



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA AMBIENTAL

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

**DISEÑO DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO PARA LA
AMPLIACIÓN SOTERRADA DE LA E.D.A.R. EXISTENTE EN
MORAIRA (ALICANTE)**

Realizado por:

María José Giménez Ascaso

Dirigido por:

D. Joaquín Serralta Sevilla

Curso académico: 2013-2014

Fecha de presentación: julio de 2014

DISEÑO DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO PARA LA
AMPLIACIÓN SOTERRADA DE LA E.D.A.R. EXISTENTE EN
MORAIRA (ALICANTE)

MEMORIA

RESUMEN

RESUMEN

La creciente preocupación por la mejora de la calidad ambiental de nuestro entorno, particularmente por la calidad de las aguas, ha motivado la construcción de nuevas estaciones depuradoras de aguas residuales (E.D.A.R.s) así como la ampliación y/o remodelación de otras muchas ya existentes.

La mejora en el rendimiento de la depuración, con especial énfasis en minimizar la generación de olores, es lo que ha motivado a promover la ampliación soterrada de la depuradora actual de Moraira (Teulada, Alicante) con un tratamiento biológico.

En el presente trabajo se van a proponer diferentes alternativas de sistemas de tratamiento para la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. Cada una de ellas es el resultado de la combinación de distintas operaciones y procesos unitarios de carácter físico, químico y/o biológico encaminados a obtener una calidad final del agua y de los fangos acorde con los condicionantes de vertido establecidos.

Los procesos biológicos contemplados aquí son los incluidos en el modelo BNRM1 (Biological Nutrient Renoval Model, No.1; Seco et al., 2.004) y que tiene implementado el programa DESASS 1.1 (Design and Simulation of Activated Sludge Systems) con el que se van a dimensionar las cuatro alternativas propuestas.

Para seleccionar la alternativa más adecuada se va a realizar un estudio comparativo de las mismas que incluye la estimación de los costes de construcción y explotación de cada una de ellas.

"No se aprecia el valor del agua hasta que se seca el pozo"

(Proverbio inglés)

RESUM

La creixent preocupació per la millora de la qualitat ambiental del nostre entorn, particularment per la qualitat de les aigües, ha motivat la construcció de noves estacions depuradores d'aigües residuals (E.D.A.R.s) així com l'ampliació i/o remodelació de moltes altres ja existents.

La millora en el rendiment de la depuració, amb especial èmfasi a minimitzar la generació d'olors, és el que ha motivat a promoure l'ampliació soterrada de la depuradora actual de Moraira (Teulada, Alacant) amb un tractament biològic.

En el present treball es van a proposar diferents alternatives de sistemes de tractament per a l'ampliació de l'E.D.A.R. de Moraira. Cada una d'elles és el resultat de la combinació de distintes operacions i processos unitaris de caràcter físic, químic i/o biològic encaminats a obtindre una qualitat final de l'aigua i dels fangs d'acord amb els condicionants d'abocament establits.

Els processos biològics contemplats ací són els inclosos en el model BNRM1 (Biological Nutrient Renoval Model, No.1; Sec et al., 2.004) i que té implementat el programa DESASS 1.1 (Design and Simulation of Activated Sludge Systems) amb el que es van a dimensionar les quatre alternatives proposades.

Per a seleccionar l'alternativa més adequada es va a realitzar un estudi comparatiu de les mateixes que inclou l'estimació dels costos de construcció i explotació de cada una d'elles.

“No s'aprecia el valor de l'aigua fins que s'asseca el pou”
(Proverbi anglés)

SUMMARY

The growing concern on the improvement of the environmental quality, in particular the quality of water, has motivated the construction of new Waste Water Treatment Plants (W.W.T.P.) and enlargement of many of existing ones.

The improvement of the performance of the depuration, trying to minimize the generation of foul smelling, is what has motivated the promotion of the underground enlargement of the current treatment plant in Moraira (Teulada, Alicante) through a biological treatment.

In this present work it is going to be proposed different treatment systems alternatives for the enlargement of the W.W.T.P. of Moraira. Each alternative is the result of combining different operations and unitary physical chemical and biological processes in order to obtain a final quality of both water and sludge as per the established discharged conditions.

The biological processes shown in this document are included in the BNRM1 (Biological Nutrient Renoval Model, No.1; Seco et al., 2.004) and they have implemented the software DESASS 1.1 (Design and Simulation of Activated Sludge Systems) the four different proposed alternatives are going to be designed with.

In order to choose the most convenient solution, a comparative analysis is performed including the construction and operating estimated costs for each alternative.

You never miss the water till the well runs dry
(English adage)

ÍNDICE

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN	3
1.1	MARCO DE LA ACTUACIÓN	3
1.2	SISTEMAS DE TRATAMIENTO	5
1.2.1	Definición de sistema de tratamiento	5
1.2.2	Procesos biológicos	6
1.2.2.1	Etapa anaerobia.....	9
1.2.2.2	Etapa anóxica	17
1.2.2.3	Etapa aerobia.....	21
1.2.3	Reactores biológicos de membranas (RBM).....	29
1.2.3.1	Definición de un reactor biológico de membranas	29
1.2.3.2	Tipología de membranas	31
1.2.3.3	Módulos de membranas:.....	33
1.2.3.4	Configuraciones de los RBM.....	39
1.2.3.5	Elección del sistema de membranas.....	41
2	JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVO	45
2.1	JUSTIFICACIÓN.....	45
2.2	OBJETO DEL TRABAJO.....	46
3	METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	49
4	DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	53
4.1	EMPLAZAMIENTO	53
4.1.1	Localización.....	53
4.1.2	Adecuación al planeamiento municipal vigente.....	56
4.1.3	Condicionantes del emplazamiento.....	57
4.2	INSTALACIONES EXISTENTES	58
4.2.1	Implantación general	58
4.2.2	Descripción de la línea de agua	60
4.2.2.1	Pozo de bombeo de agua bruta	60
4.2.2.2	Pretratamiento.....	60
4.2.2.2.1	Desbaste.....	60
4.2.2.2.2	Canal de descarga.....	60

4.2.2.2.3 Desarenado-desengrasado.....	60
4.2.2.3 Medida de caudal	61
4.2.2.4 Tratamiento físico - químico	61
4.2.2.5 Decantación lamelar.....	63
4.2.2.6 Salida de agua tratada	63
4.2.2.7 Bombeo a emisario	64
4.2.3 Descripción de la línea de fangos.....	64
4.2.3.1 Bombeo de fangos en exceso	64
4.2.3.2 Espesamiento de fangos.....	64
4.2.3.3 Estabilización química de fangos	65
4.2.3.4 Deshidratación de fangos.....	65
4.2.3.4.1 Acondicionamiento de los fangos	65
4.2.3.4.2 Deshidratación de los fangos.....	65
4.2.3.4.3 Transporte y almacenamiento de fangos deshidratados.....	66
4.2.4 Descripción del edificio de tratamiento	66
4.2.4.1 Sala de reactivos.....	67
4.2.4.2 Sala de espesamiento y deshidratación	67
4.2.4.3 Sala de desodorización	68
4.2.5 Rendimientos de depuración en la E.D.A.R. de Moraira existente	68
4.2.5.1 Analíticas realizadas en planta.....	68
4.2.5.2 Análisis de los resultados obtenidos en las analíticas para la línea de aguas de la E.D.A.R. de Moraira existente	74
4.2.5.3 Análisis de los resultados obtenidos en las analíticas para la línea de fangos.....	79
4.2.5.4 Caracterización del agua de entrada establecida en el pliego de bases	82
4.2.5.4.1 Caudales de diseño	82
4.2.5.4.2 Carga contaminante del agua de entrada a la planta	83
4.2.5.4.3 Caracterización del agua de entrada	85
5 NORMATIVA APLICABLE Y CRITERIOS DE VERTIDO	91
5.1 NORMATIVA DE APLICACIÓN	91
5.2 CRITERIOS DE VERTIDO	96
5.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE SALIDA	96

5.2.2	CARACTERÍSTICAS DEL FANGO	102
6	ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PROPUESTAS	107
6.1	DEFINICIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS	107
6.2	CONDICIONES TÉCNICAS PARA LAS ALTERNATIVAS DE REACTOR BIOLÓGICO DE MEMBRANA (ALTERNATIVAS N°1, N°2 Y N°3)	109
6.3	DIMENSIONAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS	111
6.3.1	Caracterización del agua de entrada.....	112
6.3.2	Diseño de los elementos comunes a las alternativas.....	126
6.3.2.1	Pretratamiento.....	126
6.3.2.1.1	Pozo de gruesos	126
6.3.2.1.2	Enrejado grueso o Reja	127
6.3.2.1.3	Pozo de bombeo.....	129
6.3.2.1.4	Enrejados finos o Tamices.....	131
6.3.2.1.5	Canal de descarga.....	135
6.3.2.1.6	Desarenadores-Desengrasadores	136
6.3.2.2	Tanque de homogeneización	140
6.3.2.3	Módulos de membrana de fibra hueca de ultrafiltración.....	143
6.3.2.4	Desinfección mediante radiación ultravioleta	147
6.3.2.5	Deshidratación de los fangos	154
6.4	RESULTADOS DE LA ALTERNATIVA N°1	155
6.4.1	Esquema del proceso de la alternativa N°1.....	155
6.4.2	Justificación del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°1	156
6.4.3	Resultados obtenidos con el DESASS para la línea de aguas y la línea de fangos de la alternativa N°1	158
6.5	RESULTADOS DE LA ALTERNATIVA N°2.....	165
6.5.1	Esquema del proceso de la alternativa N°2.....	165
6.5.2	Justificación del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°2.....	166
6.5.3	Resultados obtenidos con el DESASS para la línea de aguas y la línea de fangos de la alternativa N°2	168
6.6	RESULTADOS DE LA ALTERNATIVA N°3.....	173
6.6.1	Esquema del proceso de la alternativa N°3.....	173

6.6.2	Justificación del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°3	174
6.6.3	Resultados obtenidos con el DESASS para la línea de aguas y la línea de fangos de la alternativa N°3.....	176
6.7	RESULTADOS DE LA ALTERNATIVA N°4	180
6.7.1	Esquema del proceso de la alternativa N°4	180
6.7.2	Justificación del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°4	182
6.7.3	Resultados obtenidos con el DESASS para la línea de aguas y la línea de fangos de la alternativa N°4.....	185
7	COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	193
7.1	COMPARACIÓN TÉCNICA DE EFLUENTES Y FANGOS GENERADOS POR CADA UNA DE LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS	193
7.1.1	Características del agua efluente del tratamiento biológico.....	193
7.1.2	Características de los fangos generados en el tratamiento biológico	195
7.2	COMPARACIÓN DE VOLÚMENES, CONSUMOS, SUPERFICIES, RESULTADOS BIOLÓGICOS Y ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES PARA CADA UNA DE LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS	197
7.2.1	Volúmenes de reactores y consumos.....	197
7.2.2	Superficies de los elementos diferenciales de la línea de agua y de la línea de fangos.....	200
7.2.3	Resultados referentes a los procesos biológicos.....	201
7.2.4	Aspectos medioambientales.....	204
7.3	VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS ELEMENTOS DIFERENCIALES DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS	206
7.3.1	Alcance y justificación de la valoración económica	206
7.3.2	Costes diferenciales de construcción y explotación	210
7.4	CUADRO RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS.....	212
8	CONCLUSIONES	217
8.1	CONCLUSIONES OBTENIDAS.....	217
8.2	DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	222
8.3	COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS EFLUENTES ENTRE LA SITUACIÓN ACTUAL Y LA SOLUCIÓN PROPUESTA	226

9 BIBLIOGRAFÍA	233
9.1 BIBLIOGRAFÍA.....	233
9.2 RECURSOS WEB	235

ÍNDICE DE ANEJOS

ANEJO 1: ESTUDIO DETALLADO DE LA NORMATIVA DE APLICACIÓN

**ANEJO 2: MEDICIONES, CUADRO DE PRECIOS Y PRESUPUESTOS
PARCIALES**

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Modelo de lisis-recrecimiento. (FERRER POLO, y otros, 2003 pág. 13) 7

FIGURA 2. Esquema del proceso biológico de acumulación de X_{PHA} a partir de S_A o S_{PRO} con descarga de fosfatos al medio contemplado para las bacterias PAO_S durante la etapa anaerobia. (Elaboración propia) 9

FIGURA 3. Esquema del proceso de hidrólisis contemplado para las bacterias heterótrofas durante la etapa anaerobia. (Elaboración propia) 11

FIGURA 4. Esquema de los procesos de hidrólisis y fermentación (crecimiento de las bacterias acidogénicas) contemplados para las bacterias acidogénicas durante la etapa anaerobia. (Elaboración propia) 12

FIGURA 5. Esquema del proceso de crecimiento de las bacterias acetogénicas contemplado para la etapa anaerobia. (Elaboración propia) 13

FIGURA 6. Esquema del proceso de crecimiento de las bacterias metanogénicas acetoclásticas contemplado para la etapa anaerobia. (Elaboración propia) 14

FIGURA 7. Esquema del proceso de crecimiento de las bacterias metanogénicas hidrogenotróficas contemplado para la etapa anaerobia. (Elaboración propia) 15

FIGURA 8. Esquema de los procesos de hidrólisis y crecimiento de las bacterias heterótrofas a partir de S_F , S_A o S_{PRO} contemplados para condiciones anóxicas. (Elaboración propia) 17

FIGURA 9. Esquema del proceso de crecimiento de las bacterias PAO_S en condiciones anóxicas. (Elaboración propia) 18

FIGURA 10. Esquema del proceso de almacenamiento anóxico de X_{PP} por parte de las bacterias PAO_S . (Elaboración propia) 19

FIGURA 11. Esquema de los procesos de hidrólisis y crecimiento de las bacterias heterótrofas a partir de S_F , S_A o S_{PRO} contemplados para condiciones aerobias. (Elaboración propia) 21

FIGURA 12. Esquema del proceso de crecimiento de las bacterias PAO_S en condiciones aerobias. (Elaboración propia) 22

FIGURA 13. Esquema del proceso de almacenamiento aerobio de X_{PP} por parte de las bacterias PAO_S . (Elaboración propia) 23

FIGURA 14. Esquema del proceso de crecimiento de las bacterias autótrofas (nitrificación) en condiciones aerobias. (Elaboración propia)	24
FIGURA 15. Esquema de los procesos de lisis de las bacterias acumuladoras de polifosfatos X_{PAO} , bacterias heterótrofas X_H , bacterias acidogénicas X_{ACID} , bacterias acetogénicas X_{ACET} , bacterias metanogénicas acetoclásticas X_{MAC} , bacterias metanogénicas hidrogenotróficas X_{MH2} y bacterias autótrofas X_A . (Elaboración propia).....	27
FIGURA 16. Esquema de los procesos de lisis de X_{PHA} y lisis de X_{PP} , componentes intracelulares de las bacterias PAO_S . (Elaboración propia)	27
FIGURA 17. Rangos de filtración de diferentes tipos de membranas. (BORRERO, y otros, 2002 pág. 24)	32
FIGURA 18. Esquema de membranas planas. (HERNÁNDEZ MUÑOZ, 2001 pág. 848)	34
FIGURA 19. Esquema de módulo espiral de una hoja. (HERNÁNDEZ MUÑOZ, 2001 pág. 849)	36
FIGURA 20. Esquema de la circulación de flujos en una membrana tubular. (HERNÁNDEZ MUÑOZ, 2001 pág. 850).....	37
FIGURA 21. Sección de un módulo de fibra hueca. (HERNÁNDEZ MUÑOZ, 2001 pág. 851)	38
FIGURA 22. Configuración de membrana sumergida. (MORALES RODRÍGUEZ, 2010 pág. 27).....	40
FIGURA 23. Configuración de membrana externa. (MORALES RODRÍGUEZ, 2010 pág. 27).....	40
FIGURA 24. Esquema de metodología propuesta. (Elaboración propia).....	50
FIGURA 25. Localización de la E.D.A.R. de Moraira existente y zona de ampliación. (GOOGLE, 2012)	53
FIGURA 26. Emplazamiento de la zona de ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. (GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA D' INFRAESTRUCTURES, TERRITORI I MEDI AMBIENT, 2014).	54
FIGURA 27. Estado actual de los terrenos en los que se localizará la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. Visual desde el camino de la Camarrocha. (Elaboración propia)	55
FIGURA 28. Estado actual de los terrenos en los que se localizará la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. Visual desde el edificio de la E.D.A.R. de Moraira existente. (Elaboración propia)	55
FIGURA 29. Clasificación del suelo existente en el entorno de actuación. (AYUNTAMIENTO DE TEULADA, 2002).....	56

FIGURA 30. Espacios protegidos existentes en el entorno de actuación. (GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA D' INFRAESTRUCTURES, TERRITORI I MEDI AMBIENT, 2014).....	57
FIGURA 31. Diagrama de proceso existente en la E.D.A.R. de Moraira. (GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA DE PRESIDÈNCIA I AGRICULTURA, PESCA, ALIMENTACIÓ I AIGUA. ENTIDAT DE SANEJAMENT D'AIGÜES (E.P.S.A.R.), 2014).....	59
FIGURA 32. Evolución de las concentraciones medias mensuales de sólidos en suspensión (SS) a la entrada y salida de la planta de Moraira existente. (Elaboración propia).....	74
FIGURA 33. Evolución de las concentraciones medias mensuales de demanda biológica de oxígeno (DBO) a la entrada y salida de la planta de Moraira existente. (Elaboración propia)	75
FIGURA 34. Evolución de las concentraciones medias mensuales de demanda química de oxígeno (DQO) a la entrada y salida de la planta de Moraira existente. (Elaboración propia)	75
FIGURA 35. Evolución de las concentraciones medias mensuales de nitrógeno total (NT) a la entrada y salida de la planta de Moraira existente. (Elaboración propia).....	76
FIGURA 36. Evolución de las concentraciones medias mensuales de fósforo total (PT) a la entrada y salida de la planta de Moraira existente. (Elaboración propia).....	76
FIGURA 37. Evolución de los rendimientos medios mensuales de depuración de sólidos en suspensión (SS), demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) en la planta de Moraira existente. (Elaboración propia).....	77
FIGURA 38. Evolución del porcentaje medio mensual de materia volátil (MV) del fango generado en la planta de Moraira existente. (Elaboración propia)	80
FIGURA 39. Evolución del porcentaje medio mensual de materia seca (MS) del fango generado en la planta de Moraira existente. (Elaboración propia)	80
FIGURA 40. Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas referidas en el Artículo 5 del Real Decreto-ley 11/1995. (Cuadro 1 del Anexo I del Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo).....	97
FIGURA 41. Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas realizados en zonas sensibles cuyas aguas sean eutróficas o tengan tendencia a serlo en un futuro próximo. Según la situación	

local, se podrá aplicar uno o los dos parámetros. Se aplicarán el valor de concentración o el porcentaje de reducción. (Cuadro 2 del Anexo del Real Decreto 2116/1998, de 2 de octubre)	98
FIGURA 42. Requisitos adicionales de vertido establecidos en el Pliego de bases técnicas. (GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA DE PRESIDÈNCIA I AGRICULTURA, PESCA, ALIMENTACIÓ I AIGUA. ENTITAT DE SANEJAMENT D'AIGÜES (EPSAR), 2.006)	100
FIGURA 43. Valor límite de concentración de metales pesados en los lodos destinados a su utilización agraria. (Real Decreto 1310/1990, de 29 octubre)	103
FIGURA 44. Parámetros de entrada introducidos en la línea de agua con el DESASS 1.1 para las alternativas N°1, N°2 y N°3. Para el caso de la alternativa N°4 se ha considerado una relación de Q_{punta}/Q_{medio} de 2,547 y una contaminación punta de 1,5 (Elaboración propia)	121
FIGURA 45. Parámetros de entrada introducidos en la línea de agua con el DESASS 1.1 para las alternativas N°1, N°2, N°3 y N°4. (Elaboración propia)	122
FIGURA 46. Constantes estequiométricas introducidas en el DESASS 1.1 (Elaboración propia)	123
FIGURA 47. Características del agua de entrada con las constantes estequiométricas ajustadas para las alternativas N°1, N°2 y N°3. DESASS 1.1. (Elaboración propia).....	124
FIGURA 48. Características del agua de entrada con las constantes estequiométricas ajustadas para la Alternativa N°4. DESASS1.1. (Elaboración propia).....	124
FIGURA 49. Características del agua de entrada con las constantes estequiométricas ajustadas para las cuatro alternativas. DESASS1.1. (Elaboración propia).....	125
FIGURA 50. Características del agua de entrada con las constantes estequiométricas ajustadas para las cuatro alternativas. DESASS1.1. (Elaboración propia).....	125
FIGURA 51. Esquema de funcionamiento del tamiz rotativo propuesto. (AGUAS DEL MARE NOSTRUM, S.L.).....	132
FIGURA 52. Cuadro de capacidades de paso de agua en m^3/h en función del modelo de tamiz rotativo y de la luz de paso. (AGUAS DEL MARE NOSTRUM, S.L.).....	134
FIGURA 53. Imagen del modelo de tamiz rotativo AMN 6200. (AGUAS DEL MARE NOSTRUM, S.L.)	134
FIGURA 54. Especificaciones técnicas de los módulos de membranas de fibra hueca. (KOCH MEMBRANE SYSTEMS)	145

FIGURA 55. Especificaciones técnicas de los módulos de membranas de fibra hueca. (KOCH MEMBRANE SYSTEMS).....	146
FIGURA 56. Esquema de la disposición en un canal de las lámparas y módulos del sistema de radiación ultravioleta propuesto. (Elaboración propia).....	153
FIGURA 57. Diagrama de bloques de proceso propuesto como alternativa de tratamiento N°1 para la E.D.A.R. de Moraria. (Composición elaborada a partir de bloques de procesos obtenidos de la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales)	155
FIGURA 58. Esquema del tratamiento biológico propuesto en la Alternativa N°1 para la línea de agua en la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia)	157
FIGURA 59. Esquema de los procesos biológicos simulados para la Alternativa N°1 mediante DESASS 1.1. (Elaboración propia) ...	159
FIGURA 60. Condiciones de vertido introducidas en el DESASS 1.1. (Elaboración propia).....	159
FIGURA 61. Características del agua residual urbana influente y efluente del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°1. (Elaboración propia).....	163
FIGURA 62. Diagrama de bloques de proceso propuesto como Alternativa N°2 para la E.D.A.R. de Moraria. (Composición elaborada a partir de bloques de procesos obtenidos de la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales)	166
FIGURA 63. Esquema del tratamiento biológico propuesto en la alternativa N°2 para la línea de agua en la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia)	167
FIGURA 64. Esquema de los procesos biológicos simulados para la Alternativa N°2 mediante DESASS 1.1. (Elaboración propia) ...	168
FIGURA 65. Características del agua residual urbana influente y efluente del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°2. (Elaboración propia).....	172
FIGURA 66. Diagrama de bloques de proceso propuesto como alternativa N°3 para la E.D.A.R. de Moraria. (Composición elaborada a partir de bloques de procesos obtenidos de la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales)	173
FIGURA 67. Esquema del tratamiento biológico propuesto en la alternativa N°3 para la línea de agua en la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia)	175
FIGURA 68. Esquema de los procesos biológicos simulados para la Alternativa N°3 mediante DESASS 1.1. (Elaboración propia) ...	176

FIGURA 69. Características del agua residual urbana influente y efluente del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°3. (Elaboración propia).....	179
FIGURA 70. Diagrama de bloques de proceso propuesto como alternativa N°4 para la E.D.A.R. de Moraria. (Composición elaborada a partir de bloques de procesos obtenidos de la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales).....	182
FIGURA 71. Esquema del tratamiento biológico propuesto en la alternativa N°4 para la línea de agua en la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia)	184
FIGURA 72. Esquema de los procesos biológicos simulados para la alternativa N°4 mediante DESASS 1.1. (Elaboración propia)....	185
FIGURA 73. Características del agua residual urbana influente y efluente del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°4. (Elaboración propia).....	188
FIGURA 74. Porcentajes de eliminación de parámetros de caracterización obtenidos para las cuatro alternativas de tratamiento planteadas. (Elaboración propia).....	194
FIGURA 75. Características del fango generado en el tratamiento biológico por las alternativas previstas para la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia).	196
FIGURA 76. Representación gráfica de los volúmenes de reactores propuestos para las alternativas de tratamiento de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia).	198
FIGURA 77. Resultados del efluente obtenidos en DESASS 1.1 para el reactor anaerobio en el caso de la alternativa N°1. (Elaboración propia).	203
FIGURA 78. Resultados del efluente obtenidos en DESASS 1.1 para el reactor anaerobio en el caso de la alternativa N°4. (Elaboración propia).	204
FIGURA 79. Costes anuales diferenciales en euros/año de las 4 alternativas planteadas. (Elaboración propia).	211
FIGURA 80. Comparación entre los porcentajes de depuración existentes en la E.D.A.R. actual y los previstos por la solución propuesta para ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia).	227
FIGURA 81. Comparación entre las características de los fangos generados en la E.D.A.R. actual y las características de los fangos previstos por la solución propuesta para ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia).	228

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Inversiones por zonas de saneamientos (en miles de €) previstas en el II Plan Director de Saneamiento de la Comunidad Valenciana. (GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA DE PRESIDÈNCIA I AGRICULTURA, PESCA, ALIMENTACIÓ I AIGUA, 2003).....	4
TABLA 2. Comparación de diferentes tipos de módulos de membranas. (HERNÁNDEZ MUÑOZ, 2001 pág. 852).....	39
TABLA 3. Comparación entre las configuraciones sumergida y externa de los biorreactores de membrana. (MOLINA MUÑOZ, 2007 pág. 10).....	41
TABLA 4. Medias mensuales de partes de analítica realizados en la E.D.A.R. de Moraira existente. (GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA DE PRESIDÈNCIA I AGRICULTURA, PESCA, ALIMENTACIÓ I AIGUA. ENTIDAT DE SANEJAMENT D'AIGÜES (E.P.S.A.R.))	70
TABLA 5. Medias mensuales de partes de analítica realizados en la E.D.A.R. de Moraira existente. (GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA DE PRESIDÈNCIA I AGRICULTURA, PESCA, ALIMENTACIÓ I AIGUA. ENTIDAT DE SANEJAMENT D'AIGÜES (E.P.S.A.R.))	71
TABLA 6. Resumen de las medias mensuales de partes de analítica realizados en la E.D.A.R. de Moraira existente. (Elaboración propia).....	73
TABLA 7. Tabla de características de las aguas residuales urbanas. (FERRER POLO, y otros, 2011).....	86
TABLA 8. Tabla de características de las aguas residuales urbanas. (METCALF & EDDY, 2003).....	86
TABLA 9. Tablas de características de las aguas residuales urbanas. (HERNÁNDEZ MUÑOZ, 2001 pág. 4 y 5).....	87
TABLA 10. Criterios de calidad para la reutilización de las aguas según sus usos: Riego de parques y jardines. (Anexo I A del Real Decreto 1620/2007, de 7 diciembre, donde se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas)....	100
TABLA 11. Resumen de las características requeridas para el agua de salida de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia).....	101
TABLA 12. Resumen de las características requeridas para el fango generado en la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia)	104
TABLA 13. Parámetros de caracterización del agua influente considerados en el modelo implementado en el DESASS 1.1 (CALAGUA. Manual y software DESASS 1.1)	114

TABLA 14. Resultados obtenidos para las relaciones tipo I (entre datos experimentales). (SÁNCHEZ RAMÍREZ, 2008 pág. 71).....	116
TABLA 15. Resultados obtenidos para las relaciones tipo II (cuando no se dispone de datos experimentales). (SÁNCHEZ RAMÍREZ, 2008 pág. 77)	116
TABLA 16. Caracterización del agua de entrada al tratamiento biológico en formato ASM2d. (Elaboración propia)	120
TABLA 17. Características del pozo de gruesos. (PLIEGO. 2006).....	127
TABLA 18. Características del enrejado grueso. (PLIEGO. 2006)	128
TABLA 19. Características de la cámara de elevación y sistema de bombeo. (PLIEGO. 2006).....	130
TABLA 20. Características de los tamices propuestos. (AGUAS DEL MARE NOSTRUM, S.L.)	135
TABLA 21. Características del canal de descarga. (PLIEGO. 2006).....	136
TABLA 22. Características de los desarenadores-desengrasadores aireados (PLIEGO. 2006)	138
TABLA 23. Características de los desarenadores-desengrasadores aireados (continuación). (PLIEGO. 2006).....	139
TABLA 24. Características del tanque de laminación propuesto para las alternativas N°1, N°2 y N°3. (Elaboración propia)	142
TABLA 25. Valores de la intensidad media nominal y de diseño al año (I) desarrolladas por un banco Trojan de lámparas ultravioletas, con un mínimo de 16 lámparas, orientadas en una matriz de 4x4. Método Trojan SPSS de cálculo de la intensidad media (TROJAN TECHNOLOGIES)	149
TABLA 26. Dosis de diseño ultravioleta Trojan en función de los sólidos suspendidos. Basadas en tratamientos biológicos de cultivos en suspensión y 30 días de media geométrica de coliformes fecales. (TROJAN TECHNOLOGIES).....	150
TABLA 27. Módulos de ultravioleta proporcionados por el fabricante Trojan. (TROJAN TECHNOLOGIES)	150
TABLA 28. Características del sistema de desinfección por radiación ultravioleta propuesto. (Elaboración propia)	154
TABLA 29. Características del agua residual urbana influente y efluente del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°1. Temperatura de diseño de 15°C. (Elaboración propia)	163
TABLA 30. Resumen de las características del fango efluente del sistema de tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°1. (Elaboración propia).....	165

TABLA 31. Características del agua residual urbana influente y efluente del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°2. Temperatura de diseño de 15°C. (Elaboración propia).....	171
TABLA 32. Resumen de las características del fango efluente del sistema de tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°2. (Elaboración propia).....	172
TABLA 33. Características del agua residual urbana influente y efluente del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°3. Temperatura de diseño de 15°C. (Elaboración propia).....	179
TABLA 34. Resumen de las características del fango efluente del sistema de tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°3. (Elaboración propia).....	180
TABLA 35. Características del agua residual urbana influente y efluente del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°4. Temperatura de diseño de 15°C. (Elaboración propia).....	188
TABLA 36. Resumen de las características del fango efluente del sistema de tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°4. (Elaboración propia).....	189
TABLA 37. Volúmenes de reactores propuestos para las alternativas de tratamiento de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia).....	197
TABLA 38. Consumos energéticos de las soplantes requeridos para las alternativas de tratamiento de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia).....	199
TABLA 39. Resumen las superficies ocupadas en planta por los elementos de la línea de agua y de la línea de fangos que difieren para las cuatro alternativas de tratamiento propuestas para la ampliación de la E.D.A.R. De Moraira. (Elaboración propia).....	200
TABLA 40. Resumen de los costes económicos diferenciales de las alternativas planteadas. (Elaboración propia).....	210
TABLA 41. Cuadro resumen de características y resultados de las alternativas de tratamiento planteadas para la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia).....	213
TABLA 42. Cuadro resumen de características y resultados de las alternativas de tratamiento planteadas para la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. (Continuación). (Elaboración propia)...	214
TABLA 43. Cuadro resumen de características de la solución propuesta para la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira (Alicante). (Elaboración propia).....	225

TABLA 44. Cuadro resumen de características de la solución propuesta para la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira (Alicante). (Elaboración propia)	226
TABLA 45. Valores influente, efluente y porcentajes de eliminación para la E.D.A.R. actual de Moraira (Alicante). (Entidad pública de saneamiento de aguas residuales, E.P.S.A.R.)	226
TABLA 46. Valores influente, efluente y porcentajes de eliminación previstos para la solución de ampliación de la E.D.A.R. de Moraira (Alicante). (Elaboración propia)	227
TABLA 47. Características del fango generado por la E.D.A.R. actual de Moraira (Alicante). (Entidad pública de saneamiento de aguas residuales, E.P.S.A.R.)	228
TABLA 48. Características del fango previsto para la solución propuesta de ampliación de la E.D.A.R. de Moraira (Alicante). (Elaboración propia)	228

ACRÓNIMOS Y NOMENGLATURA

ASM2d	Activated Sludge Model N°2d
BNRM1	Biological Nutrient Renoval Model N°1
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DBO ₅	Demanda biológica de oxígeno a los 5 días
DQO	Demanda química de oxígeno
DESASS	Design and simulation of activated sludge systems
E.D.A.R	Estación depuradora de aguas residuales
E.P.S.A.R	Entidad pública de saneamiento de aguas residuales
F _{punta}	Factor o coeficiente de punta
IGN	Instituto Geográfico Nacional
Q _{medio diario}	Caudal medio diario
Q _{medio horario}	Caudal medio horario
Q _{punta}	Caudal punta o máximo
NT	Nitrógeno total
PT	Fósforo total
RBM	Reactor biológico de membranas
S	Materia soluble o disuelta
S _A	Ácidos grasos de cadena corta (ácido acético)
S _{CH4}	Metano
S _F	Materia orgánica fermentada
S _{H2}	Hidrógeno
S _I	Materia orgánica inerte
S _{N2}	Nitrógeno gaseoso
S _{NH4}	Amonio más nitrógeno amoniacal
S _{NO3}	Nitrato más nitrito
S _{O2}	Oxígeno disuelto
S _{PO4}	Fósforo soluble inorgánico (ortofosfatos)
S _{PRO}	Productos de la fermentación excluyendo el ácido acético (ácido propiónico, butírico, valérico...)

SS	Sólidos en suspensión
SST	Sólidos suspendidos totales
SSV	Sólidos suspendidos volátiles
SSVB	Sólidos suspendidos volátiles biodegradables
SSVNB	Sólidos suspendidos volátiles no biodegradables
θ_c	Tiempo de retención celular
θ	Tiempo de retención hidráulico
X	Materia suspendida
X_{ACET} , X_{PRO}	Bacterias acetogénicas
X_{ACID}	Bacterias acidogénicas
X_{AUT}	Organismos nitrificantes autótrofos
X_H	Organismos heterótrofos
X_I	Materia orgánica inerte
X_{MAC}	Bacterias metanogénicas acetoclásticas
X_{MH2}	Bacterias metanogénicas hidrogenotróficas
X_{PAO}	Organismos acumuladores de polifosfatos
X_{PHA}	Producto almacenado intracelularmente en los organismos acumuladores de polifosfatos (poli-hidroxi-alcanoatos, glicógeno...)
X_{PP}	Polifosfatos
X_S	Materia suspendida lentamente biodegradable

INTRODUCCIÓN

1 INTRODUCCIÓN

1.1 MARCO DE LA ACTUACIÓN

En la actualidad las aguas residuales del término municipal de Teulada (Alicante), con 14.452 habitantes (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA INE, 2013), son tratadas en las plantas de Teulada, Tros de Benavent y Moraira, situadas todas en el Término Municipal de Teulada. Las aguas residuales generadas por el núcleo urbano de Moraira, de 1.779 habitantes (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA INE, 2013) se tratan en la depuradora Teulada (Moraira) ubicada a escasos 200 metros de la conocida playa de “L’Ampolla” y muy cerca del recinto ferial.

La planta de Teulada (Moraira), de acuerdo a los datos de funcionamiento de 2.012 indicados por la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana (E.P.S.A.R.), trata un caudal de 1.058 m³/día y sirve a una población de 7.637 h-e (habitantes equivalentes¹) (ENTIDAT DE SANEJAMENT D'AIGÜES E.P.S.A.R., 2014). La potencia actual total instalada es de 232 kW. El tratamiento de su línea de aguas está compuesto por un pretratamiento convencional (desbaste y desarenador-desengrasador) y un tratamiento físico-químico seguido de una decantación. Los fangos son espesados por gravedad y deshidratados mediante centrífuga. La planta se encuentra totalmente encerrada en un edificio desodorizado mediante un sistema de oxidación por ozono.

La creciente preocupación de la Administración por la mejora de la calidad ambiental de la zona ha motivado que se promueva el cambio de la tipología de tratamiento así como un aumento en la capacidad de depuración, todo ello en orden a mejorar el rendimiento con especial énfasis

¹ En virtud del Artículo 2. Definiciones del REAL DECRETO-LEY 11/1995, de 28 diciembre, por el que se establecen las Normas aplicables al tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas, se define: 1 h-e (habitante equivalente): La carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de 5 días (DBO₅), de 60 gramos de oxígeno por día.

en minimizar la generación de olores que se puedan trasladar al entorno. Este motivo, junto al hecho de que el tratamiento físico-químico no permite la eliminación de nutrientes, ni tan siquiera de toda la materia orgánica biodegradable, ha llevado a promover la ampliación de la depuradora con un tratamiento biológico.

La presente actuación se enmarca dentro del II Plan director de Saneamiento y Depuración de la Comunidad Valenciana en el apartado de ampliación de sistemas entre 2.000-15.000 h-e. Una de las actuaciones contempladas en dicho Plan (ver inversiones previstas en **TABLA 1**) es la construcción de una ampliación de la E.D.A.R. de Moraira existente para mejorar los vertidos al emisario y consecuentemente aumentar la calidad de las aguas de baño en la playa de Moraira.

TABLA 1. Inversiones por zonas de saneamientos (en miles de €) previstas en el II Plan Director de Saneamiento de la Comunidad Valenciana. (GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA DE PRESIDÈNCIA I AGRICULTURA, PESCA, ALIMENTACIÓ I AIGUA, 2003)

ZONA XII

SISTEMA DE SANEAMIENTO	PRESUPUESTO SEGÚN PROGRAMAS					PRESUP. TOTAL
	COLEC.	SIST. TRATAM.	REDUC. NUT.	FANGOS	REUTIL.	
CALP	2404				1022	3426
DÉNIA-ONDARA-PEDREGUER	5330	697	1200		2000	9227
EL VERGER-DÉNIA	1990	2225				4215
ELS POBLETS-EL VERGER	1202	1803				3005
GATA DE GORGOS		1503	180			1683
PÉGO	1082				361	1443
TEULADA (casco)	301	841				1142
TEULADA (Moraira)	1202	2204	201		361	3968
XÀBIA	9681			3606	1202	14489
XALÓ (Cuenca del Jalón)	600					600
ALTEA	601		1082		721	2404
BENIDORM-ALFÀS DEL PI	6461		3606		18030	28097
LA VILA JOIOSA	3606	8432	541		1262	13841
TOTAL ZONA XII						87540

1.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO

1.2.1 Definición de sistema de tratamiento

Un sistema de tratamiento de aguas residuales es el resultado de la combinación de operaciones y procesos unitarios de carácter físico, químico y/o biológico, encaminados a obtener una calidad final del agua y de los fangos acorde con los parámetros o condicionantes de vertido establecidos.

La elección de las operaciones y procesos unitarios que constituirán el sistema de tratamiento depende de varios factores (METCALF & EDDY, 1.996):

- Potencial de aplicación del proceso
- Intervalo del caudal aplicable
- Variación del caudal aplicable
- Características del agua a tratar
- Limitaciones climáticas y ambientales
- Cinética de reacción y selección del reactor
- Eficacia
- Residuos del tratamiento
- Tratamiento del fango
- Necesidades químicas, energéticas, de otros recursos
- Necesidades personales, de explotación y mantenimiento
- Procesos auxiliares
- Complejidad, compatibilidad
- Disponibilidad de espacio

Para el caso que nos compete, en la definición del sistema de tratamiento objeto del presente trabajo los factores determinantes van a ser:

- Las instalaciones existentes en la actualidad en la E.D.A.R. de Moraira.
- La calidad final de agua y fangos, que viene marcada por las exigencias de la normativa vigente y del *Pliego de bases técnicas para el concurso de proyecto y ejecución de obra del tratamiento terciario de la E.D.A.R. de Moraira (Alicante) e instalaciones de reutilización de agua tratada*, en adelante Pliego, formulado por la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales, E.P.S.A.R.

En el citado Pliego se indica que el tipo de proceso de depuración biológica a utilizar como solución base será un tratamiento avanzado con membranas y desinfección ultravioleta.

En los siguientes apartados se explica el fundamento de los procesos biológicos en los que se va a sustentar el diseño de los diferentes sistemas de tratamiento biológicos propuestos, así como el fundamento de la separación del fango mediante tratamientos de membrana (reactor biológico de membranas, RBM).

1.2.2 Procesos biológicos

La utilización de materia orgánica y/o nutrientes por parte de los microorganismos en los procesos de síntesis o crecimiento celular constituye el fundamento de la depuración biológica de las aguas residuales, siempre teniendo en cuenta que la biomasa generada se debe separar del efluente depurado.

Los procesos biológicos que van a tener lugar se simplifican de acuerdo al modelo de lisis-recrecimiento, cuyo esquema se indica en la **FIGURA 1**:

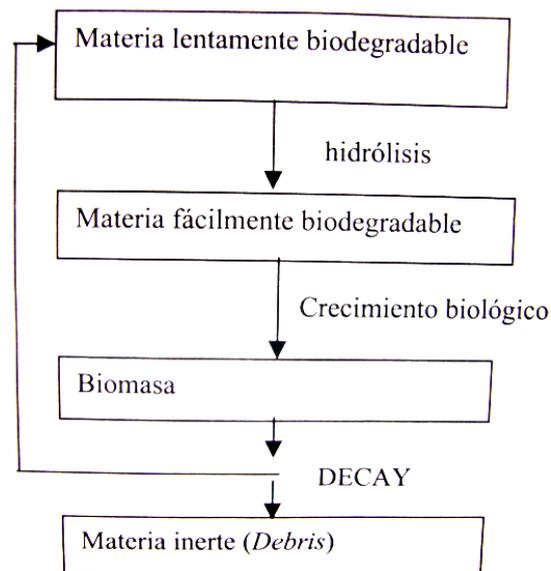


FIGURA 1. Modelo de lisis-recrecimiento. (FERRER POLO, y otros, 2003 pág. 13)

Dicho modelo incluye la hidrólisis o transformación de moléculas de gran tamaño (materia lentamente biodegradable) en moléculas pequeñas, directamente degradables, mediante la acción de enzimas extracelulares producidas por los microorganismos. Estas moléculas pequeñas (materia fácilmente biodegradable) serán utilizadas por los propios microorganismos como sustrato para su propio crecimiento, generando así más biomasa.

La desaparición de la biomasa (Decay) se produce, por una parte, debida a la predación de otros organismos superiores en la cadena trófica, debida al propio mantenimiento celular cuando se degradan las reservas de energía existentes en el interior de la célula (metabolismo endógeno) y debida también a la muerte de las células. La muerte de las células supone la rotura de la pared celular (Lisis), de manera que los constituyentes de la célula pasan al medio. El modelo de lisis-recrecimiento contempla que toda la biomasa puede sufrir el proceso de lisis, aunque a velocidades diferentes dependiendo del tipo de organismo, generando materia orgánica particulada hidrolizable y un residuo inerte denominado Debris. La materia orgánica

particulada es hidrolizada a materia orgánica soluble que utilizará la biomasa activa para su crecimiento.

En los siguientes apartados se van a describir los principales procesos biológicos que pueden tener lugar en cada una de las etapas previstas para el reactor biológico (anaerobia-anóxica-aerobia). Los procesos biológicos contemplados en el presente trabajo son los incluidos en el modelo BNRM1 (Biological Nutrient Renoval Model, No.1; Seco et al., 2.004) que tiene implementado el programa DESASS 1.1 (Design and Simulation of Activated Sludge Systems) con el que se van a dimensionar los sistemas de tratamiento propuestos.

1.2.2.1 Etapa anaerobia

En la etapa anaerobia, que se caracteriza por la ausencia de oxígeno y de nitratos en el medio, las bacterias PAOs (X_{PAO}) (bacterias acumuladoras de polifosfatos) son capaces de absorber ácidos grasos de cadena corta, fundamentalmente ácido acético (S_A) y también ácido propiónico (S_{PRO}) y almacenarlos intracelularmente como poli-hidroxi-butirato PHB y otros poli-hidroxi-alcanoatos PHAs (X_{PHA}). La energía necesaria para el almacenamiento de los ácidos grasos la obtienen a través de la descomposición de los polifosfatos (X_{PP}), generando la descarga de fosfatos (S_{PO_4}) al medio. La representación de este proceso se muestra en la **FIGURA 2**:

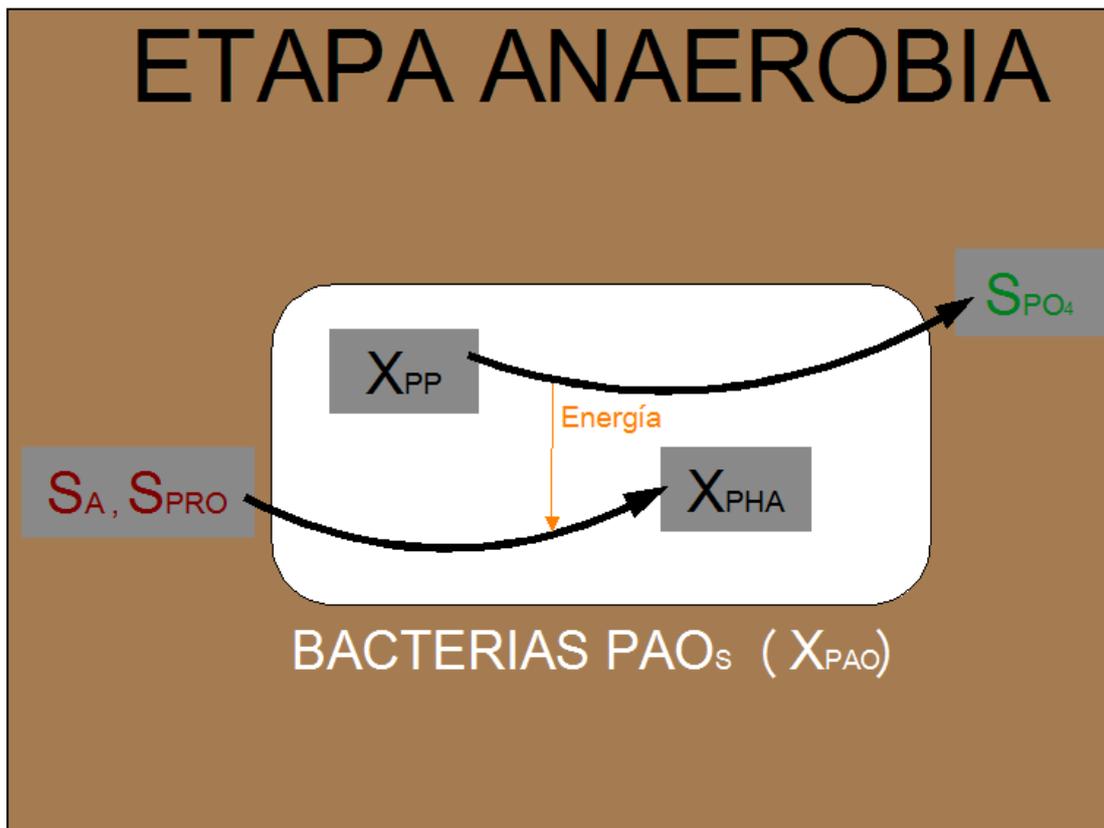


FIGURA 2. Esquema del proceso biológico de acumulación de X_{PHA} a partir de S_A o S_{PRO} con descarga de fosfatos al medio contemplado para las bacterias PAO_S durante la etapa anaerobia. (Elaboración propia)

Este proceso de acumulación de X_{PHA} por parte de las bacterias PAO_S también se puede dar en condiciones aerobias o anóxicas, pero en estos casos las bacterias heterótrofas son capaces de absorber los ácidos grasos de cadena corta más rápidamente que las bacterias PAO_S , ralentizando así la acumulación de X_{PHA} por parte de las PAO_S .

Por tanto, es en la etapa anaerobia donde las bacterias PAO_S tienen una ventaja respecto de otras bacterias no acumuladoras y es que aunque no puedan crecer (porque para ello requieran de otra etapa aerobia), la ausencia de oxígeno o de nitratos favorece la captación intracelular de sustrato por parte de las bacterias PAO_S frente a otras bacterias heterótrofas.

El incremento de fosfatos en el medio que se produce en esta etapa anaerobia se verá compensado en las fases posteriores, anóxica y aerobia, en las que las propias bacterias PAO_S van a captar fosfatos del medio en cantidades superiores a las descargadas en la etapa anaerobia. De esta manera a nivel global se va a generar una eliminación neta del nutriente fósforo. El elevado contenido en fósforo de estas bacterias acumuladoras les confiere además unas excelentes características de sedimentabilidad.

En condiciones anaerobias las bacterias heterótrofas² (X_H) presentes en el medio también pueden ser capaces, aunque en este caso su contribución sea mínima, de hidrolizar la materia orgánica particulada o lentamente biodegradable (X_S), produciendo enzimas extracelulares capaces de transformar moléculas de gran tamaño en moléculas más pequeñas directamente degradables (S_F) así como materia orgánica inerte disuelta (S_I). Se puede suponer además que los procesos de hidrólisis liberan el nitrógeno y fósforo contenido en la materia orgánica lentamente biodegradable en forma de amonio (S_{NH_4}) y fosfato (S_{PO_4}) respectivamente. (Ver **FIGURA 3**)

² Los organismos heterótrofos son aquellos que utilizan como fuente de carbono y como dador de electrones la materia orgánica.



FIGURA 3. Esquema del proceso de hidrólisis contemplado para las bacterias heterótrofas durante la etapa anaerobia. (Elaboración propia)

La hidrólisis anaerobia es generalmente un proceso más lento que la hidrólisis aerobia.

Por otra parte, si el tiempo de retención celular es el suficiente y las condiciones de temperatura y pH son las adecuadas (en torno a 35°C y pH entre 6 y 8), se pueden desarrollar en el tanque anaerobio las bacterias acidogénicas (responsables de la hidrólisis y de la fermentación), e incluso también podrían desarrollarse las bacterias acetogénicas y las bacterias metanogénicas (entre las que incluiremos a las acetoclásticas y las hidrogenotróficas responsables de la metanogénesis), aunque éstas últimas, a diferencia de las acidogénicas, raramente se desarrollan en un sistema de fangos activados. Estas bacterias llevarán asociado un consumo de materia orgánica y sólo eliminarán nitrógeno en forma de amonio (S_{NH_4}) y fósforo en forma de fosfato (S_{PO_4}) como nutrientes requeridos en la síntesis de microorganismos.

Las bacterias acidogénicas (X_{ACID}) son las responsables en su proceso de crecimiento de la fermentación, transformando en condiciones anaerobias la materia orgánica fermentable (S_F) en ácidos grasos volátiles (S_A y S_{PRO}). Otro de los productos resultantes de la fermentación es el hidrógeno (S_{H_2}), aunque su producción en estas reacciones es pequeña. Por otra parte, las bacterias acidogénicas también pueden hidrolizar en condiciones anaerobias la materia orgánica particulada o lentamente biodegradable (X_S), produciendo enzimas extracelulares capaces de transformar moléculas de gran tamaño en moléculas más pequeñas directamente degradables (S_F) así como materia orgánica inerte disuelta (S_I). Se puede suponer además que los procesos de hidrólisis liberan el nitrógeno y fósforo contenido en la materia orgánica lentamente biodegradable en forma de amonio (S_{NH_4}) y fosfato (S_{PO_4}) respectivamente. (Ver **FIGURA 4**)

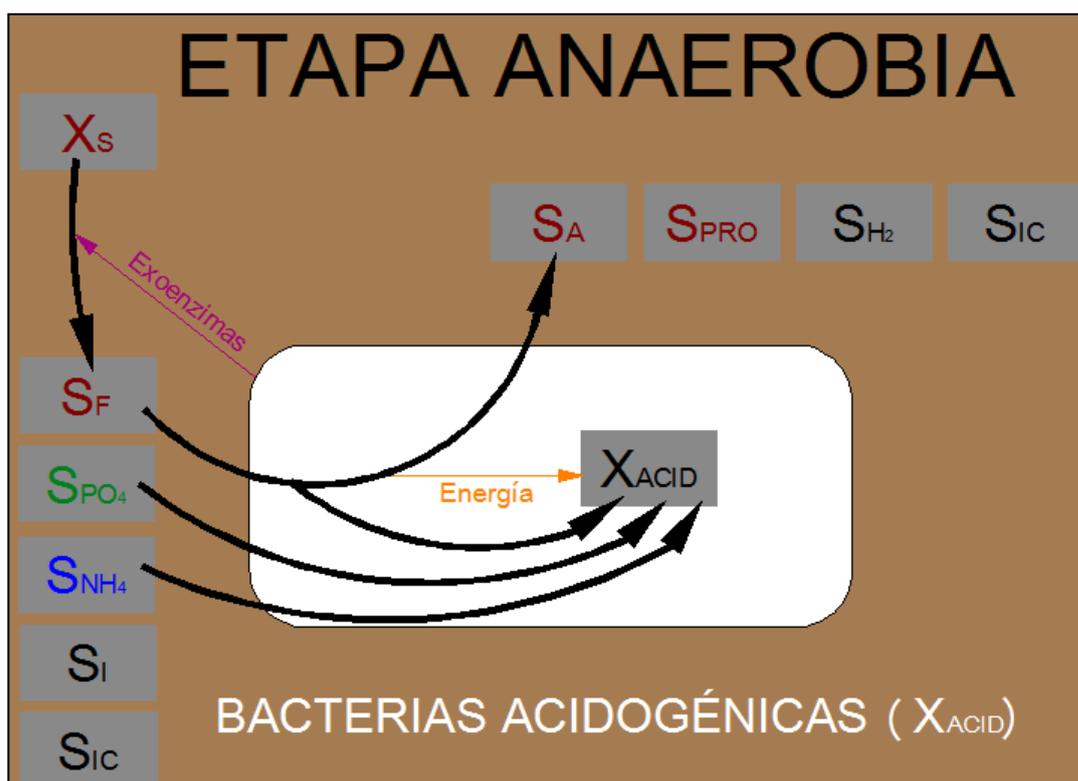


FIGURA 4. Esquema de los procesos de hidrólisis y fermentación (crecimiento de las bacterias acidogénicas) contemplados para las bacterias acidogénicas durante la etapa anaerobia. (Elaboración propia)

Las bacterias acetogénicas (X_{ACET}) serán las responsables en su proceso de crecimiento de la transformación de los ácidos grasos volátiles (S_{PRO}) en ácido acético (S_A) e hidrógeno (S_{H_2}), precursores del metano. (Ver **FIGURA 5**)

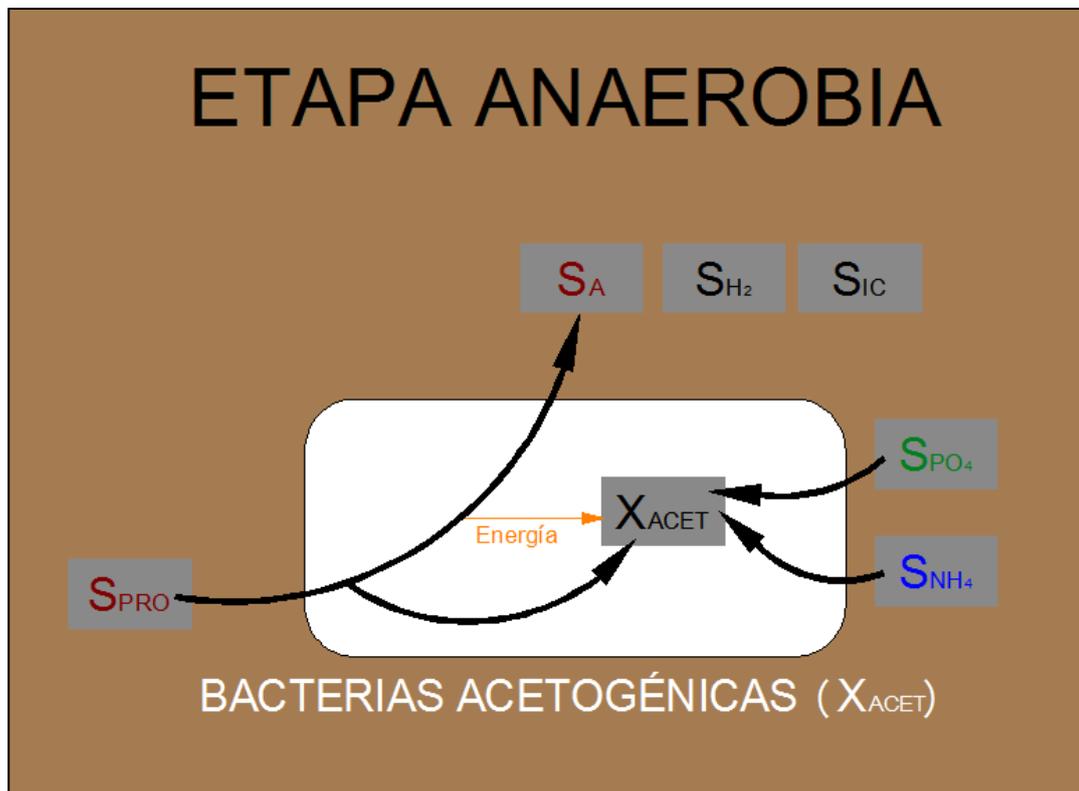


FIGURA 5. Esquema del proceso de crecimiento de las bacterias acetogénicas contemplado para la etapa anaerobia. (Elaboración propia)

Las bacterias metanogénicas acetoclásticas (X_{MAC}) son organismos anaerobios estrictos y van a ser los responsables de la conversión del ácido acético (S_A) en metano (S_{CH_4}). Como producto de esta reacción se obtienen dióxido de carbono (S_{IC}). (Ver **FIGURA 6**).

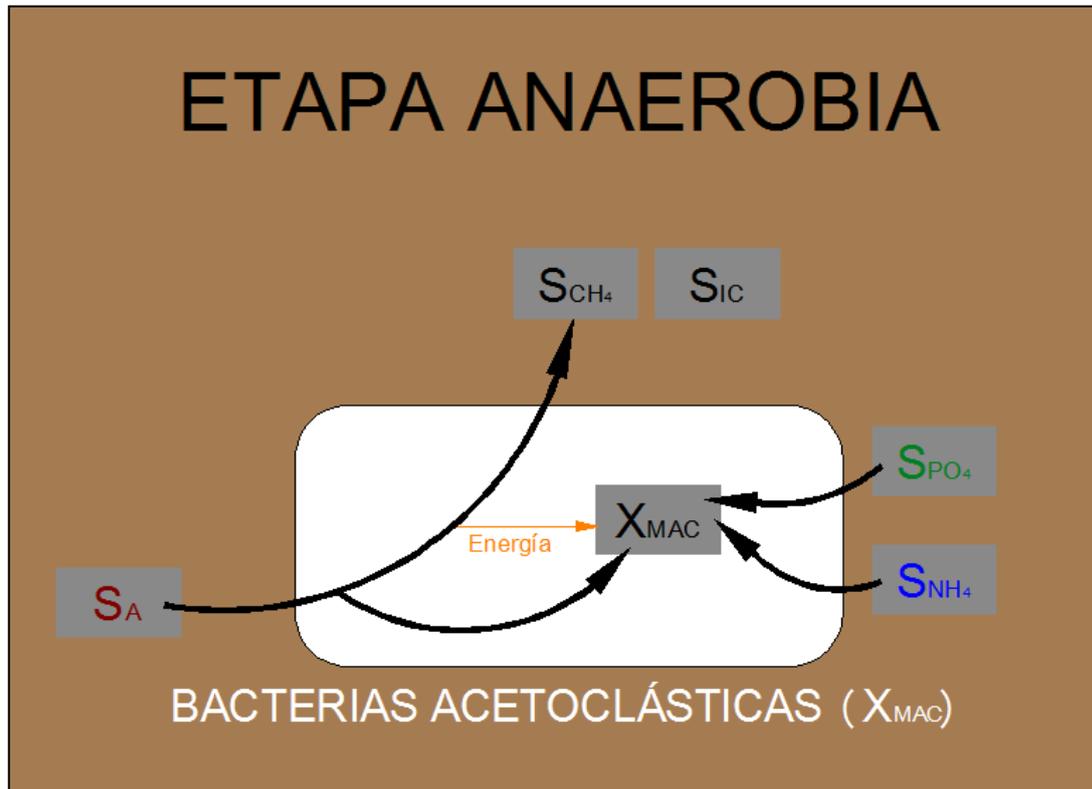


FIGURA 6. Esquema del proceso de crecimiento de las bacterias metanogénicas acetoclásticas contemplado para la etapa anaerobia. (Elaboración propia)

Las bacterias metanogénicas hidrogenotróficas (X_{MH_2}) son organismos anaerobios estrictos y van a ser los responsables de la conversión del hidrógeno (S_{H_2}) en metano (S_{CH_4}). Esta reacción requiere además de dióxido de carbono (S_{IC}). (Ver **FIGURA 7**)

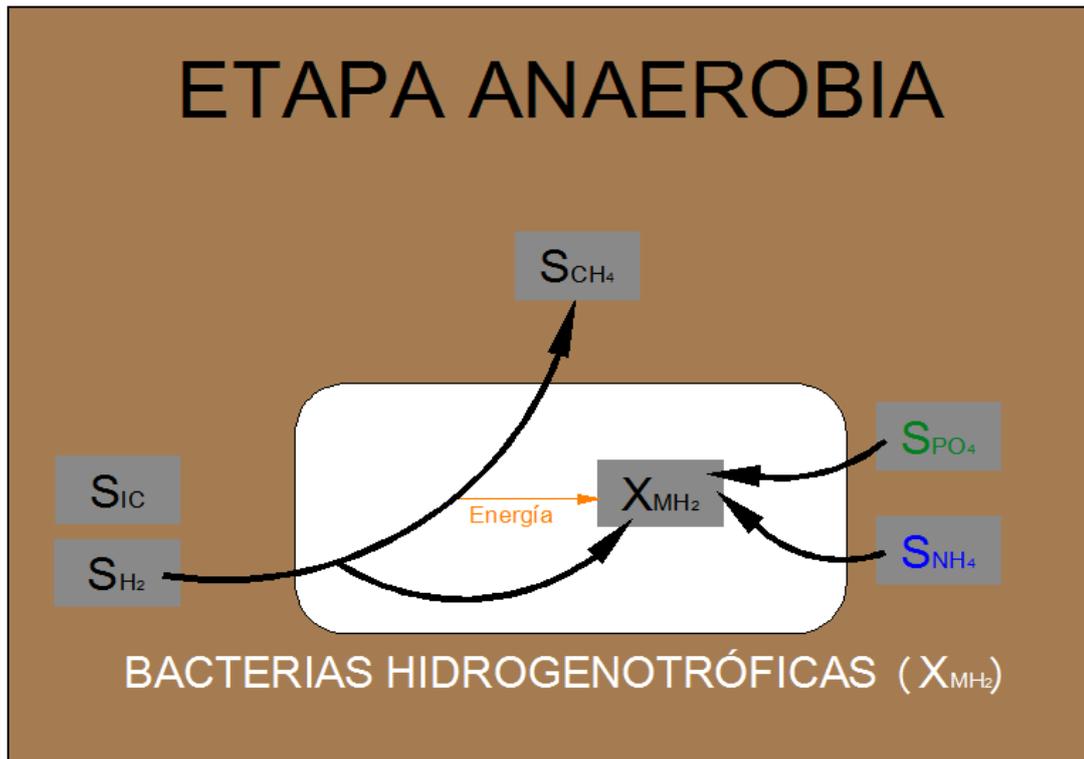


FIGURA 7. Esquema del proceso de crecimiento de las bacterias metanogénicas hidrogenotróficas contemplado para la etapa anaerobia. (Elaboración propia)

Resumiendo, en esta primera etapa anaerobia se van a contemplar los siguientes procesos biológicos:

- ❖ **Almacenamiento de X_{PHA} a partir de S_A**
- ❖ **Almacenamiento de X_{PHA} a partir de S_{PRO}**
- ❖ **Hidrólisis anaerobia por parte de bacterias heterótrofas**
- ❖ **Hidrólisis por parte de las bacterias acidogénicas**
- ❖ **Crecimiento de las bacterias acidogénicas (fermentación)**
- ❖ **Crecimiento de las bacterias acetogénicas (conversión S_{PRO} en S_A)**
- ❖ **Crecimiento de las bacterias metanogénicas acetoclásticas (conversión S_A en S_{CH_4})**
- ❖ **Crecimiento de las bacterias metanogénicas hidrogenotróficas (conversión S_{H_2} en S_{CH_4})**

Estos procesos biológicos tienen como consecuencia, desde el punto de vista de depuración de las aguas:

- La variación de la concentración de materia orgánica en el medio
- Aumento de la concentración de fosfatos en el medio, a pesar del consumo existente de fósforo como nutriente.
- Probable aumento de amonio por hidrólisis, a pesar también del consumo de nitrógeno como nutriente.

1.2.2.2 Etapa anóxica

En ausencia de oxígeno las bacterias desnitrificantes utilizarán el nitrato (S_{NO_3}) como aceptor final de electrones para producir el metabolismo anóxico. El nitrato será reducido a nitrógeno gas (S_{N_2}) y éste saldrá del sistema, disminuyendo así la concentración de nitrógeno en el efluente. Como resultado de esta reducción se generará, además de agua, dióxido de carbono (S_{IC}).

La mayoría de bacterias capaces de reducir el nitrato (S_{NO_3}) a nitrógeno gas (S_{N_2}) son heterótrofas facultativas y la fuente de carbono orgánico la obtendrán de la materia orgánica carbonosa existente en el agua residual (S_F , S_A o S_{PRO}). Además, utilizarán nitrógeno en forma de amonio (S_{NH_4}) y fósforo en forma de fosfato (S_{PO_4}) como nutrientes requeridos para la síntesis de microorganismos. Estas bacterias también serán capaces de hidrolizar la materia orgánica particulada (X_S) en condiciones anóxicas. (Ver **FIGURA 8**)

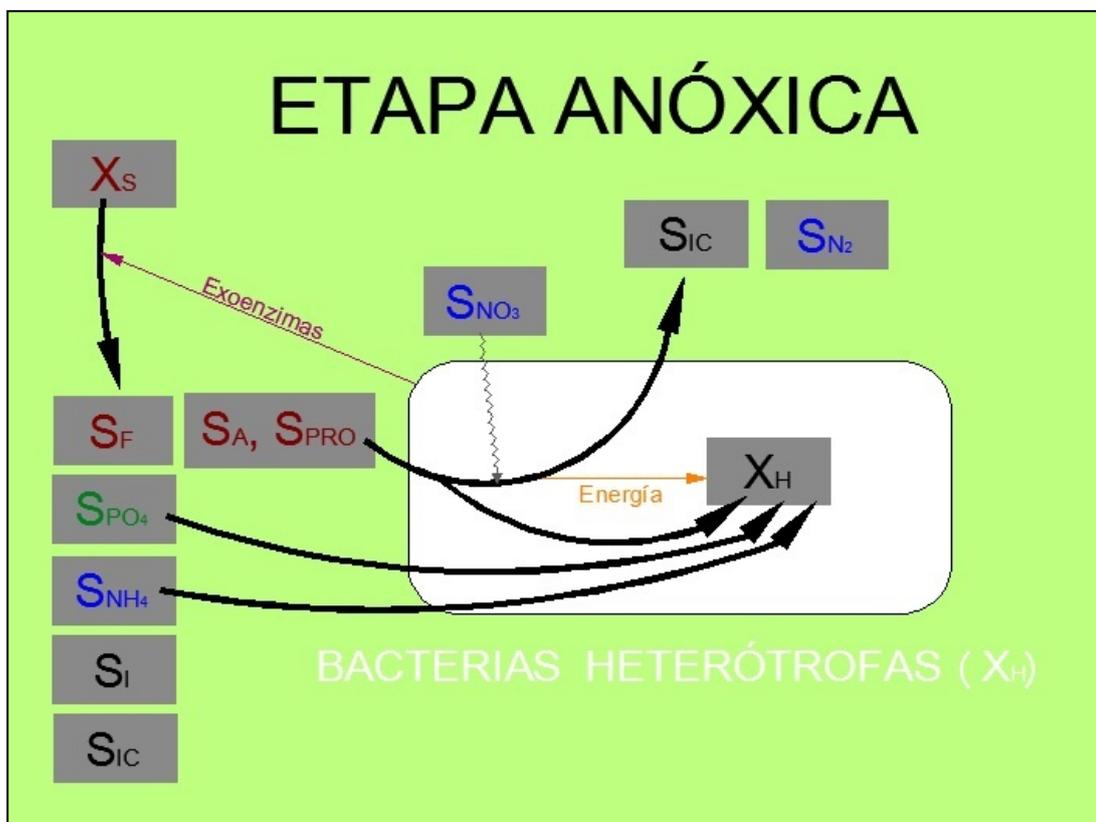


FIGURA 8. Esquema de los procesos de hidrólisis y crecimiento de las bacterias heterótrofas a partir de S_F , S_A o S_{PRO} contemplados para condiciones anóxicas. (Elaboración propia)

La hidrólisis anóxica es generalmente un proceso más lento que la hidrólisis aerobia y en ella las bacterias producirán enzimas extracelulares capaces de transformar moléculas de gran tamaño (X_S) en moléculas más pequeñas directamente degradables (S_F) así como materia orgánica inerte disuelta (S_I). Se sigue suponiendo que los procesos de hidrólisis liberan el nitrógeno y fósforo contenido en la materia orgánica lentamente biodegradable en forma de amonio (S_{NH_4}) y fosfato (S_{PO_4}) respectivamente.

En esta etapa anóxica las bacterias acumuladoras de fosfatos, bacterias PAOs, también van a intervenir en el proceso de desnitrificación. Dichas bacterias PAOs pueden utilizar en condiciones anóxicas el sustrato almacenado (X_{PHA}) en condiciones anaerobias para el crecimiento de las mismas. Requerirán además de nitrógeno y fósforo como nutrientes en forma de amonio (S_{NH_4}) y fosfato (S_{PO_4}) respectivamente. (Ver **FIGURA 9**)

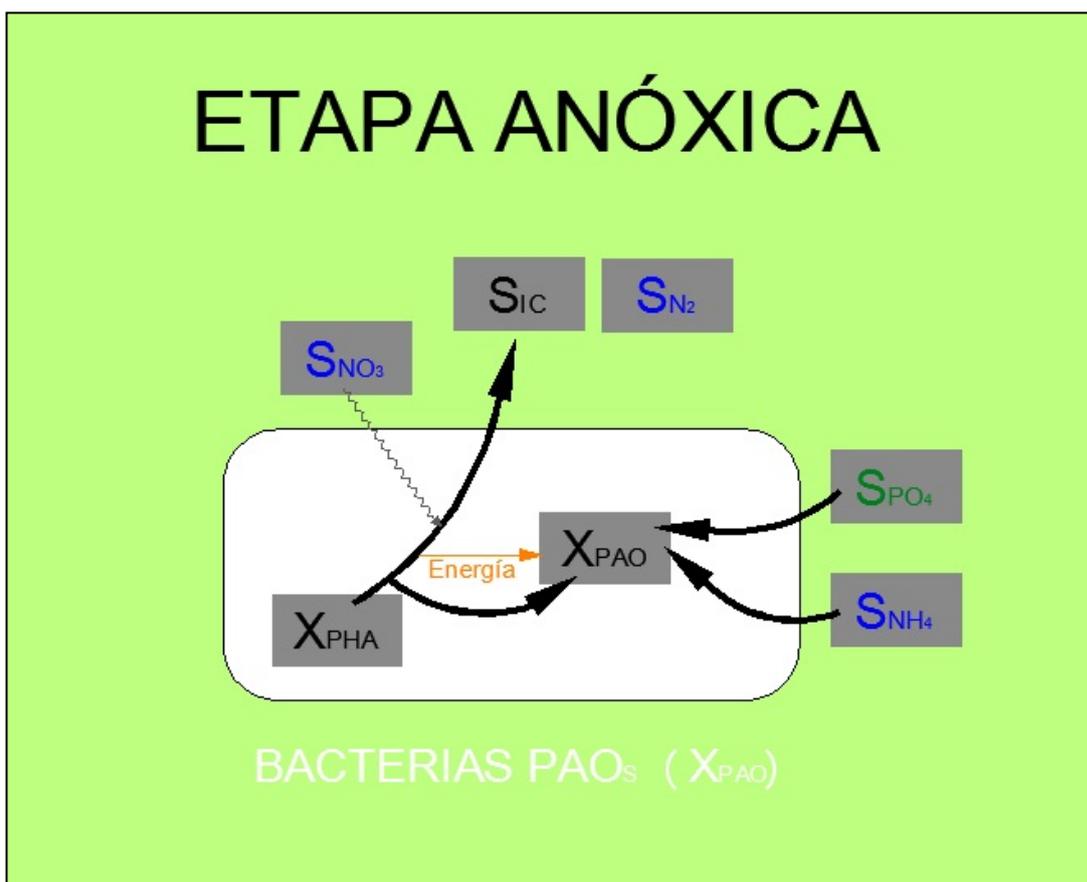


FIGURA 9. Esquema del proceso de crecimiento de las bacterias PAOs en condiciones anóxicas. (Elaboración propia)

Además, las bacterias PAOs también podrán utilizar en condiciones anóxicas una parte de ese sustrato almacenado (X_{PHA}) para acumular fósforo intracelularmente en forma de polifosfatos (X_{PP}), compensando así parte de los fosfatos (S_{PO_4}) emitidos al medio por las bacterias PAOs en la etapa anaerobia. (Ver **FIGURA 10**)

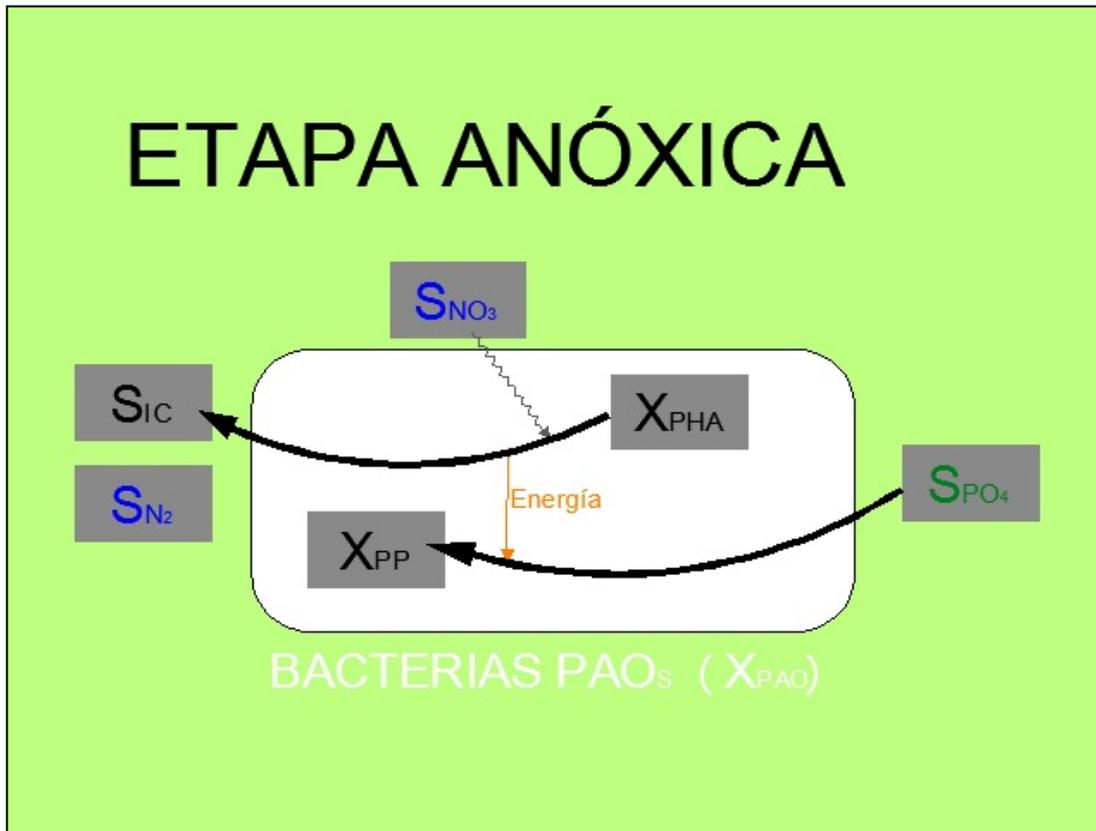


FIGURA 10. Esquema del proceso de almacenamiento anóxico de X_{PP} por parte de las bacterias PAOs. (Elaboración propia)

La desnitrificación lleva asociado un aumento en el pH del medio y ello permitirá compensar en el sistema la pérdida de alcalinidad que se producirá durante la nitrificación en la etapa aerobia posterior. Además, utilizar los nitratos como aceptores de electrones en vez del oxígeno en el proceso de oxidación de materia orgánica supondrá un ahorro de energía en el sistema al disminuir los requerimientos de aireación.

Esta etapa anóxica recibirá además un caudal de recirculación interna procedente de la etapa posterior aerobia en la cual, como resultado de la nitrificación, todo el nitrógeno se encontrará en forma de nitratos.

Con todo, en esta segunda etapa anóxica se van a contemplar los siguientes procesos biológicos:

- ❖ **Crecimiento anóxico de las bacterias heterótrofas a partir de S_F**
- ❖ **Crecimiento anóxico de las bacterias heterótrofas a partir de S_A**
- ❖ **Crecimiento anóxico de las bacterias heterótrofas a partir de S_{PRO}**
- ❖ **Hidrólisis anóxica por parte de bacterias heterótrofas**
- ❖ **Crecimiento anóxico de las bacterias PAO**
- ❖ **Almacenamiento anóxico de X_{PP}**

Estos procesos biológicos tienen como consecuencia, desde el punto de vista de depuración de las aguas:

- La variación de la concentración de materia orgánica en el medio
- La disminución de la concentración de nitratos en el medio, por proceso anóxico y consumo como nutriente
- La generación de nitrógeno gas
- La disminución de la concentración de fosfatos en el medio, por el almacenamiento de X_{PP} y por consumo como nutriente

1.2.2.3 Etapa aerobia

En presencia de oxígeno (S_{O_2}) las bacterias heterótrofas obtendrán la energía y el poder reductor necesarios para su proceso de crecimiento a partir de las reacciones de oxidación del sustrato materia orgánica. La materia orgánica carbonosa (S_F , S_A o S_{PRO}) existente en el agua residual se utilizará como fuente de carbono orgánico y se consumirá nitrógeno y fósforo en forma de amonio (S_{NH_4}) y fosfato (S_{PO_4}) respectivamente como nutrientes inorgánicos. La oxidación generará además de agua, dióxido de carbono (S_{IC}). Por otra parte, estas bacterias heterótrofas también van a ser capaces de hidrolizar la materia orgánica particulada (X_S) en condiciones aerobias. Para ello producirán enzimas extracelulares capaces de transformar moléculas de gran tamaño en moléculas más pequeñas directamente degradables (S_F) así como materia orgánica inerte disuelta (S_I). Con la hidrólisis se liberará el nitrógeno y fósforo contenido en la materia orgánica lentamente biodegradable. (Ver **FIGURA 11**)

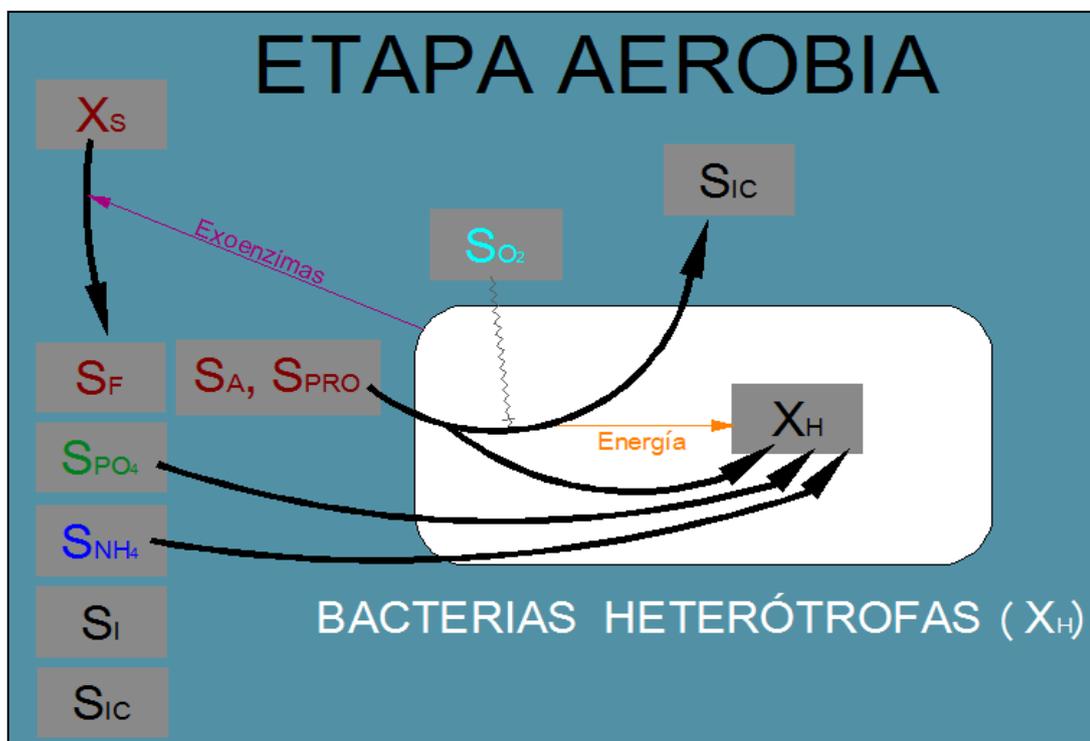


FIGURA 11. Esquema de los procesos de hidrólisis y crecimiento de las bacterias heterótrofas a partir de S_F , S_A o S_{PRO} contemplados para condiciones aerobias. (Elaboración propia)

Las bacterias acumuladoras de polifosfatos (X_{PAOs}) en condiciones aerobias utilizarán el sustrato almacenado (X_{PHA}) en la etapa anaerobia para el crecimiento de las mismas. Para este proceso de crecimiento requerirán, además, nitrógeno y fósforo en forma de amonio (S_{NH_4}) y fosfato (S_{PO_4}) respectivamente como nutrientes inorgánicos. (Ver **FIGURA 12**)

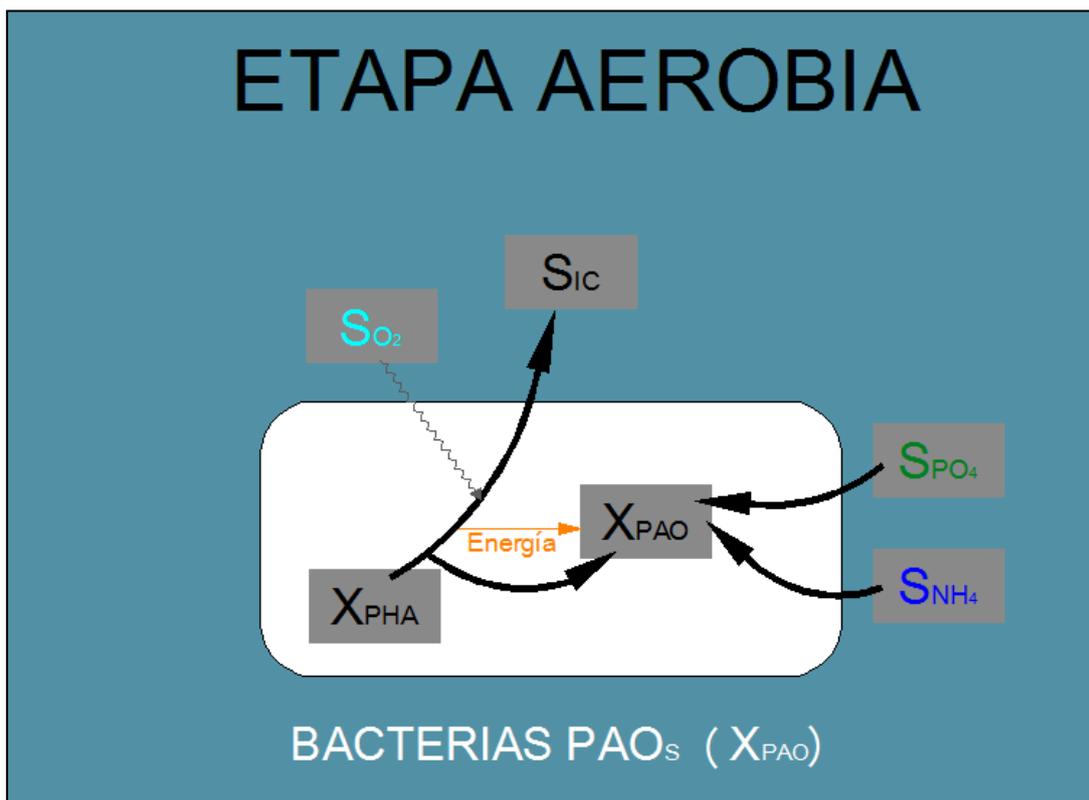


FIGURA 12. Esquema del proceso de crecimiento de las bacterias PAOs en condiciones aerobias. (Elaboración propia)

Las bacterias acumuladoras de polifosfatos (X_{PAOs}) van a utilizar en esta etapa aerobia parte del sustrato (X_{PHA}) almacenado durante la etapa anaerobia para acumular fósforo intracelularmente en forma de polifosfatos (X_{PP}), compensando así parte de los fosfatos (S_{PO_4}) emitidos al medio por las bacterias PAOs en la etapa anaerobia. (Ver **FIGURA 13**)

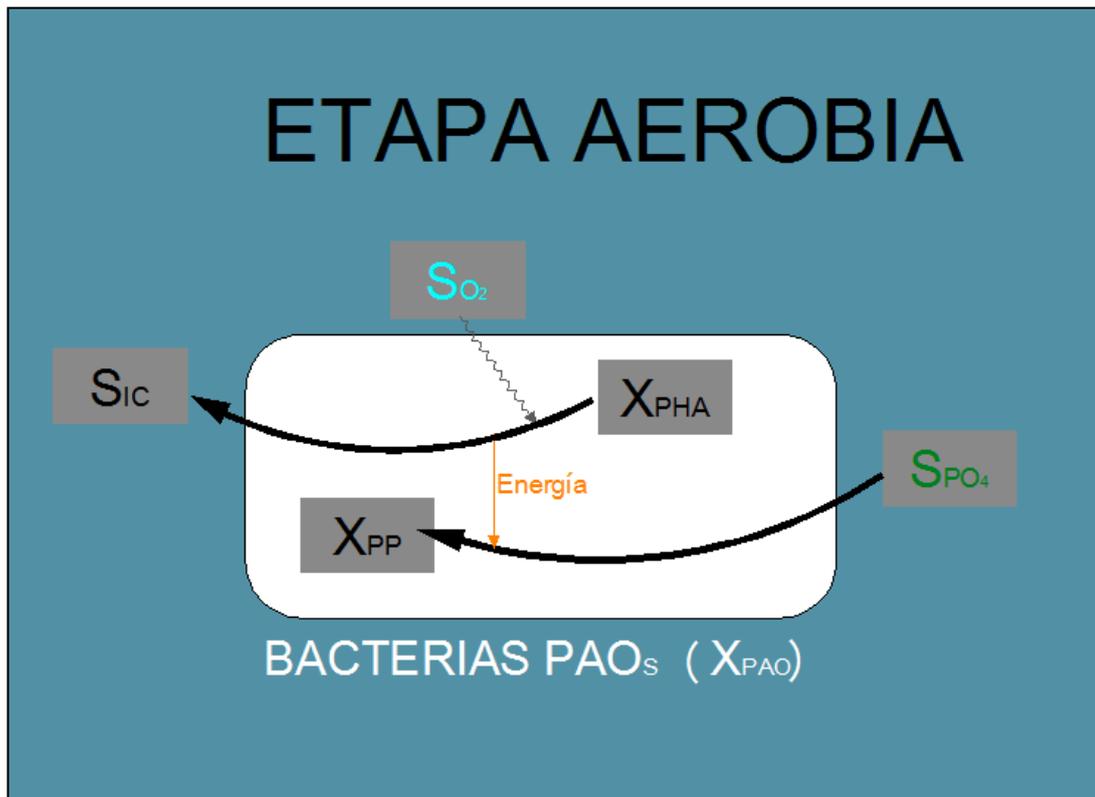


FIGURA 13. Esquema del proceso de almacenamiento aerobio de X_{PP} por parte de las bacterias PAOs. (Elaboración propia)

El fósforo saldrá del sistema con la purga de fango que se realizará tras la etapa aerobia, permitiendo este proceso (alternancia etapa anaerobia-aerobia/anóxica) un incremento en la eliminación neta de fósforo superior al producido por la sola síntesis celular de las bacterias.

Por otra parte, si se mantienen las condiciones de temperatura, oxígeno disuelto, edad del fango, etc. adecuadas, se producirá el crecimiento de las bacterias nitrificantes. Estas bacterias son autótrofas, por lo tanto, son capaces de sintetizar materia orgánica a partir de sustancias minerales, utilizando el dióxido de carbono (S_{IC}) como fuente de carbono y el amonio (S_{NH_4}) o nitrito como dador de electrones.

El proceso de crecimiento de las bacterias autótrofas (o nitrificación) requiere por tanto de la oxidación del amonio (S_{NH_4}) a nitrato (S_{NO_3}) utilizando como fuente de carbono el dióxido de carbono (S_{IC}). Además, se necesitará el consumo de los nutrientes nitrógeno y fósforo en forma de amonio (S_{NH_4}) y fosfato (S_{PO_4}) respectivamente. (Ver **FIGURA 14**)

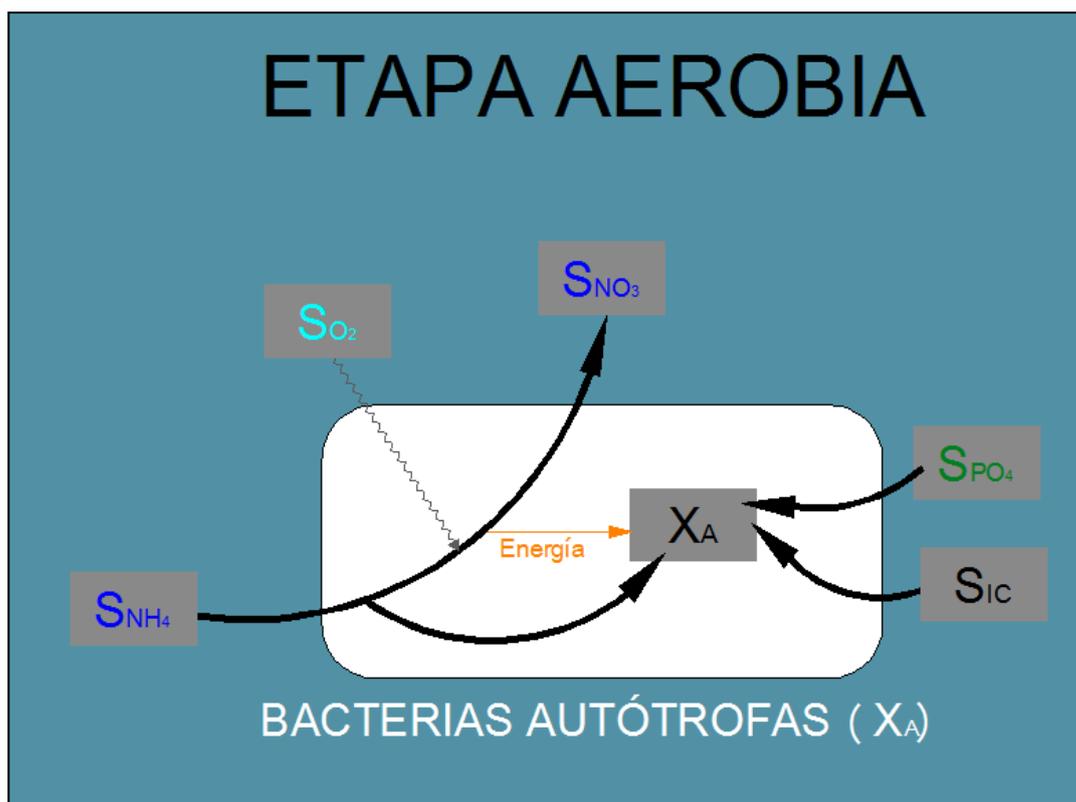


FIGURA 14. Esquema del proceso de crecimiento de las bacterias autótrofas (nitrificación) en condiciones aerobias. (Elaboración propia)

Las bacterias autótrofas presentan una tasa de crecimiento menor que las heterótrofas encargadas de la degradación de materia orgánica y por ello requieren un tiempo de retención celular mayor.

La nitrificación producida durante la etapa aerobia lleva asociada la pérdida de alcalinidad en el medio. Esta disminución en el pH se compensa en parte, con el aumento de pH que conlleva la desnitrificación producida en la etapa anóxica previa.

Con todo, en esta tercera etapa aerobia se producirán fundamentalmente los siguientes procesos biológicos:

- ❖ **Crecimiento aerobio de las bacterias heterótrofas a partir de S_F**
- ❖ **Crecimiento aerobio de las bacterias heterótrofas a partir de S_A**
- ❖ **Crecimiento aerobio de las bacterias heterótrofas a partir de S_{PRO}**
- ❖ **Hidrólisis aerobia por parte de bacterias heterótrofas**
- ❖ **Crecimiento aerobio de las bacterias PAOs**
- ❖ **Almacenamiento aerobio de X_{PP}**
- ❖ **Crecimiento de las bacterias autótrofas X_A (nitrificación)**

Estos procesos biológicos tienen como consecuencia, desde el punto de vista de depuración de las aguas:

- La variación de la concentración de materia orgánica en el medio
- La disminución de la concentración de fosfatos en el medio
- La disminución de la concentración de amoníaco en el medio
- El aumento de la concentración de nitratos en el medio

El suministro de oxígeno para la etapa aerobia se proporcionará por medios mecánicos mediante difusores. Los difusores, aunque proporcionan peor agitación y requieren de un mantenimiento más caro que las turbinas, producen mayor transferencia de oxígeno y mejor control de la cantidad transferida (mayor eficacia). Además, la formación de espumas no afectará a la transferencia de oxígeno, se producirá un aumento en la temperatura del

reactor y proporcionarán una menor pérdida de alcalinidad asociada a la nitrificación debido al menor arrastre de CO_2 del sistema.

Para el balance global de concentración de materia orgánica en los reactores biológicos se tendrá en cuenta que en las tres etapas dispuestas (anaerobia, anóxica y aerobia) se van a contemplar los procesos de lisis tras la muerte de las bacterias contempladas, además de la lisis de sus componentes intracelulares (para el caso de las bacterias PAO_S).

Cuando las células mueran se producirá la rotura de la pared celular y el citoplasma y otros constituyentes pasarán al medio, parte como materia orgánica lentamente biodegradable (X_S) y parte como residuo orgánico inerte (X_I). (Ver **FIGURA 15**).

La lisis de los componentes intracelulares de las bacterias PAO_S , X_{PHA} y X_{PP} liberará al medio S_A y S_{PO_4} respectivamente. (Ver **FIGURA 16**)

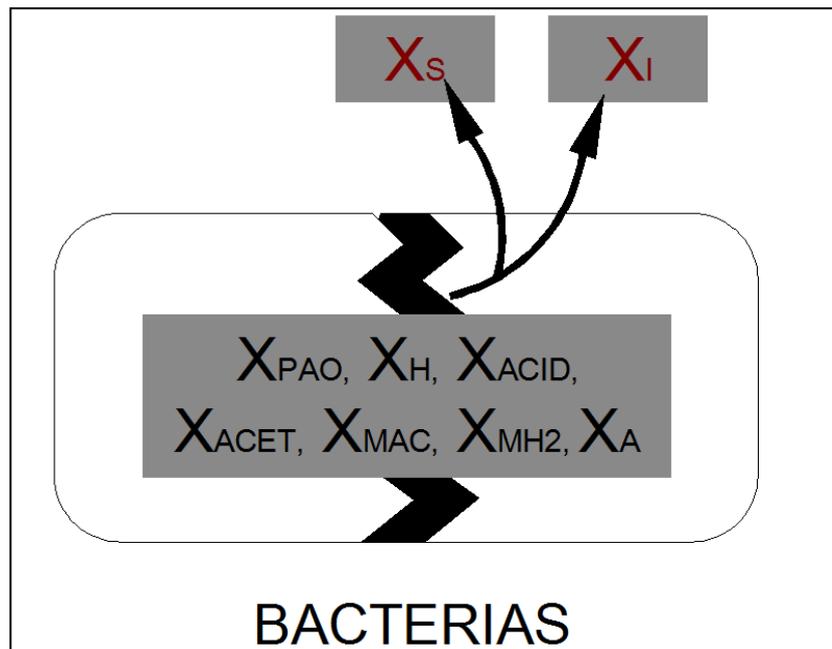


FIGURA 15. Esquema de los procesos de lisis de las bacterias acumuladoras de polifosfatos X_{PAO} , bacterias heterótrofas X_H , bacterias acidogénicas X_{ACID} , bacterias acetogénicas X_{ACET} , bacterias metanogénicas acetoclásticas X_{MAC} , bacterias metanogénicas hidrogenotróficas X_{MH2} y bacterias autótrofas X_A . (Elaboración propia)

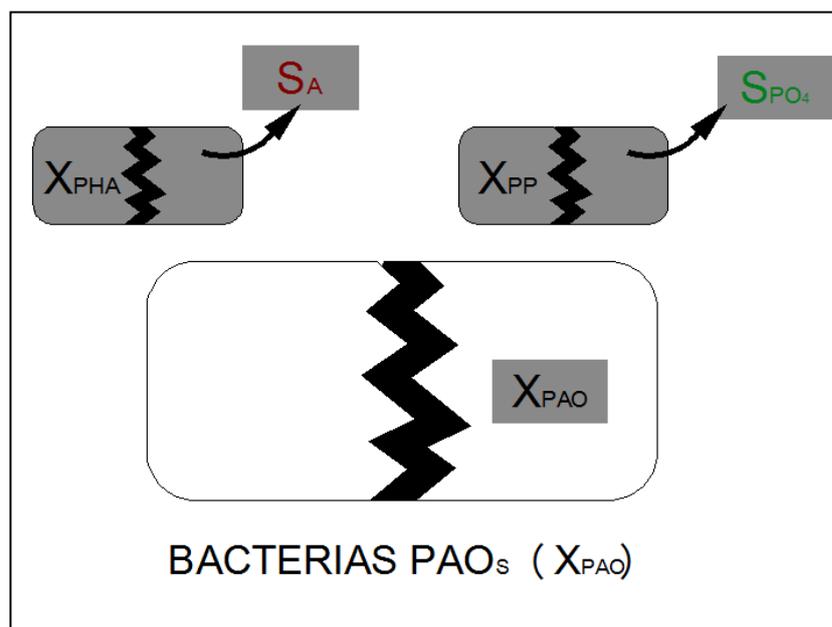


FIGURA 16. Esquema de los procesos de lisis de X_{PHA} y lisis de X_{PP} , componentes intracelulares de las bacterias PAO_S . (Elaboración propia)

Por tanto, en las etapas anaerobia, anóxica y aerobia se tendrán en cuenta, además de los antes mencionados, los siguientes procesos biológicos:

- ❖ **Lisis de las bacterias acumuladoras de polifosfatos X_{PAO}**
- ❖ **Lisis de las bacterias heterótrofas X_H**
- ❖ **Lisis de las bacterias acidogénicas X_{ACID}**
- ❖ **Lisis de las bacterias acetogénicas X_{ACET}**
- ❖ **Lisis de las bacterias metanogénicas acetoclásticas X_{MAC}**
- ❖ **Lisis de las bacterias metanogénicas hidrogenotróficas X_{MH_2}**
- ❖ **Lisis de las bacterias autótrofas X_A**
- ❖ **Lisis de X_{PHA}**
- ❖ **Lisis de X_{PP}**

1.2.3 Reactores biológicos de membranas (RBM)

1.2.3.1 Definición de un reactor biológico de membranas

Un reactor biológico de membranas (RBM) consiste en combinar un proceso biológico con un proceso de separación de membranas eliminando así la necesidad de disponer un decantador secundario para separar el fango del agua.

El funcionamiento de un reactor biológico de membranas (RBM) se basa en que el agua del reactor biológico es filtrada pasando a través de las paredes de una membrana gracias a una pequeña depresión producida por una bomba centrífuga. El agua filtrada se extrae del sistema mientras que el fango y los compuestos de tamaño superior al poro de la membrana quedan retenidos y permanecen o retornan al reactor biológico.

Este ciclo de filtrado se alterna con otro ciclo corto de contralavado en el que se invierte el sentido del flujo para forzar el paso del agua filtrada desde el interior al exterior de la membrana para limpiarla. Además, se deben realizar periódicamente, en función del grado de ensuciamiento, limpiezas químicas en profundidad de las membranas mediante su inmersión en una solución de limpieza.

Los sistemas de BRM presentan una serie de ventajas frente a los sistemas tradicionales de tanque biológico con decantador secundario:

- Los BRM permiten trabajar con mayores concentraciones de fango en los tanques (10-20 g/l de SS para el RBM frente a los 3-4 g/l de SS en el tratamiento convencional), lo que hace que la velocidad de degradación de la materia orgánica sea muy alta y se obtenga un efluente de mayor calidad.
- Los BRM prescinden del decantador secundario y necesitan un reactor biológico más pequeño al trabajar con mayores concentraciones de biomasa por ello hacen que la planta sea más compacta (pudiéndose reducir su tamaño hasta un tercio) (RED

MADRILEÑA DE TRATAMIENTOS AVANZADOS PARA AGUAS RESIDUALES CON CONTAMINANTES NO BIODEGRADABLES (REMTAVARES), 2007).

- La filtración por membrana permite obtener un agua efluente cuya calidad es independiente de la sedimentabilidad de los fangos. Las membranas retienen los sólidos en suspensión y las sustancias coloidales, lo que permite obtener un efluente que ya se puede reutilizar para diversos usos.
- Los BRM dotan de mayor flexibilidad de operación pues los tiempos de retención hidráulico y celular se pueden controlar independientemente. Con ello se puede mantener una edad del fango elevada que permita el desarrollo de microorganismos de crecimiento lento (nitrificantes...).
- El BRM permite regular la oferta de nutrientes respecto a la biomasa, de forma que se generan tiempos de permanencia prolongados de la biomasa (tiempo de retención celular o edad del fango alta) y de los nutrientes en el sistema, minimizando así la formación de lodos excedentes.
- El BRM requiere de menor tiempo de puesta en marcha del proceso al no ser necesario un tiempo inicial de espera de decantación de fangos.

Por el contrario, los sistemas de BRM presentan una serie de desventajas frente a los sistemas tradicionales de tanque biológico con decantador secundario:

- Los sistemas de membrana son bastante caros y los BRM requieren además un control muy cuidado de los ciclos de limpieza y contralavado, por lo que presenten mayores costes de implantación y explotación frente a los sistemas convencionales.

- Las altas concentraciones de fango pueden influir de forma negativa en el rendimiento de la membrana, aumentando la presión entre membrana o disminuyendo el flujo a través de la membrana.

Un reactor biológico de membranas está compuesto por dos partes principales:

- Reactor biológico: tanque donde se produce la degradación biológica de los compuestos presentes en el agua residual.

- Módulo de membranas: sistema de filtración donde se lleva a cabo la separación física del licor de mezcla en agua filtrada y fango.

1.2.3.2 Tipología de membranas

Las membranas son barreras físicas semipermeables, selectivas, que permiten el paso de ciertos componentes (permeado) y retienen otros (concentrado o no permeado).

La fuerza impulsora responsable del transporte a través de la membrana puede ser un gradiente de presión, de concentración, de temperatura, eléctrico, etc. Para el tratamiento de aguas residuales, la fuerza impulsora más utilizada es la presión.

Los procesos de separación con membranas mediante presión se han clasificado en función del tamaño relativo de poro de la misma, o bien en función del tamaño molecular de las especies que la atraviesan, tal y como se indica en la siguiente **FIGURA 17**:

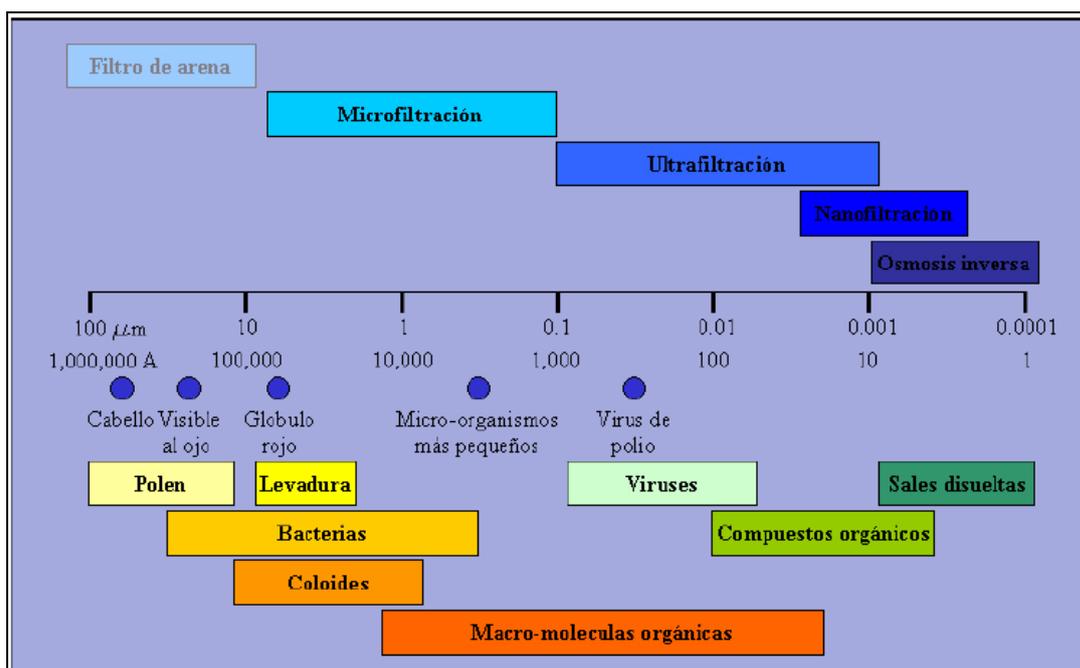


FIGURA 17. Rangos de filtración de diferentes tipos de membranas. (BORRERO, y otros, 2002 pág. 24)

Las membranas empleadas en este tipo de aplicaciones de reactor biológico de membranas (RBM) se sitúan entre los rangos de microfiltración y ultrafiltración, con un tamaño medio de poro entre 0,03 y 0,5 μm según el fabricante.

La microfiltración permite la eliminación de sólidos en suspensión de tamaño superior a 0,1-10 μm , rango en el que se incluyen bacterias, coloides y algunas macromoléculas orgánicas.

La ultrafiltración eliminará contaminantes de tamaño superior a 0,001-0,1 μm , evitando así que pasen al permeado compuestos orgánicos, virus, macromoléculas orgánicas, además de bacterias y coloides. La ultrafiltración puede definirse como una operación de clarificación y desinfección.

Los permeados procedentes de las membranas de ultrafiltración presentan una menor concentración de partículas y virus frente a los procedentes de las membranas de microfiltración. (ARÉVALO VILCHES, 2011 pág. 370)

En referencia a la naturaleza química de las membranas existen dos tipos diferentes de materiales utilizados para las membranas: orgánicos o inorgánicos.

Las membranas orgánicas están fabricadas por polímeros, siendo la celulosa y sus derivados los más utilizados. Para el tratamiento de aguas residuales por RBM se utilizan más frecuentemente membranas de polifluoruro de vinilideno (PVDF), polietilsulfonas (PES), polietileno y derivados (PE) y polipropileno.

Las membranas inorgánicas están formadas principalmente por materiales cerámicos, como óxidos, nitruros o carburos de metales tales como aluminio, zirconio o titanio; materiales minerales como derivados de arcillas; materiales metálicos y de vidrio.

Las membranas inorgánicas generalmente poseen mayor estabilidad química, mecánica y térmica que las membranas orgánicas. Sin embargo, en aguas residuales urbanas con RBM es más común la utilización de membranas orgánicas por ser éstas menos frágiles y más baratas que las inorgánicas, aunque en los últimos tiempos se está volviendo a investigar sobre la utilización de membranas inorgánicas para aplicaciones concretas. (ARÉVALO VILCHES, 2011 pág. 41)

1.2.3.3 Módulos de membranas:

Se entiende por módulo la unidad de operación en la que se disponen las membranas para su utilización. Cada módulo contiene las membranas con sus soportes de presión, las puertas de entrada de alimentación y salida de concentrado y de puntos de extracción del permeado. Los módulos de membrana pueden estar conectados en serie o en paralelo según los requerimientos necesarios.

El sistema de membrana a utilizar debe proporcionar una gran superficie de membrana por unidad de volumen, un alto grado de turbulencia para la transferencia de masa, un bajo gasto energético por volumen de agua producida, un bajo coste por unidad de membrana, un diseño que facilite la limpieza y un diseño que permita la modularidad.

Los módulos de membranas más comunes que se encuentran en el mercado son de las siguientes tipologías:

- Placa y bastidor: Estos módulos están hechos de membranas planas y placas de soporte (ver **FIGURA 18**). La alimentación circula entre las membranas de dos placas adyacentes, siendo el espesor de la lámina líquida de 0,5 a 3 mm. Las unidades pueden desmontarse para realizar la limpieza manual. Esta configuración ofrece alta versatilidad comparada con otras unidades, pero a un coste mayor de inversión. Los costes de reemplazo de membranas son bajos, pero los costes del trabajo de reemplazo son altos. La densidad de compacto de las unidades de placa y bastidor no es muy alta comparada con otros módulos al encontrarse entre 100 y 400 m²/m³.

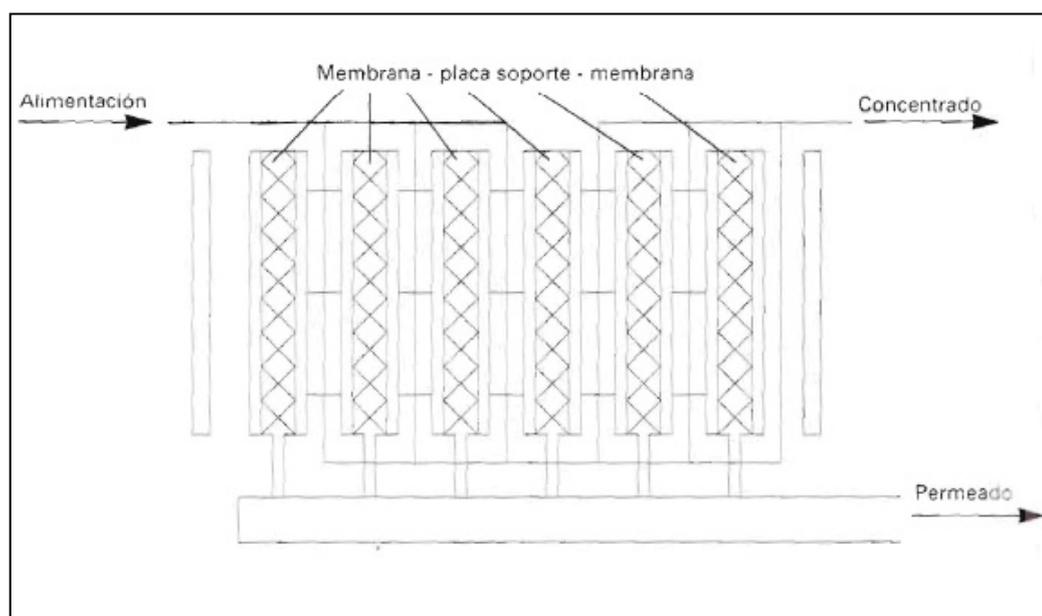


FIGURA 18. Esquema de membranas planas. (HERNÁNDEZ MUÑOZ, 2001 pág. 848)

- Arrollamiento espiral: Consiste en una envolvente de dos membranas planas encerrando una hoja flexible porosa sellada por tres de sus bordes. El borde abierto está conectado y enrollado sobre un tubo perforado que transporta el permeado. Varios sándwich son así ensamblados y separados uno de otro por un espaciador del lado de la alimentación (ver **FIGURA 19**). La alimentación fluye longitudinalmente paralela al eje del tubo de permeado, mientras que el permeado fluye entre las membranas hacia el tubo perforado donde es recogido. El diámetro de un elemento puede variar de 65 a 300 mm, y su longitud hasta 1,5 m. Esta configuración es normalmente uno de los módulos menos costosos, es más compacta (de 700 a 1.000 m²/m³) y produce menor pérdida de carga que los módulos de placa y bastidor. Sin embargo, estos elementos tienden más al ensuciamiento y obstrucción que otras configuraciones en las que se generan mayores turbulencias, por lo que se suelen emplear sólo en aplicaciones de nanofiltración y ósmosis inversa.

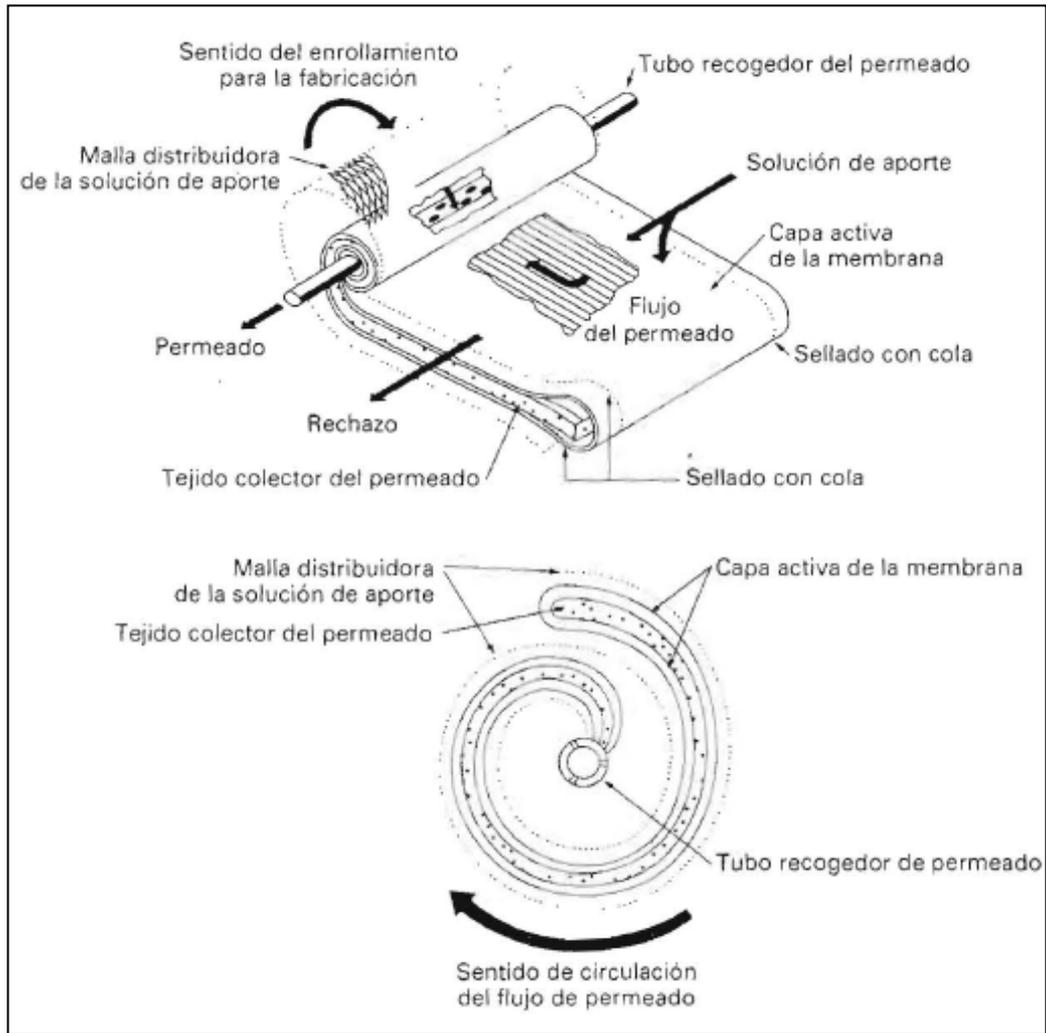


FIGURA 19. Esquema de módulo espiral de una hoja. (HERNÁNDEZ MUÑOZ, 2001 pág. 849)

- **Tubular:** Se trata de la configuración más simple y en ella la membrana se moldea sobre la pared interior de un tubo soporte poroso de distintas longitudes (ver **FIGURA 20**). Sus diámetros interiores están entre 6 y 40 mm. La capa activa en este tipo de membranas suele encontrarse en el interior del tubo. El resto del espesor presenta una estructura porosa. La alimentación circula por el interior, el permeado fluye radialmente del interior al exterior y el rechazo se recoge en el otro extremo del tubo. Las membranas inorgánicas se pueden disponer sobre soportes cerámicos multicanales conteniendo hasta 19 canales de flujo paralelo. Cada elemento de membrana multicanal está alojado individualmente o en haces paralelos, formando un módulo de membranas con un área superficial total de 0,2 a 7,4 m². Son menos propensas a ensuciarse que otras configuraciones, además, al proporcionar un camino hidrodinámico simple al flujo, se limpian mecánicamente de una manera más sencilla. Por el contrario, proporcionan una baja densidad de empaquetado de los módulos y presentan un coste elevado.

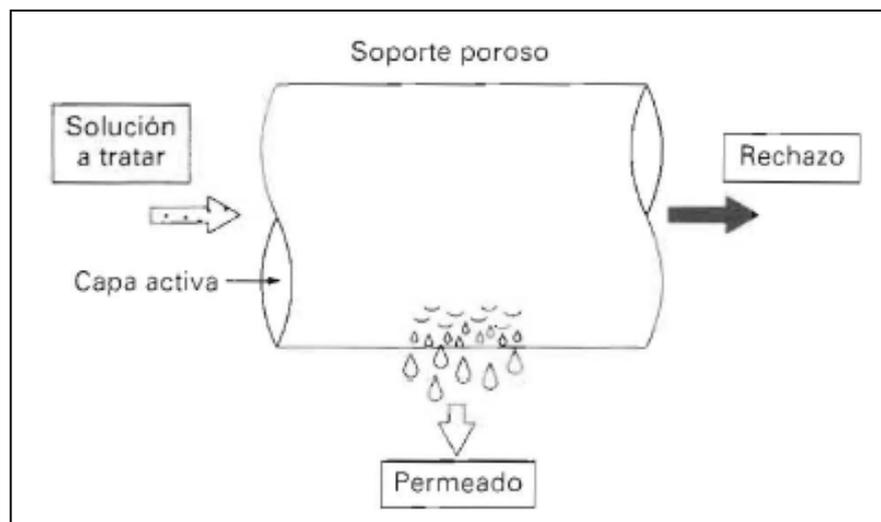


FIGURA 20. Esquema de la circulación de flujos en una membrana tubular.
(HERNÁNDEZ MUÑOZ, 2001 pág. 850)

- **Fibra hueca:** En estos módulos las fibras están reunidas en haces de miles (ver **FIGURA 21**). El flujo de alimentación tiene lugar por dentro de las fibras (configuración de dentro afuera) o bien por fuera de las fibras (configuración exterior-interior). En el primer caso la hermeticidad de agua entre flujos de alimentación y permeado viene asegurado por una resina de alfarería que forma un plato plano en cada final de haz o mazo. Después del endurecimiento de la resina se corta el mazo de tal manera que los extremos de las fibras aparezcan abiertas. En la configuración exterior-interior el haz tubular o mazo se dispone a menudo en forma de U y las fibras se sellan sólo por un lado. Las membranas de fibra hueca se caracterizan por ser muy compactas (de $1.000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ hasta $10.000 \text{ m}^2/\text{m}^3$), además, su coste de manufacturación es relativamente bajo, presentan bajas presiones de trabajo y no necesitan soporte, lo que permite limpiezas por retroflujo. Por contra, la mayor desventaja de las membranas de fibra hueca es que son altamente susceptibles al bloqueo de los poros (plugging), lo cual provoca un ensuciamiento de las mismas que requiere de limpiezas o reemplazos de los módulos, incrementando así los costes económicos del proceso.

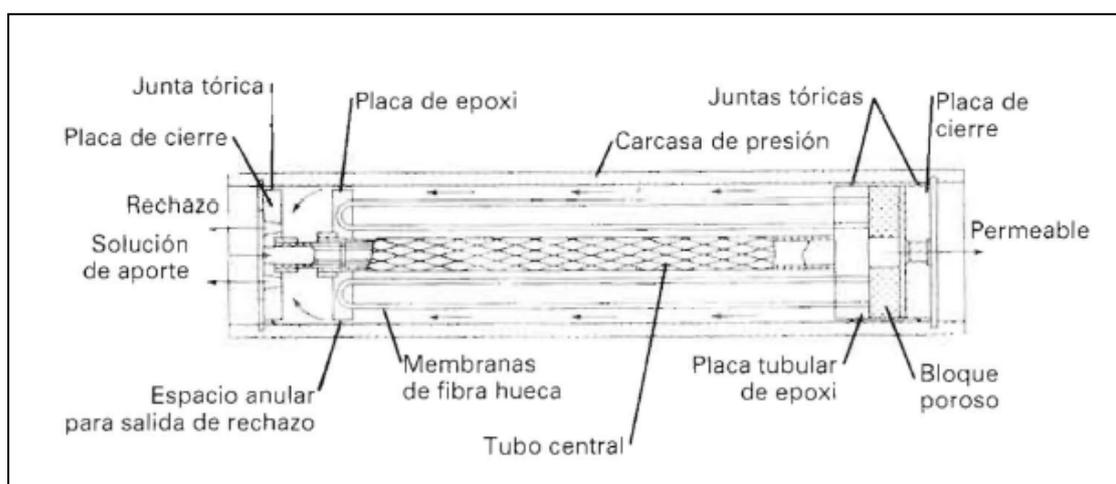


FIGURA 21. Sección de un módulo de fibra hueca. (HERNÁNDEZ MUÑOZ, 2001 pág. 851)

En la siguiente **TABLA 2** se comparan las características de los módulos de membrana indicados:

TABLA 2. Comparación de diferentes tipos de módulos de membranas. (HERNÁNDEZ MUÑOZ, 2001 pág. 852)

Criterios	Placa y bastidor	Módulo espiral	Módulo tubular	Fibra hueca	
				Fibra (OI)	Capilar (UF/MF)
Densidad compacta	+	++	-	+++	+++
Limpieza in situ	+	-	++	-	-
Limpieza de barrido	-	-	-	-	+++
Costo de módulo	+	+++	-	+++	+++
Caída de presión	-	++	+++	++	+-
Volumen extraído	+	+	-	+++	++
Calidad de permeado	+	-	+++	-	++

- Clara desventaja
+++ Clara ventaja

1.2.3.4 Configuraciones de los RBM

La disposición de la membrana en el proceso tiene dos variantes: configuración sumergida y configuración externa.

- En la configuración sumergida o inmersa la membrana se encuentra sumergida dentro del reactor biológico. En esta configuración la presión a través de la membrana sólo se puede conseguir mediante la aspiración de la misma o mediante la presurización del biorreactor. En la siguiente **FIGURA 22** se muestra un esquema de la configuración sumergida:

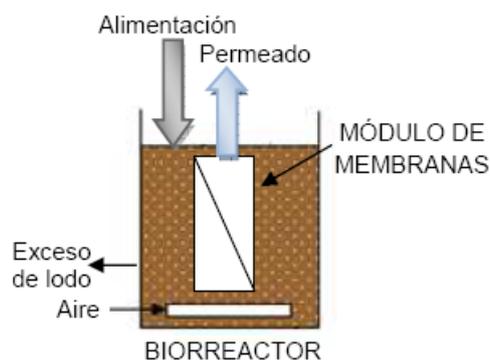


FIGURA 22. Configuración de membrana sumergida. (MORALES RODRÍGUEZ, 2010 pág. 27)

- En la configuración externa la membrana se encuentra en un reactor distinto al biológico y se hace circular la biomasa entre el biorreactor y la membrana. En esta configuración la presión a través de la membrana también se suele crear mediante el flujo de recirculación a través de la membrana. En la siguiente **FIGURA 23** se muestra un esquema de la configuración externa:

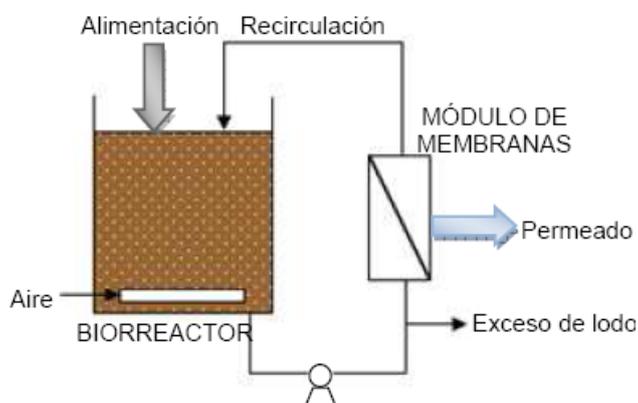


FIGURA 23. Configuración de membrana externa. (MORALES RODRÍGUEZ, 2010 pág. 27)

Generalmente los RBM de configuración inmersa tienen menor gasto energético que los de configuración externa en los que se debe bombear licor mezcla al reactor de membrana para producir permeado a unas presiones y flujos considerables. Además, los RBM de configuración externa son más propensos al ensuciamiento de la membrana debido a que al

someter al líquido a grandes fuerzas en el bombeo se pueden llegar a romper los flocos, reduciéndose así el tamaño de las partículas y favoreciendo el ensuciamiento de la membrana. (ARÉVALO VILCHES, 2011 pág. 40).

En la siguiente **TABLA 3** se comparan las dos configuraciones de membrana indicadas.

TABLA 3. Comparación entre las configuraciones sumergida y externa de los biorreactores de membrana. (MOLINA MUÑOZ, 2007 pág. 10)

Membrana sumergida	Membrana externa
Costes de aireación altos (90%)	Costes de aireación bajos (20%)
Costes de bombeo muy bajos	Costes de bombeo altos (60-80%)
Flujo bajo de operación (10-60 l/m ² *h)	Flujo de alto operación (40-120 l/m ² *h)
Frecuencia de limpieza baja	Requiere mayor frecuencia de limpieza
Costes de operación menores	Costes de operación elevados
Inversión inicial fuerte	Inversión inicial menor
Presiones transmembranales bajas (0.05-0.5 bar)	Presiones transmembranales mayores (0.5-5 bar)

1.2.3.5 Elección del sistema de membranas

La elección del módulo y tipo de membranas a utilizar va a depender fundamentalmente del sistema comercial a utilizar y de la configuración de membrana propuesta.

La configuración de membrana sumergida o inmersa es la que más se ha venido utilizando en los últimos años por ser menos costosa, más resistente, tiene menos requerimientos de presión y exige menor frecuencia de limpieza que la configuración de membranas externa (MOLINA MUÑOZ, 2007 pág. 10). Además, esta disposición ocupa menor espacio en la planta, lo que resulta más conveniente dadas las características de la ampliación soterrada de la E.D.A.R. de Moraira.

En la configuración de membrana sumergida resulta más conveniente la disposición de módulos de membrana plana o de fibra hueca, capaces de eliminar los sólidos en suspensión, que requieren una demanda de energía relativamente baja y alta densidad compacta. Estos requerimientos tienden a excluir a los módulos tubulares o espirales. (MOLINA MUÑOZ, 2007 pág. 17).

Estudios previos concluyen que la tecnología de membrana a utilizar, ya sea fibra hueca o membrana plana, no interfiere en el proceso de depuración a nivel de eliminación de materia orgánica y nitrificación pudiéndose utilizar una u otra tecnología indistintamente para esta finalidad, obteniendo en ambos casos un efluente de alta calidad y muy estable frente a variaciones de carga. (ARÉVALO VILCHES, 2011 pág. 369).

En el presente trabajo se van a utilizar módulos de membrana sumergida de fibra hueca de la casa comercial KOCH MEMBRANE SYSTEMS.

JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVO

2 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVO

2.1 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo se elabora como un documento académico de Trabajo final de Máster a través del cual se persigue obtener el título de Máster en Ingeniería Ambiental con especialidad en Dirección de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales.

El trabajo se fundamenta en la necesidad de ampliar la E.D.A.R. de Moraira existente con un tratamiento biológico en instalaciones soterradas. Dicha necesidad viene justificada, como se indica en el Pliego, por la necesidad de mejorar la calidad ambiental de la zona. Esta actuación está contemplada en el II Plan Director de la Comunidad Valenciana (GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA DE PRESIDÈNCIA I AGRICULTURA, PESCA, ALIMENTACIÓ I AIGUA, 2003) y con ella se persigue:

- Minimizar la generación de olores en el entorno de la depuradora, una zona turística muy urbanizada.
- Incrementar los rendimientos de depuración con el fin de mejorar la calidad de los vertidos al emisario y consecuentemente aumentar la calidad de las aguas en la playa de Moraira.
- Obtener un efluente cuya calidad permita su reutilización para uso agrícola y riego de parques y jardines de pública concurrencia.

2.2 OBJETO DEL TRABAJO

El objetivo del presente trabajo denominado *DISEÑO DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO PARA LA AMPLIACIÓN SOTERRADA DE LA E.D.A.R. EXISTENTE EN MORAIRA (ALICANTE)* es la definición del tratamiento biológico anexo a la E.D.A.R. de Moraira existente así como la reforma de las instalaciones existentes adaptadas a las nuevas condiciones de servicio que garantice los parámetros de vertido exigidos en el *Pliego de bases técnicas para el concurso de proyecto y ejecución de obra del tratamiento terciario de la E.D.A.R. de Moraira (Alicante) e instalaciones de reutilización de agua tratada.*

El sistema de tratamiento diseñado deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Deberá ser un proceso estable para asumir variaciones de carga y caudal importantes.
- Deberá cumplir los parámetros de vertido de la normativa vigente, teniendo en cuenta que parte del agua tratada se verterá al mar mediante emisario submarino y parte será reutilizada para uso agrícola y riego de parques y jardines de pública concurrencia.
- Deberá circunscribirse a la parcela disponible para la ampliación.
- Deberá quedar totalmente enterrado (por la proximidad a la playa), con acceso desde la parcela de la E.D.A.R. actual.

METODOLOGÍA

3 METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

La metodología que se va a seguir en el presente trabajo es la siguiente:

- a) Definición de los condicionantes de partida: emplazamiento, instalaciones existentes y caracterización del agua de entrada. Se analizarán además los rendimientos de depuración en la E.D.A.R. existente.
- b) Definición de los requisitos de vertido de acuerdo a los parámetros exigidos en el Pliego y a la normativa vigente.
- c) Planteamiento de diferentes alternativas de sistema de tratamiento de aguas residuales en función de los condicionantes de partida, los requisitos de vertido y las exigencias técnicas requeridas en el Pliego, en concreto, las que hacen referencia a la propuesta de una solución base con membranas y desinfección ultravioleta. Se recurrirá a la modelación y simulación de los procesos biológicos de la línea de agua y de fangos mediante la herramienta informática DESASS 1.1 (Design and Simulation of Activated Sludge Systems), un simulador de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas desarrollado por CALAGUA para el dimensionamiento de los distintos elementos de tratamiento.
- d) Estudio comparativo de las alternativas de sistema de tratamiento diseñadas con el fin de proponer una de ellas como solución final más adecuada. El estudio comparativo contempla la calidad del agua efluente, las características del fango generado, el espacio en planta ocupado, los costes de construcción y explotación, así como los efectos medioambientales más significativos de cada una de las alternativas planteadas.

En la siguiente **FIGURA 24** se resume la metodología propuesta:

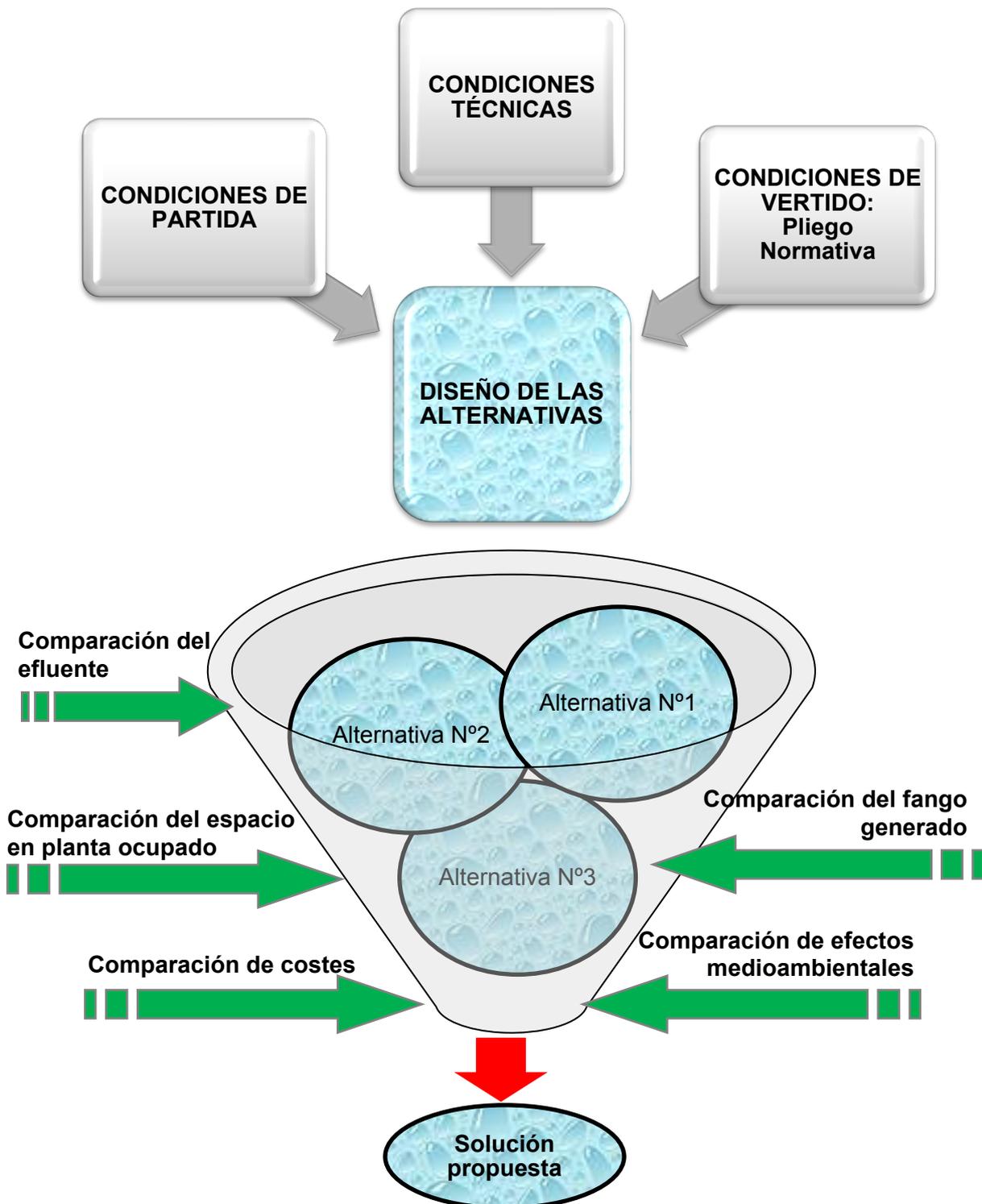


FIGURA 24. Esquema de metodología propuesta. (Elaboración propia)

DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

4 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

4.1 EMPLAZAMIENTO

4.1.1 Localización

Los terrenos donde se localiza la actuación están situados en Moraira, núcleo perteneciente al término municipal de Teulada, provincia de Alicante, y son colindantes a la depuradora existente. Se ubican junto al camino de la Camarrocha, en una zona muy cercana a la playa de “L’Ampolla” y a la carretera CV-746 de Moraira a Calpe, y están muy próximos a zonas con viviendas en Moraira. (Ver **FIGURA 25**)

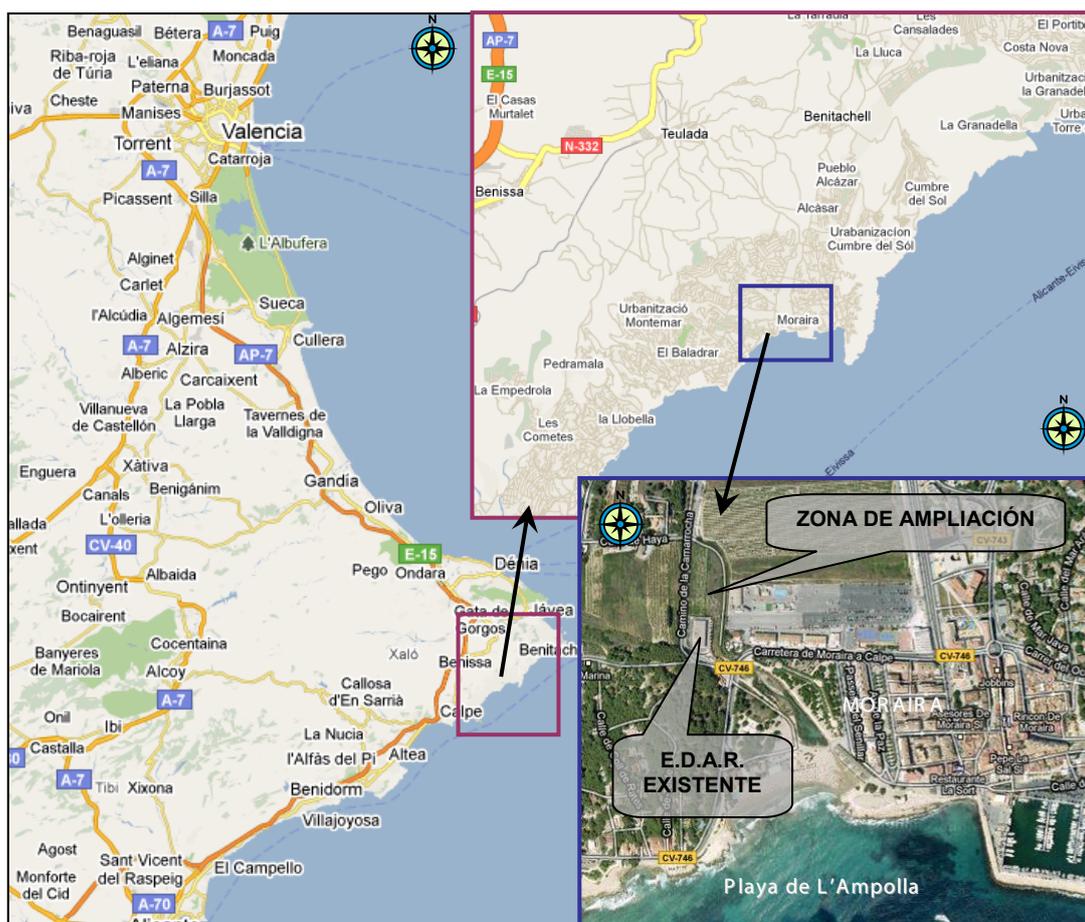


FIGURA 25. Localización de la E.D.A.R. de Moraira existente y zona de ampliación. (GOOGLE, 2012)

DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

La E.D.A.R. de Moraira existente y la zona destinada a la ampliación de la misma ocupan las parcelas 284 y 285 del Polígono 8, en la partida Cometa de Teulada (DIRECCIÓN GENERAL DEL CATASTRO, 2014).

De acuerdo al Pliego, para la zona de ampliación de la E.D.A.R. de Moraira se dispone de una superficie total de 2.480 m². Estos terrenos, de uso principal agrario (labradío y viña de secano), están ocupados en la actualidad por cultivos de vid abandonados. (Ver **FIGURA 26**, **FIGURA 27** y **FIGURA 28**)



FIGURA 26. Emplazamiento de la zona de ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. (GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA D' INFRAESTRUCTURES, TERRITORI I MEDI AMBIENT, 2014).



FIGURA 27. Estado actual de los terrenos en los que se localizará la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. Visual desde el camino de la Camarrocha. (Elaboración propia)



FIGURA 28. Estado actual de los terrenos en los que se localizará la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. Visual desde el edificio de la E.D.A.R. de Moraira existente. (Elaboración propia)

4.1.2 Adecuación al planeamiento municipal vigente

La zona de actuación se ubica sobre suelo clasificado como No Urbanizable de Especial Protección Agrícola-Paisajística según el Plan General del Término Municipal de Teulada vigente. (Ver FIGURA 29)

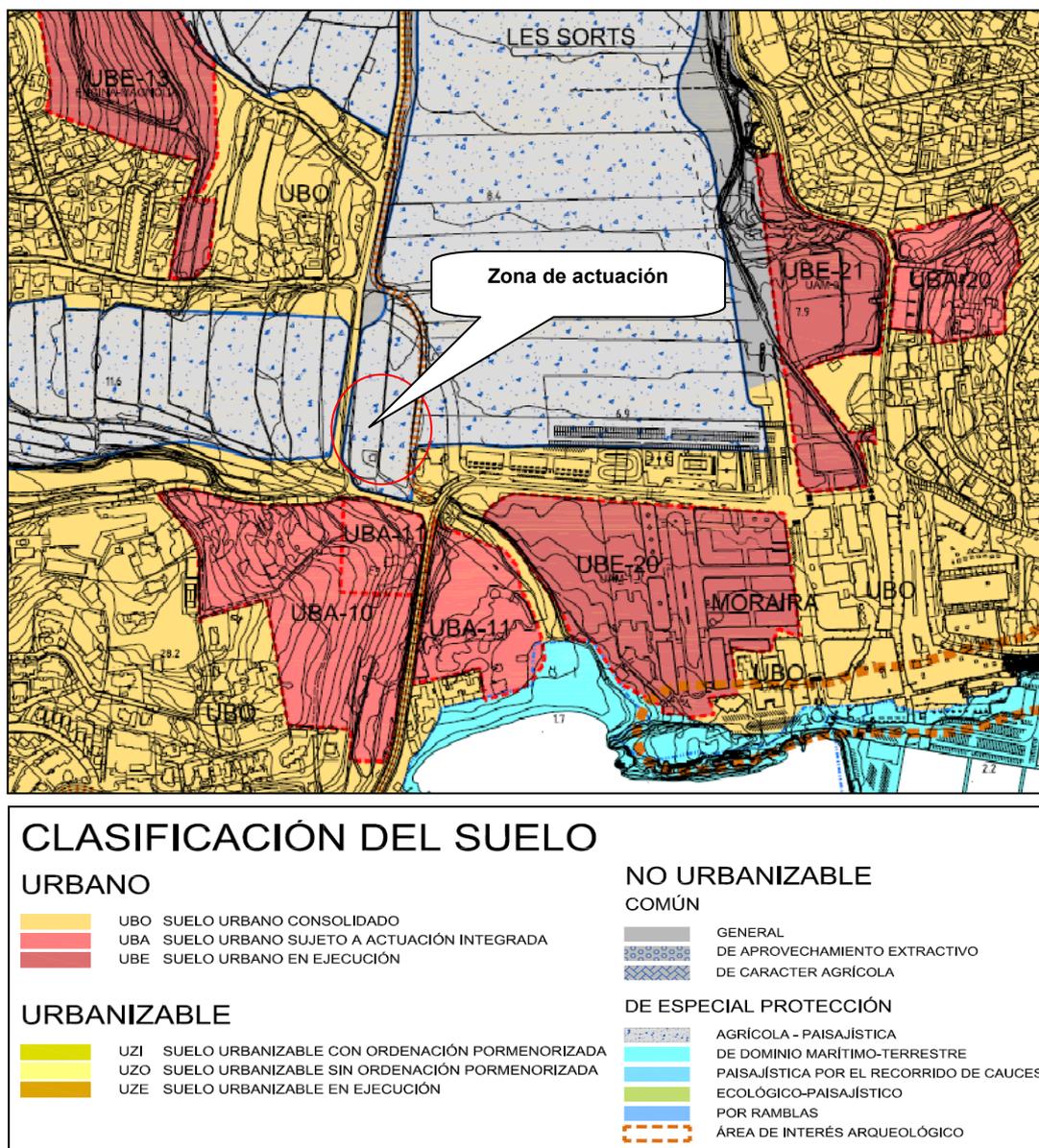


FIGURA 29. Clasificación del suelo existente en el entorno de actuación. (AYUNTAMIENTO DE TEULADA, 2002)

Las Normas Urbanísticas de dicho Plan General, en referencia a las normas de aplicación directa correspondientes al Suelo No Urbanizable de Especial Protección Agrícola-Paisajística (Artículo 6.26), establecen como usos característicos: Producción agrícola e Infraestructuras de encauzamiento previo Estudio y Evaluación de Impacto Ambiental, y como usos limitados compatibles: Infraestructura de saneamiento y zona verdes.

Por lo tanto, al tratarse la actuación contemplada de una infraestructura de saneamiento (estación depuradora de aguas residuales) la ubicación adoptada respeta el planeamiento urbanístico municipal vigente.

4.1.3 Condicionantes del emplazamiento

La zona de actuación forma parte del paisaje protegido Les Sorts y está muy próxima, a 175 metros, de la reserva de fauna El Senillar y de la playa de L'Ampolla, tal y como se puede observar en la **FIGURA 30**:

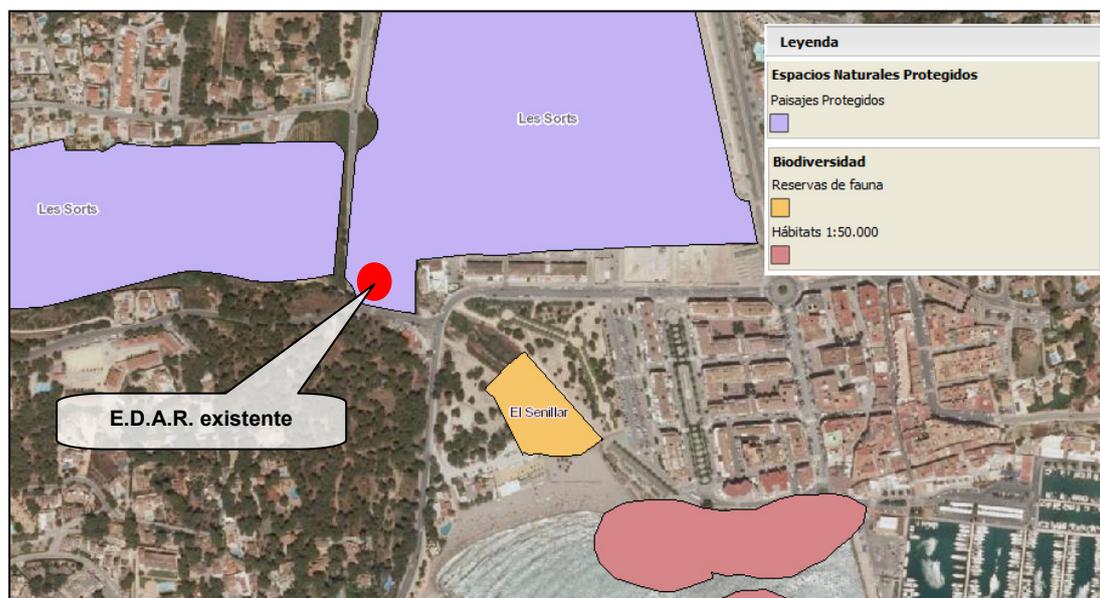


FIGURA 30. Espacios protegidos existentes en el entorno de actuación. (GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA D' INFRAESTRUCTURES, TERRITORI I MEDI AMBIENT, 2014)

La cercanía de la zona de actuación a los espacios protegidos mencionados, así como la proximidad de la misma a las viviendas, condicionan que las nuevas instalaciones de depuración se diseñen completamente enterradas con el fin de minimizar el impacto ambiental (especialmente la generación de olores) y visual en el entorno de actuación.

4.2 INSTALACIONES EXISTENTES

4.2.1 Implantación general

Actualmente la E.D.A.R. de Moraira, de acuerdo a los datos de funcionamiento de 2.012 indicados por la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana (E.P.S.A.R.), trata un caudal de 1.058 m³/día, sirve a una población de 7.637 h-e (habitantes equivalentes) y tiene una potencia actual total instalada de 232 kW. Está explotada por la empresa FACSA y cuenta con la asistencia técnica de la empresa LABORATORIOS TECNOLÓGICOS DE LEVANTE. Dispone de un pretratamiento (integrado por un sistema de desbaste compuesto de dos tamices rotativos de 3 mm de paso y dos canales de desarenado-desengrasado) seguido de un tratamiento físico-químico en dos líneas (cada línea está compuesta por cámara de mezcla y cámara de floculación) y finalmente una decantación lamelar.

Para el tratamiento de fangos existe una línea de espesamiento por gravedad, estabilización con cal y deshidratación mediante decantadores centrífugos.

Todas estas instalaciones se encuentran alojadas en el interior de un edificio cerrado y desodorizado.

En la siguiente **FIGURA 31** se muestra el diagrama del proceso de depuración existente actualmente en la E.D.A.R. de Moraira para las líneas de agua y fango:

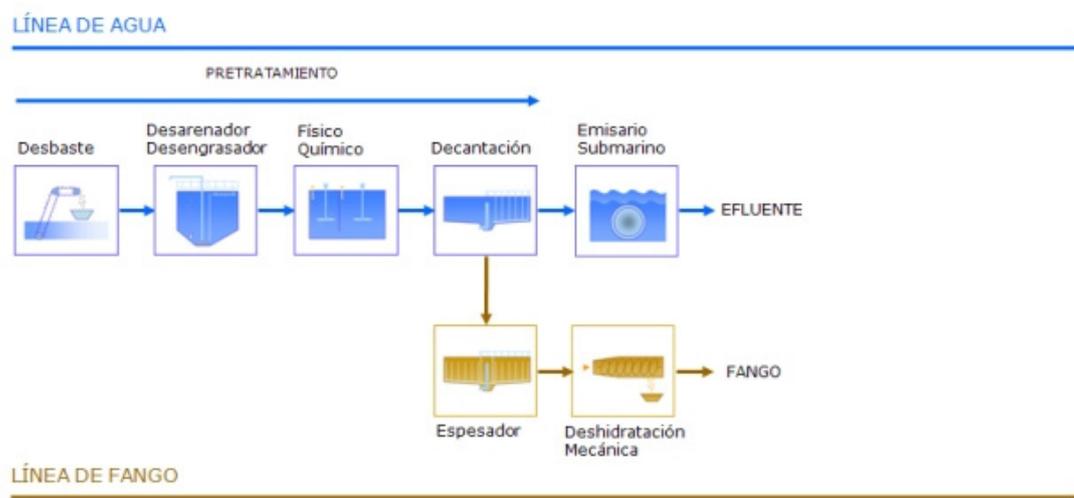


FIGURA 31. Diagrama de proceso existente en la E.D.A.R. de Moraira. (GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA DE PRESIDÈNCIA I AGRICULTURA, PESCA, ALIMENTACIÓ I AIGUA. ENTIDAT DE SANEJAMENT D'AIGÜES (E.P.S.A.R.), 2014)

En los siguientes apartados se describen las fases del proceso de depuración existente que se acaban de indicar tanto para la línea de agua como para la de fango.

4.2.2 Descripción de la línea de agua

4.2.2.1 Pozo de bombeo de agua bruta

Al pozo de bombeo de agua bruta llegan dos colectores por gravedad, el colector de Camarrocha y el colector de Moraria-Calpe, y desde aquí pasan por gravedad a la cámara de elevación de agua bruta a través de una reja manual de 50 mm de luz de paso.

Para la elevación a E.D.A.R. existen 4 bombas de 110 m³/h cada una y una bomba de 50 m³/h, todas ellas con capacidad para elevar el agua a una altura de 9 metros.

4.2.2.2 Pretratamiento

4.2.2.2.1 DESBASTE

El desbaste se realiza en 2 líneas por medio de 2 (1+1) rototamices con capacidad unitaria para el caudal máximo, Q_{punta} , (382 m³/h). Dichos rototamices tienen una luz de paso 3 mm. Ambas líneas se aíslan mediante válvulas de compuerta manual.

4.2.2.2.2 CANAL DE DESCARGA

La descarga de ambos tamices se realiza sobre un canal dimensionado para que las velocidades de circulación sean mayores de 0,4 m/s. El ancho del canal es de 0,5 m, con un calado de 0,24 m a caudal punta.

Este canal conecta por medio de compuertas manuales con los canales de desarenado, disponiéndose en el canal del by-pass de planta por tubería de 300 mm.

4.2.2.2.3 DESARENADO-DESENGRASADO

Existen dos canales desarenadores-desengrasadores aireados de 39 m³ cada uno (6,7 x 2,2 m² y 3,06 m de altura total) con una carga superficial,

C_s , a caudal máximo, de $13 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ y 12 minutos de tiempo de retención, θ ($C_s=6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$.y $\theta=31 \text{ min. a } Q_{\text{medio}}$), dotados de puente móvil.

Para la aireación hay tres unidades soplantes *roots* de doble velocidad de $120 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (una a Q_{medio} y dos a Q_{punta}).

La eliminación de arenas se realiza mediante 1+1 bombas verticales de rodete desplazado y posterior concentración por tornillo extractor.

Las grasas se separan mediante un sistema automático tipo barredera superficial y se conducen a una arqueta de acumulación de las mismas, de donde se extraen a un desnatador de paletas.

Los canales se aíslan mediante compuertas manuales tipo mural. Para asegurar un reparto uniforme de caudal por línea, su salida se realiza por vertedero.

4.2.2.3 Medida de caudal

A la salida del desarenador se ha previsto una arqueta dotada de aliviadero y by-pass de planta para garantizar que el tratamiento físico-químico no trabaje por encima del caudal de diseño ($Q_{\text{medio}} 150 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{\text{punta}}=382 \text{ m}^3/\text{h}$). Tras dicha arqueta se efectúa una medida de caudal por vertedero.

4.2.2.4 Tratamiento físico - químico

Existe un tratamiento físico-químico diseñado para un caudal medio de $150 \text{ m}^3/\text{h}$ en dos líneas de $75 \text{ m}^3/\text{h}$, cada una de ellas compuesta por cámara de mezcla y cámara de floculación.

Las cámaras de mezcla están diseñadas para un tiempo conjunto de retención de 2,6 minutos a caudal medio (Q_{medio}) y de 1 minuto si tratásemos

el caudal máximo (Q_{punta}). Sus dimensiones son de $1,5 \times 1,5 \times 1,5 \text{ m}^3$. En cada una de ellas existe un agitador rápido de $0,74 \text{ kW}$ de potencia.

Las cámaras de floculación están dimensionadas para un tiempo conjunto de retención de 25 min. a Q_{medio} , el volumen unitario de las mismas será por tanto de $31,3 \text{ m}^3$, estableciéndose sus dimensiones en $2,75 \times 3,25 \times 3,5 \text{ m}^3$. En cada una se instala un agitador de $0,50 \text{ kW}$. de potencia.

Las cámaras descritas pueden ser aisladas mediante compuertas manuales, habiéndose previsto la salida de las mismas por vertedero que permite la equirrepartición de los caudales de tratamiento.

Existe asimismo un by-pass al tratamiento físico-químico consistente en un canal central entre ambas líneas, que permite tratar directamente el agua en el decantador lamelar, tras el pretratamiento.

Los reactivos empleados son cloruro férrico como coagulante y un polielectrolito aniónico como coadyuvante de floculación, empleándose cal para ajuste de pH.

Las dosificaciones empleadas a caudal medio son:

Cloruro Férrico: Dosis media = 150 mg/l . Dosis máxima = 250 mg/l

Cal: Dosis media = 100 mg/l . Dosis máxima = 150 mg/l

Polielectrolito aniónico: Dosis media = $0,5 \text{ mg/l}$. Dosis máxima = 1 mg/l

Cada decantador tiene un volumen de 56 m^3 y una superficie de $18,75 \text{ m}^2$.

Para la dosificación del Polielectrolito existe un equipo compacto, tipo Polipack.

4.2.2.5 Decantación lamelar

Hay dos unidades de decantación lamelar diseñadas para un caudal medio de $150 \text{ m}^3/\text{h}$. Con ello se logran tiempos de retención de 0,75 y 0,3 h. a Q_{medio} y Q_{punta} respectivamente.

Las dimensiones unitarias son de $6,82 \times 2,75 \times 3 \text{ m}^3$. La carga superficial de trabajo es de 1 y $2,55 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ a Q_{medio} y Q_{punta} respectivamente. La velocidad lamelar es de $4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ para Q_{medio} .

Considerando la superficie efectiva de lamelas en cada decantador ($118,75 \text{ m}^2$) y el rendimiento de las lamelas (0,8), la carga superficial resultante es de $0,789 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$. Este valor es inferior al considerado para el dimensionamiento del decantador ($1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$) según se indica anteriormente, con lo que el decantador trabaja holgado, tolerando un potencial aumento de caudal de hasta al menos un 20 %.

Las lamelas tienen una inclinación de 60° respecto a la horizontal y una altura de 1.000 mm.

De cara a que la carga sobre vertedero sea de $2,75 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ a Q_{medio} y de $7 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ a Q_{punta} , existen para cada decantador 2 canales longitudinales de doble vertedero, obteniéndose una longitud efectiva de 27 m de vertedero por cada decantador.

4.2.2.6 Salida de agua tratada

El agua procedente de la decantación se conduce a la arqueta de salida de la planta mediante tubería de 350 mm, en la cual está instalado un caudalímetro electromagnético para la medida de caudal.

4.2.2.7 Bombeo a emisario

La conducción de salida se bifurca en dos ramales: el primero de los cuales permite el vertido por gravedad para caudales inferiores a 122 m³/h y el segundo entrará en funcionamiento superados estos caudales, conduciéndose en tal caso el agua al pozo de bombeo.

Se dispone de dos bombas (1+1) de 383 m³/h capaces de evacuar cada una de ellas el caudal máximo en tiempo seco. Dichas bombas entran en funcionamiento en función del nivel alcanzado en el pozo de bombeo.

Ambas conducciones se unen posteriormente dando paso al emisario submarino.

4.2.3 Descripción de la línea de fangos

4.2.3.1 Bombeo de fangos en exceso

Los fangos en exceso de la decantación lamelar son evacuados desde los decantadores a un pozo de fangos, en donde se sitúan las bombas de fangos en exceso. Existen (1+1) unidades de bombeo de fangos en exceso de 109 m³/h, previstas para enviar un total de 93 m³/día de fangos hacia el espesador de gravedad, en un tiempo máximo de 7 h.

La purga de los decantadores se regula mediante dos válvulas de guillotina de accionamiento eléctrico.

4.2.3.2 Espesamiento de fangos

Para los fangos en exceso existe un espesador de gravedad, dimensionado con una carga de sólidos de 31 kg/día/m² y un tiempo de retención hidráulico de 3,75 días.

El espesador tiene 7,6 m de diámetro y 3,5 m de altura y posee cubierta de poliéster a fin de poder aplicarle desodorización. Este espesador actúa asimismo como almacén de fangos y permite enviar un menor volumen de fangos a deshidratación.

4.2.3.3 Estabilización química de fangos

La estabilización de fangos se efectúa por vía química, mediante adición de cal, en el mismo espesador. Tras él existe una arqueta dotada de agitador para homogeneizar el fango antes de su envío a la deshidratación.

La dosis prevista media de reactivo puro es de 150 mg/l y máximo de 200 mg/l.

4.2.3.4 Deshidratación de fangos

4.2.3.4.1 ACONDICIONAMIENTO DE LOS FANGOS

El acondicionamiento de los fangos, previo a su deshidratación, se realiza con polielectrolito catiónico. La instalación de preparación y dosificación del mismo se encuentra junto a las unidades centrífugas y se efectúa por dosificador compacto tipo Polipack o similar, efectuándose dilución al 1% con (1+1) bombas dosificadoras de membrana de 122 l/h de capacidad. Posteriormente se diluye al 0,5 % en línea mediante rotómetro de 245 l/h.

4.2.3.4.2 DESHIDRATACIÓN DE LOS FANGOS

Existen dos unidades de decantador centrífugo para trabajar 7 horas/día durante 5 días/semana, con capacidad de procesar 2'8 m³/h de fangos al 5%, con regulación automática de velocidad por freno electromagnético.

4.2.3.4.3 TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE FANGOS DESHIDRATADOS

El transporte de los fangos deshidratados a contenedor para su almacenamiento se realiza mediante tornillo sinfín que recoge los fangos procedentes de ambas unidades de decantador centrífugo para conducirlos a un contenedor de 5 m³.

4.2.4 Descripción del edificio de tratamiento

La planta está ubicada en único edificio dividido en dos zonas claramente diferenciadas, una industrial con todas las unidades de tratamiento y otra zona de oficinas y salas de explotación.

Se trata de un edificio cuyas dimensiones son de 43 x 20 m². La parte industrial es de una sola planta y la de explotación de dos.

La parte de explotación se distribuye de la siguiente forma:

- Planta baja: Distribuidor, comedor de 9 m², taller-almacén de 25 m², vestuarios-aseos de 27 m² y cuarto de limpieza de 5 m².
- Planta alta: Laboratorio de 30 m², despacho de 11 m², sala de control de 16 m² y aseos de 25 m²

La zona industrial aloja la planta de tratamiento al completo, consta por tanto de las siguientes unidades: Pozo de llegada y pozo de bombeo de agua bruta; tamizado; canal de descarga y by-pass; canales de desarenado-desengrasado; cámaras de mezcla; cámaras de floculación; decantadores lamelares, arqueta de salida y medición de caudal y pozo de bombeo a emisario submarino.

Ocupa un total de 267 m² y da paso a un pasillo central de 4 metros. Además se ubican las salas de reactivos, de espesamiento y deshidratación y de desodorización.

4.2.4.1 Sala de reactivos

En ella van alojados los tanques de almacenamiento y equipos de dosificación y preparación de reactivos, tiene un total de 168 m² y aloja los siguientes elementos:

- Dosificación de cal para cámara de mezcla y acondicionamiento de fangos: 2 tanques de almacenamiento de 12,5 m³ cada uno con sus correspondientes dosificadores volumétricos; 2 cubas de preparación, 2+1 bombas de dosificación de cal línea de agua y 1+1 bombas de dosificación de cal línea de fangos.
- Dosificación de cloruro férrico (coagulación): 2 tanques de almacenamiento de 5 m³; 2 cubas de preparación, 1+1 bombas de trasiego y 2+1 bombas dosificadoras.
- Dosificación de polielectrolito aniónico (floculación): 1 equipo compacto de preparación en continuo y 2+1 bombas dosificadoras.

4.2.4.2 Sala de espesamiento y deshidratación

Aloja los siguientes equipos en un total de 160 m²:

- Equipo compacto de preparación y dosificación de polielectrolito catiónico.
- Arqueta de homogeneización de fangos con cal.
- Arqueta de bombeo de fangos a espesador, alojando 2 bombas.
- Espesador de fangos.
- 2+1 bombas de tomillo para envío de fangos a centrifugas.
- 2 centrifugas-decantadoras.
- 1 contenedor de residuos.

4.2.4.3 Sala de desodorización

Dispone de una superficie de 45 m² y aloja los equipos de desodorización por ozono.

4.2.5 Rendimientos de depuración en la E.D.A.R. de Moraira existente

4.2.5.1 Analíticas realizadas en planta

En el Pliego de bases técnicas se aportan las medias mensuales de partes de analítica de control realizadas por la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales (E.P.S.A.R.) entre el 1 de enero de 2.005 al 13 de septiembre de 2.006. Además se dispone de las medias mensuales de partes de analítica de control realizados por la E.P.S.A.R. entre el 1 de enero de 2.006 al 30 de abril de 2.007.

En dichos partes se muestran los resultados a la entrada (Eu) y salida (S) de la planta así como los rendimientos de depuración (Ru) obtenidos para las siguientes analíticas realizadas en muestras tomadas a la entrada y/o salida de la E.D.A.R. de Moraira existente:

- Analíticas realizadas en la línea de aguas: pH, turbidez (UNT³), conductividad COND ($\mu\text{S}/\text{cm}^4$), sedimentabilidad de sólidos V60 (mg/l), sólidos en suspensión SS (mg/l), demanda biológica de oxígeno DBO (mg/l)⁵, demanda química de oxígeno DQO (mg/l), nitrógeno total NT (mg/l), fósforo total PT (mg/l)
- Analíticas realizadas en la línea de fangos: pH, materia volátil MV (%), materia seca MS (%)

³ UNT: Unidad nefelométrica de turbidez

⁴ $\mu\text{S}/\text{cm}$: microsiemens/cm

⁵ Se entiende que la analítica realizada en planta se corresponde con la demanda biológica de oxígeno a los cinco días (DBO₅)

Los partes de analíticas disponibles se muestran en las siguientes **TABLA 4** y **TABLA 5**:

DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

TABLA 4. Medias mensuales de partes de analítica realizados en la E.D.A.R. de Moraira existente. (GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA DE PRESIDÈNCIA I AGRICULTURA, PESCA, ALIMENTACIÓ I AIGUA. ENTIDAT DE SANEJAMENT D'AIGÜES (E.P.S.A.R.))



MEDIAS MENSUALES DE PARTES DE ANALÍTICA (CONTROL)
DEL 1/01/2005 AL 13/9/2006

	VOLUMEN TOTAL m ³	pH		TURBIDEZ		COND S ns/cm	V60 Eu mg/l	SS		DBO		DQO		NT		PT		FANGOS											
		Eu Ud	S Ud	Eu Unt	S Unt			Eu mg/l	S mg/l	Eu %	S %	Eu %	S %	Eu %	S %														
10-ene-05	1065							245	106	57	216	115	47	428	209	51	45	291	35	5,6	1,3	77							
24-ene-05	1065							220	43	80	272	130	52	600	230	62	56	44,4	21	6,4	0,6	91							
10-feb-05	1065							275	8	97	374	127	66	590	190	68	58,3	44,4	24	7,5	0,9	88							
20-feb-05	1065							680	160	76	449	193	57	1511	440	71	66	73,1	0	9,2	6,7	27							
31-mar-05	710							345	131	62	409	138	66	771	280	64	69,3	37,6	46	9,8	1,2	88	49,4	28,2					
12-abr-05	705							510	86	83	501	139	72	860	229	73	70,8	43,2	39	8,8	1	89	51,1	28,2					
19-abr-05	721							285	47	84	360	105	71	797	181	77	50,5	38,3	24	10,5	1,1	90	44,2	28,6					
04-may-05	1032							405	57	86	313	61	81	638	95	85	62,8	17,9	71	9,4	0,8	91	53,9	26,6					
31-may-05	840							240	33	86	404	110	73	606	186	69	53,3	38,5	28	7,5	0,6	92	43,3	24,7					
13-jun-05	1020							420	130	69	421	107	75	721	245	66	27,1	33,3	0	7,4	2,2	70	11,9	44,8	24,8				
26-jun-05	1225							255	70	73	198	92	54	497	232	53	44,6	37,3	16	6,3	1,6	75	12,05	28,4					
07-jul-05	1362							250	54	78	267	93	65	557	200	64	45	21,92	51	5,7	1,7	70	12,94	7,1	31,8				
21-jul-05	1229							195	43	78	238	128	46	550	212	61	27,3	23,1	15	5,5	1,4	75	12,15	44,9	30,5				
15-ago-05	1788							295	93	68	384	187	51	744	357	52	47	41	13	7,5	1,7	77	11,9	31					
31-ago-05	1103							210	62	70	163	100	39	407	176	57	31,8	7,2	77	5	1,7	66	12,1	43,9	26,1				
01-sep-05	1408							215	73	66	328	122	63	526	220	58	41,3	14,3	65	8,2	1,61	80	34,3	33					
21-sep-05	1133							146	37	75	340	138	59	670	289	57	52,3							41,5	32,8				
03-oct-05	1126							453	34	92	600	80	87	1440	224	84	24,1							37,4	38,8				
24-oct-05	1058							229	51	78				512	253	51													
10-nov-05	1423							254	12	95	200	20	90	435	92	79	36,3							2,8	9,5	29	30,2		
23-nov-05	939							310	19	94				699	174	75								3,5	12,3	36,2	30,1		
02-dic-05	896							288	57	79	370	80	78	958	212	78	34												
26-dic-05	788							160	35	78				502	76	85													
03-ene-06	911							412	36	91	240	80	67	461	171	63	23							1,4	11,9	39,6	29,4		
10-feb-06	1047							226	49	78	260	70	73	484	188	61	38							2,5	7,5				
21-feb-06	1000							144	38	74				543	279	49													
01-mar-06	652							412	27	93	700	66	91	958	120	87	20							1	12,3	36,9	26,8		
16-mar-06	816							393	73	81				887	281	68									8,7				
03-abr-06	797							408	44	89	520	110	79	1040	205	80	34							2,9					
21-abr-06	953							270	68	75				1200	194	84										9,2	44,3	26	
04-may-06	989							148	25	83	360	150	58	559	251	55	31							1,4	7,8	58,7	25,1		
17-may-06	901							272	46	83				507	229	55										12,6	10,4	52,7	22
01-jun-06	1273							332	26	92	370	150	59	580	256	56	34							1,3	10,4	52,7	22		
30-jun-06	927							232	15	94				640	295	54													
04-jul-06	1122							238	38	84	430	120	72	740	245	67	45							2,2	11,1	47	23,1		
21-jul-06	1191							216	33	85				750	263	65										12,17			
02-ago-06	1414							193	36	81	370	100	73	536	297	45	54							2,7	12,2				
13-sep-06	1308							804	21	97	780	62	92	1530	190	88	30							1,5	11,5	48,5	24,4		
Máximo	1788,00							804,00	160,00	97,00	780,00	193,00	92,00	1530,00	440,00	88,00	70,80	73,10	77,00	10,50	6,70	92,00	12,94	58,70	39,80				
Media	1054,39							304,34	53,05	81,16	373,69	109,41	67,45	721,95	222,79	66,24	49,76	34,49	32,81	7,52	1,83	77,88	11,14	41,22	28,15				
Mínimo	652,00							144,00	8,00	57,00	163,00	20,00	39,00	407,00	76,00	45,00	27,10	7,20	0,00	5,00	0,60	27,00	7,50	7,10	22,00				

TABLA 5. Medias mensuales de partes de analítica realizados en la E.D.A.R. de Moraira existente. (GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA DE PRESIDÈNCIA I AGRICULTURA, PESCA, ALIMENTACIÓ I AIGUA. ENTIDAT DE SANEJAMENT D'AIGÜES (E.P.S.A.R.))

28-May-2007 10:16 Sanejament d'aigües

P. 2/7

Página 1 de 2

MEDIAS MENSUALES DE PARTES DE ANALÍTICA (CONTROL)
DEL 01/01/2006 AL 30/04/2007

-C.: MORAIRA-TELLADA

	VOLUMEN TOTAL		pH		TURBIDEZ		COND		V60		S5		DBO		DQO		NT		PT		FANGOS		
	mm ³	Eu	S	Ud	Eu	S	Ud	Eu	S	Ud	Eu	S	Ud	Eu	S	Ud	Eu	S	Ud	mg/l	%	Eu	%
2006																							
Ene	31.403	7,30	7,20	34	260	2,710	7	412	36	91	240	60	67	461	171	63	23,00	1,60	12,20	39,6	20,4		
Feb	28.654	7,70	7,90	60	160	2,910	8	186	44	76	260	70	73	513	232	55	36,00	2,50	9,55	36,1	24,9		
Mar	22.412	7,50	7,50	23	350	1,750	25	401	53	86	760	66	91	919	209	76	20,00	1,00	10,50	36,9	26,8		
Abr	28.370	7,10	7,10	45	290	2,120	15	333	57	61	520	110	79	1.127	199	82	34,00	2,80	8,10	44,3	26,0		
May	32.147	7,20	7,00	35	170	2,910	3	207	35	63	360	150	56	534	241	55	31,00	1,40	10,20	50,7	25,1		
Jun	32.197	7,20	7,00	55	210	2,620	7	290	21	93	370	150	59	605	272	55	34,00	1,30	11,10	52,7	21,0		
Jul	35.586	6,80	7,10	36	230	2,670	10	227	35	65	430	120	72	745	254	66	45,00	2,20	11,64	47,0	23,1		
Ago	41.670	7,00	7,20	44	160	2,740	10	193	36	61	370	100	73	536	297	45	54,00	2,70	12,23	29,8			
Sept	33.169	6,90	6,90	26	490	2,640	40	864	21	97	780	62	92	1.530	190	88	30,00	1,50	13,25	48,5	24,4		
Oct	32.029	5,70	7,30	46	260	3,330	25	399	41	82	1.350	140	90	1.263	231	71	22,00	1,00	12,65	38,7	26,6		
Nov	34.449	7,50	6,10	17	190	2,930	10	240	22	91	460	130	68	674	167	75	33,00	1,50	10,85	40,3	26,7		
Dic	41.148	7,40	7,60	10	110	2,360	4	148	26	82	210	47	78	337	92	72	20,00	1,00					
MEDIAS POR AÑO		7,19	7,24	36	234	2,678	13	312	34	86	486	102	75	752	213	66	32,02	1,71	10,94	42,6	26,3		
MEDIAS (*)		1,077																					
2007																							
Ene	27.555	7,40	7,30	13	150	2,990	11	184	26	86	350	74	79	433	129	72	21,00	1,00	11,95	50,0	27,6		
Feb	24.455	7,60	3,20	37	180	2,900	7	224	43	78	370	110	70	530	218	59	40,00	2,60	12,95	45,6	26,4		
Mar	31.993	7,70	6,00	15	170	1,970	6	325	36	90	350	80	77	726	206	71	27,00	1,00	13,41	17,8	31,9		
Abr	38.743	7,30	7,60	25	110	2,480	2	102	15	82	220	60	73	348	145	50	32,00	1,80	12,00	17,6	32,2		
MEDIAS POR AÑO		7,49	7,76	22	149	2,403	6	209	31	84	313	70	75	513	172	65	20,92	1,57	12,58	32,8	30,0		
MEDIAS (*)		1,023																					

*) En el apartado Medias por año la media del volumen es correspondiente con la media diaria (m³/día)

Los resultados indicados en los partes de analítica disponibles se resumen en la siguiente **TABLA 6** de medias mensuales:

TABLA 6. Resumen de las medias mensuales de partes de analítica realizados en la E.D.A.R. de Moraira existente. (Elaboración propia)

AÑO	MES	LINEA DE AGUAS												LINEA DE FANGOS																	
		VOLUMEN TOTAL (m ³ /día)		pH		TURBIDEZ (Umt)		COND (µS/cm)		V ₆₀		SS (mg/l)		DBO (mg/l)		DQO (mg/l)		NT (mg/l)		PT (mg/l)		pH		MV		MS					
		E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S				
2.006	ene-05	1.065								233	75	68	123	50	514	220	57	50,50	36,75	27	6,00	0,95	84								
	feb-05	1.065							478	84	82	412	160	61	1.051	315	70	62,18	58,75	6	8,35	3,80	54								
	mar-05	710							345	62	82	409	138	66	771	280	64	69,30	37,60	46	9,80	1,20	88			49,4	28,2				
	abr-05	713							398	84	79	431	122	72	829	205	75	60,85	40,75	33	9,85	1,05	89			47,7	28,4				
	may-05	936							323	86	73	359	86	76	622	141	77	58,05	28,20	51	8,45	0,70	92			48,6	25,7				
	jun-05	1.123							338	71	79	310	100	68	609	239	61	35,85	35,30	2	6,85	1,90	72			11,98	36,6				
	jul-05	1.296							223	49	78	253	111	56	554	206	63	36,15	22,51	38	5,60	1,55	72			12,55	26,0				
	ago-05	1.446							253	78	69	274	144	47	576	267	54	39,40	24,10	39	6,25	1,70	73			12,00	37,5				
	sep-05	1.271							181	55	70	334	130	61	598	255	57	41,30	14,30	65	8,20	1,61	80			37,9	32,9				
	oct-05	1.092							341	43	87	600	80	87	976	239	76		24,10								37,4	38,8			
	nov-05	1.181							282	16	94	200	20	90	567	133	77		36,30								9,50	29,0			
	dic-05	842							214	46	79	370	80	78	730	144	80		34,00								12,30	36,2			
ene-06	1.013							7	412	36	91	240	80	67	461	171	63		23,00								14,0	39,6			
feb-06	1.024							8	186	44	76	260	70	73	513	232	55		38,00								9,55	36,1			
mar-06	723							25	401	53	87	700	66	91	919	209	77		20,00							1,00	36,9				
abr-06	946							15	333	57	83	520	110	79	1.127	199	82		34,00							2,90	44,3				
may-06	1.037							3	207	35	83	360	150	58	534	241	55		31,00							1,40	58,7				
jun-06	1.073							7	290	21	93	370	150	59	605	272	55		34,00							1,30	52,7				
jul-06	1.148							10	227	35	85	430	120	72	745	254	66		45,00							2,20	47,0				
ago-06	1.344							10	193	36	81	370	100	73	536	297	45		54,00							2,70	29,8				
sep-06	1.106							40	804	21	97	780	62	92	1.530	190	88		30,00							1,50	48,5				
oct-06	1.033							25	399	41	90	1.350	140	90	1.263	231	82		22,00							1,00	38,7				
nov-06	1.148							10	240	22	91	400	130	68	674	167	75		33,00							1,50	40,3				
dic-06	1.327							4	148	26	82	210	47	78	337	92	73		20,00							1,00	38,4				
ene-07	889							11	184	26	86	350	74	79	483	129	73		21,00							1,00	50,0				
feb-07	873							7	224	49	78	370	110	70	530	218	59		40,00							2,60	45,6				
mar-07	1.032							6	325	36	89	350	80	77	726	208	72		27,00							1,00	17,8				
abr-07	1.291							2	102	18	82	220	60	73	348	145	58		32,00							1,80	17,6				
MEDIA		1.062						12	296	47	83	410	102	72	705	211	67		50,38							7,88	1,74	78	11,45	39,5	28,1

Leyenda: E: Entrada S: Salida R: Rendimiento

4.2.5.2 Análisis de los resultados obtenidos en las analíticas para la línea de aguas de la E.D.A.R. de Moraira existente

A partir de las medias mensuales de partes de analítica de control indicadas se obtienen las siguientes gráficas (**FIGURA 32** a **FIGURA 36**) donde se muestra la evolución de los distintos parámetros de caracterización de las aguas a la entrada y salida de la E.D.A.R. de Moraira existente.

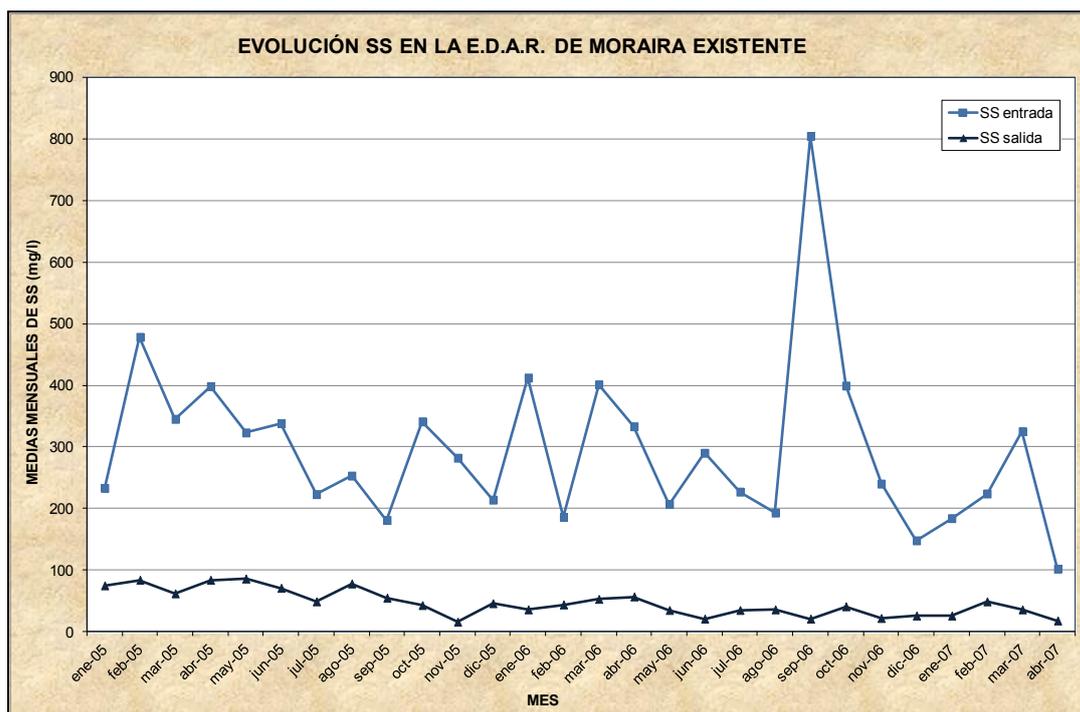


FIGURA 32. Evolución de las concentraciones medias mensuales de sólidos en suspensión (SS) a la entrada y salida de la planta de Moraira existente. (Elaboración propia)

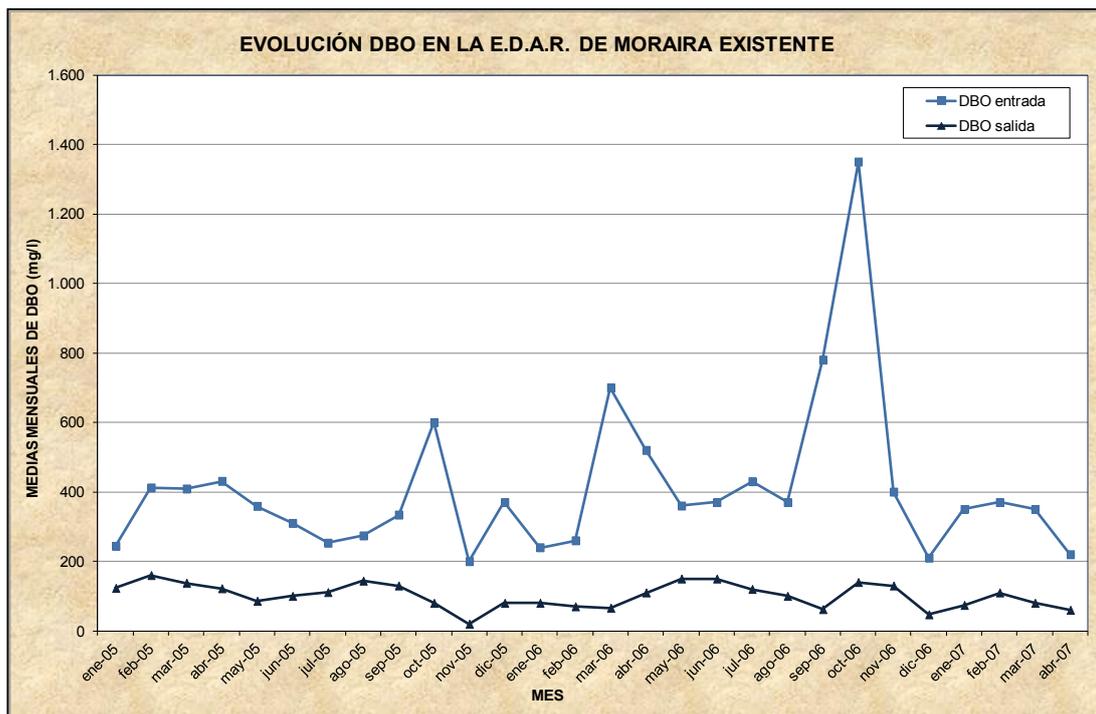


FIGURA 33. Evolución de las concentraciones medias mensuales de demanda biológica de oxígeno (DBO) a la entrada y salida de la planta de Moraira existente. (Elaboración propia)

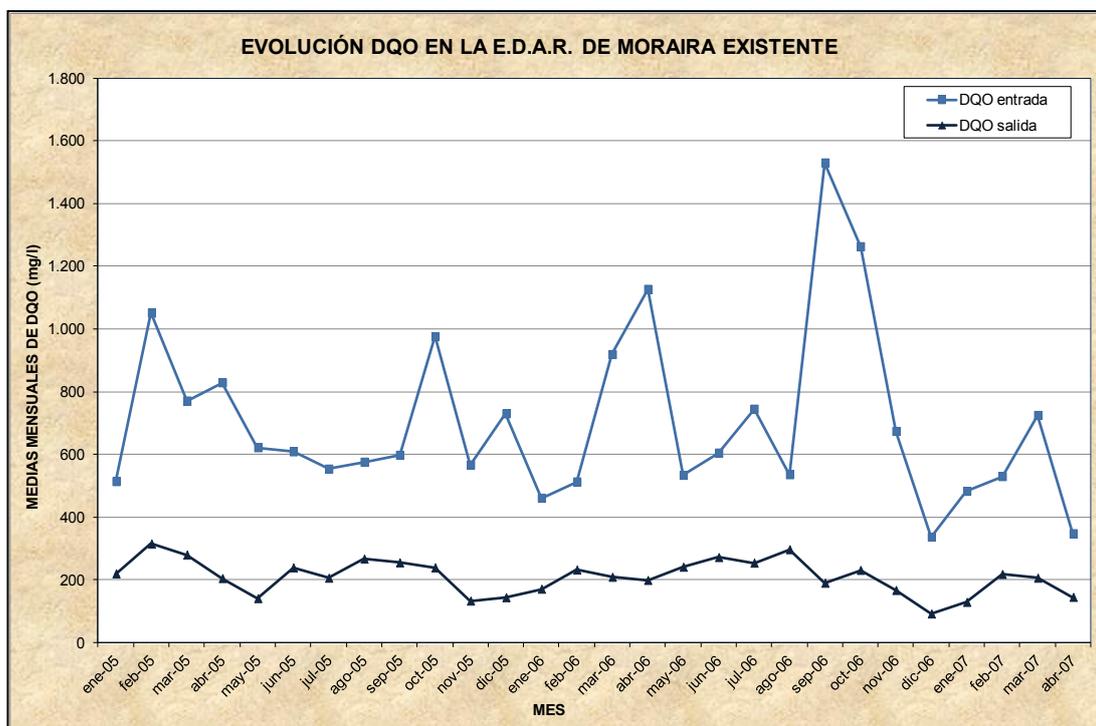


FIGURA 34. Evolución de las concentraciones medias mensuales de demanda química de oxígeno (DQO) a la entrada y salida de la planta de Moraira existente. (Elaboración propia)

DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

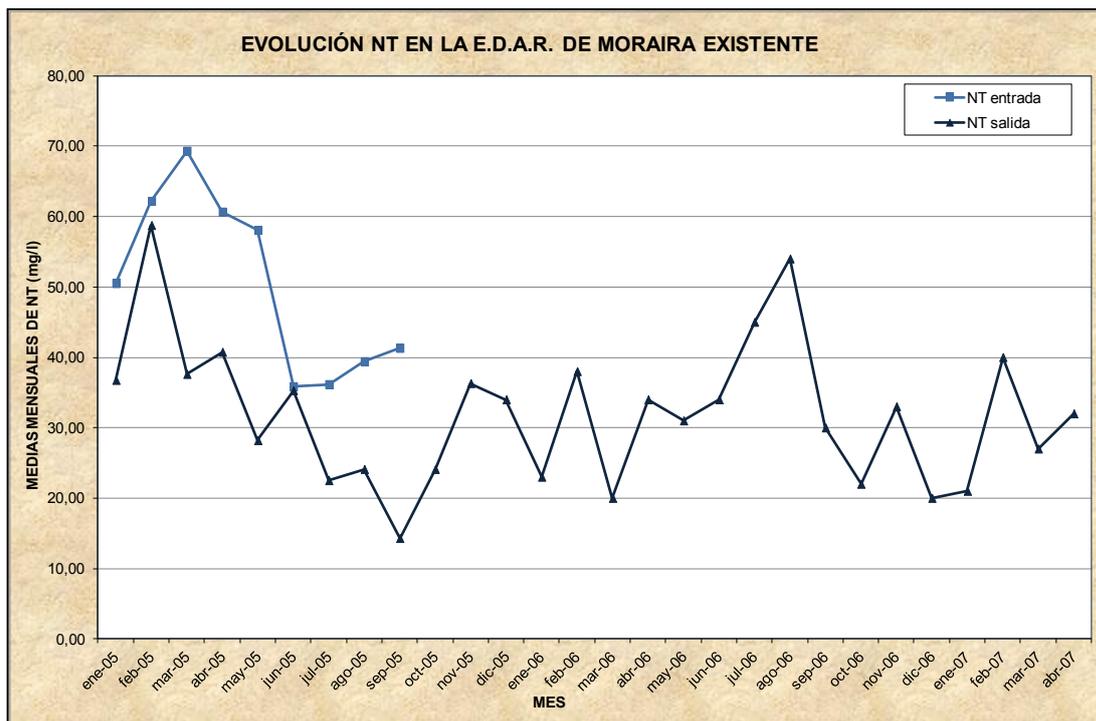


FIGURA 35. Evolución de las concentraciones medias mensuales de nitrógeno total (NT) a la entrada y salida de la planta de Moraira existente. (Elaboración propia)

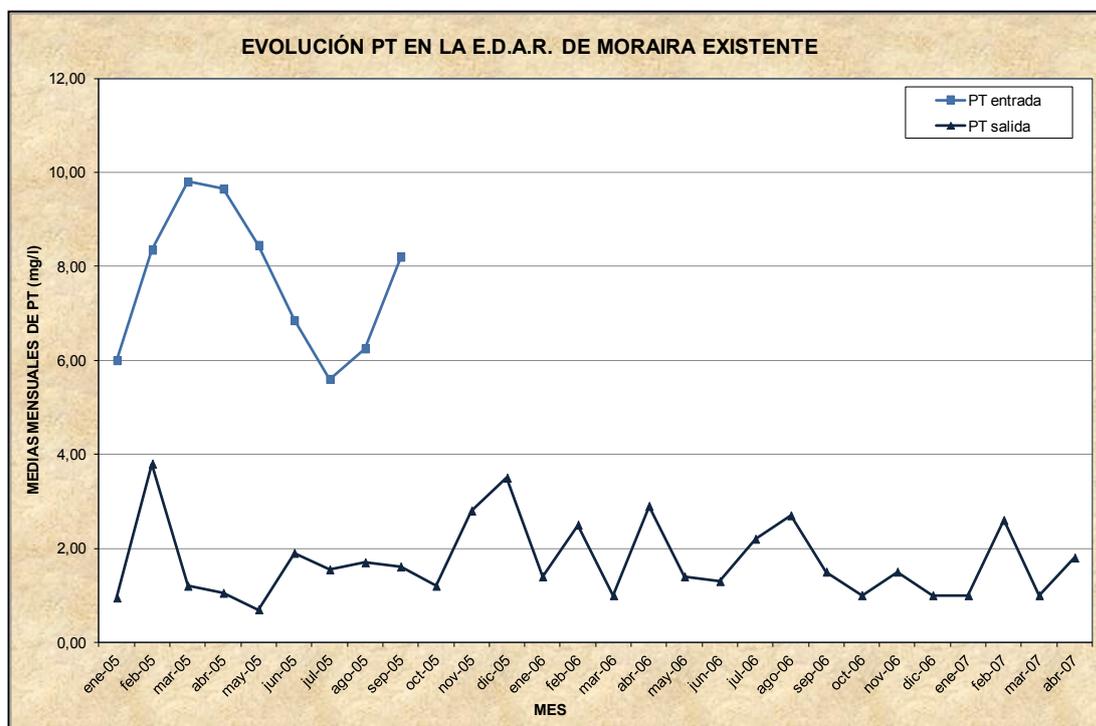


FIGURA 36. Evolución de las concentraciones medias mensuales de fósforo total (PT) a la entrada y salida de la planta de Moraira existente. (Elaboración propia)

La evolución de los rendimientos medios mensuales de depuración de los parámetros de caracterización de las aguas en la E.D.A.R. de Moraira existente para el período de tiempo considerado (de enero de 2.005 a abril de 2.007) se refleja en la siguiente **FIGURA 37**:

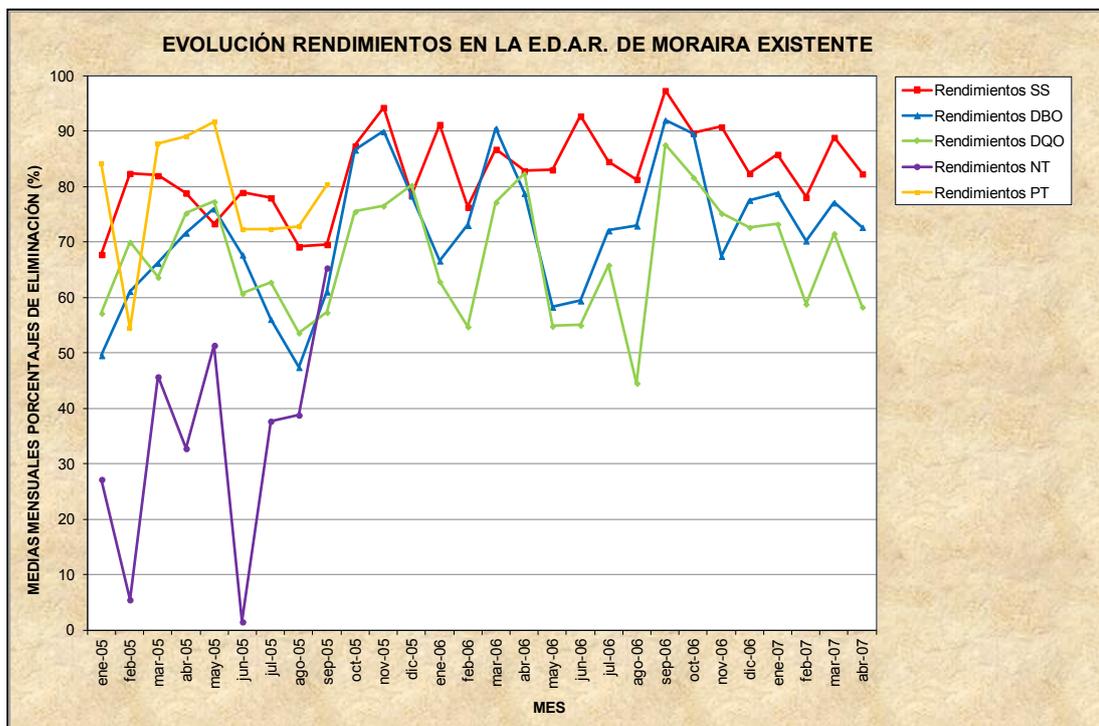


FIGURA 37. Evolución de los rendimientos medios mensuales de depuración de sólidos en suspensión (SS), demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) en la planta de Moraira existente. (Elaboración propia)

Los resultados obtenidos indican que para el período de tiempo considerado (entre enero de 2.005 y abril de 2.007), el agua influente a la planta de Moraira existente presenta unas concentraciones medias de: 296 mg/l de sólidos en suspensión (SS), 410 mgO₂/l de demanda biológica de oxígeno a los 5 días (DBO₅), 705 mgO₂/l de demanda química de oxígeno (DQO), 50,38 mgN/l de nitrógeno total (NT) y 7,68 mgP/l de fósforo total (PT). El agua efluente de la planta de Moraira existente presenta unas concentraciones medias de: 47 mg/l de sólidos en suspensión (SS), 102 mgO₂/l de demanda biológica de oxígeno a los 5 días (DBO₅), 211 mgO₂/l

de demanda química de oxígeno (DQO), 32,02 mgN/l de nitrógeno total (NT) y 1,74 mgP/l de fósforo total (PT).

Los rendimientos medios de depuración obtenidos en la E.D.A.R. de Moraira existente para el período de tiempo considerado oscilan entre el 83% de eliminación de sólidos en suspensión, el 78% de eliminación del fósforo total, el 72% de eliminación de DBO₅ y el 67% de eliminación de DQO. El rendimiento medio de eliminación de nitrógeno total es bastante más bajo, siendo dicho rendimiento medio del 34%.

Si comparamos los resultados obtenidos en el efluente de la E.D.A.R. actual de Moraira con los requisitos de vertido de las aguas residuales urbanas que marca la directiva europea sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas (Directiva 91/271/CEE. Ver apartado 5. NORMATIVA APLICABLE Y CRITERIOS DE VERTIDO), se puede concluir que aunque actualmente se está eliminando gran parte de los sólidos suspendidos, así como los contaminantes asociados a ellos, no se llega a alcanzar el porcentaje mínimo de reducción del 90 % (o la concentración de 35 mg/l de SS) que propone como requisito optativo dicha directiva. En cuanto a la eliminación de DBO₅ el porcentaje de reducción actual se encuentra dentro del intervalo de reducción mínimo marcado por la directiva, que es del 70 al 90 %. No ocurre lo mismo para la eliminación de DQO que incumpliría actualmente lo marcado por la directiva donde se establece una concentración de 125 mg/l de DQO o un porcentaje mínimo de reducción del 75%.

Por otra parte, la E.D.A.R. actual de Moraira genera un efluente cuyo contenido en PT es muy bajo. Ello se debe a la utilización del cloruro férrico (FeCl₃) como coagulante que provoca además la precipitación del fósforo.

4.2.5.3 Análisis de los resultados obtenidos en las analíticas para la línea de fangos

Los fangos en exceso generados en la E.D.A.R. de Moraira existente se espesan por gravedad, se estabilizan, acondicionan y se deshidratan mediante centrifugas.

A partir de las medias mensuales de partes de analítica de control realizados en la línea de fangos se obtienen las siguientes gráficas (**FIGURA 38** y **FIGURA 39**), donde se muestra la evolución de los porcentajes medios mensuales de materia volátil (MV) y materia seca (MS) de los fangos generados en la E.D.A.R. de Moraira existente en el período de tiempo registrado (desde enero de 2.005 a abril de 2.007).

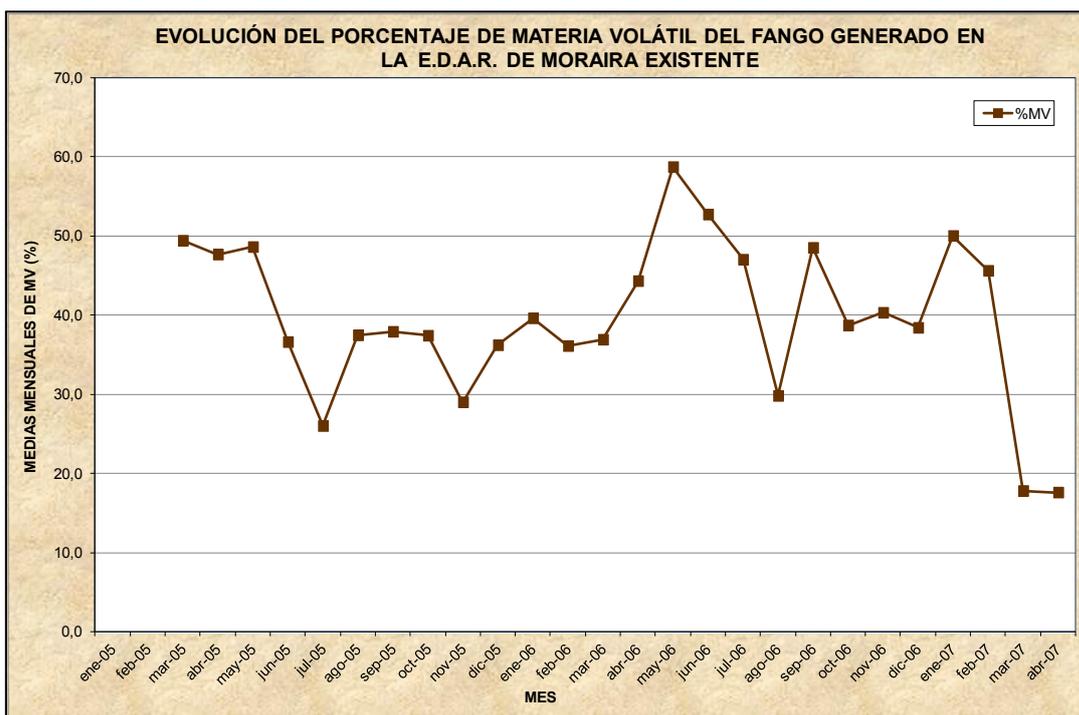


FIGURA 38. Evolución del porcentaje medio mensual de materia volátil (MV) del fango generado en la planta de Moraira existente. (Elaboración propia)

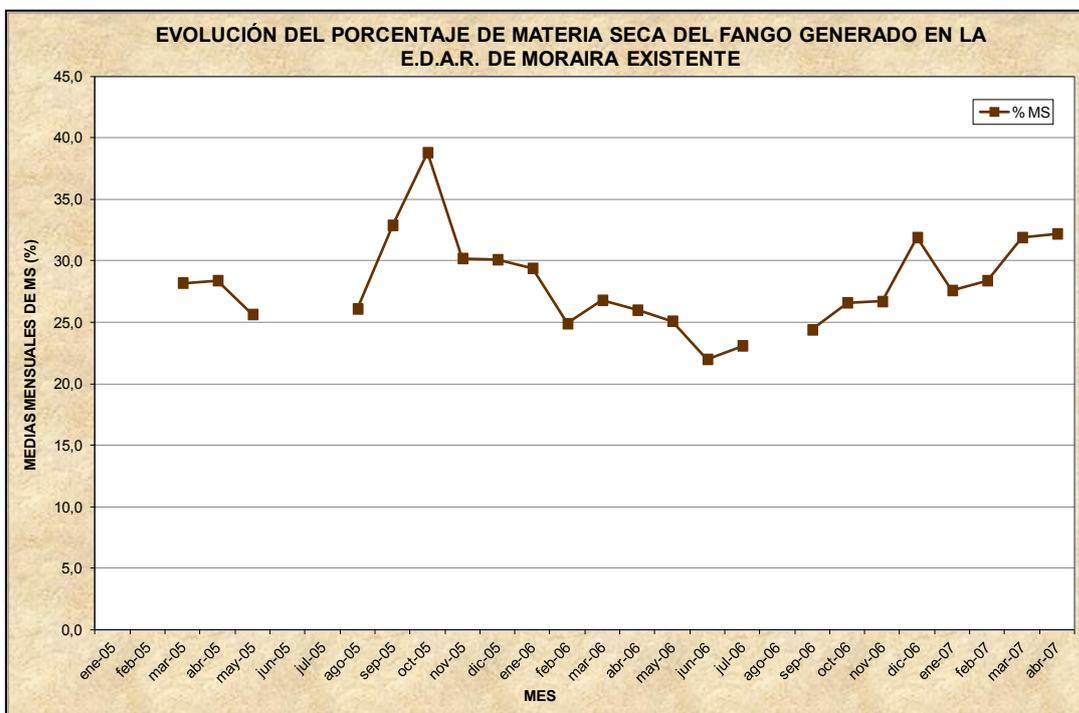


FIGURA 39. Evolución del porcentaje medio mensual de materia seca (MS) del fango generado en la planta de Moraira existente. (Elaboración propia)

Para el período de tiempo considerado, los porcentajes mensuales de materia volátil (MV) en el fango generado en la E.D.A.R. de Moraira existente oscilan entre un mínimo del 17,6% y un máximo del 58,7%. El porcentaje mensual medio de materia volátil (MV) es del 39,5%.

De igual manera, los porcentajes mensuales de materia seca (MS) en el fango generado en la E.D.A.R. de Moraira existente oscilan entre un mínimo del 22,0% y un máximo del 38,8%. El porcentaje mensual medio de materia seca (MS) es del 28,1% para el período de tiempo considerado que abarca desde enero de 2.005 a abril de 2.007.

Se considera que un fango está bien estabilizado cuando el contenido en sólidos suspendidos volátiles (SSV o MV) es inferior al 60%. Si analizamos los fangos generados por la E.D.A.R. actual de Moraira podemos concluir que el fango generado está muy estabilizado. Esto se debe a que ha sido generado como resultado de un proceso físico-químico de coagulación-floculación más decantación lamelar y en ausencia de tratamiento biológico secundario adicional, el cual incrementaría la volatilidad del fango gracias a la biomasa generada en los procesos biológicos.

Por otra parte, el contenido de materia seca en el lodo final condiciona el posible destino final que se le dé a los fangos. Para la manipulación y el transporte de los mismos se exige un fango con una sequedad (contenido en materia seca MS) del 22%-23%, criterio que cumple el fango generado actualmente por la E.D.A.R. de Moraira. Además, dicho fango tiene un contenido en agua inferior al 85% (HERNÁNDEZ MUÑOZ, 2001 pág. 1035) que lo hace apropiado para su uso en agricultura

4.2.5.4 Caracterización del agua de entrada establecida en el pliego de bases

4.2.5.4.1 CAUDALES DE DISEÑO

De acuerdo a los datos base del proyecto establecidos en el *Pliego de bases técnicas para el concurso de proyecto y ejecución de obra del tratamiento terciario de la E.D.A.R. de Moraira (Alicante) e instalaciones de reutilización de agua tratada*, la ampliación de la E.D.A.R. prevé el mantenimiento de la extensión de su propia cuenca de saneamiento, por lo que los caudales previstos para la ampliación son los mismos que se consideraron anteriormente para la definición del tratamiento primario existente. El municipio tributario de esta cuenca es la Pedanía de Moraira, perteneciente al término municipal de Teulada (Alicante).

Los caudales de diseño que se van a tomar para el dimensionamiento de la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira en el presente trabajo son los que se indican en el Pliego:

❖ **Caudal medio diario, $Q_{\text{medio diario}}$: 3.600 m³/día**

❖ **Caudal medio horario, $Q_{\text{medio horario}}$: 150 m³/h**

$$(Q_{\text{medio horario}} = Q_{\text{medio diario}}/24 = 3.600/24 = 150 \text{ m}^3/\text{h})$$

❖ **Factor o coeficiente de punta, F_{punta} : 2,547**

$$(F_{\text{punta}} = Q_{\text{punta}}/Q_{\text{medio}})$$

❖ **Caudal punta o máximo, Q_{punta} : 382 m³/h**

$$(Q_{\text{punta}} = F_{\text{punta}} \times Q_{\text{medio}} = 2,547 \times 150 = 382 \text{ m}^3/\text{h})$$

Estos caudales corresponden a los máximos valores diarios esperados.

4.2.5.4.2 CARGA CONTAMINANTE DEL AGUA DE ENTRADA A LA PLANTA

Los parámetros de carga contaminante del agua bruta, de origen residual urbano, son los que figuran en el citado Pliego. Estos parámetros han sido obtenidos de los datos básicos del proyecto de construcción de la E.D.A.R. objeto de reforma y están cotejados con los históricos de la depuradora de Moraira, dentro del Plan de control y analítica que la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales (E.P.S.A.R.) ha realizado.

Dichos parámetros son los siguientes:

- ❖ **Concentración de Sólidos en Suspensión, SS: 350 mg/l (p.p.m.)**
- ❖ **Concentración de Demanda Biológica de Oxígeno a los 5 días, DBO₅: 400 mg/l (p.p.m.)**
- ❖ **Concentración de Demanda Química de Oxígeno, DQO: 750 mg/l (p.p.m.)**
- ❖ **Concentración de Nitrógeno total, NT: 60,4 mg/l (p.p.m.)**
- ❖ **Concentración de Fósforo total, PT: 9,2 mg/l (p.p.m.)**

Si comparamos estos datos de partida con las analíticas realizadas al agua influente en la E.D.A.R. de Moraira para el período de tiempo considerado (entre enero de 2.005 y abril de 2.007), donde se obtenían unas concentraciones medias a la entrada de: 296 mg/l de sólidos en suspensión (SS), 410 mgO₂/l de demanda biológica de oxígeno a los 5 días (DBO₅), 705 mgO₂/l de demanda química de oxígeno (DQO), 50,38 mgN/l de nitrógeno total (NT) y 7,68 mgP/l de fósforo total (PT), las diferencias entre los valores de los parámetros de partida con los obtenidos en dichas analíticas son las siguientes:

$$\frac{|350 - 296|}{350} \times 100 = 15,43\% \text{ para los sólidos en suspensión}$$

$$\frac{|400 - 410|}{400} \times 100 = 2,5\% \text{ para la demanda biológica de oxígeno a los 5 días}$$

$$\frac{|750 - 705|}{750} \times 100 = 6,00\% \text{ para la demanda química de oxígeno}$$

$$\frac{|60,4 - 50,38|}{60,4} \times 100 = 16,59\% \text{ para el nitrógeno}$$

$$\frac{|9,2 - 7,68|}{9,2} \times 100 = 16,52\% \text{ para el fósforo total}$$

Se observa que en ningún caso la diferencia es superior al 17%, siendo para los parámetros DBO₅ y DQO inferior al 10%.

Para un caudal medio diario, $Q_{\text{medio diario}}$, de 3.600 m³/día, las cargas medias del agua de entrada serán:

- Carga media de Sólidos en Suspensión: **1.260 kg/día**

$$\begin{aligned} \text{SS} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) \times Q_{\text{medio diario}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) \times \left(\frac{1.000\text{l}}{1\text{m}^3} \right) \times \left(\frac{1\text{kg}}{10^6\text{mg}} \right) \\ = 350 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) \times 3.600 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) \times \left(\frac{1.000\text{l}}{1\text{m}^3} \right) \times \left(\frac{1\text{kg}}{10^6\text{mg}} \right) = 1.260 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \end{aligned}$$

- Carga media de Demanda Biológica de Oxígeno a los 5 días: **1.440 kg/día**

$$\begin{aligned} \text{DBO}_5 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) \times Q_{\text{medio diario}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) \times \left(\frac{1.000\text{l}}{1\text{m}^3} \right) \times \left(\frac{1\text{kg}}{10^6\text{mg}} \right) \\ = 400 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) \times 3.600 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) \times \left(\frac{1.000\text{l}}{1\text{m}^3} \right) \times \left(\frac{1\text{kg}}{10^6\text{mg}} \right) = 1.440 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \end{aligned}$$

- Carga media de Demanda Química de Oxígeno: **2.700 kg/día**

$$\begin{aligned} \text{DQO} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) \times Q_{\text{medio diario}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) \times \left(\frac{1.000\text{l}}{1\text{m}^3} \right) \times \left(\frac{1\text{kg}}{10^6\text{mg}} \right) \\ = 750 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) \times 3.600 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) \times \left(\frac{1.000\text{l}}{1\text{m}^3} \right) \times \left(\frac{1\text{kg}}{10^6\text{mg}} \right) = 2.700 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \end{aligned}$$

- Carga media de Nitrógeno total: **217,44 kg/día**

$$\begin{aligned} \text{NT} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) \times Q_{\text{medio diario}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) \times \left(\frac{1.000\text{l}}{1\text{m}^3} \right) \times \left(\frac{1\text{kg}}{10^6\text{mg}} \right) \\ = 60,4 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) \times 3.600 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) \times \left(\frac{1.000\text{l}}{1\text{m}^3} \right) \times \left(\frac{1\text{kg}}{10^6\text{mg}} \right) = 217,44 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \end{aligned}$$

- Carga media de Fósforo total: **33,12 kg/día**

$$\begin{aligned} \text{PT} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) \times Q_{\text{medio diario}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) \times \left(\frac{1.000\text{l}}{1\text{m}^3} \right) \times \left(\frac{1\text{kg}}{10^6\text{mg}} \right) \\ = 9,2 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) \times 3.600 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) \times \left(\frac{1.000\text{l}}{1\text{m}^3} \right) \times \left(\frac{1\text{kg}}{10^6\text{mg}} \right) = 33,12 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \end{aligned}$$

4.2.5.4.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE ENTRADA

Los parámetros que caracterizan un agua residual urbana presentan un grado de contaminación alta, media o baja en función de los siguientes intervalos de concentración indicados en la **TABLA 7**, **TABLA 8** y **TABLA 9**:

DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

TABLA 7. Tabla de características de las aguas residuales urbanas. (FERRER POLO, y otros, 2011)

Constituyente	Concentración (mg/l)		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos suspendidos (SS)	580	300	100
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	500	300	100
Demanda química de oxígeno (DQO)	1600	750	250
Nitrógeno total (NT)	140	60	20
Fósforo total (PT)	33	15	6

TABLA 8. Tabla de características de las aguas residuales urbanas. (METCALF & EDDY, 2003)

Componentes	Intervalo de concentraciones (mg/l)		
	Alta	Media	Baja
Materia en suspensión	350	220	100
DBO ₅ a 20 °C	400	220	110
DQO	1000	500	250
Nitrógeno total (NT)	85	40	20
Fósforo	15	8	4

TABLA 9. Tablas de características de las aguas residuales urbanas. (HERNÁNDEZ MUÑOZ, 2001 pág. 4 y 5)

Parámetro	Contaminación Fuente	Contaminación Media	Contaminación Ligera
Sólidos totales (S.T.)	1000	500	200
Volátiles (S.T.V.)	700	350	120
Fijos (S.T.F.)	300	150	80
Sólidos en suspensión totales (S.S.)	500	300	100
Volátiles (S.S.V.)	400	250	70
Fijos (S.S.F.)	100	50	30
Sólidos sedimentables totales (S.s.)	250	180	40

Parámetro	Contaminación Fuente	Contaminación Media	Contaminación Ligera
Volátiles (S.s.V)	100	72	16
Fijos (S.s.F.)	150	108	24
Sólidos disueltos totales (S.D.)	500	200	100
Volátiles (S.D.V.)	300	100	50
Fijos (S.D.F.)	200	100	50
D.B.O ₅ a 20°C	300	200	100
D.Q.O.	800	450	160
Oxígeno disuelto (O.D.)	0	0,1	0,2
Nitrógeno total (N.)	86	50	25
Nitrógeno orgánico (N.)	35	20	10
Amoníaco libre (N-NH ₄)	50	30	15
Nitritos (N-NO ₂)	0,10	0,05	0,00
Nitratos (N-NO ₃)	0,40	0,20	0,10
Fósforo total (P)	17	7	2
Cloruros	175	100	15
pH	6-9	6-9	6-9
Grasas	40	20	0

* Valores en mg/l

De acuerdo a la bibliografía consultada se puede concluir que estamos ante un agua residual urbana cuya carga de contaminación es media-alta.

NORMATIVA APLICABLE Y CRITERIOS DE VERTIDO

5 NORMATIVA APLICABLE Y CRITERIOS DE VERTIDO

5.1 NORMATIVA DE APLICACIÓN

Para la elaboración del presente trabajo final de máster se ha tenido en cuenta la normativa vigente de ámbito europeo, estatal, autonómico y local en materia de aguas (referente a la protección de la calidad de las mismas y al tratamiento, vertido y reutilización de las aguas residuales), así como en materia de lodos (regulada por la normativa de residuos y complementada con las disposiciones referentes a su aplicación como fertilizante o como enmienda orgánica).

Se incluye además un apartado con la resolución estatal que regula los costes de la electricidad, necesarios en el presente trabajo para valorar los costes energéticos de explotación de la E.D.A.R.

A continuación se enumera la normativa aplicada. Un estudio más detallado de la misma se realiza en el **ANEJO 1** de la presente memoria donde se detalla la normativa que se ha aplicado y lo que ha motivado dicha aplicación.

I) Normativa europea:

Materia: Aguas (Aguas residuales y protección de aguas):

- Directiva 91/271/CEE, de 21 de mayo de 1991, del Consejo, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Directiva 98/15/CE, de 27 de febrero de 1998, de la Comisión, por la que se modifica la Directiva 91/271/CEE del Consejo en relación con determinados requisitos establecidos en su anexo I.

- Directiva 2000/60/CE, de 23 de octubre de 2000, del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

Materia: Residuos (lodos de depuración):

- Directiva 86/278/CEE, de 12 de junio de 1986, del Consejo, relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en agricultura.
- Directiva 91/676/CE, de 12 de diciembre de 1991, del Consejo, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos empleados en agricultura.
- Decisión 2000/532/CE, de 3 de mayo de 2000, de la Comisión, por la que se establece una lista de residuos.
- Reglamento 1013/2006, de 14 de junio de 2006, del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a los traslados de residuos.
- Directiva 2008/98/CE, de 19 de noviembre de 2008, del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.

II) Normativa española:

Materia: Aguas (Aguas residuales y protección de aguas):

- Ley 22/1988, de 28 julio, de protección, utilización y policía de costas.
- Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

- Real Decreto 509/1996, de 15 marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre de 1995, que establece las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Resolución de 25 de mayo de 1998, de la Secretaría de Estado de Aguas y Costas, por la que se declaran las «zonas sensibles» en las cuencas hidrográficas intercomunitarias.
- Real Decreto 2116/1998, de 2 de octubre, por el que se modifica 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.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 julio, por el que se aprueba el texto refundido de la ley de aguas.
- Resolución de 10 de julio de 2006, de la Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad, por la que se declaran las Zonas Sensibles en las Cuencas Hidrográficas Intercomunitarias
- Real Decreto 1620/2007, de 7 diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
- Real Decreto 60/2011, de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.
- Resolución de 30 de junio de 2011, de la Secretaría de Estado de Medio Rural y Agua, por la que se declaran las zonas sensibles en las cuencas intercomunitarias.

Materia: Residuos (lodos de depuración):

- Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos (derogada).

- Real Decreto 1310/1990, de 29 octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario.
- Resolución de 14 de junio de 2001, de la Secretaría General de Medio Ambiente, por la que se dispone la publicación del Acuerdo de Consejo de Ministros, de 1 de junio de 2001, por el que se aprueba el Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales 2001-2006.
- Orden MAM/304/2002, de 8 febrero, por la que se publica las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.
- Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes.
- Resolución de 20 de enero de 2009, de la Secretaría de Estado de Cambio Climático, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba el Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008-2015.
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.

Materia: Electricidad:

- Resolución del 31 de enero de 2014, de la de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se revisa el coste de producción de energía eléctrica y los precios voluntarios para el pequeño consumidor.

III) Normativa de la Comunidad Valenciana:

Materia: Aguas (Aguas residuales y protección de aguas):

- Ley 2/1992, de 26 de marzo, de saneamiento de las aguas residuales de la Comunidad Valenciana.

- Orden de 30 de agosto de 2002, de las Consellerias de Medio Ambiente y de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes, por la que se declaran zonas sensibles en las aguas marítimas del ámbito de la Comunidad Valenciana.
- Decreto 197/2003, de 3 de octubre, del Consell de la Generalitat, por el que se aprueba el II Plan director de Saneamiento y Depuración de la Comunidad Valenciana.

Materia: Residuos (lodos de depuración):

- Ley 10/2000, de 12 diciembre, de Residuos de Comunidad Valenciana.
- Orden 7/2010, de 10 de febrero, de la Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación, por la que se aprueba el Código Valenciano de Buenas Prácticas Agrarias.
- DECRETO 81/2013, de 21 de junio, del Consell, de aprobación definitiva del Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana (PIRCV).

IV) Normativa local o municipal (Ayuntamiento de Teulada-Moraira):

- Ordenanza municipal de limpieza viaria y gestión de residuos en el término municipal de Teulada, aprobada por el Ayuntamiento Pleno en sesión celebrada en fecha 6 de mayo de 2004.
- Ordenanza de vertidos a la red municipal de alcantarillado adoptado por el Ayuntamiento Pleno en la sesión celebrada el día 1 de octubre de 1999.
- Plan General de Término Municipal de Teulada (Alicante). Año 2.002.

5.2 CRITERIOS DE VERTIDO

5.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE SALIDA

El *Pliego de bases técnicas para el concurso de proyecto y ejecución de obra del tratamiento terciario de la E.D.A.R. de Moraira (Alicante) e instalaciones de reutilización de agua tratada*, formulado por la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales, E.P.S.A.R., en referencia a las características del agua de salida establece que se deberán cumplir los parámetros de vertido de la normativa vigente, teniendo en cuenta que el agua tratada será reutilizada para uso agrícola y riego de parques y jardines públicos. El agua tratada sobrante se verterá al mar mediante emisario terrestre y submarino.

Los requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas vienen recogidos en el Real Decreto 509/1996, de 15 marzo, y en Real Decreto 2116/1998, de 2 octubre, que desarrollan lo dispuesto en el Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, en virtud de lo establecido por las Directivas 91/271/CEE y 98/15/CE.

En el Artículo 5 (Requisitos de los vertidos procedentes de las instalaciones de tratamiento secundario) del Real Decreto 509/1996 se indica que: *Los vertidos procedentes de las instalaciones de tratamiento secundario o de un proceso equivalente, a las que hace referencia el artículo 5 del Real Decreto-ley, deberán cumplir los requisitos que figuran en el cuadro 1 del anexo I de este Real Decreto. No obstante, las autorizaciones de vertidos 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.*

Las instalaciones a las que hace referencia el artículo 5 del Real Decreto-Ley 11/1995 son aquéllas que cuenten con más de 15.000 habitantes-equivalentes, o cuenten entre 10.000 y 15.000 habitantes-equivalentes, o

bien cuenten entre 2.000 y 10.000 habitantes-equivalentes y viertan en aguas continentales o estuarios. La E.D.A.R. de Moraira sirve a una población de 7.637 habitantes equivalentes (ENTIDAT DE SANEJAMENT D'AIGÜES (E.P.S.A.R.), 2014) y parte de sus aguas depuradas se verterán al mar.

Los requisitos de vertido que figuran en el citado cuadro 1 del anexo I son los que se indican en la siguiente **FIGURA 40**:

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción (1)	Método de medida de referencia
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO 5 a 20 ° C) sin nitrificación (2)	25 mg/l O ₂	70-90. 40 de conformidad con el apartado 3 del artículo 5 R.D-ley (3)	Muestra homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Determinación del oxígeno disuelto antes y después de cinco días de incubación a 20 ° C ± 1 ° C, en completa oscuridad. Aplicación de un inhibidor de la nitrificación.
Demanda química de oxígeno (DQO)	125 mg/l O ₂	75	Muestra homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Dicromato potásico.
Total de sólidos en suspensión	35 mg/l (4). 35 de conformidad con el apartado 3 del art. 5 R.D-I (más de 10.000 h-e) (3). 60 de conformidad con el apartado 3 del art. 5 R.D.I (de 2.000 a 10.000 h-e) (3)	90 (4). 90 de conformidad con el apartado 3 del art. 5 R.D-I (más de 10.000 h-e) (3). 70 de conformidad con el apartado 3 del art. 5 R.D-I (de 2.000 a 10.000 h-e) (3)	Filtración de una muestra representativa a través de una membrana de filtración de 0,45 micras. Secado a 105 ° C y pesaje. Centrifugación de una muestra representativa (durante cinco minutos como mínimo, con una aceleración media de 2.800 a 3.200 g), secado a 105 ° C y pesaje.

(1) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada.

(2) Este parámetro puede sustituirse por otro: carbono orgánico total (COT) o demanda total de oxígeno (DTO), si puede establecerse una correlación entre DBO 5 y el parámetro sustituto.

(3) Se refiere a los supuestos en regiones consideradas de alta montaña contemplada en el apartado 3 del artículo 5 del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre.

(4) Este requisito es optativo.

Los análisis de vertidos procedentes de sistemas de depuración por lagunaje se llevarán a cabo sobre muestras filtradas; no obstante, la concentración de sólidos totales en suspensión en las muestras de aguas sin filtrar no deberá superar los 150 mg/l.

FIGURA 40. Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas referidas en el Artículo 5 del Real Decreto-ley 11/1995. (Cuadro 1 del Anexo I del Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo)

En el caso en el que los vertidos de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas se realicen en zonas sensibles, el Artículo 6 (Requisitos de los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento realizados en zonas sensibles) del Real Decreto 509/1996 establece que además de cumplir los requisitos que figuran en el cuadro 1 (**FIGURA 40**) se deberán cumplir los condicionantes indicados en el cuadro 2 del anexo I de este Real Decreto. Dicho cuadro 2 fue modificado por el Real Decreto 2116/1998 y se indica a continuación (**FIGURA 41**):

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción (1)	Método de medida de referencia
Fósforo total.	2 mg/l P (de 10000 a 100000 h-e). 1 mg/l P (más de 100000 h-e).	80	Espectrofotometría de absorción molecular.
Nitrógeno total (2).	15 mg/l N (de 10000 a 100000 h-e) (3). 10 mg/l N (más de 100000 h-e) (3).	70-80	Espectrofotometría de absorción molecular.

(1) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada.

(2) Nitrógeno total equivalente a la suma de nitrógeno Kjeldahl total (N orgánico y amoniacal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitrito.

(3) Estos valores de concentración constituyen medias anuales según el punto 3.º del apartado A) 2 del anexo III. No obstante, los requisitos relativos al nitrógeno pueden comprobarse mediante medias diarias cuando se demuestre, de conformidad con el apartado A) 1 del anexo III, que se obtiene el mismo nivel de protección. En ese caso, la media diaria no deberá superar los 20 mg/l de nitrógeno total para todas las muestras, cuando la temperatura del efluente del reactor biológico sea superior o igual a 12 °C. En sustitución del requisito relativo a la temperatura, se podrá aplicar una limitación del tiempo de funcionamiento que tenga en cuenta las condiciones climáticas regionales.»

FIGURA 41. Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas realizados en zonas sensibles cuyas aguas sean eutróficas o tengan tendencia a serlo en un futuro próximo. Según la situación local, se podrá aplicar uno o los dos parámetros. Se aplicarán el valor de concentración o el porcentaje de reducción. (Cuadro 2 del Anexo del Real Decreto 2116/1998, de 2 de octubre)

En el anexo II del Real Decreto 509/1996, de 15 marzo, se establecen los criterios para la determinación de zonas sensibles y menos sensibles.

En el Anejo 1 de la presente memoria se detalla la última declaración de zonas sensibles revisada, la Resolución de 30 de junio de 2011, de la Secretaría de Estado de Medio Rural y Agua, así como la Orden de 30 agosto 2002 de la Comunidad Valenciana que declara como zonas sensibles una serie de aguas marítimas. Tras su estudio se concluye que, para el caso que nos compete, la playa de L'Ampolla (Moraira), donde verterán mediante emisario submarino parte de las aguas residuales tratadas en la E.D.A.R. de Moraira, **no está declarada actualmente como zona sensible**, por lo que únicamente se estaría a lo dispuesto en el Cuadro 1 del anexo I del Real Decreto 509/1996 (**FIGURA 40**).

Sin embargo, para mejorar la calidad del agua de baño y limitar el crecimiento de algas en instalaciones de riego por goteo se van a considerar también los requisitos de vertido de zona sensible (**FIGURA 41**).

Por otra parte, los criterios de calidad para la reutilización de las aguas según sus usos vienen indicados en el Anexo I A del Real Decreto 1620/2007, de 7 diciembre, en el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

Para los usos previstos en el Pliego (uso agrícola y riego de parques y jardines) los criterios de calidad exigidos en el Real Decreto 1620/2007 se indican en la siguiente **TABLA 10**:

TABLA 10. Criterios de calidad para la reutilización de las aguas según sus usos: Riego de parques y jardines. (Anexo I A del Real Decreto 1620/2007, de 7 diciembre, donde se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas)

Uso del agua previsto	Valor máximo admisible (VMA)				
	Nematodos intestinales	«Escherichia coli»	Sólidos en suspensión	Turbidez	Otros criterios
1. USOS URBANOS					
CALIDAD 1.1: RESIDENCIAL a) Riego de jardines privados. b) Descarga de aparatos sanitarios.	1 huevo/10 l	0 (UFC/100 ml)	10 mg/l	2 UNT	Otros contaminantes contenidos en la autorización de vertido de aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. «Legionella spp.» 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)
CALIDAD 1.2: SERVICIOS a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares). b) Baldeo de calles. c) Sistemas contra incendios. d) Lavado industrial de vehículos.	1 huevo/10 l	200 UFC/100 ml	20 mg/l	10 UNT	

El Pliego de bases técnicas establece además unos requisitos a cumplir para los parámetros a la salida del tratamiento biológico. Dichos requisitos se indican en la **FIGURA 42**:

	Unidad	Verano	Invierno
DBO ₅	mg/l	< 20	<20
Sólidos en suspensión	mg/l	<10	< 10
Turbidez	NTU	< 5	< 5
E.Coli	u.f.c.	< 100/100 ml	

FIGURA 42. Requisitos adicionales de vertido establecidos en el Pliego de bases técnicas. (GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA DE PRESIDÈNCIA I AGRICULTURA, PESCA, ALIMENTACIÓ I AIGUA. ENTITAT DE SANEJAMENT D'AIGÜES (EPSAR), 2.006)

Estas restricciones están en sintonía con los criterios de calidad para la reutilización de las aguas según sus usos indicados anteriormente en el Real Decreto 1620/2007, de 7 diciembre, donde se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

Con todo, los criterios de calidad mínimos a cumplir por el agua de salida de las instalaciones de la E.D.A.R. de Moraira se resumen en la siguiente

TABLA 11:

TABLA 11. Resumen de las características requeridas para el agua de salida de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia)

PARÁMETRO	VALOR
DQO	≤ 125 mg/l
DBO ₅	< 20 mg/l
Sólidos en suspensión	< 10 mg/l
Fósforo total	≤ 2 mg/l
Nitrógeno total	≤ 15 mg/l
Turbidez	< 5 NTU ⁶
Escherichia coli	< 100 u.f.c. ⁷ /100 ml
Nematodos intestinales	≤ 1 huevo / 10 l

⁶ NTU: Unidades Nefelométricas de Turbidez

⁷ u.f.c.: Unidades formadoras de colonias

5.2.2 CARACTERÍSTICAS DEL FANGO

El *Pliego de bases técnicas para el concurso de proyecto y ejecución de obra del tratamiento terciario de la E.D.A.R. de Moraira (Alicante) e instalaciones de reutilización de agua tratada* establece los siguientes mínimos a cumplir por el fango procedente del proceso de depuración:

Fango estabilizado: < 60% peso de materia volátil

Fango deshidratado: 22%-23% de sequedad

En el Pliego no se menciona el destino final de los fangos que se generarán en la E.D.A.R. de Moraira.

El Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008-2015, aprobado mediante Resolución de 20 enero 2009 establece prioridades en las opciones de gestión desde la prevención, reutilización, reciclaje, valorización energética y por último la eliminación. De esta manera se da prioridad a la aplicación de fangos sobre terrenos agrícolas, bien mediante aplicación directa cuando ello es posible, bien mediante compostaje. Únicamente cuando no ha sido posible la aplicación en la agricultura por no cumplir las características necesarias según el Real Decreto 1310/90 se recurre a la valorización energética, quedando el depósito en vertedero como última opción.

En el presente trabajo final de máster se va a suponer que el fango generado en la E.D.A.R. de Moraira va a tener un uso agrícola, de manera que se aplicará al suelo con fines de fertilización y reciclaje de nutrientes y de materia orgánica.

Los lodos de depuración pueden aplicarse a la agricultura siempre que hayan sido sometidos a un tratamiento y cumplan los límites especificados en el Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre.

En dicho Real Decreto 1310/1990 se establece que *los lodos tratados a utilizar en los suelos no excederán en cuanto al contenido en metales pesados de los valores límites expresados en el anexo I B.* (Ver **FIGURA 43**)

ANEXO I B

VALOR LÍMITE DE CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LOS LODOS DESTINADOS A SU UTILIZACIÓN AGRARIA

(MG/KG DE MATERIA SECA)

Parámetros	Valores límite:	
	Suelos con pH menor de 7	Suelos con pH mayor de 7
Cadmio	20	40
Cobre	1000	1750
Niquel	300	400
Plomo	750	1200
Zinc	2500	4000
Mercurio	16	25
Cromo	1000	1500

FIGURA 43. Valor límite de concentración de metales pesados en los lodos destinados a su utilización agraria. (Real Decreto 1310/1990, de 29 octubre)

Para el presente trabajo de final de final de máster, dado que no se dispone de características de metales pesados en las aguas residuales, se va a suponer que el fango es apto para utilizar en agricultura. Además se va a considerar que el fango está suficiente estabilizado cuando el porcentaje de sólidos suspendidos volátiles biodegradables, SSVB, es inferior al 35% (o lo que es lo mismo, que el porcentaje de sólidos suspendidos volátiles no biodegradables, SSVNB, es superior al 65%).

Con todo, las características mínimas exigibles al fango que se generará en la E.D.A.R. de Moraira se resumen en la siguiente **TABLA 12**:

TABLA 12. Resumen de las características requeridas para el fango generado en la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia)

PARÁMETRO	VALOR
Fango estabilizado	< 35% de sólidos suspendidos volátiles biodegradables
Fango deshidratado	22-23 % de sequedad

ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PROPUESTAS

6 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PROPUESTAS

6.1 DEFINICIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS

En el presente trabajo se van a desarrollar cuatro alternativas de sistema de tratamiento para la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. En todas ellas el proceso biológico operará en régimen de oxidación total, estando tres de ellas basadas en un reactor biológico de membranas y la cuarta alternativa basada en un proceso de fangos activados (separación de fango mediante decantador secundario):

- **Alternativa N°1: Reactor biológico con membranas y eliminación biológica de fósforo.**
- **Alternativa N°2: Reactor biológico con membranas y precipitación química de fósforo con baja relación de recirculación interna.**
- **Alternativa N°3: Reactor biológico con membranas y precipitación química de fósforo con alta relación de recirculación interna.**
- **Alternativa N°4: Reactor de fangos activados (con decantador secundario) y eliminación biológica de fósforo.**

Se ha optado en todos los casos por un proceso biológico de **oxidación total** (con elevados tiempos de retención celular) ya que proporciona adecuadas calidades del efluente y genera fangos bastante estabilizados. De esta manera se simplifica el diseño de las líneas de fangos que quedan reducidas a un proceso de espesado más deshidratación mediante centrífugas, en las que no se requiere la disposición de digestores.

La línea de agua propuesta para las alternativas constará de un pretratamiento, un tratamiento biológico de oxidación total y una desinfección. Para obtener una calidad de efluente que permita su reutilización en los usos previstos (riego de jardines y agricultura) se

dispondrá en todos los casos de un tratamiento de desinfección del agua por radiación ultravioleta, tal y como se indica en el Pliego para la solución base.

Para el caso de las **alternativas N°1, N°2 y N°3** el reactor biológico dispondrá de un sistema de separación del fango mediante módulos de membrana sumergida de fibra hueca de ultrafiltración. En el caso de la **alternativa N°4** la separación del fango tendrá lugar en un decantador secundario.

La disposición de un reactor biológico de membrana (RBM) (**alternativas N°1, N°2 y N°3**) permite trabajar a altas concentraciones de sólidos en el reactor y además no requiere de decantador secundario con lo que se optimiza doblemente el espacio en la planta frente a la separación de fangos mediante decantación (**alternativa N°4**). Por contra, este sistema de membranas requerirá la modificación de algunos elementos del pretratamiento existente en la actual E.D.A.R de Moraira, en particular, se requerirá la sustitución de los actuales tamices por otros de luz de paso inferior, que impidan el paso de sólidos en suspensión de gran tamaño (superiores a 0,5 mm), arenas y grasas. Además se requerirá la disposición de un tanque de laminación previo al biorreactor que absorba las puntas de caudal y de contaminación.

La eliminación del fósforo se llevará a cabo únicamente por vía biológica, sin adición de reactivos, en el caso de las **alternativas N°1 y N°4**. Para que ello tenga lugar el reactor deberá contar con un selector anaerobio previo a la etapa anóxica que garantice el crecimiento de las bacterias acumuladoras de fósforo (bacterias PAOs).

En el caso de las **alternativas N°2 y N°3** la eliminación del fósforo se llevará a cabo por vía química, con adición de reactivos. Es por ello que en estos casos no se requiere la disposición de un reactor anaerobio previo a la etapa anóxica.

Además, se ha diseñado la **alternativa N°2** con una relación de recirculación interna de fangos baja frente a la **alternativa N°3**, con alta recirculación interna de fangos, para la que se espera un menor volumen de reactor requerido a costa de incrementar los costes de bombeos.

En todos los casos (**alternativas N°1, N°2, N°3 y N°4**) la eliminación de nitrógeno se realizará por vía biológica mediante el esquema clásico de predesnitrificación, disponiendo para ello en el reactor de una zona anóxica y una corriente de recirculación desde el reactor de membranas (alternativas N°1, N°2 y N°3) o desde el final del reactor aerobio (alternativa N° 4) hasta la zona anóxica.

6.2 CONDICIONES TÉCNICAS PARA LAS ALTERNATIVAS DE REACTOR BIOLÓGICO DE MEMBRANA (ALTERNATIVAS N°1, N°2 Y N°3)

Estas alternativas deberán tener en cuenta las CONDICIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE BIORREACTORES DE MEMBRANA (RBM) que se incluyen en el Pliego y que se basan en las recomendaciones de los diferentes fabricantes de membranas, así como en las experiencias a nivel de planta piloto de la Entidad de Saneamiento de Aguas y en los resultados de funcionamiento de las distintas plantas que otros Entes Públicos de Saneamiento tienen en funcionamiento. Dichas condiciones se enumeran a continuación:

- Acondicionamiento del agua de entrada al reactor biológico de manera que se impida el paso de los sólidos en suspensión de gran tamaño (superiores a 0,5 mm), así como de las arenas y las grasas.
- Se requerirá la disposición de un depósito de laminación previo al reactor biológico que absorba las puntas de caudal y de contaminación.

- El reactor biológico deberá contar con un sistema para la captación y evacuación del sistema de flotantes o espumas que eventualmente puedan formarse.
- La concentración óptima de diseño de sólidos en el reactor biológico será inferior a 8 gr/l. Asimismo, la temperatura de diseño seleccionada más desfavorable a tener en cuenta será igual a o inferior a 15°C.
- El tanque de membranas, o el área donde se pretenden situar éstas, puede diseñarse en el interior del propio reactor biológico o en cubas independientes.
- Para el sistema de membranas, el caudal específico deberá ser inferior a 16 l/h/m² o inferior al 70% del caudal nominal de propuesto por el fabricante en el caso de funcionamiento más desfavorable (con 1 módulo fuera de servicio por eventuales tareas de limpieza).
- La concentración de fangos en las cubas donde se situarán las membranas no deberá exceder de 10 gr/l.
- Para conseguir un efecto de limpieza adecuado del sistema de membranas tendrán que suministrarse los caudales de aire necesarios para que se produzcan velocidades de paso de aire correctas y llegue a todas las membranas de los módulos.
- Para el control del ensuciamiento (Fouling) se tendrán en cuenta los procedimientos mecánicos y químicos recomendados por cada fabricante.

6.3 DIMENSIONAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS

Las alternativas planteadas tienen una serie de elementos comunes a todas ellas. Estos elementos se enumeran a continuación:

Elementos comunes de la línea de aguas:

- Pozo de gruesos
- Enrejado grueso o reja
- Pozo de bombeo
- Canal de descarga
- Desarenadores – desengrasadores
- Sistema de desinfección mediante radiación ultravioleta

Elementos comunes de la línea de fangos:

- Deshidratación del fango mediante deshidratadora centrífuga

Todos estos elementos, a excepción del sistema de desinfección mediante radiación ultravioleta, existen en la E.D.A.R. de Moraira actual y podrán reutilizarse en la ampliación de la E.D.A.R.

Por otra parte, las alternativas con membrana (alternativas **Nº1**, **Nº2** y **Nº3**) tienen otros elementos comunes a ellas:

Elementos comunes de la línea de aguas para las alternativas con membrana:

- Tamices finos que impidan el paso de los sólidos en suspensión de gran tamaño (superiores a 0,5 mm), así como de arenas y grasas
- Tanque de homogenización

- Módulos de membrana de fibra hueca de ultrafiltración

Estos elementos no existen en la planta actual y deberán dimensionarse.

Para dimensionar los procesos biológicos de cada una de las 4 alternativas se va a utilizar la herramienta informática DESASS (Design and Simulation of Activated Sludge Systems) en su versión 1.1.

El procedimiento que se va a seguir para dimensionar con el DESASS es el siguiente:

- En primer lugar se caracteriza el agua de entrada a la zona de ampliación en formato del modelo ASM2d (Activated Sludge Model N°2d). Se ajustan las constantes estequiométricas de los sólidos, nitrógeno y fósforo a la caracterización del agua de entrada.
- Se introducen los parámetros de proceso en el programa DESASS y a partir de los resultados que proporciona dicho programa se modifican los diferentes parámetros de funcionamiento (tiempo de retención celular, volumen de los reactores, relaciones de recirculación, etc.) con el fin de intentar optimizar el resultado final.

Se asume que la eliminación de la materia orgánica y de los nutrientes del agua residual es llevada a cabo únicamente por bacterias, despreciando el posible consumo realizado por otros microorganismos como protozoos, hongos o algas.

6.3.1 Caracterización del agua de entrada

Se ha caracterizado el agua de entrada a la E.D.A.R. de Moraira en formato del modelo ASM2d, Activated Sludge Model No. 2d, (HENZE, y otros, 1999), pues el programa DESASS 1.1 tiene implementado un algoritmo de modelación matemática, el BNRM1, Biological Nutrient

Removal Model, No.1, (SECO, y otros, 2004) que considera los procesos incluidos en el modelo de fangos activados número 2d de la IAWQ (Internacional Association of Water Quality, actual IWA, International Water Association), el ASM2d.

Se supone que aunque en los procesos del pretratamiento se eliminarán sólidos suspendidos, así como los contaminantes (materia orgánica y nutrientes) asociados a ellos, para el presente trabajo se ha considerado nula la proporción de contaminantes en suspensión eliminados durante las operaciones previas a los reactores biológicos, de manera que las características del agua influente a la planta serán las que se han supuesto para el agua influente al tratamiento biológico.

El modelo implementado en el DESASS 1.1 considera los siguientes parámetros para la caracterización del agua influente (ver **TABLA 13**):

TABLA 13. Parámetros de caracterización del agua influente considerados en el modelo implementado en el DESASS 1.1 (CALAGUA. Manual y software DESASS 1.1)

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
S_{O_2}	Oxígeno disuelto
S_F	Sustratos orgánicos fácilmente biodegradables
S_A	Productos de fermentación. Acetato
S_{NH_4}	Amonio más nitrógeno amoniacal
S_{NO_3}	Nitritos mas nitratos
S_{PO_4}	Fósforo soluble inorgánico, principalmente ortofosfatos
S_I	Materia orgánica soluble inerte
S_{ALK}	Alcalinidad
S_{N_2}	Nitrógeno gaseoso
S_{PRO}	Productos de la fermentación, excluyendo el ácido
S_{H_2}	Hidrógeno
S_{CH_4}	Metano
S_{CO_2}	Dióxido de carbono
X_I	Materia orgánica particulada inerte
X_S	Materia orgánica lentamente biodegradable
X_H	Biomasa heterótrofa
X_{PAO}	Biomasa acumuladora de fósforo
X_{PP}	Poli fosfato
X_{PHA}	Producto almacenado intracelularmente en los organismos acumuladores de polifosfatos, PAOs. Poli-hidroxialcanoatos (PHA), glicógeno, etc.
X_{AUT}	Biomasa autótrofa
X_{TSS}	Sólidos suspendidos totales
X_{MEOH}	Hidróxidos metálicos
X_{FEP}	Fosfatos metálicos
X_{NV}	Sólidos suspendidos no volátiles
X_{ACID}	Bacterias acidogénicas
X_{PRO}	Bacterias acetogénicas
X_{MAC}	Bacterias metanogénicas acetoclásticas
X_{MH_2}	Bacterias metanogénicas hidrogenotróficas

Sólo se dispone para el diseño de los siguientes datos de proyecto:

- Concentración de Sólidos en Suspensión, SS= 350 mg/l
- Concentración de Demanda Biológica de Oxígeno a los 5 días, DBO₅= 400 mg/l
- Concentración de Demanda Química de Oxígeno, DQO= 750 mg/l
- Concentración de Nitrógeno total, NT= 60,4 mg/l
- Concentración de Fósforo total, PT= 9,2 mg/l

Para caracterizar todos los componentes que requiere el modelo implementado los datos de los que se dispone son insuficientes, por lo que se hace necesaria la realización de una serie de suposiciones basadas en la bibliografía existente así como en datos obtenidos a partir de aguas residuales urbanas analizadas en diferentes plantas.

Por proximidad geográfica se ha considerado oportuno aplicar en el presente trabajo de máster los resultados obtenidos en el *Estudio estadístico para la obtención de las relaciones necesarias entre parámetros analíticos de las aguas residuales para su caracterización según los modelos matemáticos de fangos activados* (SÁNCHEZ RAMÍREZ, 2008). En la citada tesina se proponen relaciones entre los distintos datos experimentales que permitan calcular los datos faltantes y faciliten el cálculo de los componentes necesarios según los modelos para aguas residuales. El estudio estadístico se realizó a partir de datos obtenidos en caracterizaciones de aguas residuales urbanas de diferentes estaciones depuradoras de aguas residuales (E.D.A.R.s) de la Comunidad Valenciana y la región de Murcia (España). Las caracterizaciones fueron realizadas por el grupo de investigación Calagua.

Las relaciones obtenidas entre los datos experimentales (relaciones tipo I, ver **TABLA 14**) y relaciones entre componentes y datos experimentales (relaciones tipo II, ver **TABLA 15**) se indican a continuación:

TABLA 14. Resultados obtenidos para las relaciones tipo I (entre datos experimentales). (SÁNCHEZ RAMÍREZ, 2008 pág. 71)

Relaciones tipo I	Media	Desviación estándar
$DBO_{LIM}: DQO$	0,75	0,12
$DBO_5: DBO_{LIM}$	0,77	0,07
$DBO_5: DQO$	0,61	0,11
$DQO: N$	10,25	4,09
$DBO_5: N$	6,65	2,31
$DBO_5: P$	50,13	23,18
$DQO: P$	76,02	34,81
$DQO: SSV$	3,98	1,38
$SSV: SST$	0,79	0,07
$NT_{SOL}: N$	0,82	0,11
$NH_4^+: NT_{SOL}$	0,88	0,12
$PO_4^{3-}: P$	0,64	0,14
$DQO_{SOL}: DQO$	0,45	0,16
$DBO_{LIMSOL}: DBO_{LIM}$	0,47	0,17
$DBO_{5SOL}: DBO_5$	0,46	0,35

TABLA 15. Resultados obtenidos para las relaciones tipo II (cuando no se dispone de datos experimentales). (SÁNCHEZ RAMÍREZ, 2008 pág. 77)

Relaciones tipo II	Media	Desviación estándar
$S_s: DQO$	0,37	0,17
$S_F: DQO$	0,28	0,17
$S_a: DQO$	0,12	0,07
$S_a: DQO_{sol}$	0,29	0,15
$S_F: DQO_{sol}$	0,61	0,22
$S_I: DQO_{sol}$	0,14	0,08
$X_s: DQO$	0,37	0,14
$X_I: DQO$	0,15	0,09
$S_I: DQO$	0,08	0,05
$S_s: DQO_{sol}$	0,85	0,1
$X_s: DBO_{LIM}$	0,51	0,19
$S_s: DBO_{LIM}$	0,49	0,19

A continuación se muestran las hipótesis realizadas y los resultados obtenidos:

- Cálculo para la DQO:

$$\begin{aligned} \frac{DQO_{sol}}{DQO} &= 0,40 \rightarrow DQO_{sol} = 0,40 \times DQO = 0,40 \times 750 \\ &= 300,00 \text{ mgO/l} \end{aligned}$$

- Cálculo para la DBO_{lim} :

$$\frac{DBO_5}{DBO_{lim}} = 0,68 \rightarrow DBO_{lim} = \frac{DBO_5}{0,68} = \frac{400}{0,68} = 588,24 \text{ mgO/l}$$

$$\begin{aligned} \frac{DBO_{limsol}}{DBO_{lim}} &= 0,43 \rightarrow DBO_{limsol} = 0,43 \times DBO_{lim} = 0,43 \times 588,24 \\ &= 252,94 \text{ mgO/l} \end{aligned}$$

- Cálculo para el fraccionamiento del nitrógeno:

$$\frac{NT_{sol}}{NT} = 0,82 \rightarrow NT_{sol} = 0,82 \times NT = 0,82 \times 60,4 = 49,53 \text{ mg/l}$$

$$\frac{NH_{4+}}{NT_{sol}} = 0,88 \rightarrow NH_{4+} = 0,88 \times NT_{sol} = 0,88 \times 49,53 = 43,58 \text{ mg/l}$$

- Cálculo para el fraccionamiento del fósforo:

$$\frac{PO_4^{3-}}{PT} = 0,64 \rightarrow PO_4^{3-} = 0,64 \times PT = 0,64 \times 9,2 = 5,89 \text{ mg/l}$$

- Cálculo para el fraccionamiento de los sólidos suspendidos totales:

$$\frac{SSV}{SST} = 0,79 \rightarrow SSV = 0,79 \times SST = 0,79 \times 350 = 276,50 \text{ mg/l}$$

- Cálculo para el fraccionamiento de la materia orgánica:

$$\frac{S_A}{DBO_{limsol}} = 0,20 \rightarrow S_A = 0,20 \times DBO_{limsol} = 0,20 \times 252,9 = 50,59 \text{ mg/l}$$

Además, se han considerado las siguientes hipótesis:

- Se considera una temperatura de diseño más desfavorable de 15°C de acuerdo a lo indicado en el Pliego referente a CONDICIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE BIORREACTORES DE MEMBRANA (MBR).
- El pH considerado se ha obtenido de la media de las analíticas realizadas en el agua influente a la E.D.A.R. existente.
- Se ha supuesto nula la concentración de S_{PRO} así como las concentraciones de X_H , X_{PAO} , X_{PP} , X_{PHA} , X_{AUT} , X_{MEOH} , X_{FEP} , X_{ACID} , X_{PRO} , X_{MAC} y X_{MH_2} para el agua de entrada a la planta. Se supone por tanto que los microorganismos que entran al tratamiento biológico (muy difíciles de detectar mediante ensayos) son despreciables frente a los existentes en el sistema y se consideran incluidos en la materia orgánica.
- Las concentraciones de los gases S_{O_2} , S_{N_2} , S_{H_2} y S_{CH_4} se suponen en equilibrio con la atmósfera.
- Se supone una S_{alk} de 300 mg $CaCO_3/l$. En el *Estudio estadístico para la obtención de las relaciones necesarias entre parámetros analíticos de las aguas residuales para su caracterización según los modelos matemáticos de fangos activados* (SÁNCHEZ RAMÍREZ, 2008 pág. 69) el valor medio que se obtiene para la S_{alk} es de 5,1 moles de HCO_3^-/l .
- Para el presente trabajo se va a considerar nula la proporción de contaminantes en suspensión eliminados durante las operaciones previas a los reactores biológicos, de manera que las características del agua influente a la planta serán las que se suponen para el agua influente al tratamiento biológico.
- La disposición de un tanque de laminación de caudal y contaminación previo al tratamiento biológico previsto mediante

biorreactores de membrana (**alternativas N°1, N°2 y N°3**) requiere considerar en el DESASS para estos casos un factor punta de caudal y contaminación igual a la unidad.

Las hipótesis formuladas para la caracterización del agua de entrada al tratamiento biológico según formato ASM2d se recogen en la siguiente **TABLA 16:**

TABLA 16. Caracterización del agua de entrada al tratamiento biológico en formato ASM2d. (Elaboración propia).

CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE ENTRADA EDAR MORAIRA EN FORMATO ASM2d					
Q_{MEDIO}	150	m ³ /h	para alternativas N°1, N°2 y N°3	150	m ³ /h para alternativa N°4
Q_{PUNTA}	150	m ³ /h	para alternativas N°1, N°2 y N°3	382	m ³ /h para alternativa N°4
F_{PUNTA}	1,000		para alternativas N°1, N°2 y N°3	2,547	para alternativa N°4
T	15	°C			
pH	7,28				
DQO_{TOTAL}	750,00	mgDQO/l			
$DQO_{SOLUBLE}$	300,00	mgDQO/l	= $DQO_{TOTAL} * 0,40$		
$DQO_{SUSPENDIDA}$	450,00	mgDQO/l	= $DQO_{TOTAL} - DQO_{SOLUBLE}$		
DBO_5	400,00	mgDQO/l			
$DBOlim_{TOTAL}$	588,24	mgDQO/l	= $DBO_5 / 0,68$		
$DBOlim_{SOLUBLE}$	252,94	mgDQO/l	= $DBOlim_{TOTAL} * 0,43$		
$BOlim_{SUSPENDIDA}$	335,29	mgDQO/l	= $DBOlim_{TOTAL} - DBOlim_{SOLUBLE}$		
S_f	47,06	mgDQO/l	= $DQO_{SOLUBLE} - DBOlim_{SOLUBLE}$		
S_s	252,94	mgDQO/l	= $DBOlim_{SOLUBLE}$		
X_s	335,29	mgDQO/l	= $DBOlim_{SUSPENDIDA}$		
X_f	114,71	mgDQO/l	= $DQO_{SUSPENDIDA} - DBOlim_{SUSPENDIDA}$		
S_A	50,59	mgDQO/l	= $DBOlim_{SOLUBLE} * 0,20$		
S_F	202,35	mgDQO/l	= $DBOlim_{SOLUBLE} - S_A$		
N_T	60,40	mgN/l			
$N_{Tsoluble}$	49,53	mgN/l	= $N_T * 0,82$		
$N_{Tsuspendida}$	10,87	mgN/l	= $N_T - N_{Tsoluble}$		
S_{NH4}	43,58	mgN-NH ₄ /l	= $N_{Tsoluble} * 0,88$		
S_{NO3}	0,00	mgN-NO ₃ /l			
P_T	9,20	mgP/l			
S_{PO4}	5,89	mgP/l	= $P_T * 0,64 \approx S_P$		
$P_{Tsoluble}$	5,89	mgP/l			
$P_{Tsuspendida}$	3,31	mgP/l	= $P_T - P_{Tsoluble}$		
S_{alk}	300,00	mg CaCO ₃ /l			
X_{SST}	350,00	mg/l			
X_{SSV}	276,50	mg/l	= $SST * 0,79$		
X_{SSNV}	73,50	mg/l	= $X_{SS} - X_{SSV}$		
S_{O2}	0,00	mg/l			
S_{N2}	0,00	mg/l			
S_{PRO}	0,00	mg/l			
S_{H2}	0,00	mg/l			
S_{CH4}	0,00	mg/l			
S_{CO2}	0,00	mg/l			
X_H	0,00	mg/l			
X_{PAO}	0,00	mg/l			
X_{PP}	0,00	mg/l			
X_{PHA}	0,00	mg/l			
X_{AUT}	0,00	mg/l			
X_{MEOH}	0,00	mg/l			
X_{FEP}	0,00	mg/l			
X_{ACID}	0,00	mg/l			
X_{PRO}	0,00	mg/l			
X_{MAC}	0,00	mg/l			
X_{MH2}	0,00	mg/l			

Las características del agua de entrada que se han introducido en el programa DESASS 1.1 para cada una de las alternativas se indican en las siguientes figuras (ver **FIGURA 44** y **FIGURA 45**):

The screenshot shows a software window titled 'Entrada Nudo 1' with three tabs: 'Dotaciones y Temperatura', 'Cargas', and 'Sedimentabilidad'. The 'Sedimentabilidad' tab is active. It contains a table of input parameters for 'Invierno' and 'Verano' seasons. Below the table, there is a checkbox for 'Verano = Invierno'. At the bottom, there are two groups of radio buttons: 'Estación Simulada' with options 'Invierno' (selected) and 'Verano'; and 'Solución a utilizar' with options 'Última' (selected) and 'Estacionaria'. On the right side of the window, there are 'Aceptar' and 'Cancelar' buttons.

Temperatura (°C)	
Invierno	Verano
15.0	15.0
Caudales	
Invierno	Verano
Caudal(m3/dia)	3600.00
Qpunta/Qmedio	1.0
Qpluvial/Qpunta	1.0
Contaminación Punta	1.0
pH	7.28

FIGURA 44. Parámetros de entrada introducidos en la línea de agua con el DESASS 1.1 para las alternativas N°1, N°2 y N°3. Para el caso de la alternativa N°4 se ha considerado una relación de Q_{punta}/Q_{medio} de 2,547 y una contaminación punta de 1,5 (Elaboración propia)

FIGURA 45. Parámetros de entrada introducidos en la línea de agua con el DESASS 1.1 para las alternativas N°1, N°2, N°3 y N°4. (Elaboración propia)

Se han ajustado las constantes estequiométricas de los sólidos, nitrógeno y fósforo al agua de entrada.

Los balances de materia para el cálculo de los coeficientes de conversión son los siguientes:

Balance para el nitrógeno:

$$N_T = S_{NH4} + S_{NO3} + S_F \times i_{NSF} + S_I \times i_{NSI} + S_A \times i_{NSA} + X_S \times i_{NXS} + X_I \times i_{NXI}$$

Balance para el fósforo:

$$P_T = S_{PO4} + S_F \times i_{PSF} + S_I \times i_{PSI} + S_A \times i_{PSA} + X_S \times i_{PXS} + X_I \times i_{PXI}$$

Balance para los sólidos suspendidos totales:

$$X_{SST} = X_S \times i_{SSTXS} + X_I \times i_{SSTXI} + X_{SSNV}$$

Las constantes estequiométricas han quedado ajustadas de la siguiente manera (ver **FIGURA 46**):

Nitrogeno		Fósforo	
Insi	0.010	Ipsi	0.0001
Insf	0.027	Ipsf	0.0001
Inxi	0.007	Ipxi	0.00735
Inxs	0.030	Ipxs	0.00735
Inbm	0.070	Ipbm	0.020

SST		Carbono	
Itssxi	0.61445	Icsi	0.030
Itssxs	0.61445	Icsf	0.025
Itssbm	0.700	Icxi	0.030
		Icxs	0.025
		Icbm	0.031

FIGURA 46. Constantes estequiométricas introducidas en el DESASS 1.1 (Elaboración propia)

Con estas constantes estequiométricas, la caracterización del agua de entrada en el DESASS 1.1 se queda así:

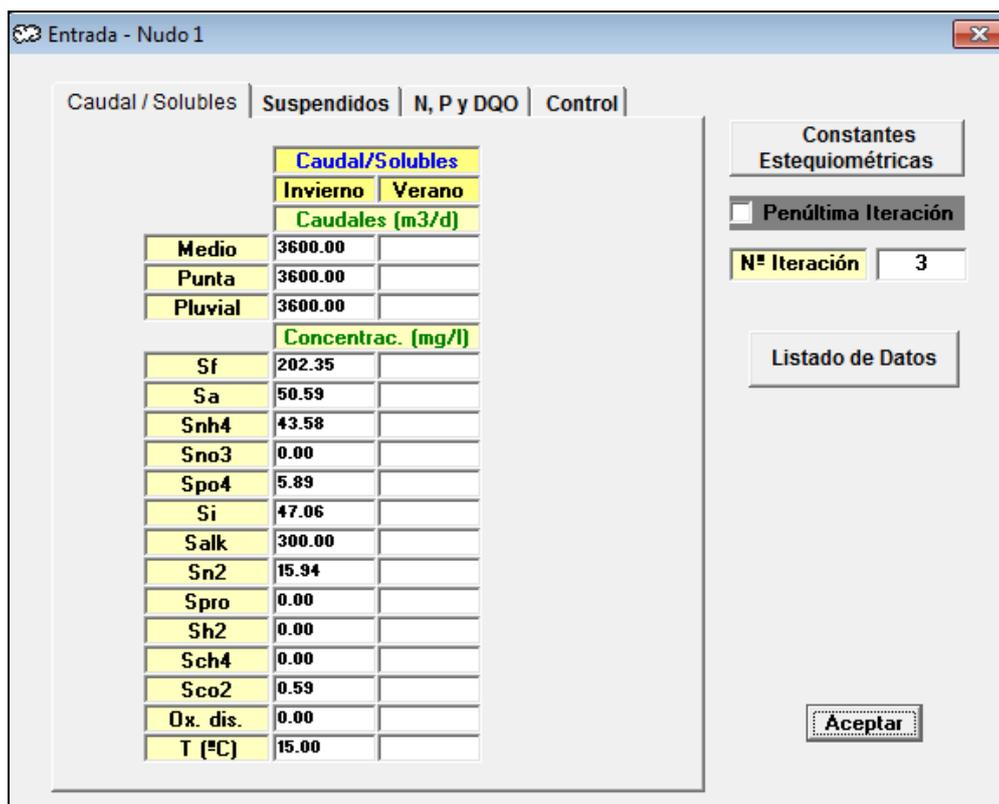


FIGURA 47. Características del agua de entrada con las constantes estequiométricas ajustadas para las alternativas N°1, N°2 y N°3. DESASS 1.1. (Elaboración propia)

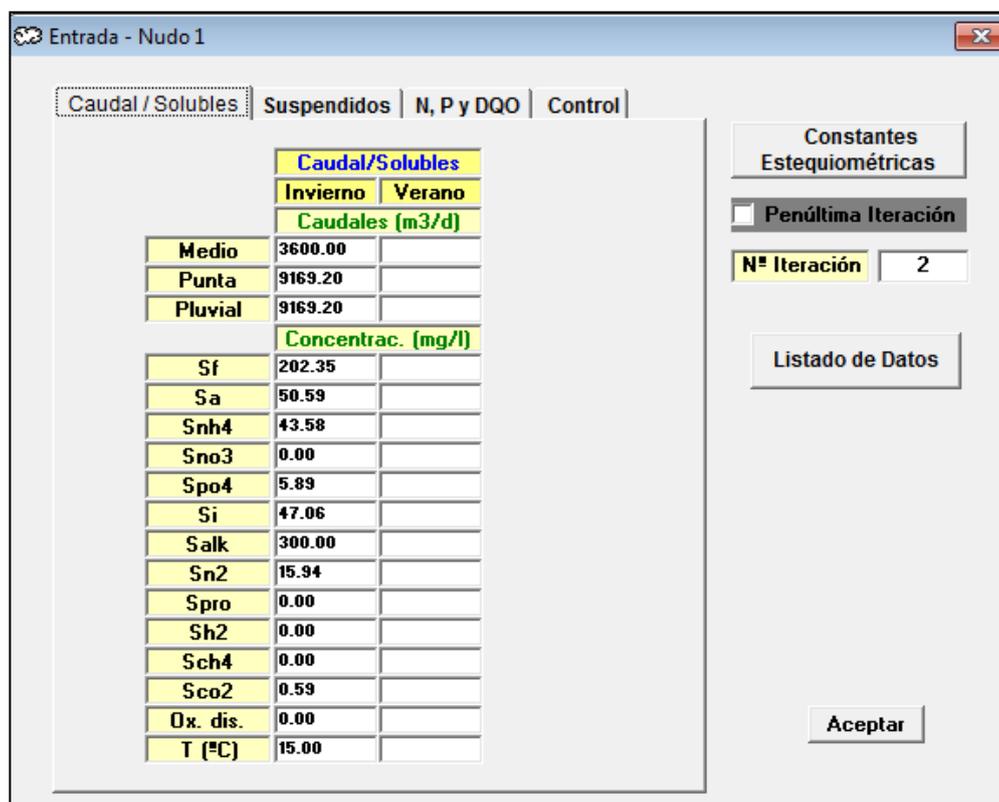


FIGURA 48. Características del agua de entrada con las constantes estequiométricas ajustadas para la Alternativa N°4. DESASS1.1. (Elaboración propia).

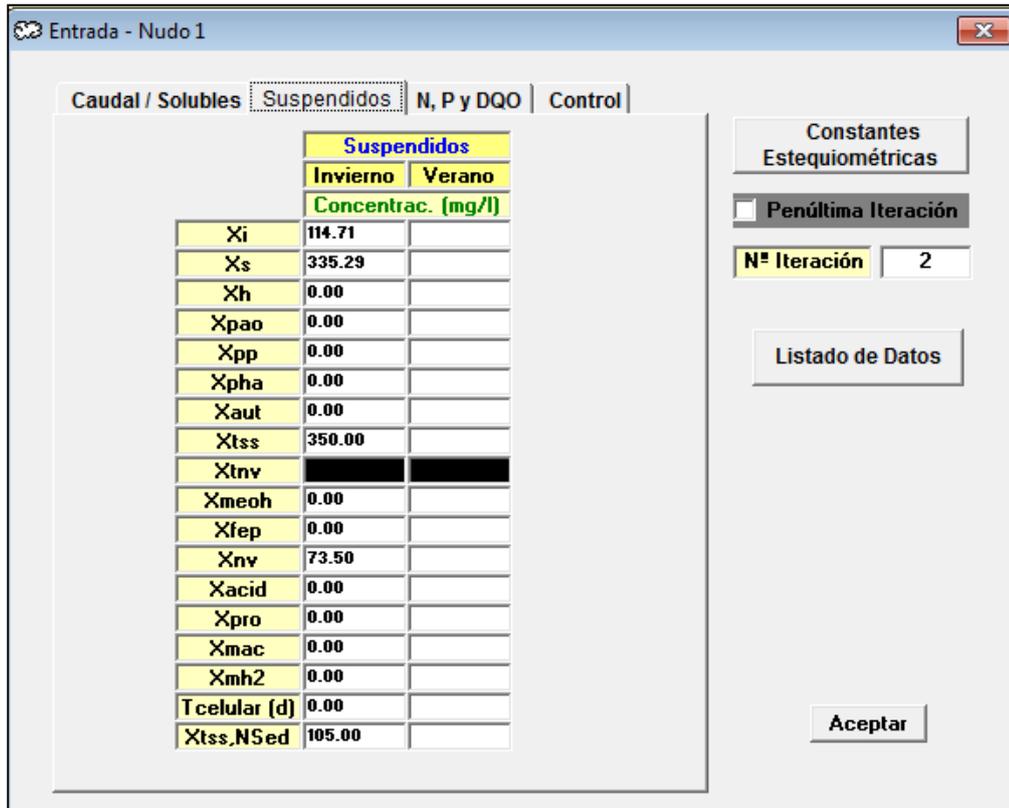


FIGURA 49. Características del agua de entrada con las constantes estequiométricas ajustadas para las cuatro alternativas. DESASS1.1. (Elaboración propia).

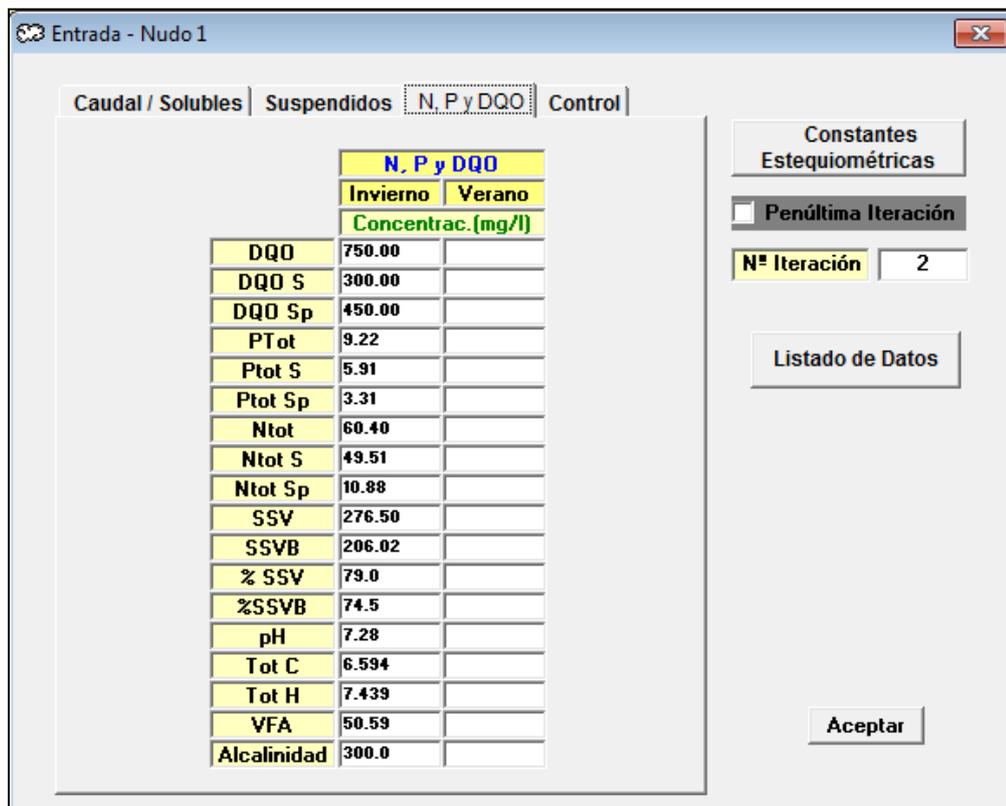


FIGURA 50. Características del agua de entrada con las constantes estequiométricas ajustadas para las cuatro alternativas. DESASS1.1. (Elaboración propia).

6.3.2 Diseño de los elementos comunes a las alternativas

6.3.2.1 Pretratamiento

Los procesos del pretratamiento van a tener la finalidad principal de eliminar del agua residual todos aquellos elementos que puedan perjudicar a las instalaciones posteriores, como sólidos de gran tamaño, arenas o grasas. En estos procesos se eliminarán también sólidos suspendidos, así como los contaminantes (materia orgánica y nutrientes) asociados a ellos.

Los caudales previstos para la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira son los mismos que los que se consideraron en su día para la definición del pretratamiento existente:

- **Caudal medio diario, $Q_{\text{medio diario}} = 3.600 \text{ m}^3/\text{día}$**
- **Caudal medio horario, $Q_{\text{medio horario}} = 150 \text{ m}^3/\text{hora} = 0,042 \text{ m}^3/\text{s}$**
- **Caudal punta o máximo, $Q_{\text{punta}} = 382 \text{ m}^3/\text{hora} = 0,106 \text{ m}^3/\text{s}$**

Es por ello que se mantendrán las instalaciones del pretratamiento existentes en la E.D.A.R. actual consistentes en pozo de gruesos, enrejado grueso (reja), pozo de bombeo, enrejados finos (tamices) y desarenadores - desengrasadores aireados, pero modificando las características de los tamices en el caso de las alternativas con membrana (alternativas **Nº1, Nº2 y Nº3**), que se sustituirán por otros de menor luz de paso con el fin de aumentar la eficacia del proceso de filtración en los biorreactores de membrana.

6.3.2.1.1 POZO DE GRUESOS

El agua bruta llegará a la planta procedente de una impulsión (Antoinet) y de un colector de gravedad (Colector carretera Moraira - Calpe).

El agua entrará por gravedad al pozo de gruesos existente a través de dos tuberías: una de diámetro 500 mm que verterá las aguas recogidas por

el Colector carretera Moraira – Calpe y otra de diámetro 400 mm que recogerá las aguas del Colector Camarrocha.

Las características del pozo de gruesos son las siguientes (ver **TABLA 17**):

TABLA 17. Características del pozo de gruesos. (PLIEGO. 2006)

CARACTERÍSTICAS DEL POZO DE GRUESOS	
Profundidad (p)	1,300 m
Ancho (a)	1,400 m
Longitud (l)	3,600 m
Volumen ($V = p \cdot a \cdot l$)	6,552 m ³
Tiempo real de retención a caudal medio (V/Q_{medio})	2,621 minutos
Tiempo real de retención a caudal máximo (V/Q_{punta})	1,028 minutos
Cuchara bivalva	No
Reja de gruesos	Sí

6.3.2.1.2 ENREJADO GRUESO O REJA

Se mantendrá la reja manual de 50 milímetros de luz de paso que existe en el pozo de gruesos previo a la cámara de elevación o pozo de bombeo existentes en la E.D.A.R. actual. Este elemento se utilizará como primera unidad de tratamiento con el fin de proteger los equipos de la planta de tratamiento frente a posibles daños físicos o frente a una reducción en la eficacia de los procesos. Para ello se impedirá el paso a los sólidos de gran tamaño, que quedarán retenidos entre los barrotes de la reja para posteriormente ser retirados manualmente.

Las características del enrejado grueso son las siguientes (ver **TABLA 18**):

TABLA 18. Características del enrejado grueso. (PLIEGO. 2006)

CARACTERÍSTICAS DEL ENREJADO GRUESO (REJA)	
Número de rejas antes del bombeo	1 unidad
Separación entre barrotes (b)	50 mm
Espesor de los barrotes (e)	15 mm
Grado de colmatación	30 %
Ancho total de la reja (w)	0,360 m
Ancho útil de la reja ($w_{\text{útil}}$)	265,385 mm
Calado a caudal medio ($d_{Q_{\text{medio}}}$)	0,370 m
Superficie de paso útil a caudal medio ($A_{Q_{\text{medio}}} = w_{\text{útil}} * d_{Q_{\text{medio}}}$)	0,098 m ²
Calado a caudal punta ($d_{Q_{\text{punta}}}$)	0,470 m
Superficie de paso útil a caudal punta ($A_{Q_{\text{punta}}} = w_{\text{útil}} * d_{Q_{\text{punta}}}$)	0,125 m ²
Velocidad de paso a caudal medio ($v_{Q_{\text{medio}}} = Q_{\text{medio}} / (A_{Q_{\text{medio}}} * 0,7)$)	0,606 m/s
Velocidad de paso a caudal punta ($v_{Q_{\text{punta}}} = Q_{\text{punta}} / (A_{Q_{\text{punta}}} * 0,7)$)	1,217 m/s
Producción de residuos por cada 1.000 habitantes	3,000 l/d
Producción diaria de residuos	19,998 l/d

La reja existente proporciona unas velocidades de paso a través de la misma para caudal medio y caudal punta que se encuentran dentro de los intervalos adecuados de acuerdo a la bibliografía consultada (FERRER POLO, y otros, 2006 pág. 8):

- Para caudal medio: $0,6 \text{ m/s} < v_{Q_{\text{medio}}} = 0,606 \text{ m/s} < 1 \text{ m/s}$
- Para caudal punta: $v_{Q_{\text{punta}}} = 1,217 \text{ m/s} < 1,4 \text{ m/s}$

Velocidades inferiores a los límites establecidos aumentan la cantidad de sólidos depositados en el fondo del pozo, mientras que velocidades superiores arrastran una mayor cantidad de residuos e impiden que los mismos queden retenidos en las rejillas.

6.3.2.1.3 POZO DE BOMBEO

El agua pasará por gravedad del pozo de gruesos al pozo de bombeo o cámara de elevación existente en la E.D.A.R. actual a través del enrejado grueso. La elevación del agua hasta los canales de desbaste de finos (tamices) se seguirá realizando mediante el sistema de bombeo existente.

Para la elevación a E.D.A.R. existen 4 bombas de 110 m³/h cada una y una bomba de 50 m³/h, todas ellas con capacidad para elevar el agua a una altura de 9 metros.

Las características de la cámara de elevación y del sistema de bombeo existente son las siguientes (ver **TABLA 19**):

TABLA 19. Características de la cámara de elevación y sistema de bombeo. (PLIEGO. 2006)

CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA DE ELEVACIÓN Y SISTEMA DE BOMBEO	
Volumen (V)	25,000 m ³
Tiempo real de retención a caudal medio (V/Q_{medio})	0,167 horas
Tiempo real de retención a caudal máximo (V/Q_{punta})	0,065 horas
Número de bombas activas de residuales	3 unidades
Número de bombas reserva de residuales	1 unidad
Tipo de bomba	Centrífuga sumergible
Caudal adoptado (Q_b)	110,000 m ³ /h
Altura manométrica de las bombas de residuales	8,000 m.c.a.
Rendimiento estimado	0,800
Potencia absorbida por bomba	4,074 kW
Número de tuberías individuales para la impulsión	3 unidades
Diámetro de la impulsión individual	0,200 m
Superficie de la conducción individual	0,031 m ²
Velocidad a caudal máximo de bombeo	0,973 m/s
Diámetro de la impulsión común	0,300 m
Superficie de la conducción común (A_c)	0,071 m ²
Velocidad con una sola bomba ($v_c = Q_b/A_c$)	0,432 m/s
Velocidad a caudal máximo de bombeo ($v = v_c * 3$)	1,296 m/s

6.3.2.1.4 ENREJADOS FINOS O TAMICES

Para el caso de la alternativa **Nº4** con decantador secundario se mantendrán los 2 (1+1) rototamices existentes, con capacidad unitaria para el caudal máximo (382 m³./h.) y luz de paso 3 mm.

Par el caso de las alternativas con membrana (alternativas **Nº1**, **Nº2** y **Nº3**) se sustituirán los tamices existentes por otros 2 (1+1) tamices con luz de paso de 0,5 mm. De esta manera se impide el paso de sólidos en suspensión de gran tamaño (superior a 0,5 mm) al reactor biológico, condición requerida para aumentar la eficacia del proceso de filtración en los nuevos biorreactores de membrana.

En estos tamices se eliminará sólidos en suspensión y, por lo tanto, se eliminarán también los contaminantes asociados a ellos (materia orgánica y nutrientes). La eliminación será función de la abertura del tamiz.

Se ha buscado una casa comercial que pueda proporcionar un equipo cuyas características se adecúen a las especificadas en el Pliego: tamiz de cinta continua de malla perforada autolimpiante, de manera que los sólidos transportados por el agua serán capturados por la rejilla filtrante, retirados de los dientes de limpieza y descargados a un nivel más alto en la parte trasera del tamiz. Además, las partes metálicas serán de acero inoxidable calidad AISI-316 y la cinta y los dientes serán de material plástico ABS. (PLIEGO. 2.006, pág. 66).

Aguas del Mare Nostrum, S.L., con sede en Paterna (Valencia), dispone de un catálogo de tamices entre los cuales se encuentra el modelo propuesto para el presente trabajo: un tamiz rotativo autolimpiable - Rotofiltro 6200 (AMN 6200).

Se ha optado por un tamiz rotativo en vez de un tamiz estático por tratarse de un filtro de alta capacidad de tamaño sustancialmente más pequeño que otros tamices utilizados para separación sólido-líquido. En

comparación con el tamiz estático, a una misma anchura, el tamiz rotativo proporciona cinco veces más de capacidad de filtrado.

Además, el modelo propuesto dispone de un sistema sencillo autolimpiante capaz de operar durante largos períodos de tiempo sin necesidad de atención, minimizando así el problema de los atascamientos, especialmente por grasas coaguladas. Dispone también de opciones adicionales, como construcción en acero inoxidable AISI 316L (tal y como exige el Pliego), rascado por cepillo rotatorio, rebosadero contra exceso de caudal, capotaje integral, ruedas, mesa de apoyo y vertedera de sólidos.

En cuanto al funcionamiento del tamiz rotativo, el líquido a filtrar entra en el tamiz por la tubería de entrada y se distribuye uniformemente a lo largo de todo el cilindro filtrante que gira a baja velocidad. Las partículas sólidas quedan retenidas en la superficie del mismo y son conducidas hacia una rasqueta, que es la encargada de separarlas y depositarlas sobre una bandeja inclinada para su caída por gravedad. El líquido que pasa a través de las rendijas del cilindro filtrante del tamiz rotativo es conducido hacia la salida que puede estar en la parte inferior o posterior del cuerpo. Ver esquema de funcionamiento en la **FIGURA 51**:

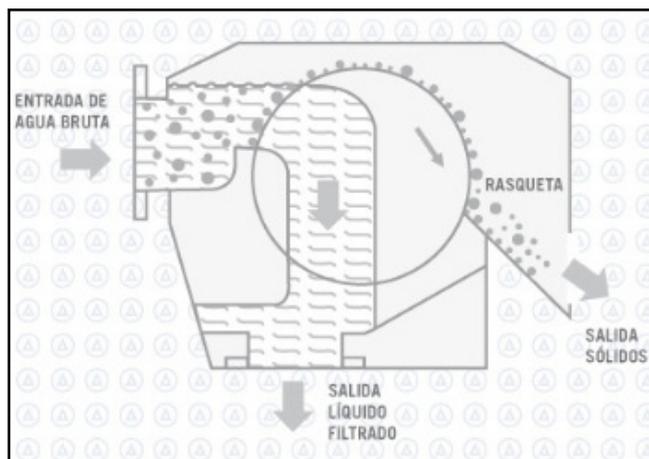


FIGURA 51. Esquema de funcionamiento del tamiz rotativo propuesto. (AGUAS DEL MARE NOSTRUM, S.L.)

Las capacidades de paso de agua en m³/h de los tamices rotatorios suministrados por AGUAS DEL MARE NOSTRUM, S.L. se indican en el siguiente cuadro de capacidades (ver **FIGURA 52**), calculado para aguas con contenidos hasta 350 ppm de sólidos en suspensión (la concentración de sólidos en suspensión a la entrada a la E.D.A.R. de Moraira es de 350 mg/l o ppm):

		LUZ DE PASO DE LA RENDIJA EN MM								
		0,15	0,25	0,50	0,75	1	1,50	2	2,50	3
MODELOS TAMIZ ROTATIVO	AMN 2450	8	12	20	25	30	40	47	52	55
	AMN 4050	19	30	50	71	77	98	113	125	135
	AMN 4080	31	49	86	115	124	158	183	202	217
	AMN 4100	44	58	100	138	148	188	220	240	260
	AMN 6050	33	51	90	120	130	166	192	212	228
	AMN 6100	47	107	188	251	271	345	400	442	475
	AMN 6150	104	163	286	382	413	525	608	672	722
	AMN 6200	139	219	384	513	554	705	817	902	970
	AMN 9150	151	237	425	554	599	762	883	975	1.048
	AMN 9200	202	318	557	744	804	1.023	1.185	1.309	1.407
	AMN 9250	254	399	699	934	1.009	1.284	1.487	1.643	1.217
	AMN 9300	303	477	836	1.116	1.206	1.535	1.777	1.963	2.110
	AMN 12300	362	575	1.024	1.386	1.473	1.910	2.244	2.507	2.719
	AMN 12400	471	747	1.332	1.802	1.914	2.484	2.917	3.259	3.534

FIGURA 52. Cuadro de capacidades de paso de agua en m³/h en función del modelo de tamiz rotativo y de la luz de paso. (AGUAS DEL MARE NOSTRUM, S.L.)

Para una luz de paso de 0,50 mm el tamiz rotatorio que proporciona una capacidad de paso de agua más próxima al caudal punta de 382 m³/h es el modelo AMN 6200 que se muestra en la **FIGURA 53**:



FIGURA 53. Imagen del modelo de tamiz rotativo AMN 6200. (AGUAS DEL MARE NOSTRUM, S.L.)

El resumen de las principales características técnicas del tamiz rotativo propuesto (modelo AMN 6200) se indica en la siguiente **TABLA 20**:

TABLA 20. Características de los tamices propuestos. (AGUAS DEL MARE NOSTRUM, S.L.)

CARACTERÍSTICAS DEL ENREJADO FINO PROPUESTO	
Número de tamices	1+1 unidades
Diámetro cilindro	630 mm
Longitud cilindro	1.960 mm
Potencia del motor	75 kW
Peso en vacío	400 kg
Ancho total	2.331 mm
Fondo total	1.269 mm
Alto total	970 mm
Brida entrada	350 mm
Brida salida	400 mm

Las dos líneas de tamices se aislarán mediante válvulas de compuerta manual ya existentes.

6.3.2.1.5 CANAL DE DESCARGA

La descarga de ambos tamices se seguirá realizando en todos los casos sobre el canal de descarga existente de 1,05 metros de ancho y 3,08 metros de largo, dimensionado para que las velocidades de circulación sean mayores de 0,4 m/s.

El canal de descarga conecta por medio de compuertas manuales con los canales de desarenado. Se dispone además de un canal de by-pass de planta por tubería de 300 mm que se mantendrá operativo. Las

características del canal de descarga existente son las siguientes (ver **TABLA 21**):

TABLA 21. Características del canal de descarga. (PLIEGO. 2006)

CARACTERÍSTICAS DEL CANAL DE DESCARGA	
Número de unidades	1 unidad
Ancho del canal (w)	0,500 m
Calado a caudal punta ($d_{Q_{punta}}$)	0,240 m
Superficie de paso a caudal punta ($A_{Q_{punta}}=w*d_{Q_{punta}}$)	0,120 m ²
Velocidad de paso a caudal punta ($v_{Q_{punta}}=Q_{punta}/A_{Q_{punta}}$)	0,884 m/s

6.3.2.1.6 DESARENADORES-DESENGRASADORES

Se mantendrán los dos canales desarenadores-desengrasadores aireados existentes de 39 m³ cada uno, 12 minutos de tiempo de retención hidráulico a caudal punta y dotados de puente móvil.

En los desarenadores se eliminarán por sedimentación fundamentalmente partículas discretas no putrescibles, entre las que se encuentran las arenas, las gravas y otras partículas pequeñas de naturaleza mineral, así como sustancias orgánicas no putrescibles como café molido, huesos y semillas de fruta. Todo ello con la finalidad de proteger de la abrasión a los equipos mecánicos, además de reducir el atascamiento en canales o conducciones y evitar la presencia de materia inerte en unidades de tratamiento donde pueden interferir, como en los tanques de aireación.

La eliminación de las arenas decantadas se continuará realizando mediante las 1 + 1 bombas verticales de rodete desplazado existentes para proceder después a su concentración por tornillo extractor. Se dispone de lavador de arenas.

Se mantendrá además el sistema automático tipo barredera superficial existente para separar las grasas por flotación. Dichas grasas serán conducidas a la arqueta de acumulación de donde se extraerán al desnatador de paletas.

Las grasas tienden a permanecer en la superficie del fluido generando la aparición de natas y espumas que entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico, químico o biológico al interferir en el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera y al adherirse a los equipos. Es por ello que se hace necesaria su eliminación de las aguas en las primeras etapas del tratamiento. La instalación de biorreactores de membrana condiciona aún más la necesidad de eliminar las arenas y grasas del agua que entra al reactor por el daño que pueden ocasionar a las membranas.

Por otra parte, se mantienen las tres unidades soplantes *roots* de doble velocidad de 120 Nm³./h. (una a Q_{medio} y dos a Q_{punta}) que proporcionan el aire en los desarenadores-desengrasadores. Gracias a esta aireación, además de permitir obtener una arena de mayor calidad (baja putrescibilidad orgánica) y favorecer la eliminación de las grasas superficiales, la pérdida de carga se minimiza y se airea el agua residual, lo que proporciona la oxidación de los sulfuros (reduciéndose por tanto los problemas de olores o corrosión).

A la salida del desarenado-desengrasado se mantiene la arqueta dotada de aliviadero y by-pass de planta, que permite evacuar el caudal excedente dejando pasar al tanque de homogeneización un máximo de caudal punta diseñado (Q_{punta}=382 m³/h). Tras dicha arqueta se efectúa una medida de caudal por vertedero. Los canales de desarenado-desengrasado van aislados mediante compuertas manuales tipo mural. La salida del agua se realiza mediante vertedero con el fin de asegurar un reparto uniforme de caudal por línea.

Las características de cada uno de los desarenadores-desengrasadores aireados existentes son las siguientes (ver **TABLA 22**):

TABLA 22. Características de los desarenadores-desengrasadores aireados (PLIEGO. 2006)

CARACTERÍSTICAS DE LOS DESARENADORES-DESENGRASADORES AIREADOS	
Número de unidades	2 unidades
Ancho del desarenador (a)	2,200 m
Longitud del desarenador (l)	6,700 m
Superficie longitudinal ($A=a*l$)	14,740 m ²
Calado medio del desarenador (h)	2,670 m
Volumen de cada desarenador ($V = a*l*h$)	39,356 m ³
Altura total del desarenador (d)	3,060 m
Carga hidráulica a caudal medio ($Vc_{medio}=(Q_{medio}/2)/A$)	5,088 m ³ /h/m ²
Carga hidráulica a caudal punta ($Vc_{punta}=(Q_{punta}/2)/A$)	12,958 m ³ /h/m ²
Velocidad transversal a caudal medio ($v_{medio} = (Q_{medio}/2)/(a*h)$)	0,004 m/s
Velocidad transversal a caudal punta ($v_{punta} = (Q_{punta}/2)/(a*h)$)	0,009 m/s
Tiempo de retención a caudal medio ($\Theta_{medio}=V/(Q_{medio}/2)$)	31,485 min
Tiempo de retención a caudal punta ($\Theta_{punta}=V/(Q_{punta}/2)$)	12,363 min
Número de difusores de aire por desarenador (n)	8 unidades
Separación entre difusores	0,838 m
Caudal de aire por difusor (q_{dif})	14,740 m ³ /h
Caudal de aire por desarenador ($q_{des} = q_{dif}*n$)	117,92 m ³ /h
Número de soplantes	3 unidades

Las características referidas a la extracción de arenas y flotantes de los desarenadores-desengrasadores aireados se muestran en la siguiente

TABLA 23:

TABLA 23. Características de los desarenadores-desengrasadores aireados (continuación).
(PLIEGO. 2006)

CARACTERÍSTICAS DE LOS DESARENADORES-DESENGRASADORES AIREADOS	
Número de bombas verticales de extracción de arenas	1 + 1 unidades
Capacidad de extracción de arenas	100,000 l/m ³
Producción diaria de arena-agua por desarenador	180,000 m ³ /día
Número de horas de funcionamiento de la extracción de arena	12 horas/día
Capacidad de extracción de arena	15 m ³ /h
Altura manométrica de la bomba de extracción de arena	3,280 m.c.a.
Potencia total absorbida por la bomba de extracción de arena	0,260 kW

6.3.2.2 Tanque de homogeneización

En el caso de las alternativas con membrana (alternativas **Nº1**, **Nº2** y **Nº3**) se instalará un tanque de homogeneización o regulación con el fin de evitar los problemas de operación causados por las variaciones en la calidad y caudal de entrada a la planta así como para mejorar el rendimiento de los distintos procesos. La salida del agua a través de las membranas es por bombeo, succión, por lo que se necesitaría un complejo sistema de control para evitar el desbordamiento del reactor, además de que cuanto mayor es el caudal filtrado mayor es el ensuciamiento de la membrana. La disposición de este tanque de homogeneización previo al reactor biológico resulta necesaria de cara a la optimización del sistema de biorreactor con membranas a instalar, pues este sistema absorbe hidráulicamente mal grandes puntas de caudal.

Esta regulación permitirá que los microorganismos encargados de los procesos de depuración sufran menos las variaciones bruscas en la calidad del agua, además existirá un mayor control en la adición de productos químicos (si fuera el caso) y se mejorará el proceso de filtración al reducirse los requisitos de superficie de filtración para el efluente.

Con el fin de optimizar el espacio, este tanque de regulación se va a disponer en la zona destinada actualmente al tratamiento físico-químico ya que en el sistema de tratamiento propuesto desaparecen los tanques de coagulación-floculación y los decantadores lamelares que hay la E.D.A.R. actual. Se desmantelarán los equipos que ya no se van a necesitar (válvulas, módulos de lamelas, etc.).

El nuevo tanque de homogeneización deberá garantizar un tiempo de retención hidráulico (θ) mínimo de 4 horas a caudal punta:

$$\theta = 4 \text{ horas} = \frac{\text{Volumen total de tanque}}{\text{Caudal a tratar}} = \frac{\text{Volumen total de tanque}}{382 \text{ m}^3/\text{hora}}$$

Por tanto el volumen necesario de tanque de homogeneización será:

Volumen necesario de tanque = 4 horas x 382 m³/hora = 1.528 m³

Se dispondrá de un tanque de 20 metros de largo por 20 metros de ancho y una altura de 4,35 metros, que proporciona un almacenamiento de 1.540 m³ más un resguardo mínimo de 0,50 metros. El agua saldrá por bombeo hacia los reactores y se dispondrá además de un canal de by-pass.

El equipamiento del tanque de homogeneización estará formado por elementos de agitación con el fin de evitar la formación de zonas sépticas (condiciones anaerobias causantes de malos olores), las sedimentaciones, así como la reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO₅) que pueda condicionar el rendimiento del reactor biológico en la eliminación de nutrientes. Considerando un requerimiento de potencia de agitación de 5 W/m³ y para un volumen de tanque de 1.540 m³, se necesitarán 7,7 kW de potencia de agitación total. Los agitadores existentes actualmente en las dos cámaras de mezcla (en cada una existe un agitador rápido de 0'74 kW de potencia) y de floculación (en cada una existe un agitador de 0'50 kW. de potencia) no proporcionan la potencia necesaria para agitar el volumen de tanque de homogenización, por lo que se dispondrán 4 nuevos agitadores mecánicos de 2 kW de potencia cada uno que proporcionarán una potencia de agitación total de 8 kW.

Además, se instalará una válvula pilotada limitadora de caudal que cortará la entrada de agua al tratamiento biológico antes de producirse un desbordamiento.

En la siguiente **TABLA 24** se indican las características del tanque de laminación propuesto:

TABLA 24. Características del tanque de laminación propuesto para las alternativas N°1, N°2 y N°3. (Elaboración propia)

CARACTERÍSTICAS DEL TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN	
Ancho (a)	20,00 m
Longitud (l)	20,00 m
Calado (h)	4,35 m
Volumen total ($V_1 = a \cdot l \cdot h$)	1.740,00 m ³
Volumen total – Volumen de resguardo ($V_2 = V_1 - 0,50 \cdot a \cdot l$)	1.540,00 m ³
Tiempo de retención a caudal medio del tanque de laminación requerido ($\Theta_{\text{medio}} = V_2 / Q_{\text{medio}}$)	10,27 horas
Tiempo de retención a caudal máximo del tanque de laminación ($\Theta_{\text{punta}} = V_2 / Q_{\text{punta}}$)	4,03 horas

En la base del nuevo tanque se realizarán una apertura que conectará con una nueva tubería a través de la cual el agua pretratada será conducida por gravedad hacia la nueva cámara de reparto al tratamiento biológico a disponer de manera soterrada en la parcela prevista para la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira.

En esta nueva conducción se dispondrá de una válvula limitadora de caudal, para un caudal máximo o punta de 382 m³/h, y de una válvula de flotador, de regulación todo o nada, con el fin de impedir el posible desbordamiento del reactor biológico.

6.3.2.3 Módulos de membrana de fibra hueca de ultrafiltración

Después del tratamiento biológico propuesto para las alternativas **Nº1**, **Nº2** y **Nº3** se dispondrá de un sistema de membranas para retener la biomasa creada responsable del proceso de depuración biológica. De esta manera el agua residual tratada biológicamente se separará del licor de mezcla por microfiltración, aplicando presión. Parte del fango retenido en las membranas se recirculará al reactor biológico y otra parte, el fango en exceso, deberá ser purgado y tratado de acuerdo a la línea de fangos propuesta (espesado + deshidratado) con el fin de mantener el proceso estable.

La filtración con membranas permite el funcionamiento del sistema biológico a un nivel mucho más alto de sólidos en suspensión en el licor mezcla que en un proceso típico de lodos activos, en el cual con concentraciones tan altas el reactor requiere de mucha aireación y el decantador funciona peor. En el sistema de membranas se pueden alcanzar concentraciones de sólidos en torno a los 10.000 - 12.000 mg/l, mientras que los procesos convencionales funcionan normalmente con concentraciones de sólidos suspendidos que oscilan entre los 3.000 y los 4.000 mg/l. De esta manera se puede disminuir el volumen de purga requerido y alcanzar edades de fango elevadas, minimizando así la producción de fangos. Sin embargo, para evitar una aireación excesiva, se limitará la concentración máxima de SST en el reactor biológico a 8.000 mg/l y en la cubeta de membranas a 10.000 mg/l.

La aireación del reactor biológico y del tanque de membranas, junto con la recirculación de fangos aplicada en el sistema, van a precisar de un control exhaustivo a la hora de controlar la desnitrificación, debido a que la circulación de fangos arrastra oxígeno disuelto y esto va a limitar la capacidad de desnitrificación. Por otra parte, las características microbiológicas del efluente, especialmente la presencia de virus, serán dependientes de la frecuencia de las limpiezas químicas realizadas así como de la tipología de membrana utilizada (ARÉVALO VILCHES, 2011).

La disposición y el tipo de membranas a instalar van a depender del espacio disponible en planta, de la calidad del permeado a obtener, así como de los costes de instalación y mantenimiento (aireación, filtración, limpieza y recuperación de las membranas).

Teniendo en cuenta que los permeados procedentes de las membranas de ultrafiltración presentan una menor concentración de partículas y virus frente a los procedentes de las membranas de microfiltración (ARÉVALO VILCHES, 2011 pág. 370), se ha optado en este trabajo por disponer **membranas de fibra hueca de ultrafiltración**, que proporcionan una eficiencia muy alta en el proceso de filtración (máxima superficie por unidad de volumen) reduciéndose así el espacio que ocupan en planta. Presentan el inconveniente de ser una configuración propensa al ensuciamiento al trabajar con aguas cargadas, por lo que se deberán respetar los ciclos de limpieza establecidos.

Para el diseño del sistema de membranas se ha considerado un caudal específico de 15 l/h/m^2 (inferior a 16 l/h/m^2 tal y como se establecen en las CONDICIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE BIORREACTORES incluidas en el Pliego). Por tanto, para obtener un caudal medio de $3.600 \text{ m}^3/\text{día}$ de agua clarificada se va a necesitar de un área total de membrana de 10.000 m^2 :

$$\text{Superficie membrana necesaria} = \frac{3.600 \text{ m}^3/\text{d} = 150.000 \text{ l/h}}{15 \text{ l/h/m}^2} = 10.000 \text{ m}^2$$

Se van a utilizar módulos de membrana de fibra hueca de ultrafiltración de la casa KOCH (KOCH MEMBRANE SYSTEMS). Las especificaciones técnicas de dichos módulos se muestran en las siguientes **FIGURA 54** y **FIGURA 55**:



PURON[®] HOLLOW FIBER MODULES

Hollow Fiber Submerged Membrane Modules for MBR Applications

PRODUCT DESCRIPTION	Membrane Chemistry:	Proprietary PVDF
	Membrane Type:	Braided hollow fiber for outside-in operation
	Fiber Support Chemistry:	Polyester
	Nominal Pore Size:	0.03 µm
	Outside Fiber Diameter:	0.1 inch (2.6 mm)
	Regulatory Information:	Accepted by California Department of Public Health (CDPH) for compliance with California Water Recycling Criteria (Title 22)
	Potting Material:	Proprietary epoxy compound
	Module Frame Material:	316 Stainless Steel
	Permeate Collection Tube Material:	ABS, PVC, PE manifolds
	Storage Solution:	Glycerin

PRODUCT SPECIFICATIONS	Model	Membrane Area ft ² (m ²)	Rows per Module
	PSH 95	1,020 (95)	3
	PSH 250	2,690 (250)	8
	PSH 300	3,230 (300)	8
	PSH 500	5,380 (500)	16
	PSH 600	6,480 (600)	16
	PSH 1500	16,150 (1,500)	44
	PSH 1800	19,375 (1,800)	44

OPERATING & DESIGN INFORMATION*	Temperature Range:	41 - 104°F (5 - 40°C)
	Maximum Filtration Transmembrane Pressure:	9 psi (0.6 bar)
	Maximum Backflush Transmembrane Pressure:	9 psi (0.6 bar)
	Allowable pH Range for Cleaning:	2.0 - 10.5
	Maximum Allowed Total Chlorine @ 95°F (35°C) or Lower:	1,000 ppm @ pH 8 or higher during maintenance clean
	Maximum Allowed Total Chlorine @ 95°F (35°C) or Lower:	2,000 ppm @ pH 8 or higher during recovery clean
	Maximum Allowed Total Chlorine Contact:	500,000 ppm-hrs cumulative

* Consult Process Technology Group for specific applications.

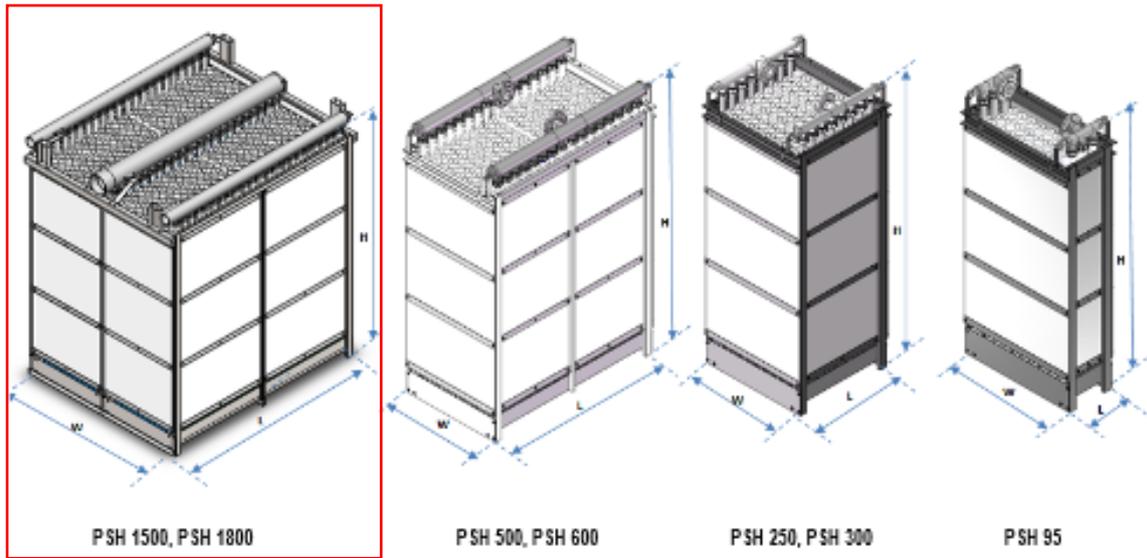
NOMINAL DIMENSIONS & WEIGHT*	Model	L		W		H		Dry Weight Pounds (kg)
		Inches (mm)	(mm)	Inches (mm)	(mm)	Inches (mm)	(mm)	
	PSH 95	14.33 (364)	(95)	35.16 (893)	(893)	77.83 (1,977)	(1,977)	361 (164)
	PSH 250	35.67 (908)	(908)	35.16 (893)	(893)	93.82 (2,384)	(2,384)	660 (300)
	PSH 300	35.67 (908)	(908)	35.16 (893)	(893)	93.82 (2,384)	(2,384)	715 (325)
	PSH 500	65.43 (1,662)	(1,662)	35.16 (893)	(893)	95.35 (2,422)	(2,422)	1,210 (550)
	PSH 600	65.43 (1,662)	(1,662)	35.16 (893)	(893)	95.35 (2,422)	(2,422)	1,265 (575)
	PSH 1500	88.35 (2,244)	(2,244)	69.10 (1,755)	(1,755)	99.61 (2,530)	(2,530)	2,860 (1,300)
	PSH 1800	88.35 (2,244)	(2,244)	69.10 (1,755)	(1,755)	99.61 (2,530)	(2,530)	3,434 (1,570)

* See schematic diagrams next page.

CONNECTIONS	Model	Permeate		Air	
		Type	Outside Diameter (mm)	Type	Outside Diameter (mm)
	PSH 95	Flange	DN 50	Flange	DN 50
	PSH 250	Flange	DN 50	Flange	DN 50
	PSH 300	Flange	DN 50	Flange	DN 50
	PSH 500	Flange	DN 80	Flange	DN 80
	PSH 600	Flange	DN 80	Flange	DN 80
	PSH 1500	Pipe	Ø 200	Pipe	Ø 110
	PSH 1800	Pipe	Ø 200	Pipe	Ø 110

FIGURA 54. Especificaciones técnicas de los módulos de membranas de fibra hueca. (KOCH MEMBRANE SYSTEMS)

PURON® HOLLOW FIBER MODULES



Module Transport and Storage Conditions:

Storage of Unused PURON Modules

PURON modules should be stored within a temperature range of 41 to 77°F (5 to 25°C) in the original packaging material. Extended exposure to UV source must be avoided. The PURON modules must not be stored for longer than 3 months after delivery.

Transport of PURON Modules

During transport, PURON modules should be stored within a temperature range of 23 to 113°F (-5 to 45°C), but they should not be kept at temperature outside the normal storage range of 41 to 77°F (5 to 25°C) for more than 6 weeks.

When the PURON modules are being transported by ship, the PURON module should be placed in seaworthy packaging and stored at ambient temperature, provided that such temperature is within the temperature range specified herein.

Dry-Out Protection

Once the PURON module has been immersed in an aqueous medium, it should never be stored dry. If the membrane plant is not operated for 7 days or less, the module may be kept wet by keeping it submerged in the biomass, provided the following conditions are met:

- The biomass is healthy and is aerated and the recirculation of biomass over the membrane chamber is functioning properly.
- The module is fully submerged in the biomass.
- The module aeration is switched on every 30 minutes for a period of 1 minute to assure mixing of sludge inside the module.

Storage of Used Modules

If the shutdown period is longer than 7 days, immersion in a storage solution is required. Please consult KMS for more information.

If used PURON modules are permitted to dry out, membrane performance, such as permeability, may be adversely affected. Please consult KMS to see what steps may be taken to try to reverse such negative effects.

Proper Handling of PURON Modules

Utmost care should be taken at all times when handling the PURON module. Collisions, impact or hitting the ground in a rough manner may damage modules or connections.

Keep the PURON modules free from contact with sharp or abrasive objects or exposure to heat sources. Actions that may cause sparks (e.g. welding, grinding) should be strictly prohibited in the vicinity of the modules.

The information contained in this publication is believed to be accurate and reliable, but is not to be construed as implying any warranty or guarantee of performance. We assume no responsibility, obligation or liability for results obtained or damages incurred through the application of the information contained herein. Refer to Standard Terms and Conditions of Sale and Performance Warranty documentation for additional information.

Koch Membrane Systems, Inc., www.kochmembrane.com

Corporate Headquarters: 850 Main Street, Wilmington, Massachusetts 01887-3388, US, Tel. Toll Free: 1-888-677-5624, Telephone: 1-978-694-7000, Fax: 1-978-657-5208
European Headquarters: Koch Chemical Technology Group Ltd., Units 3-6, Frank Foley Way, Stafford ST16 2ST, GB, Telephone: +44-178-527-2500, Fax: +44-178-522-3149

• Aachen DE • Lyon FR • Madrid ES • Milan IT • Wijnegem BE • Beijing & Shanghai CN • Mumbai & Chennai IN • Melbourne & Sydney AU • Singapore • Sao Paulo BR • Manama BH •

PURON is a registered trademark of Koch Membrane Systems, GmbH in Germany and other countries.

The FLOW LINES DESIGN is a trademark of Koch Membrane Systems, Inc. and the STYLIZED K is a trademark of Koch Industries, Inc.

Koch Membrane Systems, Inc. is a Koch Chemical Technology Group, LLC company.

© 2013 Koch Membrane Systems, Inc. All rights reserved worldwide.

09/13 Rev. 13-2

FIGURA 55. Especificaciones técnicas de los módulos de membranas de fibra hueca. (KOCH MEMBRANE SYSTEMS)

Se elige el modelo PSH 1500 cuya área de membrana por módulo es de 1.500 m². Como la superficie de membrana total requerida es de 10.000 m², se van a disponer 7 módulos de membrana modelo PSH 1500 que proporcionarán una superficie total de membrana de $7 \times 1.500 = 10.500$ m² siendo el flujo de permeado de 14,29 l/h/m²:

$$\text{Flujo de permeado} = \frac{3.600 \text{ m}^3/\text{d} = 150.000 \text{ l/h}}{10.500 \text{ m}^2} = 14,29 \text{ l/h/m}^2$$

Cada uno de los 7 módulos contiene 44 filas de membrana por módulo y tiene unas dimensiones de 2,244 m de largo por 1,755 m de ancho y por 2,530 m de alto. Por tanto el volumen total del reactor de membranas que se va a modelar con DESASS, considerando en torno a un 7% adicional para tener en cuenta que debe existir una cierta separación entre los módulos para la extracción de los mismos, estará en torno a los **75 m³**:

$$\begin{aligned} \text{Volumen total reactor de membranas} &= 7 \times 2,244 \times 1,755 \times 2,530 \times 1,07 \\ &= 74,6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

6.3.2.4 Desinfección mediante radiación ultravioleta

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades (patógenos).

La desinfección por radiación ultravioleta (UV) es un proceso físico basado en la transferencia de energía electromagnética desde una fuente (lámpara) hasta el material celular de un organismo, específicamente hasta el material genético de la célula. Cuando la energía UV es absorbida por el material genético (ADN) de un microorganismo se inducen cambios estructurales que impiden la replicación del mismo. La efectividad de la radiación es una función directa de la cantidad de energía o dosis que es

absorbida por los organismos. La dosis viene dada por el producto de la intensidad de la radiación por el tiempo de exposición.

La desinfección por radiación UV requiere de mayores costes de instalación y operación y es menos persistente que otros métodos de desinfección como la cloración, sin embargo, sus principales ventajas radican en la no generación de subproductos tóxicos, en su eficacia para la inactivación vírica, sencillez de operación y mantenimiento, así como en la necesidad de menores tiempos de exposición, por lo que no se requiere de tanque de contacto.

Además, la efectividad del proceso de desinfección por radiación UV depende especialmente de la presencia de sólidos suspendidos, pues las bacterias adsorbidas a ellos quedan en parte protegidas frente a la radiación. Es por ello que la aplicación de este método requiere de un agua sin sólidos suspendidos. El proceso de filtración por membranas propuesto para las alternativas **Nº1**, **Nº2** y **Nº3** proporciona un efluente de estas características, es decir, de baja turbidez, al ser capaz de retener en el proceso biológico elementos orgánicos y bacterias. Por ello el sistema de desinfección mediante ultravioleta se espera que tenga mayor efectividad en las alternativas con membrana que en la alternativa con decantador (alternativa **Nº4**).

La mayoría de los equipos de desinfección ultravioleta utilizan una exposición mínima en el agua de $30.000 \mu\text{Ws}/\text{cm}^2$, adecuada para inactivar las bacterias y virus patógenos. Para la inactivación total de ciertos protozoos patógenos, quistes de protozoos y huevos de nematodos se puede requerir hasta $100.000 \mu\text{Ws}/\text{cm}^2$.

El tratamiento terciario de desinfección propuesto para las cuatro alternativas se basa en la implantación de lámparas de radiación ultravioleta instaladas en un canal de salida del agua efluente de la planta, que bien será reutilizada para riego de parques y jardines, o bien se verterá al mar.

Cabe decir que los sistemas de reactores biológicos de membrana (caso de las alternativas N°1, N°2 y N°3) ya proporcionan por sí mismos un efluente de gran calidad que no suele necesitar de desinfección posterior, pero se ha optado por el diseño de un sistema de desinfección ultravioleta por si fuera necesario.

Se ha elegido un equipo de desinfección ultravioleta de la casa Trojan Technologies. Para el dimensionamiento del mismo se establece una transmitancia de la radiación ultravioleta en el agua residual del 55%. Para esa transmitancia el valor tras un año de la intensidad media de diseño es 3.000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ de acuerdo a los valores proporcionados por la siguiente

TABLA 25:

TABLA 25. Valores de la intensidad media nominal y de diseño al año (I) desarrolladas por un banco Trojan de lámparas ultravioletas, con un mínimo de 16 lámparas, orientadas en una matriz de 4x4. Método Trojan SPSS de cálculo de la intensidad media (TROJAN TECHNOLOGIES)

UV Transmission (%)	Nominal Average Intensity @ 100 hrs ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	Design Average Intensity @ 1 year ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)
30	2300	1500
35	2650	1750
40	3000	2000
45	3450	2300
50	3950	2600
55	4550	3000
60	5300	3450
65	6150	4000
70	7250	4700
75	8650	5630
80	10600	6885
85	13350	8685
90	17650	11465

Para conseguir una desinfección de 200 CF/100ml el fabricante recomienda una dosis necesaria de radiación ultravioleta en función de los sólidos suspendidos. (Ver **TABLA 26**)

TABLA 26. Dosis de diseño ultravioleta Trojan en función de los sólidos suspendidos. Basadas en tratamientos biológicos de cultivos en suspensión y 30 días de media geométrica de coliformes fecales. (TROJAN TECHNOLOGIES)

<u>Quantity of Suspended Solids (mg/L)</u>	<u>Required Trojan Design UV Dose* (μWs/cm²)</u>
30	30,000
25	29,000
20	28,000
15	26,500
10	25,000

Para una concentración de sólidos suspendidos de 10 mg/l se requiere una dosis de radiación ultravioleta Trojan de 25.000 μWs/cm².

Realizando el diseño para el caudal punta de 382 m³/h = 106,11 l/s el modelo de módulos ultravioletas adecuado que nos proporciona el fabricante (ver **TABLA 27**) sería el **UVM 6-64** que se puede usar para tratamientos de hasta 130 l/s.

TABLA 27. Módulos de ultravioleta proporcionados por el fabricante Trojan. (TROJAN TECHNOLOGIES)

Módulos UV existentes				
Modelo	No. de Lámparas	Longitud del Arco por Lámpara	Para Usarse en el Tratamiento de Hasta	
			(en MGD)	(en Litros/segundo)
UVM 2-36	2	30	0.12	5.0
UVM 2-64	2	58	0.40	17.5
UVM 4-36	4	30	0.80	35.0
UVM 4-64	4	58	1.50	65.0
UVM 6-64	6	58	3.00	130.0
UVM 8-64	8	58	50.00	2,200.0
UVM 16-64	16	58	500.00	22,000.0

* La longitud de arco es la longitud (en pulgadas) de la porción de la lámpara que emite luz.

Se trata de módulos de 6 lámparas con 58 pulgadas⁸ (1,47 m) de longitud de arco por lámpara, 0,9 pulgadas (22,9 mm) de diámetro de lámpara (ϕ), 3 pulgadas (76,2 mm) de separación entre lámparas (e) y 64 pulgadas (1,63 m) de longitud de lámpara.

El número de lámparas requerido vendrá dado por:

$$\text{N}^\circ \text{ lámparas} = \frac{\text{Volumen}_{\text{Reactor}}}{\text{Volumen}_{\text{neto lámpara}}} = \frac{\text{Caudal}_{\text{punta}} \times \theta_{\text{retención}}}{\text{Volumen}_{\text{neto lámpara}}}$$

Donde:

$$\theta_{\text{retención}} = \frac{\text{Dosis UV}}{\text{Intensidad media de diseño}} = \frac{25.000 \mu\text{Ws}/\text{cm}^2}{3.000 \mu\text{W}/\text{cm}^2} = 8,33 \text{ s}$$

$$\text{Volumen}_{\text{neto lámpara}} = \text{Volumen}_{\text{total lámpara}} - \text{Volumen}_{\text{ocupado lámpara}}$$

El volumen del reactor será:

$$\begin{aligned} \text{Volumen}_{\text{Reactor}} &= \text{Caudal}_{\text{punta}} \times \theta_{\text{retención}} = 106,11 \text{ l/s} \times 8,33 \text{ s} = 883,90 \text{ l} \\ &= 0,884 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

El volumen total de una lámpara será el de un cubo de dimensiones e x e x longitud del arco:

$$\begin{aligned} \text{Volumen}_{\text{total lámpara}} &= e \times e \times \text{longitud del arco} = 3 \text{ pulg} \times 3 \text{ pulg} \times 58 \text{ pulg} = \\ &= 522 \text{ pulg}^3/\text{lámpara} \end{aligned}$$

El volumen ocupado por una lámpara será:

$$\begin{aligned} \text{Volumen}_{\text{ocupado lámpara}} &= \pi \times \frac{\phi^2}{4} \times \text{longitud del arco} = \pi \times \frac{0,9^2}{4} \times 58 = \\ &= 36,9 \text{ pulg}^3/\text{lámpara} \end{aligned}$$

⁸ 1 pulgada = 0,0254 metros

Por tanto, el volumen neto de lámpara será:

$$\text{Volumen}_{\text{neto lámpara}} = 522 - 36,9 = 485,1 \text{ pulg}^3/\text{lámpara}$$

Y el número de lámparas requerido será:

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ \text{ lámparas} &= \frac{\text{Volumen}_{\text{Reactor}}}{\text{Volumen}_{\text{neto lámpara}}} = \frac{0,884 \text{ m}^3}{485,1 \frac{\text{pulg}^3}{\text{lámpara}} \times 1,639 * 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{pulg}^3}} \\ &= 111,18 \approx 112 \text{ lámparas} \end{aligned}$$

En número de módulos modelo UVM 6-64 requeridos será:

$$\text{N}^\circ \text{ módulos} = \frac{\text{número de lámparas}}{6 \text{ lámparas/módulo}} = \frac{112}{6} = 18,66 \approx 20 \text{ módulos}$$

Por tanto, **se necesitarán 20 módulos UVM 6-64 de la casa TROJAN TECHNOLOGIES con 6 lámparas por módulo, lo que hacen un total de 120 lámparas.**

El volumen neto ocupado por las 120 lámparas será:

$$\begin{aligned} \text{Volumen}_{\text{neto lámparas}} &= 485,1 \frac{\text{pulg}^3}{\text{lámpara}} \times 120 \text{ lámparas} \times 1,639 * 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{pulg}^3} = \\ &0,954 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

El tiempo de retención real será:

$$\theta_{\text{retención real}} = \frac{\text{Volumen}_{\text{neto lámparas}}}{\text{Caudal}_{\text{punta}}} = \frac{0,954 \text{ m}^3}{0,10611 \text{ m}^3/\text{s}} = 8,99 \text{ s}$$

Y la dosis de ultravioleta requerida:

$$\text{Dosis UV} = \theta_{\text{retención real}} \times I = 8,99 \text{ s} \times 3.000 \frac{\mu\text{W}}{\text{cm}^2} = 26.970 \frac{\mu\text{Ws}}{\text{cm}^2}$$

La distribución de las lámparas UV será paralelas al flujo de agua y separadas cada 3 pulgadas (76,2 mm). Se agruparán en dos grupos de 10 módulos cada uno (ver **FIGURA 56**). Por tanto, las dimensiones del canal requerido para la disposición de las lámparas serán:

- **Profundidad:** 6 lámparas x 76,2 mm = 457,2 mm = **0,46 m**
- **Anchura:** 10 módulos x 76,2 mm = 762 mm = **0,76 m**
- **Largo:** 2 grupos de 10 lámparas de 1,63 m de largo/lámpara y 0,25 mm de separación cada grupo = 1,63 m x 2 + 0,25 m = **3,51 m**

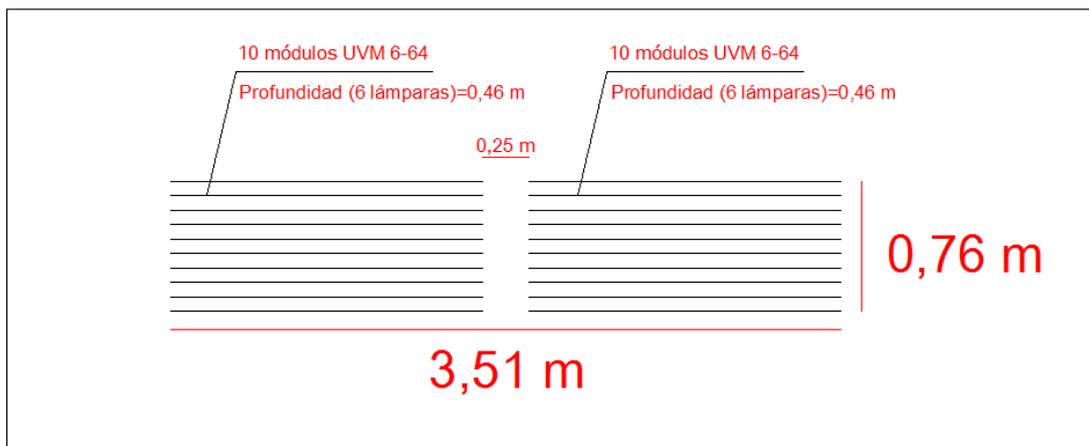


FIGURA 56. Esquema de la disposición en un canal de las lámparas y módulos del sistema de radiación ultravioleta propuesto. (Elaboración propia).

Las características del sistema de desinfección por radiación ultravioleta propuesto se resumen en la siguiente **TABLA 28**:

TABLA 28. Características del sistema de desinfección por radiación ultravioleta propuesto.
(Elaboración propia)

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA	
Número de lámparas	120
Número de módulos	20 módulos UVM 6-64 de la casa TROJAN TECHNOLOGIES
Profundidad del canal	0,46 m
Anchura del canal	0,76 m
Largo del canal	3,51 m
Tiempo de retención a caudal punta	8,99 s
Dosis de radiación UV	26.970 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$

6.3.2.5 Deshidratación de los fangos

Se mantendrán las dos unidades de decantador centrífugo existentes en la actual E.D.A.R. de Moraria, preparadas para trabajar 7 horas/día durante 5 días/semana y con capacidad de procesar 2'8 m³/h de fangos al 5%. Estas deshidratadoras permiten un sistema de trabajo en continuo proporcionando sequedades del 14% al 25%.

6.4 RESULTADOS DE LA ALTERNATIVA N°1

6.4.1 Esquema del proceso de la alternativa N°1

En la siguiente **FIGURA 57** se indica el diagrama de bloques de proceso propuesto como alternativa N°1 para la E.D.A.R. de Moraira tanto para la línea de agua como para la línea de fango.

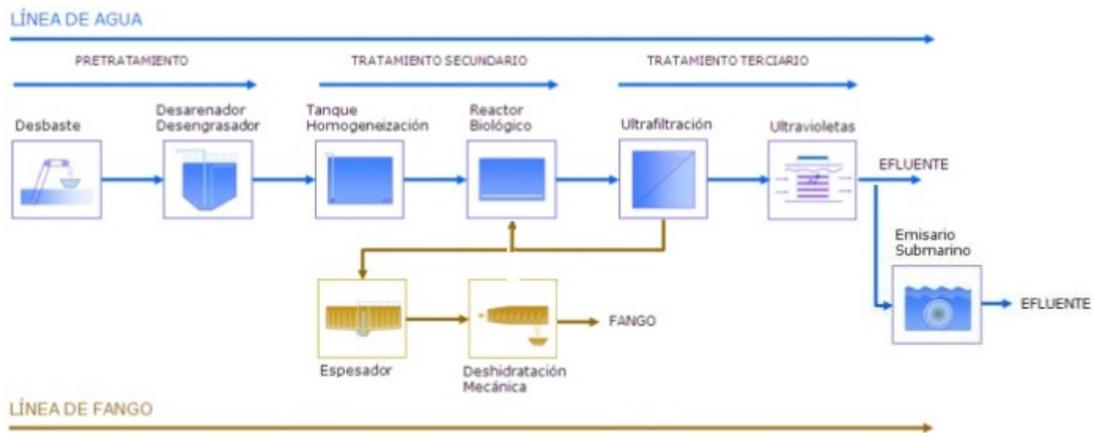


FIGURA 57. Diagrama de bloques de proceso propuesto como alternativa de tratamiento N°1 para la E.D.A.R. de Moraira. (Composición elaborada a partir de bloques de procesos obtenidos de la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales)

La ampliación de la E.D.A.R. de Moraira propuesta en esta alternativa N°1 exige el dimensionamiento de nuevos elementos que no existen en la E.D.A.R. de Moraira actual (ver diagrama de bloques de proceso existente en la E.D.A.R. de Moraira actual en la **FIGURA 31**): Tanque de homogeneización, reactor biológico de membranas y desinfección por radiación ultravioleta. Además, por requerimiento del proceso de filtración mediante membranas, será necesario sustituir los rototamices existentes, con luz de paso 3 mm, por otros tamices rotativos de con luz de paso de 0,5 mm.

Por otra parte, con la alternativa N°1 planteada quedarán en desuso el tratamiento físico-químico y el decantador lamelar existentes en la E.D.A.R. actual.

6.4.2 Justificación del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°1

El tratamiento biológico va a consistir en un proceso de cultivo en suspensión del tipo fangos activados mediante oxidación total y tendrá lugar en reactores biológicos provistos de un sistema de separación de fangos mediante membranas.

A través del tratamiento biológico se va a perseguir la degradación de materia orgánica, nitrógeno y fósforo por parte de microorganismos, principalmente bacterias, que constituyen aproximadamente el 95% de la biomasa en los procesos de fangos activados. Estas bacterias tendrán que ser capaces de degradar la materia orgánica y los nutrientes.

El tratamiento biológico propuesto tendrá lugar en dos líneas con reactores de mezcla completa de tres etapas (anaerobia, anóxica y aerobia) que permitirán la eliminación conjunta de materia orgánica y nutrientes (nitrógeno y fósforo)⁹. Se va a utilizar un reactor alargado o en flujo de pistón que favorece la velocidad de crecimiento de las bacterias formadoras de flóculos frente a las filamentosas y mejora los rendimientos esperados de depuración. Para simular esta realidad se utilizan tres reactores aerobios de mezcla completa en serie.

Se persigue eliminar materia orgánica biodegradable presente en el agua residual, además de favorecer la oxidación de nitrógeno amoniacal (nitrificación) y la eliminación del nitrógeno del agua residual mediante la conversión de las formas oxidadas en N₂ (desnitrificación). Se perseguirá además la eliminación de fósforo mediante procesos biológicos. Por ello se ha optado por disponer las fases anóxica y anaerobia previas a la aerobia con el fin de incrementar la eliminación biológica de los nutrientes nitrógeno y fósforo y poder cumplir así con los condicionantes de vertido establecidos en: Fósforo total ≤ 2 mg/l y Nitrógeno total ≤ 15 mg/l.

⁹ La eliminación biológica de nitrógeno requiere la combinación de fases anóxica-aerobia, mientras que la eliminación biológica de fósforo requiere la combinación anaerobia-aerobia.

Se ha optado por un proceso biológico de oxidación total o aireación prolongada, caracterizado por trabajar con edades de fango elevadas y baja carga másica¹⁰, que proporciona un efluente altamente tratado y genera una baja producción de fangos y más estabilizados (bajo contenido en SSV) que los generados en los procesos de Alta carga y Convencional, de mayores cargas másicas.

Se recircula un caudal de fangos desde el tanque de membranas que contendrá una elevada concentración de nitratos lo que permitirá reducir la concentración de nitratos en el efluente, pero que puede por otra parte impedir el desarrollo de las bacterias PAOs si se recircula directamente al reactor anaerobio. Es por ello que se utiliza en esta alternativa el esquema UCT (University of Cape Town), recirculando el fango al tanque anóxico. Existe otra recirculación desde el tanque anóxico al anaerobio con el fin de recircular biomasa a dicho reactor.

El esquema del tratamiento biológico propuesto en la Alternativa N°1 para la línea de agua de la E.D.A.R. de Moraira se muestra en la siguiente **FIGURA 58**:

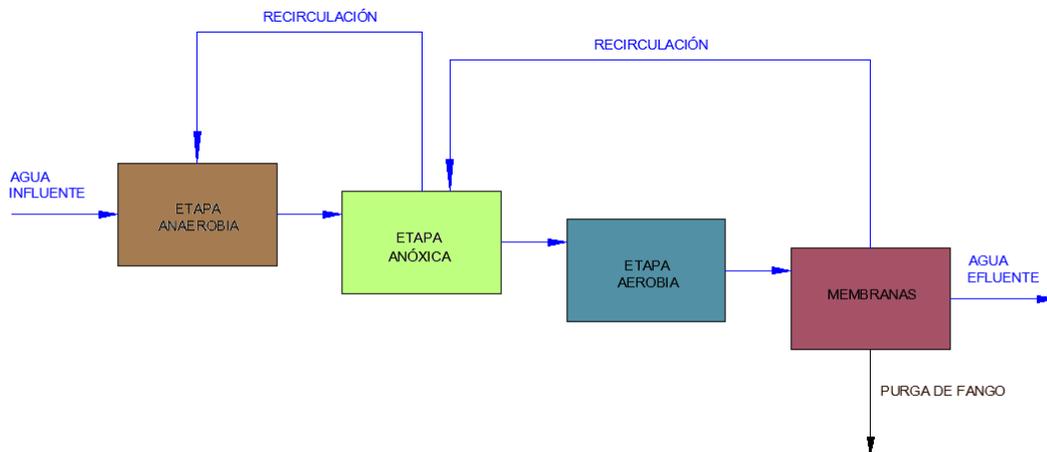


FIGURA 58. Esquema del tratamiento biológico propuesto en la Alternativa N°1 para la línea de agua en la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia)

¹⁰ La carga másica (C_m) es el parámetro que trata de representar la relación existente entre la carga orgánica alimentada al reactor y los microorganismos presentes en él. Suele definirse como: $C_m = \frac{kg\ DBO_5\ entrantes}{kgSSV\ en\ el\ reactor \cdot día}$ pudiendo sustituirse los SSV por SST.

El sistema de membranas propuesto en la línea de aguas permitirá retener la biomasa generada en los procesos biológicos. Parte de esta biomasa, los fangos recirculados, se recircularán al reactor biológico para mantener el proceso de depuración, y otra parte, el fango en exceso, se extraerá del sistema para mantener el proceso estable.

El fango en exceso se purgará del sistema y será conducido hacia el espesador. Allí se procederá al espesado del fango purgado, es decir, a aumentar la concentración de sólidos en el fango con el fin de reducir el volumen de fangos a tratar. Con ello se logra un menor requerimiento para bombeos y un menor consumo de reactivos para el acondicionamiento del fango. El agua efluente del proceso de espesado se recirculará a cabecera de planta.

El fango espesado será sometido a un tratamiento de deshidratación antes de salir de la planta. Se persigue con ello reducir el contenido de humedad del fango con el fin de reducir costes posteriores de transporte, además de hacerlo más manipulable, inodoro y no putrescible.

El fango deshidratado se almacenará en un contenedor del que será retirado periódicamente para su gestión final.

El sobrenadante generado en el proceso de deshidratación será conducido, junto con el efluente del espesado, hacia la cabecera de planta.

6.4.3 Resultados obtenidos con el DESASS para la línea de aguas y la línea de fangos de la alternativa N°1

El tratamiento biológico consiste en el acoplamiento en serie de un reactor anaerobio, un reactor anóxico y un reactor aerobio previos a la celda de filtración donde se ubican las membranas de fibra hueca. Como se trata de una planta medianamente grande, se dispone en paralelo de otra línea de reactores similar a la descrita.

En la siguiente **FIGURA 59** se muestra el esquema simulado para la alternativa N°1:

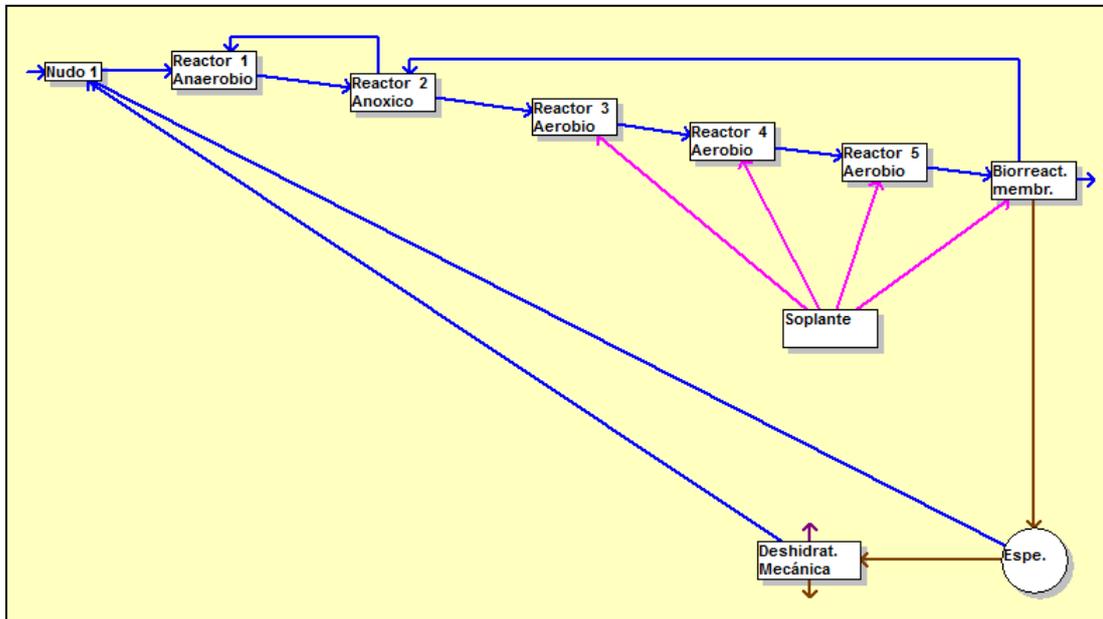


FIGURA 59. Esquema de los procesos biológicos simulados para la Alternativa N°1 mediante DESASS 1.1. (Elaboración propia)

El tratamiento biológico propuesto debe proporcionar un efluente que garantice las condiciones de vertido que se muestran en la **FIGURA 60**:

Salida de agua

Condiciones de vertido

	Invierno	Verano	
	Concentración (mg/l)		
DQO total	125	125	125
DBO 5	20	20	25
Snh4	14.0	14.0	0.5-50
N total	15.0	15.0	10-50
P total	2.0	2.0	0.5-15
Sól. susp.	10	10	35

Verano = Invierno

Aceptar

Cancelar

FIGURA 60. Condiciones de vertido introducidas en el DESASS 1.1. (Elaboración propia).

El **volumen total** de reactores es de **4.800 m³**. De dicho volumen total se ha considerado que el **40%** (1.920 m³) se destina a los 2 reactores anaerobios en paralelo (960 m³ para cada reactor anaerobio de dimensiones 7,7 m x 31 m y 4,5 m de altura), el **15%** (720 m³) se destina a los 2 reactores anóxicos en paralelo (360 m³ para cada reactor anóxico de dimensiones 7,7 m x 11,6 m y 4,5 m de altura) y el **43,4%** (2.083,2 m³) se destina a dos líneas en paralelo de 3 reactores aerobios en serie (1.042,5 m³ para cada línea) que simulan el reactor aerobio en flujo de pistón de dimensiones 27,7 m x 27,7 m x 4,5 m por línea. El 1,6 % de volumen restante (**76,8 m³**) se destina al reactor con membranas de filtración.

A mayor volumen de tanque anaerobio mejora la eliminación del fósforo, pero empeora el amonio. Se ha buscado el equilibrio en la eliminación de nitrógeno y fósforo, así como que la concentración de sólidos en los reactores no supere los 8.000 mgSST/l y la concentración de SST_r en las cámaras de membranas no supere los 10.000 mg/l.

La concentración resultante de sólidos SST en los reactores biológicos es de 6.655,82 mg/l y la concentración resultante de SST_r en las cámaras de membranas es de 9.836,69 mg/l.

Para ello se ha considerado además un tiempo de retención celular θ_c = **30 días** que proporciona un fango en la purga con un porcentaje de sólidos suspendidos volátiles biodegradables del 34,8 % (inferior al 35 %) suficientemente estabilizado para no requerir de digestión posterior. Mayores tiempos de retención mejoran la estabilidad de los fangos así como la eliminación del nitrógeno, pero requieren un mayor volumen de los reactores y empeoran la eliminación del fósforo, que tiene un óptimo.

El valor de θ_c propuesto pertenece al intervalo de valores medios del parámetro tiempo de retención celular para un proceso de oxidación total, θ_c = 20 - 30 días (FERRER POLO, y otros, 2003 pág. 58). Sin embargo, el valor de concentración de los SST obtenido en los reactores (6.655,82 mg/l) es superior al establecido en la citada bibliografía, SST = 3.000 – 6.000 mg/l.

Esto es así porque la utilización de un sistema de filtración con membranas permite trabajar con altas concentraciones de sólidos en los reactores.

Se ha considerado una relación de recirculación de fangos desde la cámara de filtración hasta el reactor anóxico de valor $r = 2$ y otra relación de recirculación de fangos desde este reactor anóxico hasta el reactor anaerobio de valor $r = 2$. Es decir, se supone en ambos casos un caudal de recirculación de fangos de 2 veces el caudal medio de entrada a la planta. Cuanto mayor sea ese caudal de recirculación mayor será la concentración de sólidos en los reactores y, por tanto, menor el volumen de tanque requerido.

Es importante que al reactor anaerobio no lleguen nitratos por lo que es conveniente que todos los nitratos que se recirculen desde el reactor de membranas sean eliminados en el tanque anóxico por las bacterias heterótrofas desnitrificantes. Una recirculación interna mayor desde el tanque de membranas elimina más nitratos, pero perjudica la eliminación del fósforo soluble.

Tras el tanque anóxico se dispone de los tanques aerobios en donde se va a garantizar el crecimiento, entre otras, de las bacterias autótrofas nitrificantes. Para ello se ha fijado una **concentración de oxígeno disuelto** en los reactores aerobios de **2 mg/l**. La aireación se consigue mediante un sistema de difusores. Para garantizar la eficacia de dichos difusores se ha fijado el calador de los reactores en **4 metros** (cuanto más pequeño es el calado menos eficacia tienen los difusores).

Se dispondrá de un total de **656 difusores** de 23 cm de diámetro cada uno distribuidos de la siguiente manera: 100 unidades en el primer reactor en serie (200 unidades para las dos líneas en paralelo), 110 unidades en el segundo reactor en serie (220 unidades para las dos líneas), 100 unidades en el tercer reactor en serie (200 unidades para las dos líneas en paralelo) y 36 unidades en el reactor con membranas.

Para proporcionar el aire se instalarán **3 soplantes operativas y una de reserva** con potencia de motor 30 kW cuyo consumo aproximado es de **1.238,1 kWh/día**.

Para la agitación de tanques anóxicos y anaerobios se recomienda una potencia de 20 W/m³. A partir de este valor se obtiene un requerimiento de **2 agitadores mecánicos por tanque anaerobio y 1 agitador mecánico por tanque anóxico**, todos ellos con potencia de motor de 10 kW.

Se ha dispuesto en la zona final de los reactores biológicos un vertedero con un canal para eliminar las espumas y flotantes que se puedan generar en el proceso y que puedan perjudicar el funcionamiento posterior de las membranas de filtración.

Para la alternativa N°1, tal y como se ha indicado anteriormente, se van a utilizar 7 módulos de membrana de fibra hueca de ultrafiltración modelo PSH 1500 de la casa KOCH (KOCH MEMBRANE SYSTEMS) que proporcionarán una superficie total de membrana de 10.500 m² siendo el caudal específico de 14,29 l/h/m². El sistema se alojará en un reactor cuyo volumen es 76,8 m³ (5 m x 5 m y 3,5 m de altura).

Se ha fijado una concentración de oxígeno disuelto en el reactor de membranas de **6 mg/l** con el fin de proporcionar una aireación suficiente para agitar las membranas evitando así el ensuciamiento de las mismas.

De las membranas se obtiene un permeado filtrado con un caudal equivalente al caudal medio (**3.595,89 m³/día**).

El agua filtrada será conducida hacia un depósito de permeado de volumen donde parte será tratada en el sistema de desinfección ultravioleta (U.V) y la otra parte será derivada para la limpieza del sistema de membranas.

En la siguiente **TABLA 29** y **FIGURA 61** se resumen las características del agua residual influente y efluente de los procesos biológicos diseñados

con DESASS para una temperatura más desfavorable de 15 °C para la alternativa N°1. El valor de la DBO₅ se obtendrá de la siguiente manera a partir de los resultados obtenidos en DESASS:

$$DBO_5 / DBO_{lim} = 0,68 \rightarrow DBO_5 = DBO_{lim} \times 0,68 = (X_S + S_A + S_F) \times 0,68$$

TABLA 29. Características del agua residual urbana influente y efluente del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°1. Temperatura de diseño de 15°C. (Elaboración propia).

Alternativa N° 1: Biorreactor de membranas y eliminación de fósforo mediante vía biológica			
PARÁMETRO	VALOR INFLUENTE AL TRATAMIENTO BIOLÓGICO EN mg/l	VALOR EFLUENTE DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO EN mg/l	% DE ELIMINACIÓN
Concentración de Sólidos en Suspensión, SS	350	3,0	99,1%
Concentración de Demanda Biológica de Oxígeno a los 5 días, DBO ₅	400	0,4	99,9%
Concentración de Demanda Química de Oxígeno, DQO	750	52,7	93,0%
Concentración de Nitrógeno total, NT	60,4	13,3	78,0%
Concentración de Fósforo total, PT	9,2	1,7	81,2%

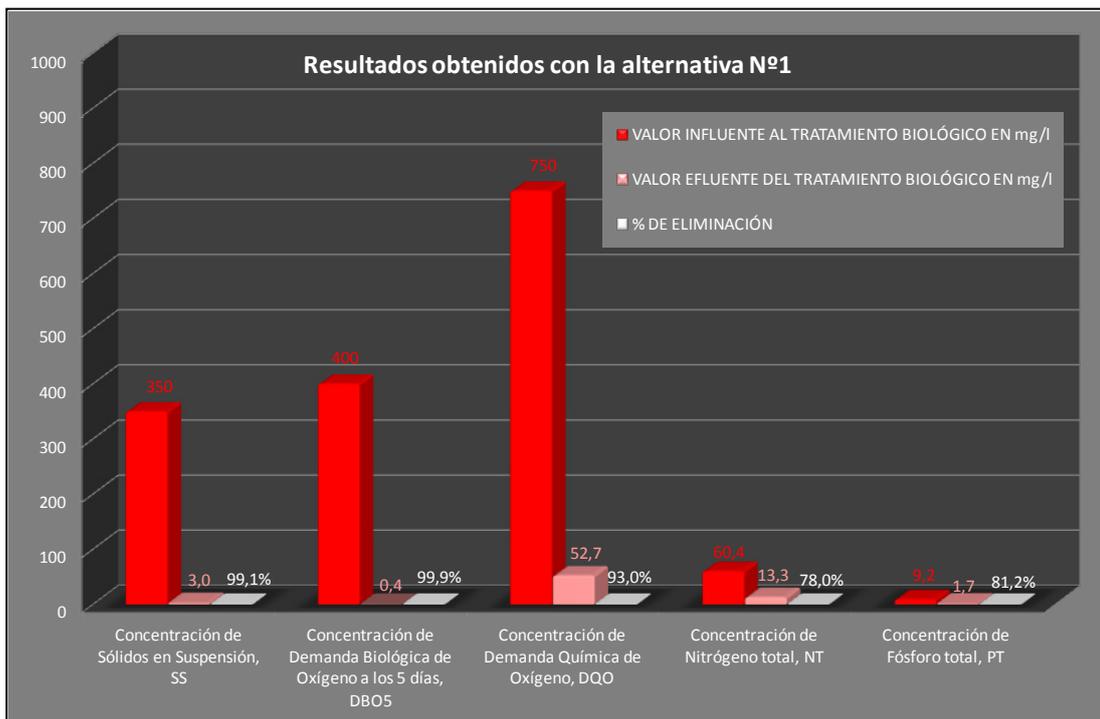


FIGURA 61. Características del agua residual urbana influente y efluente del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°1. (Elaboración propia).

Por otra parte, el licor mezcla separado por el sistema de membranas saldrá mediante vertedero. Parte del mismo será recirculado hasta el reactor

anóxico con el fin de mantener la concentración de biomasa en los procesos biológicos y la otra parte, el fango en exceso, será purgado hacia la línea de tratamiento de fangos.

Los fangos en exceso extraídos del sistema de filtración por membranas se llevan al espesador con el fin de aumentar la concentración de los mismos. Se ha simulado 1 espesador de **10 metros** de diámetro y **3,5 m de altura** (volumen = 235,62 m³) que recibe un caudal de fangos a espesar de **93,68 m³/día**. Se ha buscado obtener una concentración elevada en el espesador, pero comprobando que los fangos sedimentados no alcanzan la boca de entrada. Para ello se ha supuesto un tiempo de retención de 15 horas y un caudal de extracción de fangos respecto del caudal de entrada del 0,5. El sobrenadante del espesador se llevará a cabecera de planta.

El fango espesado se lleva a un proceso de deshidratación mecánica con el fin de reducir el contenido de humedad del mismo facilitando así su manipulación, reduciendo los costes de transporte y reduciendo además la producción de lixiviados. Se ha simulado el proceso de deshidratación mediante deshidratadoras centrífugas para una sequedad o concentración de sólidos en el fango del **22 %** y un tiempo de retención hidráulico de 15 minutos. **El caudal de fangos a deshidratar es de 46,84 m³/día, siendo la producción diaria de fangos de 912,95 kg/día.** Dada la producción de fangos prevista para esta alternativa se opta por reutilizar las dos deshidratadoras centrífugas ya existentes en la actual E.D.A.R. de Moraira con capacidad de procesar 2'8 m³/h de fangos al 5% (134,4 m³/día en total).

Tras la deshidratación mecánica, además del fango efluente y el biogás, se genera un sobrenadante que se recircula a la cabeza del tratamiento biológico.

En la siguiente **TABLA 30** se resumen las características del fango generado en los procesos biológicos diseñados mediante DESASS para la alternativa N°1:

TABLA 30. Resumen de las características del fango efluente del sistema de tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°1. (Elaboración propia).

Alternativa N° 1: Biorreactor de membranas y eliminación de fósforo mediante vía biológica	
PARÁMETRO	FANGO GENERADO
Materia volátil, % SSV	65,0%
Materia volátil biodegradable, %SSVB	34,8%
Sequedad, %	22%

6.5 RESULTADOS DE LA ALTERNATIVA N°2

6.5.1 Esquema del proceso de la alternativa N°2

La línea de agua propuesta para la alternativa N°2 constará de un pretratamiento, un tratamiento biológico de oxidación total con sistemas de filtrado mediante la tecnología de membranas y una desinfección por radiación ultravioleta. La eliminación del fósforo se llevará a cabo por vía química, con adición de reactivos.

A diferencia de la alternativa N°3, en este caso se opta por una baja relación de recirculación interna de fangos desde el reactor de membranas hacia el reactor anóxico, igual que en el caso anterior. Ello supone un menor gasto energético en bombeo, pero a costa de aumentar el volumen del reactor aerobio.

La eliminación de fósforo por vía química no hace necesaria la disposición de un reactor anaerobio previo a la etapa anóxica.

La línea de fango de la E.D.A.R. de Moraira ampliada quedará reducida con esta alternativa a un tratamiento de espesado y a una deshidratación mediante centrifugas igual que en la alternativa anterior.

En la siguiente **FIGURA 62** se indica el diagrama de bloques de proceso propuesto como alternativa N°2 para la E.D.A.R. de Moraira tanto para la línea de agua como para la línea de fango:

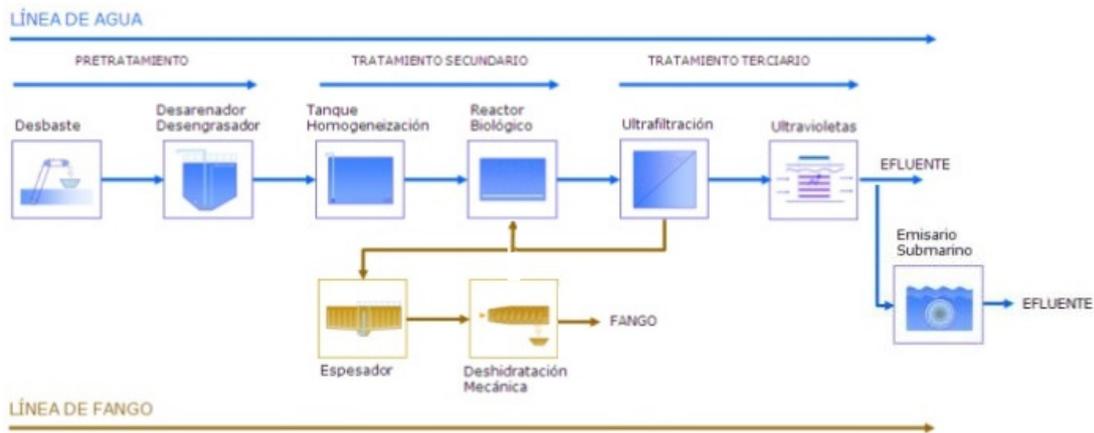


FIGURA 62. Diagrama de bloques de proceso propuesto como Alternativa N°2 para la E.D.A.R. de Moraria. (Composición elaborada a partir de bloques de procesos obtenidos de la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales)

La ampliación de la E.D.A.R. de Moraira propuesta en esta alternativa N°2 exige el dimensionamiento de nuevos elementos que no existen en la E.D.A.R. de Moraira actual: Tanque de homogeneización, reactor biológico de membranas y desinfección por ultravioletas. Además, por requerimiento del proceso de filtración mediante membranas, será necesario sustituir los rototamices existentes, con luz de paso 3 mm, por otros tamices rotativos de con luz de paso de 0,5 mm. En este caso, y a diferencia de la alternativa N°1, se requerirá también la disposición de un tanque para la preparación del reactivo utilizado para la eliminación de fósforo por vía química.

Por otra parte, con la alternativa N°2 planteada quedarán en desuso el tratamiento físico-químico y el decantador lamelar existentes en la E.D.A.R. actual.

6.5.2 Justificación del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°2

El tratamiento biológico propuesto tendrá lugar en dos líneas con reactores de mezcla completa de dos etapas (anóxica y aerobia) que permitirán la eliminación conjunta de materia orgánica y nitrógeno. Se va a utilizar un reactor alargado o en flujo de pistón que favorece la velocidad de

crecimiento de las bacterias formadoras de flocos frente a las filamentosas y mejora los rendimientos esperados de depuración. Para simular esta realidad se utilizan cinco reactores de mezcla completa en serie (1 anóxico y 4 aerobios).

Con el fin de reducir la concentración de nitratos en el efluente y de retener en el sistema la biomasa generada en los distintos procesos (anóxicos y aerobios) se va a recircular al tanque anóxico un caudal procedente del sistema de membranas. Para esta alternativa N°2, igual que en el caso anterior, se va a utilizar una relación de circulación baja.

El esquema del tratamiento biológico propuesto en la alternativa N°2 para la línea de agua de la E.D.A.R. de Moraira se muestra en la siguiente **FIGURA 63**:

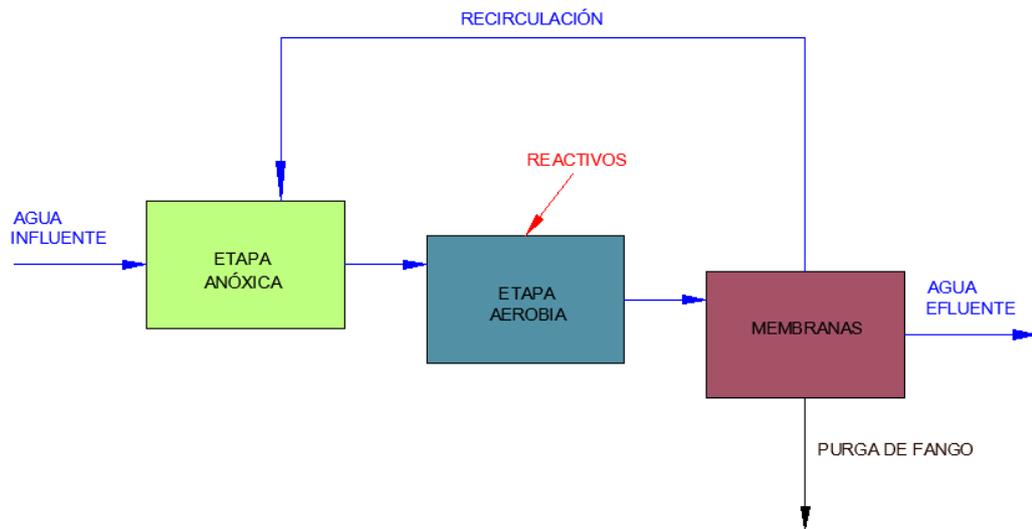


FIGURA 63. Esquema del tratamiento biológico propuesto en la alternativa N°2 para la línea de agua en la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia)

Después del tratamiento biológico propuesto en la alternativa N°2 se dispondrá de un sistema de membranas similar al propuesto en la alternativa N°1 con el fin de retener la biomasa creada responsable del proceso de depuración biológica.

Parte del fango retenido en las membranas se recirculará al reactor biológico y otra parte, el fango en exceso, deberá ser purgado y tratado de acuerdo a la línea de fangos propuesta (espesado + deshidratado) con el fin de mantener el proceso estable.

6.5.3 Resultados obtenidos con el DESASS para la línea de aguas y la línea de fangos de la alternativa N°2

El tratamiento biológico consiste en el acoplamiento en serie de un reactor anóxico y un reactor aerobio previos a la cámara de filtración donde se ubican las membranas de fibra hueca. Como se trata de una planta medianamente grande se dispone en paralelo de otra línea de reactores similar a la descrita.

En la siguiente **FIGURA 64** se muestra el esquema simulado para la alternativa N°2:

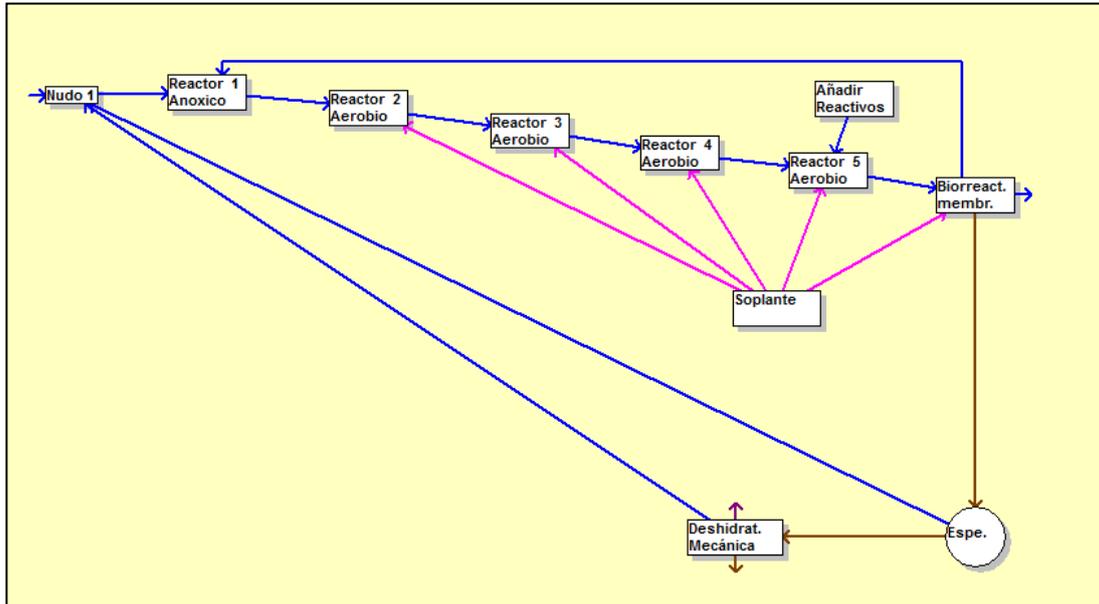


FIGURA 64. Esquema de los procesos biológicos simulados para la Alternativa N°2 mediante DESASS 1.1. (Elaboración propia)

El **volumen total** de reactores es de **4.200 m³**. De dicho volumen total se ha considerado que el **15%** (630 m³) se destina a los 2 reactores anóxicos en paralelo (315 m³ para cada reactor anóxico de dimensiones 7,2 m x 10,9 m y 4,5 m de altura), el **83,2%** (3.494,4 m³) se destina a 2 reactores aerobios en paralelo (1.747,2 m³ para cada línea simulada mediante 4 reactores aerobios en serie de dimensiones totales 41,1 m x 41,1 m y 4,5 m de altura). El 1,8 % de volumen restante (**75,6 m³**) se destina al reactor con membranas de filtración.

La concentración resultante de sólidos SST en los reactores biológicos es de 6.488,20 mg/l y la concentración resultante de SST_r en las cámaras de membranas es de 9.535,12 mg/l.

Para ello se ha considerado además un tiempo de retención celular θ_c = **28 días** que proporciona un fango en la purga con un porcentaje de sólidos suspendidos volátiles biodegradables del 34,6 % (inferior al 35 %) suficientemente estabilizado para no requerir de digestión posterior.

Se ha considerado una **relación de recirculación de fangos desde la celda de filtración hasta el reactor anóxico de valor $r = 2$** .

Tras el tanque anóxico se dispone de los tanques aerobios en donde se va a garantizar el crecimiento, entre otras, de las bacterias autótrofas nitrificantes. Para ello se ha fijado una **concentración de oxígeno disuelto** en los reactores aerobios de **2 mg/l**. La aireación se consigue mediante un sistema de difusores. Para garantizar la eficacia de dichos difusores se ha fijado el calado de los reactores en **4 metros**.

Se dispondrá de un total de **976 difusores** de 23 cm de diámetro cada uno distribuidos de la siguiente manera: 80 unidades en el primer reactor en serie (160 unidades para las dos líneas en paralelo), 132 unidades en el segundo reactor en serie (264 unidades para las dos líneas), 132 unidades en el tercer reactor en serie (264 unidades para las dos líneas en paralelo),

132 unidades en el cuarto reactor en serie (264 unidades para las dos líneas en paralelo) y 24 unidades en el reactor con membranas.

Para proporcionar el aire se instalarán **3 soplantes operativas y una de reserva** con potencia de motor 30 kW cuyo consumo aproximado es de **1.175,6 kWh/día**.

Tal y como se ha mencionado en la alternativa anterior, para la agitación de los tanques anóxicos se recomienda una potencia de 20 W/m³ por lo que será necesario en este caso **1 agitador mecánico por tanque anóxico** con potencia de motor de 10 kW.

Se ha dispuesto en la zona final de los reactores biológicos un vertedero con un canal para eliminar las espumas y flotantes que se puedan generar en el proceso y que puedan perjudicar el funcionamiento posterior de las membranas de filtración.

Para la alternativa N°2, tal y como se ha indicado anteriormente, se van a utilizar 7 módulos de membrana de fibra hueca de ultrafiltración modelo PSH 1500 de la casa KOCH (KOCH MEMBRANE SYSTEMS) que proporcionarán una superficie total de membrana de 10.500 m² siendo el caudal específico de 14,29 l/h/m². El sistema se alojará en un reactor cuyo volumen es 75,6 m³ (5 m x 5 m y 3,5 m de altura).

Se ha fijado una concentración de oxígeno disuelto en el reactor de membranas de **6 mg/l** con el fin de proporcionar una aireación suficiente para agitar las membranas evitando así el ensuciamiento de las mismas.

De las membranas se obtiene un permeado filtrado con un caudal equivalente al caudal medio (**3.595,89 m³/día**).

Con el tratamiento biológico en la línea de aguas se ha buscado cumplir con los condicionantes de vertido de materia orgánica y nitrógeno. Para eliminar el fósforo se requiere de un tratamiento químico adicional de precipitación del fósforo.

Se ha utilizado como reactivo el **cloruro férrico (F_eCl_3)** que se adiciona en el reactor aerobio. Se ha ido modificando el caudal y la concentración del reactivo hasta obtener una concentración de fósforo total adecuada en el efluente (inferior a 2 mg/l). La eliminación de fósforo hasta el nivel deseado se alcanza con un caudal de reactivo (solución comercial) de **0,26 m³/d** y una concentración de **500.000 mg/l**, lo que supone 130 kg F_eCl_3 /día.

En la siguiente **TABLA 31** y **FIGURA 65** se resumen las características del agua residual influente y efluente de los procesos biológicos diseñados con DESASS para la alternativa N^o2:

TABLA 31. Características del agua residual urbana influente y efluente del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N^o2. Temperatura de diseño de 15°C. (Elaboración propia).

Alternativa N ^o 2. Biorreactor de membranas y eliminación de fósforo mediante vía química. Baja relación de recirculación de fango			
PARÁMETRO	VALOR INFLUENTE AL TRATAMIENTO BIOLÓGICO EN mg/l	VALOR EFLUENTE DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO EN mg/l	% DE ELIMINACIÓN
Concentración de Sólidos en Suspensión, SS	350	3,0	99,1%
Concentración de Demanda Biológica de Oxígeno a los 5 días, DBO ₅	400	0,3	99,9%
Concentración de Demanda Química de Oxígeno, DQO	750	50,3	93,3%
Concentración de Nitrógeno total, NT	60,4	12,7	79,0%
Concentración de Fósforo total, PT	9,2	1,7	81,1%

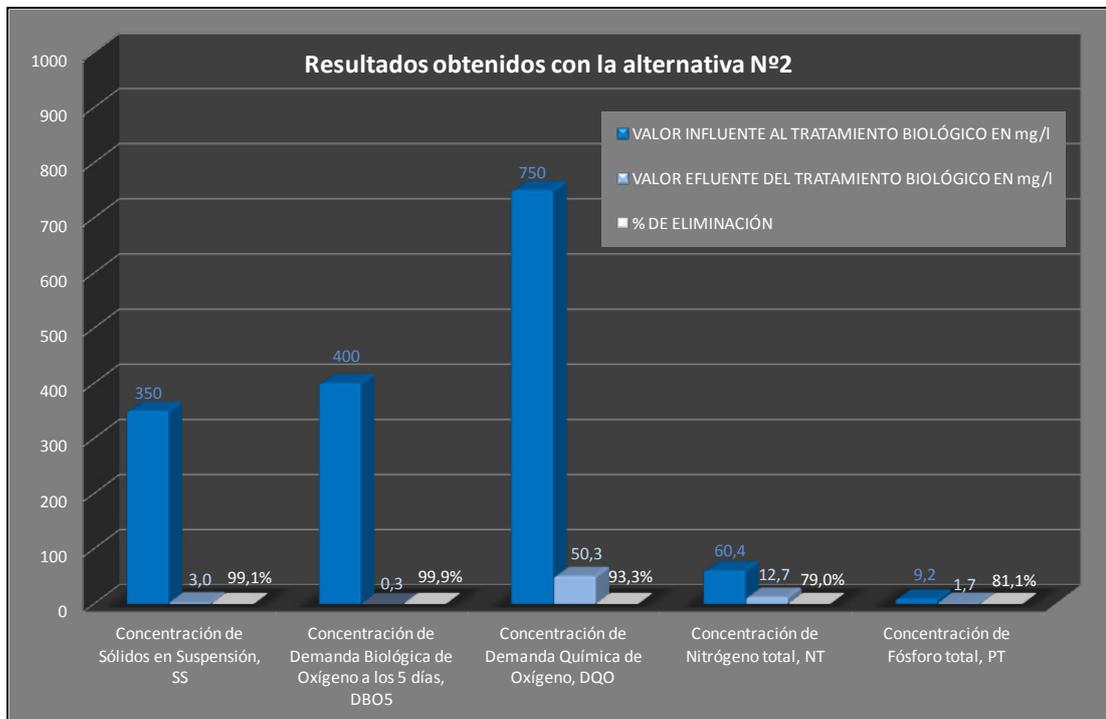


FIGURA 65. Características del agua residual urbana influente y efluente del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°2. (Elaboración propia).

Los fangos en exceso extraídos del sistema de filtración por membranas se llevan al espesador con el fin de aumentar la concentración de los mismos. Se ha simulado 1 espesador de **15 metros** de diámetro y **3,5 m de altura** (volumen = 530,14 m³) que trata un caudal de fangos de **101,42 m³/día**. Se ha supuesto un tiempo de retención de 15 horas y un caudal de extracción de fangos respecto del caudal de entrada del 0,5. El sobrenadante del espesador se llevará a cabecera de planta.

El fango espesado se lleva a un proceso de deshidratación mecánica. Se ha diseñado el proceso de deshidratación mediante 2 deshidratadoras centrífugas para una sequedad o concentración de sólidos en el fango del **22 %** y un tiempo de retención hidráulico de 12 minutos. **El caudal de fangos a deshidratar es de 50,71 m³/día, siendo la producción diaria de fangos de 957,73 kg/día.** Dada la producción de fangos prevista para esta alternativa se opta por reutilizar las dos deshidratadoras centrífugas ya existentes en la actual E.D.A.R. de Moraira con capacidad de procesar 2'8 m³/h de fangos al 5% (134,4 m³/día en total).

En la deshidratación de fangos se genera también un sobrenadante que se recircula a la cabeza de planta.

En la siguiente **TABLA 32** se resumen las características del fango deshidratado obtenidas mediante simulación con DESASS para la alternativa N°2:

TABLA 32. Resumen de las características del fango efluente del sistema de tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°2. (Elaboración propia).

Alternativa N°2. Biorreactor de membranas y eliminación de fósforo mediante vía química. Baja relación recirculación de fango	
PARÁMETRO	FANGO GENERADO
Materia volátil, % SSV	61,6%
Materia volátil biodegradable, %SSVB	34,6%
Sequedad, %	22%

6.6 RESULTADOS DE LA ALTERNATIVA N°3

6.6.1 Esquema del proceso de la alternativa N°3

La línea de agua propuesta para la alternativa N°3 constará de un pretratamiento, un tratamiento biológico de oxidación total con sistemas de filtrado mediante la tecnología de membranas y una desinfección por radiación ultravioleta. La eliminación del fósforo se llevará a cabo por vía química, con adición de reactivos.

A diferencia de la alternativa N°2, en este caso se opta por una alta relación de recirculación interna de fangos desde el reactor de membranas hacia el reactor anóxico lo que supone un mayor gasto energético en bombeo, pero permite reducir el volumen del reactor aerobio

La eliminación de fósforo por vía química no hace necesaria la disposición de un reactor anaerobio previo a la etapa anóxica.

La línea de fango de la E.D.A.R. de Moraira ampliada quedará reducida con esta alternativa a un tratamiento de espesado y a una deshidratación mediante centrifugas.

En la siguiente **FIGURA 66** se indica el diagrama de bloques de proceso propuesto como alternativa N°3 para la E.D.A.R. de Moraira tanto para la línea de agua como para la línea de fango:

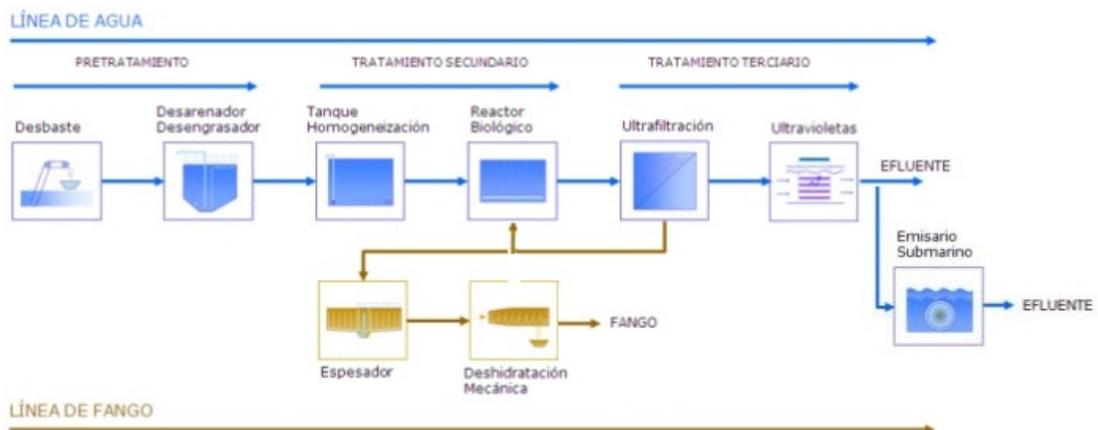


FIGURA 66. Diagrama de bloques de proceso propuesto como alternativa N°3 para la E.D.A.R. de Moraira. (Composición elaborada a partir de bloques de procesos obtenidos de la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales)

La ampliación de la E.D.A.R. de Moraira propuesta en esta alternativa N°3 exige el dimensionamiento de nuevos elementos que no existen en la E.D.A.R. de Moraira actual: Tanque de homogeneización, reactor biológico de membranas y desinfección por ultravioletas. Además, por requerimiento del proceso de filtración mediante membranas, será necesario sustituir los rototamices existentes, con luz de paso 3 mm, por otros tamices rotativos de con luz de paso de 0,5 mm. En este caso, al igual que en la alternativa N°2, se requerirá también la disposición de un tanque para la preparación del reactivo utilizado para la eliminación de fósforo por vía química.

Por otra parte, con la alternativa N°3 planteada quedarán en desuso el tratamiento físico-químico y el decantador lamelar existentes en la E.D.A.R. actual.

6.6.2 Justificación del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°3

El tratamiento biológico propuesto tendrá lugar en dos líneas con reactores de mezcla completa de dos etapas (anóxica y aerobia) que permitirán la eliminación conjunta de materia orgánica y nitrógeno. Se va a utilizar un reactor aerobio alargado o en flujo de pistón. Al igual que en la alternativa N°2, para simular esta realidad se utilizan cinco reactores de mezcla completa en serie (1 anóxico y 4 aerobios).

Al igual que en las alternativas N°1 y N°2 se ha optado por un proceso biológico de oxidación total que proporciona un efluente altamente tratado y genera una baja producción de fangos y muy estabilizados.

Con el fin de mantener en el sistema la biomasa generada en los distintos procesos (anóxicos y aerobios) se va a recircular al tanque anóxico un caudal procedente del sistema de membranas. Para esta alternativa N°3 se va a utilizar una relación de circulación alta.

El esquema del tratamiento biológico propuesto en la alternativa N°3 para la línea de agua de la E.D.A.R. de Moraira se muestra en la siguiente **FIGURA 67**:

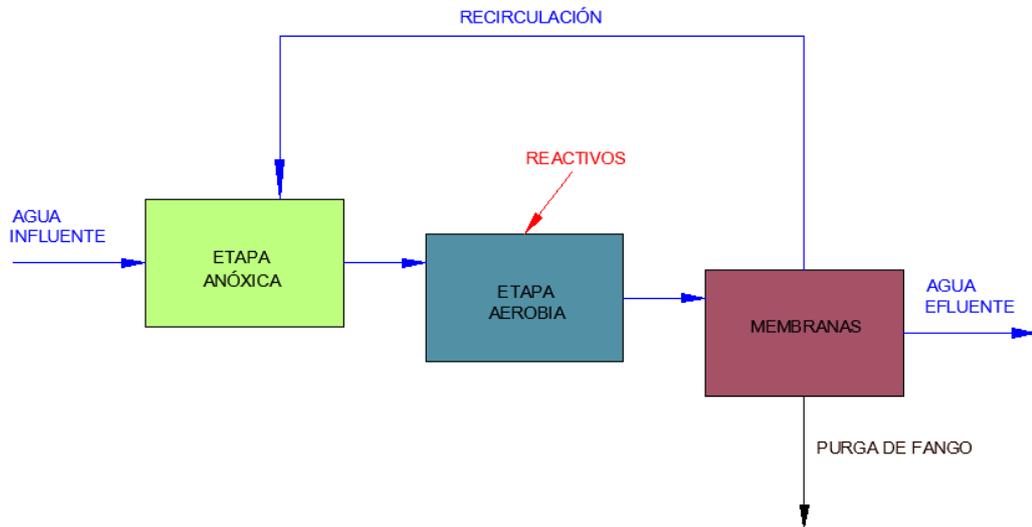


FIGURA 67. Esquema del tratamiento biológico propuesto en la alternativa N°3 para la línea de agua en la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia)

Después del tratamiento biológico propuesto en la alternativa N°3 se dispondrá de un sistema de membranas similar al propuesto en las alternativas N°1 y N°2 con el fin de retener la biomasa creada responsable del proceso de depuración biológica.

Parte del fango retenido en las membranas se recirculará al reactor biológico y otra parte, el fango en exceso, deberá ser purgado y tratado de acuerdo a la línea de fangos propuesta (espesado + deshidratado) con el fin de mantener el proceso estable.

6.6.3 Resultados obtenidos con el DESASS para la línea de aguas y la línea de fangos de la alternativa N°3

El tratamiento biológico consiste en el acoplamiento en serie de un reactor anóxico y un reactor aerobio previos a la celda de filtración donde se ubican las membranas de fibra hueca. Como se trata de una planta medianamente grande se dispone en paralelo de otra línea de reactores similar a la descrita.

En la siguiente **FIGURA 68** se muestra el esquema simulado para la alternativa N°3:

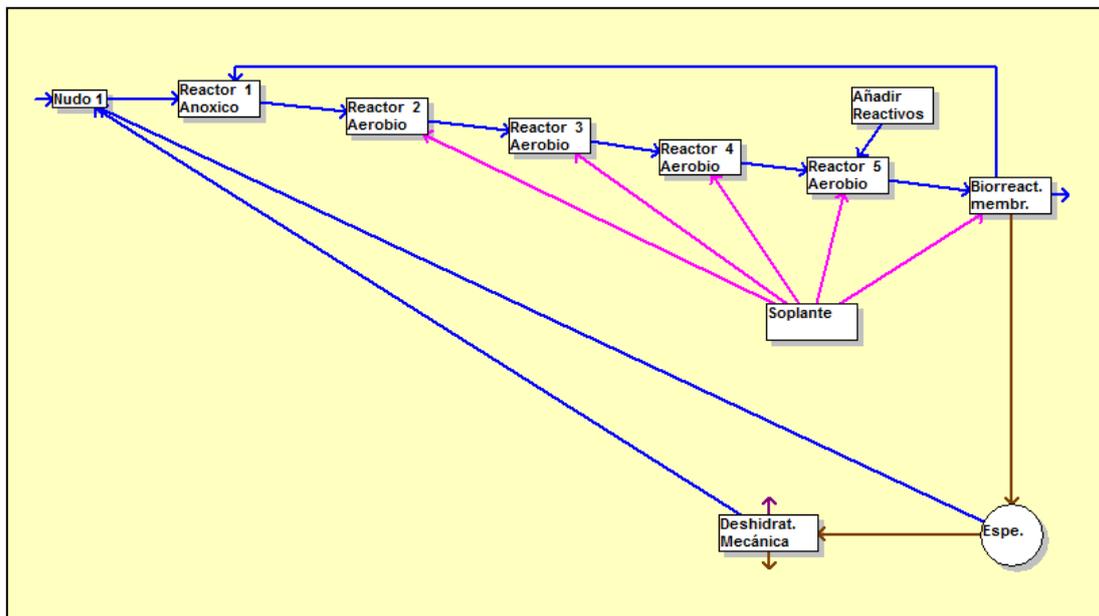


FIGURA 68. Esquema de los procesos biológicos simulados para la Alternativa N°3 mediante DESASS 1.1. (Elaboración propia)

El **volumen total** de reactores es de **3.500 m³**. De dicho volumen total se ha considerado que el **15%** (525 m³) se destina a los 2 reactores anóxicos en paralelo (262,5 m³ para cada reactor anóxico de dimensiones 6,6 m x 9,9 m y 4,5 m de altura), el **82,9%** (2901,5 m³) se destina a dos reactores aerobios en paralelo (1.450 m³ para cada línea, simulada mediante 4 reactores aerobios en serie de dimensiones totales 37,5 m x 37,5 m y 4,5

m de altura). El 2,1 % restante (**73,5 m³**) se destina al reactor con membranas de filtración.

La concentración resultante de sólidos SST en los reactores biológicos es de 7.684,18 mg/l y la concentración resultante de SST_r en las cámaras de membranas es de 9.505,92 mg/l.

Para ello se ha considerado además un tiempo de retención celular θ_c = **28 días** que proporciona un fango en la purga con un porcentaje de sólidos suspendidos volátiles biodegradables del 34,8 % (inferior al 35 %) suficientemente estabilizado para no requerir de digestión posterior.

Se ha considerado una **relación de recirculación** de fangos desde la cámara de filtración hasta el reactor anóxico de valor **r = 4**.

Tras el tanque anóxico se dispone de los tanques aerobios en donde se va a garantizar el crecimiento, entre otras, de las bacterias autótrofas nitrificantes. Para ello se ha supuesto una **concentración de oxígeno disuelto** en los reactores aerobios de **2 mg/l** a caudal medio. La aireación se consigue mediante un sistema de difusores. Para garantizar la eficacia de dichos difusores se ha fijado el calador de los reactores en **4 metros**.

Se dispondrá de un total de **828 difusores** de 23 cm de diámetro cada uno distribuidos de la siguiente manera: 72 unidades en el primer reactor en serie (144 unidades para las dos líneas en paralelo), 110 unidades en el segundo reactor en serie (220 unidades para las dos líneas), 110 unidades en el tercer reactor en serie (220 unidades para las dos líneas en paralelo), 110 unidades en el cuarto reactor en serie (220 unidades para las dos líneas en paralelo) y 24 unidades en el reactor con membranas.

Para proporcionar el aire se instalarán **3 soplantes operativas y una de reserva** con potencia de motor 30 kW cuyo consumo aproximado es de **1.165,7 kWh/día**.

Para la agitación de los tanques anóxicos se recomienda una potencia de 20 W/m^3 por lo que será necesario en este caso **1 agitador mecánico por tanque anóxico** con potencia de motor de 5,60 kW.

Se ha dispuesto en la zona final de los reactores biológicos un vertedero con un canal para eliminar las espumas y flotantes que se puedan generar en el proceso y que puedan perjudicar el funcionamiento posterior de las membranas de filtración.

El diseño del sistema de membranas para la alternativa N°3 es similar al realizado para las alternativa N°1 y N°2. Se van a utilizar 7 módulos de membrana de fibra hueca de ultrafiltración modelo PSH 1500 de la casa KOCH (KOCH MEMBRANE SYSTEMS) que proporcionarán una superficie total de membrana de 10.500 m^2 siendo el caudal específico de $14,29 \text{ l/h/m}^2$. El sistema se alojará en un reactor cuyo volumen es $73,5 \text{ m}^3$ ($4,9 \text{ m} \times 4,9 \text{ m}$ y $3,5 \text{ m}$ de altura).

Se ha fijado una concentración de oxígeno disuelto en el reactor de membranas de **6 mg/l**.

De las membranas se obtiene un permeado filtrado con un caudal equivalente al caudal medio (**$3.595,89 \text{ m}^3/\text{día}$**).

Al igual que para la alternativa N°2 se ha utilizado como reactivo el **cloruro férrico (F_eCl_3)** que se adiciona en el reactor aerobio. Se ha ido modificando el caudal y la concentración del reactivo hasta obtener una concentración de fósforo total adecuada en el efluente (inferior a 2 mg/l). La eliminación de fósforo hasta el nivel deseado se alcanza con un caudal de reactivo (solución comercial) de **$0,25 \text{ m}^3/\text{d}$** y una concentración de **500.000 mg/l** ($125\text{kgF}_e\text{Cl}_3/\text{día}$).

En la siguiente **TABLA 33** y **FIGURA 69** se resumen las características del agua residual influente y efluente de los procesos biológicos diseñados con DESASS para la alternativa N°3:

TABLA 33. Características del agua residual urbana influente y efluente del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°3. Temperatura de diseño de 15°C. (Elaboración propia).

Alternativa N°3. Biorreactor de membranas y eliminación de fósforo mediante vía química. Alta relación de recirculación de fango			
PARÁMETRO	VALOR INFLUENTE AL TRATAMIENTO BIOLÓGICO EN mg/l	VALOR EFLUENTE DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO EN mg/l	% DE ELIMINACIÓN
Concentración de Sólidos en Suspensión, SS	350	3,0	99,1%
Concentración de Demanda Biológica de Oxígeno a los 5 días, DBO ₅	400	0,3	99,9%
Concentración de Demanda Química de Oxígeno, DQO	750	50,4	93,3%
Concentración de Nitrógeno total, NT	60,4	8,2	86,5%
Concentración de Fósforo total, PT	9,2	1,9	79,1%

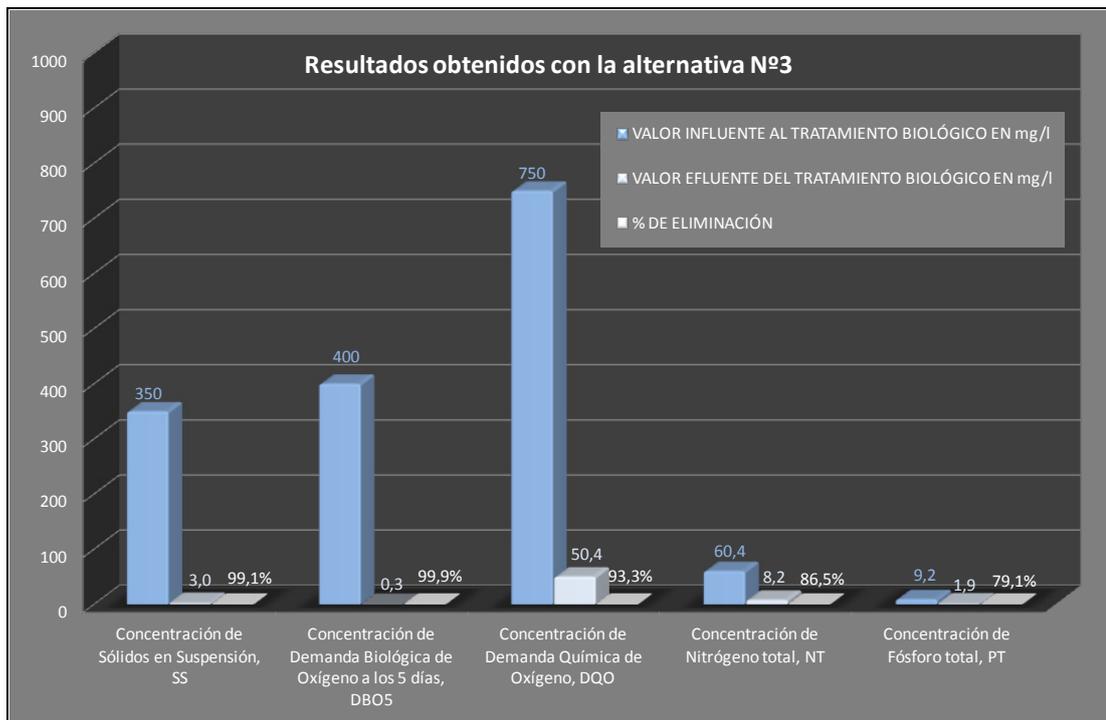


FIGURA 69. Características del agua residual urbana influente y efluente del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°3. (Elaboración propia).

El dimensionamiento de la línea de fangos para la alternativa 3 es similar al propuesto para la alternativa N°2.

Se ha simulado 1 espesador de **15 metros** de diámetro y una altura de 3,5 m (volumen = 530,14 m³) suponiendo un tiempo de retención de 15 horas y un caudal de extracción de fangos respecto del caudal de entrada del 0,5 que trata **100,23 m³/día**. El sobrenadante del espesador se llevará a

la entrada del tratamiento biológico. **El caudal de fangos a deshidratar es de 50,11 m³/día, siendo la producción diaria de fangos de 943,55 kg/día.**

El fango espesado se lleva a un proceso de deshidratación mecánica. Se ha diseñado el proceso de deshidratación mediante 2 deshidratadoras centrífugas para una sequedad o concentración de sólidos en el fango del **22 %** y un tiempo de retención hidráulico de 12 minutos. Dada la producción de fangos prevista para esta alternativa se opta por reutilizar las dos deshidratadoras centrífugas ya existentes en la actual E.D.A.R. de Moraira con capacidad de procesar 2'8 m³/h de fangos al 5% (134,4 m³/día en total).

Tras la deshidratación mecánica, además del fango efluente y el biogás, se genera un sobrenadante que se recircula a la cabeza de planta.

En las siguiente **TABLA 34** se resumen las características del fango generado en los procesos biológicos diseñados mediante DESASS para la alternativa N°3:

TABLA 34. Resumen de las características del fango efluente del sistema de tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°3. (Elaboración propia).

Alternativa N°3. Biorreactor de membranas y eliminación de fósforo mediante vía química. Alta relación recirculación de fango	
PARÁMETRO	FANGO GENERADO
Materia volátil, % SSV	61,7%
Materia volátil biodegradable, %SSVB	34,8%
Sequedad, %	22%

6.7 RESULTADOS DE LA ALTERNATIVA N°4

6.7.1 Esquema del proceso de la alternativa N°4

La línea de agua propuesta para la alternativa N°4 constará de un pretratamiento (el mismo que existe en la E.D.A.R. actual), un tratamiento biológico de oxidación total con decantación secundaria y un tratamiento terciario consistente en una desinfección por radiación ultravioleta, que proporcionarán una calidad de efluente adecuada a los criterios de vertido

establecidos. La eliminación del fósforo se llevará a cabo únicamente por vía biológica, sin adición de reactivos.

En este caso al no existir reactor de membranas no será necesario disponer de un tanque de homogenización previo a los reactores, tal y como se requería en las soluciones anteriores.

Para la eliminación de nitrógeno el tiempo de retención celular en el reactor biológico aerobio tiene que ser suficiente como para fomentar el crecimiento de microorganismos nitrificantes. En dicho reactor se debe disponer además de una zona anóxica previa para la desnitrificación.

Para la eliminación de fósforo por vía biológica el reactor deberá contar con un selector anaerobio previo a la etapa anóxica que garantice el crecimiento de las bacterias acumuladoras de fósforo (bacterias PAOs).

Trabajar con elevados valores para la edad de fango supone una sustancial reducción de la cantidad de sólidos generados durante la fase de respiración endógena, lo que proporciona unos lodos más estabilizados que los que se generarían en procesos convencionales. La línea de fango de la E.D.A.R. de Moreira ampliada quedará reducida con esta alternativa a un tratamiento de espesado y a una deshidratación mediante centrifugas.

En la siguiente **FIGURA 70** se indica el diagrama de bloques de proceso propuesto como alternativa N°4 para la E.D.A.R. de Moreira tanto para la línea de agua como para la línea de fango:

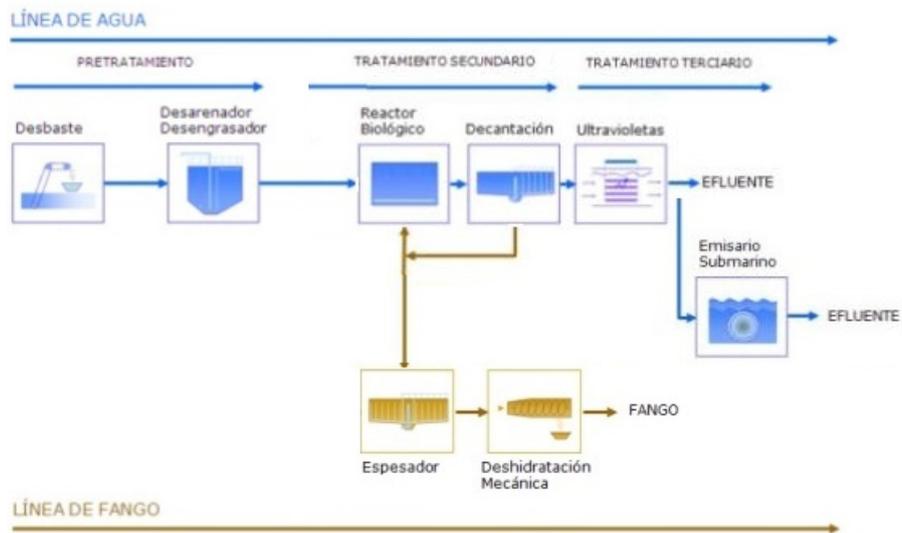


FIGURA 70. Diagrama de bloques de proceso propuesto como alternativa N°4 para la E.D.A.R. de Moraria. (Composición elaborada a partir de bloques de procesos obtenidos de la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales)

La ampliación de la E.D.A.R. de Moraira propuesta en esta alternativa N°4 exige el dimensionamiento de nuevos elementos que no existen en la E.D.A.R. de Moraira actual: Reactor biológico, decantador secundario y sistema de desinfección por radiación ultravioleta.

Por otra parte, con la solución N°4 planteada quedarán en desuso el tratamiento físico-químico y el decantador lamelar existentes en la E.D.A.R. actual.

6.7.2 Justificación del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°4

El tratamiento biológico va a consistir en un proceso de cultivo en suspensión de oxidación total y tendrá lugar en reactores biológicos provistos de un sistema de separación de fangos mediante decantación secundaria.

A través del tratamiento biológico se va a perseguir la degradación de materia orgánica, nitrógeno y fósforo por parte de microorganismos,

principalmente bacterias. Estas bacterias tendrán que ser capaces de degradar la materia orgánica y los nutrientes, pero también tendrán que tener la capacidad para formar flóculos adecuados que permitan una buena sedimentabilidad del fango.

El tratamiento biológico propuesto tendrá lugar en dos líneas con reactores de mezcla completa de tres etapas (anaerobia, anóxica y aerobia) que permitirán la eliminación conjunta de materia orgánica y nutrientes (nitrógeno y fósforo).

Se persigue eliminar materia orgánica biodegradable presente en el agua residual, además de favorecer la oxidación de nitrógeno amoniacal (nitrificación) y la eliminación del nitrógeno del agua residual mediante la conversión de las formas oxidadas en N_2 (desnitrificación). Se perseguirá además la eliminación de fósforo mediante procesos biológicos. Por ello se ha optado por disponer las fases anóxica y anaerobia previas a la aerobia con el fin de incrementar la eliminación biológica de los nutrientes nitrógeno y fósforo y poder cumplir así con los condicionantes de vertido establecidos en: Fósforo total ≤ 2 mg/l y Nitrógeno total ≤ 15 mg/l.

Con el fin de mantener en el sistema la biomasa generada en los distintos procesos (anaerobios, anóxicos y aerobios) parte del fango generado en el decantador se va a recircular hasta el reactor anóxico. El hecho de no recircular el fango hasta el primer reactor, el anaerobio, evita en el mismo un aumento de la concentración de nitratos provenientes del fango recirculado.

El tanque anóxico recibirá además un caudal de recirculación procedente de la etapa posterior aerobia en el cual, como resultado de la nitrificación, todo el nitrógeno se encontrará en forma de nitratos. Estos nitratos serán reducidos por las bacterias a nitrógeno gas en el proceso de degradación de la materia orgánica.

El tanque anerobio recibirá también un caudal de recirculación interno procedente de la etapa anóxica con el fin de mantener la biomasa requerida para los procesos biológicos que tienen lugar en el mismo.

El esquema del tratamiento biológico propuesto en la alternativa N°4 para la línea de agua de la E.D.A.R. de Moraira se muestra en la siguiente **FIGURA 71**:

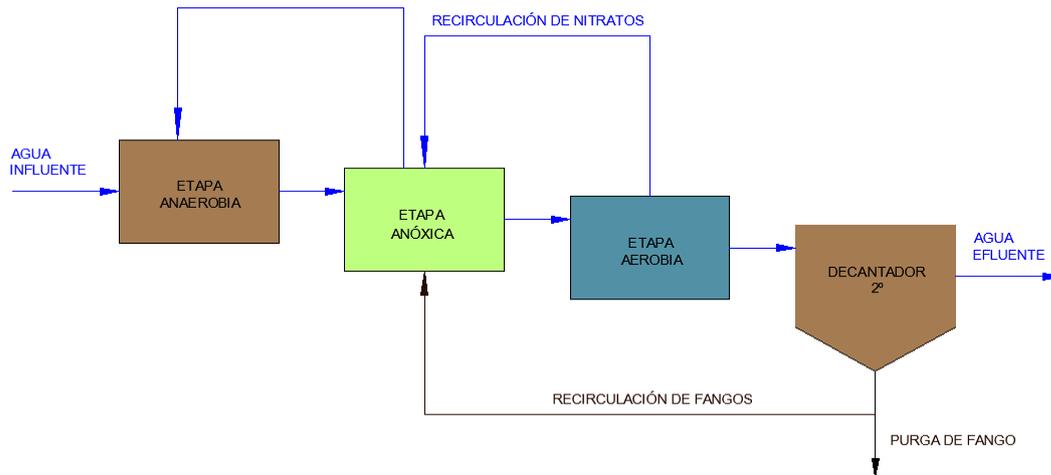


FIGURA 71. Esquema del tratamiento biológico propuesto en la alternativa N°4 para la línea de agua en la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia)

Con el fin de evitar que los polifosfatos almacenados pasen nuevamente al agua y para evitar también problemas de sedimentabilidad del fango los fangos biológicos se deberán mantener en condiciones aerobias en el decantador secundario. Para ello se disminuirá el tiempo de retención en el decantador extrayendo los fangos mediante succión.

El fango en exceso se purgará del sistema y será conducido hacia el espesador. Allí se procederá al espesado del fango digerido con el fin de reducir el volumen de fangos a tratar. El agua efluente del proceso de espesado se conducirá a cabecera de planta.

El fango espesado será sometido a un tratamiento de deshidratación antes de salir de la planta. La deshidratación del fango se realizará mediante las deshidratadoras centrífugas existentes actualmente en la planta, que

permiten un sistema de trabajo en continuo proporcionando sequedades del 14% al 25%.

El fango deshidratado se almacenará en un contenedor del que será retirado periódicamente para su gestión final.

El sobrenadante generado en el proceso de deshidratación será conducido, junto con el efluente del espesado, hasta cabeza de planta.

6.7.3 Resultados obtenidos con el DESASS para la línea de aguas y la línea de fangos de la alternativa N°4

El tratamiento biológico consiste en el acoplamiento en serie de un reactor anaerobio, un reactor anóxico y un reactor aerobio previos al decantador secundario. Como se trata de una planta medianamente grande se dispone en paralelo de otra línea de reactores similar a la descrita.

En la siguiente **FIGURA 72** se muestra el esquema simulado para la alternativa N°4:

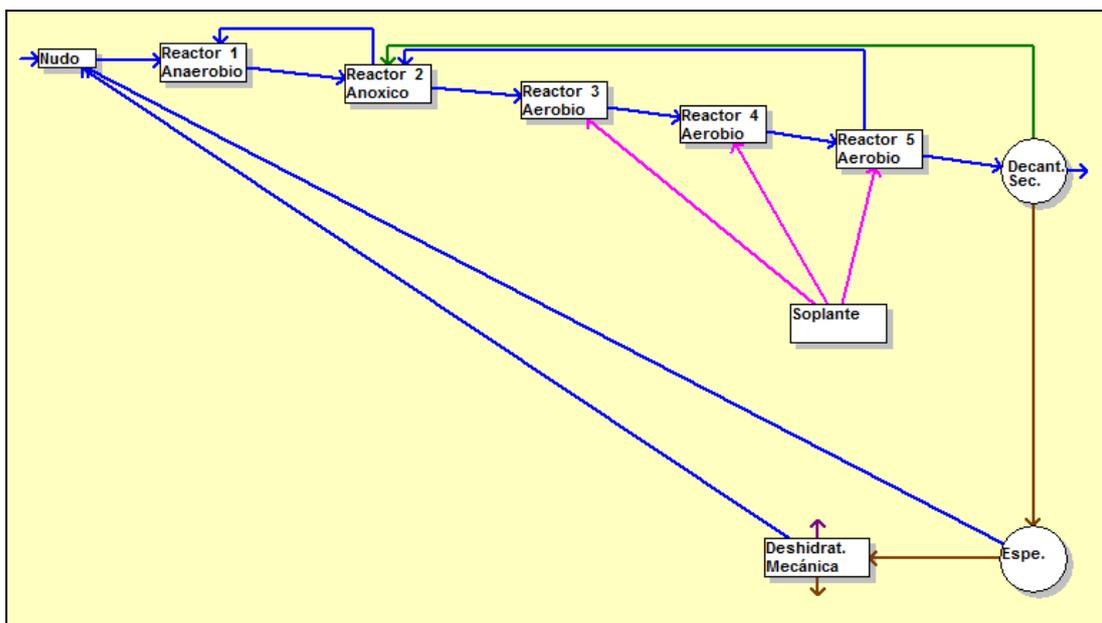


FIGURA 72. Esquema de los procesos biológicos simulados para la alternativa N°4 mediante DESASS 1.1. (Elaboración propia)

El **volumen total** de reactores es de **7.000 m³**. De dicho volumen total se ha considerado que el **40%** (2.800 m³) se destina a los 2 reactores anaerobios en paralelo (1.400 m³ para cada reactor anaerobio de dimensiones 11,5 m x 30,6 m y 4,5 m de altura), el **15%** (1.050 m³) se destina a los 2 reactores anóxicos en paralelo (525 m³ para cada reactor anóxico de dimensiones 11,5 m x 11,5 m y 4,5 m de altura), y el **45%** restante (3.150 m³) se destina a dos reactores aerobios en paralelo (1.575 m³ para cada línea simulada mediante 3 reactores aerobios en serie de dimensiones totales 34,5 m x 34,5 m y 4,5 m de altura).

A mayor volumen de tanque anaerobio mejora la eliminación del fósforo, pero empeora el amonio. Se ha buscado el equilibrio en la eliminación de nitrógeno y fósforo, así como que la concentración de sólidos en los reactores no supere los 4.000 mgSST/l.

La concentración de sólidos SST en los reactores biológicos es de 2.880,21 mg/l.

Para ello se ha considerado además un tiempo de retención celular θ_c = **20 días** que proporciona un fango en la purga con un porcentaje de sólidos suspendidos volátiles biodegradables del 34 % (inferior al 35 %) suficientemente estabilizado para no requerir de digestión posterior.

Existe una recirculación de fangos desde el decantador secundario hasta el segundo reactor (anóxico) para evitar la pérdida de biomasa. El caudal recirculado es en este caso el **91,5%** del caudal de entrada.

Al tanque anóxico llega además una recirculación interna de agua del último reactor aerobio que le suministra de nitratos. El cociente entre el caudal recirculado y el de entrada se ha fijado en **1,2**. Se trata de una recirculación bastante baja, pero suficiente para eliminar la cantidad de nitratos requerida. Aumentarla incrementaría los costes económicos y perjudicaría la eliminación biológica de fósforo.

Para garantizar el mantenimiento de la biomasa en el reactor anerobio existe una recirculación interna de agua del reactor anóxico al reactor anaerobio. El cociente entre el caudal recirculado y el de entrada se ha fijado en **4**.

Tras el tanque anóxico se dispone de los tanques aerobios en donde se va a garantizar el crecimiento, entre otras, de las bacterias autótrofas nitrificantes. Para ello se ha fijado una **concentración de oxígeno disuelto** en los reactores aerobios de **2 mg/l** a caudal medio. La aireación se consigue mediante un sistema de difusores. Para garantizar la eficacia de dichos difusores se ha fijado el calador de los reactores en **4 metros**.

Se dispondrá de un total de **920 difusores** de 23 cm de diámetro cada uno distribuidos de la siguiente manera: 196 unidades en el primer reactor en serie (392 unidades para las dos líneas en paralelo), 132 unidades en el segundo reactor en serie (264 unidades para las dos líneas) y 132 unidades en el tercer reactor en serie (264 unidades para las dos líneas en paralelo).

Para proporcionar el aire se instalarán **3 soplantes operativas y una de reserva** con potencia de motor 37 kW cuyo consumo aproximado es de **1.114,1 kWh/día**.

Para la agitación de tanques anóxicos y anaerobios se recomienda una potencia de 20 W/m^3 . A partir de este valor se obtiene un requerimiento de **2 agitadores mecánicos por tanque anaerobio** de potencia de motor 14,90 kW y **1 agitador mecánico por tanque anóxico** con potencia de motor de 11,20 kW.

Para la simulación de la decantación secundaria se han considerando los procesos biológicos. Se han dispuesto 2 decantadores secundarios de 49,8 metros de diámetro y calado de 3,8 metros cada uno (volumen de cada decantador = **7.389,87 m³**). Se ha comprobado que no desborden los fangos en dicho decantador y que la concentración de los sólidos suspendidos

totales que se recirculan desde el decantador hasta el reactor anóxico no supere los 8.000-9.000 mg/l (en este caso es de 5.620,37 mg/l).

El agua efluente del proceso de decantación secundaria (**3596,02 m³/día** en condiciones medias) será sometida a un proceso terciario de desinfección ultravioleta (U.V).

En la siguiente **TABLA 35** y **FIGURA 73** se resumen las características del agua residual influente y efluente de los procesos biológicos diseñados con DESASS para la alternativa N°4:

TABLA 35. Características del agua residual urbana influente y efluente del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°4. Temperatura de diseño de 15°C. (Elaboración propia).

Alternativa N°4 Reactor de fangos activados con decantación secundaria y eliminación de fósforo por vía biológica			
PARÁMETRO	VALOR INFLUENTE AL TRATAMIENTO BIOLÓGICO EN mg/l	VALOR EFLUENTE DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO EN mg/l	% DE ELIMINACIÓN
Concentración de Sólidos en Suspensión, SS	350	8,7	97,5%
Concentración de Demanda Biológica de Oxígeno a los 5 días, DBO ₅	400	0,3	99,9%
Concentración de Demanda Química de Oxígeno, DQO	750	59,7	92,0%
Concentración de Nitrógeno total, NT	60,4	14,3	76,3%
Concentración de Fósforo total, PT	9,2	1,9	79,0%

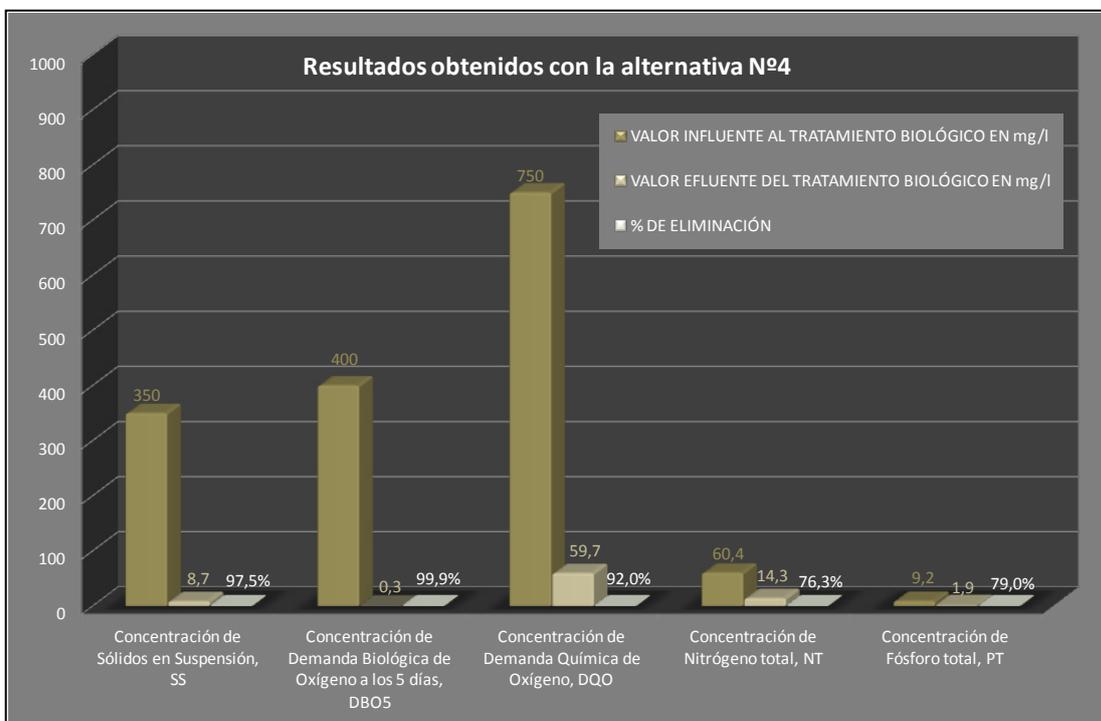


FIGURA 73. Características del agua residual urbana influente y efluente del tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°4. (Elaboración propia).

Los fangos en exceso purgados en el decantador secundario (158,55 m³/día) se llevan al espesador con el fin de aumentar la concentración de los mismos. Se ha simulado 1 espesador de 9,72 metros de diámetro y 3,5 m de altura (volumen = 222,78 m³). Se ha supuesto un tiempo de retención de 12 horas y un caudal de extracción de fangos respecto del caudal de entrada del 0,5.

El fango espesado se lleva a un proceso de deshidratación mecánica con el fin de reducir el contenido de humedad del mismo. Se ha diseñado el proceso de deshidratación mediante 2 deshidratadoras centrífugas para una sequedad o concentración de sólidos en el fango del 22 % y un tiempo de retención hidráulico de 15 minutos. **El caudal de fangos a deshidratar es de 79,28 m³/día, siendo la producción diaria de fangos de 876,03 kg/día.** Al igual que en el caso de las alternativas anteriores se van a reutilizar las dos deshidratadoras centrífugas ya existentes en la actual E.D.A.R. de Moraira con capacidad de procesar 2'8 m³/h de fangos al 5% (134,4 m³/día en total).

Tras la deshidratación mecánica, además del fango efluente, y el biogás, se genera un sobrenadante que se recircula a la cabeza de planta.

En las siguiente **TABLA 36** se resumen las características del fango generado en los procesos biológicos diseñados mediante DESASS para alternativa N°4:

TABLA 36. Resumen de las características del fango efluente del sistema de tratamiento biológico propuesto para la alternativa N°4. (Elaboración propia).

Alternativa N°4 Reactor de fangos activados con decantación secundaria y eliminación de fósforo por vía biológica	
PARÁMETRO	FANGO GENERADO
Materia volátil, % SSV	64,7%
Materia volátil biodegradable, %SSVB	34,0%
Sequedad, %	22%

COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

7 COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

7.1 COMPARACIÓN TÉCNICA DE EFLUENTES Y FANGOS GENERADOS POR CADA UNA DE LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS

7.1.1 Características del agua efluente del tratamiento biológico

Las cuatro alternativas planteadas generan efluentes del tratamiento biológico que cumplen los criterios de calidad mínimos exigidos de vertido establecidos tanto para verano como para invierno, pues las características del agua efluente se han obtenido para una temperatura desfavorable de 15 °C, que se correspondería con la estación de invierno en Moraira (Alicante). Es de suponer que la calidad de los efluentes que se obtengan en verano, para temperaturas mayores de 15 °C, con los sistemas de tratamiento propuestos sea aún mejor que la obtenida pues el incremento de temperatura mejora el rendimiento de los procesos biológicos.

En la siguiente **FIGURA 74** se indican los porcentajes de eliminación obtenidos en el tratamiento biológico para las alternativas N°1, N°2, N°3 y N°4 referentes a los parámetros del agua considerados:

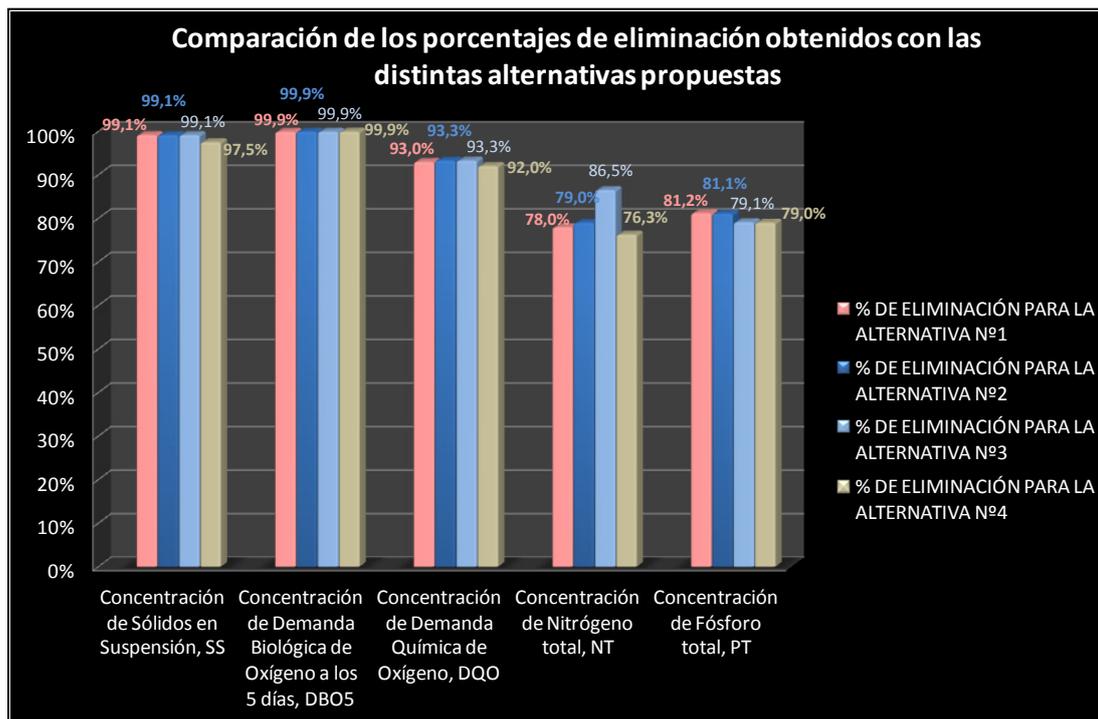


FIGURA 74. Porcentajes de eliminación de parámetros de caracterización obtenidos para las cuatro alternativas de tratamiento planteadas. (Elaboración propia).

Las cuatro alternativas planteadas proporcionan porcentajes de eliminación referentes a sólidos en suspensión SS, demanda biológica de oxígeno DBO₅ y demanda química de oxígeno DQO superiores al 90%. Para el caso de los parámetros Nitrógeno total NT y el fósforo total PT, todas las alternativas proporcionan porcentajes de eliminación algo inferiores al 90%.

En referencia a los SS, las alternativas con membrana (Alternativas Nº1, Nº2 y Nº3) proporcionan unos porcentajes de eliminación algo mejores (en torno al 99%) que la alternativa con decantador (alternativa Nº4), cuyo porcentaje de eliminación es del 97%.

Para el caso de la DBO₅, la DQO y el PT las cuatro alternativas proporcionan porcentajes de eliminación muy similares, que en ningún caso difieren entre sí un porcentaje superior al 2%. Sin embargo, los porcentajes de eliminación del NT oscilan entre el 76,3% que proporciona la alternativa Nº4 y el 86,5% de la alternativa Nº3.

7.1.2 Características de los fangos generados en el tratamiento biológico

Los procesos de oxidación total previstos para las cuatro alternativas propuestas permiten obtener unos fangos suficientemente estabilizados para no necesitar en ningún caso la disposición de digestores de fango. Ello supone la reducción de espacio en planta y una minimización en la generación de olores derivados principalmente de degradaciones biológicas anaerobias en fangos poco estabilizados.

Tal y como se muestra en la **FIGURA 75** tras los procesos propuestos para las líneas de fangos (espesado y deshidratación) se llega a alcanzar un porcentaje de sólidos suspendidos volátiles biodegradables inferior al 35 % en todos los casos. Para el caso de las alternativas con eliminación química del fósforo, alternativas N°2 y N°3, el fango que se genera está algo más estabilizado (porcentaje de sólidos suspendidos volátiles en torno al 61%) que el que se genera con las alternativas que eliminan fósforo únicamente por vía biológica, alternativas N°1 y N°4 (cuyo porcentaje de sólidos suspendidos volátiles está en torno al 65%).

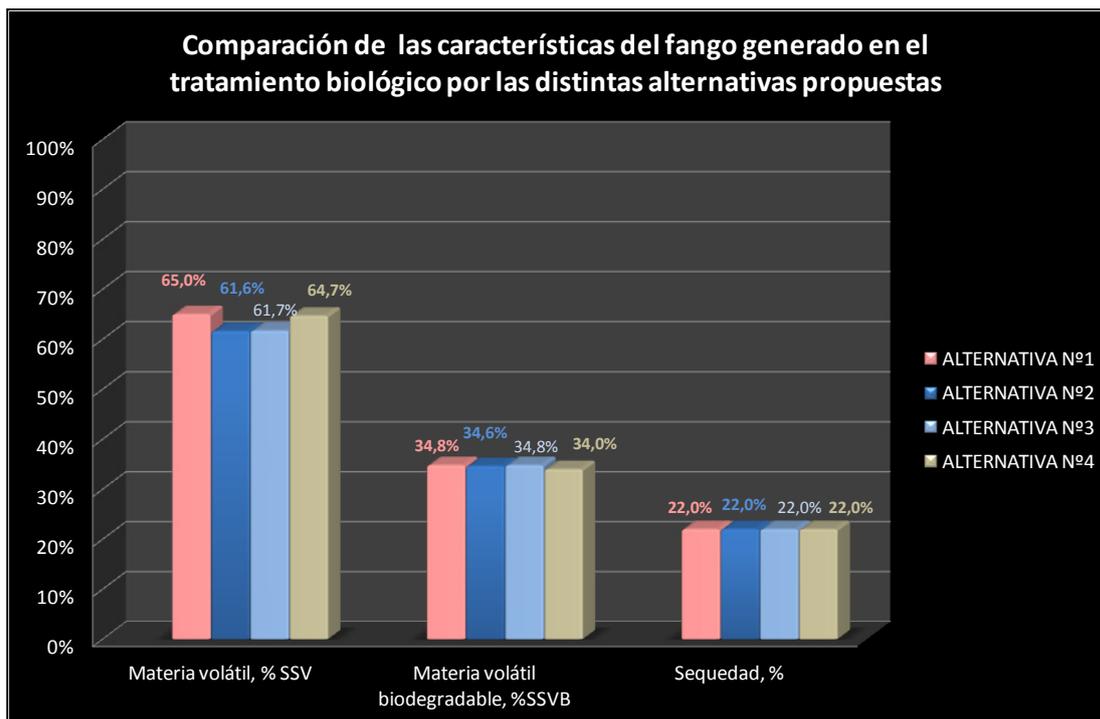


FIGURA 75. Características del fango generado en el tratamiento biológico por las alternativas previstas para la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia).

La producción diaria de fangos es superior para el caso de las alternativas con membrana (912,95 kg/día para la alternativa N°1, 957,73 kg/día para la alternativa N°2 y 943,55 kg/día para la alternativa N°3) que para la alternativa con decantador (876,03 kg/día para la alternativa N°4). Y dentro de las alternativas con membrana, dicha producción es mayor para las alternativas con eliminación química del fósforo (alternativas N°2 y N°3) que para la alternativa con eliminación biológica del fósforo (alternativa N°1), que no utiliza reactivos.

En todos los casos se ha previsto un fango con una sequedad del 22%, adecuada para su posterior gestión, prevista como utilización en agricultura.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que para el caso de la alternativa N°4 con decantador, la nitrificación en los reactores aerobios podría dar lugar a la generación en el decantador secundario de problemas con la sedimentabilidad del fango debidos a la flotación de fangos por desnitrificación (el nitrógeno gas asciende arrastrando los flóculos hacia la

superficie). Para minimizar este problema los nitratos generados en la etapa aerobia se han recirculado hacia la etapa previa anóxica. Estos problemas de flotación de fangos se evitan en las alternativas con membrana.

De la comparación técnica realizada se concluye que en todas las alternativas planteadas se obtiene un efluente que cumple los requisitos de vertido. Además, considerando únicamente las características de los efluentes generados, no existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos que nos permitan decantarnos claramente por una alternativa frente a las demás. La decisión se fundamentará, por tanto, en criterios económicos. Para ello se va a realizar una comparación de volúmenes, superficies, membranas, así como de consumo de reactivos o necesidades de aireación con el fin de dictaminar si hay una alternativa claramente más económica que las demás.

7.2 COMPARACIÓN DE VOLÚMENES, CONSUMOS, SUPERFICIES, RESULTADOS BIOLÓGICOS Y ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES PARA CADA UNA DE LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS

7.2.1 Volúmenes de reactores y consumos

En la siguiente **TABLA 37** y **FIGURA 76** se desglosan los volúmenes de reactores propuestos para cada una de las alternativas:

TABLA 37. Volúmenes de reactores propuestos para las alternativas de tratamiento de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia).

VOLÚMENES DE REACTORES	Alternativa N° 1	Alternativa N°2	Alternativa N°3	Alternativa N°4
Volumen total de reactores anaerobios m ³	1.920,00	0,00	0,00	2.800,00
Volumen total de reactores anóxicos m ³	720,00	630,00	525,00	1.050,00
Volumen total de reactores aerobios m ³	2.160,00	3.570,00	2.975,00	3.150,00

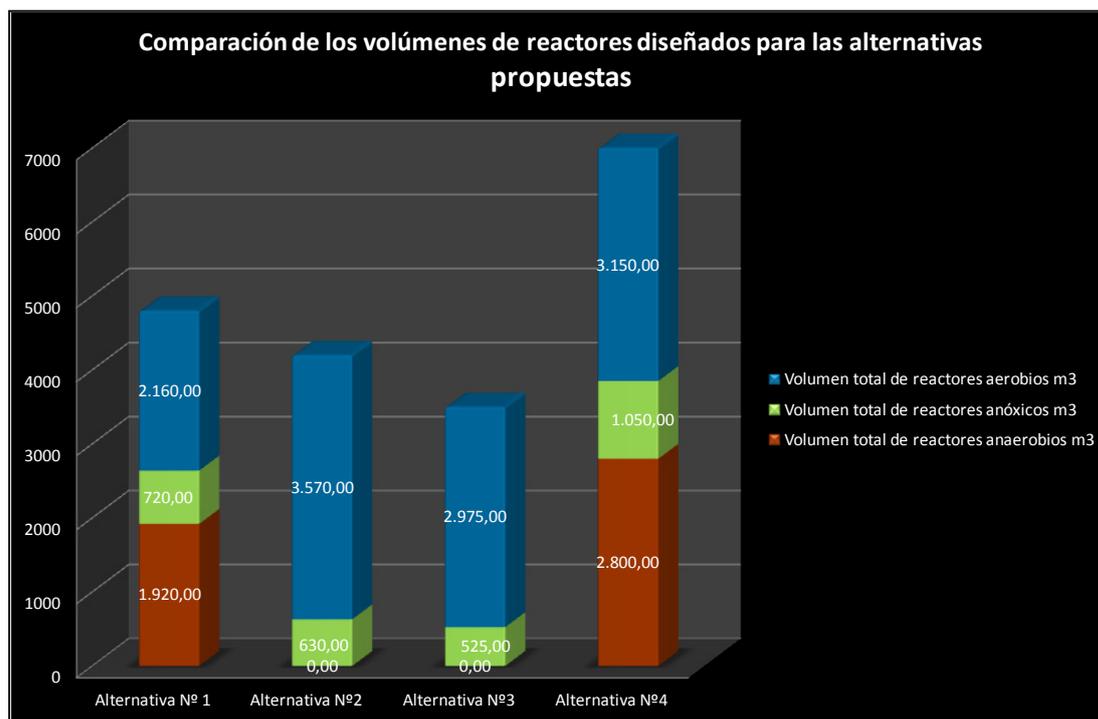


FIGURA 76. Representación gráfica de los volúmenes de reactores propuestos para las alternativas de tratamiento de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia).

Los procesos de oxidación total propuestos para las cuatro alternativas de tratamiento requieren de grandes volúmenes de reactores biológicos. Para el caso de las alternativas Nº1, Nº2 y Nº3 la sustitución de un proceso de decantación secundaria, como el propuesto para la alternativa Nº4, por un sistema de filtración mediante membranas permite trabajar con altas concentraciones de sólidos en los reactores (6.655,82 mg/l, 6.488,20 mg/l y 7.684,18 mg/l para las alternativas Nº1, Nº2 y Nº3 respectivamente frente a los 2.880,21 mg/l de la alternativa Nº4 con decantador) y tiempos de retención de sólidos mayores (edades de los fangos de 28 - 30 días en las alternativas con membrana frente a los 20 días de la alternativa con decantador) y ello supone un ahorro de espacio en la planta.

Para el caso de las alternativas con membrana el volumen ocupado por los reactores biológicos es de 4.800 m³ para la alternativa Nº1, 4.200 m³ para la alternativa Nº2 y 3.500 m³ para la alternativa Nº3. La alternativa Nº4 con decantador requiere un volumen total de reactores biológicos mucho

mayor, de 7.000 m³ en este caso. El volumen total ocupado por los decantadores secundarios de la alternativa N°4 es de 14.779,74 m³.

Por otra parte, el aumento del coeficiente de recirculación interna de fango al tanque anóxico permite obtener una reducción notable en el volumen de los reactores. La alternativa N°2 tiene una relación de circulación interna de 2 frente a la relación de recirculación interna de 4 para la alternativa N°3. Este aumento en la recirculación permite pasar de necesitar un volumen total de reactores de 4.200 m³ para la alternativa N°2 a 3.500 m³ en la alternativa N°3.

Los grandes volúmenes de reactores anaerobios y anóxicos requeridos para las alternativas N°1 y N°4 suponen un mayor consumo energético de agitación frente a las alternativas N°2 y N°3, que carecen de reactor anaerobio.

Por otra parte, las alternativas N°2 y N°3, que basan la eliminación del fósforo en la vía química, requieren de un consumo de reactivo Cloruro férrico (130 kg FeCl₃/día para el caso de la alternativa N°2 y 125 kg FeCl₃/día para la alternativa N°3) que las alternativas N°1 y N°4 no necesitan.

En cuanto a la energía requerida para la aireación de los reactores, es la alternativa N°1 la que presenta un mayor consumo como se puede comprobar en la siguiente **TABLA 38**:

TABLA 38. Consumos energéticos de las soplantes requeridos para las alternativas de tratamiento de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia).

CUADRO RESUMEN DE CONSUMOS ENERGÉTICOS PARA AIREACIÓN	ALTERNATIVA N°1	ALTERNATIVA N°2	ALTERNATIVA N°3	ALTERNATIVA N°4
Consumo energético de las soplantes (kWh/día)	1.238,10	1.175,60	1.165,70	1.114,10

Se ha fijado en todos los casos el calado de los reactores en 4 metros con el fin de garantizar la eficacia de los difusores. Cuanto más pequeño es el calado menos es la eficacia de los mismos.

7.2.2 Superficies de los elementos diferenciales de la línea de agua y de la línea de fangos

En la siguiente **TABLA 39** se resumen las superficies ocupadas en planta por los elementos de la línea de agua y de la línea de fangos que difieren para las cuatro alternativas de tratamiento propuestas:

TABLA 39. Resumen las superficies ocupadas en planta por los elementos de la línea de agua y de la línea de fangos que difieren para las cuatro alternativas de tratamiento propuestas para la ampliación de la E.D.A.R. De Moraira. (Elaboración propia).

CUADRO RESUMEN DE SUPERFICIES DE LAS ALTERNATIVAS	ALTERNATIVA N°1	ALTERNATIVA N°2	ALTERNATIVA N°3	ALTERNATIVA N°4
ELEMENTOS DIFERENCIALES DE LA LÍNEA DE AGUA (m²)	1.599,62	1.451,78	1.278,35	5.657,45
Superficie total de tanques anaerobios (m ²)	477,40	0,00	0,00	703,80
Superficie total de tanques anóxicos (m ²)	178,64	156,96	130,68	264,50
Superficie total de tanques aerobios (m ²)	518,58	869,82	723,66	793,50
Superficie total de tanques de membrana (m ²)	25,00	25,00	24,01	0,00
Superficie total de decantadores secundarios (m ²)	0,00	0,00	0,00	3.895,65
Superficie total de tanques de homogenización (m ²)	400,00	400,00	400,00	0,00
ELEMENTOS DIFERENCIALES DE LA LÍNEA DE FANGO (m²)	78,54	176,72	176,72	74,20
Superficie total de espesadores (m ²)	78,54	176,715	176,715	74,20
SUPERFICIE TOTAL (m²)	1.678,16	1.628,50	1.455,07	5.731,65

Para el caso de la alternativa N°4 con decantación secundaria la superficie ocupada por los elementos diferenciales de las líneas de agua y fango es mucho mayor que para las alternativas con membranas (alternativas N°1, N°2 y N°3) y se debe fundamentalmente a la disposición de los decantadores secundarios. Esa superficie es muy superior a la superficie disponible en la zona de actuación (De acuerdo al Pliego, para la zona de ampliación de la E.D.A.R. de Moraira se dispone de una superficie total de 2.480 m²).

Entre las alternativas con membrana, los elementos de la línea de agua ocupan mayor superficie para el caso de la alternativa N°1 con eliminación del fósforo por vía biológica, pues requiere de un espacio reservado a los reactores anaerobios. Sin embargo, las alternativas con eliminación del fósforo mediante vía química requieren de mayor superficie reservada para los espesadores, pues en ellas se genera más cantidad de fango.

La alternativa N°3 (con membranas, eliminación química del fósforo y alta recirculación interna) es la que diferencialmente ocupa menos superficie en planta.

7.2.3 Resultados referentes a los procesos biológicos

Las altas concentraciones de sólidos en los reactores y los tiempos de retención de sólidos mayores de los biorreactores de membrana propuestos en las alternativas con membrana (N°1, N°2 y N°3) pueden favorecer el crecimiento de una mayor diversidad de microorganismos, ampliándose las posibilidades de degradación de la materia orgánica compleja y refractaria.

Las alternativas de membrana (alternativas N°1, N°2 y N°3) al carecer de decantadores secundarios evitarán los problemas de flotación de fangos debidos a la desnitrificación en los decantadores y evitarán también los problemas de mala sedimentación debidos a las bacterias filamentosas (bulking filamentoso¹¹ o foaming¹²).

La disposición de un sistema de filtración por membranas permite suponer además que éstas son también capaces de retener virus, con lo que se simplifican los procesos posteriores de desinfección en la línea de aguas, quedando reducidos a una desinfección mediante radiación ultravioleta. La alternativa N°4 con decantación secundaria podría requerir de la instalación de filtros de arena previos a la desinfección ultravioleta para poder proporcionar así un efluente de gran calidad, pero el diseño de los mismos se escapa del alcance del presente proyecto de máster.

¹¹ Bulking filamentoso: Exceso de organismos filamentosos que mantiene los flóculos muy separados haciendo que la sedimentación y compactación de los mismos sea muy deficiente.

¹² Foaming: Formación de espumas debido a las superficies celulares muy hidrofóbicas de las bacterias filamentosas *Nocardia* spp y *Microthrix parvicella* fundamentalmente, que estabilizan las burbujas formando espumas que ascienden a la superficie donde tienden a acumularse.

Los procesos de separación por membranas pueden acarrear problemas por espumas y ensuciamiento de la membrana, por lo que se hace necesaria la adición de otras sustancias para llevar a cabo la limpieza así como establecer unos ciclos de parada adecuados para garantizar la limpieza del equipo. En este aspecto, los procesos de separación del fango por decantación secundaria contemplados para la alternativa N°4 pueden resultar más sencillos.

En el caso de las alternativas con tanque anaerobio (alternativas N°1 y N°4) se ha evitado la recirculación de nitratos al mismo recirculando previamente al tanque anóxico y de allí al anaerobio (esquema UCT). Una importante concentración de nitratos impediría el desarrollo de las bacterias PAOs y perjudicaría por tanto la eliminación del fósforo por vía biológica.

En este caso (alternativas N°1 y N°4 en las que se ha dispuesto de un reactor anaerobio) por su menor velocidad de crecimiento el porcentaje de volumen anaerobio está determinado por las bacterias acidogénicas. Los diseños propuestos han permitido el desarrollo de dichas bacterias acidogénicas. El porcentaje de volumen anaerobio unido al tiempo de retención celular establecido no ha resultado suficiente en ninguna de las dos alternativas N°1 y N°4 para el desarrollo de las bacterias metanogénicas acetoclásticas (X_{MAC}), cuya velocidad de crecimiento es mucho más baja $\mu_{MAC} = 0,106 \text{ día}^{-1}$ (CALAGUA). (Ver **FIGURA 77** y **FIGURA 78**)

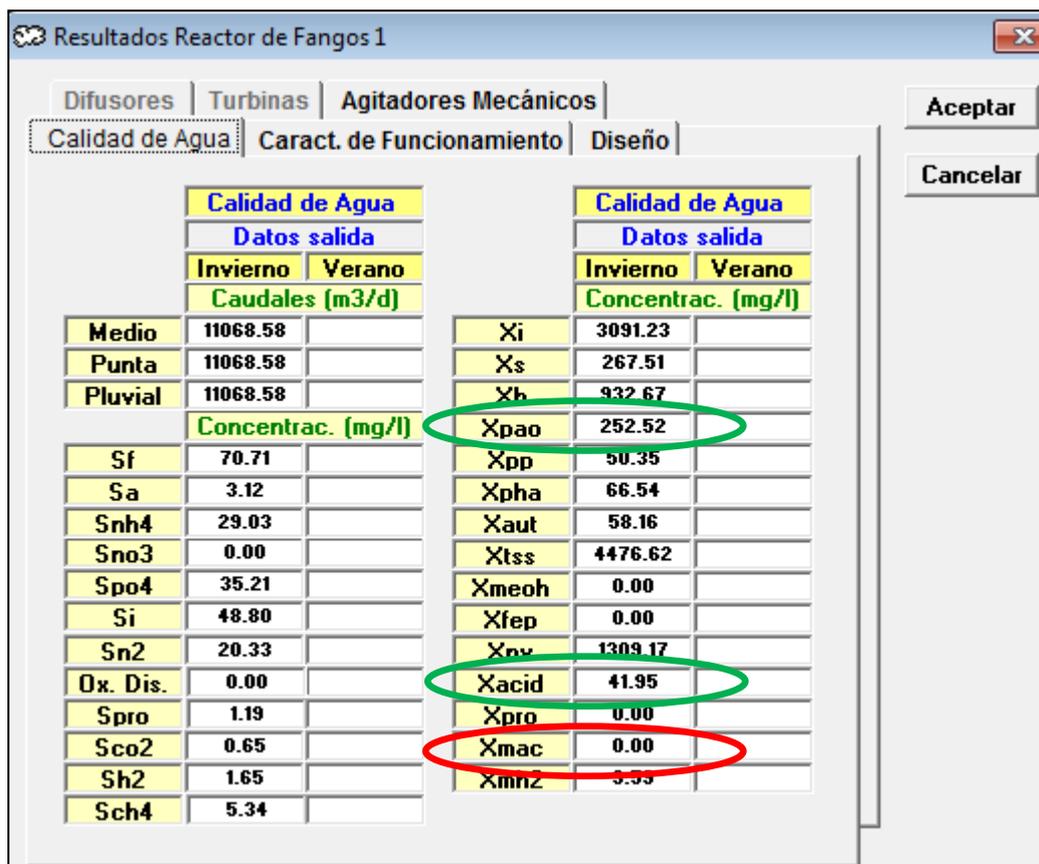


FIGURA 77. Resultados del efluente obtenidos en DESASS 1.1 para el reactor anaerobio en el caso de la alternativa N°1. (Elaboración propia).

Calidad de Agua		Calidad de Agua		
Datos salida		Datos salida		
	Invierno	Verano		
Caudales (m3/d)		Concentrac. (mg/l)		
Medio	18772.86		Xi	1576.08
Punta	24352.86		Xs	213.12
Pluvial	24352.86		Xb	294.38
			Xpao	149.42
Sf	58.58		Xpp	21.46
Sa	3.83		Xpha	62.73
Snh4	26.22		Xaut	26.69
Sno3	0.00		Xtss	2298.49
Spo4	35.07		Xmeoh	0.00
Si	50.26		Xfep	0.00
Sn2	20.52		Xav	271.10
Ox. Dis.	0.00		Xacid	28.65
Spro	1.40		Xpro	0.00
Sco2	0.65		Xmac	0.00
Sh2	1.51		Xmh2	2.39
Sch4	5.51			

FIGURA 78. Resultados del efluente obtenidos en DESASS 1.1 para el reactor anaerobio en el caso de la alternativa N°4. (Elaboración propia).

Se observa como una mayor concentración de bacterias PAOs y acidogénicas en la alternativa N°1 se traduce en una mayor eliminación biológica del fósforo (PT= 1,7 mg/l en el efluente de la alternativa N°1 frente a PT = 1,9 mg/l en el efluente de la alternativa N°4).

7.2.4 Aspectos medioambientales

Durante la fase de construcción las alternativas que ocupen menor espacio en planta (en este caso las alternativas con membrana N°1, N°2 y N°3) darán lugar a una menor ocupación del suelo, con lo cual será menor la flora, fauna y el paisaje afectados. Además, se requerirá un menor movimiento de tierras, con la consiguiente minimización en la generación de polvo y ruido generados por la maquinaria y trabajos de obra.

Durante la fase de explotación, las alternativas que contemplan la eliminación del fósforo únicamente por vía biológica (alternativas N°1 y N°4) no requerirán de consumo de reactivos (cloruro férrico), con lo que se minimizan así los posibles efectos tóxicos y nocivos de este reactivo sobre las personas que lo manipulen. Para el caso de las alternativas que sí requieren de reactivos (alternativas N°2 y N°3), es la alternativa N°3 la que consume menos de las dos (125 kg de cloruro férrico al día frente a los 130 kg que consume la alternativa N°2).

La alternativa N°4 con decantador generará menos fango, con lo cual se minimizará la producción de este residuo. Por el contrario, al requerir sus instalaciones de más espacio en la planta, será mayor el espacio a desodorizar.

Los equipos requeridos por el sistema de membranas de las alternativas N°1, N°2 y N°3 para conseguir altas presiones de transferencia de oxígeno, al ser mayores las concentraciones de oxígeno en estos reactores, generarán más ruido que en el caso de la alternativa N°4 con decantador.

Tras la comparativa realizada no se puede demostrar a priori cuál de las alternativas planteadas es la más económica, por lo que se hace necesario realizar una valoración económica detallada de los elementos diferenciales de las mismas.

7.3 VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS ELEMENTOS DIFERENCIALES DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS

7.3.1 Alcance y justificación de la valoración económica

El alcance de este trabajo final de máster es valorar económicamente las cuatro alternativas propuestas en referencia únicamente a los principales elementos que las diferencian con el fin de poder determinar la alternativa que resulta más ventajosa desde el punto de vista económico.

Se van a tener en cuenta las siguientes unidades de obra:

1) Referentes a la construcción:

- Instalación de rototamiz con capacidad unitaria para el caudal máximo (382 m³./h.) y luz de paso 0,5 mm.
- Ejecución de reactor biológico.
- Instalación de sistema de aireación en reactor biológico aerobio.
- Instalación de agitador mecánico en reactor.
- Instalación de un sistema de membranas.
- Ejecución de decantador secundario.
- Ejecución de espesador de fango.
- Ejecución de tanque de homogenización.

No se ha considerado relevante para este estudio valorar los costes de construcción de otros elementos como: depósito de reactivos, tuberías, bombas de recirculación o válvulas.

No se han incluido en la valoración económica los costes de construcción o instalación de los elementos comunes a las cuatro alternativas referentes al pretratamiento y la deshidratación de fangos por tratarse de elementos que ya existen en la planta actual de Moraira y que se van a reutilizar.

Tampoco se ha incluido en esta valoración el coste de instalación del tratamiento terciario de desinfección del agua por medio de radiación ultravioleta por considerarse que es similar para las cuatro alternativas propuestas.

Con el fin de poder sumar estos costes de construcción con los costes de explotación anuales se va a suponer un periodo de amortización de 20 años y un tipo de interés del 4%. Se va a utilizar el método de amortización francés que supone una cuota de amortización (a) constante:

$$a = \frac{C_0 \times i}{1 - (1 + i)^{-n}}$$

Donde: a = cuota de amortización en €/año

C₀ = coste total a amortizar en €

n = número de años en los que se amortiza el coste total

i = tipo de interés en %

En nuestro caso, la cuota de amortización o coste anual de construcción será el resultado de multiplicar el coste total de la unidad de obra C₀ por el coeficiente **0,074**:

$$a = C_0 \times \frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} = C_0 \times \frac{0,04}{1 - (1 + 0,04)^{-20}} = C_0 \times 0,074 \text{ €/año}$$

2) Referentes a la explotación:

- Energía de aireación.
- Energía de agitación.
- Energía de bombes de recirculación, filtración y purga de fangos.
- Consumo de reactivo (FeCl₃).
- Consumo de polielectrolito para la deshidratación de fango.
- Coste de gestión del fango.

No se han incluido en la presente valoración económica los costes de explotación referentes a: gastos de personal, administración, mantenimiento y conservación de la obra civil, mantenimiento y conservación de equipos así como costes de reactivos requeridos para la limpieza de membranas o desodorización, costes de transporte y eliminación de residuos del pretratamiento, costes del término de potencia eléctrica contratada así como los costes por bombeos del agua tratada a reutilización o al punto de vertido, por considerarse que no varían significativamente para las cuatro alternativas planteadas.

Los costes de explotación son anuales, suponiendo que los equipos están en funcionamiento 365 días al año.

Por otra parte, para valorar los costes energéticos (energía consumida) se ha tomado como referencia el precio del kWh que se establece en la *Resolución de 31 de enero de 2014, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se revisa el coste de producción de energía eléctrica y los precios voluntarios para el pequeño consumidor*. (BOE, febrero 2014). En concreto, para el presente trabajo de máster se van a valorar los costes energéticos con el precio correspondiente al término de energía (TEU) para una modalidad sin discriminación horaria. En la citada Resolución de 31 de enero de 2014 este precio se fija en: **TEU₀= 0,124107 euros/kWh**.

En referencia a la energía consumida en los bombeos, se han considerado los siguientes bombeos:

- B1: Bombeo de filtración por membranas.
- B2: Bombeo de recirculación al tanque anóxico desde el reactor de membranas (o desde el reactor aerobio en la alternativa N°4 con decantador).
- B3: Bombeo de recirculación al tanque anaerobio desde el reactor anóxico.

- B4: Bombeo de purga de fangos al espesador desde el reactor de membranas (o desde el decantador secundario para la alternativa N°4).
- B5: Bombeo de fangos a deshidratación desde el espesador.
- B6: Bombeo de recirculación de fangos desde el decantador secundario hasta el tanque anóxico (en la alternativa N°4).

El cálculo de la potencia requerida de las bombas viene dado por la siguiente fórmula:

$$P = \frac{q \times h \times \rho \times g}{\mu \times 3,6 \times 10^6}$$

Donde:

P = Potencia eléctrica requerida por la bomba en kW

q = Caudal que suministra la bomba en m³/h. Dado que queremos calcular la energía media en euros/año vamos a utilizar los caudales medios.

h = Pérdida de carga total en m. c. a.¹³. Será el resultado de la suma de la altura geométrica a impulsar más las pérdidas en las conducciones (pérdidas por fricción y pérdidas en las singularidades). Se han estimado las siguientes pérdidas de carga totales según los bombeos considerados:

- B1: h ≈ 0,30 m.c.a
- B2: h ≈ 1,00 m.c.a
- B3: h ≈ 0,60 m.c.a
- B4: h ≈ 2,50 m.c.a
- B5: h ≈ 2,00 m.c.a
- B6: h ≈ 1,50 m.c.a

¹³ m.c.a. = metros de columna de agua

ρ = Densidad del fluido a impulsar en kg/m³. Tanto para el bombeo del agua residual como del fango se va a suponer una densidad de 1000 kg/m³.

g = Gravedad (9,81 m/s²)

μ = rendimiento de la bomba. Se supondrá un rendimiento de 0,7 para cada bomba.

Con las suposiciones realizadas la fórmula del cálculo de la potencia de la bomba en kW quedará de la siguiente manera:

$$P = \frac{q \times h \times \rho \times g}{\mu \times 3,6 \times 10^6} = \frac{q \times h \times 1000 \times 9,81}{0,7 \times 3,6 \times 10^6} = q \times h \times 0,00389$$

Finalmente, para valorar el coste energético de la gestión del fango se ha contemplado su uso valorizado en agricultura.

7.3.2 Costes diferenciales de construcción y explotación

En el **ANEJO 2** de la presente memoria se incluyen las mediciones, cuadros de precios y presupuestos parciales de las cuatro alternativas propuestas referentes a las unidades de obra contempladas.

Los costes económicos diferenciales de las cuatro alternativas se resumen en la siguiente **TABLA 40**:

TABLA 40. Resumen de los costes económicos diferenciales de las alternativas planteadas. (Elaboración propia).

COSTES ECONÓMICOS DIFERENCIALES	Alternativa N° 1	Alternativa N°2	Alternativa N°3	Alternativa N°4
Costes anuales de construcción (cuota de amortización) (€/año)	84.091,55	83.275,39	79.116,52	97.320,20
Costes anuales de explotación (€/año)	155.750,73	117.039,63	115.227,98	143.789,53
Costes anuales totales (€/año)	239.842,28	200.315,02	194.344,50	241.109,73

Los costes económicos diferenciales de las cuatro alternativas se representan en la **FIGURA 79**:

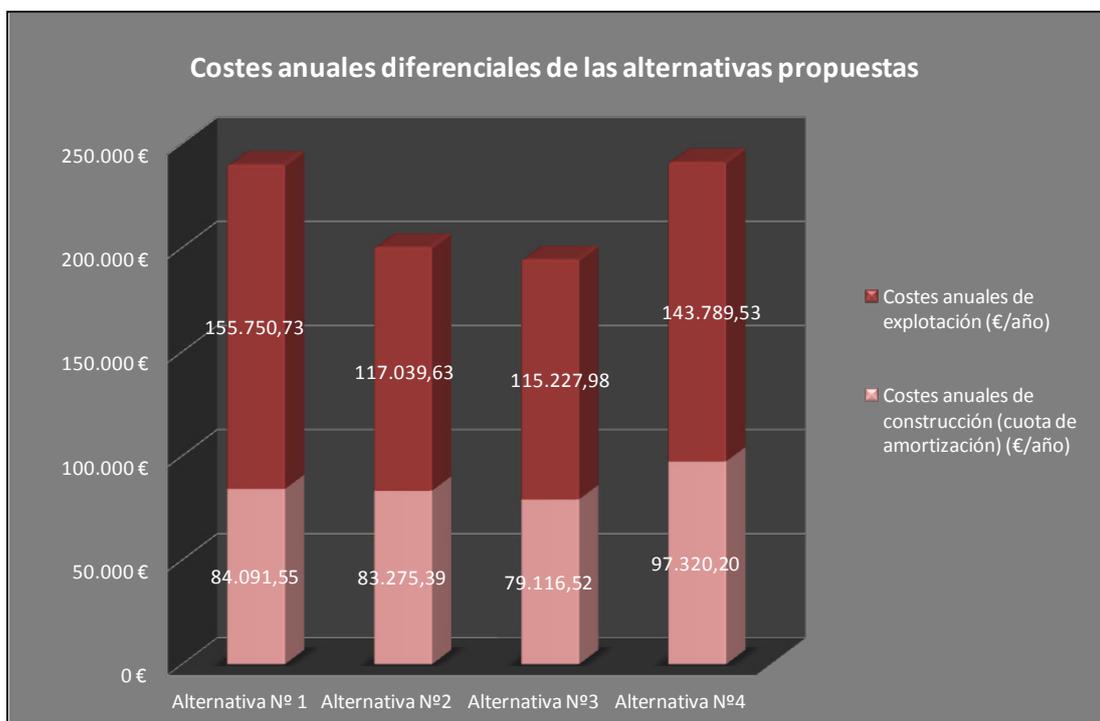


FIGURA 79. Costes anuales diferenciales en euros/año de las 4 alternativas planteadas. (Elaboración propia).

La alternativa Nº4 con decantador secundario es la que presenta los mayores costes diferenciales totales. Los grandes volúmenes de reactores y decantadores secundarios encarecen mucho la obra civil y requieren además de un gran consumo energético para lograr la agitación de los mismos. Estos elevados costes no compensan el ahorro en costes constructivos de no requerir de sistemas de membranas ni de tanque de homogenización y el ahorro en costes de explotación referentes a una menor producción diaria de fangos por parte de la alternativa con decantador y a un menor coste por aireación.

La sustitución de un proceso de decantación secundaria por un sistema de filtración mediante membranas como el que se propone en las alternativas Nº1, Nº2 y Nº3 permite reducir volúmenes de reactores, con el consiguiente ahorro de costes de construcción y explotación.

Entre las alternativas con membrana, la alternativa N°1 con eliminación del fósforo únicamente por vía biológica es la que presenta mayores costes diferenciales de explotación pues requiere de mayor volumen de reactores (incluye reactores anaerobios) lo que encarece sustancialmente los costes energéticos de agitación. Las alternativas N°2 y N°3, con eliminación del fósforo por vía química, incluyen por tanto unos costes por consumo de reactivos que no tiene la alternativa N°1, pero estos costes no resultan tan elevados como para compensar el gran coste energético de la agitación de los reactores de la alternativa N°1.

Entre las alternativas N°2 y N°3, la mayor relación de recirculación propuesta para la alternativa N°3 (4 frente a 2 de la alternativa N°2) permite reducir el volumen de reactores, reduciendo así costes de obra civil. El incremento de costes por bombeo que conlleva una mayor recirculación se ve compensado en este caso para la alternativa N°3 con un menor coste energético por agitación.

La alternativa N°3 es la que presenta los menores costes diferenciales de construcción y de explotación.

Tras el estudio comparativo realizado se propone la alternativa N°3 como solución elegida en el presente trabajo final de máster para la ampliación soterrada de la E.D.A.R. de Moraira.

7.4 CUADRO RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS

En la siguientes **TABLA 41** y **TABLA 42** se resumen las características y los resultados obtenidos para las cuatro alternativas planteadas en el presente proyecto:

COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

TABLA 41. Cuadro resumen de características y resultados de las alternativas de tratamiento planteadas para la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia)

CUADRO RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERNATIVAS	ALTERNATIVA N°1	ALTERNATIVA N°2	ALTERNATIVA N°3	ALTERNATIVA N°4
ELEMENTOS LÍNEA DE AGUA				
Pretratamiento:				
Pozo de gruesos:	Se mantiene el actual			
Volumen (m ³)	6,55	6,55	6,55	6,55
Enrejado grueso:	Se mantiene el actual			
Separación entre barrotes (mm)	50	50	50	50
Espesor de barrotes (mm)	15	15	15	15
Ancho de la reja (m)	0,36	0,36	0,36	0,36
Pozo de bombeo:	Se mantiene el actual			
Volumen (m ³)	25	25	25	25
Número de bombas (unidades)	3 + 1R	3 + 1R	3 + 1R	3 + 1R
Potencia absorbida por bomba (kW)	4,074	4,074	4,074	4,074
Enrejado fino o tamiz:	Elemento nuevo	Elemento nuevo	Elemento nuevo	Se mantiene el actual
Número de tamices (unidades)	1 + 1R	1 + 1R	1 + 1R	1 + 1R
Luz de paso (mm)	0,5	0,5	0,5	3,0
Canal de descarga:	Se mantiene el actual			
Número de canales (unidades)	1	1	1	1
Ancho del canal (m)	0,5	0,5	0,5	0,5
Desarenador-desengrasador:	Se mantiene el actual			
Número de desarenadores-desengrasadores (unidades)	2	2	2	2
Volumen (m ³)	39,36	39,36	39,36	39,36
Tratamiento secundario:				
Tanque de homogenización:	Elemento nuevo	Elemento nuevo	Elemento nuevo	No se requiere
Volumen total de vasos disponible (m ³)	1.540,00	1.540,00	1.540,00	-
Agitadores mecánicos (unidades)	4	4	4	-
Reactores:	Elemento nuevo	Elemento nuevo	Elemento nuevo	Elemento nuevo
Líneas de tratamiento (número)	2	2	2	2
Volumen total de reactores (m ³)	4.800	4.200	3.500	7.000
Tiempo de retención celular (días)	30	28	28	20
Porcentaje de volumen total para tanques anaerobios (%)	40	-	-	40
Volumen total tanques anaerobios (m ³)	1.920	-	-	2.800
Agitadores mecánicos en tanques anaerobios (unidades)	4	-	-	4
Potencia de motor de los agitadores mecánicos en tanques anaerobios (kW)	10	-	-	14,9
Porcentaje de volumen total para tanques anóxicos (%)	15	15	15	15
Volumen total tanques anóxicos (m ³)	720	630	525	1050
Agitadores mecánicos en tanques anóxicos (unidades)	2	2	2	2
Potencia de motor de los agitadores mecánicos en tanques anóxicos (kW)	10	10	5,6	11,2
Porcentaje de volumen total para tanques aerobios (%)	43,4	83,2	82,9	45
Volumen total tanques aerobios (m ³)	2.083,20	3.494,40	2.901,50	3.150,00
Número total de difusores en los tanques aerobios (unidades)	656	976	828	920
Soplantes requeridas para la aireación de reactores aerobios (unidades)	3 + 1R	3 + 1R	3 + 1R	3 + 1R
Potencia de las soplantes (kW)	30	30	30	37
Consumo energético de las soplantes (kWh/día)	1.238,10	1.175,60	1.165,70	1.114,10
Relación de recirculación de agua al tanque anóxico	-	-	-	1,2
Caudal medio de agua recirculada al tanque anóxico (m ³ /día)	-	-	-	4.505,49
Relación de recirculación de fango al tanque anóxico	2	2	4	91,55%
Caudal de fango recirculado al tanque anóxico (m ³ /día)	7.379,06	7.394,65	14.784,76	3.437,47
Relación de recirculación de agua al tanque anaerobio	2	-	-	4
Caudal medio de agua recirculada al tanque anaerobio (m ³ /día)	7.379,06	-	-	15.018,29
Consumo de reactivo para precipitación química del fósforo (kg FeCl ₃ /día)	No se requiere	130	125	No se requiere
Porcentaje de volumen total del tanque con membranas de filtración (%)	1,6	1,8	2,1	-
Volumen total del tanque con membranas de filtración (m ³)	76,8	75,6	73,5	-
Membranas de filtración:	Elemento nuevo	Elemento nuevo	Elemento nuevo	No se requiere
Superficie total de membrana de filtración (m ²)	10.500	10.500	10.500	-
Decantador secundario:	No se requiere	No se requiere	No se requiere	Elemento nuevo
Número total de decantadores secundarios (unidades)	-	-	-	2
Volumen total de decantadores secundarios (m ³)	-	-	-	14.779,74
Tratamiento terciario:				
Sistema de desinfección	Elemento nuevo	Elemento nuevo	Elemento nuevo	Elemento nuevo
	Lámparas de radiación ultravioleta			
Número de lámparas	120	120	120	120
Dimensiones del canal	0,76mx3,51mx0,46	0,76mx3,51mx0,46	0,76mx3,51mx0,46	0,76mx3,51mx0,46

COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

TABLA 42. Cuadro resumen de características y resultados de las alternativas de tratamiento planteadas para la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. (Continuación).
(Elaboración propia)

CUADRO RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERNATIVAS	ALTERNATIVA N°1	ALTERNATIVA N°2	ALTERNATIVA N°3	ALTERNATIVA N°4
ELEMENTOS LÍNEA DE FANGO				
Espesador de fangos:	Elemento nuevo	Elemento nuevo	Elemento nuevo	Elemento nuevo
Caudal de fangos a espesar (m ³ /día)	93,68	101,42	100,23	158,55
Número total de espesadores de fangos (unidades)	1	1	1	1
Volumen total de espesadores de fangos (m ³)	235,62	530,14	530,14	222,78
Deshidratadora centrífuga de fangos:	Se aprovechan las actuales			
Caudal de fangos a deshidratar (m ³ /día)	46,84	50,71	50,11	79,28
Número total de deshidratadoras de fangos (unidades)	2	2	2	2
CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL EFLUENTE (Resultados de los procesos modelados mediante D.E.S.A.S.S. 1.1)				
Caudal de agua efluente (m ³ /día)	3.596	3.596	3.596	3.596
Concentración de Sólidos en Suspensión, SS (mg/l)	3	3	3	9
Concentración de Demanda Biológica de Oxígeno a los 5 días, DBO ₅ (mg/l)	0,4	0,3	0,3	0,3
Concentración de Demanda Química de Oxígeno, DQO (mg/l)	53	50	50	60
Concentración de Nitrógeno total, NT (mg/l)	13,31	12,69	8,15	14,32
Concentración de Fósforo total, P _T (mg/l)	1,73	1,74	1,92	1,93
CARACTERÍSTICAS DEL FANGO GENERADO (Resultados de los procesos modelados mediante D.E.S.A.S.S. 1.1)				
Cantidad de fango generado (kg/día)	912,95	957,73	943,55	876,03
Materia volátil, SSV (%)	65,0	61,6	61,7	64,7
Materia volátil biodegradable, SSVB (%)	34,8	34,6	34,8	34,0
Sequedad (%)	22,0	22,0	22,0	22,0
COSTES ECONÓMICOS ANUALES DIFERENCIALES				
Costes totales de construcción (cuota de amortización anual en €/año):	84.091,55	83.275,39	79.116,52	97.320,20
Instalación de rototamices (€/año)	888,00	888,00	888,00	0,00
Obra civil de reactores (€/año)	32.752,21	29.077,45	26.013,77	40.288,62
Instalación de los sistemas de aireación (€/año)	8.332,40	10.700,40	9.605,20	10.286,00
Instalación de los sistemas de agitación (€/año)	2.220,00	1.332,00	1.332,00	1.332,00
Instalación del sistema de filtración por membranas (€/año)	31.080,00	31.080,00	31.080,00	0,00
Obra civil de los decantadores secundarios (€/año)	0,00	0,00	0,00	43.596,27
Obra civil de los espesadores (€/año)	1.884,56	3.263,16	3.263,17	1.817,31
Obra civil de los tanques de homogenización (€/año)	6.934,38	6.934,38	6.934,38	0,00
Costes anuales de explotación (€/año)	155.750,73	117.039,63	115.227,98	143.789,53
Energía de aireación (€/año)	56.084,76	53.253,57	52.805,11	50.467,68
Energía de agitación (€/año)	90.888,02	47.183,50	44.900,42	83.712,65
Energía de bombeos (€/año)	2.394,17	1.599,67	2.937,97	3.483,96
Consumo de reactivos (€/año)	0,00	8.303,75	7.984,38	0,00
Consumo de polielectrolito (€/año)	4.717,64	4.951,28	4.878,12	4.526,48
Coste de gestión del fango (€/año)	1.666,14	1.747,86	1.721,98	1.598,76
Costes totales anuales (€/año)	239.842,28	200.315,02	194.344,50	241.109,73

CONCLUSIONES

8 CONCLUSIONES.

8.1 CONCLUSIONES OBTENIDAS

El presente trabajo final de Máster, fundamentado en la necesidad de ampliar la E.D.A.R. de Moraira (Alicante) existente con un tratamiento biológico en instalaciones soterradas con el fin de mejorar la calidad ambiental de la zona, ha desarrollado cuatro alternativas de sistemas de tratamiento biológico que garantizan los parámetros de vertido exigidos en el Pliego y en la normativa vigente, teniendo en cuenta que parte del agua tratada se verterá al mar mediante emisario submarino y parte será reutilizada para uso agrícola y riego de parques y jardines de pública concurrencia.

Para ello, una vez definidos los condicionantes de partida así como los requisitos de vertido, se han modelado y simulado los procesos biológicos de la línea de agua y de fangos de cada una de las cuatro alternativas propuestas mediante la herramienta informática DESASS (Design and Simulation of Activated Sludge Systems).

De las cuatro alternativas propuestas, tres de ellas están basadas en un tratamiento de filtración mediante membranas mientras que la cuarta alternativa consiste en un proceso convencional de separación de fango mediante decantador secundario:

- **Alternativa Nº1: Reactor biológico con membranas y eliminación del fósforo únicamente por vía biológica.**
- **Alternativa Nº2: Reactor biológico con membranas y eliminación del fósforo por vía química con baja relación de recirculación interna.**
- **Alternativa Nº3: Reactor biológico con membranas y eliminación del fósforo por vía química con alta relación de recirculación interna.**
- **Alternativa Nº4: Reactor biológico convencional con decantador secundario y eliminación de fósforo únicamente por vía biológica.**

En los cuatro casos, con el fin de simplificar la explotación de la EDAR, se ha optado por un proceso biológico de oxidación total que proporcione adecuadas calidades del efluente y genere fangos lo suficientemente estabilizados para que no se requiera la disposición de digestores y las líneas de fangos queden reducidas a un proceso de espesado más deshidratación.

Además, para obtener una calidad de efluente que permita su reutilización en los usos previstos (riego de jardines y agricultura) se dispondrá en todos los casos de un tratamiento de desinfección del agua por radiación ultravioleta, tal y como se indica en el Pliego para la solución base.

En el caso de las alternativas con membrana su diseño ha tenido además en cuenta las *Condiciones técnicas para el diseño de biorreactores de membrana (RBM)* que se incluyen en el Pliego, lo que ha supuesto la sustitución de los tamices existentes por otros de luz de paso inferior, así como la disposición de un tanque de homogenización de caudal y contaminación previo a los reactores biológicos.

Una vez definidas las cuatro alternativas de tratamiento se ha procedido a realizar un estudio comparativo de las mismas con el fin de dictaminar cuál es la solución que se propone finalmente. De dicho estudio se concluye que desde el punto de vista técnico, en las cuatro alternativas se obtiene un efluente que cumple los requisitos de vertido y, además, no se puede determinar a priori cuál de las alternativas resulta más ventajosa desde el punto de vista económico. Por ello ha sido necesario realizar una valoración económica detallada de los elementos diferenciales de las cuatro alternativas planteadas.

Del citado estudio comparativo realizado a las cuatro alternativas de tratamiento se concluye lo siguiente:

- ❖ **Las alternativas con membrana (alternativas N°1, N°2 y N°3) permiten trabajar a elevados tiempos de retención celular con**

altas concentraciones de sólidos en los reactores lo que supone un ahorro de espacio en la planta al ser menor el volumen de reactores requerido frente al requerido por los reactores de la alternativa N°4 con decantador secundario. Además, el espacio requerido en planta para la instalación del sistema de filtración por membranas es muy inferior al que ocupan los decantadores secundarios.

- ❖ Los grandes volúmenes de reactores y decantadores secundarios requeridos por la alternativa N°4 con decantadores incrementan mucho los costes diferenciales referidos a la construcción de la obra civil así como los costes de explotación referentes al consumo energético por agitación y hacen que sea ésta la solución menos económica de todas, aún a pesar de no requerir la instalación de nuevos tamices ni la disposición de tanque de homogenización y de ser la solución que menos fango genera y, por tanto, menos costes por gestión de fango tiene y tener el menor coste energético por aireación.
- ❖ Las alternativas con membrana (alternativas N°1, N°2 y N°3) proporcionan unos porcentajes de eliminación de sólidos suspendidos superiores que proporcionarán mayor efectividad al proceso de desinfección mediante radiación ultravioleta. Además se puede suponer que el sistema de módulos de membrana de fibra hueca de ultrafiltración es capaz también de retener virus con lo que se prevé un efluente de mejor calidad al obtenido por la alternativa N°4.
- ❖ Las alternativas de membrana (alternativas N°1, N°2 y N°3) al carecer de decantadores secundarios se evitarán los posibles problemas de flotación de fangos debidos a la desnitrificación en los decantadores y se evitarán también los posibles problemas de mala sedimentación debidos a las bacterias filamentosas (bulking filamentoso o foaming). Sin embargo, los

procesos de separación por membranas pueden acarrear problemas por espumas y ensuciamiento de la membrana, por lo que se requerirá un correcto control de la limpieza de los mismos.

- ❖ **Por tanto, la alternativa N°4 con decantador secundario es la que mayor espacio ocupa en planta con diferencia y presenta los mayores costes diferenciales totales. Los grandes volúmenes de reactores y decantadores secundarios encarecen la obra civil y requieren además de mayor consumo energético para lograr la agitación de los mismos. Estos elevados costes no compensan el ahorro en costes constructivos de no requerir de sistemas de membranas ni tanques de homogenización y costes de explotación referentes a una menor producción diaria de fangos por parte de la alternativa con decantador. Por todo ello la alternativa N°4 con decantador secundario queda descartada de entrada frente a las alternativas con membrana.**
- ❖ **Entre las alternativas con membrana la producción de fangos es mayor para las alternativas con eliminación química del fósforo (alternativas N°2 y N°3) que para la alternativa con eliminación de fósforo únicamente por vía biológica (alternativa N°1), que no utiliza reactivos. Sin embargo, el incremento en los costes de explotación por gestión del fango y consumo de reactivos de las alternativas N°2 y N°3 se ve superado por el coste energético requerido para la agitación y aireación de los reactores de la alternativa N°1, con mayor volumen de reactores al requerir de tanques anaerobios, lo que hace que los costes de explotación de la alternativa N°1 sean superiores a los de las otras alternativas.**
- ❖ **Entre las alternativas con membrana, los elementos de la línea de agua ocupan mayor superficie para el caso de la alternativa N°1 con eliminación del fósforo por vía biológica, pues requiere**

de un espacio reservado a los reactores anaerobios. Sin embargo, las alternativas con eliminación del fósforo mediante vía química requieren de mayor superficie reservada para los espesadores, pues en ellas se genera más cantidad de fango. Globalmente es la alternativa N°2 la que más espacio ocupa en planta de las tres alternativas con membrana.

- ❖ Entre las alternativas N°2 y N°3 con eliminación química del fósforo, el aumento del coeficiente de recirculación interna de fango al tanque anóxico permite obtener para la alternativa N°3, aún a costa de incrementar los costes de explotación por bombeos, una reducción notable en el volumen de los reactores, con lo que se reducen los gastos de construcción y los gastos de explotación referentes a costes de agitación y de aireación.

- ❖ Por todo ello se propone finalmente la alternativa N°3 (con membranas, eliminación química del fósforo y alta recirculación interna) como solución a la ampliación de la E.D.A.R. actual de Moraira. El hecho de que sea la solución más barata, tanto en costes diferenciales de construcción como de explotación, y la que menos superficie ocupe en una planta soterrada, con la consiguiente minimización en los impactos por ocupación del suelo, movimientos de tierras y procesos de desodorización, la hacen preferente frente a las otras alternativas propuestas. Además, el efluente de la alternativa N°3 es el que vierte menos concentración de nitrógeno NT al medio.

8.2 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

La solución propuesta para el *DISEÑO DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO PARA LA AMPLIACIÓN SOTERRADA DE LA E.D.A.R. EXISTENTE EN MORAIRA (ALICANTE)* contempla una línea de agua que consta de un pretratamiento (desbaste y desarenado-desengrasado), un tratamiento biológico consistente en un proceso de cultivo en suspensión del tipo fangos activados mediante oxidación total con sistemas de filtrado mediante la tecnología de membranas y una desinfección por radiación ultravioleta. La eliminación del fósforo se llevará a cabo por vía química, con adición de reactivos y se trabaja con una relación alta de recirculación interna de fangos desde el reactor de membranas hacia el reactor anóxico.

La línea de fango de la E.D.A.R. de Moraira ampliada quedará reducida a un tratamiento de espesado y a una deshidratación mediante centrífugas.

Se mantendrán las instalaciones del pretratamiento existentes en la E.D.A.R. actual consistentes en pozo de gruesos, enrejado grueso (reja), pozo de bombeo, enrejados finos (tamices) y desarenadores - desengrasadores aireados, pero modificando las características de los tamices. Se sustituirán los rototamices existentes, con luz de paso 3 mm, por otros tamices rotativos de con luz de paso de 0,5 mm con el fin de aumentar la eficacia del proceso de filtración en los biorreactores de membrana. Se propone el modelo de tamiz rotativo autolimpiable - Rotofiltro 6200 (AMN 6200) de Aguas del Mare Nostrum, S.L. o similar.

La ampliación de la E.D.A.R. de Moraira propuesta ha exigido el dimensionamiento de nuevos elementos que no existen en la E.D.A.R. de Moraira actual: un tanque de homogeneización, el reactor biológico de membranas, un tanque para la preparación del reactivo (cloruro férrico) utilizado para la eliminación de fósforo por vía química y un sistema de desinfección por radiación ultravioleta. Quedarán en desuso el tratamiento físico-químico y el decantador lamelar existentes en la E.D.A.R. actual.

Con el fin de optimizar el espacio, parte del volumen del tanque de homogenización aprovechará las instalaciones existentes de la zona destinada actualmente al tratamiento físico-químico. Se reutilizarán las deshidratadoras centrífugas existentes en la E.D.A.R. actual.

El tratamiento biológico propuesto tendrá lugar en dos líneas con reactores de mezcla completa de dos etapas (anóxica y aerobia) que permitirán la eliminación conjunta de materia orgánica y nitrógeno.

Con el fin de mantener en el sistema la biomasa generada en los distintos procesos (anóxicos y aerobios) se va a recircular al tanque anóxico un caudal procedente del sistema de membranas utilizando para ello una relación de circulación alta.

Se propone utilizar 7 módulos de membrana de fibra hueca de ultrafiltración de la casa KOCH MEMBRANE SYSTEMS modelo PSH 1500 ó similar que proporcionarán una superficie total de membrana de 10.500 m².

De las membranas se obtendrá un permeado filtrado que se someterá a un sistema de desinfección por radiación ultravioleta consistente en 20 módulos UVM 6-64 de la casa TROJAN TECHNOLOGIES, con 6 lámparas por módulo, dispuestos en un canal de dimensiones: 0,76 metros de ancho x 3,51 metros de largo x 0,46 metros de profundidad.

El agua efluente de la planta se podrá reutilizar para riego de parques y jardines o bien se verterá directamente al mar.

En cuanto al fango, parte del mismo retenido en las membranas se recirculará al reactor biológico y otra parte, el fango en exceso, deberá ser purgado y tratado de acuerdo a la línea de fangos propuesta (espesado + deshidratado) con el fin de mantener el proceso estable y obtener unas características del mismo que lo hagan apto para su posterior transporte y utilización en agricultura.

Las características de la solución propuesta se resumen en la siguientes **TABLA 43** y **TABLA 44**:

TABLA 43. Cuadro resumen de características de la solución propuesta para la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira (Alicante). (Elaboración propia).

CUADRO RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	
ELEMENTOS LÍNEA DE AGUA	
Pretratamiento:	
Pozo de gruesos:	Se mantiene el actual
Volumen (m ³)	6,55
Enrejado grueso:	Se mantiene el actual
Separación entre barrotes (mm)	50
Espesor de barrotes (mm)	15
Ancho de la reja (m)	0,36
Pozo de bombeo:	Se mantiene el actual
Volumen (m ³)	25
Número de bombas (unidades)	3 + 1R
Potencia absorbida por bomba (kW)	4,074
Enrejado fino o tamiz:	Elemento nuevo
Número de tamices (unidades)	1 + 1R
Luz de paso (mm)	0,5
Canal de descarga:	Se mantiene el actual
Número de canales (unidades)	1
Ancho del canal (m)	0,5
Desarenador-desengrasador:	Se mantiene el actual
Número de desarenadores-desengrasadores (unidades)	2
Volumen (m ³)	39,36
Tratamiento secundario:	
Tanque de homogenización:	Elemento nuevo
Volumen total de vasos disponible (m ³)	1.540,00
Agitadores mecánicos (unidades)	4
Reactores:	Elemento nuevo
Líneas de tratamiento (número)	2
Volumen total de reactores (m ³)	3.500
Tiempo de retención celular (días)	28
Porcentaje de volumen total para tanques anóxicos (%)	15
Volumen total tanques anóxicos (m ³)	525
Agitadores mecánicos en tanques anóxicos (unidades)	2
Potencia de motor de los agitadores mecánicos en tanques anóxicos (kW)	5,6
Porcentaje de volumen total para tanques aerobios (%)	82,9
Volumen total tanques aerobios (m ³)	2.901,50
Número total de difusores en los tanques aerobios (unidades)	828
Soplantes requeridas para la aireación de reactores aerobios (unidades)	3 + 1R
Potencia de las soplantes (kW)	30
Consumo energético de las soplantes (kWh/día)	1.165,70
Relación de recirculación de fango al tanque anóxico	4
Caudal de fango recirculado al tanque anóxico (m ³ /día)	14.784,76
Consumo de reactivo para precipitación química del fósforo (kg FeCl ₃ /día)	125
Porcentaje de volumen total del tanque con membranas de filtración (%)	2,1
Volumen total del tanque con membranas de filtración (m ³)	73,5
Membranas de filtración:	Elemento nuevo
Superficie total de membrana de filtración (m ²)	10.500
Decantador secundario:	No se requiere
Tratamiento terciario:	Elemento nuevo
Sistema de desinfección	Lámparas de radiación ultravioleta
Número de lámparas	120
Dimensiones del canal	0,76mx3,51mx0,46m

CONCLUSIONES

TABLA 44. Cuadro resumen de características de la solución propuesta para la ampliación de la E.D.A.R. de Moraira (Alicante). (Elaboración propia).

CUADRO RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	
ELEMENTOS LÍNEA DE FANGO	
Espesador de fangos:	Elemento nuevo
Caudal de fangos a espesar (m ³ /día)	100,23
Número total de espesadores de fangos (unidades)	1
Volumen total de espesadores de fangos (m ³)	530,14
Deshidratadora centrífuga de fangos:	Se aprovechan las actuales
Caudal de fangos a deshidratar (m ³ /día)	50,11
Número total de deshidratadoras de fangos (unidades)	2

Los procesos de separación por membranas pueden acarrear problemas por espumas y ensuciamiento de la membrana, por lo que será necesario establecer unas condiciones y ciclos de limpieza adecuados.

8.3 COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS EFLUENTES ENTRE LA SITUACIÓN ACTUAL Y LA SOLUCIÓN PROPUESTA

En las siguientes tablas se muestra la calidad del efluente medido para la E.D.A.R. actual y la calidad del efluente prevista con la solución propuesta, así como los porcentajes de eliminación de los contaminantes considerados en cada caso:

TABLA 45. Valores influente, efluente y porcentajes de eliminación para la E.D.A.R. actual de Moraira (Alicante). (Entidad pública de saneamiento de aguas residuales, E.P.S.A.R.)

EDAR actual: Tratamiento físico-químico con decantación lamelar

PARÁMETRO	VALOR INFLUENTE A LA PLANTA EN mg/l	VALOR MEDIO EFLUENTE DE LA PLANTA EN mg/l	% DE ELIMINACIÓN
Concentración de Sólidos en Suspensión, SS	350	47	86,6%
Concentración de Demanda Biológica de Oxígeno a los 5 días, DBO ₅	400	102	74,5%
Concentración de Demanda Química de Oxígeno, DQO	750	211	71,9%
Concentración de Nitrógeno total, NT	60,40	32,02	47,0%
Concentración de Fósforo total, PT	9,20	1,74	81,1%

TABLA 46. Valores influente, efluente y porcentajes de eliminación previstos para la solución de ampliación de la E.D.A.R. de Moraira (Alicante). (Elaboración propia).

Solución propuesta: Biorreactor de membranas y eliminación de fósforo mediante vía química. Alta relación de recirculación de fango

PARÁMETRO	VALOR INFLUENTE A LA PLANTA EN mg/l	VALOR PREVISTO EFLUENTE DE LA PLANTA EN mg/l	% DE ELIMINACIÓN
Concentración de Sólidos en Suspensión, SS	350	3	99,1%
Concentración de Demanda Biológica de Oxígeno a los 5 días, DBO ₅	400	0,3	99,9%
Concentración de Demanda Química de Oxígeno, DQO	750	50	93,3%
Concentración de Nitrógeno total, NT	60,40	8,15	86,5%
Concentración de Fósforo total, PT	9,20	1,92	79,1%

La comparación entre los porcentajes de depuración existentes en la E.D.A.R. actual y los previstos por la solución propuesta se muestran en la siguiente **FIGURA 80**:

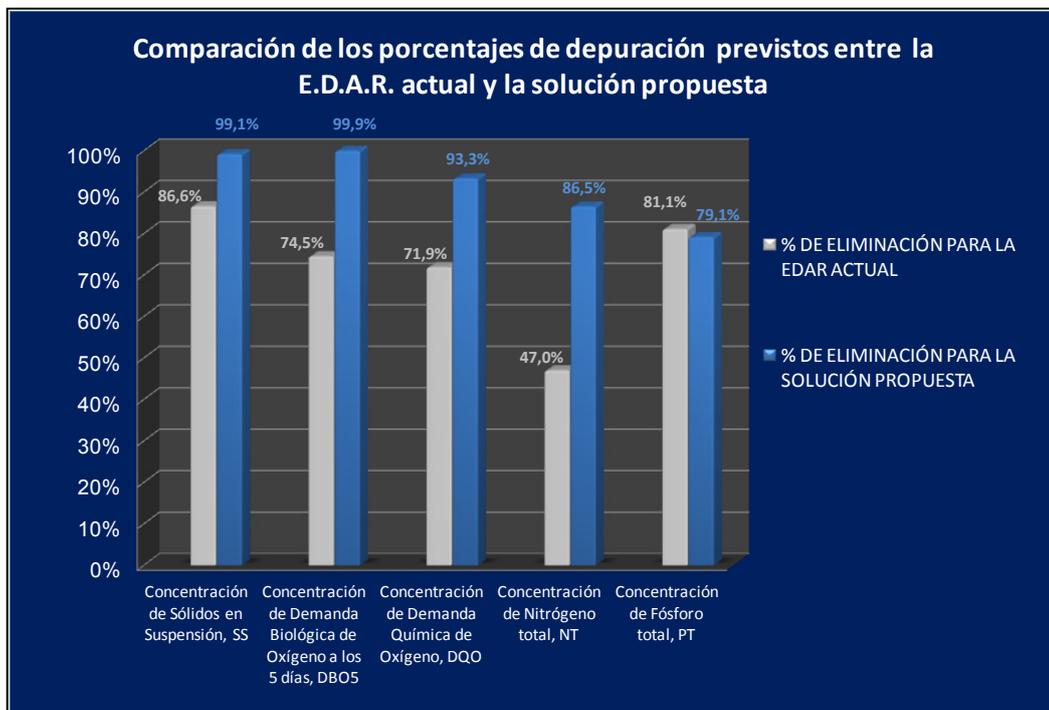


FIGURA 80. Comparación entre los porcentajes de depuración existentes en la E.D.A.R. actual y los previstos por la solución propuesta para ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia).

Para el caso del fango generado, los valores medidos para la E.D.A.R. actual y los previstos para la solución propuesta son los siguientes:

CONCLUSIONES

TABLA 47. Características del fango generado por la E.D.A.R. actual de Moraira (Alicante). (Entidad pública de saneamiento de aguas residuales, E.P.S.A.R.)

EDAR actual: Tratamiento físico-químico con decantación lamelar

PARÁMETRO	FANGO GENERADO
Materia volátil, % SSV	39,5%
Materia volátil biodegradable, %SSVB	---
Sequedad, %	28,1%

TABLA 48. Características del fango previsto para la solución propuesta de ampliación de la E.D.A.R. de Moraira (Alicante). (Elaboración propia).

Solución propuesta: Biorreactor de membranas y eliminación de fósforo mediante vía química. Alta relación de recirculación de fango

PARÁMETRO	FANGO PREVISTO
Materia volátil, % SSV	61,7%
Materia volátil biodegradable, %SSVB	34,8%
Sequedad, %	22,0%

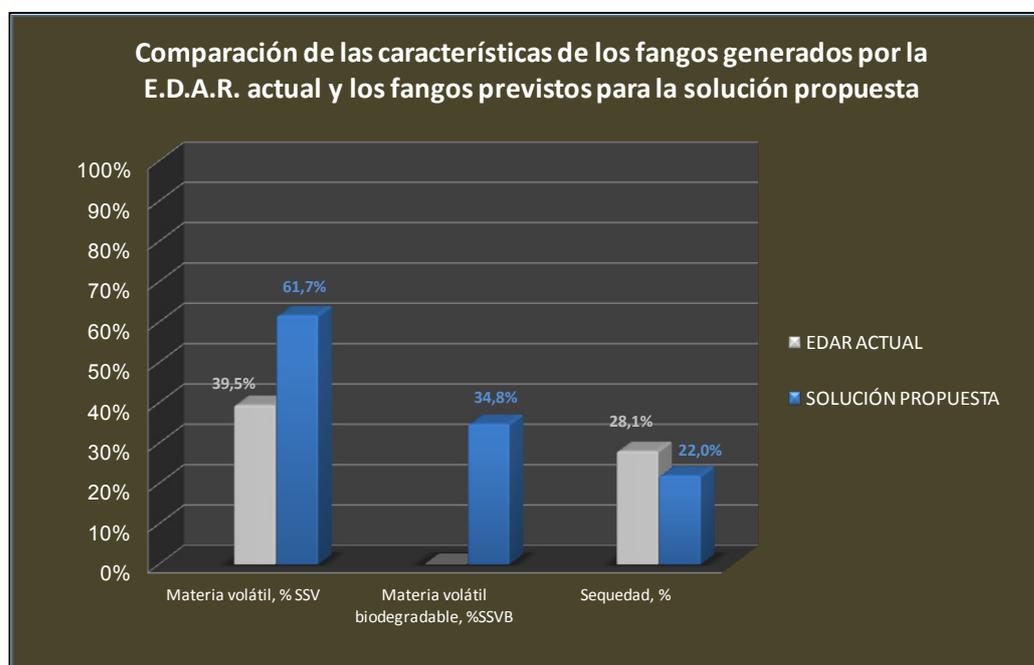


FIGURA 81. Comparación entre las características de los fangos generados en la E.D.A.R. actual y las características de los fangos previstos por la solución propuesta para ampliación de la E.D.A.R. de Moraira. (Elaboración propia).

De acuerdo a los resultados obtenidos, se espera que con la solución de sistema de tratamiento propuesto para la ampliación soterrada de la E.D.A.R. de Moraira mejore sustancialmente la calidad del efluente, en particular en lo referente a un vertido con menores concentraciones de nitrógeno total, materia orgánica y sólidos en suspensión, que lo hacen adecuado tanto para su vertido al mar, mediante emisario submarino, como para poder ser reutilizado para riego de parques y jardines de pública concurrencia.

Por otra parte, el fango generado por la solución propuesta es el resultante de una combinación de procesos biológicos y químicos, siendo la parte del tratamiento biológico la que lo hace más idóneo para ser utilizado posteriormente con fines agrícolas que el fango que se genera actualmente en la E.D.A.R. resultante de un tratamiento físico-químico, sin contenido en materia biodegradable.

Con todo ello se da por concluido el presente trabajo final de máster en Ingeniería ambiental, con especialización en dirección de estaciones depuradoras de aguas residuales y se somete a un tribunal para su valoración.

En Valencia, a 1 de julio de 2014.

Autora del trabajo:

María José Giménez Ascaso

BIBLIOGRAFÍA

9 BIBLIOGRAFÍA

9.1 BIBLIOGRAFÍA

- **ARÉVALO VILCHES, Juan. 2011.** Aplicación de Biorreactores de Membrana al agua residual urbana: Consideraciones para la modificación de los parámetros de proceso. [Tesis doctoral]. s.l. : Universidad de Granada, 2011. ISBN: 978-84-695-1046-9.
- **AYUNTAMIENTO DE TEULADA. 2002.** Plan General del Término Municipal de Teulada. *Plano de Clasificación del suelo.* 2002.
- **BORRERO, Lara y ANDRÉS, Jaime. 2002.** *Eliminación de nutrientes mediante procesos de membrana.* [Tesis Doctoral]. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, 2002.
- **CALAGUA.** PROGRAMA DESASS 1.1 (Design and simulation of activated sludge systems).
- **FERRER POLO, José y SECO TORRECILLAS, Aurora. 2011.** *Introducción a los tratamientos de aguas.* s.l. : UPV, 2011. 309.
- **—. 2003.** *Tratamientos biológicos de aguas residuales.* Valencia : Universidad Politécnica de Valencia, 2003. ISBN: 84-9705-466-0.
- **—. 2006.** *Tratamientos físicos y químicos de aguas residuales.* Valencia : Universidad Politécnica de Valencia, 2006.
- **GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA DE PRESIDÈNCIA I AGRICULTURA, PESCA, ALIMENTACIÓ I AIGUA. ENTITAT DE SANEJAMENT D'AIGÜES (EPSAR). 2.006.** Vielca Ingenieros, S.A. *Pliego de bases técnicas para el concurso de proyecto y ejecución de obra del tratamiento terciario de la E.D.A.R. de Moraira (Alicante) e instalaciones de reutilización de agua tratada.* septiembre de 2.006.

- **HENZE, M., y otros. 1999.** *Activated Sludge Model No.2d.* s.l. : Water Science and Technology, 1999.
- **HERNÁNDEZ MUÑOZ, Aurelio. 2001.** *Depuración y Desinfección de Aguas Residuales.* 5ª Edición. Madrid : Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2001.
- **METCALF & EDDY. 1.996.** *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización.* [ed.] McGraw-Hill. 3ª edición. 1.996. pág. 752.
- **—. 2003.** *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.* 4th Ed. Boston : McGraw-Hill, 2003.
- **MOLINA MUÑOZ, Marisa. 2007.** Estudio de los procesos microbianos implicados en el tratamiento de aguas residuales urbanas mediante biorreactores de membrana sumergida. [Memoria para obtener el doctorado europeo]. s.l. : Editorial de la Universidad de Granada, 2007. ISBN: 978-84-338-4288-6.
- **MORALES RODRÍGUEZ, Míriam. 2010.** *Filtrabilidad de suspensiones microbianas en biorreactores de membrana.* [Tesis doctoral]. s.l. : Servicio de publicaciones Universidad de La Laguna, 2010. ISBN: 978-84-7756-969-5.
- **SÁNCHEZ RAMÍREZ, Javier Eduardo. 2008.** Estudio estadístico para la obtención de las relaciones necesarias entre parámetros analíticos de las aguas residuales para su caracterización según los modelos matemáticos de fangos activados. [Tesina de Máster]. Valencia : Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de ingeniería hidráulica y medio ambiente, Noviembre de 2008.
- **SECO, Aurora, y otros. 2004.** *Biological Nutrient Removal Model No.1 (BNRM1).* s.l. : Water Science and Technology, 2004.

9.2 RECURSOS WEB

- **AGUAS DEL MARE NOSTRUM, S.L.** Tratamientos del agua y depuración. [En línea] [Citado el: 8 de agosto de 2012.] <http://www.tratamientosdelaguaydepuracion.es/contacto.html>.
- **DIPUTACIÓN DE ALICANTE. OFICINA VIRTUAL. 2013.** Sede electrónica. Oficina virtual de la Diputación de Alicante. Consultas BOP. *Boletín Oficial de la Provincia de Alicante, BOP*. [En línea] 2013. [Citado el: 9 de julio de 2013.] <http://ov.dip-alicante.es/>.
- **GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA D' INFRAESTRUCTURES, TERRITORI I MEDI AMBIENT. 2014.** Territorio y Medio ambiente. Sistema de información territorial. [En línea] 2014. [Citado el: 29 de enero de 2014.] <http://www.cma.gva.es/web/indice.aspx?nodo=1130&idioma=C>.
- **GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA DE PRESIDÈNCIA I AGRICULTURA, PESCA, ALIMENTACIÓ I AIGUA. 2013.** *Diario Oficial de la Comunitat Valenciana, DOGV*. [En línea] 2013. [Citado el: 9 de julio de 2013.] http://www.docv.gva.es/portal/index_es.html.
- **—. 2003.** Agua. Participación pública. II Plan Director de Saneamiento y Depuración de la Comunidad Valenciana. [En línea] Septiembre de 2003. [Citado el: 28 de junio de 2013.] <http://www.agricultura.gva.es/agua/participacion-publica/ii-pii-plan-director-de-saneamiento-de-la-comunidad-valenciana>.
- **GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA DE PRESIDÈNCIA I AGRICULTURA, PESCA, ALIMENTACIÓ I AIGUA. ENTIDAT DE SANEJAMENT D'AIGÜES (E.P.S.A.R.). 2014.** Instalaciones en servicio. Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR). [En línea] 2014. [Citado el: 26 de enero de 2014.] <http://www.epsar.gva.es/sanejament/instalaciones/edar.aspx?id=399>.

- **GOBIERNO DE ESPAÑA. MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD. SECRETARÍA DE ESTADO DE ECONOMÍA Y APOYO A LA EMPRESA. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). 2013.** Cifras oficiales de población resultantes de la revisión del Padrón municipal a 1 de enero de 2013. [En línea] 2013. [Citado el: 26 de enero de 2014.] <http://www.ine.es/jaxi/tabla.do?path=/t20/e260/a2013/I0/&file=mun03.px&type=pcaxis&L=0>.
- **—.** 2013. Nomenclátor: Población del Padrón Continuo por Unidad Poblacional. [En línea] 2013. [Citado el: 26 de enero de 2014.] http://www.ine.es/nomen2/index.do?accion=busquedaAvanzada&entidad_amb=no&codProv=03&codMuni=128&codEC=0&codES=2&codNUC=16&L=0.
- **GOBIERNO DE ESPAÑA. MINISTERIO DE HACIENDA Y ADMINISTRACIONES PÚBLICAS. SECRETARÍA DE ESTADO DE HACIENDA. DIRECCIÓN GENERAL DEL CATASTRO. 2014.** Sede electrónica del catastro. [En línea] 2014. [Citado el: 29 de enero de 2014.] <https://www1.sedecatastro.gob.es/OVCFrames.aspx?TIPO=CONSULTA>.
- **GOBIERNO DE ESPAÑA. MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA. AGENCIA ESTATAL BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. LEGISLACIÓN IBERLEX. 2013.** *Boletín Oficial del Estado, BOE*. [En línea] 2013. [Citado el: 28 de junio de 2013.] http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases_datos/iberlex.php.
- **GOOGLE. 2012.** Google Maps. [En línea] 2012. [Citado el: 1 de febrero de 2012.] <http://maps.google.es/maps?hl=es&tab=wl>.
- **KOCH MEMBRANE SYSTEMS.** Membrane Products. Hollow fiber Membranes. Ultrafiltración. PURON® MBR Series. [En línea] [Citado el:

17 de noviembre de 2013.] <http://www.kochmembrane.com/Membrane-Products/Hollow-Fiber/Ultrafiltration/PURON-Series.aspx>.

- **RED MADRILEÑA DE TRATAMIENTOS AVANZADOS PARA AGUAS RESIDUALES CON CONTAMINANTES NO BIODEGRADABLES (REMTAVARES). 2007.** El agua de Madri+d. [En línea] 2007. [Citado el: 6 de abril de 2014.] <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2007/04/12/63351>.
- **TROJAN TECHNOLOGIES. TROJAN UV WATER CONFIDENCE.** [En línea] [Citado el: 07 de 02 de 2014.] <http://trojanuv.com/es/>.
- **UNIÓN EUROPEA. OFICINA DE PUBLICACIONES. PORTAL EUR-LEX. 2013.** El acceso al derecho de la Unión Europea. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas, DOCE*. [En línea] 2013. [Citado el: 28 de junio de 2013.] <http://eur-lex.europa.eu/>.
- **WESTLAW_ARANZADI. 2010.** [En línea] 2010. [Citado el: 12 de Abril de 2010.] http://www.westlaw.es/index_spa.html.

DISEÑO DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO PARA LA
AMPLIACIÓN SOTERRADA DE LA E.D.A.R. EXISTENTE EN
MORAIRA (ALICANTE)

ANEJOS

