

DIMENSIONADO DE UN PROCESO BIOLÓGICO PARA EL TRATAMIENTO DE UN AGUA RESIDUAL URBANA MEDIANTE REACTORES DE MEMBRANA

MÁSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

CURSO 2013/2014



Tutelado por: María del Mar Peña Miranda

Realizado por: Javier Martín Sáez

Valladolid, 25 de julio de 2014

MARÍA DEL MAR PEÑA MIRANDA, profesor contratado doctor permanente, certifica:

Que **JAVIER MARTÍN SÁEZ** ha realizado bajo su dirección el Trabajo Fin de Máster “*Dimensionado de un proceso biológico para el tratamiento de un agua residual urbana mediante reactores de membrana*”, con una duración de 225 horas distribuidas en 3 meses (9 créditos).

Valladolid, 25 de julio de 2014

Fdo. María del Mar Peña Miranda

Reunido el Tribunal designado en Junta de Sección para la evaluación de Trabajos fin de máster, y después de atender a la defensa del trabajo “*Dimensionado de un proceso biológico para el tratamiento de un agua residual urbana mediante reactores de membrana*”, presentado por el alumno JAVIER MARTÍN SÁEZ, con una dedicación de 225 horas distribuidas en 3 meses y realizado bajo la dirección del profesor contratado doctor permanente MARÍA DEL MAR PEÑA MIRANDA, decidió otorgarle la calificación de _____.

Valladolid, 25 de julio de 2014.

Pérez Elvira, Sara I.

Quijano, Guillermo.

Lebrero, Raquel.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Antecedentes.....	1
1.2.	Objeto del proyecto.....	1
1.3.	Legislación vigente aplicable	2
2.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MUNICIPIO.....	4
2.1.	Situación geográfica	4
2.2.	Datos socioeconómicos	5
2.3.	Datos climatológicos.....	6
2.4.	Datos geológicos.....	8
2.5.	Datos hidrográficos.....	8
2.6.	Datos relativos a la flora y fauna	9
2.7.	Puntos de vertido	9
3.	DATOS DE PARTIDA Y BASES DE DISEÑO.....	11
4.	RESULTADOS A OBTENER: CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE	14
5.	JUSTIFICACION DE LA SOLUCION ADOPTADA.....	15
5.1.	Selección del emplazamiento	15
5.2.	Selección de la tecnología.....	17
5.2.1.	Línea de aguas	19
5.2.2.	Línea de fangos	24
6.	DIMENSIONADO	29
6.1.	Tuberías de canalización y canal de entrada.....	29
6.2.	Edar.....	31
6.2.1.	Entrada a la edar. pretratamiento	31
6.2.2.	Tratamiento primario. decantador primario	33
6.2.3.	Tratamiento secundario. reactor aerobio de membrana	35
6.2.4.	Tratamiento de fangos	39
7.	CONCLUSIÓN.....	42
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	44

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El motivo por el que se ha llevado a cabo la redacción del presente proyecto es dar respuesta a los diferentes problemas ocasionados por los vertidos de aguas residuales en las localidades de Solosancho, Baterna, Robledillo y Villaviciosa, siendo Solosancho la localidad donde se encuentra el Ayuntamiento y los otros tres pueblos anejos del mismo, en cumplimiento del Real Decreto 509/1996, de 15 de Marzo, de desarrollo del Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de Diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

El sistema de depuración de los núcleos rurales es inexistente, por lo que no cumplen con las medidas mínimas, ni con los límites de contaminación exigidos para los vertidos directos al cauce.

El clima característico en esta zona objeto de estudio, es continental, siendo los inviernos muy fríos, los veranos cálidos y secos, quedando reducidos el otoño y la primavera a cortos intervalos de tiempo.

Hidrológicamente es una zona muy rica, y por tanto, los vertidos de aguas urbanas suponen la contaminación de los cauces superficiales y subterráneos, no siendo suficientes los propios procesos de autodepuración que en ellos se desarrollan.

El tamaño de población de los núcleos rurales no es muy significativo. Pero en el periodo estival sufren un aumento que supone duplicar la población que existe en el periodo invernal, por ello es necesaria la construcción de una estación depuradora de aguas residuales.

1.2. OBJETO DEL PROYECTO

El objetivo del presente proyecto es dimensionar una estación depuradora de aguas residuales. Para ello, se evaluará la carga orgánica contaminante producida por las poblaciones objeto de saneamiento y las características físico-químicas de las aguas residuales evacuadas, de forma que junto con las características de los municipios, se detectarán aquellos factores que directa o indirectamente puedan incidir en el

funcionamiento de la futura EDAR y, poder así justificar las soluciones técnicas adoptadas en el presente proyecto.

En cuanto a la ubicación de la parcela donde se va a realizar el proyecto, se ha elegido por diversos factores determinantes como, la pendiente, fácil accesibilidad, extensión, titularidad de la parcela y, principalmente, que cumpliera con la normativa establecida.

Finalmente se procederá a dimensionar la estación depuradora de aguas residuales y se explicará detalladamente cómo es la línea de tratamiento elegida.

La estación poseerá dos líneas bien diferenciadas, la línea de agua y la línea de fangos. La línea de agua marca el camino que recorre el agua desde que entra en la planta hasta que sale totalmente tratada. La línea de fango recoge los lodos que se producen en el tratamiento, deshidratándolos para luego estabilizarlos y proceder a su eliminación, utilizándolos como abono para las explotaciones agrícolas de la zona.

A su vez, se dimensionarán algunos equipos por duplicado, de iguales o distintas dimensiones, para poder tratar el caudal de agua que llega a la estación depuradora en las distintas épocas del año y para evitar parones en caso de avería y mantenimiento de los mismos. Ésta constará de los siguientes equipos: canal de entrada, homogeneizador, desbaste, decantador primario y reactor aerobio de membranas.

La línea de fangos contará con una centrífuga, posteriormente con un filtro de banda y finalmente, los fangos irán a unas eras de secado con la finalidad de conseguir las características más adecuadas para su uso en la agricultura de la zona.

1.3. LEGISLACIÓN VIGENTE APLICABLE

- Artículo 149.1.263 de la Constitución Española.
- Directiva 91/271/CEE, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de Aguas Residuales Urbanas.
- Resolución de 28 de abril de 1995, de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Vivienda, por la que se dispone la publicación del Acuerdo del

- Consejo de Ministros de 17 de Febrero de 1995, por el que se aprueba el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales.
- Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real-Decreto Ley 11/1995, de 28 de Diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

 - Orden de 13 de Agosto de 1999 por la que se dispone la publicación de las determinaciones de contenido normativo del Plan hidrológico de Cuenca del Duero, aprobado por el Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio. (vigente hasta el 23 de junio).

 - Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio, por el que se aprueban los Planes Hidrológicos de cuenca.

 - Real decreto 606/2003 de 23 de Mayo por el que se modifica el Real Decreto 849/1986 de 11 de Abril, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico que desarrolla los títulos Preliminar I, IV, V y VIII de la ley 29/85 de 2 de Agosto de Aguas.

 - Orden MAM/1873/2004, de 2 de Junio por la que aprueban los modelos oficiales para la declaración de vertido y se desarrollan determinados aspectos relativos a la autorización de vertido y liquidación del canon de control de vertidos regulados en el Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, de reforma del Real Decreto 849/1986, de 11 de Abril, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico que desarrolla los títulos Preliminar I, IV, V, VIII de la ley 29/85 de 2 de Agosto de aguas.

 - Ley 4/1999, de 13 de Enero, de modificación de la Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del procedimiento Administrativo Común.

 - Real Decreto Legislativo 3/2011, de 14 de Noviembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.

 - Real Decreto 1098/2001, de 12 de Octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.

- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MUNICIPIOS

2.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

Al noroeste de la provincia de Ávila, a 1.118 m sobre el nivel del mar se sitúan el municipio de Solosancho y sus tres anejos, Baterna, Robledillo y Villaviciosa, enmarcados en la comarca del Valle Amblés, que suman en la actualidad un total de 4.147 habitantes.

Por carretera, Solosancho se sitúa en el punto kilométrico 21 de la N-502, a una distancia de 24,5 Kilómetros de Ávila, a 140 Kilómetros de Valladolid y 133 Kilómetros de Madrid. Los otros tres núcleos urbanos se encuentran en un radio de 2 kilómetros.

En sus 54,4 Km² de extensión podemos encontrar los siguientes ríos y arroyos: río Adaja, arroyo Navalanguilla, arroyo de Duza, arroyo Garganta Honda, arroyo Vejiga, arroyo del Berrocal y el arroyo de los Potrillos.

Como principales monumentos de interés en las localidades destacan el Castro de Ulaca, la Iglesia Parroquial de Solosancho, el Castillo de Villaviciosa, el Puente de los Cobos, el Verraco de Villaviciosa y el Verraco de Solosancho.

La EDAR se emplazará en el polígono 13, parcela 5.007 de dicho municipio, en el paraje conocido como Las Vegas, a 1.094 m de altitud y con una topografía plana, además cuenta con una extensión de 3,56 Ha. Para la elección de este emplazamiento se ha tenido en cuenta la litología, la proximidad de dicha parcela al río, la propiedad de la parcela ya que es del Ayuntamiento, la relativa lejanía de los núcleos urbanos y el aprovechamiento de la antigua red de vertido.

Finalmente, las aguas tratadas serán vertidas al cauce del río Adaja.

2.2. DATOS SOCIOECONÓMICOS

Actualmente las localidades cuentan con una población fija de 4.147 habitantes.

Su actividad principal es la agricultura y las explotaciones de ganadería ovina y de vacuno. Tradicionalmente, estos pueblos, han dedicado muchas de sus tierras al cultivo de subsistencia, pero actualmente quedan muy pocas fincas dedicadas a este uso, predominando en la actualidad la agricultura intensiva.

Los principales cultivos de sus tierras, adaptados al clima y a las cualidades del mismo, son los de secano, dentro de los cuales destacan los cereales como el trigo, cebada o centeno. Además, hay que destacar los grandes campos de fresas que suponen una parte importante de la actividad económica de la zona. También existe en menor proporción alguna zona de huertas en las cuales se cultivan hortalizas y verduras a baja escala.

Actualmente las poblaciones cuentan, en conjunto, con un colegio (CRA Ulaca), dos sucursales bancarias, una de Bankia y otra de La Caixa, una farmacia, una carnicería, una pescadería, dos tiendas de ultramarinos, ocho bares y diversos negocios de venta ambulante.

En este trabajo se considera tan solo la población doméstica para el cálculo de la población equivalente para la cual se dimensiona la estación depuradora, ya que el agua a tratar es de origen única y exclusivamente doméstico.

En la Tabla 1 se muestra en número total de habitantes en cada periodo.

TABLA 1.- POBLACION EQUIVALENTE	
Periodo	Habitantes
Invernal	4.147
Estival	9.538

Para el cálculo de la población en periodo estival se ha estimado que la población es 2,3 veces superior a la del periodo invernal.

2.3 DATOS CLIMATOLÓGICOS

El clima característico en esta zona objeto de estudio es continental, siendo los inviernos muy fríos y los veranos cálidos y secos, quedando reducidos el otoño y la primavera a cortos intervalos de tiempo.

La temperatura media anual es de 10.4 °C. El mes más frío del año es enero, situándose la temperatura media de este mes en 2.8 °C. La media mensual más fría se produjo en el mes de enero, tomando un valor de -1,5 °C. Por el contrario, julio y agosto son los meses más cálidos, con una temperatura media en estos meses de unos 20 °C.

Para los siguientes datos de precipitación se han utilizado la serie de valores climatológicos normales de Ávila, por no disponer de datos más cercanos a nuestra área de influencia. Estos datos abarcan un periodo de 29 años comprendidos entre el 1.971 y el 2.000. La distribución de estas precipitaciones se hace de un modo irregular siendo más frecuente en invierno y primavera y menos en verano. La precipitación media mensual en invierno se sitúa en torno a los 30 mm, algo superiores son los valores primaverales y otoñales, siendo en los meses de abril y mayo donde los valores medios de la precipitación mensual son más altos. El verano sin embargo es la estación más seca. Durante el invierno pueden producirse precipitaciones en forma de nieve, mientras que en el verano se pueden producir fuertes tormentas inesperadas.

A continuación se muestra la serie de valores climatológicos normales de Ávila citada anteriormente (véase Tabla 2).

Valores climatológicos normales de Ávila (periodo 1971-2000)

Altitud (m): 1130

Latitud: 40° 39' 33" N

Longitud: 04° 40' 48" O

TABLA 2.- VALORES CLIMATOLÓGICOS NORMALES DE ÁVILA (PERIODO 1.971-2.000)												
Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	2,8	7	-1,5	32	77	6	5	0	4	20	6	142
Febrero	4,1	8,7	-0,5	22	72	5	4	0	2	16	5	154
Marzo	5,9	11,4	0,5	23	64	4	3	0	2	14	6	207
Abril	7,5	12,8	2,3	42	63	8	2	1	2	7	4	209
Mayo	11,4	16,9	5,8	50	60	9	1	2	1	2	4	249
Junio	16	22,6	9,4	37	53	5	0	3	1	0	7	297
Julio	19,7	27,2	12,2	16	43	2	0	2	0	0	14	350
Agosto	19,5	26,8	12,1	19	44	2	0	2	0	0	13	324
Septiembre	16,1	22,6	9,5	29	55	4	0	2	1	0	8	247
Octubre	10,8	16	5,6	40	58	6	0	0	2	2	6	187
Noviembre	6,2	10,8	1,6	43	76	6	2	0	4	12	6	143
Diciembre	4	8	-0,1	44	79	7	3	0	4	15	5	118
Año	10,4	15,9	4,8	400	63	66	20	13	23	90	83	2.644

Leyenda:

- T:** Temperatura media mensual/anual (°C).
- TM:** Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C).
- Tm:** Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C).
- R:** Precipitación mensual/anual media (mm).
- H:** Humedad relativa media (%).
- DR:** Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm.
- DN:** Número medio mensual/anual de días de nieve.
- DT:** Número medio mensual/anual de días de tormenta.
- DF:** Número medio mensual/anual de días de niebla.
- DH:** Número medio mensual/anual de días de helada.
- DD:** Número medio mensual/anual de días despejados.
- I:** Número medio mensual/anual de horas de sol.

2.3. DATOS GEOLÓGICOS

La obra objeto del presente proyecto se ubica en terrenos de tipo detrítico, en este tipo de materiales no se encuentran accidentes tectónicos por lo que no se hará alusión a las teorías existentes sobre la tectónica que afecta a los materiales.

En la zona de estudio se diferencian cartográficamente los siguientes grupos de alteraciones:

- Alteraciones asociadas a pórfidos granítico-adamellíticos, leucogranitos y aplitas, microdioritas y diques de tendencia sienítica.
- Alteraciones asociadas a diques de cuarzo.
- Alteraciones asociadas al dique de Alentejo-Plasencia.
- Alteraciones asociadas a procesos cataclásticos y miloníticos.
- Alteraciones supergénicas:
 - Lehm granítico.
 - Carbonatación.

La obra se sitúa en un suelo donde predominan las arcosas, cantos y bloques dispersos correspondientes al Terciario, más concretamente al Oligoceno.

2.4. DATOS HIDROGRÁFICOS

Es una zona donde existen numerosos ríos y arroyos por los cuales circula el agua procedente de la escorrentía superficial de la Sierra de Gredos. Entre ellos se encuentran los ya mencionados río Adaja, arroyo Navalanguilla, arroyo de Duza, arroyo Garganta Honda, arroyo Vejiga, arroyo del Berrocal y el arroyo de los Potrillos.

Tiene especial significado el río Adaja, que riega, una parte representativa de su término municipal, atravesando dicho término municipal por su parte central.

El río Adaja es afluente por la margen izquierda del río Duero. Nace entre Serrota y la Sierra de Ávila, concretamente en Villatoro (Ávila) y desemboca en el río Duero, al este de Tordesillas. Su longitud es de 163 km y drena una cuenca de 5.328 km².

2.5. DATOS RELATIVOS A LA FLORA Y FAUNA

El paisaje del Valle Amblés se caracteriza por sus terrenos prácticamente llanos marcados por la ausencia de masas arbóreas. No obstante el término municipal de Solosancho también está formado por una pequeña parte de la Sierra de Gredos y por el Monte de Barbacedo, situado muy próximo al municipio de Baterna.

En la zona correspondiente a la Sierra de Gredos abundan los prados, piornos serranos, encinares y alcornocales.

En el Monte de Barbacedo la encina es la especie arbórea dominante.

Entre los campos de cereales, en las proximidades de ríos y arroyos, aparecen masas forestales de alamedas, chopos y fresnos.

En cuanto a la fauna, hay que destacar la presencia de grandes mamíferos como son la cabra montesa, el corzo y el jabalí. Además, en la ribera del río Adaja existe una gran actividad biótica que abarca desde aves, como la cigüeña, los ánades, la perdiz, la codorniz y diferentes rapaces, hasta mamíferos como el conejo, la liebre y la comadreja, sin olvidar a los anfibios, reptiles y peces característicos de la provincia de Ávila.

Es importante destacar la gran afición a la caza menor y mayor que existe en la zona donde se encuentran grandes extensiones de tierras dedicadas a dicho deporte.

2.6. PUNTOS DE VERTIDO

Todos los municipios carecen de una red de recogida de aguas pluviales, por lo que las aguas que llegaran a la EDAR corresponden únicamente a aguas domésticas.

La red de aguas negras de cada municipio se extiende por toda su localidad para acabar en un colector, donde son dirigidas hacia su punto de vertido. Dicho punto de vertido es distinto para cada municipio.

- En el caso de Solosancho las aguas residuales negras vierten al arroyo de los Potrillos a 1.120 metros de altitud, sus coordenadas son:

Latitud: 40° 33' 11" N

Longitud: 4° 54' 27" O

- En el municipio de Baterna las aguas negras son vertidas al río Adaja, a una altura sobre el nivel del mar de 1.110 metros, en las siguientes coordenadas:

Latitud: 40° 33' 23" N

Longitud: 4° 55' 37" O

- Villaviciosa tiene su punto de vertido de aguas negras, al igual que Solosancho, en el arroyo de los Potrillos, a 1.153 metros de altitud, cuyas coordenadas son:

Latitud: 40° 32' 8" N

Longitud: 4° 54' 7" O

- Robledillo vierte sus aguas negras en el arroyo de Duza a 1.147 metros de altitud, dicho punto de vertido se encuentra en las siguientes coordenadas:

Latitud: 40° 33' 23" N

Longitud: 4° 56' 0" O

En la Imagen 1 están representados sobre el mapa los distintos puntos de vertido de los municipios y sus respectivas coordenadas.

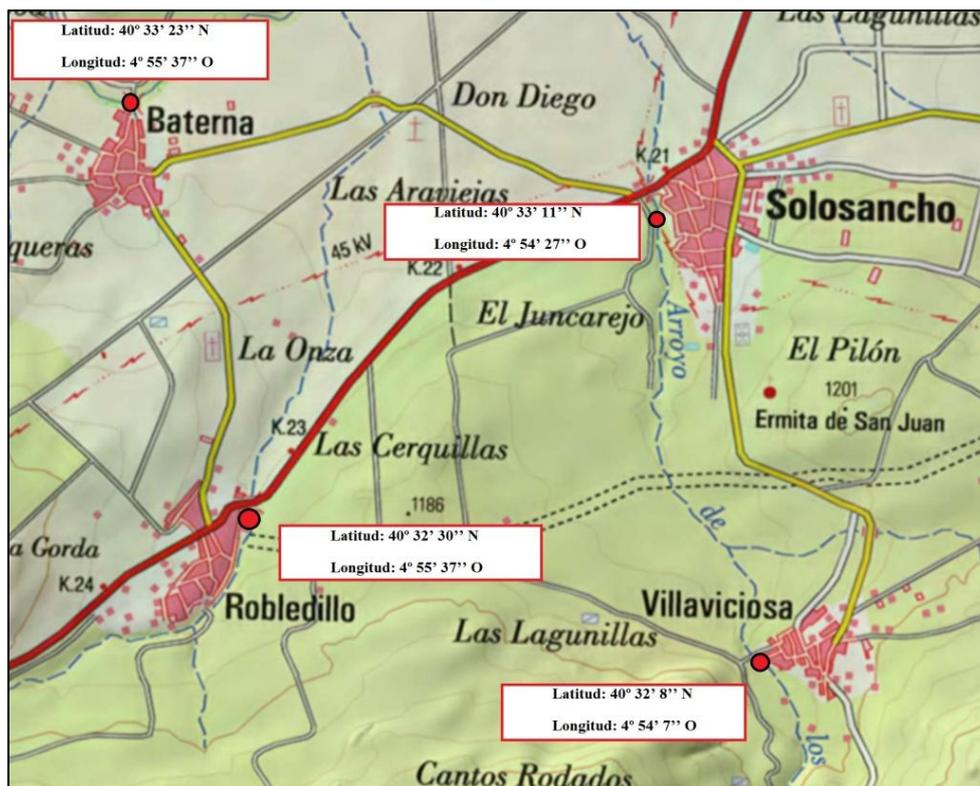


Imagen 1.- Mapa de localización de los puntos de vertido de aguas negras

3. DATOS DE PARTIDA Y BASES DE DISEÑO

Los municipios de Solosancho, Baterna, Robledillo y Villaviciosa no poseen ningún tratamiento de depuración de sus aguas residuales, siendo éstas vertidas al propio río. Se trata de un vertido urbano con las características propias que tienen las aguas negras procedentes de pequeñas comunidades y núcleos rurales.

Se evalúa así, la carga orgánica contaminante producida por la población objeto de saneamiento con la finalidad de detectar aquellos factores que directa o indirectamente puedan incidir en el funcionamiento de la futura EDAR.

Se refleja a continuación en la los valores medios de las cargas contaminantes actuales (véase Tabla 3). Es decir, las cargas contaminantes presentes en el periodo estival e invernal, y por tanto las que se han tenido en cuenta a la hora de realizar el dimensionado.

TABLA 3.- VALORES MEDIOS DE LAS CARGAS CONTAMINANTES ACTUALES				
Parámetro	PERIODO ESTIVAL		PERIODO INVERNAL	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
DBO5 afluente				
	60	gr/DBO ₅ /hab/día	60	gr/DBO ₅ /hab/día
	572,286	Kg/día	248,82	Kg/día
	300	ppm	300	ppm
DQO afluente				
	130	gr/DQO/hab/día	130	gr/DQO/hab/día
	1239,95	Kg/día	539,11	Kg/día
	650	ppm	650	ppm
SST Afluente				
	90	gr/SST/hab/día	90	gr/SST/hab/día
	858,43	Kg/día	373,23	Kg/día
	450	ppm	450	ppm
Nitrógeno afluente				
	13	gr/N/hab/día	13	gr/N/hab/día
	124,00	Kg/día	53,91	Kg/día
	65	ppm	65	ppm
Fósforo afluente				
	3	gr/P/hab/día	3	gr/P/hab/día
	28,61	Kg/día	12,44	Kg/día
	15	ppm	15	ppm
pH agua			7	
Temperatura media del agua	15	°C	9	°C

CAUDALES:

El volumen de vertido es función del tiempo ya que es totalmente diferente dependiendo en la hora y el día en el que se tomen muestras para llevar a cabo su cálculo.

Se asigna a la población de todos los municipios una dotación de aguas residuales de 200 l/hab-día.

En la Tabla 4 se muestra el caudal medio, caudal punta y la frecuencia con la que se suceden las puntas, que se han tenido en cuenta a la hora de realizar los cálculos para el dimensionado de la EDAR.

TABLA 4.- CAUDALES		
CAUDALES	DISEÑO	UNIDADES
Población de diseño	9.538	hab
Dotación de cálculo de saneamiento	200	l/hab·día
Caudal medio		
Caudal medio periodo invernal	829.400	l/día
	829,4	m ³ /día
	34,56	m ³ /h
	9,60	l/seg
Caudal medio periodo estival	1.907.620	l/día
	1.907,62	m ³ /día
	79,48	m ³ /h
	22,08	l/seg
Caudal punta		
Caudal punta periodo invernal	1.409.980	l/día
	1.409,98	m ³ /día
	58,75	m ³ /h
	16,32	l/seg
Caudal punta periodo estival	3.242.954	l/día
	3.242,954	m ³ /día
	135,12	m ³ /h
	37,53	l/seg
Nº puntas	1	Punta/semana

En este tipo de poblaciones en las que se da una variación estacional muy significativa no se puede obtener un caudal medio que sea ponderado ya que por ejemplo, en los tres meses de verano se da un caudal mucho mayor que el resto del año.

Además, semanalmente se produce una punta de un día de duración, que corresponde con un día del fin de semana, debido al aumento de población foránea que experimenta el municipio. Éste caudal punta es, de media, un 70 % mayor que el caudal medio diario.

Por tanto se opta por dar como datos un volumen anual, caudal medio diario y caudal máximo punta, haciendo distinción entre el periodo invernal y el estival (véase Tabla 5).

TABLA 5.- RESUMEN DE LOS CAUDALES Y VOLUMEN ANUAL			
	PERIODO INVERNAL	PERIODO ESTIVAL	UNIDADES
Caudal máximo punta	58,75	135,12	m ³ /h
Caudal medio	34,56	79,48	m ³ /h
Volumen anual	204.364,16	58.754,70	m ³ /año
Volumen anual TOTAL	263.118,86		m ³ /año

4. RESULTADOS A OBTENER: CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE

Las obras e instalaciones incluidas en este proyecto son aquellas que permiten un tratamiento de los caudales actuales y futuros estimados, con el fin de llegar a un tratamiento completo de todos los vertidos producidos, de forma que se consiga el grado de depuración necesario, hasta cumplir los límites fijados para su vertido.

Las características del efluente vienen determinadas por la Confederación Hidrográfica del Duero en el Plan Nacional de Calidad de las Aguas 2007-2015, coincidiendo con los límites de vertido reflejados en la Directiva del Consejo de la Unión Europea 91/271/CEE de 21 de mayo de 1991, sobre Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas, y por el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Siendo para la población de Solosancho las concentraciones admisibles inferiores en ppm a las reflejadas en la Tabla 6.

TABLA 6.- OBJETIVOS DE CALIDAD DE VERTIDO SEGÚN LA CONFEDERACION HIDROGRÁFICA DEL DUERO (PLAN NACIONAL DE CALIDAD DE LAS AGUAS 2007-2015)		
PARÁMETROS	CONCENTRACIÓN (mg/l) *	PORCENTAJE MÍNIMO DE REDUCCIÓN (%)
DBO5	25	90
DQO	125	75
SST	60	70
Fósforo total	2	80
Nitrógeno total	15	80

* Requisitos exigibles a las aguas residuales urbanas de acuerdo con el Anexo I del Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales. La eliminación de N y P se exige para vertidos en zonas sensibles.

Los requisitos para instalaciones individuales pueden no aplicarse, si la reducción de la carga total de todas las instalaciones que vierten a la zona sensible es del:

- 75% para el P total.
- 75% para el N total.

No obstante, las autorizaciones de vertido de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas, podrán imponer requisitos más rigurosos, cuando ello sea necesario para garantizar que las aguas receptoras cumplan con los objetivos de calidad fijados en la normativa vigente.

En cuanto a los vertidos urbanos correspondientes a instalaciones de depuración inferiores a 2.000 h-e, la legislación determina que deberán recibir un “tratamiento adecuado”. En este caso no se concreta el tipo de tratamiento ni límites de vertido asociados, solamente se exige que las aguas receptoras cumplan después del vertido los objetivos de calidad por usos y normas de calidad ambiental previstas para el medio receptor.

En este caso, al tratarse de una zona tipificada como normal no sería necesaria la eliminación de nutrientes, no obstante sí se va a proceder al dimensionado de los tanques de eliminación de nitrógeno y fósforo.

En cuando a los sólidos recogidos en el desbaste, será un gestor autorizado el que se encargue de su tratamiento. Sin embargo, los sólidos procedentes del decantador primario y del tratamiento biológico, recibirán un tratamiento específico in situ, con el fin de eliminar gran parte de su contenido en humedad para ser utilizados finalmente como abono en los cultivos de la zona.

5. JUSTIFICACION DE LA SOLUCION ADOPTADA

5.1. SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

La planta se ubicará en la parcela 5.007 del polígono 13 (véase Imagen 2. Dicha parcela tiene una extensión de 3,56 Ha, y se encuentra a una altitud de 1.094 m sobre el nivel del mar. Además, cuenta con la ventaja de ser de propiedad del Ayuntamiento y no habría que realizar expropiaciones; asimismo, al ser una parcela tan extensa,

también se podrá depositar allí material o maquinaria de obra, sin tener la necesidad de la realización de expropiaciones temporales de las parcelas lindantes en el periodo de construcción de las instalaciones.

Según el texto refundido de la Ley de Aguas y el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, dicha zona se encuentra en la denominada zona de policía del cauce del río Adaja. Toda actividad que se realice en esa zona estará condicionada y necesitará la aprobación del organismo de cuenca correspondiente, en este caso, la Confederación Hidrográfica del Duero.

Al no estar ubicado en la zona de servidumbre del cauce, sino en la zona de policía, que es más permisiva, y acorde con los antecedentes de otras estaciones depuradoras construidas de la misma Confederación edificadas en situaciones similares, no existe ningún impedimento para que la Confederación Hidrográfica autorice las obras en dicho emplazamiento.

Además, la orografía de esta parcela es prácticamente plana, lo que facilita bastante las obras de construcción y operatividad de la planta.

Finalmente, el agua circulará por gravedad a través de conducciones hasta la planta de tratamiento, ya que se encuentra en un punto más bajo que los cuatro puntos de vertido de los municipios anteriormente descritos.

Por lo tanto se ha elegido la parcela anteriormente citada, por su situación, ya que está próxima al colector de aguas residuales; su buena accesibilidad y su emplazamiento suficientemente alejado del núcleo urbano para no provocar malos olores u otras molestias; por su tamaño, que es más que suficiente para la construcción de las instalaciones y la realización de las obras y, finalmente, por normativa.

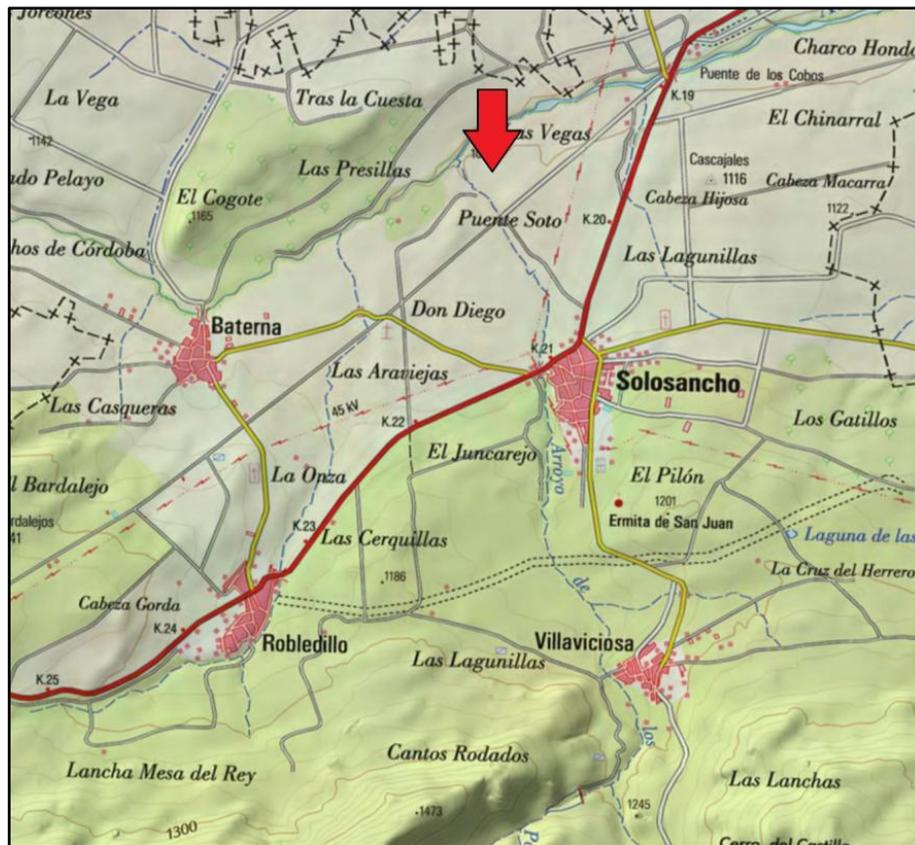


Imagen 2.- Localización de la EDAR

5.2. SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

Como se ha mencionado anteriormente la estación depuradora de aguas residuales contará con dos líneas bien diferenciadas: la línea de aguas y la línea de fangos.

No obstante, algunos equipos están duplicados, con el fin de dotar a la EDAR capacidad suficiente para tratar el caudal de agua que se produce en verano y evitar parones debido a las averías y el mantenimiento de la estación depuradora.

En el siguiente esquema se muestra, de forma detallada, todo el proceso de tratamiento de agua y del fango; y a posteriormente se ofrece una información detallada de cada uno de los equipos implicados en el proceso.

5.2.1. LÍNEA DE AGUAS

CANAL DE ENTRADA

El canal de entrada a la depuradora, tiene como función, única y exclusivamente, conectar el colector de agua bruta a las instalaciones; y más concretamente en este caso con el tanque de homogeneización.

HOMOGENEIZACIÓN

La homogeneización consiste, simplemente, en amortiguar por laminación las variaciones de caudal, con el objeto de conseguir un caudal constante.

Las principales ventajas que produce la homogeneización de los caudales son:

- Mejora del tratamiento biológico, eliminando o reduciendo las cargas de choque, diluyendo las sustancias inhibitoras y estabilizando el pH.
- Mejora de la calidad del efluente y del rendimiento de los tanques de sedimentación al trabajar con cargas de sólidos constantes.
- Reducción de las superficies necesarias para la filtración del efluente, mejora de los rendimientos de los filtros y posibilidad de conseguir ciclos de lavado mas uniformes.
- En el tratamiento químico, el amortiguamiento de las cargas aplicadas mejora el control de la dosificación de los reactivos y la fiabilidad del proceso.

A parte de la mejora de la mayoría de las operaciones y procesos de tratamiento, la homogeneización del caudal es una opción alternativa para incrementar el rendimiento de la planta de tratamiento.

Dentro del tanque de homogeneización se colocará un mezclador de hélice con el objetivo de conseguir un estado de mezcla completa.

DESBASTE

Después del tanque de homogeneización se encuentran las rejjas de desbaste, unas gruesas y otras finas, donde se quedarán los sólidos filamentosos, materias gruesas y cuerpos gruesos y arenosos que puedan obstruir las demás instalaciones.

Tienen por objetivo principal, proteger a la estación depuradora de la llegada de residuos capaces de obturar y atascar las distintas fases de tratamiento.

El municipio carece de un sistema de recogida de aguas de lluvia, por lo que poner unas rejillas puede parecer un poco inútil, ya que en un principio, a la depuradora va a llegar el agua que se va por el desagüe de las casas de los municipios. Pero al tratarse de núcleos rurales, nos encontramos con garajes y naves agrícolas con grandes sumideros que van a parar al colector de aguas residuales. Por lo tanto se colocan las rejillas para así evitar que lleguen elementos sólidos de gran tamaño a los tratamientos posteriores.

El tipo de rejjas elegidas son las de limpieza mecánica, con el objetivo de reducir los problemas de explotación y mantenimiento y para aumentar las posibilidades de separación de residuos.

Las rejjas mecánicas se dividen en cuatro tipologías principales:

- Rejjas de funcionamiento mediante cadenas.
- Rejjas de movimiento oscilatorio.
- Catenarias.
- Rejjas accionadas mediante cables.

En este proyecto las rejjas que se instalaran son las que tienen un movimiento oscilatorio. Este tipo de rejjas imitan la secuencia de movimientos de una persona que rastrilla la reja. El rastrillo se desplaza hasta la parte inferior de la reja, se coloca entre las barras, y asciende arrastrando las basuras hasta la parte superior de la misma, lugar donde

son extraídas. La principal ventaja que presenta este método es que todos los componentes que precisan actuaciones de mantenimiento se sitúan por encima del nivel del agua, de modo que su inspección y mantenimiento no hace necesario el vaciado del canal y que el sistema de limpieza y retorno minimiza el arrastre de sólidos. Este tipo de reja presenta el inconveniente de disponer únicamente de un rastrillo de limpieza, lo que limita la capacidad de la reja para tratar aguas con altos contenidos en residuos.

Se ha decidido instalar tres unidades de rejillas, una con las dimensiones propias del periodo invernal y dos con las dimensiones adecuadas para el periodo estival, conectadas entre sí mediante un by-pass y que constan con unas compuertas de canal aguas arriba y debajo de la reja, de modo que sea posible dejar una de ellas fuera de servicio para realizar las labores de mantenimiento (pintado, sustitución de algún cable o cadena, cambio de dientes, eliminación de obstrucciones y enderezamiento de barras dobladas).

DECANTADOR PRIMARIO:

La finalidad del tratamiento por sedimentación es eliminar los sólidos fácilmente sedimentables y, por tanto, reducir el contenido de sólidos en suspensión del agua.

Los tanques de sedimentación primaria pueden proporcionar el principal grado de tratamiento del agua residual, o se pueden emplear como paso previo al tratamiento posterior.

Cuando los tanques de sedimentación primaria se emplean como paso previo de tratamientos biológicos, su función es la reducción de la carga afluente a las unidades de tratamiento biológico.

La decantación primaria es necesaria para evitar problemas de atascamiento debidos a los sólidos en suspensión, flotantes y grasas que hayan superado el desbaste. Por tanto se colocará un decantador primario antes de que el agua pase al tratamiento biológico.

Además, en este caso es en el sedimentador primario donde se eliminará el fósforo del afluente mediante precipitación química, utilizando para ello alúmina líquida.

REACTOR AEROBIO DE MEMBRANA

El proceso biológico seleccionado para el proyecto es la utilización de reactores aerobios de membrana externa.

Se ha elegido un tratamiento aerobio ya que la carga de DQO a la entrada del reactor es de 500,5 mg/l.

Es uno de los tratamientos biológicos más comúnmente empleados. Se basa en pasar el agua residual por un reactor donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión.

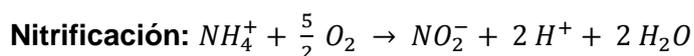
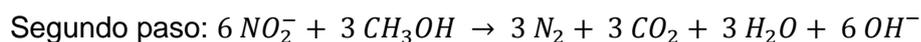
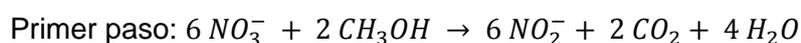
El oxígeno necesario para mantener el reactor en condiciones aerobias es suministrado por medio de difusores o aireadores mecánicos que, a su vez, sirven para mantener el líquido en un régimen de mezcla completa.

Dentro del reactor biológico podemos diferenciar dos cámaras cuya finalidad es la eliminación de nitrógeno. La primera cámara sería donde, bajo unas condiciones anóxicas se produce el proceso de desnitrificación; en la siguiente cámara, bajo condiciones aerobias se produce la nitrificación o lo que es lo mismo la oxidación del NH_4^+ y, la reducción de la DQO.

Las reacciones que se producen en estos tanques son las siguientes:



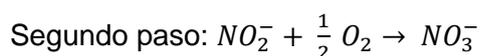
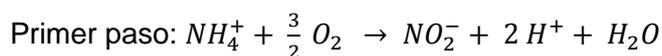
Si se emplea, como fuente de carbono el metanol, la estequiometría del proceso se puede describir de la siguiente manera.



La nitrificación es un proceso autotrófico, es decir, la energía necesaria para el crecimiento bacteriano se obtiene de la oxidación de compuestos de nitrógeno, principalmente del amoníaco.

Para la síntesis de nuevas células, los organismos nitrificadores emplean dióxido de carbono (carbono inorgánico), en lugar de carbono orgánico.

Como se describe a continuación, el proceso de nitrificación del nitrógeno amoniacal se realiza en dos etapas en las que toman parte dos familias de microorganismos, los *Nitrosomas* y los *Nitrobacter*:



El esquema del reactor aerobio es el siguiente:

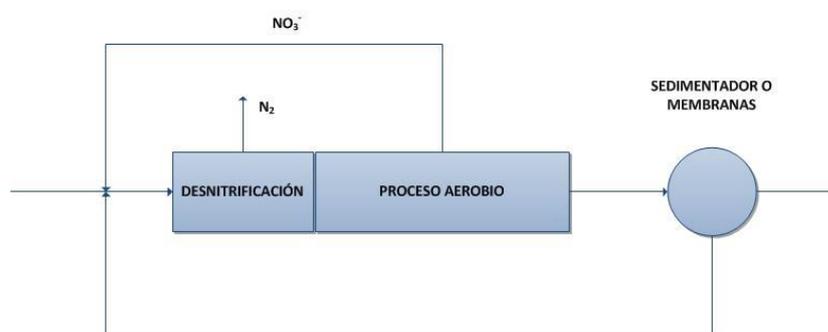


Imagen 3.- Esquema del proceso de nitrificación-desnitrificación

Tras un tiempo de retención en el reactor, la mezcla pasa a las membranas donde las células se separan del agua residual tratada. Una parte de estas células es recirculada para mantener la concentración de microorganismos en el reactor, mientras que el resto se extrae y se evacua por la corriente purga hacia el tratamiento de fangos.

En lugar de la instalación de un decantador secundario, se ha optado por instalar un modulo de membranas, que ofrece las siguientes ventajas:

- Es un sistema compacto, ya que se elimina la instalación del clarificador y disminuye el tamaño del biorreactor.
- Las membranas ofrecen una gran fiabilidad, ya que el rendimiento de separación no depende de las características del fango.

- Tienen capacidad para trabajar con concentraciones de sólidos suspendidos de 8.000 a 15.000 mg/L.
- Se produce una menor cantidad de fango.
- Se trata de un proceso totalmente aerobio que no genera olores.
- Las membranas están adaptadas para la eliminación de nitrógeno.
- Es un proceso ideal para la ampliación por etapas, con un alto nivel de automatización y de fácil operación.
- Las membranas son adaptables a tanques existentes.

Entre las limitaciones que presenta el uso de membranas hay que destacar:

- Es una tecnología cara, ya que requiere una inversión inicial importante por el elevado coste de las unidades de membrana.
- La polarización y otros problemas de ensuciamiento de las membranas también limitan su uso.
- Los lodos generados pueden presentar problemas de sedimentabilidad dado que la mayoría de los sólidos en suspensión son retenidos en el biorreactor, lo que implica una dificultad añadida a su tratamiento.
- La posible acumulación en el bioreactor de compuestos inorgánicos no filtrables como metales pesados que a determinadas concentraciones pueden ser dañinos para la población bacteriana o afectar a la integridad de la membrana.

5.2.2. LÍNEA DE FANGOS

Los sólidos separados de la corriente en el desbaste, van a ser gestionados por un gestor autorizado y por lo tanto están fuera de la línea

de fangos. Únicamente la estación contará con un contenedor donde serán almacenados los sólidos hasta una determinada cantidad, para su posterior recogida por un camión.

En la línea de tratamiento de fangos se mezclan tanto los fangos primarios, que son los sólidos sedimentados en el decantador primario, como los fangos secundarios procedentes del proceso biológico y que han sido retenidos por las membranas. El proceso de mezclado de ambos fangos se realiza en las tuberías, antes de pasar por las siguientes etapas en su tratamiento:

- **Espesamiento:** En el que se aumenta la concentración de los fangos por eliminación de aguas y se reduce el volumen de los mismos.
- **Deshidratación:** Consiste en la eliminación de agua del fango, para convertirlo en un sólido fácilmente manejable.
- **Estabilización:** proceso en el que la materia orgánica sufre una degradación biológica hasta alcanzar un producto final estable.

Una vez que el fango ha pasado las fases anteriores de tratamiento hay que proceder a su evacuación final, ya sea incinerándolo, llevándolo a un vertedero, usándolo como relleno o, como ocurre en este caso, como un producto rico en nutrientes para la agricultura.

CENTRIFUGA:

El proceso de centrifugación es muy utilizado para el espesamiento de fangos.

La centrífuga se utiliza, tanto para espesar fangos como para deshidratarlos. Su aplicación para el espesado se suele limitar al espesado de fangos activados e implica la sedimentación de las partículas de fango bajo la influencia de fuerzas centrífugas.

En condiciones normales, el espesado por centrifugación se puede llevar a cabo sin adición de polímeros, sin embargo, los costes energéticos y de

mantenimiento del proceso de espesamiento por centrifugación pueden ser importantes.

Este proceso resulta atractivo en plantas donde el espacio disponible es limitado o en la aplicación de fangos difíciles de espesar mediante otros procesos convencionales.

En este trabajo se empleará una centrifuga de camisa maciza en la que el fango se alimenta a la cuba giratoria a caudal constante y se separa en una torta densa que contiene los sólidos, y un líquido diluido que recibe el nombre de concentrado. La torta de fango se descarga de la unidad mediante un tornillo a una tolva para ser evacuado en el depósito de almacenamiento previo al filtro banda.

Estas centrifugas se pueden emplear para la deshidratación de fangos que no han sido acondicionados químicamente, no obstante el condicionamiento con polímeros permite mejorar notablemente la captura de sólidos y la calidad del concentrado.

FILTRO DE BANDA:

Los filtros de banda son dispositivos de deshidratación de fangos de alimentación continua que incluyen el acondicionamiento químico, drenaje por gravedad, y aplicación mecánica de presión para deshidratar el fango.

Estos filtros han resultado ser efectivos para casi todos los tipos de fangos de aguas residuales municipales.

En la mayoría de los filtros banda, el fango acondicionado es introducido, en primer lugar, en una zona de drenaje por gravedad donde se produce su espesado. En esta fase, se elimina la mayor parte del agua. En algunos casos, esta fase de operación está asistida por un sistema de vacío que favorece el drenaje y ayuda a reducir el desprendimiento de olores.

A continuación del drenaje por gravedad, el fango pasa a una zona de baja presión donde es comprimido entre dos telas porosas opuestas.

En algunas unidades, esta zona de aplicación de presión baja va seguida de otra de alta presión, en la que el fango se somete a esfuerzos

tangenciales a medida que las bandas pasan a través de una serie de rodillos. Estos esfuerzos de prensado y tangenciales favorecen la liberación de cantidades adicionales de agua contenida en el fango.

Finalmente, la torta de fango deshidratado se separa de las bandas mediante rascadores.

Un sistema de filtros banda típico está formado por bombas de alimentación del fango, equipos de dosificación de polímero, una cámara de acondicionamiento del fango (floculador), un filtro banda, una cinta transportadora de la torta de fango y equipos complementarios (bombas de alimentación del fango, bombas de agua de lavado y compresor de aire). Algunas unidades no utilizan cámara de acondicionamiento.

Las variables que afectan al rendimiento de los filtros banda son numerosas:

- Las características del fango.
- El método y tipo de acondicionamiento químico.
- Las presiones aplicadas.
- La estructura de la maquina (incluido el drenaje por gravedad).
- La porosidad, velocidad y anchura de las bandas.

Los filtros banda son sensibles a variaciones significativas de las características del fango, lo cual da lugar a que el acondicionamiento sea inadecuado y a una reducción de la eficiencia de deshidratación. En los casos en los que se esperan variaciones en las características del fango, se deben incluir instalaciones que permitan la mezcla del fango. A partir de la experiencia obtenida con la operación de filtros banda, se ha podido comprobar que un incremento de la concentración de sólidos en el fango de alimentación favorece la obtención de mayores sequedades y mayor producción de torta.

ERAS DE SECADO CONVENCIONALES DE ARENA:

Las eras de secado son el método de deshidratación de fangos mas empleado. Se suelen utilizar, normalmente, para la deshidratación de fangos digeridos, aunque en este caso sirvan también como medio para la

estabilización del fango. Una vez seco y estabilizado, el fango se retira y se evacua a vertederos controlados o se utiliza como abono del suelo.

Las principales ventajas de las eras de secado son:

- El bajo coste.
- Precisan un mantenimiento escaso.
- El elevado contenido en sólidos del producto final.

Las eras de secado convencionales se suelen utilizar en comunidades de pequeñas dimensiones y población de tamaño medio, aunque se han dado casos en los que se han empleado instalaciones más grandes. No obstante, en municipios grandes, el coste de inversión inicial, el coste de retirada del fango y de la reposición de la arena, y de la gran superficie de terreno necesaria, hacen prohibitivo el uso de eras de secado.

El fango se extiende sobre la arena y se deja secar. Este fango se deshidrata por drenaje a través de la masa de fango y de arena, y por evaporación desde la superficie expuesta al aire.

La mayor parte del agua se extrae por drenaje, razón por la cual las eras de secado están equipadas con tuberías de drenaje lateral, dispuestas con pendientes mínimas del 1% y separadas entre 2,5 y 6 m.

Las tuberías de conducción del fango suelen ser de fundición o de plástico, y se deben de tomar medidas para permitir la limpieza de las conducciones y, en caso de ser necesario, para evitar que se hielen en climas fríos. Además, para desviar el caudal del fango hacia la era elegida es necesario disponer arquetas de distribución.

El fango se puede extraer de las eras después de que se haya secado y drenado suficientemente para ser paleable. El contenido de humedad, después de 10 a 15 días en condiciones favorables, es del orden del 60%. La extracción de fango se realiza manualmente con palas cargando carretillas o camiones, o mediante una pala rascadora o de ataque frontal.

Las eras descubiertas se suelen utilizar en los casos en los que se dispone de una superficie adecuada y suficientemente alejada de los núcleos de población como para evitar las quejas provocadas por la generación ocasional de olores.

Finalmente, es importante señalar que es en climas fríos donde se ha observado que las heladas y el deshielo mejoran las características de deshidratación del fango.

6. DIMENSIONADO

6.1. TUBERÍAS DE CANALIZACIÓN Y CANAL DE ENTRADA

La función de las conducciones y del canal de entrada es conducir el agua bruta desde los municipios hasta el tanque de homogeneización.

Como se puede observar en el siguiente mapa (véase Imagen 4), se han numerado las canalizaciones para poder identificarlas fácilmente a la hora de realizar el dimensionado de las mismas.



Imagen 4.- Mapa de canalización del agua residual hasta la futura EDAR

El agua, al canal de entrada, llega a través de unas tuberías cuyo diámetro es de 0,5 m, y que transportan las aguas negras domésticas.

Para el dimensionado de las mismas se emplea un caudal de diseño diferente en cada caso, correspondiente al caudal de aguas negras que vierte cada municipio, y después se calcula la velocidad que alcanza dicha cantidad de agua al final de la canalización (velocidad 2).

La velocidad al final de las canalizaciones es bastante elevada debido a la orografía del terreno, por lo que se colocará un canal de entrada con una pendiente más suave, con el fin de reducir dicha velocidad del agua de cara a la entrada a la EDAR a 2,38 m/seg.

Para el dimensionado de todas estas canalizaciones y del canal de entrada se han tenido en consideración las condiciones que existen en el periodo estival, en los momentos en los que se produce el caudal punta, y además se ha establecido un factor de seguridad sobre la velocidad de llegada del 20%, por lo que en realidad ésta velocidad es menor.

A continuación, se detalla el dimensionado de la canalización para los diferentes municipios y la velocidad de llegada del agua a la EDAR:

TABLA 7.- DIMENSIONADO DE LAS TUBERÍAS DE CANALIZACION Y DEL CANAL DE ENTRADA							
	Longitud (m)	Altura 1 (m)	Altura 2 (m)	Caudal (m³/seg)	Diámetro (m)	Velocidad 1 (m/seg)	Velocidad 2 (m/seg)
Tubería 1	1.920	1.153	1.120	0,0048	0,5	0,006	30,53
Tubería 2	1.410	1.120	1.098	0,0205	0,5	0,026	24,90
Tubería 3	660	1.110	1.104	0,0095	0,5	0,012	13,01
Tubería 4	1.970	1.147	1.104	0,0076	0,5	0,010	34,85
Tubería 5	810	1.110	1.098	0,0171	0,5	0,022	18,40
Tubería de entrada a planta	20	1.098	1.097,8	0,0375	0,5	0,048	2,38

El material empleado para su construcción es hormigón armado y será de sección circular. El ancho del canal tendrá las mismas dimensiones que la tubería de entrada a la planta siendo también de sección circular.

6.2. EDAR

Para la realización de los cálculos de las dimensiones de los equipos se ha utilizado, al igual que en las canalizaciones, un factor de seguridad del 20%.

6.2.1. ENTRADA A LA EDAR. PRETRATAMIENTO.

El primer paso en la depuración de aguas residual ha de consistir, lógicamente, en una homogeneización del caudal y en la eliminación de materias gruesas, cuya presencia en el efluente perturbaría el tratamiento total y el eficiente funcionamiento de las máquinas, equipos e instalaciones de la estación depuradora.

El pretratamiento consta de los siguientes procesos:

- Aliviadero de agua en exceso.
- Homogeneización.
- Desbaste.

Durante todo el proceso de pretratamiento del agua residual, éste circulará por las canalizaciones bajo la acción de la gravedad.

TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN

Su función es la de conseguir que el caudal sea constante. Con esto se obtienen unas condiciones adecuadas para el tratamiento del agua en toda la planta de depuración y, por consiguiente, que los equipos e instalaciones funcionen de manera correcta y eficiente.

Se disponen de un tanque de homogeneización de superficie cuadrada, dimensionado para el periodo estival, por lo que en el periodo invernal almacenará un menor volumen de agua. Teniendo en cuenta que el tiempo de retención hidráulico es de 1 día, y que por norma general se produce un caudal punta de 24 h de duración debido al turismo de fin de semana, se

obtienen las siguientes dimensiones reflejadas en la Tabla 8 del tanque de homogeneización.

TABLA 8.- DIMENSIONES DEL TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN	
Volumen	196 m ³
Altura	3 m
Lado	8,1 m

El caudal de salida en el periodo invernal y estival, respectivamente es de 38,01 m³/h y 87,43 m³/h. Además, en éste tanque se colocará un agitador con forma de hélice, para así conseguir un estado de mezcla completa.

Finalmente y como se ha mencionado anteriormente, el tanque de homogeneización cuenta con un aliviadero para evitar sobrecargas hidráulicas en el proceso.

REJAS DE DESBASTE

Puede decirse que, salvo excepciones, la instalación de rejas de desbaste es indispensable en cualquier depuradora.

El objetivo de las rejas es la eliminación de los sólidos que tienen un tamaño significativo, evitando obstrucciones en los equipos de la EDAR.

Se dispondrán tres rejas para los gruesos y otras tres para los finos, todas ellas unidas entre sí mediante un by-pass con el objetivo de realizar las operaciones de mantenimiento sin tener que parar la estación depuradora.

Las arquetas de desbaste que se instalarán son del fabricante FILTEC.

Para el periodo invernal se instalará una única reja para los gruesos, en concreto el modelo PAM LR 200/200 con una luz de maya de 20 mm recomendada para caudales de 45 m³/h; para la separación de finos se instalará de igual manera una única reja del modelo PAM LR 300/300 que trata caudales de hasta 60 m³/h y tiene una luz de maya de 2 mm.

En el caso del periodo estival, para los gruesos se instalarán dos unidades el modelo PAM LR 300/300 con una luz de maya de 20 mm, con capacidad de trabajar con caudales de 100 m³/h. Para los finos se dispondrán otras

dos rejas del modelo PAM LR 300/400 con una luz de maya de 2 mm, que al igual que el modelo anterior trabaja con caudales de hasta 100 m³/h.

A continuación (véase Imagen 5) se muestra la tabla proporcionada por el fabricante, mediante la cual se ha elegido el modelo de la arqueta de desbaste:

MODELO	LUZ DE PASO DE MALLA (mm)							
	0,5	1	2	3	10	20	30	40
PAM LR 200/200	13	22	32	35	39	45	47	49
PAM LR 300/300	30	34	60	72	77	100	105	108
PAM LR 300/400	42	68	100	110	120	140	142	145
PAM LR 300/500	53	85	125	139	149	174	178	180
PAM LR 400/400	56	92	142	148	158	185	192	210
PAM LR 400/500	72	115	168	182	198	230	240	243
PAM LR 400/600	85	139	198	220	240	278	287	292
PAM LR 500/500	90	145	210	232	250	290	300	304
PAM LR 500/600	110	174	254	280	300	350	360	365
PAM LR 600/600	130	208	306	335	360	420	434	440

Imagen 5.- Modelos de arquetas de desbaste

El sistema de limpieza de las rejas consta de un brazo oscilante, que accionado por un motor mueve el peine de acero inoxidable eliminando toda la materia retenida en ellas.

6.2.2. TRATAMIENTO PRIMARIO. DECANTADOR PRIMARIO

La mayor parte de las sustancias en suspensión y disolución en las aguas residuales no pueden retenerse en las rejillas, desarenadores y cámara de grasa, ni tampoco pueden separarse mediante flotación por ser más pesadas que el agua, por estas razones se realiza la decantación primaria.

La depuración primaria o física es un proceso unitario, de carácter físico, que tiene por objeto fundamental la reducción de sólidos en suspensión decantables, existentes en el agua residual.

Al igual que en el pretratamiento, al agua circulará bajo la acción única de la gravedad.

DECANTADOR PRIMARIO

La EDAR dispondrá de dos decantadores primarios circulares, que operarán individualmente o conjuntamente en función de la época del año.

En el periodo invernal, para un caudal de 38 m³/h y un tiempo de retención hidráulico de 1,5 h; se consigue la eliminación del 75% de los sólidos en suspensión. La concentración de sólidos en el fango es de 20 Kg/m³, por tanto, las dimensiones del decantador son (véase Tabla 9):

TABLA 9.- DIMENSIONES DEL DECANTADOR PRIMARIO EN EL PERIODO INVERNAL	
Volumen	68,4 m ³
Profundidad	2 m
Radio	3,3 m
Diámetro	6,5 m
Superficie	33,4 m ²

Durante el periodo estival el caudal es de 87,4 m³/h y el tiempo de retención hidráulico, al igual que en el periodo invernal, es de 1,5 h.; por tanto el volumen del tanque que se instalará para trabajar conjuntamente con el anterior tendrá las siguientes dimensiones (véase Tabla 12):

TABLA 10.- DIMENSIONES DEL DECANTADOR PRIMARIO EN EL PERIODO ESTIVAL	
Volumen	88,9 m ³
Profundidad	2 m
Radio	3,8 m
Diámetro	7,6 m
Superficie	44 m ²

La eliminación del fósforo se eliminará en los decantadores primarios mediante precipitación química, empleando alúmina líquida como agente químico precipitador, cuya fórmula química es Al₂(SO₄)₃ · 18 H₂O. Se dispondrá por tanto, de un único tanque de almacenamiento de alúmina, con un volumen de 25 m³, lo que nos asegura poder almacenar la disolución de alúmina líquida necesaria para eliminar el fosforo durante 69 días en el periodo invernal y durante 30 días en el periodo estival.

Durante el periodo invernal, el caudal de la disolución de alúmina necesario es de 0,015 m³/h; y durante el periodo estival es de 0,034 m³/h.

Se ha considerado que la eliminación de sólidos en suspensión que se consigue con estos decantadores es del 65 %. A estos sólidos hay que sumar el fósforo que precipita al reaccionar con la alúmina. Se obtiene por tanto un caudal de fango primario para el periodo invernal de 0,81 m³/h y de 1,85 m³/h para el periodo estival, cuya concentración de sólidos es de 20 Kg/m³.

La retirada de los mismos del decantador se realizará mediante rasquetas de fondo inclinadas. Las inclinaciones de dichas rasquetas en decantadores circulares están entre el 2% y el 8%, siendo en este caso de un 4,5%. Como valor de la velocidad lineal de las barrederas de fondo se ha tomado un valor típico de 0,6 m/min.

Es importante mencionar que en el proceso de decantación se ha estimado que tanto la DQO como la DBO se reducen un 23%, por lo que la concentración de las mismas a la entrada del tratamiento biológico será, en el caso de la DQO de 500 mg/l, y en el caso de la DBO de 231 mg/l.

6.2.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO. REACTOR AEROBIO DE MEMBRANA

REACTOR AEROBIO DE MEMBRANA

Como ya se ha mencionado en el punto 5.2.1 se trata de un proceso convencional de fangos activos, ya que la carga de DQO a la entrada al reactor es de 500 mg/l, en el cual el sedimentador secundario se ha sustituido por un módulo de membranas.

Es uno de los tratamientos biológicos más comúnmente empleados. Se basa en pasar el agua residual por un reactor donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión.

Hasta este punto, toda el agua circulaba por las conducciones bajo la acción de la gravedad. Sin embargo, aquí se colocara una bomba

centrifuga con el objetivo de regular el caudal que entra al reactor biológico.

Es en este biorreactor donde va a proceder también a la eliminación de nitrógeno, por tanto constará de diferentes tanques en los cuales se producirán los procesos necesarios para este fin.

Se han dimensionado dos reactores aerobios de membrana, uno para el periodo invernal y otro, que como ocurre con el decantador primario, operará conjuntamente con el anterior durante el periodo estival.

En la Tabla 11 se muestran las dimensiones del biorreactor que operará en el periodo invernal.

TABLA 11.- DIMENSIONES DEL PROCESO BIOLÓGICO EN EL PERIODO INVERNAL	
Volumen desnitrificación	194,18 m³
Altura	7 m
Lado	5,27 m
Volumen aerobio	984,03 m³
Altura	7 m
Lado	11,86 m

La recirculación externa es de 210,63 m³/día, lo que implica una tasa de recirculación del 24% y la tasa de recirculación interna es del 145%, es decir, 6 veces superior a la recirculación externa.

El tiempo de retención de sólidos de diseño en el periodo invernal para que se produzca la nitrificación, o lo que es lo mismo, la edad del fango es de 22 días. Este parámetro depende en gran medida de la temperatura del agua, por lo que en el periodo estival será algo menor.

Los tiempos de retención hidráulicos de los tanques de desnitrificación y aerobio son, respectivamente, 4,35 h y 22,04 h.

La carga másica en este reactor es de 0,11 KgDQO/KgSSV·día, y la carga volumétrica es de 0,45 KgDQO/m³·día. La información que esto nos ofrece es que el fango que sale por la corriente purga está bastante estabilizado.

En cuanto a las dimensiones del biorreactor auxiliar para el periodo estival son (véase Tabla 12):

TABLA 12.- DIMENSIONES DEL PROCESO BIOLÓGICO EN EL PERIODO ESTIVAL	
Volumen desnitrificación	252,45 m³
Altura	7 m
Lado	6,01 m
Volumen aerobio	456,53 m³
Altura	7 m
Lado	8,07 m

En este caso, la recirculación total externa es de 484,46 m³/día, lo que implica una tasa de recirculación del 24% y la tasa de recirculación interna es del 145%, es decir, 6,04 veces superior a la recirculación externa.

La edad del fango de diseño para el periodo estival es de 9,87 días.

Los tiempos de retención hidráulicos de los tanques de desnitrificación y aerobios en los biorreactores dimensionados para el periodo estival son, respectivamente, 4,3 h y 14,03 h.

En las partes aerobias del reactor, hay que inyectar aire mediante una serie de difusores, a razón de 902 Kg de aire/día en el periodo invernal, y de 2.074 Kg de aire/día en el periodo estival.

La carga másica, en este caso es de 0,18 KgDQO/KgSSV·día y la carga volumétrica es de 0,71 KgDQO/m³·día.

Es importante comentar que la corriente de recirculación interna contiene oxígeno disuelto que no puede llegar a la cámara anóxica, para solucionar esto se instalará un pequeño tanque con un agitador.

MEMBRANAS

Para el módulo de membranas de fibra hueca se han elegido el modelo ZeeWeed 500.

Se dispondrá también, de dos módulos de membranas de distintas dimensiones para cada periodo del año.

El caudal de filtración de las mismas es de $0,02 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$, por lo tanto, para un caudal en el periodo invernal de $37,2 \text{ m}^3/\text{h}$ se obtiene una superficie de membrana de 2.239 m^2 y se necesitan 71 membranas de $36,1 \text{ m}^2$ cada una.

Para el periodo estival, cuando el caudal es de $85,56 \text{ m}^3/\text{h}$ y siendo el caudal de filtración igual que en el periodo invernal, la superficie de membrana necesaria es de $5.149,9 \text{ m}^2$ y el número de membranas que se necesitan es de 163 unidades, de las mismas dimensiones que en el periodo invernal.

En ambos casos, las membranas están contenidas dentro de una estructura portante o caset, que tiene unas dimensiones de $2,5 \text{ m}$ de altura, $2,20 \text{ m}$ de anchura y 1 m de profundidad, con una capacidad de 48 unidades de membrana. Por lo tanto, para el periodo invernal se necesitan 2 caset, que ocupan una superficie de $4,4 \text{ m}^2$ y para el periodo estival se necesitan 4 caset, que ocupan una superficie de $8,8 \text{ m}^2$.

En el proceso de filtración podemos diferenciar dos etapas. La primera etapa sería la de filtrado, que dura 10 min. La segunda etapa sería en sentido opuesto, la de contralavado, cuya duración es de 30 seg y que sirve para despegar la torta que se forma en la membrana y así conseguir una filtración óptima. Esto se consigue mediante un sistema de bombas en el cual, una bomba trabaja en un sentido durante 10 min, después, esta bomba se para y comienza a funcionar la otra bomba en sentido contrario y durante los 30 seg anteriormente mencionados, para lavar las membranas.

Se colocará un tanque que contendrá agua ya tratada, desde donde se bombeará el agua de contralavado.

Es importante indicar que, en el módulo de membranas hay que inyectar aire para conseguir que la mezcla de agua a filtrar sea homogénea. Esta cantidad de aire es de $0.75 \text{ m}^3\text{aire}/\text{m}^2\cdot\text{h}$.

Además, una vez a la semana hay que contralavar las membranas con hipoclorito para limpiarlas, y una vez al año sumergirlas completamente en este compuesto químico con el mismo fin.

6.2.4. TRATAMIENTO DE FANGOS

Solo los fangos procedentes del decantador primario y de las membranas recibirán un tratamiento in situ, con el fin de reducir su contenido de humedad y estabilizarlos, para posteriormente emplearlos como abono en las tierras de cultivo de los municipios.

Los fangos procedentes del decantador primario se mezclan con los que proceden de las membranas en las tuberías que conectan estos dos equipos con la centrífuga.

El agua resultante del proceso de deshidratación de los fangos en la centrífuga y filtro banda se recirculará al reactor biológico.

No obstante, los sólidos separados de la corriente en el desbaste, van a ser gestionados por un gestor autorizado y por lo tanto, se dispone de un contenedor con capacidad para 3.500 Kg. Durante el periodo invernal, la cantidad de sólidos retenidos en las rejillas es de 170,42 Kg/día, por lo que los sólidos serán almacenados en dicho contenedor durante 21 días hasta su recogida por un camión. Es en el periodo invernal cuando esta cantidad de sólidos retenidos es mayor, concretamente de 392 Kg/día, y por tanto será cada 9 días cuando se realizará la recogida de los mismos por el gestor.

CENTRÍFUGA

El fango es impulsado por bombas centrifugas, desde el decantador y las membranas al depósito previo a la centrífuga.

La centrífuga elegida para línea de fango es el modelo C3E-4 del fabricante Flottweg Separation Technology.

Ésta centrífuga no va a funcionar de manera continua. Durante el periodo invernal el caudal de fango a la entrada es de 1,23 m³/h y durante el periodo estival tendremos un caudal de entrada de 2,82 m³/h, por eso se va a disponer del depósito anteriormente mencionado, cuyo volumen es de 70 m³, donde se almacenará el fango antes de ser bombeado a la centrífuga. De esta manera, en el periodo invernal la centrífuga funcionará

solo durante 2 h al día en el periodo invernal y 4,5 h al día en el periodo estival, con un caudal de entrada de fangos de 15 m³/h.

Para la elección de la centrifuga se ha tenido en cuenta el gráfico que proporciona el fabricante, donde además aparecen las características de dicha centrifuga (véase Imagen 6).

Type	C3E-4	C4E-4	C5E-4	C7E-4	Z92-4
Materials of construction	All product wetted parts are made of high grade stainless steel such as Duplex stainless steel, 1.4571 (AISI 316 Ti), etc.				
Dimensions*					
L	2 980 mm (118")	3 520 mm (139")	4 100 mm (162")	4 800 mm (189")	5 740 mm (226")
W	940 mm (37")	1 140 mm (45")	1 520 mm (60")	1 720 mm (68")	2 780 mm (110")
H	900 mm (36")	1 030 mm (41")	1 210 mm (48")	1 400 mm (56")	1 730 mm (69")
Gross weight*	1 700 kg 3 750 lb	2 550 kg 5 625 lb	4 700 kg 10 375 lb	8 700 kg 19 200 lb	16 200 kg 35 725 lb
Motor for bowl drive	18.5 kW 25 hp	22–37 kW 30–50 hp	45–75 kW 60–100 hp	90–132 kW 125–200 hp	160–250 kW 250–350 hp
Motor for scroll drive (FLOTTWEG SIMP-DRIVE®)	4 kW 5 hp	7.5 kW 10 hp	15 kW 20 hp	30 kW 40 hp	30–45 kW 40–60 hp
Feed capacity*	10–20 m ³ /h 45–90 gpm	20–40 m ³ /h 90–180 gpm	30–60 m ³ /h 125–250 gpm	60–120 m ³ /h 250–500 gpm	90–180 m ³ /h 400–800 gpm

Imagen 6.- Modelos de centrifugas Flottweg Separation Technology en función de su capacidad hidráulica

Posteriormente, por un lado los lodos que salen de dicha centrifuga irán a otro tanque de almacenamiento previo al filtro banda y el agua extraída de los fangos irá a otro depósito desde donde se bombeará al reactor, las dimensiones de ambos depósitos se detallarán en el siguiente apartado.

Con la colocación de esta centrifuga se consigue que la concentración de sólidos a la salida sea del 30%.

FILTRO BANDA

El filtro de banda elegido es el modelo BS de alta presión, cuyo fabricante es TEFSA y que permite tratar caudales de fangos entre 2 y 33 m³/h.

El volumen del tanque de almacenamiento de lodos previo al filtro banda es de 4,5 m³, por lo tanto si el filtro banda trabaja a un caudal de 10 m³/h, en el periodo invernal estará funcionando durante 12 min al día y en el periodo estival durante 27 min al día.

Con la utilización del filtro de banda, lo que conseguimos es eliminar un 30% más de humedad y, por consiguiente, unas condiciones óptimas para el tratamiento final en las eras de secado.

Dichos lodos serán almacenados en pequeños contenedores para su inmediata distribución a las eras de secado.

Como ocurre en el caso de la centrifuga, el agua extraído es almacenado en el mismo depósito que el que procede de ésta y bombeado al reactor.

ERAS DE SECADO

Debido a la extensión de la parcela donde se va a instalas la EDAR y la cantidad de fangos a tratar se ha decidido instalar unas eras de secado.

Con las eras de secado lo que se consigue es dotar a los fangos de unas características físico-químicas aptas para el empleo de dicho producto como abono en los cultivos de la zona.

Para el dimensionado de las eras se ha recurrido a la siguiente Tabla 13:

TABLA 13.- VALORES TÍPICOS DE LAS SUPERFICIES NECESARIAS PARA LAS ERAS DE SECADO ABIERTAS		
Tipo de fango	Superficie (m²/1.000 hab)	Carga de fango (Kg sólidos secos · m² · año)
Primario digerido	0,15	122 - 146
Primario y humus de filtros percoladores digeridos	0,175	88 - 122
Primario y fango activado en exceso	0,25	58 - 98
Primario y precipitación química digeridos	0,25	98 - 161

Fuente: Metcalf & Eddy. Ingeniería de las aguas residuales.

Por lo tanto, para el periodo invernal, cuando la población es de 4.147 habitantes, la superficie necesaria de eras de secado sería de 378,41 m².

Se ha establecido que cada era de secado tenga una longitud de 25 m y una anchura de 5 m, es por eso por lo que se ha estimado que para el periodo invernal se necesitan 3 eras de secado que ocupan una superficie de 375 m².

En el periodo estival, al haber una mayor población que en el periodo invernal se necesitan 7 eras de secado, cuyas dimensiones son las mismas que las del periodo invernal, ocupando una superficie total de 875 m².

Una vez finalizado el proceso de secado y estabilización del fango en dichas eras, el material resultante se pondrá a disposición de los agricultores de la zona.

7. CONCLUSIÓN

La realización del proyecto de una EDAR para los municipios de Solosancho, Baterna, Villaviciosa y Robledillo se ha fundamentado en el conocimiento de las características que rodean al sistema proyectado.

Para ello se han identificado las características de los municipios, las entradas y las salidas al sistema, las características de las ARU generadas y los requerimientos que se exigen para el vertido de las aguas al río Adaja.

El tratamiento escogido para la realización del dimensionado es un proceso biológico aerobio de membrana, considerando que es una solución óptima y novedosa en el tratamiento de aguas residuales urbanas.

Esta conclusión está avalada por el estudio bibliográfico y los cálculos realizados.

Para el dimensionado de la EDAR se han estudiado todas y cada una de las operaciones unitarias de las que consta el proceso y después se han dimensionado los equipos e instalaciones.

A continuación se resumen algunas de las ventajas por las que se ha escogido este método de depuración de las aguas residuales:

- Es de fácil implementación.
- Se obtienen elevados rendimientos de tratamiento.

- Es un sistema de biomasa en suspensión, por lo tanto, al operador le permite modificar la población microbiana a su antojo para aumentarla mediante la recirculación o disminuirla con la purga. Esto es una ventaja, ya que presenta mayor flexibilidad de operación cuando se presentan grandes variaciones de carga orgánica e hidráulica.
- Sus desechos son menos agresivos que los procedentes de un proceso fisicoquímico.
- Es más respetuosa con el medio ambiente.
- La minimización de residuos (la reutilización del subproducto del fango como abono en la agricultura de la zona) lo cual reduce el impacto ambiental.
- Los costes de mantenimiento, de explotación de instalaciones y de los servicios son muy inferiores si los comparamos con otros tratamientos convencionales.
- La utilización de la tecnología de membranas ofrece una gran fiabilidad, es un proceso aerobio que no genera olores y permite obtener una menor cantidad de fango reduciendo el tamaño del reactor.

En conclusión, la EDAR que se ha dimensionado da buenos resultados, ya que el residuo de origen está bien caracterizado, cumpliendo con la normativa de vertido y siendo las características del efluente las reflejadas en la Tabla 14.

TABLA 14.- CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE			
	Periodo invernal	Periodo estival	Unidades
Población	4.147	9.538	hab
Caudal medio	36,78	84,60	m ³ /h
Carga sólidos (SS)	6,22	14,31	kg/día
Carga DQO	44,68	102,78	kg/día
Carga nitrógeno	3,31	7,61	kg/día
Carga fósforo	0,00	0,00	kg/día
Concentración SS	0,00	0,00	ppm
Concentración DQO	50	50	ppm
Concentración de nitrógeno	3,75	3,75	ppm
Concentración de fósforo	0,00	0,00	ppm

8. BIBLIOGRAFÍA

HERNÁNDEZ MUÑOZ, Aurelio. *Depuración de aguas residuales. Servicio de publicaciones de la Escuela de ingenieros de caminos de Madrid*. Cuarta edición. Colección Señor. 1998. Madrid. ISBN: 978-84-380-0138-7.

HERNÁNDEZ LEHMAN, Aurelio. *Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales*. Segunda Edición. Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. Colección Escuelas. 2000. Madrid. ISBN: 978-84-380-0130-1.

ORTEGA DE MIGUEL, Enrique. *Servicio de Tratamiento y Depuración de Aguas*. Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX)

PÜRSCHHEL, Wolfgang. *El tratamiento de las aguas residuales domésticas (Técnicas de depuración)*. Villar Castejón, Manuel (trad.). Primera edición. Editorial URMO S.A. de Ediciones. 1982. Bilbao. ISBN: 978-84-314-0391-1.

RONZANO, Eduardo; DAPENA, José Luis. *Tratamiento biológico de las aguas residuales*. Primera edición. Ediciones Díaz de Santos S.S. 1995. Madrid. ISBN: 978-84-7978-202-3.

PULIDO CARRILLO José Luis. *Teoría y cálculo de las redes de saneamiento urbanas*. Primera edición. Publicación: Pulido Carrillo, José Luis. 2003. [Ávila]. ISBN: 978-84-930437-1-1.