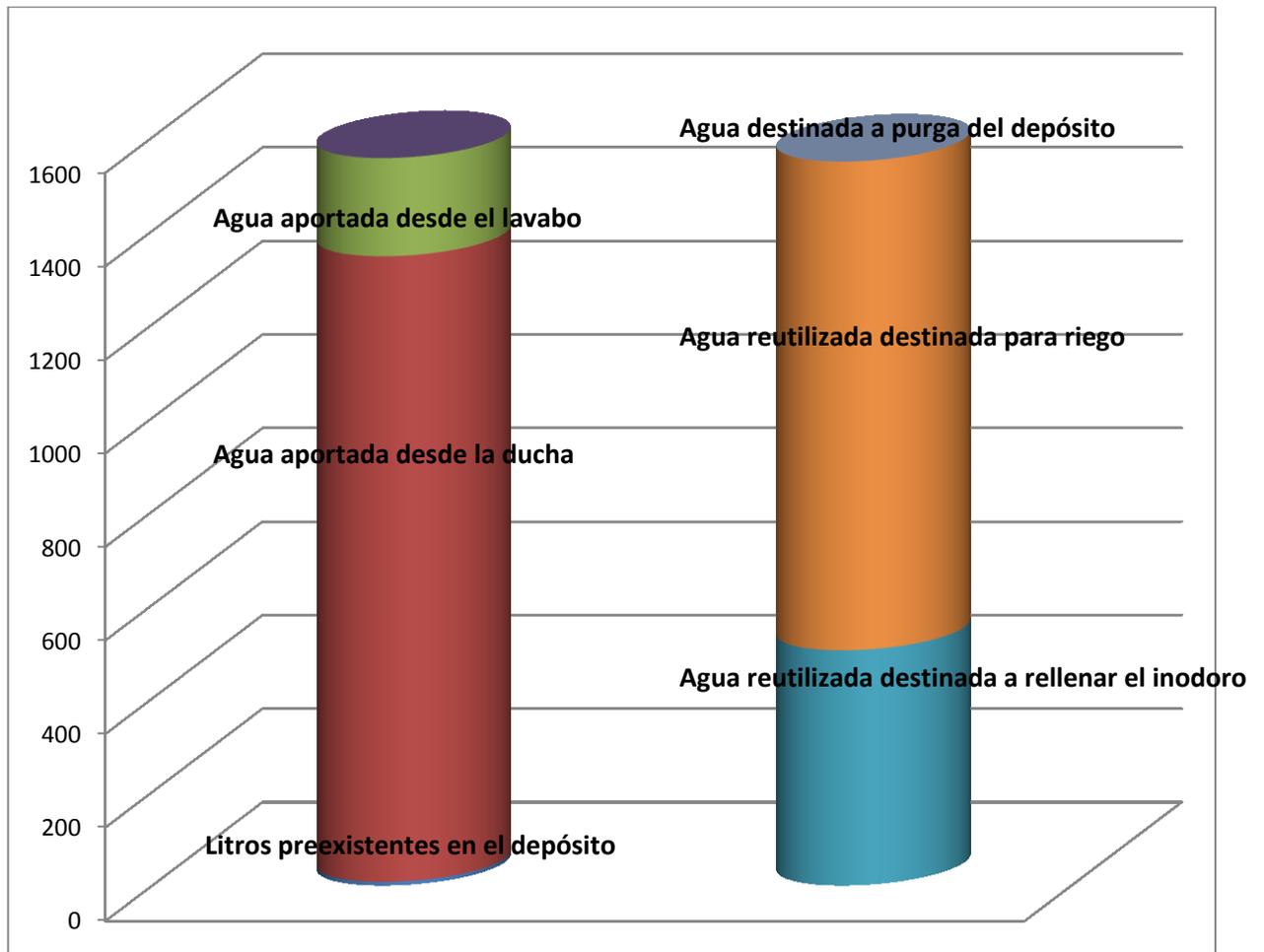
Ahorro teórico de agua potable	384	litros
Agua para riego disponible	65.8	litros/día



MUESTRA 12

Se han utilizado:	7.5	Litros preexistentes en el depósito
	1337.6	litros aportados desde la ducha
	210	desde el lavabo
	0	litros de agua potable

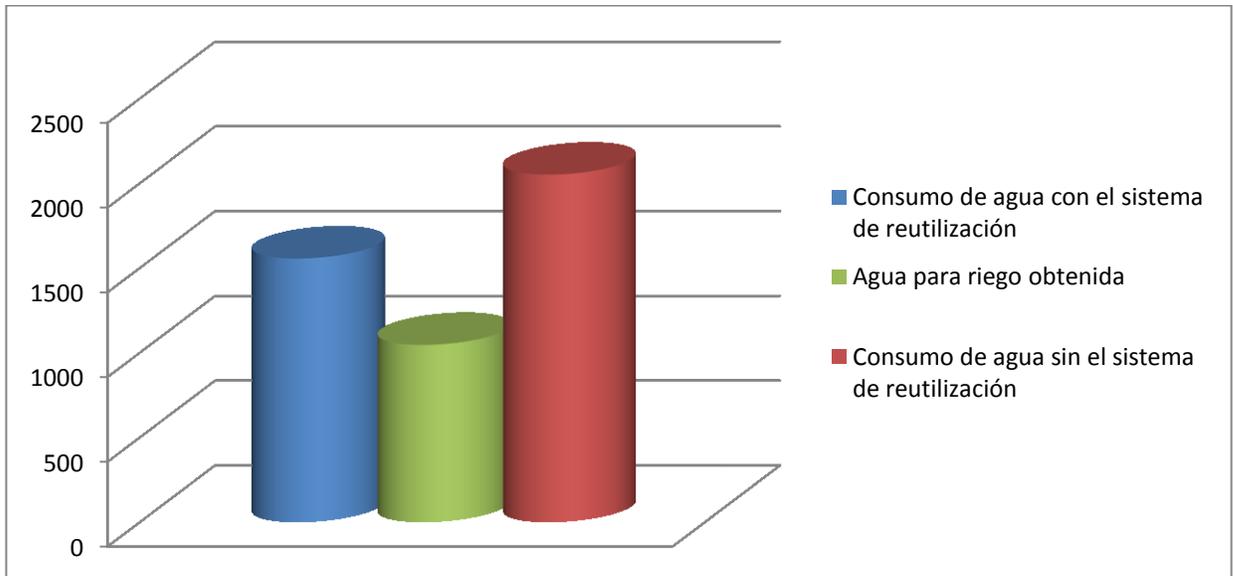
De los cuales:	502.5	se han utilizado para rellenar el inodoro,
	1045.1	se han destinado para riego y
	0	para la limpieza del sistema en periodos de inactividad.



Capítulo 3 Simulación de funcionamiento

EXPOSICIÓN DE LOS RESULTADOS DE CADA MUESTREO Y GLOBALES CONFORME A LAS ALTERNATIVAS ESCOGIDAS

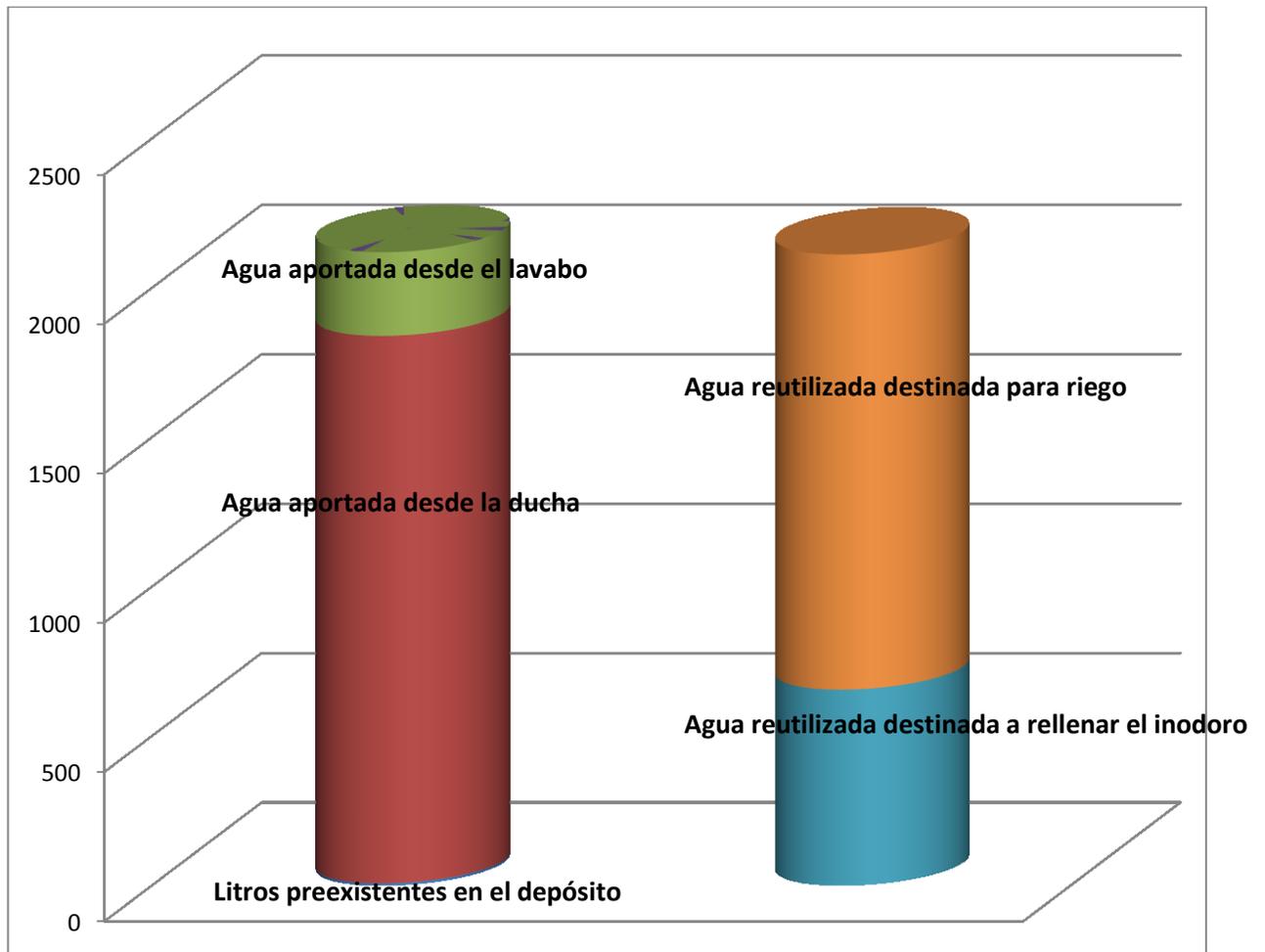
Ahorro teórico de agua potable	502.5	litros
Agua para riego disponible	74.6	litros/día



MUESTRA 13

Se han utilizado:	7.5	Litros preexistentes en el depósito
	1832.0	litros aportados desde la ducha
	280	desde el lavabo
	0	litros de agua potable

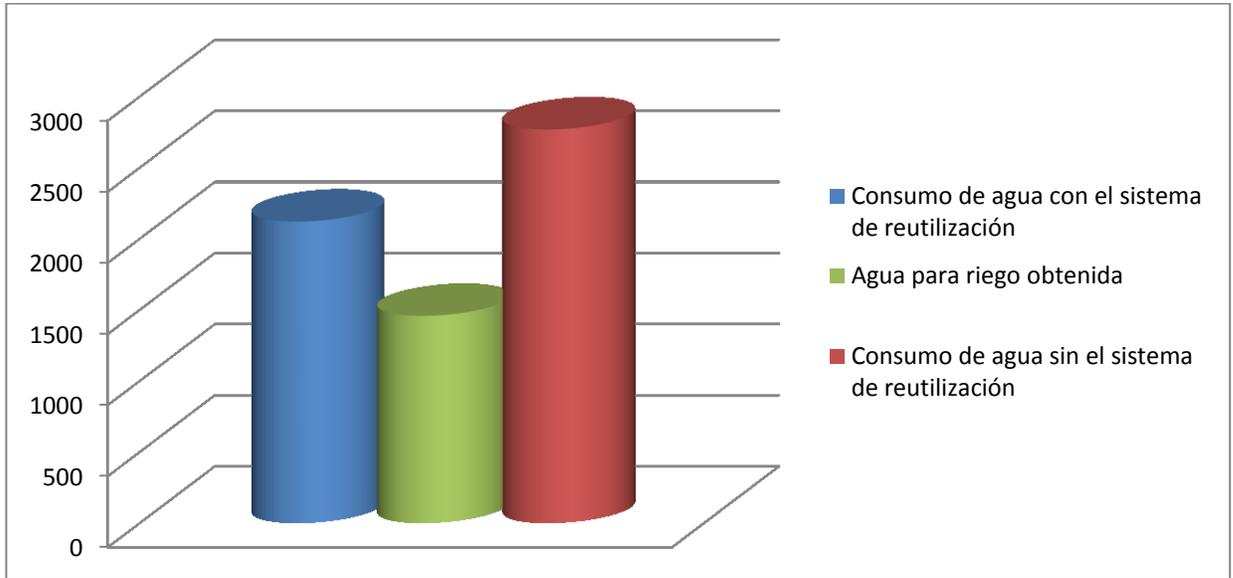
De los cuales:	655.5	se han utilizado para rellenar el inodoro,
	1456.5	se han destinado para riego y
	0	para la limpieza del sistema en periodos de inactividad.



Capítulo 3 Simulación de funcionamiento

EXPOSICIÓN DE LOS RESULTADOS DE CADA MUESTREO Y GLOBALES CONFORME A LAS ALTERNATIVAS ESCOGIDAS

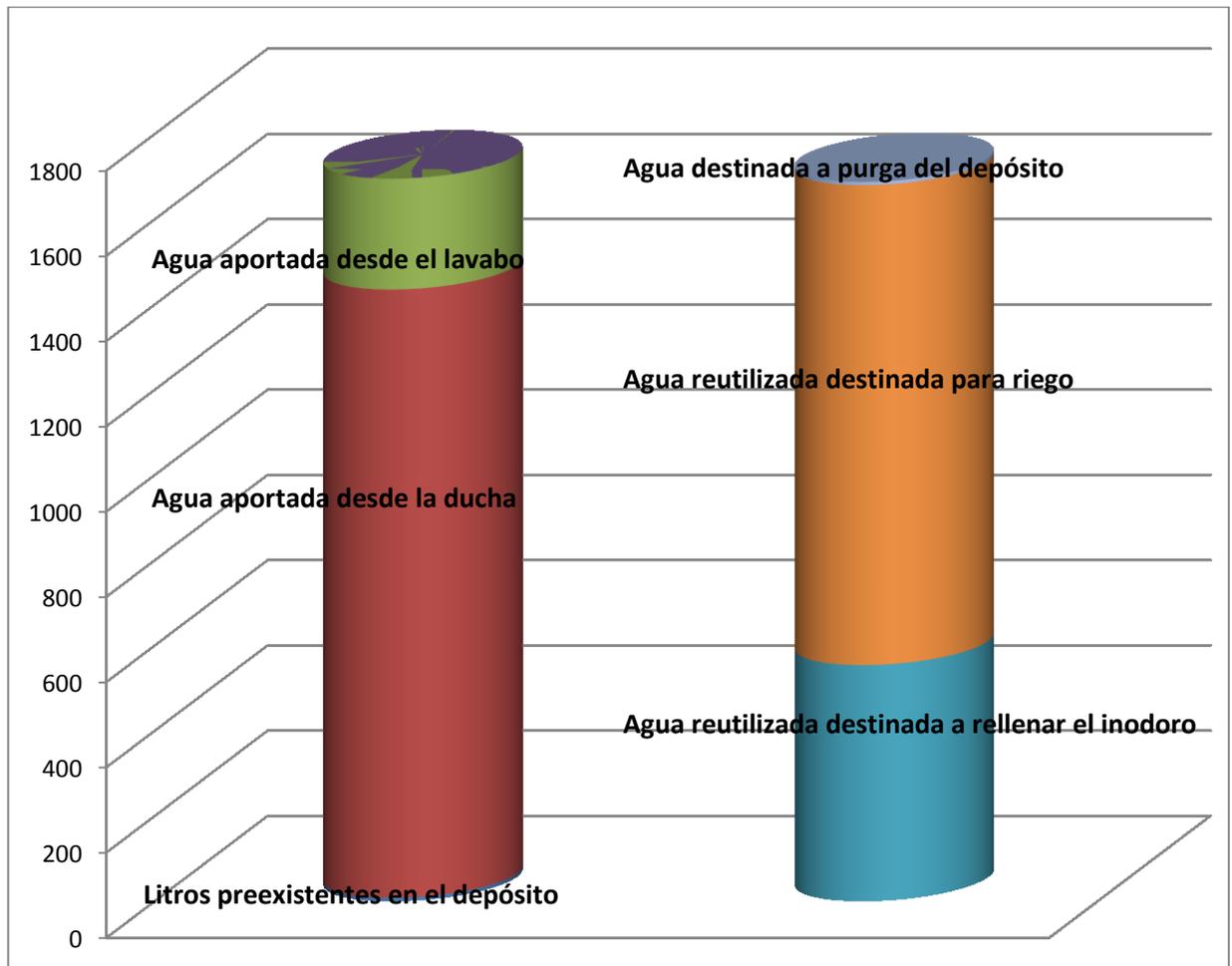
Ahorro teórico de agua potable	655.5	litros
Agua para riego disponible	104.0	litros/día



MUESTRA 14

Se han utilizado:	7.5	Litros preexistentes en el depósito
	1427.2	litros aportados desde la ducha
	260	desde el lavabo
	0	litros de agua potable

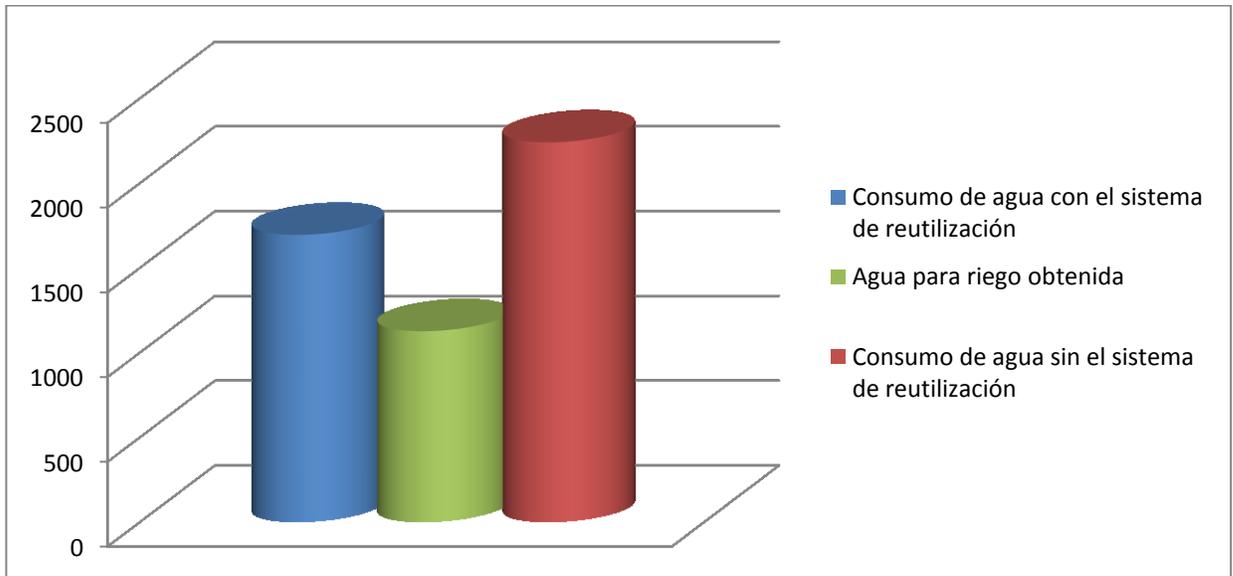
De los cuales:	553.5	se han utilizado para rellenar el inodoro,
	1126.2	se han destinado para riego y
	7.5	para la limpieza del sistema en periodos de inactividad.



Capítulo 3 Simulación de funcionamiento

EXPOSICIÓN DE LOS RESULTADOS DE CADA MUESTREO Y GLOBALES CONFORME A LAS ALTERNATIVAS ESCOGIDAS

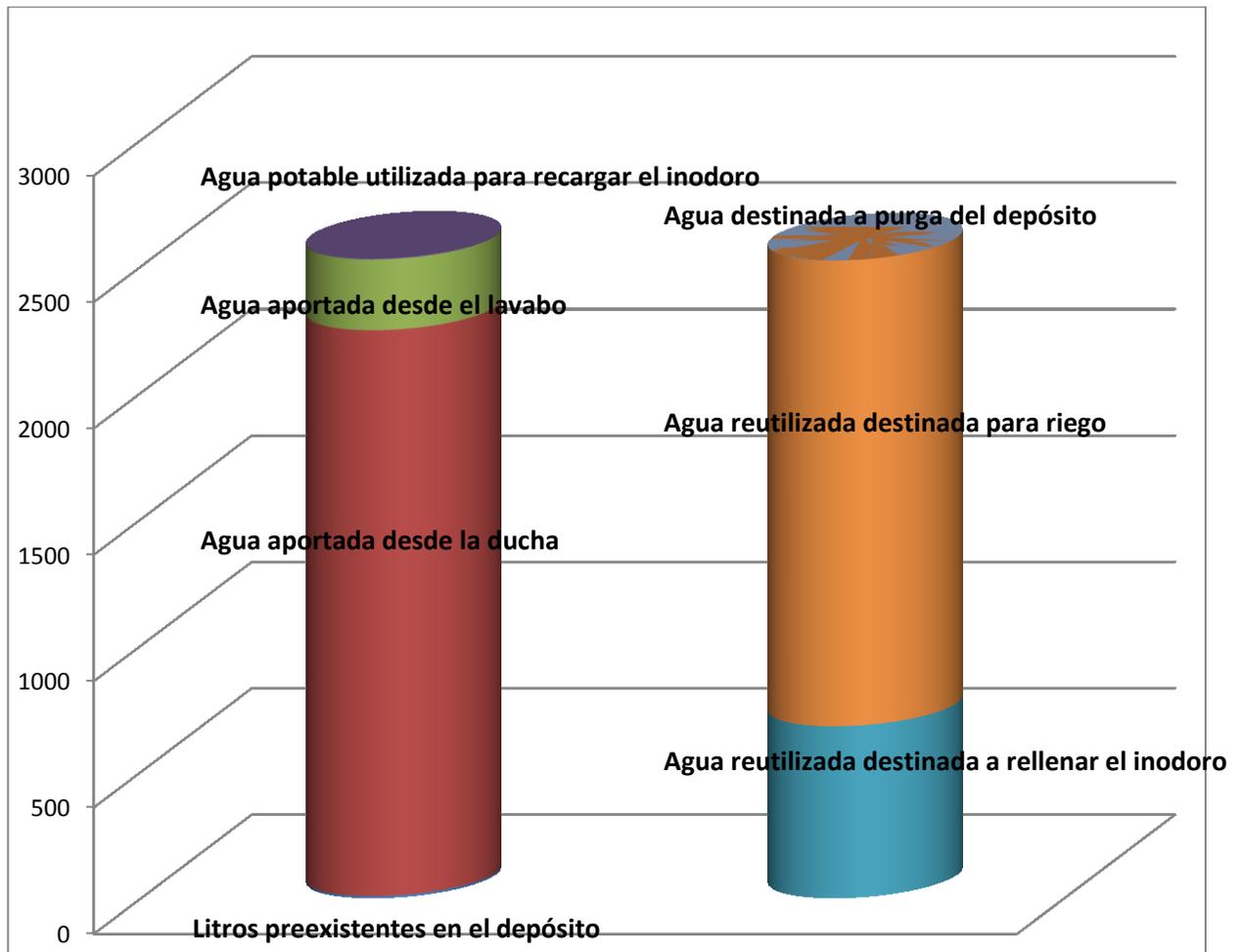
Ahorro teórico de agua potable	553.5	litros
Agua para riego disponible	80.4	litros/día



MUESTRA 15

Se han utilizado:	7.5	Litros preexistentes en el depósito
	2239.1	litros aportados desde la ducha
	280	desde el lavabo
	3	litros de agua potable

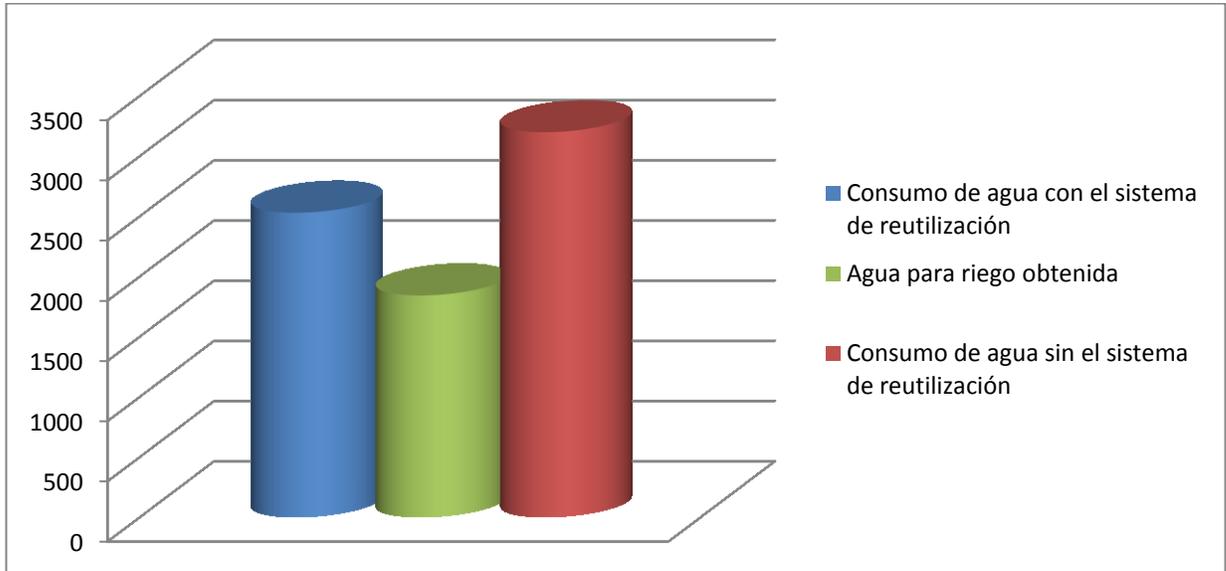
De los cuales:	679.5	se han utilizado para rellenar el inodoro,
	1842.6	se han destinado para riego y
	0	para la limpieza del sistema en periodos de inactividad.



Capítulo 3 Simulación de funcionamiento

EXPOSICIÓN DE LOS RESULTADOS DE CADA MUESTREO Y GLOBALES CONFORME A LAS ALTERNATIVAS ESCOGIDAS

Ahorro teórico de agua potable	676.5	litros
Agua para riego disponible	131.6	litros/día



RESUMEN DE LAS SIMULACIONES Y ESTABLECIMIENTO DE LOS CAUDALES PARA RIEGO DIARIOS

A continuación, se van a mostrar los volúmenes disponibles para riego en la situación media y máxima.

Esto es necesario para dimensionar el depósito de regulación previo al tratamiento de las aguas para riego.

El caudal máximo diario, se va a tener en cuenta de cara a disponer un rebosadero de seguridad.

Los caudales mínimos diarios al ser una población demasiado pequeña no se va a analizar ya que llevaría a incoherencias, no obstante se diseñará la capacidad del depósito de regulación teniendo en cuenta una situación de aportaciones mínimas que puede ser no recibir aportaciones en 4 días.

Habitantes		Volumen medio para riego disponible (litros/día).	Volumen medio diario para riego por tipo de vivienda (litros /día).
1	M3	13.1	13.1
	M1	43.9	
	M2	28.6	
	M4	45.5	
2	M5	37.5	43.7
	M6	50	
	M7	49.8	
	M8	50.7	
3	M9	40.9	61.4
	M10	64.3	
	M11	65.8	
	M12	74.6	
4	M13	104	105.3
	M14	80.4	
	M15	131.6	

Tabla 20.-Volumenes mínimos diarios para riego

Capítulo 3 Simulación de funcionamiento
RESUMEN DE LAS SIMULACIONES Y ESTABLECIMIENTO DE LOS CAUDALES PARA RIEGO DIARIOS

Habitantes		Volumen máximo para riego disponible.	Volumen medio máximo diario para riego por tipo de vivienda
1	M3	32.0	32.0
	M1	67.7	
	M2	78.4	
	M4	76.5	
2	M5	76.3	87.5
	M6	119.0	
	M7	94.6	
	M8	99.9	
3	M9	79.8	
	M10	130.9	123.5
	M11	132.5	
	M12	150.8	
4	M13	213.0	
	M14	132.1	188.7
	M15	221.1	

Tabla 21.- Volúmenes máximos diarios para riego

Capítulo 4 Diseño de un MBR para el tratamiento de las aguas

Índice:

Introducción teórica	205
Cinética de crecimiento	206
Objetivos y esquema del tratamiento biológico.....	209
Fangos activos	210
Biorreactores de membranas	212
Criterios de diseño	212
Edad del fango y concentración de sslm	213
Recirculación de fangos	213
Fangos en exceso	214
Separación por membranas.....	214
Tamaño de poro.....	214
Material.....	215
Morfología y estructura interna	215
Configuración de las membranas	215
Tipo de flujo	216
Proceso de separación por membranas	217
Ensuciamiento de las membranas	218
Criterios de funcionamiento/explotación de los biorreactores de membrana	219
Operación hidráulica.....	220
Concentración de sslm.....	220
Caudal de recirculación.....	221
Estrategias de control del ensuciamiento. Limpieza de membranas.....	221
Diseño del protocolo de limpieza para el sistema de reutilización propuesto	224

Dimensionamiento del biorreactor de membranas para la alternativa escogida.....	226
Selección de la membrana a utilizar.....	228
Características y datos previos al dimensionamiento de la membrana.....	228
Diseño de la membrana de ultrafiltración.....	229
Area y volumen del tanque de membranas	229
Aireación de las membranas.....	230
Comprobación flujo	230
Dimensionamiento tanques de reactivos	231
Dimensionamiento del proceso biológico	232
Parámetros biocinéticos	232
Tiempo de retención hidraulico.....	233
Volumen de reactor biológico	233
Determinación ssm de la oxidación biológica.....	234
Producción de biomasa.....	235
Caudales de recirculación y purga	235
Comprobaciones de los cálculos	236
Edad del fango	236
Carga másica	237
Carga volumétrica	237
Necesidades de oxígeno	237
Aireación	238
Corrección a temperatura de verano	238
Equipos auxiliares	239
Tanque de homogeneización.....	239
Tanque de alimentación del sistema para riego.....	240
Resumen de los datos del diseño	240

Membranas	240
Reactor biológico	241
Tanque de homogeneización	242
Tanque para alimentación del sistema de riego.....	242
Tamiz rotativo de rejilla perforada de 1mm de luz	243
Mediciones	244
Objetivo	244
Calculo de tuberías y accesorios	244
Consideraciones previas	244
Resultados obtenidos	244
Tuberías por cuarto de baño	244
Tuberías por letra.....	245
Tuberías por bloque de viviendas.....	245
Accesorios tuberías	245
Cálculo de bombas y agitadores	246
Consideraciones previas	246
Bombas por vivienda	246
Bombas por bloque de viviendas.....	246
Membranas	246
Depósitos.....	246
Depósitos por vivienda	247
Depósitos por bloque de viviendas.....	247
Bombas soplantes y agitadores	247
Instalación eléctrica y automatización	247
Presupuesto estimativo	248
Tuberías y accesorios	248
Bombas y agitadores.....	249

Membranas	250
Depósitos.....	250
Bombas soplantes y difusores.....	251
Instalación eléctrica y automatización	251
Resumen presupuesto	252
Planos.....	253

INTRODUCCIÓN TEÓRICA

Los tratamientos biológicos, tuvieron en un principio como objetivo la eliminación de la materia orgánica de las aguas residuales y posteriormente se les ha ido dando otros usos como son la eliminación de nitrógeno amoniacal mediante procesos de nitrificación, la eliminación de nitrógeno mediante procesos de nitrificación-desnitrificación o la eliminación de fósforo introduciendo en el proceso una parte anaerobia.

Los tratamientos biológicos, se pueden clasificar de muchas maneras: la clasificación en procesos biológicos de cultivo en suspensión y procesos biológicos de soporte fijo es la más ampliamente utilizada. En todos estos procesos biológicos, es necesario retener en el sistema la biomasa.

Los sistemas más utilizados en suspensión suelen ser fangos activos, lagunas aireadas y lagunaje; entre los sistemas biológicos de soporte fijo se pueden destacar los lechos bacterianos, los filtros sumergidos y los biodiscos.

Uno de los aspectos más importantes en todos los sistemas de depuración mediante tratamiento biológico, es la generación de biomasa que está íntimamente ligada al metabolismo microbiano, y que es el conjunto de actividades químicas de las células vivas

Se puede explicar el metabolismo microbiano para aguas residuales, dividiendo las reacciones bioquímicas en cuatro etapas (Ronzano y Dapena, 2002).

Etapa 1: La DBO rápidamente o fácilmente biodegradable, debida a compuestos solubles y constituidos por moléculas simples, pasa directamente a través de la membrana celular y se metaboliza a alta velocidad.

Etapa 2: La DBO debida a las materias en suspensión y a los coloides, que representa la mayor parte de la DBO lentamente biodegradable, es absorbida sobre las células con un efecto de almacenamiento sobre la membrana citoplasmática. Esta DBO debe ser transformada previamente en moléculas más simples para poder ser asimilada por la célula. Esta síntesis en moléculas más simples se realiza en la pared celular y es llevada a cabo por encima con una velocidad de síntesis relativamente lenta en comparación con la de DBO rápidamente biodegradable; esta transformación en moléculas simples es el factor limitante en esta relación de transformación bioquímica.

Etapa 3: Producción de biomasa. Una fracción de la DBO metabolizada se transforma en materia del nuevo protoplasma celular y la fracción que queda se utiliza para la producción de la energía necesaria para la síntesis o es perdida en forma de calor. En aguas residuales la masa activa producida en relación con la DBO consumida es constante.

Etapa 4: Oxidación de masa activa. De forma simultánea a la oxidación y producción de energía, hay una pérdida neta de masa activa llamada pérdida de masa endógena. El 80% de la materia asimilada, queda completamente oxidada (quedan como productos CO_2 y H_2O), el 20% restante de la materia asimilada es no degradable y queda como residuo.

La oxidación de la materia orgánica se lleva a cabo por el siguiente orden:

Oxidación del sustrato fácilmente biodegradable.

Oxidación del sustrato lentamente biodegradable.

Respiración endógena.

CINÉTICA DE CRECIMIENTO

Un proceso de crecimiento celular implica el **consumo de sustratos** que suministren la energía y la materia prima necesaria para la síntesis del material celular y demás productos del metabolismo.

El crecimiento celular obedece a las leyes de la conservación de la materia; los átomos de carbono, nitrógeno oxígeno y demás elementos se reordenan en los procesos metabólicos de las células de manera que la cantidad total incorporada coincide con la que aparece en el entorno.

De forma general, el planteamiento de balances de materia y energía en los procesos de crecimiento celular, es el siguiente:

C + N + O₂ + Minerales + Nutrientes específicos = Masa celular + Productos + CO₂ + H₂O.

La tasa de crecimiento de las células se puede expresar mediante la ecuación de Monod, que describe el crecimiento celular en función de la disponibilidad de un sustrato limitante, (Monod, 1949).

Sustrato (S) + Células (X) = Más células (X) + Producto (P)

$$r_x = \frac{dX}{dt} = \frac{\mu_m \cdot X \cdot S}{K_s + S}$$

Donde:

r_x = tasa o velocidad de crecimiento celular.

X = concentración de Células (SSLM).

S = sustrato (DQO o DBO).

μ_m = velocidad específica máxima de crecimiento.

K_s = constante de Monod.

La ecuación muestra un crecimiento de los microorganismos (X) en función del reactivo limitante (S).

La velocidad de consumo de sustrato por lo tanto la podemos expresar como:

$$r_{su} = -\frac{k \cdot X \cdot S}{K_s + S}$$

Donde:

r_{su} = tasa o velocidad de utilización del sustrato.

$K = \frac{\mu_m}{Y}$; tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa de microorganismos.

μ_m = velocidad específica máxima de crecimiento.

$Y = -\frac{dX}{dS}$ Coeficiente de producción, relación existente entre la masa de células producidas y la masa de sustrato consumido.

X = concentración de Células (SSLM).

S = sustrato (DQO o DBO).

μ_m = velocidad específica máxima de crecimiento.

K_s = constante de Monod.

Teniendo en cuenta que se está considerando un medio discontinuo, habrá un momento donde empezará a desaparecer el sustrato y la tasa media de crecimiento de microorganismos (r_x) empezará a disminuir hasta hacerse constante y cuando empiecen a morir los microorganismos presentes empezará a ser negativa.

En este punto de ve necesario introducir una tasa o velocidad de muerte de los microorganismos.

$$r_d = -k_d \cdot X$$

Donde:

r_d = tasa o velocidad de muerte de los microorganismos.

k_d = constante de muerte de los microorganismos.

X = concentración de microorganismo.

Por lo tanto, la velocidad neta de crecimiento de microorganismos introduciendo la velocidad de descomposición de los microorganismos queda de la siguiente manera:

$$r'_x = \frac{\mu_m \cdot X \cdot S}{K_s + S} - k_d \cdot X$$

Donde:

r'_x = Tasa o velocidad neta de crecimiento de los microorganismos.

K_s = constante de Monod.

X = Concentración de microorganismos (SSLM).

S = Sustrato (DQO o DBO).

K_d = Constante de muerte de los microorganismos

μ_m = velocidad específica máxima de crecimiento.

Por lo tanto en sistema discontinuo, las células no pueden reproducirse indefinidamente, y dependerán de las condiciones del medio. En la siguiente imagen, se representan las fases de crecimiento de los microorganismos (bacterias) en un proceso discontinuo.

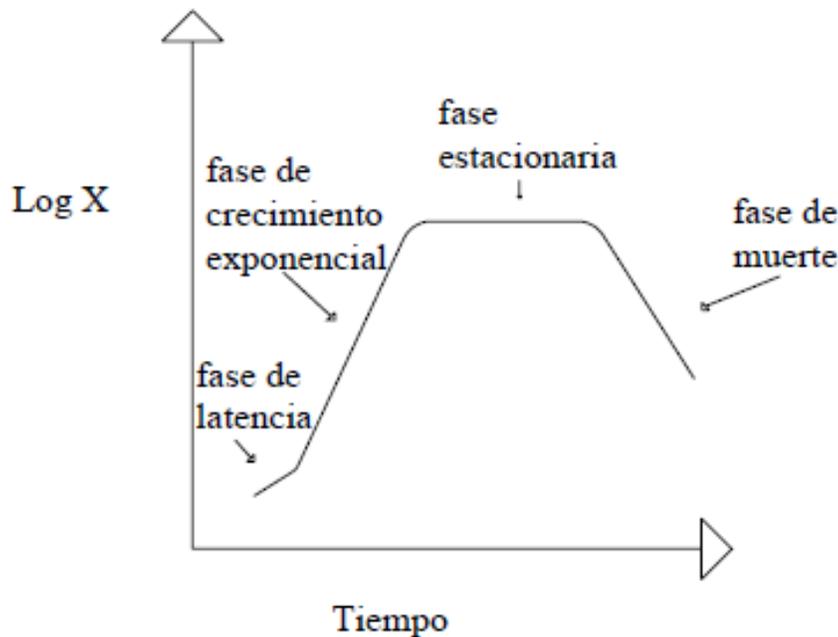
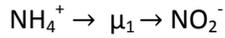


Ilustración 21 Fases del crecimiento celular en discontinuo (Metcalf and Eddy, 1995)

En la fase de crecimiento exponencial, la velocidad de crecimiento aumenta por la existencia de sustrato en exceso, que permite a los microorganismos desarrollarse rápidamente. Esta fase termina hasta un punto donde empiezan a aparecer limitaciones, dando lugar a la fase estacionaria, donde la concentración de microorganismos se mantiene constante, y finalmente se llega a una fase de muerte celular donde la limitación de sustrato provoca una competencia entre los microorganismos que se ve incrementada por la depredación entre ellos.

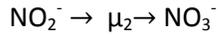
El mismo razonamiento aplicado para explicar el crecimiento de microorganismo y la disminución del sustrato, puede ser utilizado para explicar cómo se comporta la nitrificación. Esta se desarrolla en dos etapas, la nitritación y nitratación.

La nitrificación es la conversión del amonio en nitritos, de la siguiente manera.



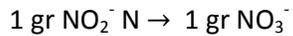
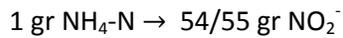
Donde μ_1 , es la velocidad de crecimiento de bacterias nitrificantes en fase 1.

La nitratación es la conversión de nitritos en nitratos.



Donde μ_2 , es la velocidad de crecimiento de bacterias nitrificantes en fase 2.

Estequiométricamente las conversiones serían:



De lo anterior, se deduce que existirá una disminución del amonio, con el consecuente aumento de nitritos que servirán de sustrato para la producción de nitrato.

En este estudio, no se van a aplicar estas fases de tratamiento, por lo que no se ve necesario ahondar más en esta materia.

OBJETIVOS Y ESQUEMA DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Como ya se ha mencionado el objetivo del tratamiento biológico, es la reducción de la materia orgánica presente en el agua residual y en algunos casos la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo.

Un esquema del proceso biológico que ocurre en una planta de tratamiento, sería el siguiente:

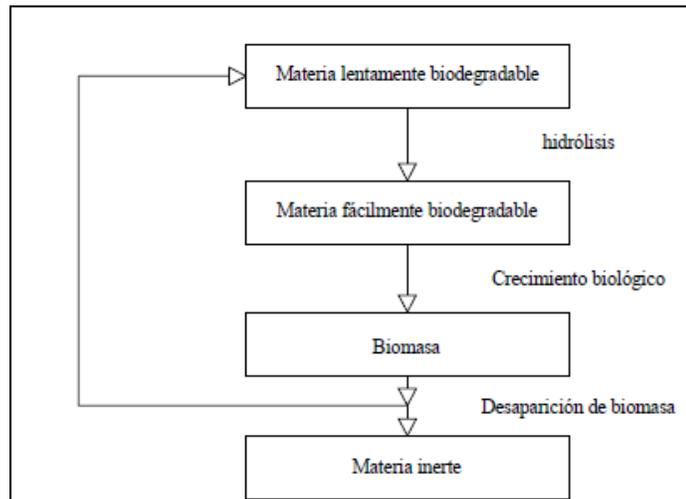


Ilustración 22 Transformaciones biológicas en plantas de tratamiento (Ferrer y Seco, 2003)

Los microorganismos presentes en el tratamiento biológico, consumen moléculas simples y pequeñas que constituyen el sustrato y gracias al cual se produce el crecimiento biológico.

La materia lentamente biodegradable, está constituida por moléculas de gran tamaño que mediante enzimas extracelulares producidas por los microorganismos son hidrolizadas en materia fácilmente biodegradable. Debido al crecimiento biológico, existe una determinada biomasa encargada de llevar a cabo el proceso de depuración.

Finalmente, la última etapa de la desaparición de biomasa es debida a tres razones:

La primera es la obtención de energía mediante la degradación de reservas existentes en el interior de las células, debido a situaciones en las cuales la aportación de energía externa es menor que la necesaria para el mantenimiento energético de las células.

La segunda causa es debida a procesos de competencia como la predación.

La tercera causa, es la muerte. En esta se produce la rotura de la pared celular y el citoplasma se convierten mediante un proceso de hidrólisis en sustrato para otros organismos.

FANGOS ACTIVOS

Es el sistema de tratamiento de aguas residuales más extendido en el mundo. La primera patente apareció en 1914 y desde esa fecha, muchos procesos de depuración de agua emplean esa tecnología.

El fundamento del sistema de fangos activos, se basa en la eliminación de la materia orgánica amplificando el proceso natural de la biodegradación y la bioacumulación, mediante los cuales la materia orgánica es mineralizada o asimilada para eliminarla posteriormente mediante sedimentación.

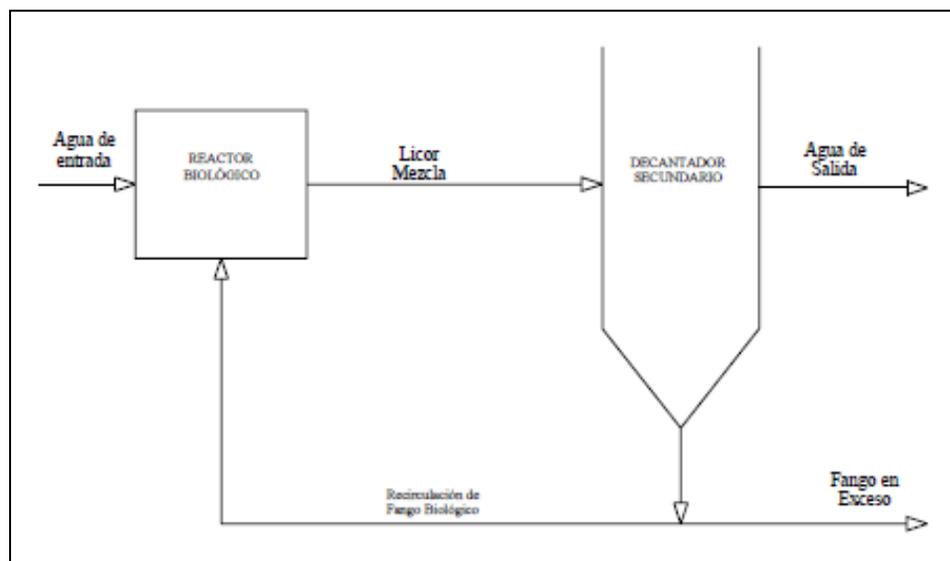


Ilustración 23 Esquema funcionamiento proceso de fangos activos convencional (Poyatos, J.M. 2007).

El método de diseño, fija unos parámetros que son kg de DBO_5 aplicados por m^3 de reactor y día (Carga Volumétrica) o bien kg de microorganismos presentes en el reactor (Carga Másica), también se considera en tiempo de retención en el reactor como parámetro de diseño.

El sistema de fangos activos, presenta una decantación que limita en ocasiones la eficacia de la tecnología debido a problemas como la generación de espumas o la flotabilidad de fangos. También cabe destacar la gran cantidad de biomasa generada en este tipo de procesos que obliga a un purgado y tratamiento de los fangos generados que puede suponer el 50% del coste total del tratamiento (Defrance and Jaffrin, 1999).

Los problemas más comunes que se observan en la explotación de plantas de fangos activos se deben principalmente a una mala formación de los flóculos sedimentables, lo que provoca una mala sedimentación de los fangos. Algunos de estos problemas son:

Crecimiento disperso: aparición de zonas en el reactor donde son más favorables las condiciones de vida.

Bulking: fallos en la micro estructura del flóculo que provocan problemas de compactación y sedimentación en estos.

Flotación de fangos en el decantador, por altas concentraciones de nitratos en el reactor que forma N_2 .

Formación de flóculo punta del alfiler, formación de espumas etc...

Estos problemas de separación sólido-liquido quedarían resueltos con la sustitución de la decantación por un elemento que no requiera de flóculos sedimentables. La propuesta de este trabajo, es realizar la separación mediante un sistema de membranas de ultrafiltración que si bien presentaría otra tipología de problemas, supone un avance importantísimo en el rendimiento de eliminación de contaminantes, y resuelve otro hándicap de estos sistemas tradicionales para su aplicación a pequeña escala, como es la gran cantidad de espacio que requiere un decantador secundario.

BIORREACTORES DE MEMBRANAS

CRITERIOS DE DISEÑO

Un bioreactor de membranas es una modificación del proceso de fangos activos para el tratamiento de aguas, donde la separación del fango se realiza mediante filtración mediante membranas, en sustitución de la decantación secundaria, obteniéndose un efluente de mayor calidad y prácticamente libre de sólidos en suspensión y microorganismos.

En este proceso se dan las mismas operaciones y fases que en un proceso convencional de fangos activos: oxidación biológica, separación sólido-líquido, recirculación de fangos y purga de fangos en exceso.

El proceso, necesita de un sistema de aireación y agitación que produzca primero el oxígeno necesario para la actividad depuradora de las bacterias, evite la sedimentación de floculos y permita la homogeneización de los fangos activos. Las membranas a su vez precisan un sistema de aireación propio para garantizar su buen funcionamiento, como se va a explicar más adelante.

La recirculación de fangos, además de permitir alcanzar la concentración de sólidos en suspensión en el licor mezcla en el reactor biológico, pueden ser otros según la configuración del proceso:

a) Sistemas sumergidos integrados: Las membranas están sumergidas y ubicadas en el interior del reactor biológico, la recirculación de fangos se establece para mantener las concentraciones de SSLM, aunque existen ciertos tipos de reactores que en principio no la precisarían.

b) Sistemas sumergidos no integrados: Las membranas sumergidas, se encuentran en un tanque separado para facilitar su mantenimiento y reparación en su caso. Estos sistemas recirculan parte del fango activo al reactor biológico para controlar la concentración máxima de sólidos suspendidos en el licor mezcla.

c) sistemas externos: son aquellos que no tienen membranas sumergidas y la filtración se realiza en módulos de externos fuera del reactor biológico. En estos sistemas existen dos tipos de recirculación una destinada a controlar las concentraciones adecuadas en el reactor biológico y otra, para conseguir altas velocidades creando un flujo tangencial en el interior de las membranas.

La sustitución de la decantación secundaria por las membranas en el tratamiento de aguas residuales tiene ventajas tales como la mejor calidad del efluente una menor superficie de implantación requerida debido a la eliminación de la decantación secundaria ya las altas concentraciones de sólidos suspendidos en el licor mezcla a las que permite trabajar el sistema. Como inconvenientes destacan: los mayores requerimientos de pre tratamiento, los mayores costes de implantación y explotación y la necesidad de controlar en el ensuciamiento de las membranas.

Hoy en día, el sistema predominante en el mercado es el de membrana sumergida, ya que tienen un menor requerimiento energético y son más compactas que las membranas externas. Además la vida útil de este equipo de membranas ha resultado ser mayor de lo previsto siendo habitual encontrar membranas con más de ocho años de duración.

Los principales parámetros que caracterizan al funcionamiento y el diseño del proceso biológico de un MBR, son los mismos que en cualquier proceso de fangos activos.

La edad del fango, expresada en días: relación entre la masa de existentes en la cuba de aireación y la masa de fangos en exceso que son extraídos por unidad de tiempo. Determina el rendimiento de eliminación de los contaminantes orgánicos presentes en el agua residual.

Carga másica: expresada en $\text{kgDBO/kgSSLM} \cdot \text{día}$, Es la relación que existe entre la carga de materia orgánica que entra en el reactor biológico por unidad de tiempo y la masa de microorganismos existentes en el mismo.

Concentración de sólidos en suspensión en el licor mezcla del reactor biológico, expresada en mg/l .

Caudal de recirculación de fangos, expresado en $\text{m}^3/\text{día}$, es el caudal necesario para mantener una concentración adecuada de sólidos en el licor mezcla.

Producción de fangos en exceso, expresado en kg/día , es la masa de fangos que debe extraerse del sistema para mantener una concentración adecuada de sólidos suspendidos en el reactor biológico.

EDAD DEL FANGO Y CONCENTRACIÓN DE SSLM

La presencia de membranas, elimina los problemas de decantabilidad del fango frecuentes en los procesos de fangos activos convencionales, independiza el tiempo de retención hidráulico de la edad del fango, consiguiendo así un mayor control de las operaciones de recirculación y purga. Esto permitiría en principio alcanzar unas concentraciones de SSLM de 18 g/l (Judd, 2006), con C_m bajas y en condiciones próximas a la aireación prolongada y edades del fango superiores a los 15 días. Estas condiciones de funcionamiento permiten la eliminación biológica del nitrógeno y además, según las casas comerciales, disminuyen los problemas de ensuciamiento de las membranas debido a que el fango adquiere mejores características de filtrabilidad.

Las altas concentraciones de SSLM permiten también disminuir el volumen del reactor biológico pero como contrapartida se produce una disminución de la transferencia de oxígeno y un encarecimiento del coste energético de la aireación.

RECIRCULACIÓN DE FANGOS

En un MBR con eliminación de nutrientes se distingue entre dos tipos de recirculaciones:

Una interna que va del tanque aerobio al anóxico para completar la eliminación de nitrógeno tras la nitrificación, y otra externa para mantener las concentraciones adecuadas de SSLM tanto en el reactor

como en la zona de membranas, esta última es la que se produciría únicamente en los MBR sin eliminación de nutrientes.

El ratio de recirculación interna es independiente de la configuración del MBR y depende de los procesos cinéticos que se producen en el reactor, mientras que la recirculación externa, varía en función de la configuración empleada.

En los sistemas sumergidos la recirculación para mantener las concentraciones de diseño depende del tipo de membrana y oscila entre 2 a 6 veces el caudal medio tratado.

En los sistemas con membranas externas, la necesidad de filtrar con un flujo tangencial, requiere recirculaciones del orden de 10 a 15 veces el caudal medio tratado.

FANGOS EN EXCESO

La producción de fangos en exceso es similar o ligeramente superior a la de los procesos de fangos activos convencionales, debido a la mayor retención de sólidos que realizan las membranas.

Debido a las mayores concentraciones de SSLM estos fangos tienen mayor viscosidad.

SEPARACION POR MEMBRANAS

Las membranas se pueden clasificar según sus características como por ejemplo el tamaño de poro, el material del que se componen o por su morfología o estructura interna.

TAMAÑO DE PORO

Las membranas se han clasificado tradicionalmente por el tamaño de poro nominal en micras (μm) o por el peso molecular en Daltons (Da) de las sustancias que pueden retener.

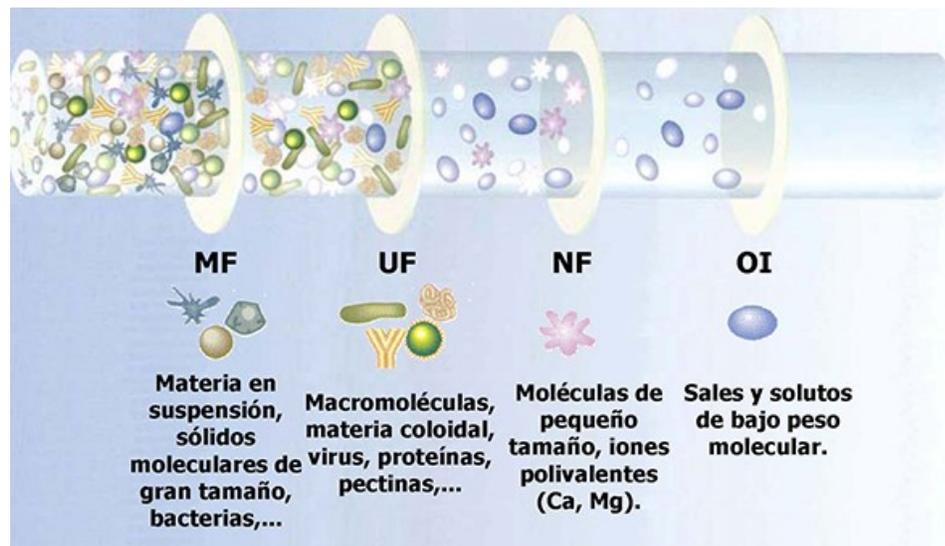


Ilustración 24 Características del permeado en función del tipo de membrana (www.oxidine.net)

En el caso de los MBR las membranas que se utilizan son de dos tipos: microfiltración (0.2 – 0.4 micras), que retienen sustancias con pesos moleculares del orden de 500000 Daltons, y ultrafiltración con tamaños de poro nominales entre 0.03 y 0.04 micras y retención de sustancias con pesos moleculares de unos 20000 Daltons (Judd and Jefferson, 2003).

Con estos tamaños de poro no se retienen sales, nitrógeno, fósforo, ni la mayoría de de los contaminantes emergentes tipo herbicidas, fármacos o disruptores endocrinos. Sin embargo el permeado quedaría libre de bacterias, y por tanto desinfectado dentro del concepto de regeneración del RD 1620/2007 por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de aguas depuradas, al tomarse como indicador de la desinfección las bacterias E.Coli y Legionella spp.

MATERIAL

Los materiales más utilizados en la composición de las membranas, son de origen polimérico de origen orgánico y cerámico de origen inorgánico.

Se trata de encontrar un material y una estructura que permita altas porosidades con la resistencia mecánica e integridad suficiente para soportar la presión de operación, las limpiezas químicas y variaciones de temperatura o pH.

En el caso de las membranas utilizadas en procesos MBR para el tratamiento de aguas residuales urbanas, el tratamiento utilizado es polimérico, más económico que el cerámico, con alta superficie porosa y una distribución de tamaño de poro que permite un mayor rechazo de sustancias.

MORFOLOGÍA Y ESTRUCTURA INTERNA

En general se usan membranas isotrópicas, que son aquellas que constan de una capa muy fina o película y otra que le sirve de soporte, más gruesa y porosa. La película es la membrana propiamente dicha y da las características propias de flujo o selectividad de partículas que pueden separar.

CONFIGURACIÓN DE LAS MEMBRANAS

Las membranas son funcionales en tanto en cuanto a su configuración (morfología, tipo y dirección del flujo) y su forma de disponerse en módulos que permitan conectarlas a los elementos auxiliares como pueden ser las bombas, depósitos etc.

Los módulos de membrana son las mínimas unidades intercambiables, dispuestas en un soporte, normalmente llamado bastidor que permite la operación conjunta de un número determinado de estos módulos.

Las configuraciones más empleadas en los módulos de MBR son:

Membranas planas (MP), formadas por dos capas de material de membrana adheridas a un material soporte por donde se extrae el permeado en uno o dos puntos extractores.

Membranas de fibra hueca (MFH) varias fibras que llevan un material base o refuerzo interno que está recubierto del material de la membranas. Las fibras se agrupan en forma de haz o láminas y se insertan en un soporte por donde se extrae el permeado. Las fibras suelen estar dispuestas en posición vertical y sujetas a un soporte por la parte inferior o por la parte inferior y superior.

Membranas tubulares (MT), están dentro de una estructura tubular que sirve de soporte a la membrana propiamente dicha. El material de soporte se localiza dentro de una carcasa también en forma de tubo. El flujo, a diferencia de las de fibra hueca, es de dentro hacia fuera y debido a su mayor diámetro es difícil que se obstruyan. Esta configuración permite flujos más altos.

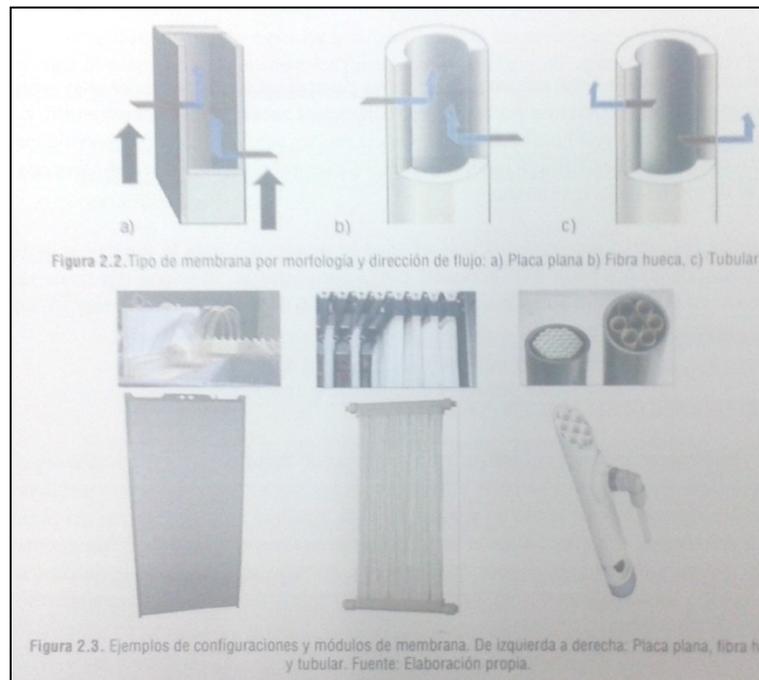


Ilustración 25.-Tipos de configuraciones de membranas. Pag37 Manual CEDEX

TIPO DE FLUJO

Hay dos tipos principales de flujo con el que operan las membranas, perpendicular o tangencial.

Flujo tangencial, para trabajar con este flujo se precisa pasar el agua a altas velocidades sobre la membrana requiriéndose por lo tanto recirculaciones sucesivas. La manera de operar, sería bombeando el agua a la membrana, a presión o depresión, recirculando el agua no filtrada junto al rechazo o concentrado, incorporando este caudal al de entrada de la membrana

En el caso del flujo perpendicular, el agua se reparte por toda la superficie de las membranas y se hace pasar todo el caudal, por lo que se puede considerar que no existe rechazo en la filtración, exceptuando el caso de realizar un contralavado en los sistemas que lo permitan.

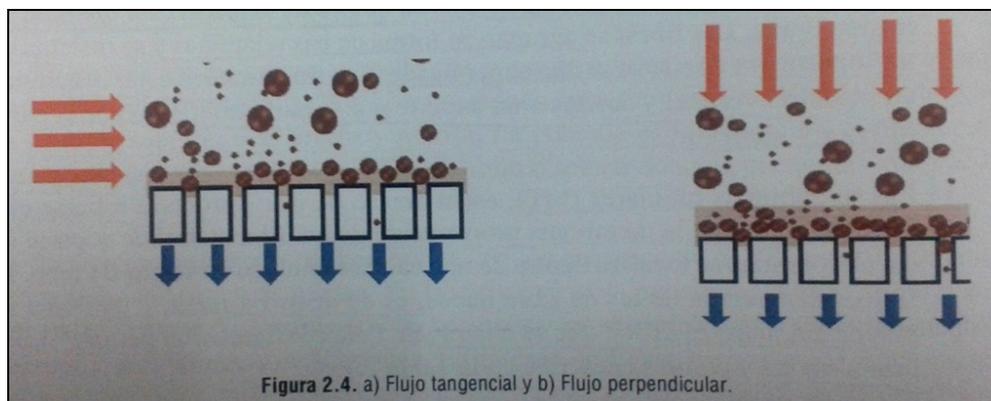


Ilustración 26.-Tipos de flujo de filtrado. Pag 38 Manual CEDEX

PROCESO DE SEPARACIÓN POR MEMBRANAS

La capacidad de filtración y selectividad de la membrana son aspectos importantes para el diseño y eficiencia de un proceso con membranas.

Estas características están definidas por los siguientes parámetros: flujo, presión transmembránica, permeabilidad, demanda específica de aireación de las membranas y los SSLM en el tanque de membranas. A continuación se van a describir los parámetros relacionados directamente con el proceso de separación por membranas.

Flujo, expresado en LMH o $\frac{l}{m^2 \cdot h}$, es el caudal que atraviesa las membranas por metro cuadrado de superficie en unas condiciones específicas de operación.

Flujo bruto o instantáneo: Flujo que realmente atraviesa las membranas durante el periodo de filtración.

Flujo neto: flujo total conseguido durante el ciclo de trabajo, considerando como ciclo de trabajo el tiempo empleado en la filtración, descontando tiempos de lavados relajación y mantenimiento etc.

El flujo determina la superficie de membrana necesaria independiente de la concentración del reactor biológico. Este parámetro depende fundamentalmente de la concentración de SSLM, la viscosidad, la temperatura y el grado de ensuciamiento de la membrana.

Presión transmembránica PTM expresada en bar. Diferencia de presión que se crea entre uno y otro lado de la membrana durante el filtrado. La PTM es el parámetro clave en el control del funcionamiento de los MBR. La PTM se incrementa según aumenta la resistencia al paso del agua a través de la membrana si se mantiene el flujo constante.

Tabla 2.1. Características de las configuraciones de membranas más empleadas en los MBR⁽¹⁾

Parámetro	Placa plana	Fibra hueca	Tubulares
Dirección de flujo	Fuera-dentro	Fuera-dentro	Dentro-fuera
Tipo de flujo	Flujo perpendicular	Flujo perpendicular	Flujo tangencial
Sumergida/externa	Sumergida	Sumergida	Externa
Refuerzo textil	Si	Algunas	Si
Filtración (MF/UF)	MF/UF	UF	UF
PTM operación (bar)	0,03-0,1	0,1-0,3	0,1-0,5
Flujo a Qmedio (LMH)	18-30	25-30	50-65

Ilustración 27.-Características de las configuraciones más empleadas. Pag 40 Manual CEDEX

ENSUCIAMIENTO DE LAS MEMBRANAS

El ensuciamiento de las membranas es la deposición de microorganismos, coloides, precipitados orgánicos e inorgánicos, lo que implica un aumento de la presión transmembránica para mantener el mismo flujo de filtrado en el tiempo.

En función de las sustancias depositadas y el lugar de deposición se produce obturación de los poros, formación de capa gel sobre la membrana, adsorción de solutos, coloides o moléculas dentro o sobre la membrana y formación de depósitos. Este fenómeno constituye uno de los principales problemas de esta tecnología, ya que limita la posibilidad de alcanzar flujos más elevados y poder trabajar a PTM más bajas.

Existen tres tipos de ensuciamiento debido a su reversibilidad y manera de eliminación.

Ensuciamiento reversible mediante limpieza física, que se puede eliminar o limitar mediante los ciclos de trabajo (relajación/contralavado) y aireando las membranas.

Ensuciamiento reversible mediante limpieza química que se puede eliminar mediante detergentes y ácidos.

Ensuciamiento permanente que limita la vida útil de las membranas.

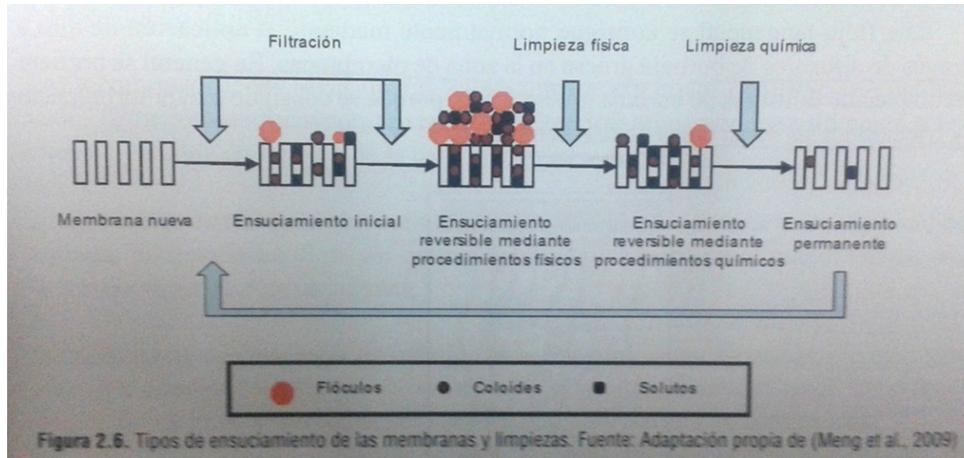


Figura 2.6. Tipos de ensuciamiento de las membranas y limpiezas. Fuente: Adaptación propia de (Meng et al., 2009)

Ilustración 28.- Tipos de ensuciamiento de las membranas. Pag 41 Manual CEDEX

El sistema de membranas que se plantea en este estudio es el siguiente.

Configuración sumergida no integrada, de cara a facilitar las labores de mantenimiento de las membranas, en especial para los lavados de mantenimiento que se producen a los 6/12 meses, y que si bien por su frecuencia no pudieran parecer importantes, son un aspecto clave en la vida útil de las membranas.

Membrana de fibra hueca, este factor viene determinado por que este tipo de membranas requieren una menor recirculación en comparación con las membranas de fibra plana, mientras que las necesidades de aireación son las mismas. Los anteriores son los aspectos económicos más importantes en la explotación de estos sistemas. Como se puede observar en la siguiente tabla, los valores más bajos de $\frac{KWh}{KgDBO5\ elim}$, por lo general, se dan en plantas que utilizan este sistema de membranas de fibra hueca aunque analizar esta información de manera aislada, sin tener en cuenta otros factores de operación es un poco trivial.

EDAR	Tipo de membrana	$KWh/KgDBO5\ elim$
Aledo	Plana	6.88
Mar menor	Plana	12.61
San Pedro	Fibra hueca	3.96
Calasparra	Fibra hueca	1.68
Terrasa	Fibra hueca	4.04
Vallvidriera	Fibra hueca	7.05
Riells y Viabrea	Plana	5.9

Tabla 22.- Consumo energético según tipología de membranas

CRITERIOS DE FUNCIONAMIENTO/EXPLOTACIÓN DE LOS BIORREACTORES DE MEMBRANA

A la hora de explotar una planta con tecnología MBR hay una serie de decisiones a tomar que van a afectar de manera importante a la operación del sistema. El objetivo que se pretende es tratar todo el caudal de entrada con un ensuciamiento asumible de membranas y un menor consumo energético.

Para ello habrá que definir previamente aspectos como cuál va a ser el parámetro que va a fijar el funcionamiento del sistema de filtración, qué concentración de SSLM vamos a establecer en el tanque de filtración, el valor del caudal de recirculación que nos va a ayudar a mantener esa concentración, y si es requerido, garantizar una eliminación adecuada de nitrógeno. Otro aspecto clave es el caudal de filtración al que vamos a trabajar, y que determinará el número de bastidores de membranas en servicio en cada momento. Y por último habrá que decidir la periodicidad y la duración de los ciclos de filtración-relajación/contralavado, según el caso.

OPERACIÓN HIDRÁULICA

En la estrategia de operación un punto clave que hay que definir es la variable que regulará el funcionamiento de la bomba de permeado, determinando el caudal a aspirar y el modo de funcionamiento. Los sistemas que suelen utilizarse son:

- 1.-Trabajar a PTM constante.
- 2.-Trabajar a caudal constante.
- 3.-En función del caudal de llegada a la planta.
- 4.-Acomodando el caudal de salida a la demanda.

Para este estudio se ha escogido trabajar a caudal constante debido a varias razones:

- Se va a disponer de un tanque de laminación de caudales previo, que regule las puntas.
- La demanda es poco exigente en términos de exigencia instantánea de caudales.
- Trabajando a caudal constante, los microorganismos responsables de la descomposición de la materia orgánica reciben menos alteraciones y así evitamos el posible estrés que podrían sufrir al operar a caudal variable.
- El control del ensuciamiento derivado de esta estrategia de operación es más exhaustivo, alargando así la vida útil de las membranas. La presión transmembránica iría aumentando hasta valores que marcarían el punto en el que hay que realizar la limpieza.

CONCENTRACIÓN DE SSLM

En cuanto a la concentración de SSLM en el reactor biológico, esta deberá adaptarse a la carga contaminante de entrada para trabajar con una carga másica adecuada y obtener el rendimiento de depuración deseado. Por experiencias de aplicación previas, conocemos que los MBR suelen diseñarse para concentraciones de SSLM de 6000 a 8000 mg/l. Operar a altas concentraciones de SSLM implican

que el factor de transferencia de oxígeno α se reduce de manera significativa, por lo que se eleva mucho el consumo energético.

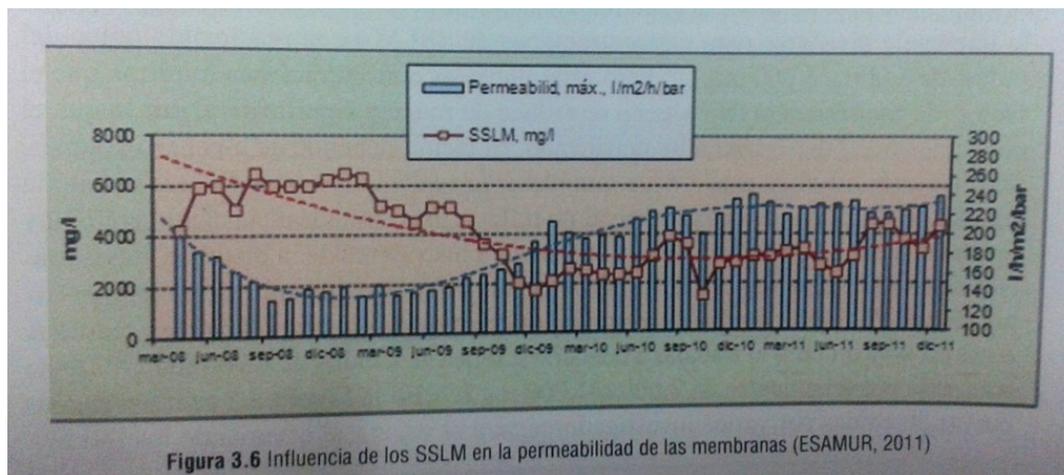


Ilustración 29.- Influencia de los SSLM en la permeabilidad de las membrana. Pag 66 Manual CEDEX

Para el diseño de la planta de tratamiento objeto de este estudio se ha optado por tomar un valor para la concentración de SSLM de 5000 mg/l, ya que si bien se cumple de sobra con los requerimientos de calidad previstos, este valor más bajo de lo habitual, provoca que el factor de transferencia de oxígeno, este en unos valores razonables de cara al aprovechamiento energético.

CAUDAL DE RECIRCULACIÓN

La concentración de los sólidos en el tanque de filtración, dependerá del caudal de recirculación, normalmente se emplean valores que oscilan entre el 300 y el 500% del caudal permeado.

Si bien las membranas planas aguantan concentraciones máximas de SSLM mayores, la experiencia recomienda una concentración de SSLM en el tanque de membranas entre 8000 y 10000 mg/L, nunca mayor, ya que se produciría un ensuciamiento de las membranas mucho más rápido.

ESTRATEGIAS DE CONTROL DEL ENSUCIAMIENTO. LIMPIEZA DE MEMBRANAS

La suciedad en las membranas, como se ha explicado antes se produce básicamente por deposición de materia orgánica en la superficie de membrana y por taponamiento de los poros, bien sea por materia coloidal o por precipitación de compuestos inorgánicos (habitualmente carbonato de calcio y sulfato de magnesio).

En cuanto a los ciclos de limpieza y paro, lo habitual que recomiendan los fabricantes, suele ser 8 o 10 minutos filtrando y normalmente 1 o 2 en relajación y/o contralavado. En el caso de querer alargar estos ciclos, se deberá hacer un seguimiento de la pendiente de la curva presión transmembrana en función del tiempo.

Antes de entrar en más detalle, se debe señalar la importancia de disponer de un tamiz. A este respecto, las membranas de fibras huecas suelen presentar más problemas ya que especialmente los sólidos tipo fibra o pelo, se quedan enganchados en la parte superior o inferior del bastidor provocando un rápido ensuciamiento. La experiencia acumulada en plantas de tratamiento, aconseja no escatimar en este tipo de pretratamientos y con carácter general se recomienda instalar tamices de 1mm o inferior y de chapa perforada.

Otro factor que incrementa el ensuciamiento de las membranas es el aumento de caudal a permear. Un incremento en el mismo a igualdad del resto de condiciones, hace que la velocidad de ensuciamiento se incremente. A su vez, reducir el flujo, implica aumentar el número de superficie de membranas, y por lo tanto un encarecimiento tanto de la inversión como de la explotación. Es importante llegar a un buen equilibrio que consiga unos caudales de permeado razonables, lo más altos posibles, pero que no provoquen unas condiciones de ensuciamiento excesivas.

Un factor fundamental para evitar el ensuciamiento de las membranas es la aireación de limpieza, que va arrastrando la capa de suciedad que se acumula en la parte superficial de las membranas. Esta aireación constituye uno de los mayores costes de explotación, por lo que se buscan distintas estrategias para reducirlo. La fibra hueca en este caso busca reducir la aireación, llevando a cabo una aireación intermitente primero una mitad y posteriormente en la otra mitad del bastidor y alargando las paradas entre ciclos de aireación.

En principio el caudal de aireación que se adoptará, será el recomendado por el fabricante, pudiendo llegar a modificar este basándonos en la experiencia y en las pautas de ensuciamiento observadas.

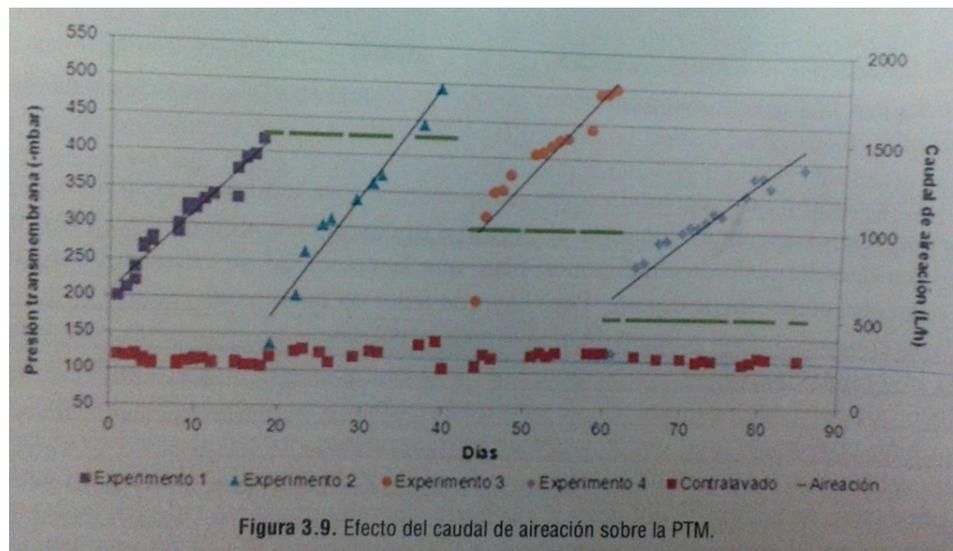


Ilustración 30.-Influencia de la temperatura en el factor alfa. Pag 66 Manual CEDEX

Según parecen indicar diversos estudios, existen caudales de aireación óptimos, en relación al ensuciamiento y sobrepasar dichos valores no solo no mejora, sino que perjudica claramente.

A continuación se van a exponer el protocolo de limpieza propuesto por los fabricantes para el caso de fibra hueca, el protocolo para la fibra plana se omite, ya que no es objeto de este estudio.

Contralavado.

El ciclo sería varios minutos permeando y a continuación parada de la bomba de permeado y extracción de agua del depósito de permeado, inyectándose hacia las membranas y atravesando estas de dentro hacia fuera, expulsando partículas que puedan haber quedado incrustadas en los poros.

Ciclos típicos recomendados por los fabricantes son:

10 minutos de filtración y 1 minuto de contralavado, 16 minutos de filtración y 2 minutos de contralavado. A estos tiempos hay que añadir aproximadamente un minuto de comprobación de los diversos elementos del sistema que también sirve como tiempo de relajación para las membranas.

El caudal de contralavado suele oscilar entre 1 y 1,5 el caudal de permeado

Mantenimiento.

El lavado de mantenimiento, es el segundo escalón en los sistemas de limpieza. Se lleva a cabo en la misma cuba de filtración y se emplean reactivos para llevar a cabo una limpieza más profunda de la materia orgánica que se va adhiriendo a las membranas, así como de las incrustaciones minerales.

La recomendación más repetida por las casas comerciales, es llevar a cabo este lavado una vez a la semana, y su duración es de una hora aproximadamente.

Antes de llevarse a cabo este lavado, habrá que observar mediante muestras periódicas, el tipo de sustancias que pueden estar obstruyendo las membranas, de esto dependerá el reactivo que se va a inyectar más adelante.

La secuencia de fases sería:

En primer lugar una purga de aire del sistema.

En segundo lugar un pequeño periodo con aireación y contralavado únicamente con permeado.

En tercer lugar, con la aireación de limpieza detenida, se empezarán a inyectar los distintos reactivos en función de las necesidades y la experiencia por el tipo de deposiciones en la membrana, intercalando entre las dosificaciones tiempos en el que solo se produce el contralavado con agua del depósito de contralavado o incluso paradas.

Los reactivos más habituales son:

Hipoclorito Sódico para el ensuciamiento tipo orgánico. Este es el más utilizado ya que la mayor parte del ensuciamiento en las membranas, tiene naturaleza orgánica. La dosis de este reactivo es del orden de 250 mg/l.

Ácido cítrico para el ensuciamiento inorgánico. La dosis de este reactivo es del orden de 2000mg/l.

Se debe vigilar la permeabilidad de las membranas después de las limpiezas de mantenimiento, para comprobar que las PTM vuelvan a los valores iniciales del ciclo anterior. En caso contrario habría que aumentar la frecuencia de estos lavados.

Lavado de recuperación.

Este lavado se lleva a cabo cuando las limpiezas de contralavado y mantenimiento, no consiguen que la permeabilidad y la PTM vuelvan a los valores adecuados, lo que implica que el ensuciamiento es ya elevado. No es conveniente forzar esta situación, ya que en algún punto de la membrana podría alcanzarse el flujo crítico y el ensuciamiento permanente. Las casas comerciales recomiendan llevar a cabo este tipo de limpiezas cada 6 meses y 1 año.

La limpieza de recuperación, suele hacerse en una cuba aparte ya preparada para instalar allí el bastidor, viene a ser similar a la limpieza de mantenimiento pero con dosis mayores de reactivo y por más tiempo. Las dosis varían entre 1000 y 2000 mg/l de hipoclorito sódico y 2000 y 4000 mg/l de ácido cítrico.

La secuencia de fases sería:

Llenado de la cuba de limpieza de agua permeada.

Extracción de las membranas e introducción de estas en la cuba de limpieza.

Inyección de permeado y reactivos a través de las membranas intermitentemente durante 6-12 horas.

DISEÑO DEL PROTOCOLO DE LIMPIEZA PARA EL SISTEMA DE REUTILIZACIÓN PROPUESTO

Para el sistema MBR, objeto de este estudio, se van a adoptar las frecuencias y secuencias de lavado recomendadas por las casas comerciales con la única salvedad del lavado de recuperación que por los requerimientos de espacio, se va a modificar ligeramente como se explica a continuación.

El sistema MBR que se está estudiando, va a estar emplazado en unas instalaciones auxiliares de un bloque residencial de edificios, por lo que se ha impuesto como criterio fundamental de diseño la ocupación mínima de espacio. En este sentido, se hace inviable disponer de una cuba destinada únicamente a la limpieza de recuperación.

El sistema elegido es utilizar el tanque donde se almacenan las membranas como tanque de limpieza de mantenimiento.

La secuencia de fases sería:

Cierre de las válvulas que conectan el reactor biológico con el tanque de membranas.

Apertura de la recirculación desde el tanque de membranas, hacia el reactor biológico. La entrada del caudal de recirculación en el reactor biológico, se hará a una cota próxima al fondo, haciendo que los

flóculos, decanten y evacuando el agua sin flóculos por el aliviadero del que dispone el reactor biológico. Este paso se ve necesario para preservar en la medida de lo posible las concentraciones de SSLM antes y después del mantenimiento y finalizará con el vaciado completo del tanque de membranas.

Mientras dura este proceso de vaciado del tanque de membranas, se limpiará con agua a presión tanto las paredes y elementos del tanque de membranas como las membranas y bastidores, con la finalidad de que en ambos quede la menor parte posible de materia orgánica. Si no fuera de este modo, gran parte del cloro que vamos a inyectar como hipoclorito, reaccionaría con la materia orgánica, y la cantidad a emplear de este para conseguir los resultados esperados aumentaría.

Cuando el tanque de membranas este vaciado casi en su totalidad, se apagará la recirculación y la secuencia de fases será la del proceso que se ha expuesto anteriormente:

Llenado del tanque de membranas con permeado.

Inyección de permeado y reactivos a través de las membranas intermitentemente durante 6-12 horas.

DIMENSIONAMIENTO DEL BIORREACTOR DE MEMBRANAS PARA LA ALTERNATIVA ESCOGIDA

Como se expone en diferentes publicaciones y bajo el criterio del autor de este trabajo la secuencia de dimensionamiento del biorreactor de membranas será la siguiente:

Resumen de los criterios de diseño, funcionamiento y parámetros de diseño escogidos.

Selección del tipo de membrana a utilizar, así como la configuración del equipo.

Dimensionamiento del tanque de membranas y de los equipos auxiliares.

Dimensionamiento del proceso biológico.

Elección de los equipos

Se procede a continuación, a resumir los aspectos tratados en los anteriores capítulos donde se seleccionan todos los aspectos relacionados con el diseño y funcionamiento del sistema.

-El tipo de membrana que se va a utilizar para este trabajo es de ultrafiltración y fibra hueca, y la configuración del sistema es sumergido no integrado.

-La configuración será sumergida no integrada, de cara a facilitar las labores de mantenimiento de las membranas, en especial para los lavados de mantenimiento que se producen a los 6/12 meses, y que si bien por su frecuencia no pudieran parecer importantes, son un aspecto clave en la vida útil de las membranas.

-La membrana se ha escogido de fibra hueca, este factor viene determinado por que este tipo de membranas requieren una menor recirculación en comparación con las membranas de fibra plana, mientras que las necesidades de aireación son las mismas. Los anteriores son los aspectos económicos más importantes en la explotación de estos sistemas. Además las membranas de fibra hueca se pueden retrolavar, lo que aumenta su vida útil.

-La estrategia de operación hidráulica se basa en trabajar (filtrar) a presión constante, tomando como indicador de ensuciamiento de las membranas el aumento de la presión transmembránica.

-La concentración de SSLM se ha establecido en 5000 mg/l, buscando con ello un equilibrio entre eficiencia en la transferencia de oxígeno y rendimiento.

-Ciclo de filtrado: 10 minutos de filtración, 1 minuto de contralavado y un minuto de relajación. El caudal de contralavado será de 1,2 el caudal de permeado.

Capítulo 4 Diseño de un MBR para el tratamiento de las aguas
DIMENSIONAMIENTO DEL BIORREACTOR DE MEMBRANAS PARA LA ALTERNATIVA ESCOGIDA

Para la determinación de la calidad del afluente se ha seguido el documento “D. Christova-Boa1 et al. /Desalination 106 (1996) 391-397”, donde se ha tomado la calidad correspondiente a las aguas procedentes de la ducha y el lavabo.

Calidad afluente		
Q ₀	2	m ³ /día
DBO ₀	200	mg/l
SSV ₀	0	mg/l
SSF ₀	55	mg/l
N ₀	20	mg/l
P ₀	1.8	mg/l
Alcalinidad	43	mg/l
Coliformes totales	10 ⁷ -10 ⁸	UFC/100 ml
Tmax	26	°C
Tmin	8	°C

La calidad del efluente viene determinada por el RD 1620/2007 en una parte, y en otra parte, por valores lógicos que se obtienen de la operación de estos sistemas, como es la DBO_f < 5mg/l y una casi total ausencia de sólidos en suspensión y turbidez.

Calidad efluente		
DBO _f	5	mg/l
SSV _f	5	mg/l
SSF _f	0	mg/l
N _f	15	mg/l
P _f	2	mg/l
Nematodos	1	huevos/10l
E.Coli	0	UFC/100ml
Turbidez	2	UNT

Parámetros previos de funcionamiento		
SSLM	5000	mg/l
K	0.00123	h ⁻¹ l/ mg
Θ (Arrhenius (k))	1	
kd	0.0025	h ⁻¹
Θ (Arrhenius (kd))	1.03	
Y	0.65	Kg MLVSS/ Kg DBO _r
SSLM Tanque de membranas-recirculación-purga	7500	mg/l
Recirculación	200%	

Tabla 23.- Calidad afluente/efluente y parámetros de funcionamiento MBR

Los cálculos se realizarán para las dos temperaturas que se prevén extremas, los resultados servirán para dimensionar los equipos y para tener información previa a la puesta en marcha de la planta de las oscilaciones que se pueden dar en la misma.

SELECCIÓN DE LA MEMBRANA A UTILIZAR

Dada la dificultad de encontrar casas comerciales dispuestas a proporcionar datos que sirvan para dimensionar MBR's para caudales reducidos, como es el caso de este estudio, se va a dimensionar utilizando un módulo del cassette que la casa comercial Zenon comercializa con el nombre de "zenon serie 500".

CARACTERÍSTICAS Y DATOS PREVIOS AL DIMENSIONAMIENTO DE LA MEMBRANA

En la siguiente tabla se muestran las dimensiones y características de la membrana escogida.

Dimensiones del módulo (mm)	2000x700x200
Area de filtración (m ²)	46
Tamaño de poro (µm)	0.04
Diametro exterior (mm)	1.9
Fujos críticos (LMH)	40-70
PTM (kPa)	10-50

Tabla 24.-Características membrana escogida

La justificación de la elección de esta membrana particular es la siguiente:

Es una marca conocida, prestigiosa e implantada en el mercado europeo.

Posee una PTM baja y uniforme, lo que permite una reducción de la acumulación de fango en las membranas (fouling).

Este tipo de membranas, opera a flujos críticos de 40-70 LMH (l/m²h), bajo una PTM entre 10-50 KPa, la cual se obtiene mediante una presión estática en el lado del reactor y una presión negativa en el lado del permeado usando bombas convencionales.

Se van a utilizar como referencia, además de los datos proporcionados por el fabricante de las membranas, la lista de parámetros habituales de diseño proporcionada por el CEDEX, que se corresponden con una recopilación de diversos casos de estudio.

Parámetro	Abreviación	Unidad	Valores habituales
Flujo de permeado a caudal medio	J	LMH	14-27
Concentración de fangos	SSLM	g/l	8-10
Presión transmembránica	PTM	Bar	Operación 0.1-0.4 Retrolavado 0.5
Aireación específica de las membranas	SADm	m ³ /m ² h	0.31-0.36
Aireación de las membranas respecto al flujo de permeado	SADp	Q(aire)/Q(perm)	11-18

Tabla 25.-Parámetros de funcionamiento recomendados

DISEÑO DE LA MEMBRANA DE ULTRAFILTRACIÓN

AREA Y VOLUMEN DEL TANQUE DE MEMBRANAS

El flujo de permeado a caudal medio, a falta de datos proporcionados por el fabricante se va a estimar en un valor medio de los valores habituales proporcionados por el CEDEX.

$$J_{Qmed} = 20.5 \frac{l}{m^2h}$$

Este flujo se corresponde al caudal que se filtra, horario y por metro cuadrado de membrana. No se tiene en cuenta en este punto las paradas de limpieza y mantenimiento de las membranas, más adelante se comprobará que el flujo a caudal de operación (J_{Qop}) no exceda los flujos críticos expuestos por el fabricante.

Dado el caudal de diseño (2000 litros/día), la superficie de membranas que se necesita es de:

$$\frac{Q_{diseño}}{J_{Qmed}} = \frac{83.33 \frac{l}{h}}{20.5 \frac{l}{m^2h}} = 4.06 m^2 \approx 4m^2$$

Con este dato ya se puede calcular el volumen del tanque de membranas. Este volumen vendrá determinado por el formato comercial de las membranas.

El área de membranas que necesitamos para este caso es de $4.06 m^2$, que es 10 veces menos que el formato comercial en el que se distribuyen estas membranas ($46 m^2 \rightarrow 2000 \times 700 \times 200$), por lo que es de esperar que el tamaño de las membranas de este estudio tenga una de sus dimensiones 10 veces menor.

Las dimensiones del módulo de membranas de este estudio serán de $2000 \times 70 \times 200$. Y la membrana será de $4 m^2$.

Las dimensiones del tanque de membranas, se deberán ajustar a estas medidas y se ha decidido que sean de 2500 X 250 x 250. No se considera que estas medidas sean en ningún caso excesivas, por lo que se ha dispuesto de un tanque de membranas donde estas quepan holgadamente y sea más sencilla su manipulación.

En este punto queda fijada la cota de agua en el tanque de membranas que será de dos metros desde el fondo del mismo.

Se debe prestar mucha atención al volumen del tanque de membranas que no es ocupado por estas, ya que al existir biomasa y una aireación, se van a producir procesos biológicos similares a los del reactor biológico. Estos procesos van a contribuir a la degradación de la materia orgánica, por lo que se debe contabilizar el volumen del reactor en el que se producen.

$$Vol\ membranas = 0.028\ m^3$$

$$Vol\ tanque\ membranas = 0.125\ m^3$$

$$Vol\ tanque\ membranas\ oxidación\ biológica = 0.097\ m^3$$

AIREACIÓN DE LAS MEMBRANAS

La aireación específica de las membranas SAD_m , a falta de datos del fabricante, se tomará un valor medio de la guía del CEDEX.

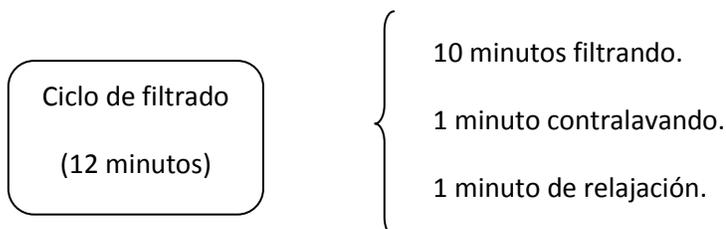
$$SAD_m = 0.33 \frac{m^3\ aire}{m^2\ h}$$

$$Q_{aire} = SAD_m \cdot \Omega_{membranas} = 0.33 \frac{m^3\ aire}{m^2\ h} \cdot 4.06\ m^2 = 1.32 \frac{m^3}{h}$$

Para proporcionar este caudal de aireación, se dispondrá un difusor de burbuja gruesa situado en la parte inferior del tanque.

COMPROBACIÓN FLUJO

Comprobación flujos en ciclo de filtrado normal.



$$Q_{diario} = 2000\ l/día$$

$$\frac{24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot 60 \frac{\text{minutos}}{\text{hora}}}{12 \frac{\text{minutos}}{\text{ciclo}}} = 120 \frac{\text{ciclos}}{\text{día}}$$

$$Q_{\text{ciclo}} = \frac{2000 \text{ l/día}}{120 \text{ ciclos /día}} = 16.66 \text{ litros/ciclo}$$

$$Q_{\text{filtración}} = 16.66 \frac{\text{litros}}{\text{ciclo}} \cdot \frac{1 \text{ ciclo}}{10 \text{ minutos filtrando}} = 1.6 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}} = 100 \frac{\text{litros}}{\text{hora}}$$

$$\text{Flujo a caudal de operación} = J_{Qop} = \frac{100 \frac{\text{litros}}{\text{hora}}}{4 \text{ m}^2} = 25 \text{ LMH}$$

Este flujo se encuentra muy por debajo del crítico establecido por el fabricante (40-70 LMH), por lo que se considera aceptable.

Aún así es necesario comprobar, el flujo crítico durante la operación de retrolavado de las membranas, ya que en esta operación se inyecta a través de estas un caudal de 1.2 veces el caudal de filtración.

$$Q_{\text{retrolavado}} = 1.2 \cdot Q_{\text{filtración}} = 120 \text{ litros/hora}$$

$$J_{Qretr} = \frac{120 \text{ litros/hora}}{4 \text{ m}^2} = 30 \text{ LMH}$$

Este flujo sigue estando muy por debajo.

La superficie efectiva de membranas necesaria para alcanzar estos flujos críticos en la situación más desfavorable, sería:

$$\Omega_{\text{efec}} = \frac{120 \frac{\text{litros}}{\text{hora}}}{40 \frac{\text{l}}{\text{m}^2 \text{h}}} = 3 \text{ m}^2$$

Lo cual representaría un ensuciamiento del 25%.

DIMENSIONAMIENTO TANQUES DE REACTIVOS

El último aspecto a dimensionar en cuanto a las membranas, son los tanques de reactivos, que se utilizarán para las respectivas limpiezas. La limpieza más exigente en cuanto a utilización de estos reactivos será la limpieza de mantenimiento, en la cual se llenará por completo el tanque de membranas con las disoluciones de hipoclorito y ácido cítrico mostradas en la bibliografía.

Dichas disoluciones son de:

1000-2000 mg/l de hipoclorito sódico. Se toma el valor de 1500 mg/l.

2000-4000 mg/l de ácido cítrico. Se toma el valor de 3000 mg/l.

Los tanques de reactivos se van a dimensionar para la situación en la que el tanque de membranas solo requiriera de uno de los reactivos para su limpieza completa.

La riqueza del hipoclorito se estima en 13%

$$\text{Vol tanque de membranas} = 0.125\text{m}^3 = 125 \text{ litros}$$

$$125 \text{ litros} \cdot \left(\frac{1500 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{0.13}\right) = 1.44 \text{ kg de hipoclorito necesarios} \approx 1.44 \text{ litros}$$

El ácido cítrico se suministra en formato sólido, para hacer la disolución de limpieza, habrá que añadir al depósito de reactivo de forma manual la cantidad necesaria.

$$125 \text{ litros} \cdot 3000 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 0.37 \text{ kg de ácido cítrico puro}$$

El caudal de retrolavado de las membranas, al cual se van a incorporar los reactivos es de $120 \frac{\text{litros}}{\text{h}}$

Por lo tanto el tiempo que tarda en llenarse el tanque con este caudal será de 1.04 horas.

DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO BIOLÓGICO

PARÁMETROS BIOCINÉTICOS

Como paso previo al dimensionamiento se van a hallar los parámetros biocinéticos k y k_d para las dos temperaturas de funcionamiento mediante la ecuación de Arrhenius.

$$k_{tw} = k_{20} \cdot \theta^{(tw-20)}$$

$$kd_{tw} = kd_{20} \cdot \theta^{(tw-20)}$$

Donde:

$$\theta(k) = 1$$

$$k_{20} = 0.00123 \frac{\text{l}}{\text{mg} \cdot \text{h}}$$

$$\theta(kd) = 1.03$$

$$kd_{20} = 0.0025 \cdot \frac{1}{\text{h}}$$

Por lo tanto tenemos que para la temperatura máxima ($T=26^\circ \text{C}$):

$$k_{26} = 0.00123 \frac{l}{mg \cdot h} \cdot 1.01^{(26-20)} = 0.00131 \frac{l}{mg \cdot h}$$

$$kd_{26} = 0.0025 \cdot \frac{1}{h} \cdot 1.05^{(26-20)} = 0.00299 \text{ horas}^{-1}$$

Del mismo modo

$$k_8 = 0.00109 \frac{l}{mg \cdot h}$$

$$kd_8 = 0.00175 \text{ horas}^{-1}$$

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAULICO

Con estos parámetros se procede a calcular el tiempo de retención hidráulico (TRH).

$$TRH = \frac{DBO_0 - DBO_f}{SSLM \cdot k_{tw} \cdot DBO_f}$$

Por lo tanto:

$$TRH_{26} = \frac{(200 - 5) \frac{mg}{l}}{5000 \frac{mg}{l} \cdot 0.031 \frac{l}{mg \cdot día} \cdot 5 \frac{mg}{l}} = 0.249 \text{ días}$$

$$TRH_8 = 0.298 \text{ días}$$

VOLUMEN DE REACTOR BIOLÓGICO

Con los tiempos de retención hidráulicos y el caudal afluyente, ya se puede determinar de forma preliminar el volumen necesario de reactor biológico.

$$Q_0 = 2 \frac{m^3}{día}$$

$$TRH_{26} = 0.249 \text{ días}$$

$$TRH_8 = 0.298 \text{ días}$$

$$\text{Vol necesario } (T = 26^\circ C) = Q_0 \cdot TRH_{26} = 2 \frac{m^3}{día} \cdot 0.249 \text{ días} = 0.50 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol necesario } (T = 8^\circ C) = 2 \frac{m^3}{día} \cdot 0.298 \text{ días} = 0.60 \text{ m}^3$$

DETERMINACIÓN SSLM DE LA OXIDACIÓN BIOLÓGICA

Como se puede observar el volumen de reactor biológico necesario es mayor para la temperatura mínima prevista que es la de invierno. El volumen del reactor, como es lógico no varía con la estacionalidad ya que este está conectado hidráulicamente a las membranas y estas deben estar siempre sumergidas. El dimensionamiento se hará a partir de ahora con el volumen necesario para la temperatura mínima, que corresponderá a las concentraciones de SSLM mayor. El ajuste a las condiciones de temperatura, se hará aumentando la purga y disminuyendo por tanto la concentración de SSLM. El valor de esta concentración, se determinará en la operación, aun así al final de este capítulo se dará un valor orientativo.

De cara a calcular parámetros como edad del fango, carga volumétrica, etc. se va a introducir en el cálculo el volumen del tanque de membranas en el que se produce oxidación biológica.

La manera más conveniente, según el autor de este estudio es determinar una concentración de SSLM que tenga en cuenta la oxidación biológica en el tanque de membranas. La concentración de biomasa en el reactor biológico es de 5000 mg/l, sin embargo en el tanque de membranas es de 7500 mg/l, por lo que la oxidación que se produce en 1.5 m³ de reactor biológico, equivale a la correspondiente en 1m³ del tanque de membranas.

Como se ha expuesto antes, el volumen del tanque de membranas donde se está oxidando materia orgánica es de 0.1m³, y ha quedado fijado por el dimensionamiento anterior, por lo que si el volumen necesario para la oxidación de materia orgánica es de 0.6 m³, el volumen del reactor biológico, a priori será de 0.5 m³.

La concentración de biomasa del volumen total que está oxidando materia orgánica se puede hallar mediante un balance de masas:

$$Vol TM \cdot Conc TM + Vol RB \cdot Conc RB = Vol total \cdot SSLM_{total}$$

$$0.1m^3 \cdot 7500 \frac{mg}{l} + 0.5m^3 \cdot 5000 \frac{mg}{l} = 0.6 m^3 \cdot SSLM_{total}$$

Por lo tanto:

$$SSLM_{total} = \frac{5417 mg}{l}$$

Ahora se procederá a recalcular los parámetros que se ven afectados por esta modificación, ya que al aumentar la concentración de SSLM, disminuirá el volumen necesario para la oxidación biológica.

$$TRH_8 = 0.275 \text{ días}$$

$$Vol necesario OB (T = 8^\circ C) = 0.55m^3$$

Aplicando el balance de masas anterior, se obtiene el volumen necesario de reactor biológico.

$$Vol RB = Vol necesario OB - Vol Tanque memb. OB = 0.55 - 0.1 = 0.45 m^3$$

PRODUCCIÓN DE BIOMASA

A continuación se procede a calcular la producción de biomasa.

$$Y = 0.65 \frac{KgMLVSS}{KgDBO}$$

$$Q_f = 2000 \frac{l}{día}$$

$$Vol OB = 550 \text{ litros}$$

$$DBO_0 = 0.0002 \frac{kg}{l}$$

$$SSLM = 0.005417 \frac{kg}{l}$$

$$DBO_f = 0.000005 \frac{kg}{l}$$

$$kd_8 = 0.042 \text{ días}^{-1}$$

$$\Delta X_8 = Y \cdot (DBO_0 - DBO_f) \cdot Q_f - kd_8 \cdot SSLM \cdot V \text{ reactor} = 0.13 \frac{Kg}{día}$$

Con la producción de biomasa se van a calcular los caudales de de recirculación y purga.

CAUDALES DE RECIRCULACIÓN Y PURGA

$$Q_0 = 2 \frac{m^3}{día}$$

$$\text{Recirculación} = 200 \%$$

$$SSLM = 5.417 \frac{kg}{m^3}$$

$$SSLM_{recirc} = 7.5 \frac{kg}{m^3}$$

$$X(SSV)_f = 0.005 \frac{kg}{m^3} \text{ (se considera que la DBO final está en forma de SSV)}$$

$$X(SSV)_0 = 0 \frac{kg}{m^3}$$

$$\Delta Xv \text{ invierno} = 0.13 \frac{kg}{día}$$

Por lo tanto el caudal de recirculación será:

$$Q_r = Q_0 \cdot \text{Recirculación} = 2 \frac{m^3}{día} \cdot 2 = 4 \frac{m^3}{día}$$

Y el caudal de purga:

$$Q_w = \frac{\Delta Xv + Q_0 \cdot X(SSV)_0 - Q_0 \cdot X(SSV)_f}{SSLM_{TM} - X(SSV)_f}$$

$$Q_w = 0.016 \frac{m^3}{día}$$

Y el caudal efluente será de:

$$Q_f = 1.984 \frac{m^3}{día}$$

COMPROBACIONES DE LOS CÁLCULOS

EDAD DEL FANGO

$$Vol_{OB} = 0.55 m^3$$

$$SSLM = 5417 \frac{mg}{l}$$

$$Q_w = 0.016 \frac{m^3}{día}$$

$$SSLM_{TM} = 7500 \frac{kg}{m^3}$$

$$Q_f = 1.984 \frac{m^3}{día}$$

$$X(SSV)_f = 5 \frac{mg}{l}$$

$$\theta_{fango} = \frac{SSLM \cdot Vol\ OB}{Q_w \cdot SSLM_{TM} + Q_f \cdot X(SSV)_f}$$

$$\theta\ invierno = 23días$$

CARGA MÁSICA

$$C_m = \frac{Q \cdot DBO_0}{Vol \cdot SSLM}$$

$$DBO_0 = 0.0002 \frac{kg}{l}$$

$$SSLM = 0.005417 kg/l$$

$$V\ reactor = 550\ litros$$

$$C_m = \frac{2000 \cdot 0.0002}{550 \cdot 0.005417} = 0.13 \frac{kgDBO}{kgSS \cdot día}$$

CARGA VOLUMÉTRICA

$$C_v = \frac{Q \cdot DBO_0}{Vol}$$

$$DBO_0 = 2 \frac{kg}{m^3}$$

$$V\ reactor = 550\ litros$$

$$C_v = \frac{2 \cdot 0.2}{0.55} = 0.72 \frac{kgDBO}{día \cdot m^3}$$

NECESIDADES DE OXÍGENO

$$NO_2 = a \cdot Q_0 \cdot (DBO_0 - DBO_f) + k_d \cdot V \cdot SSLM$$

$$a = 0.62 \text{ } (\theta > 12 \text{ días})$$

$$k_d = 0.042 \text{ días}^{-1}$$

$$V \text{ reactor} = 550 \text{ litros}$$

$$SSLM = 0.005417 \text{ kg/l}$$

$$DBO_0 = 0.0002 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$$

$$DBO_f = 0.000005 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$$

$$NO_2 \text{ invierno} = 0.62 \cdot 2000 \cdot (0.0002 - 0.000005) + 0.042 \cdot 550 \cdot 0.005417 = 0.367 \frac{\text{kg}O_2}{\text{día}}$$

AIREACIÓN

$$Q_{\text{aire}} = \frac{NO_2}{\text{rend transferencia } O_2 \cdot \frac{\text{kg}O_2}{\text{m}^3 \text{ de aire}}}$$

$$\text{Rendimiento difusor de burbuja fina} = 12\%$$

$$0.286 \frac{\text{kg}O_2}{\text{m}^3 \text{ de aire}}$$

$$Q_{\text{aire}} = \frac{0.367}{0.12 \cdot 0.286} = 10.69 \frac{\text{m}^3 \text{ aire}}{\text{día}}$$

CORRECCIÓN A TEMPERATURA DE VERANO

Como se ha comentado al principio de este capítulo, se prevee que para las condiciones de operación de verano, cuando la temperatura del licor mezcla es mayor, se tendrá que realizar una mayor purga para conseguir concentraciones de SSLM más bajas.

La concentración para la temperatura extrema del licor mezcla sera la que se expone a continuación:

Datos de partida:

$$Vol \text{ OB constante} = 0.55 \text{ m}^3$$

Como se ha visto antes, $Vol\ OB = TRH \cdot Q$ por lo tanto:

$$TRH = \frac{Vol\ OB}{Q} = \frac{0.55}{2} = 0.275\text{días}$$

$$TRH = \frac{DBO_0 - DBO_f}{SSLM \cdot k_{tw} \cdot DBO_f}; k_{26} = 0.00131 \frac{l}{mg \cdot h}$$

$$SSLM_{26} = \frac{DBO_0 - DBO_f}{TRH \cdot k_{26} \cdot DBO_f} = \frac{(200 - 5) \frac{mg}{l}}{0.275\text{ días} \cdot 0.031 \frac{l}{mg \cdot día} \cdot 5 \frac{mg}{l}} = 4575\text{mg/L}$$

Para mantener las condiciones de operación, la concentración de SSLM en verano podría bajar hasta 4575 mg/l.

$$0.1\text{m}^3 \cdot X(TM) \frac{mg}{l} + 0.45\text{m}^3 \cdot X(RB) \frac{mg}{l} = 0.55\text{ m}^3 \cdot 4575 \frac{mg}{l}$$

$$X(TM) = 1.5 \cdot X(RB) \text{ (recirculación = 200\%)}$$

$$X(RB) = 4193 \frac{mg}{l}$$

$$X(TM) = 6290 \frac{mg}{l}$$

EQUIPOS AUXILIARES

Por último se van a dimensionar el tanque de homogeneización y alimentación del sistema MBR, que funcionará básicamente como un depósito regulador, y el tanque de alimentación del sistema de riego.

TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN

Los criterios que se van a seguir para el diseño del tanque de homogeneización son:

Alimentación continua del sistema en la situación extrema de un día sin aportaciones. Lo que representa un volumen de 4000 litros.

Almacenamiento de dos días punta de aportaciones seguidos. Suponiendo un coeficiente punta de 2, dos días seguidos de aportaciones punta provocarán un volumen máximo de 6000 litros.

Por lo tanto la situación más restrictiva es el almacenamiento de dos días punta de aportaciones seguidos, y es la que se utilizará para el dimensionamiento.

TANQUE DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA PARA RIEGO

Para el diseño del tanque de alimentación al sistema de riego, el cual estará conectado hidráulicamente al depósito de permeado se va a imponer el criterio de almacenamiento de un día de punta. Volumen: 4000 litros. Este volumen garantiza además que se pueda utilizar el permeado tras una limpieza química, ya que dicho volumen provoca una gran dilución de los reactivos.

RESUMEN DE LOS DATOS DEL DISEÑO

A continuación se van a recopilar los datos procedentes del diseño que van a servir para el dimensionamiento preliminar de los equipos.

MEMBRANAS

-Superficie de membranas: 4 m^2

-Dimensiones del tanque de membranas : $2500 \times 250 \times 250 \text{ mm}$

-Volumen de operación tanque de membranas: 0.125 m^3

-Cota del agua en el tanque de membranas: 2m (desde la solera del mismo).

-Caudal de aireación de las membranas: $1.32 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

Se colocará centrado, un difusor de 20 cm de diametro de burbuja gruesa en el fondo del tanque de membranas conectado a una soplante de $1.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} + 1\text{R}$

-Caudal de filtración: $100 \frac{\text{l}}{\text{hora}}$

-Caudal de retrolavado: $120 \frac{\text{l}}{\text{hora}}$

Se colocará una bomba reversible de $150 \frac{\text{l}}{\text{hora}} + 1\text{R}$

Depósito de permeado:

Deberá tener el mismo o mayor volumen que el tanque de membranas, para poder llenar este por completo en los lavados de mantenimiento.

Volumen: 0.125 m^3

Dimensiones: $2500 \times 250 \times 300 \text{ mm}$

Capítulo 4 Diseño de un MBR para el tratamiento de las aguas
DIMENSIONAMIENTO DEL BIORREACTOR DE MEMBRANAS PARA LA ALTERNATIVA ESCOGIDA

Estará conectado hidráulicamente mediante un rebosadero con el tanque de alimentación para riego, este rebosadero se dispondrá a la cota 1.7m desde la solera del depósito.

Depósito y suministro de hipoclorito sódico:

La cantidad de hipoclorito sódico necesaria es de 1.44 litros.

Esta cantidad es muy pequeña, por lo que se plantea para su dosificación depósitos de 5 litros donde se añadirá la cantidad de hipoclorito correspondiente según las condiciones de operación. Es decir, se llevarán a cabo análisis periódicos donde se determinará la naturaleza del ensuciamiento y se añadirá hipoclorito según sea conveniente

La incorporación de hipoclorito al caudal de retrolavado se hará mediante un gotero regulable de 5 litros/hora de caudal máximo.

Depósito y suministro de ácido cítrico:

La cantidad de ácido cítrico necesaria es de 0.37 litros, al igual que ocurre con el hipoclorito este volumen es infimo por lo que se dispondrá un depósito idéntico al de hipoclorito donde se añadirá la cantidad de ácido cítrico requerida por las condiciones de funcionamiento.

La incorporación de hipoclorito al caudal de retrolavado se hará mediante un gotero regulable de 5 litros/hora de caudal máximo.

REACTOR BIOLÓGICO

-Volumen mínimo reactor biológico: $0.45 m^3$

Se dispondrá de un reactor biológico con un volumen total de $0.625m^3$ y unas dimensiones de $2500 \times 500 \times 450 mm$.

La cota del agua en operación estará a 2 metros desde la solera.

Además, el resguardo que se ha dispuesto de $0.175 m^3$, permite almacenar la totalidad del volumen del tanque de membranas durante las limpiezas de mantenimiento, de esta manera se evita la pérdida de biomasa.

-Caudal de recirculación: $4 \frac{m^3}{día}$

Se dispondrá de una bomba de recirculación de $\frac{5m^3}{día} + 1R$

La purga se hará mediante una válvula accionada mediante automatismo y se verterá el caudal generado con dicha operación a una arqueta municipal.

-Caudal de aireación del reactor biológico:

El caudal de aire necesario es de: $10.69 \frac{m^3 \text{aire}}{\text{día}}$

Se va a comprobar si cumple las condiciones de mezcla completa:

$$\text{Superficie solera reactor biológico: } 0.5 \cdot 0.45 \text{ m}^2 = 0.225 \text{ m}^2$$

$$\text{Condición mezcla completa: } 2 - 4 \frac{m^3 \text{ de aire}}{\text{hora} \cdot m^2}$$

$$\frac{10.69 \frac{m^3 \text{aire}}{\text{día}}}{24 \text{ horas} \cdot 0.225 \text{ m}^2} = 1.98 \frac{m^3 \text{ de aire}}{\text{hora} \cdot m^2}$$

Las condiciones para que se produzca mezcla completa están muy ajustadas, por lo que para garantizar estas, se va a imponer una condición de mezcla completa de $3 \frac{m^3}{\text{hora} \cdot m^2}$

$$Q \text{ aire} = 3 \cdot 24 \cdot 0.225 = 16.2 \frac{m^3 \text{ de aire}}{\text{día}} = 0.675 \frac{m^3}{\text{hora}}$$

Para ello se van a disponer un difusor en la solera del reactor biológico de 30 cm de diametro conectado a una soplante de $2 \frac{m^3}{\text{hora}}$

TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN

Volumen de operación tanque: $6m^3$

Dimensiones tanque: 2000 x 2000 x 1750 mm

Estará equipado con una bomba para la alimentación del reactor biológico de 150 litros/hora + 1R.

Además de cara a la reducción de puntas de contaminación dispondrá una agitación mecánica de $20 \frac{W}{m^3}$

Lo que representa un motor de 120 W

Tambien dispondrá de un rebosadero en la cota 1.8 m desde la solera del mismo, este rebosadero derivará los caudales punta a la arqueta de desagüe municipal.

TANQUE PARA ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

Volumen de operación tanque: $4m^3$

Dimensiones tanque: 2500 x 2000 x 1000 mm

También dispondrá de un rebosadero en la cota 2 m desde la solera del mismo, este rebosadero derivará los caudales punta a la arqueta de desagüe municipal.

TAMIZ ROTATIVO DE REJILLA PERFORADA DE 1MM DE LUZ

Se situará su solera a la cota 1.8 del suelo de tal manera que la cota de agua sea siempre superior a la del agua en el tanque de homogeneización al que estará conectado hidráulicamente, dispondrá de un contenedor para almacenar los sólidos.

MEDICIONES

OBJETIVO

Detallar todos los elementos del sistema para más adelante calcular un presupuesto estimativo.

CALCULO DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS

CONSIDERACIONES PREVIAS

Se va a estimar una velocidad del agua en la tubería de 0.5m/s y se calculará el diámetro tomando como dato de partida los caudales obtenidos en el dimensionamiento.

La mayor parte de las tuberías que se van a calcular, son tuberías de presión es decir van a sección llena. Para las tuberías que funcionan en lámina libre como es el caso de los desagües, este cálculo nos dará un resultado mínimo del diámetro de las mismas que más adelante se mayorará correspondientemente.

$$Caudal = Velocidad \cdot Area \text{ de tubería}$$

Las pérdidas de carga provocadas por elementos tales como codos o bifurcaciones se tendrán en cuenta como longitud de tubería equivalente.

$$Perdida \text{ de carga (codo)} = Perdida \text{ de carga (longitud de tubería} = 5 \text{ diametros)}$$

Las pérdidas de carga longitudinales se calcularán mediante la fórmula de Hazen-Williams.

$$\Delta h = 10.67 \cdot \left(\frac{Q \left(\frac{m^3}{seg} \right)}{C} \right)^{1.852} \cdot \frac{L(m)}{D(m)^{4.87}}$$

Utilizando un valor del coeficiente de fricción "C" de 150 que corresponde a tuberías de PVC.

RESULTADOS OBTENIDOS

TUBERÍAS POR CUARTO DE BAÑO

Abreviatura	Caudal (l/h)	Diámetro (mm)	Diámetro escogido (mm)	Longitud (m)	Codos?	Perdida de carga (m.c.a.)
T1	5500	44.1	45	-	-	-
T2	5500	44.1	45	4	2	0.088
T3	300	14.6	15	4	2	0.029

T4	900	25.2	25	1	0	0.021
T5	900	25.2	25	1	0	0.013

TUBERÍAS POR LETRA

Abreviatura	Caudal (l/h)	Diámetro (mm)	Diámetro escogido (mm)	Longitud (m)	Codos?	Perdida de carga (m.c.a.)
T6	12600	94.4	95	24	1	0.350

TUBERÍAS POR BLOQUE DE VIVIENDAS

Abreviatura	Caudal (l/h)	Diámetro (mm)	Diámetro escogido (mm)	Longitud (m)	Codos?	Perdida de carga (m.c.a.)
T7	150	10.3	10	3	1	0.013
T8	150	10.3	10	4	3	0.423
T9	200	11.9	15	1.5	2	0.055
T10	150	10.3	10	1	0	0.004
T11	200	11.9	15	2	3	0.338
T12	100	8.4	10	2	1	0.040
T13	100	8.4	10	2	1	0.080
T14	200	11.9	15	3	1	0.100
T15	200	11.9	15	1	1	0.030
T16	75600	231.3	250	60	6	0.720
T17	75600	231.3	250	2	1	0.003
T18	5000	59.5	60	3	0	0.002
T19	5000	59.5	60	3	0	0.014
T20	5000	59.5	60	-	-	-
T21	2500	42.1	45	10	3	0.073
T22	5000	59.5	60	1	3	0.036

ACCESORIOS TUBERÍAS

Válvulas de distintos diámetros	131
Codos de distintos diámetros	180

Como se puede deducir de un análisis somero de los resultados, la pérdida de carga de las tuberías es muy pequeña. Esto es debido a que se ha mayorado el diámetro correspondientemente y a que la longitud de las mismas no es excesiva.

La hipótesis previa de velocidad en las tuberías (0.5 m/s), no se ve acertada para el caso de las tuberías 1 y 2 que son las responsables de realizar las descargas del inodoro, para estos casos se utilizará una velocidad de 1m/s.

Todas las tuberías se dispondrán en PVC, ya que se consideran que son las apropiadas para una planta piloto como es la objeto de este estudio.

CÁLCULO DE BOMBAS Y AGITADORES

CONSIDERACIONES PREVIAS

Para el cálculo de las bombas que componen el sistema, se va a utilizar el caudal escogido para las tuberías a las que están unidas.

El rendimiento de las bombas será de 0.8, para el caso de aguas limpias y 0.6 para las aguas grises.

BOMBAS POR VIVIENDA

Abreviatura	Descripción	Hm	Caudal (litros/hora)	Potencia (KW)
B1	Bomba de alimentación del inodoro	1.5	5500	0.372

BOMBAS POR BLOQUE DE VIVIENDAS

Abreviatura	Descripción	Hm	Caudal(litros/hora)	Potencia (KW)
B2	Bomba de recirculación de fangos al biológico + 1R	0.5	200	0.004
B3	Bomba de alimentación del reactor biológico + 1R	2	150	0.013
B4	Bomba de dosificación de hipoclorito para la limpieza química	3	5	-
B5	Bomba de dosificación de ácido cítrico para la limpieza química	3	5	-
B6	Bomba reversible de extracción de permeado y contralavado de membranas + 1R	3	200	0.020
B9	Bomba de limpieza del tamiz rotativo	3	200	0.020
A1	Agitador del tanque de homogeneización			0.120

MEMBRANAS

Membranas de ultrafiltración	Superficie = $4m^2$
------------------------------	---------------------

DEPÓSITOS

Todos los depósitos estarán contruidos en fibra de vidrio dada su gran versatilidad y buena experiencia en otras plantas piloto.

DEPÓSITOS POR VIVIENDA

Depósito	Dimensiones
Almacenamiento de agua para la recarga del inodoro.	1000 x 1000 x 250 mm

DEPÓSITOS POR BLOQUE DE VIVIENDAS

Elemento	Dimensiones
Tanque de alimentación y homogeneización.	2000 x 2000 x 1750 mm
Tanque para alimentación del sistema de riego.	2500 x 2000 x 1000 mm
Reactor biológico.	2500x500x450 mm.
Depósitos de hipoclorito y ácido cítrico.	Formato comercial
Depósito de permealdo	2500 x 250 x 300 mm
Tanque de membranas	2500 x 250 x 250 mm

BOMBAS SOPLANTES Y AGITADORES

Elemento	Características
Reactor biológico	$Q_{aire} = 2 \frac{m^3}{hora}$
Tanque de membranas	$Q_{aire} = 1.5 \frac{m^3}{hora}$
Difusor de aire reactor biológico	Burbuja fina, $\phi = 300 \text{ mm}$
Difusor de aire del tanque de membranas	Burbuja gruesa, $\phi = 200 \text{ mm}$

INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y AUTOMATIZACIÓN

Elemento	Unidades
Cuadro eléctrico de mando, protección y automatización	1
Boyas de control	43
Contenedor para residuos tamiz	1
Instalación eléctrica	1

PRESUPUESTO ESTIMATIVO

A continuación se expone una estimación del coste total del sistema propuesto, este presupuesto se ha realizado consultando a diferentes expertos en la construcción y explotación de plantas pilotos, y se apoya en diferentes catálogos on-line de las diversas casas comerciales.

Los costes unitarios de cada elemento están mayorados, para tener en cuenta sí los costes de mano de obra.

TUBERÍAS Y ACCESORIOS

Para el cálculo de las tuberías se va a tomar el precio por metro lineal que aparece en diversos catálogos para el diámetro adoptado en la medición. De cara a tener en cuenta la valvulería, codos y mano de obra dentro de este precio por metro lineal, se va a multiplicar el precio por un factor mayorador de 2.

Abreviatura	Descripción	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Coste unitario	Coste total
T1	Alimentación inodoro agua potable	50	-	4.88	
T2	Alimentación inodoro agua gris	50	4	4.88	819.84 €
T3	Tubería de desagüe lavabo	15	4	0.83	139.44 €
T4	Rebosadero depósito	25	1	1.28	53.97 €
T5	Tubería de descarga para riego y lavado del depósito	25	1	1.28	53.97 €
T6	Tubería colectiva de recogida de agua para riego	95	24	18.89	113.36 €
T7	Tubería de alimentación reactor biológico	10	3	0.78	2.34 €
T8	Tubería de conexión reactor biológico-T. membranas	10	4	0.78	3.12 €
T9	Tubería de recirculación de fangos	15	1.5	0.83	1.24 €
T10	tubería de purga de fangos	10	1	0.78	0.78 €

T11	Tubería de extracción de permeado	15	2	0.83	1.66 €
T12	Tubería dosificación de hipoclorito	10	2	0.78	1.56 €
T13	Tubería dosificación ácido cítrico	10	2	0.78	1.56 €
T14	Tubería para el contralavado de las membranas	15	3	0.83	2.49 €
T15	Tubería de entrada al depósito de permeado	15	1	0.83	0.83 €
T16	Tubería de agua de entrada al tamiz	250	60	20.36	1,221.60 €
T17	Tubería de alimentación del tanque de homogeneización	250	2	20.36	40.72 €
T18	Rebosadero del tanque de homogeneización	60	3	7.77	23.32 €
T19	Rebosadero de la alimentación para riego	60	3	7.77	23.32 €
T20	Tubería de salida para riego	60	-	7.77	
T21	Tubería para el lavado del tamiz rotativo	40	10	3.30	33.00 €
T22-23	Tubería de entrada de aire a los difusores de las membranas	60	1	7.77	7.77 €

Precio total tuberías y accesorios

2545.89 €

BOMBAS Y AGITADORES

Abreviatura	Descripción	Características	Coste unitario	Coste total
B1	Bomba de alimentación del inodoro	0.279 KW 1.5 m.c.a. 5500 l/h	500.00 €	21,000.00 €
B2	Bomba de recirculación de	0.003 KW 2.5 m.c.a.	1,400.00 €	2,800.00 €

B3	fangos al biológico + 1R	200 l/h		
	Bomba de alimentación del reactor biológico + 1R	0.010 KW 2 m.c.a. 150 l/h	1,100.00 €	2,200.00 €
B4	Bomba de dosificación de hipoclorito para la limpieza química	0.001 KW 3 m.c.a. 5 l/h	1,000.00 €	1,000.00 €
B5	Bomba de dosificación de ácido cítrico para la limpieza química	0.001 KW 3 m.c.a. 5 l/h	1,000.00 €	1,000.00 €
B6	Bomba reversible de extracción de permeado y contralavado de membranas + 1R	0.020 KW 3 m.c.a. 200 l/h	5,000.00 €	10,000.00 €
B9	Bomba de limpieza del tamiz rotativo	0.254 KW 3 m.c.a. 200 l/h	1,500.00 €	1,500.00 €
A1	Agitador tanque de homogeneización	0.120 KW	3,000.00 €	3,000.00 €

Precio total bombas y agitadores

42,500.00 €

MEMBRANAS

Membranas de ultrafiltración	Superficie	Coste unitario	Coste total
	4 m ²	1,000.00 €	4,000.00 €

DEPÓSITOS

Depósito	Dimensiones	Coste unitario	Coste total
Almacenamiento de agua para la recarga del inodoro.	1000 x 1000 x 250 mm	62.50 €	2,625.00 €
Tanque de alimentación y homogeneización.	2000 x 2000 x 1750 mm	1,750.00 €	1,750.00 €
Tanque para alimentación del sistema de riego.	2500 x 2000 x 1000 mm	1,250.00 €	1,250.00 €
Reactor biológico.	2500x500x450 mm.	140.63 €	140.63 €

Depósitos de hipoclorito y ácido cítrico.	Formato comercial	40.00 €	80.00 €
Depósito de permeado	2500 x 250 x 300 mm	127.60 €	127.60 €
Tanque de membranas	2500 x 250 x 250 mm	113.65 €	113.65 €

Precio total tanques	6,086.88 €
----------------------	------------

BOMBAS SOPLANTES Y DIFUSORES

Elemento	Características	Coste unitario	Coste total
Soplante reactor biológico +1 R	$2 \frac{m^3}{hora}$	700.00 €	1,400.00 €
Soplante tanque de membranas +1R	$1.5 \frac{m^3}{hora}$	600.00 €	1,200.00 €
Difusor de aire reactor biológico	Burbuja fina, $\phi = 300 \text{ mm}$	70.00 €	70.00 €
Difusor de aire del tanque de membranas	Burbuja gruesa, $\phi = 200 \text{ mm}$	50.00 €	50.00 €

Precio total bombas soplantes y difusores	2,720.00 €
---	------------

INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y AUTOMATIZACIÓN

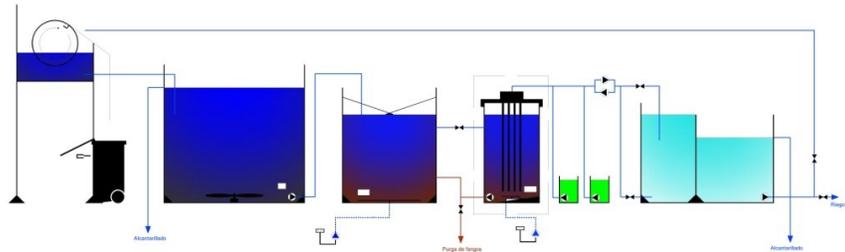
Elemento	Unidades	Coste unitario	Coste total
Cuadro eléctrico de mando, protección y automatización	1	4,000.00 €	4,000.00 €
Boyas de control	43	40.00 €	1,720.00 €
Contenedor para residuos tamiz	1	50.00 €	50.00 €
Instalación eléctrica	1	2,000.00 €	2,000.00 €

Precio total instalación eléctrica y automatización	7,770.00 €
---	------------

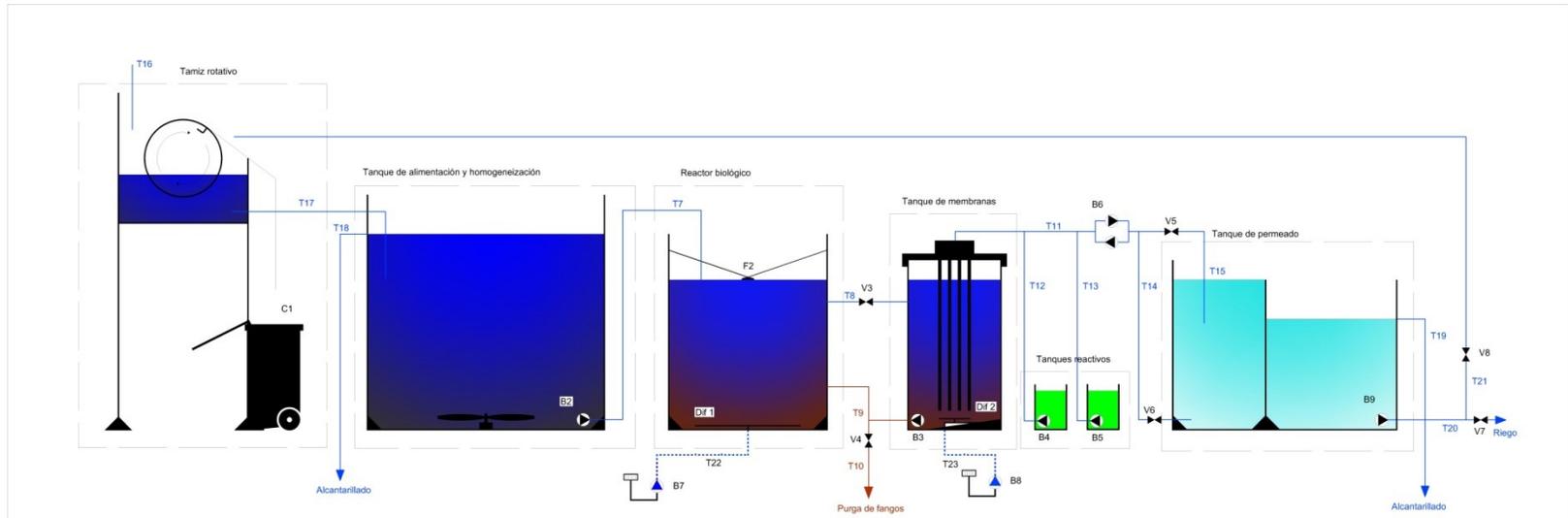
RESUMEN PRESUPUESTO

Precio total tuberías y accesorios	2545.89 €
Precio total bombas y agitadores	42,500.00 €
Precio total tanques	6,086.88 €
Precio total bombas soplantes y difusores	2,720.00 €
Precio total instalación eléctrica y automatización	7,770.00 €
Total	67,622.77 €
IVA (21%)	13,780.78 €
Beneficio industrial (20%)	13,124.55 €
Precio final	92,528.11 €
Precio final por vivienda	2,203.05 €

PLANOS



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA		
ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE I.C.C.P.		
DEPARTAMENTO INGENIERÍA SANITARIA		
TITULO REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES EN BLOQUES DE VIVIENDAS		
AUTOR	MANUEL BARBERO DEL RÍO	FIRMA
FECHA	JUNIO 2016	DESIGNACIÓN ESQUEMA GLOBAL INSTALACIÓN

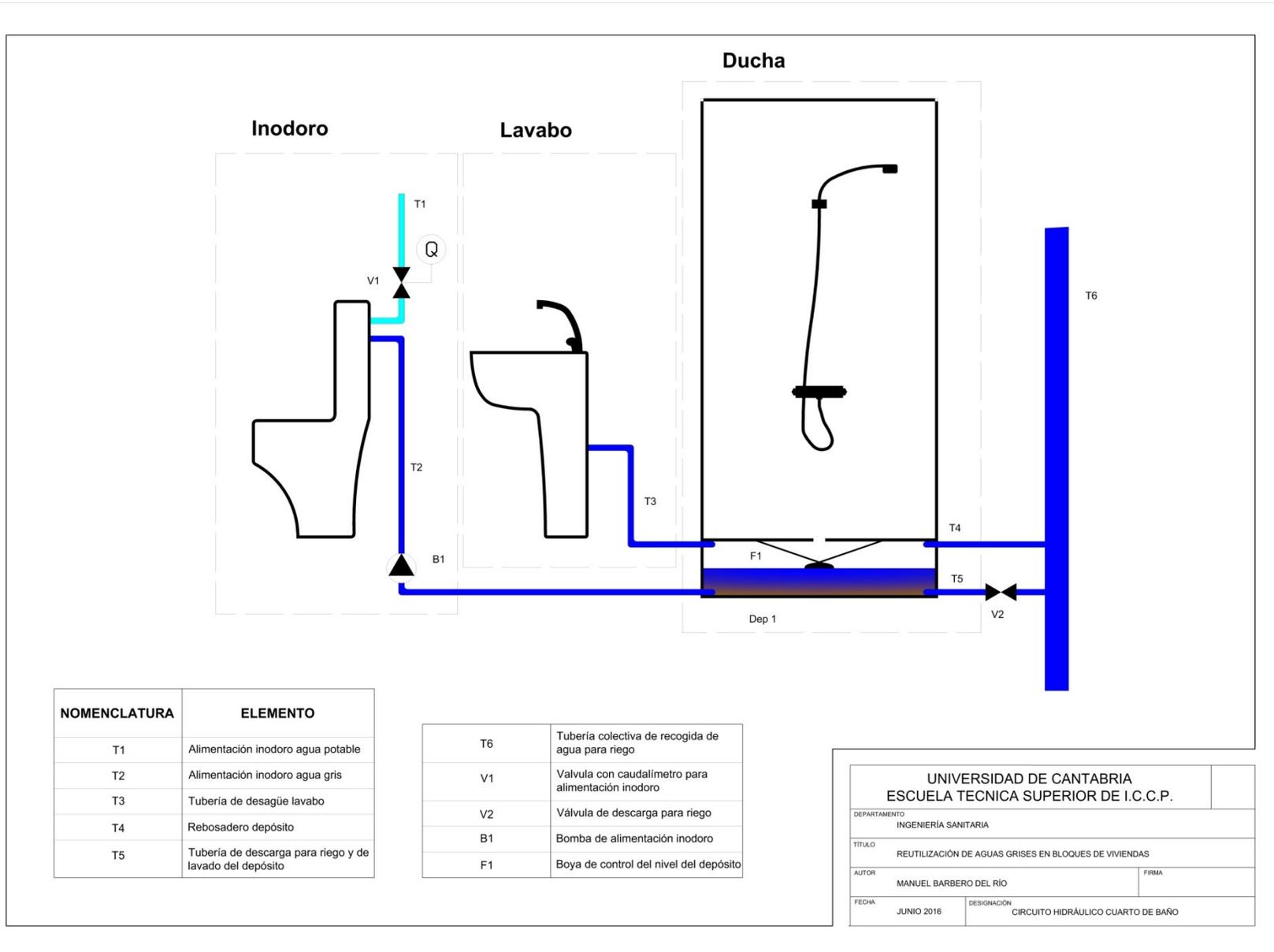


Abreviatura	Descripción
B2	Bomba de alimentación del reactor biológico
B3	Bomba de recirculación de fangos al biológico
B4	Bomba de dosificación de hipoclorito para limpieza química
B5	Bomba de dosificación de ácido cítrico para limpieza química
B6	Bomba reversible de extracción de permeado y contralavado de membranas.
B7	Bomba de aireación del reactor biológico
B8	Bomba de aireación del tanque de membranas
V3	Válvula de conexión reactor biológico-tanque de membranas
V4	Válvula de apertura de la purga de fangos
V5	Válvula de alimentación del tanque de permeado
V6	Válvula de extracción de permeado para el contralavado
V7	Válvula de riego
F2	Boya de control de nivel en el reactor biológico
Dif1	Difusores de aire del reactor biológico
Dif2	Difusores de aire de limpieza de membranas
T7	Tubería de alimentación del reactor biológico
T8	Tubería de conexión reactor biológico-tanque de membranas

T9	Tubería de recirculación de fangos
T10	Tubería de purga de fangos
T11	Tubería de extracción de permeado-contralavado
T12	Tubería para la dosificación de hipoclorito
T13	Tubería para la dosificación de ácido cítrico
T14	Tubería para el contralavado de las membranas
T15	Tubería de entrada al depósito de permeado
T16	Tubería de entrada de agua al tamiz
T17	Tubería de alimentación del tanque de homogeneización
T18	Rebosadero del tanque de homogeneización
T19	Rebosadero de la alimentación para riego
T20	Tubería de salida para riego
T21	Tubería para el lavado del tamiz rotativo
T22	Tubería de entrada de aire a los difusores del reactor
T23	Tubería de entrada de aire a los difusores de las membranas
V8	Válvula para la limpieza del tamiz rotativo
B9	Bomba para riego/limpieza del tamiz
C1	Contenedor para el desecho del tamiz

	Aguas con fangos activos
	Aguas grises
	Aguas tratadas

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE I.C.C.P.	
DEPARTAMENTO INGENIERÍA SANITARIA	
TÍTULO REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISAS EN BLOQUES DE VIVIENDAS	
AUTOR MANUEL BARBERO DEL RÍO	FIRMA
FECHA JUNIO 2016	DESIGNACIÓN BIORREACTOR DE MEMBRANAS



Capítulo 5 Exposición y dimensionamiento de una segunda alternativa de reutilización

Índice:

Objetivo	261
Planteamiento	261
Dimensionamiento sistema de reutilización alternativa 2	263
Determinación del caudal de diseño	263
Dimensionamiento del sistema MBR	265
Datos previos al dimensionamiento	265
Diseño de la membrana de ultrafiltración	267
Diseño del proceso biológico	270
Dimensionamiento de los depósitos y equipos auxiliares	277
Depósito 1.- almacenamiento de agua tratada para la recarga del inodoro ...	277
Depósito 2.-alimentación del sistema MBR.....	278
Depósito 3.-tanque de alimentación al sistema de riego	278
Resumen resultados procedentes del dimensionamiento	279
Membranas	279
Reactor biológico	280
Tanque de homogeneización.....	281
Tanque para alimentación del sistema de riego.....	281
Tanque de almacenamiento de agua tratada para recarga de inodoros	281
Tamiz rotativo de rejilla perforada de 1mm de luz	282
Mediciones	283
Objetivo	283
Calculo de tuberías y accesorios	283
Consideraciones previas	283
Resultados obtenidos	283
Tuberías por cuarto de baño:	283

Tuberías por letra:	284
Tuberías por conjunto de bloques de viviendas:.....	284
Accesorios tuberías:.....	284
Cálculo de bombas.....	284
Consideraciones previas	284
Bombas por bloque de viviendas:.....	285
Membranas	285
Depósitos.....	285
Depósitos por bloque de viviendas.....	285
Bombas soplantes y agitadores.....	286
Instalación eléctrica y automatización	286
Presupuesto estimativo alternativa 2	287
Tuberías y accesorios	287
Bombas y agitadores.....	288
Membranas	289
Depósitos.....	289
Bombas soplantes y difusores.....	290
Instalación eléctrica y automatización	290
Resumen presupuesto alternativa 2	291
Planos.....	292

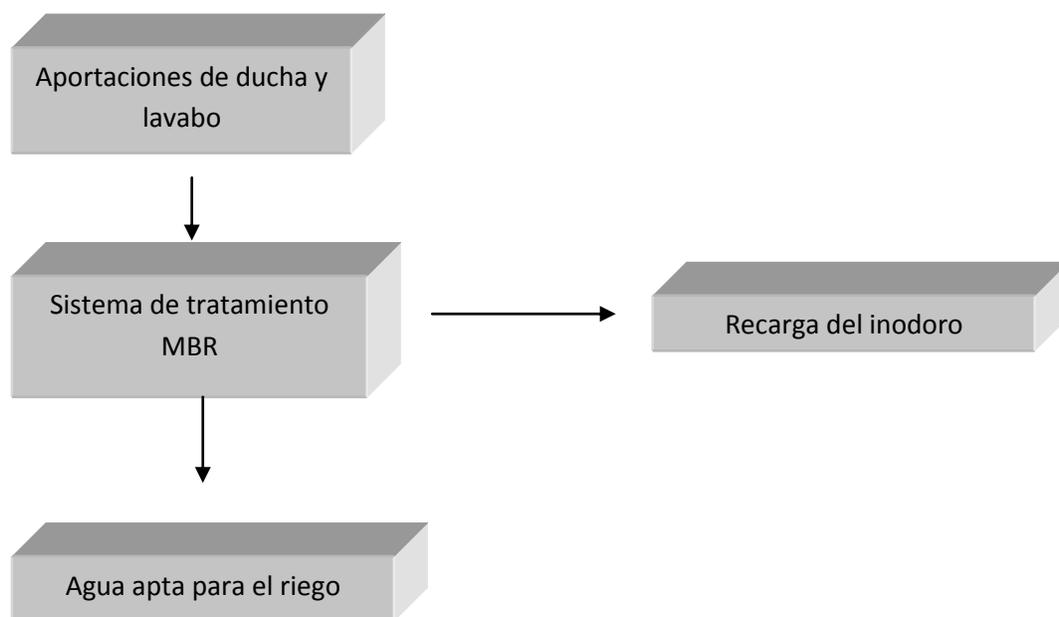
OBJETIVO

Adaptar el sistema de reutilización mostrado en este trabajo, a una posible legislación más exigente en cuanto a criterios de calidad para las aguas destinadas a la descarga del inodoro.

PLANTEAMIENTO

La reutilización en este caso pasa por un tratamiento mediante biorreactor de membranas, mediante el cual se tratarán todas las aguas grises del edificio, para más tarde utilizarlas para riego y descarga de inodoros.

El esquema de funcionamiento sería el siguiente:



La captación de aguas grises en este caso se llevará a cabo mediante una bajante hacia el sistema de tratamiento y se producirá en el mismo instante en el que se están generando dichas aguas.

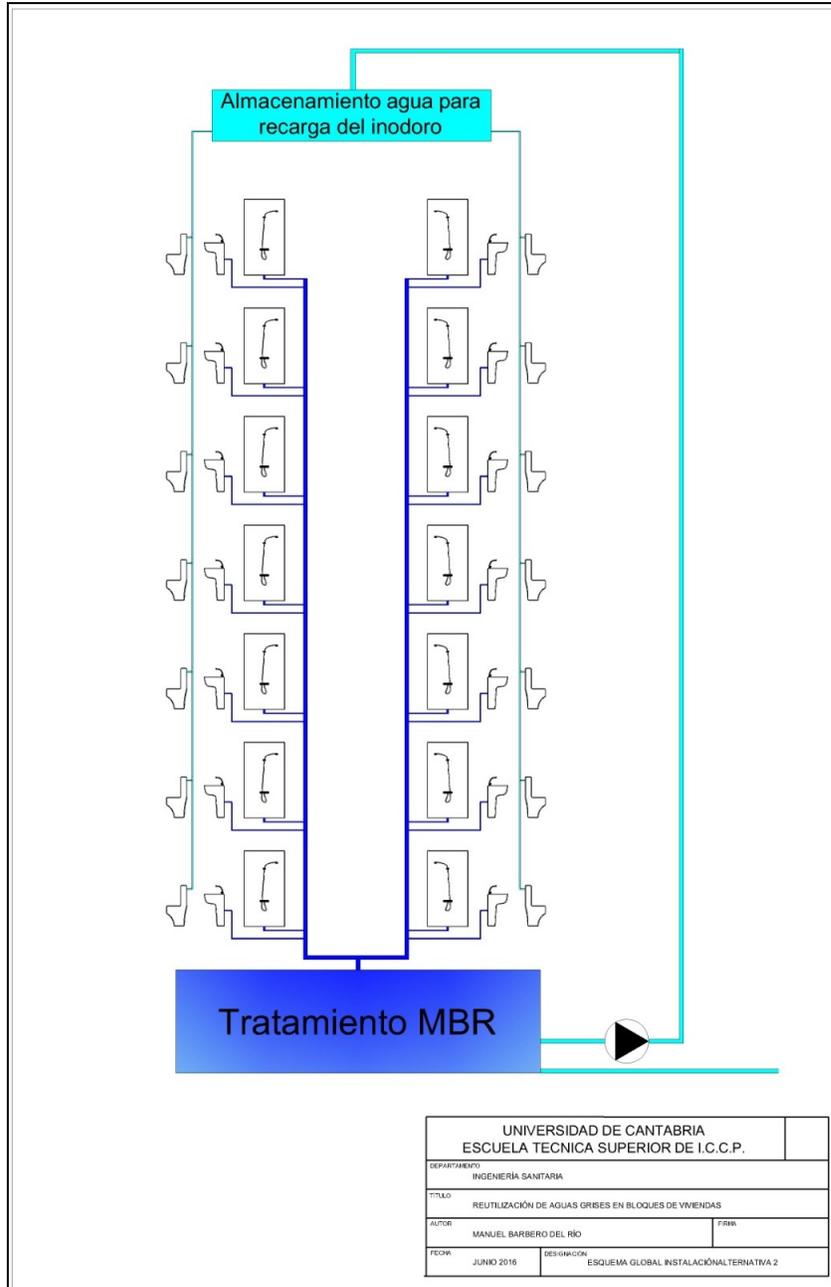
El sistema de tratamiento, depurará el agua para adaptar su calidad a la legislación vigente.

La recarga del inodoro en este caso, se realizará por gravedad mediante un depósito de agua tratada situado en el punto más alto del edificio. Este depósito contará de un sistema de dosificación de cloro de cara a evitar la aparición de microorganismos.

Las descargas del inodoro se realizarán de forma habitual, mediante el llenado del depósito del mismo y utilizando la boya interior a este como regulador.

Este sistema de reutilización se caracteriza por su simplicidad y es por esto que sería adaptable tanto a una nueva construcción como a una ya existente, mediante una reforma.

El diagrama de flujo del sistema discretizado para un bloque de viviendas, sería el que se muestra a continuación:



DIMENSIONAMIENTO SISTEMA DE REUTILIZACIÓN ALTERNATIVA 2

Para el diseño y dimensionamiento de este sistema de reutilización se van a seguir los siguientes pasos:

Determinación del caudal de diseño.

Dimensionamiento del depósito de alimentación de los inodoros, de alimentación del sistema MBR y de alimentación para riego.

Dimensionamiento del sistema MBR.

Datos previos al dimensionamiento.

Elección y dimensionamiento de las membranas.

Dimensionamiento del proceso biológico.

Dimensionamiento de los equipos auxiliares.

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE DISEÑO

Del anejo de toma y análisis de datos, se han obtenido estos resultados:

Ocupación vivienda	1 habitante	2 habitantes	3 habitantes	4 habitantes
Demandas medias diarias (litros)	21.6	22.8	32.7	45.0
Aportaciones medias diarias (litros)	34.8	66.7	93.7	150.4

A continuación se va a componer el bloque de viviendas de diseño, introduciendo según la ocupación de la vivienda la aportación que le corresponde.

	Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3	
Piso 7	2	5	3	2	4	2
Piso 6	2	0	4	1	4	5
Piso 5	3	2	3	5	0	0
Piso 4	2	2	2	4	3	0
Piso 3	2	3	3	2	2	2
Piso 2	1	3	2	1	4	5
Piso 1	5	2	0	2	2	3

Tabla 26.-Ocupación bloque de viviendas modelo

Capítulo 5 Exposición y dimensionamiento de una segunda alternativa de reutilización
 DIMENSIONAMIENTO SISTEMA DE REUTILIZACIÓN ALTERNATIVA 2

	Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3	
Piso 7	66.7	187.5	93.7	66.7	150.4	66.7
Piso 6	66.7	0	150.4	34.8	150.4	187.5
Piso 5	93.7	66.7	93.7	187.5	0	0
Piso 4	66.7	66.7	66.7	150.4	93.7	0
Piso 3	66.7	93.7	93.7	66.7	66.7	66.7
Piso 2	34.8	93.7	66.7	34.8	150.4	187.5
Piso 1	187.5	66.7	0	66.7	66.7	93.7

Aportaciones diseño 3610.7 Litros/día

Tabla 27.-Simulación aportaciones medias

	Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3	
Piso 7	22.8	56.25	32.7	22.8	45	22.8
Piso 6	22.8	0	45	21.6	45	56.25
Piso 5	32.7	22.8	32.7	56.25	0	0
Piso 4	22.8	22.8	22.8	45	32.7	0
Piso 3	22.8	32.7	32.7	22.8	22.8	22.8
Piso 2	21.6	32.7	22.8	21.6	45	56.25
Piso 1	56.25	22.8	0	22.8	22.8	32.7

Demandas diseño 1197.45 Litros/día

Tabla 28.-Simulación demandas medias

Ya que el riego no es una demanda importante, y priorizando siempre el abastecimiento de agua para el depósito de recarga de los inodoros, no se va a dimensionar con factor punta. Esto es debido a que con las aportaciones, se va a satisfacer la demanda prioritaria (recarga inodoros) muy de sobra.

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA MBR

DATOS PREVIOS AL DIMENSIONAMIENTO

Q. tratamiento = 3600 litros/día.

El resto de datos que van a servir para el dimensionamiento del sistema se han expuesto en el dimensionamiento de la primera alternativa y se exponen a continuación.

Calidad afluente		
Q ₀	2	m ³ /día
DBO ₀	200	mg/l
SSV ₀	0	mg/l
SSF ₀	55	mg/l
N ₀	20	mg/l
P ₀	1.8	mg/l
Alcalinidad	43	mg/l
Coliformes totales	10 ⁷ -10 ⁸	UFC/100 ml
Tmax	26	°C
Tmin	8	°C

Calidad efluente		
DBO _f	5	mg/l
SSV _f	5	mg/l
SSF _f	0	mg/l
N _f	15	mg/l
P _f	2	mg/l
Nematodos	1	huevos/10l
E.Coli	0	UFC/100ml
Turbidez	2	UNT

Parámetros previos de funcionamiento		
SSLM	5000	mg/l
K	0.00123	h ⁻¹ l/ mg
Θ (Arrhenius (k))	1	
kd	0.0025	h ⁻¹
Θ (Arrhenius (kd))	1.03	
Y	0.65	Kg MLVSS/ Kg DBO _r
SSLM Tanque de membranas-recirculación-purga	7500	mg/l
Recirculación	200%	

Los aspectos relacionados con el diseño y funcionamiento del sistema se han escogido anteriormente y son los siguientes:

- El tipo de membrana que se va a utilizar para este trabajo es de ultrafiltración y fibra hueca, y la configuración del sistema es sumergido no integrado.
- La configuración será sumergida no integrada, de cara a facilitar las labores de mantenimiento de las membranas, en especial para los lavados de mantenimiento que se producen a los 6/12 meses, y que si bien por su frecuencia no pudieran parecer importantes, son un aspecto clave en la vida útil de las membranas.
- La membrana se ha escogido de fibra hueca, este factor viene determinado por que este tipo de membranas requieren una menor recirculación en comparación con las membranas de fibra plana, mientras que las necesidades de aireación son las mismas. Los anteriores son los aspectos económicos más importantes en la explotación de estos sistemas. Además las membranas de fibra hueca se pueden retrolavar, lo que aumenta su vida útil.
- La estrategia de operación hidráulica se basa en trabajar (filtrar) a presión constante, tomando como indicador de ensuciamiento de las membranas el aumento de la presión transmembránica.
- La concentración de SSLM se ha establecido en 5000 mg/l, buscando con ello un equilibrio entre eficiencia en la transferencia de oxígeno y rendimiento.
- Ciclo de filtrado: 10 minutos de filtración, 1 minuto de contralavado y un minuto de relajación. El caudal de contralavado será de 1,2 el caudal de permeado.

Dada la dificultad de encontrar casas comerciales dispuestas a proporcionar datos que sirvan para dimensionar MBR's para caudales reducidos, como es el caso de este estudio, se va a dimensionar utilizando un módulo del cassette que la casa comercial Zenon comercializa con el nombre de "zenon serie 500".

En la siguiente tabla se muestran las dimensiones y características de la membrana escogida.

Dimensiones del módulo (mm)	2000x700x200
Area de filtración (m ²)	46
Tamaño de poro (µm)	0.04
Diametro exterior (mm)	1.9
Fujos críticos (LMH)	40-70
PTM (kPa)	10-50

Tabla 29.-Parámetros de funcionamiento membrana escogida

La justificación de la elección de esta membrana particular es la siguiente:

Es una marca conocida, prestigiosa e implantada en el mercado europeo.

Posee una PTM baja y uniforme, lo que permite una reducción de la acumulación de fango en las membranas (fouling).

Este tipo de membranas, opera a flujos críticos de 40-70 LMH (l/m²h), bajo una PTM entre 10-50 KPa, la cual se obtiene mediante una presión estática en el lado del reactor y una presión negativa en el lado del permeado usando bombas convencionales.

Se van a utilizar como referencia, además de los datos proporcionados por el fabricante de las membranas, la lista de parámetros habituales de diseño proporcionada por el CEDEX, que se corresponden con una recopilación de diversos casos de estudio.

Parámetro	Abreviación	Unidad	Valores habituales
Flujo de permeado a caudal medio	J	LMH	14-27
Concentración de fangos	SSLM	g/l	8-10
Presión transmembránica	PTM	Bar	Operación 0.1-0.4 Retrolavado 0.5
Aireación específica de las membranas	SADm	m ³ /m ² h	0.31-0.36
Aireación de las membranas respecto al flujo de permeado	SADp	Q(aire)/Q(perm)	11-18

Tabla 30.-Parámetros de funcionamiento estandar de un MBR

DISEÑO DE LA MEMBRANA DE ULTRAFILTRACIÓN

El flujo de permeado a caudal medio, a falta de datos proporcionados por el fabricante se va a estimar en un valor medio de los valores habituales proporcionados por el CEDEX.

$$J_{Qmed} = 20.5 \frac{l}{m^2h}$$

Este flujo se corresponde al caudal que se filtra, horario y por metro cuadrado de membrana. No se tiene en cuenta en este punto las paradas de limpieza y mantenimiento de las membranas, más adelante se comprobará que el flujo a caudal de operación (J_{Qop}) no exceda los flujos críticos expuestos por el fabricante.

Dado el caudal de diseño (3600 litros/día), la superficie de membranas que se necesita es de:

$$\frac{Q_{diseño}}{J_{Qmed}} = \frac{150 \frac{l}{h}}{20.5 \frac{l}{m^2h}} = 7.31 m^2$$

Con este dato ya se puede calcular el volumen del tanque de membranas. Este volumen vendrá determinado por el formato comercial de las membranas.

El área de membranas que necesitamos para este caso es de 7.31 m^2 , que es 6.3 veces menos que el formato comercial en el que se distribuyen estas membranas ($46 \text{ m}^2 \rightarrow 2000 \times 700 \times 200$), por lo que es de esperar que el tamaño de las membranas de este estudio tenga una de sus dimensiones 6.3 veces menor.

Con la intención de que el módulo de membranas tenga unas medidas estándar, se va a adoptar un área de membranas mayor del necesario.

Las dimensiones del módulo de membranas de este estudio serán de $2000 \times 120 \times 200$. Y la membrana será de 7.88 m^2 .

Las dimensiones del tanque de membranas, se deberán ajustar a estas medidas y se ha decidido que sean de $2500 \times 250 \times 300$. No se considera que estas medidas sean en ningún caso excesivas, por lo que se ha dispuesto de un tanque de membranas donde estas quepan holgadamente y sea más sencilla su manipulación.

En este punto queda fijada la cota de agua en el tanque de membranas que será de dos metros desde el fondo del mismo.

Se debe prestar mucha atención al volumen del tanque de membranas que no es ocupado por estas, ya que al existir biomasa y una aireación, se van a producir procesos biológicos similares a los del reactor biológico. Estos procesos van a contribuir a la degradación de la materia orgánica, por lo que se debe contabilizar el volumen del reactor en el que se producen.

$$\text{Vol membranas} = 0.048 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol tanque membranas} = 0.15 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol tanque membranas oxidación biológica} = 0.102 \text{ m}^3$$

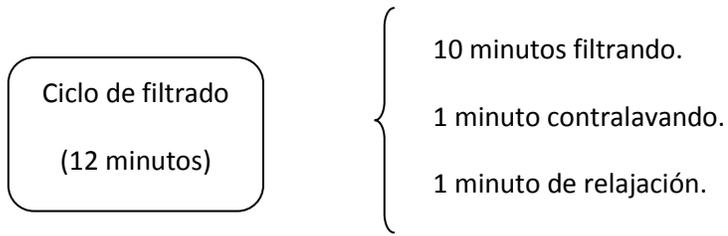
La aireación específica de las membranas SAD_m , a falta de datos del fabricante, se tomará un valor medio de la guía del CEDEX.

$$SAD_m = 0.33 \frac{\text{m}^3 \text{ aire}}{\text{m}^2 \text{ h}}$$

$$Q_{\text{aire}} = SAD_m \cdot \Omega_{\text{membranas}} = 0.33 \frac{\text{m}^3 \text{ aire}}{\text{m}^2 \text{ h}} \cdot 4.06 \text{ m}^2 = 2.6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Para proporcionar este caudal de aireación, se dispondrá un difusor de burbuja gruesa situado centrado en la parte inferior del tanque.

Comprobación flujos en ciclo de filtrado normal.



$$Q_{\text{diario}} = 3600 \text{ l/día}$$

$$\frac{24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot 60 \frac{\text{minutos}}{\text{hora}}}{12 \frac{\text{minutos}}{\text{ciclo}}} = 120 \frac{\text{ciclos}}{\text{día}}$$

$$Q_{\text{ciclo}} = \frac{3600 \text{ l/día}}{120 \text{ ciclos / día}} = 30 \text{ litros/ciclo}$$

$$Q_{\text{filtración}} = 30 \frac{\text{litros}}{\text{ciclo}} \cdot \frac{1 \text{ ciclo}}{10 \text{ minutos filtrando}} = 3 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}} = 180 \frac{\text{litros}}{\text{hora}}$$

$$\text{Flujo a caudal de operación} = J_{Qop} = \frac{180 \frac{\text{litros}}{\text{hora}}}{7.88 \text{ m}^2} = 22.8 \text{ LMH}$$

Este flujo se encuentra muy por debajo del crítico establecido por el fabricante (40-70 LMH), por lo que se considera aceptable.

Aún así es necesario comprobar, el flujo crítico durante la operación de retrolavado de las membranas, ya que en esta operación se inyecta a través de estas un caudal de 1.2 veces el caudal de filtración.

$$Q_{\text{retrolavado}} = 1.2 \cdot Q_{\text{filtración}} = 216 \text{ litros/hora}$$

$$J_{Qretr} = \frac{216 \text{ litros/hora}}{7.88 \text{ m}^2} = 27.4 \text{ LMH}$$

Este flujo sigue estando muy por debajo.

La superficie efectiva de membranas necesaria para alcanzar estos flujos críticos en la situación más desfavorable, sería:

$$\Omega_{\text{efec}} = \frac{216 \frac{\text{litros}}{\text{hora}}}{40 \frac{\text{l}}{\text{m}^2 \text{h}}} = 5.4 \text{ m}^2$$

Lo cual representaría un ensuciamiento del 31%.

El último aspecto a dimensionar en cuanto a las membranas, son los tanques de reactivos, que se utilizarán para las respectivas limpiezas. La limpieza más exigente en cuanto a utilización de estos reactivos será la limpieza de mantenimiento, en la cual se llenará por completo el tanque de membranas con las disoluciones de hipoclorito y ácido cítrico mostradas en la bibliografía.

Dichas disoluciones son de:

1000-2000 mg/l de hipoclorito sódico. Se toma el valor de 1500 mg/l.

2000-4000 mg/l de ácido cítrico. Se toma el valor de 3000 mg/l.

Los tanques de reactivos se van a dimensionar para la situación en la que el tanque de membranas solo requiriera de uno de los reactivos para su limpieza completa.

La riqueza del producto se estima en 13%

$$\text{Vol tanque de membranas} = 0.15\text{m}^3 = 150 \text{ litros}$$

$$150 \text{ litros} \cdot \left(\frac{1500 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{0.13}\right) = 1.73 \text{ kg de hipoclorito necesarios} \approx 1.73 \text{ litros}$$

El ácido cítrico se suministra en formato sólido, para hacer la disolución de limpieza, habrá que añadir al depósito de reactivo de forma manual la cantidad necesaria.

$$150 \text{ litros} \cdot 3000 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 0.45 \text{ kg de ácido cítrico} \approx 0.45 \text{ litros}$$

El caudal de retrolavado de las membranas, al cual se van a incorporar los reactivos es de $216 \frac{\text{litros}}{\text{h}}$

Por lo tanto el tiempo que tarda en llenarse el tanque con este caudal será de 0.7 horas.

Por lo tanto se incorporarán los reactivos con unos dosificadores de 2.5 /0.65 litros hora de caudal máximo respectivamente.

DISEÑO DEL PROCESO BIOLÓGICO

Parámetros biocinéticos k y k_d para las dos temperaturas de funcionamiento mediante la ecuación de Arrhenius.

$$k_{tw} = k_{20} \cdot \theta^{(tw-20)}$$

$$kd_{tw} = kd_{20} \cdot \theta^{(tw-20)}$$

Donde:

$$\theta(k) = 1$$

$$k_{20} = 0.00123 \frac{l}{mg \cdot h}$$

$$\theta (kd) = 1.03$$

$$kd_{20} = 0.0025 \cdot \frac{1}{h}$$

Por lo tanto tenemos que para la temperatura máxima (T=26° C):

$$k_{26} = 0.00123 \frac{l}{mg \cdot h} \cdot 1.01^{(26-20)} = 0.00131 \frac{l}{mg \cdot h}$$

$$kd_{26} = 0.0025 \cdot \frac{1}{h} \cdot 1.05^{(26-20)} = 0.00299 \text{ horas}^{-1}$$

Del mismo modo

$$k_8 = 0.00109 \frac{l}{mg \cdot h}$$

$$kd_8 = 0.00175 \text{ horas}^{-1}$$

Con estos parámetros se procede a calcular el tiempo de retención hidráulico (TRH).

$$TRH = \frac{DBO_0 - DBO_f}{SSLM \cdot k_{tw} \cdot DBO_f}$$

Por lo tanto:

$$TRH_{26} = \frac{(200 - 5) \frac{mg}{l}}{5000 \frac{mg}{l} \cdot 0.031 \frac{l}{mg \cdot día} \cdot 5 \frac{mg}{l}} = 0.249 \text{ días}$$

$$TRH_8 = 0.298 \text{ días}$$

Con los tiempos de retención hidráulicos y el caudal afluente, ya se puede determinar de forma preliminar el volumen necesario de reactor biológico.

$$Q_0 = 3.6 \frac{m^3}{día}$$

$$TRH_{26} = 0.249 \text{ días}$$

$$TRH_8 = 0.298 \text{ días}$$

$$Vol\ necesario\ (T = 26^{\circ}C) = Q_0 \cdot TRH_{26} = 3.6 \frac{m^3}{día} \cdot 0.249\ días = 0.9\ m^3$$

$$Vol\ necesario\ (T = 8^{\circ}C) = 3.6 \frac{m^3}{día} \cdot 0.298\ días = 1.07\ m^3$$

Como se puede observar el volumen de reactor biológico necesario es mayor para la temperatura mínima prevista que es la de invierno. El volumen del reactor, como es lógico no varía con la estacionalidad ya que este está conectado hidráulicamente a las membranas y estas deben estar siempre sumergidas. El dimensionamiento se hará a partir de ahora con el volumen necesario para la temperatura mínima, que corresponderá a las concentraciones de SSLM mayor. El ajuste a las condiciones de temperatura, se hará aumentando la purga y disminuyendo por tanto la concentración de SSLM. El valor de esta concentración, se determinará en la operación, aun así al final de este capítulo se dará un valor orientativo.

De cara a calcular parámetros como edad del fango, carga volumétrica, etc. se va a introducir en el cálculo el volumen del tanque de membranas en el que se produce oxidación biológica.

La manera más conveniente, según el autor de este estudio es determinar una concentración de SSLM que tenga en cuenta la oxidación biológica en el tanque de membranas. La concentración de biomasa en el reactor biológico es de 5000 mg/l, sin embargo en el tanque de membranas es de 7500 mg/l, por lo que la oxidación que se produce en 1.5 m³ de reactor biológico, equivale a la correspondiente en 1m³ del tanque de membranas.

Como se ha expuesto antes, el volumen del tanque de membranas donde se está oxidando materia orgánica es de 0.1m³, y ha quedado fijado por el dimensionamiento anterior, por lo que si el volumen necesario para la oxidación de materia orgánica es de 1.07 m³, el volumen del reactor biológico, a priori será de 0.97 m³.

La concentración de biomasa del volumen total que está oxidando materia orgánica se puede hallar mediante un balance de masas:

$$Vol\ TM \cdot Conc\ TM + Vol\ RB \cdot Conc\ RB = Vol\ total \cdot SSLM_{total}$$

$$0.1m^3 \cdot 7500 \frac{mg}{l} + 0.97m^3 \cdot 5000 \frac{mg}{l} = 1.07\ m^3 \cdot SSLM_{total}$$

Por lo tanto:

$$SSLM_{total} = \frac{5230\ mg}{l}$$

Ahora se procederá a recalculer los parámetros que se ven afectados por esta modificación, ya que al aumentar la concentración de SSLM, disminuirá el volumen necesario para la oxidación biológica.

$$TRH_8 = 0.284\ días$$

$$Vol\ necesario\ OB\ (T = 8^{\circ}C) = 1.02m^3$$

Aplicando el balance de masas anterior, se obtiene el volumen necesario estricto de reactor biológico.

$$Vol\ RB = Vol\ necesario\ OB - Vol\ Tanque\ memb.\ OB = 1.02 - 0.1 = 0.92\ m^3$$

A continuación se procede a calcular la producción de biomasa.

$$Y = 0.65 \frac{KgMLVSS}{KgDBO}$$

$$Q_f = 3600 \frac{l}{día}$$

$$Vol\ OB = 1020\ litros$$

$$DBO_0 = 0.0002 \frac{kg}{l}$$

$$SSLM = 0.005230 \frac{kg}{l}$$

$$DBO_f = 0.000005 \frac{kg}{l}$$

$$kd_8 = 0.042\ días^{-1}$$

$$\Delta X_8 = Y \cdot (DBO_0 - DBO_f) \cdot Q_f - kd_8 \cdot SSLM \cdot V\ reactor = 0.23 \frac{Kg}{día}$$

Con la producción de biomasa se van a calcular los caudales de de recirculación y purga

$$Q_0 = 3.6 \frac{m^3}{día}$$

$$Recirculación = 200\ \%$$

$$SSLM = 5.230 \frac{kg}{m^3}$$

$$SSLM_{recirc} = 7.5 \frac{kg}{m^3}$$

$$X(SSV)_f = 0.005 \frac{kg}{m^3} \text{ (se considera que la DBO final está en forma de SSV)}$$

$$X(SSV)_0 = 0 \frac{kg}{m^3}$$

Capítulo 5 Exposición y dimensionamiento de una segunda alternativa de reutilización
 DIMENSIONAMIENTO SISTEMA DE REUTILIZACIÓN ALTERNATIVA 2

$$\Delta X_v = 0.23 \frac{kg}{día}$$

Por lo tanto el caudal de recirculación será:

$$Q_r = Q_0 \cdot \text{Recirculación} = 3.6 \frac{m^3}{día} \cdot 2 = 7.2 \frac{m^3}{día}$$

Y el caudal de purga:

$$Q_w = \frac{\Delta X_v + Q_0 \cdot X(SSV)_0 - Q_0 \cdot X(SSV)_f}{SSLM_{TM} - X(SSV)_f}$$

Por lo tanto:

$$Q_w = 0.028 \frac{m^3}{día}$$

Y el caudal efluente será de:

$$Q_f = 3.57 \frac{m^3}{día}$$

Edad del fango:

$$Vol_{OB} = 1.02 m^3$$

$$SSLM = 5230 \frac{mg}{l}$$

$$Q_w = 0.028 \frac{m^3}{día}$$

$$SSLM_{TM} = 7500 \frac{kg}{m^3}$$

$$Q_f = 3.57 \frac{m^3}{día}$$

$$X(SSV)_f = 5 \frac{mg}{l}$$

$$\theta_{fango} = \frac{SSLM \cdot Vol_{OB}}{Q_w \cdot SSLM_{TM} + Q_f \cdot X(SSV)_f}$$

$$\theta = 23 \text{ días}$$

Carga másica:

$$Cm = \frac{Q \cdot DBO_0}{Vol \cdot SSLM}$$

$$DBO_0 = 0.0002 \frac{kg}{l}$$

$$SSLM = 0.005230 kg/l$$

$$V_{OB} = 1020 \text{ litros}$$

$$Cm = \frac{3600 \cdot 0.0002}{1020 \cdot 0.005230} = 0.13 \frac{kgDBO}{kgSS \cdot día}$$

Carga volumétrica:

$$Cv = \frac{Q \cdot DBO_0}{Vol}$$

$$DBO_0 = 2 \frac{kg}{m^3}$$

$$V_{reactor} = 1020 \text{ litros}$$

$$Cv = \frac{3.6 \cdot 0.2}{1.02} = 0.7 \frac{kgDBO}{día \cdot m^3}$$

Necesidades de oxígeno:

$$NO_2 = a \cdot Q_0 \cdot (DBO_0 - DBO_f) + k_d \cdot V \cdot SSLM$$

$$a = 0.62 (\theta > 12 \text{ días})$$

$$k_d = 0.042 \text{ días}^{-1}$$

$$V_{reactor} = 1020 \text{ litros}$$

$$SSLM = 0.005230 \text{ kg/l}$$

$$DBO_0 = 0.0002 \frac{kg}{l}$$

$$DBO_f = 0.000005 \frac{kg}{l}$$

$$NO_2 \text{ invierno} = 0.62 \cdot 3600 \cdot (0.0002 - 0.000005) + 0.042 \cdot 1020 \cdot 0.005230 = 0.66 \frac{kgO_2}{día}$$

Por lo tanto el caudal de aire a suministrar será:

$$Q_{aire} = \frac{NO_2}{rend \text{ transferencia } O_2 \cdot \frac{kgO_2}{m^3 \text{ de aire}}}$$

Rendimiento difusor de burbuja fina = 12%

$$0.286 \frac{kgO_2}{m^3 \text{ de aire}}$$

$$Q_{aire} = \frac{0.66}{0.12 \cdot 0.286} = 19.2 \frac{m^3 \text{ aire}}{\text{día}}$$

Como se ha comentado al principio de este capítulo, se prevee que para las condiciones de operación de verano, cuando la temperatura del licor mezcla es mayor, se tendrá que realizar una mayor purga para conseguir concentraciones de SSLM más bajas.

La concentración mínima, que como se ha explicado corresponderá a la temperatura máxima del licor mezcla sera la que se expone a continuación:

Datos de partida:

$$Vol \text{ OB constante} = 1.02m^3$$

Como se ha visto antes, $Vol \text{ OB} = TRH \cdot Q$ por lo tanto:

$$TRH = \frac{Vol \text{ OB}}{Q} = \frac{1.02}{3.6} = 0.283 \text{ días}$$

$$TRH = \frac{DBO_0 - DBO_f}{SSLM \cdot k_{tw} \cdot DBO_f}; k_{26} = 0.0131 \frac{l}{mg \cdot h}$$

$$SSLM_{26} = \frac{DBO_0 - DBO_f}{TRH \cdot k_{26} \cdot DBO_f} = \frac{(200 - 5) \frac{mg}{l}}{0.283 \text{ días} \cdot 0.031 \frac{l}{mg \cdot día} \cdot 5 \frac{mg}{l}} = 4445 \text{ mg/L}$$

Para mantener las condiciones de operación, la concentración de SSLM en verano podría bajar hasta 4445 mg/l.

$$0.1m^3 \cdot X(TM) \frac{mg}{l} + 0.92m^3 \cdot X(RB) \frac{mg}{l} = 1.02 m^3 \cdot 4445 \frac{mg}{l}$$

$$X(TM) = 1.5 \cdot X(RB) \text{ (recirculación = 200\%)}$$

$$X(RB) = 4237 \frac{mg}{l}$$

$$X(TM) = 6355 \frac{mg}{l}$$

DIMENSIONAMIENTO DE LOS DEPÓSITOS Y EQUIPOS AUXILIARES

Este sistema de reutilización, cuenta con varios depósitos que son una parte fundamental del proceso.

DEPÓSITO 1.- ALMACENAMIENTO DE AGUA TRATADA PARA LA RECARGA DEL INODORO

Este depósito almacenará el agua que haya sido tratada, contará con una bomba de alimentación y un dosificador de cloro. La descarga de agua del mismo se realizará por gravedad, para lo que se disponen unas tuberías a cota fija situadas en el fondo del depósito.

El criterio de satisfacer las demanda del inodoro se cumplirá con la introducción de un volumen inicial [2 · Demanda de diseño diaria], este servirá para en caso de avería del sistema cubrir la demanda de dos días.

El volumen máximo de este depósito estará fijado por la recepción de una aportación [1.5 · Aportación de diseño diaria].

Por lo que el volumen total del depósito necesario sería.

$$\text{Volumen depósito superior} = V_0 + \text{aportación máxima diseño}$$

$$V_0 = [2 \cdot \text{Demanda de diseño diaria}] = 2 \cdot 1200 = 2400 \text{ litros}$$

$$\text{Aportación máxima diseño} = [2 \cdot \text{Aportación de diseño diaria}] = 2 \cdot 3600 = 5400 \text{ litros}$$

$$\text{Volumen depósito superior} = 2400 + 5400 = 7800 \text{ litros}$$

La bomba llenará el depósito de almacenamiento superior durante 12 horas al día, impulsando un caudal fijo de 300 litros/hora. La situación en la que se prevea un incremento de la demanda se solventará aumentando las horas de funcionamiento de la bomba.

Con la finalidad de eliminar la posibilidad de crecimiento de microorganismos en el depósito, se va a inyectar hipoclorito, este es un buen desinfectante y barato, además su eficacia está más que probada.

La concentración de hipoclorito que se ha escogido es de 2 mg/l. La incorporación de este al agua se realizará en la tubería de entrada al depósito, en las horas en las que se esté llenando el depósito.

$$\text{Caudal hipoclorito aport. normal} = Q_{\text{entrada}} \cdot \text{Concentración} = 300 \frac{l}{h} \cdot 2 \frac{mg}{l} = 600 \frac{mg}{\text{día}}$$

Se dispondrá de un volumen de hipoclorito necesario para abastecer un mes. Suponiendo una riqueza del producto de 30 mg/l.

$$\text{Volumen hipoclorito mensual} = \left(\frac{600 \frac{\text{mg}}{\text{día}}}{30 \frac{\text{mg}}{\text{l}}} \right) \cdot 30 \text{ días} = 600 \text{ litros}$$

Se controlará el nivel del depósito periódicamente.

DEPÓSITO 2.-ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA MBR

A continuación se va a dimensionar el tanque de homogenización y alimentación del sistema MBR, que funcionará básicamente como un depósito regulador.

Los criterios que se van a seguir para el diseño del tanque de homogeneización son:

Alimentación continua del sistema en la situación extrema de un día sin aportaciones. Lo que representa un volumen de 7200 litros.

Almacenamiento de dos días punta de aportaciones seguidos. Suponiendo un coeficiente punta de 2, dos días seguidos de aportaciones punta provocarán un volumen máximo de 10800 litros.

Por lo tanto la situación más restrictiva es el almacenamiento de dos días punta de aportaciones seguidos, y es la que se utilizará para el dimensionamiento.

DEPÓSITO 3.-TANQUE DE ALIMENTACIÓN AL SISTEMA DE RIEGO

Estará conectado hidráulicamente al depósito de permeado y desde la solera del mismo se impulsará el caudal al depósito superior.

Se va a imponer el criterio de almacenamiento de un día de punta. Volumen: 7200 litros. Este volumen garantiza además que se pueda utilizar el permeado tras una limpieza química, ya que dicho volumen provoca una gran dilución de los reactivos.

RESUMEN RESULTADOS PROCEDENTES DEL DIMENSIONAMIENTO

A continuación se van a recopilar los datos procedentes del diseño que van a servir para el dimensionamiento de los equipos.

MEMBRANAS

Superficie de membranas: 7.88 m^2

Dimensiones del tanque de membranas : $2500 \times 250 \times 300 \text{ mm}$

Volumen de operación tanque de membranas: 0.15 m^3

Cota del agua en el tanque de membranas: 2m (desde la solera del mismo).

Caudal de aireación de las membranas: $2.6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

Se colocará centrado, un difusor de 20 cm de diametro de burbuja gruesa en el fondo del tanque de membranas conectado a una soplante de $3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} + 1\text{R}$

Caudal de filtración: $180 \frac{\text{l}}{\text{hora}}$

Caudal de retrolavado: $216 \frac{\text{l}}{\text{hora}}$

Se colocará una bomba reversible de $250 \frac{\text{l}}{\text{hora}} + 1\text{R}$

Depósito de permeado:

Deberá tener el mismo o mayor volumen que el tanque de membranas, para poder llenar este por completo en los lavados de mantenimiento.

Volumen: 0.15 m^3

Dimensiones: $2500 \times 250 \times 300 \text{ mm}$

Estará conectado hidráulicamente mediante un rebosadero con el tanque de alimentación para riego, este rebosadero se dispondrá a la cota 2m desde la solera del depósito.

Depósito y suministro de hipoclorito sódico:

La cantidad de hipoclorito sódico necesaria es de 1.44 litros.

Esta cantidad es muy pequeña, por lo que se plantea para su dosificación depósitos de 5 litros donde se añadirá la cantidad de hipoclorito correspondiente según las condiciones de operación. Es decir, se llevarán a cabo análisis periodicos donde se determinará la naturaleza del ensuciamiento y se añadirá hipoclorito según sea conveniente

La incorporación de hipoclorito al caudal de retrolavado se hará mediante un gotero regulable de 5 litros/hora de caudal máximo.

Depósito y suministro de ácido cítrico:

La cantidad de ácido cítrico necesaria es de 0.37 litros, al igual que ocurre con el hipoclorito este volumen es infimo por lo que se dispondrá un depósito idéntico al de hipoclorito donde se añadirá la cantidad de ácido cítrico requerida por las condiciones de funcionamiento.

La incorporación de hipoclorito al caudal de retrolavado se hará mediante un gotero regulable de 5 litros/hora de caudal máximo.

REACTOR BIOLÓGICO

Volumen mínimo reactor biológico: 0.92 m^3

Se dispondrá de un reactor biológico con un volumen total de 1.25 m^3 y unas dimensiones de $2500 \times 1000 \times 500 \text{ mm}$.

La cota del agua en operación estará a 2 metros desde la solera.

Además, el resguardo que se ha dispuesto de 0.33 m^3 , permite almacenar la totalidad del volumen del tanque de membranas durante las limpiezas de mantenimiento, de esta manera se evita la pérdida de biomasa.

Caudal de recirculación: $7.2 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$

Se dispondrá de una bomba de recirculación de $8 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} + 1\text{R}$

La purga se hará mediante una válvula accionada mediante automatismo y se verterá el caudal generado con dicha operación a una arqueta municipal.

Caudal de aireación del reactor biológico:

El caudal de aire necesario es de: $19.2 \frac{\text{m}^3 \text{aire}}{\text{día}}$

Se va a comprobar si cumple las condiciones de mezcla completa:

$$\text{Superficie solera reactor biológico: } 0.5 \cdot 1 \text{ m}^2 = 0.5 \text{ m}^2$$

Condición mezcla completa: $2 - 4 \frac{m^3 \text{ de aire}}{\text{hora} \cdot m^2}$

$$\frac{19.2 \frac{m^3 \text{ aire}}{\text{día}}}{24 \text{ horas} \cdot 0.5 m^2} = 1.6 \frac{m^3 \text{ de aire}}{\text{hora} \cdot m^2}$$

Las condiciones para que se produzca mezcla completa están muy ajustadas, por lo que para garantizar estas, se va a imponer una condición de mezcla completa de $3 \frac{m^3}{\text{hora} \cdot m^2}$

$$Q \text{ aire} = 3 \cdot 24 \cdot 0.5 = 36 \frac{m^3 \text{ de aire}}{\text{día}} = 1.5 \frac{m^3}{\text{hora}}$$

Para ello se van a disponer dos difusores en la solera del reactor biológico de 30 cm de diametro conectado a una soplante de $2 \frac{m^3}{\text{hora}}$

TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN

Volumen de operación tanque: $10.8 m^3$

Dimensiones tanque: 2000 x 2000 x 3000 mm

Estará equipado con una bomba para la alimentación del reactor biológico de 200 litros/hora + 1R.

Además de cara a la reducción de puntas de contaminación dispondrá una agitación mecánica de $20 \frac{W}{m^3}$

Lo que representa un motor de 220 W

Tambien dispondrá de un rebosadero en la cota 1.8 m desde la solera del mismo, este rebosadero derivará los caudales punta a la arqueta de desagüe municipal.

TANQUE PARA ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

Volumen de operación tanque: $7.2 m^3$

Dimensiones tanque: 2500 x 2000 x 1500 mm

Tambien dispondrá de un rebosadero en la cota 2.4 m desde la solera del mismo, este rebosadero derivará los caudales punta a la arqueta de desagüe municipal.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA TRATADA PARA RECARGA DE INODOROS

Volumen de operación: $7,8 m^3$

Dimensiones: 4000 x 2000 x 1000 mm

Volumen del tanque de hipoclorito anexo: 0.6 m^3

Dimensiones: $1000 \times 1000 \times 1000 \text{ mm}$

Dosificación hipoclorito: 20 litros/día.

TAMIZ ROTATIVO DE REJILLA PERFORADA DE 1MM DE LUZ

Se situará su solera a la cota 2 del suelo de tal manera que la cota de agua sea siempre superior a la del agua en el tanque de homogeneización al que estará conectado hidráulicamente, dispondrá de un contenedor para almacenar los sólidos.

MEDICIONES

OBJETIVO

Detallar todos los elementos del sistema para más adelante calcular un presupuesto estimativo.

CALCULO DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS

CONSIDERACIONES PREVIAS

Se va a estimar una velocidad del agua en la tubería de 0.5m/s y se calculará el diámetro tomando como dato de partida los caudales obtenidos en el dimensionamiento.

La mayor parte de las tuberías que se van a calcular, son tuberías de presión es decir van a sección llena. Para las tuberías que funcionan en lámina libre como es el caso de los desagües, este cálculo nos dará un resultado mínimo del diámetro de las mismas que más adelante se mayorará correspondientemente.

$$\text{Caudal} = \text{Velocidad} \cdot \text{Area de tubería}$$

Las pérdidas de carga provocadas por elementos tales como codos o bifurcaciones se tendrán en cuenta como longitud de tubería equivalente.

$$\text{Pérdida de carga (codo)} = \text{Pérdida de carga (longitud de tubería} = 5 \text{ diámetros)}$$

Las pérdidas de carga longitudinales se calcularán mediante la fórmula de Hazen-Williams.

$$\Delta h = 10.67 \cdot \left(\frac{Q \left(\frac{m^3}{seg} \right)}{C} \right)^{1.852} \cdot \frac{L(m)}{D(m)^{4.87}}$$

Utilizando un valor del coeficiente de fricción "C" de 150 que corresponde a tuberías de PVC.

RESULTADOS OBTENIDOS

TUBERÍAS POR CUARTO DE BAÑO:

Abreviatura	Caudal (l/h)	Diámetro (mm)	Diámetro escogido (mm)	Longitud (m)	Codos?	Pérdida de carga (m.c.a.)
T1	2000	37.6	40	30	2	0.180

T2	100	8.4	10	1	2	0.020
T3	300	14.6	15	3	2	0.064
T4	300	14.6	15	1	2	0.022

TUBERÍAS POR LETRA:

Abreviatura	Caudal (l/h)	Diámetro (mm)	Diámetro escogido (mm)	Longitud (m)	Codos?	Perdida de carga (m.c.a.)
T5	500	18.8	25	24	1	0.109

TUBERÍAS POR CONJUNTO DE BLOQUES DE VIVIENDAS:

Abreviatura	Caudal (l/h)	Diámetro (mm)	Diámetro escogido (mm)	Longitud (m)	Codos?	Perdida de carga (m.c.a.)
T6	200	11.9	15	3	1	0.030
T7	200	11.9	15	4	3	0.040
T8	350	15.7	20	1.5	2	0.011
T9	150	10.3	15	1	0	0.006
T10	250	13.3	15	2	3	0.031
T11	100	8.4	10	2	1	0.040
T12	100	8.4	10	2	1	0.040
T13	250	13.3	15	3	1	0.046
T14	200	11.9	15	1	1	0.010
T15	500	18.8	20	30	6	0.405
T16	500	18.8	20	2	1	0.027
T17	5000	59.5	60	3	0	0.014
T18	5000	59.5	60	3	0	0.014
T19	5000	59.5	60	-	-	
T20	2500	42.1	45	10	3	0.052
T21-22	5000	59.5	60	1	3	0.005
T23	350	15.7	20	24	3	0.167
T24	350	15.7	20	24	3	0.167

ACCESORIOS TUBERÍAS:

Válvulas de distintos diámetros	8
Codos de distintos diámetros	150

CÁLCULO DE BOMBAS

CONSIDERACIONES PREVIAS

Para el cálculo de las bombas que componen el sistema, se va a utilizar el caudal escogido para las tuberías a las que están unidas.

El rendimiento de las bombas será de 0.8, para el caso de aguas limpias y 0.6 para las aguas grises.

BOMBAS POR BLOQUE DE VIVIENDAS:

Abreviatura	Descripción	Hm (mca)	Caudal (l/hora)	Potencia (KW)
B1	Bomba de alimentación del reactor biológico	2.5	200	0.017
B2	Bomba de recirculación de fangos al biológico	2.5	350	0.030
B3	Bomba de dosificación de hipoclorito para la limpieza química	2	5	-
B4	Bomba de dosificación de ácido cítrico para la limpieza química	2	5	-
B5	Bomba reversible de extracción de permeado y contralavado de membranas	2.5	250	0.021
B6	Bomba de limpieza del tamiz rotativo	3.5	2500	0.296
B9	Bomba de impulsión de agua tratada al depósito superior	30	350	0.355
B10	Bomba de dosificación de hipoclorito depósito superior	1.2	100	0.004

MEMBRANAS

Membranas de ultrafiltración	Superficie = 7.88m ²
------------------------------	---------------------------------

DEPÓSITOS

DEPÓSITOS POR BLOQUE DE VIVIENDAS

Depósito	Dimensiones
Tanque de alimentación y homogeneización.	2000 x 2000 x 3000 mm
Tanque para alimentación del sistema de riego.	2500 x 2000 x 1500 mm
Reactor biológico.	2500x1000x500 mm.
Depósitos de hipoclorito y ácido cítrico.	Formato comercial.
Depósito de permeado	2500 x 250 x 300 mm
Tanque de membranas	2500 x 250 x 300 mm
Depósito de alimentación inodoros	4000 x 2000 x 1000 mm

Depósito hipoclorito superior	1000 x 1000 x 1000 mm
-------------------------------	-----------------------

BOMBAS SOPLANTES Y AGITADORES

Elemento	Características
Reactor biológico	$2 \frac{m^3}{hora}$
Tanque de membranas	$3 \frac{m^3}{hora}$
Difusor de aire reactor biológico	Burbuja fina, $\varnothing = 300 \text{ mm}$
Difusor de aire del tanque de membranas	Burbuja gruesa, $\varnothing = 200 \text{ mm}$

INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y AUTOMATIZACIÓN

Elemento	Unidades
Cuadro eléctrico de mando, protección y automatización	1
Boyas de control	1
Contenedor para residuos tamiz	1
Instalación eléctrica	1

PRESUPUESTO ESTIMATIVO ALTERNATIVA 2

A continuación se expone una estimación del coste total del sistema propuesto, este presupuesto se ha realizado consultando a diferentes expertos en la construcción y explotación de plantas pilotos, y se apoya en diferentes catálogos on-line de las diversas casas comerciales.

TUBERÍAS Y ACCESORIOS

Para el cálculo de las tuberías se va a tomar el precio por metro lineal que aparece en diversos catálogos para el diámetro adoptado en la medición. De cara a tener en cuenta la valvulería, codos y mano de obra dentro de este precio por metro lineal, se va a multiplicar el precio por un factor mayorador de 2.

Abreviatura	Descripción	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Coste unitario	Coste total
T1	Alimentación inodoros en serie	40	30	3.30 €	594.00 €
T2	Alimentación inodoro	10	1	0.78 €	32.76 €
T3	Tubería de desagüe lavabo	15	3	0.83 €	104.58 €
T4	Tubería de desagüe ducha	15	1	0.83 €	34.86 €
T5	Tubería colectiva de recogida de agua para tratamiento	25	24	1.28 €	184.32 €
T6	Tubería de alimentación reactor biológico	15	3	0.83 €	2.49 €
T7	Tubería de conexión reactor biológico t. membranas	15	4	0.83 €	3.32 €
T8	Tubería de recirculación de fangos	20	1.5	1.08 €	1.63 €
T9	tubería de purga de fangos	15	1	0.83 €	0.83 €
T10	Tubería de extracción de permeado	15	2	0.83 €	1.66 €
T11	Tubería dosificación de hipoclorito	10	2	0.78 €	1.56 €
T12	Tubería dosificación ácido cítrico	10	2	0.78 €	1.56 €
T13	Tubería para el	15	3	0.83 €	2.49 €

	contralavado de las membranas				
T14	Tubería de entrada al depósito de permeado	15	1	0.83 €	0.83 €
T15	Tubería de agua de entrada al tamiz	20	60	1.08 €	64.80 €
T16	Tubería de alimentación del tanque de homogeneización	20	2	1.08 €	2.16 €
T17	Rebosadero del tanque de homogeneización	60	3	7.77 €	23.31 €
T18	Rebosadero de la alimentación para riego	60	3	7.77 €	23.31 €
T19	Tubería de salida para riego	60	-	7.77 €	
T20	Tubería para el lavado del tamiz rotativo	40	10	3.30 €	33.00 €
T21-22	Tubería de entrada de aire a los difusores de las membranas	60	1	7.77 €	7.77 €
T23	Tubería para alimentación depósito superior	20	24	1.08 €	25.92 €
T24	Tubería dosificación de hipoclorito al depósito superior	10	2	0.78 €	1.56 €

Precio total tuberías y accesorios

1,148.72 €

BOMBAS Y AGITADORES

Abreviatura	Descripción	Hm (mca)	Caudal (l/hora)	Potencia (KW)	Coste unitario	Coste total
B1	Bomba de alimentación del reactor biológico +1R	2.5	200	0.017	1,500.00 €	3,000.00 €
B2	Bomba de recirculación de fangos al biológico +1R	2.5	350	0.030	1,800.00 €	3,600.00 €
B3	Bomba de dosificación	3	5	-	1,000.00 €	1,000.00 €

	de hipoclorito para la limpieza química					
B4	Bomba de dosificación de ácido cítrico para la limpieza química	3	5	-	1,000.00 €	1,000.00 €
B5	Bomba reversible de extracción de permeado y contralavado de membranas +1R	2.5	250	0.021	6,000.00 €	12,000.00 €
B6	Bomba de limpieza del tamiz rotativo	3.5	2500	0.296	1,500.00 €	1,500.00 €
B9	Bomba de impulsión de agua tratada al depósito superior +1R	30	350	0.355	8,000.00 €	16,000.00 €
B10	Bomba de dosificación de hipoclorito depósito superior +1R	1.2	100	0.004	2,300.00 €	4,600.00 €
A1	Agitador tanque de homogeneización	-	-	0.220	4500.00	4500.00

Precio total bombas y agitadores	42,500.00 €
---	--------------------

MEMBRANAS

Membranas de ultrafiltración	Superficie	Coste unitario	Coste total
	7.88 m ²	1,000.00 €	8,000.00 €

DEPÓSITOS

Todos los depósitos estarán contruidos en fibra de vidrio dada su gran versatilidad y buena experiencia en otras plantas piloto.

Depósito	Dimensiones	Coste unitario	Coste total
Tanque de alimentación y homogeneización.	2000 x 2000 x 3000 mm	3,000.00 €	3,000.00 €
Tanque para alimentación del sistema de riego.	2500 x 2000 x 1500 mm	1,875.00 €	1,875.00 €
Reactor biológico.	2500x1000x500 mm.	312.50 €	312.50 €
Depósitos de hipoclorito y ácido cítrico.	Formato comercial.	40.00 €	80.00 €

Depósito de permeado	2500 x 250 x 300 mm	127.60 €	127.60 €
Tanque de membranas	2500 x 250 x 300 mm	127.60 €	127.60 €
Depósito de alimentación inodoros	4000 x 2000 x 1000 mm	2,000.00 €	2,000.00 €
Depósito hipoclorito superior	1000 x 1000 x 1000 mm	250.00 €	250.00 €

Precio total depósitos	15,505.40 €
------------------------	-------------

BOMBAS SOPLANTES Y DIFUSORES

Elemento	Características	Coste unitario	Coste total
Reactor biológico +1 R	$2 \frac{m^3}{hora}$	700.00 €	1,400.00 €
Tanque de membranas +1R	$3 \frac{m^3}{hora}$	1,200.00 €	2,400.00 €
Difusor de aire reactor biológico	Burbuja fina, $\varnothing = 300 mm$	70.00 €	70.00 €
Difusor de aire del tanque de membranas	Burbuja gruesa, $\varnothing = 200 mm$	50.00 €	50.00 €

Precio total bombas soplantes y difusores	3,920.00 €
---	------------

INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y AUTOMATIZACIÓN

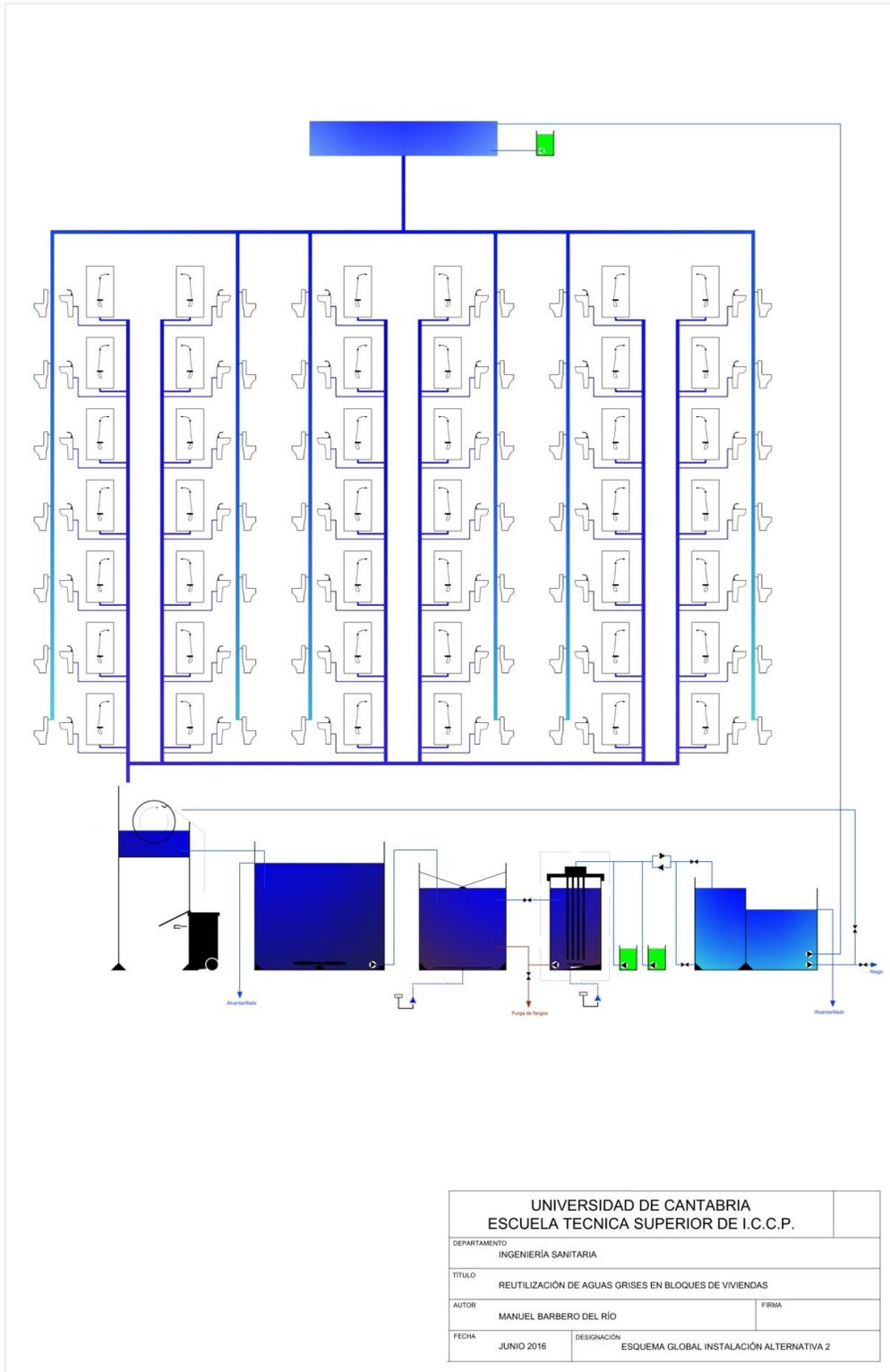
Elemento	Unidades	Coste unitario	Coste total
Cuadro eléctrico de mando, protección y automatización	1	4,000.00 €	4,000.00 €
Boyas de control	1	40.00 €	40.00 €
Contenedor para residuos tamiz	1	50.00 €	50.00 €
Instalación eléctrica	1	2,000.00 €	2,000.00 €

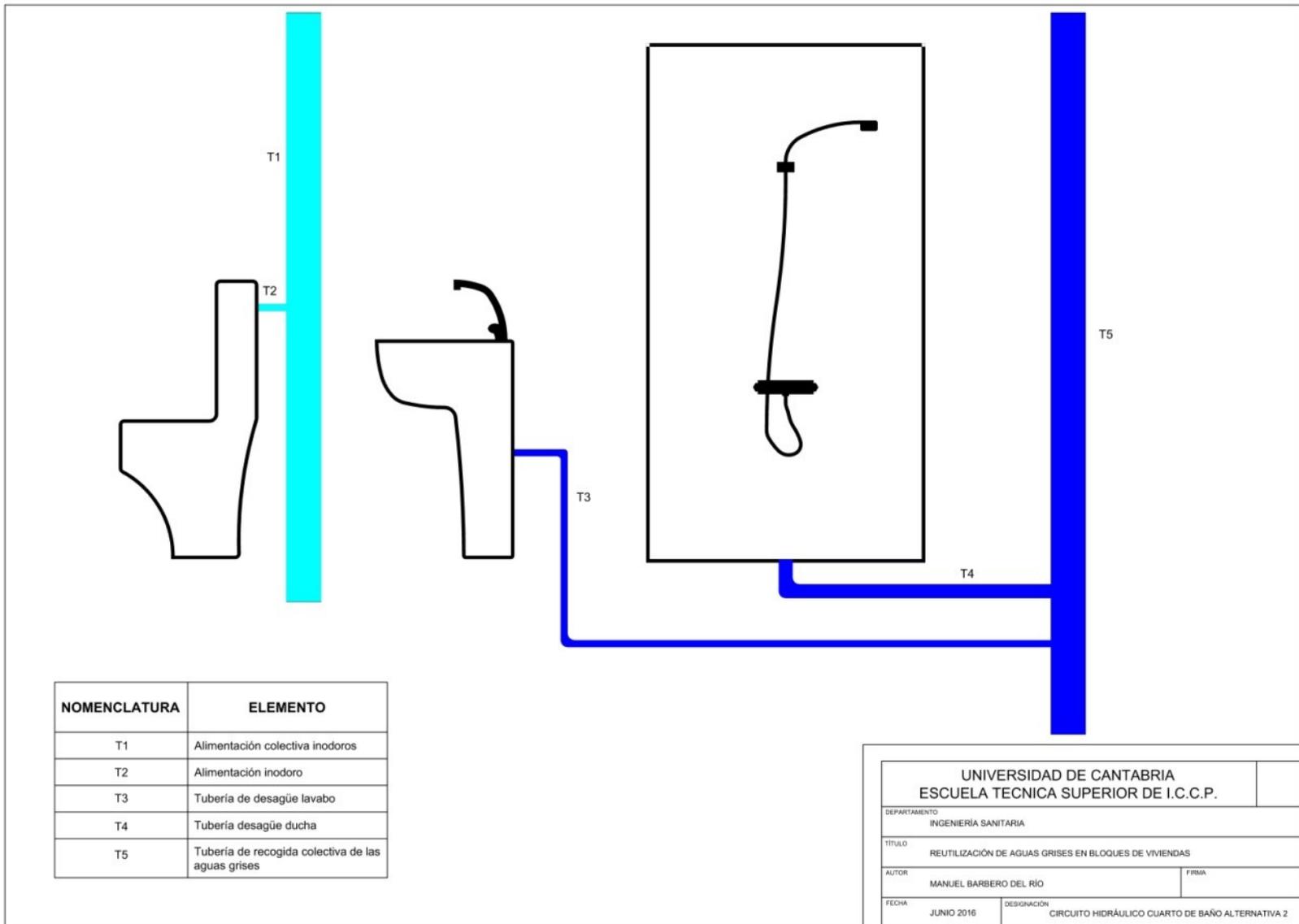
Precio total instalación eléctrica y automatización	6,090.00 €
---	------------

RESUMEN PRESUPUESTO ALTERNATIVA 2

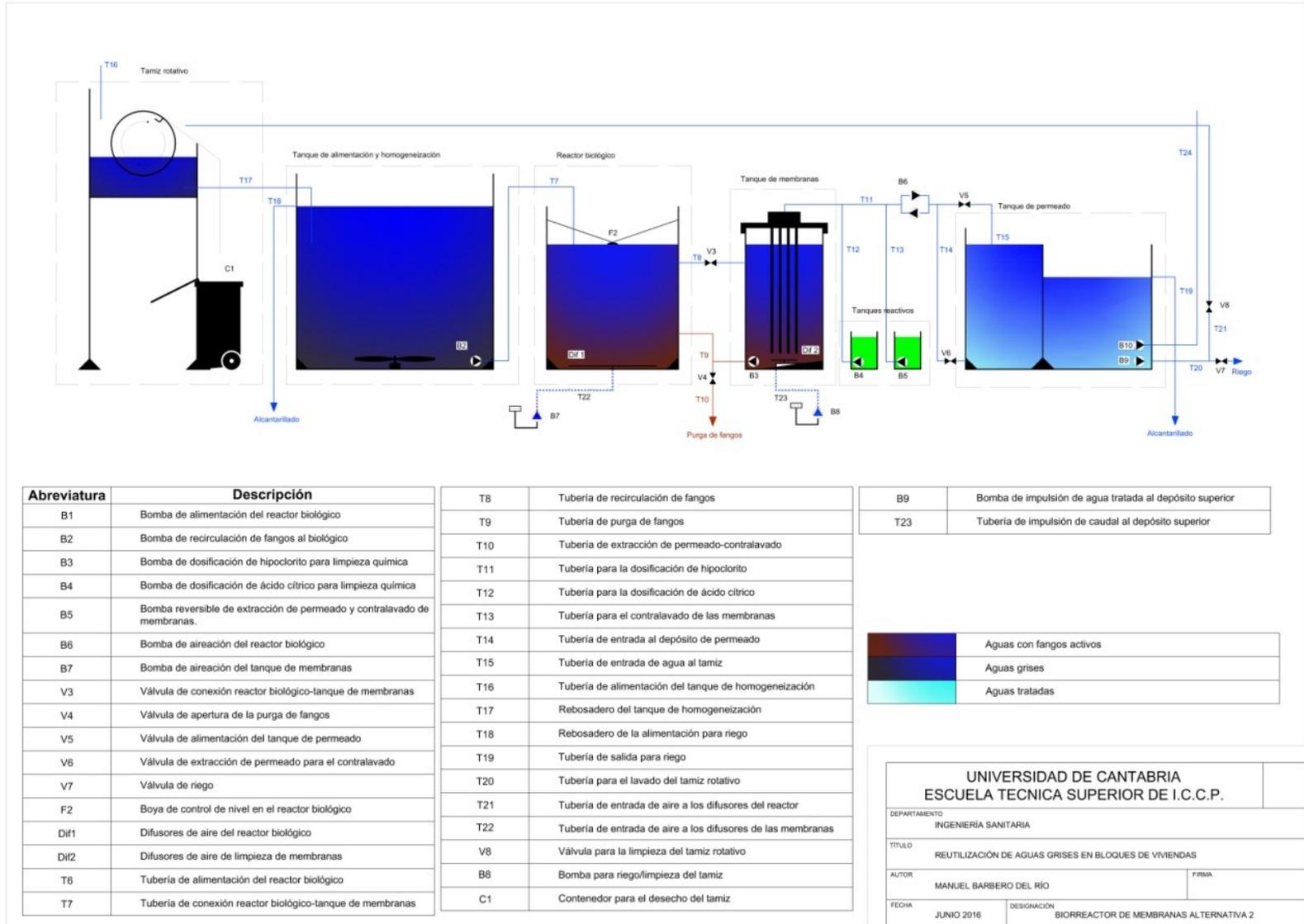
Precio total tuberías y accesorios	1,148.72 €
Precio total bombas y agitadores	47,200.00 €
Precio total tanques	15,505.40 €
Precio membranas	8,000.00 €
Precio total bombas soplantes y difusores	3,920.00 €
Precio total instalación eléctrica y automatización	6,090.00 €
Total	74,131.42 €
IVA (21%)	15,567.60 €
Beneficio industrial (20%)	14,826.28 €
Precio final	104,525.30 €
Precio final por vivienda	2,488.70 €

PLANOS





Capítulo 5 Exposición y dimensionamiento de una segunda alternativa de reutilización
PLANOS



Bibliografía

- AQUA España. **(2011)**. *Guía técnica española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios*. Grupo de trabajo de la comisión sectorial de aguas grises.
- Christova-Boal, D.; Eden, Robert E. and McFarlane, Scott. **(1995)**. *An investigation into greywater reuse for urban residential properties*. Desalination.
- Ferrer, J. y Seco, A. **(2003)**. *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Iglesias, R.; Ortega, E.; Martínez, A.; Simón, P.; Moraga, L.; Robusté, J.; García, E. y Rodríguez-Roda, I. **(2014)**. *Guía técnica para la implantación de Biorreactores de membrana*. R 22. CEDEX. Centro de publicaciones. Ministerio de Fomento.
- INE **(2012)** *Encuesta sobre suministro y saneamiento de agua*.
- INE **(2013)**. *Encuesta hogares y población en el hogar*.
- Judd, S. **(2006)**. *The MBR book: Principles and applications of membrana bioreactors in wáter and wastewater treatment*. Edit. Elsevier.
- Metcalf and Eddy, **(1995)**. *Ingeniería de las aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización*. Edit. Mc Graw Hill, Tercera edición.
- Monod, J. **(1949)** *The Growth of bacterial cultures*. Ann Rev. Microbiol., Vol 3.
- Poyatos, J.M. **(2007)**. *Biorreactores de membrana aplicados al tratamiento de aguas residuales urbanas y su influencia en la calidad del agua tratada*. Tesis Doctoral Universidad de Granada.
- Real Decreto 1620/2007 **(2007)**. Por el que se establece el régimen jurídico de las aguas depuradas.
- Ronzano, E. y Dapena, J.L. **(2002)**. *Tratamiento biológico de las aguas residuales*. Edit. Diaz de Santos. Madrid, España.
- Tejero, I.; Suarez, J.; Jácome, A.; Temprano, J. **(2004)**. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Santander.