

INFLUÊNCIA DA INTRUSÃO MARINHA NUMA ETAR.

O caso da ETAR do Ave.

ALEJANDRO HERNÁNDEZ MANZANO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor José Carlos Tentúgal Valente

Co-Orientador: Professor Doutor Cheng Chia-Yau

JULHO DE 2012

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446



miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



feup@fe.up.pt



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

A mi familia.

“Lo que sabemos es una gota de agua; lo que ignoramos es el océano.”

Isaac Newton

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor José Carlos Tentúgal Valente por ter aceite a minha sugestão para participar na orientação deste trabalho e pela sua disponibilidade no decorrer da sua realização.

Ao Professor Doutor Cheng Chia-Yau pela ajuda oferecida como co-orientador, e pelas críticas e sugestões.

Às Águas do Noroeste, e em especial ao Eng. Adriano Magalhães, responsável do Centro Operacional do Cávado, que me permitiu o acesso às instalações e fez-me sentir como sendo mais um elemento da equipa do trabalho.

À empresa Efacec, empresa responsável na exploração da ETAR do Ave, por me permitir o acesso à ETAR do Ave e aos dados presentes neste trabalho.

Ao Eng. Vasco Braga, responsável da exploração da ETAR do Ave, e a toda a equipa de trabalho da planta pela infindável disponibilidade, e pela ajuda oferecida para resolver qualquer dúvida.

Aos meus amigos que fizeram deste ano algo memorável, e em especial ao André Coutinho, que me transferiu tudo o que sabe em relação à “vida” na FEUP e no Porto.

À minha Família, por me ter proporcionado as condições necessárias para viver um ano noutro país, conhecer outra cultura e desfrutar de este curso que vai ficar, para mim, inesquecível.

RESUMO

A ETAR do Ave é uma nova instalação, está no segundo ano de exploração, que recolhe as águas residuais das populações da Vila do Conde e da Póvoa de Varzim. Ocasionalmente chegam águas residuais contaminadas pela intrusão marinha e provocam alterações nos processos de tratamento.

Este trabalho tenta analisar os motivos desta intrusão marinha, os efeitos na estação de tratamento, e apresentar soluções que arranjem este problema.

Primeiro foi feita uma pesquisa bibliográfica e encontrou-se que este é um problema común nas ETAR costeiras, mas é um problema ainda em estudo. Nesta pesquisa encontraram-se exemplos em Portugal e na Espanha, na Región de Murcia.

Neste estudo descrevem-se os elementos presentes na estação de tratamento, as etapas para depurar a água residual e as condições de descarga ao Rio Ave.

Analizam-se os períodos das marés vivas, fevereiro-março e agosto-setembro, e um mes normal, o mes de maio. Nestes períodos estudam-se a altura de onda, as precipitações e a condutividade na ETAR para estabelecer uma relação entre a intrusão marinha e a condutividade.

Descrevem-se os efeitos da intrusão marinha na ETAR mediante os comunicados de ocorrência mais importantes apresentados com as fotografias correspondentes para ter uma melhor visão do problema. Os efeitos mais importantes denotam-se so tratamento biológico e na decantação secundária.

Finalmente se estudam as soluções para minimizar os efeitos da intrusão marinha e manter o funcionamento correto dos processos de tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: ETAR, intrusão marinha, condutividade, tratamento biológico, fuga de sólidos.

ABSTRACT

The “ETAR do Ave” is a new waste water treatment plant, WWTP, in its second year of exploration, that treats the wastewaters from the populations of Póvoa de Varzim and Vila do Conde. Sometimes it receives contaminated wastewaters, with high concentrations of salt, and it causes some problems in the treatment process.

This study tries to analyze why this problem appears, what are the effects in the waste water treatment plant, and which are the possible solutions.

First we made a literature search and found that this is a common problem in coastal WWTP, but it is an issue still under study. There are some examples in Portugal and Spain, in the “Región de Murcia”.

In this study we describe the elements that we have in the waste water treatment plant, the steps for purifying the waste water and the discharge conditions in the Ave River.

There were analyzed the spring tide periods, February-March and August-September, and another month, May. In these periods we study the wave height, rainfalls and conductivity in the waste water treatment plant for founding a relation-ship between conductivity and sea tides.

We describe the effects of contaminated waste water in the treatment station by the most important reports they have, presented with some photos for having a better idea of the problem. The most important effects are denoted in the biological treatment and second decantation.

Finally we set out some solutions to minimize these effects and keep the equipment in working order.

KEYWORDS: WWTP, sea intrusion, conductivity, biological treatment, escape of solids.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1. INTRODUCCIÓN	 1
1.1. HISTORIA DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	1
1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	1
 2. CONCEPTOS BÁSICOS	 3
2.1. ESQUEMA GENERAL DE DEPURACIÓN	3
2.1.1. PRETRATAMIENTO.....	4
2.1.2. TRATAMIENTO PRIMARIO	4
2.1.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO	4
2.1.4. TRATAMIENTO TERCIARIO	4
2.2. SALINIDAD EN AGUAS RESIDUALES	5
2.2.1. SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (TDS).....	5
2.2.2. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE).....	5
2.2.3. IONES.....	5
2.3. SALINIDAD LAS AGUAS RESIDUALES DE CIUDADES COSTERAS	6
2.3.1. INTRUSIÓN MARINA.....	6
2.3.2. ACHIQUES	6
2.3.3. SALINIDAD DEL AGUA DE ABASTECIMIENTO	7
2.3.4. ACTIVIDADES DOMÉSTICAS	7
2.3.5. SALINIDAD DE ORIGEN INDUSTRIAL	7
2.4. TIPOS DE TRATAMIENTOS SECUNDARIOS.....	7
2.4.1. CONVENCIONAL	8
2.4.2. SBR (REACTOR BIOLÓGICO SECUENCIAL)	8
2.4.3. MBR (REACTOR BIOLÓGICO DE MEMBRANA)	9
 3. ETAR DEL RIO AVE	 11
3.1. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO.....	11

3.2. ETAPAS DE TRATAMIENTO	13
3.2.1. TRATAMIENTO PRELIMINAR	14
3.2.1.1. Elevación inicial	14
3.2.1.2. Desbaste.....	14
3.2.1.3. Desarenado/Desengrasado.....	14
3.2.2. DECANTACIÓN PRIMARIA.....	14
3.2.3. TRATAMIENTO BIOLÓGICO	15
3.2.3.1. Tanque de contacto.....	15
3.2.3.2. Tanque anóxico	15
3.2.3.3. Tanque de aireación	15
3.2.4. DECANTACIÓN SECUNDARIA.....	16
3.2.5. FILTRACIÓN	16
3.2.6. DESINFECCIÓN.....	16
3.2.7. REUTILIZACIÓN.....	17
3.3. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA	17
3.3.1. SISTEMA DE RECOGIDA.....	17
3.3.2. SALINIDAD VARIABLE	18

4. IMPLICACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD EN EL TRATAMIENTO	31
4.1. SITUACIÓN ACTUAL	31
4.2. ORÍGENES DE LA SALINIDAD EN LAS AGUAS RESIDUALES EN LA REGIÓN DE MURCIA	32
4.2.1. INTRODUCCIÓN	32
4.2.2. SALINIDAD EN EFLUENTES DE LAS ETAR	32
4.2.3. SALINIDAD POR INTRUSIONES DE AGUAS SALOBRES AL ALCANTARILLADO	34
4.2.3.1. Intrusión marina	34
4.2.3.2. Achiques	35
4.2.4. SALINIDAD DEL AGUA DE ABASTECIMIENTO.....	35
4.2.4.1. Salinidad del agua de fuentes propias	36
4.2.5. INCREMENTO DE SALINIDAD POR ACTIVIDADES DOMÉSTICAS	36
4.2.6. SALINIDAD DE ORIGEN INDUSTRIAL	36
4.2.7. BALANCE GLOBAL DE SALES EN LA REGIÓN DE MURCIA	40

4.2.8. ACTUACIONES DE LUCHA CONTRA LA SALINIDAD	42
4.2.8.1. Abastecimiento	42
4.2.8.2. Uso doméstico.....	43
4.2.8.3. Industrias	43
4.2.8.4. Intrusiones al alcantarillado.....	43
4.2.8.5. Achique de aguas freáticas	44
4.2.9. CONCLUSIONES	44
4.3. LA REALIDAD DE LA “ETAR DO AVE”	45
4.3.1. INTRODUCCIÓN	45
4.3.2. CONTROL ANALÍTICO	45
4.3.3. COMUNICADOS DE OCURRENCIA	47
4.3.3.1. Comunicado de ocurrencia correspondiente al 7 de octubre de 2010	47
4.3.3.2. Comunicado de ocurrencia correspondiente a los días 29/30 de noviembre de 2010.....	48
4.3.3.3. Comunicado de ocurrencia correspondiente al 14 de diciembre de 2010.....	49
4.3.3.4. Comunicado de ocurrencia correspondiente al 22 de diciembre de 2010.....	50
4.3.3.5. Comunicado de ocurrencia correspondiente al 1/2 de junio de 2011.....	51
4.3.3.6. Comunicado de ocurrencia correspondiente al 7 de junio de 2011.....	53
4.3.3.7. Comunicado de ocurrencia correspondiente al 14 de junio de 2011.....	53
4.3.3.8. Comunicado de ocurrencia correspondiente al 5 de julio de 2011	55
4.3.3.9. Comunicado de ocurrencia correspondiente al 27-30 de septiembre de 2011	56
 5. ACCIONES PARA MINIMIZAR LOS EFECTOS	 59
5.1. DETECCIÓN DE LA INTRUSIÓN SALINA	59
5.2. EVOLUCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO.....	60
5.2.1. LOCALIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	60
5.2.2. TRATAMIENTO EN LA ETAR	61
5.2.3. POSIBLES MEJORAS	64
 6. SISTEMA DE ALERTA.....	 67
6.1. INTRODUCCIÓN.....	67
6.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ALERTA.....	67
6.3. PRIMERA SEMANA DE FUNCIONAMIENTO	69

BIBLIOGRAFÍA	71
---------------------------	-----------

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.2.1. – Esquema general de depuración	3
Fig.2.2. – Tratamiento biológico convencional.....	8
Fig.2.3. – Reactor biológico convencional (SBR).....	9
Fig.2.4. – MBR con membranas sumergidas.....	10
Fig.2.5. – MBR con membranas externas.....	10
Fig.3.1. – Esquema general de tratamiento	14
Fig.3.2. – Conductímetro portátil.....	19
Fig.3.3. – Comparativas 15-2-2011 a 15-3-2011 (conductividad y altura de ola).....	20
Fig.3.4. – Comparativas 15-2-2011 a 15-3-2011 (pluviosidad).....	21
Fig.3.5. – Detalle 0-200 horas (conductividad y altura de ola).....	21
Fig.3.6. – Detalle 0-200 horas (pluviosidad)	22
Fig.3.7. – Detalle 500-700 horas (conductividad y altura de ola).....	22
Fig.3.8. – Detalle 500-700 horas (pluviosidad)	23
Fig.3.9. – Comparativas 15-8-2011 a 15-9-2011 (conductividad y altura de ola).....	24
Fig.3.10. – Comparativas 15-8-2011 a 15-9-2011 (pluviosidad).....	24
Fig.3.11. – Detalle 300-500 horas (conductividad y altura de ola).....	25
Fig.3.12. – Detalle 300-500 horas (pluviosidad)	25
Fig.3.13. – Detalle 600-800 horas (conductividad y altura de ola).....	26
Fig.3.14. – Detalle 600-800 horas (pluviosidad)	26
Fig.3.15. – Comparativas 1-5-2011 a 31-5-2011 (conductividad y altura de ola).....	27
Fig.3.16. – Comparativas 1-5-2011 a 31-5-2011 (pluviosidad).....	27
Fig.3.17. – Detalle 300-500 horas (conductividad y altura de ola).....	28
Fig.3.18. – Detalle 300-500 horas (pluviosidad)	28
Fig.3.19. – Detalle 600-700 horas (conductividad y altura de ola).....	29
Fig.3.20. – Detalle 600-700 horas (pluviosidad)	29
Fig.4.1. – CE media anual ETAR de Murcia	33
Fig.4.2. – Porcentaje de volumen por intervalos de salinidad	34
Fig.4.3. – Conductividad eléctrica y aporte total de sales en sectores industriales.....	38
Fig.4.4. – Principales iones	39
Fig.4.5. – Porcentaje de sales vertidas	39
Fig.4.6. – Aporte de sales	40

Fig.4.7. – Porcentaje de salinidad aportada.....	42
Fig.4.8. – Programa de control analítico del laboratorio interno	46
Fig.4.9. – Presencia de tensioactivos en la elevación inicial de la ETAR	48
Fig.4.10. – Presencia de tensioactivos en la entrada del tratamiento biológico	48
Fig.4.11. – Presencia de tensioactivos en el tratamiento biológico	49
Fig.4.12. – Presencia de tensioactivos en la elevación inicial de la ETAR	50
Fig.4.13. – Presencia de grasas en el desbaste	51
Fig.4.14. – Presencia de espuma blanquecina en el reactor biológico.....	52
Fig.4.15. – Presencia de espuma blanquecina en el reactor biológico.....	52
Fig.4.16. – Presencia de tensioactivos en la cámara intermedia de la elevación inicial.....	54
Fig.4.17. – Presencia de tensioactivos en el reactor biológico	54
Fig.4.18. – Presencia de gran cantidad de espumas en el reactor biológico.....	55
Fig.4.19. – Detalle de las espumas presentes en el reactor biológico	55
Fig.4.20. – Algas marinas presentes en la EE de Forte	56
Fig.4.21. – Algas marinas presentes en la EE de Forte	57
Fig.5.1. – Comparativa conductividad vs SST de septiembre de 2011	63
Fig.5.2. – Situación actual	65
Fig.5.3. – Situación futura con la obra de interconexión	66
Fig.6.1. – Conductímetro EE Vila do Conde.....	68
Fig.6.2. – Conductímetro EE Molhe Sul	69
Fig.6.3. – Data-logger asociado a uno de los conductímetros.....	69
Fig.6.4. – Comparativa Conductividad vs Altura de ola	70

ÍNDICE DE CUADROS (O TABLAS)

Tabla 2.1. – Iones que intervienen en la salinidad	5
Tabla 3.1. – Características de las aguas residuales	11
Tabla 3.2. – Perfil de temperaturas de las aguas residuales brutas	12
Tabla 3.3. – Parámetros de calidad del agua tratada	12
Tabla 3.4. – Energía recuperada por la planta.....	13
Tabla 3.5. – Infraestructura “da Baixa”	17
Tabla 3.6. – Infraestructura “da Alta”	18
Tabla 4.1. – Volumen de intrusiones marinas y achiques	35
Tabla 4.2. – Salinidad del agua de abastecimiento	35
Tabla 4.3. – Conductividad por sectores industriales	36
Tabla 4.4. – Cantidades aportadas por los sectores industriales	37
Tabla 4.5. – Origen de las sales vertidas al alcantarillado.....	40
Tabla 4.6. – Lecturas de la conductividad en la ETAR y las EE.....	47
Tabla 4.7. – Lecturas de la conductividad en la ETAR y las EE.....	50
Tabla 4.8. – Lecturas de la conductividad en la ETAR y las EE.....	53
Tabla 4.9. – Conductividad del efluente bruto.....	56

1

INTRODUCCIÓN

1.1. HISTORIA DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de las aguas residuales se remonta a la antigüedad, tenemos los casos de algunos lugares prehistóricos de Creta, o de las antiguas ciudades asirias donde se han encontrado instalaciones de alcantarillado.

Ya entrados en la época romana, existían canales en las calles cuya función principal era el drenaje, aunque se extendiera la costumbre de arrojar los desperdicios a los mismos, lo que significaba que con las aguas de escorrentía viajaban grandes cantidades de materia orgánica.

Hacia finales de la edad media empezaron a usarse en Europa excavaciones subterráneas privadas, y más tarde, letrinas. En el momento en que éstas estaban llenas, unos obreros vaciaban el lugar en nombre del propietario y aprovechaban los residuos como fertilizante para los campos y cultivos, o también cabía la posibilidad de verterlo a los cursos de agua más cercanos.

Unos siglos más tarde, se recuperó la costumbre de construir desagües, en su mayor parte en forma de canales al aire libre o zanjás. Al principio estaba prohibido arrojar desperdicios en ellos, pero en el siglo XIX se aceptó que la salud pública podía salir beneficiada si se eliminaban los desechos humanos a través de los desagües para conseguir su rápida evacuación.

Con la introducción del abastecimiento municipal de agua y la instalación de cañerías en las casas, llegaron los inodoros y los primeros sistemas sanitarios modernos. Aunque había muchas reservas al respecto, fueron muchas las ciudades que lo implantaron.

Finalmente, es a finales del siglo XX cuando comienza a reconocerse que a pesar de la capacidad que tiene el agua de auto depurarse, el vertido directo al agua de los desechos provoca la aparición de problemas sanitarios, lo que conlleva la construcción de instalaciones de depuración. Inicialmente se comenzó con las fosas sépticas para el tratamiento de las aguas residuales domésticas. Es a partir de la segunda década del siglo XX cuando se desarrolla el proceso del lodo activado, que supuso una mejora significativa en el tratamiento y se extendió por todo el mundo.

Actualmente, desde la década de 1970, el camino va enfocado en una combinación de tratamientos físico-químicos que permiten alcanzar la calidad de agua deseada.

1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Este trabajo se centra en el estudio del caso de una estación de tratamiento de aguas residuales, la “ETAR do Ave”. Es una estación depuradora dimensionada para tratar aguas residuales de origen

doméstico e industrial, y con una capacidad para servir a una población equivalente superior a 250.000 habitantes en época alta, y de 180.000 habitantes en la época baja.

A esta estación de tratamiento llegan, principalmente, las aguas residuales de las poblaciones de Póvoa de Varzim y Vila do Conde. El sistema de recogida consta de una red de tuberías situadas en la línea costera en la que existen un conjunto de 19 estaciones elevatorias que se encargarán de llevar el agua residual hasta la estación depuradora, situada al lado del río Ave en la parroquia de Tougués.

Durante el tiempo que la estación depuradora lleva en funcionamiento se ha observado que en momentos puntuales del año, el agua residual que llega a la estación de tratamiento contiene un alto contenido de sales, provocando la muerte de la biocenosis que se encuentra en el reactor biológico, y por tanto, disminuyendo la calidad del agua depurada.

El objetivo principal de este estudio va a consistir en conocer las causas por las que se produce este fenómeno intermitente, buscar información de casos similares, y una vez analizado el fenómeno, encontrar una solución adecuada al problema.

2

CONCEPTOS BÁSICOS

2.1. ESQUEMA GENERAL DE DEPURACIÓN

El objetivo de las estaciones de tratamiento de aguas residuales es simple, consiste en transformar el agua sucia que llega a ellas, también llamada Agua Bruta, en agua limpia o Agua Tratada.

Las etapas que sigue el proceso de depuración varían de forma bastante importante en función del tamaño de la población, aunque de una forma general quedan representadas en la figura 2.1.

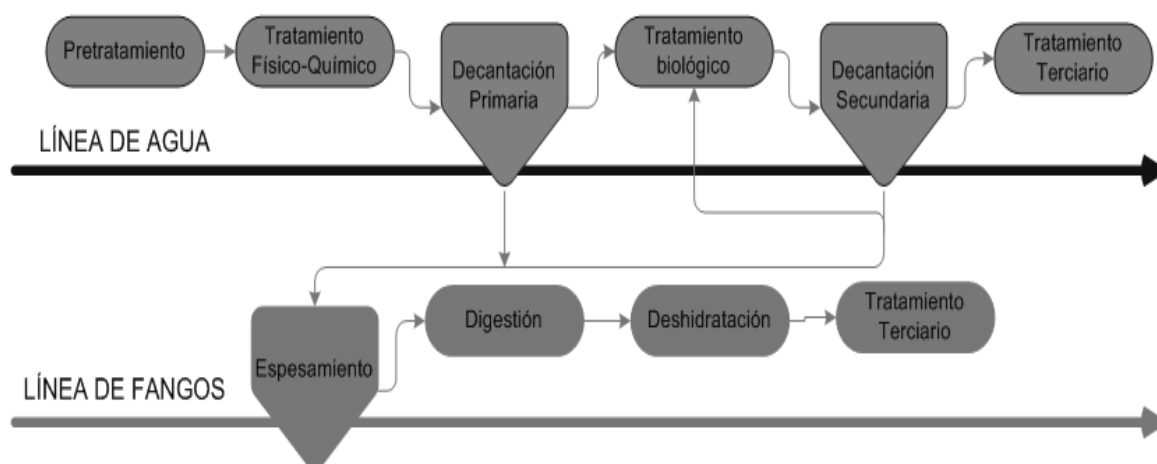


Fig. 2.1. – Esquema general de depuración.

En una estación de tratamiento podemos distinguir dos líneas de tratamiento, una será la línea de agua y la otra es la línea de fangos, como indica la figura anterior. En este caso nos centraremos en la línea de agua, ya que es el objeto de nuestro estudio.

Dentro de la línea de agua, distinguiremos las siguientes etapas:

- Pretratamiento;
- Tratamiento primario;
- Tratamiento secundario;
- Tratamiento terciario;

Es necesario apuntar que el agua que sale de las estaciones de tratamiento no está totalmente depurada, ya que la depuración total se alcanzará a lo largo del transcurso del agua donde se realiza el vertido, ya sea río, mar...

Todos los lodos obtenidos en la línea de agua serán tratados en la correspondiente línea de fangos a través de los procesos descritos en la figura anterior.

Las etapas principales son descritas brevemente a continuación.

2.1.1. PRETRATAMIENTO

Su objetivo básico es eliminar todas las materias gruesas y/o visibles que lleva el agua residual. Si estas materias pasan a las etapas posteriores pueden generar problemas y un deficiente funcionamiento de los procesos.

Aquí se eliminarán principalmente residuos sólidos, partículas discretas sedimentables o arenas, grasas, flotantes y espumas.

Las operaciones que comprende son desbaste, desarenado y desengrasado, aunque se pueden incluir otros como tamizado, predecantación, etc.

2.1.2. TRATAMIENTO PRIMARIO

En esta etapa se busca la reducción de los sólidos en suspensión, SS, principalmente los sedimentables. Se reducirán también la turbidez y DBO₅, debido a que parte de los SS son materia orgánica, M.O., y también se conseguirá eliminar algo de contaminación bacteriológica.

Dentro de este proceso unitario se pueden incluir los tratamientos físico-químicos y la decantación primaria.

2.1.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO

Su objetivo básico consiste en reducir la M.O. disuelta. El tratamiento básico es biológico. El proceso se va a basar en el consumo de la materia orgánica por organismos adecuados. Es en esta fase donde se consiguen importantes rendimientos en eliminación de DBO.

Se pueden distinguir varios procesos de tipo biológico, de los cuáles habrá que escoger uno basándonos en las características del agua residual a tratar. También incluye una etapa de decantación.

2.1.4. TRATAMIENTO TERCIARIO

Es una etapa que no tiene por qué encontrarse en todas las estaciones de tratamiento. Normalmente es en esta fase donde se persiguen algunos objetivos específicos, como reducir la contaminación bacteriológica mediante desinfección por radiación ultravioleta, reducir la demanda de oxígeno al nitrificar el N amoniacal, insolubilizar el P para que precipite, etc.

2.2. SALINIDAD EN AGUAS RESIDUALES

La presencia de salinidad en las aguas residuales puede afectar al diseño de las estaciones depuradoras de forma significativa, porque puede crear un efecto inhibitorio sobre la biocenosis del agua dulce e influir en las propiedades de sedimentación de los sólidos.

La salinidad es una magnitud que representa la masa de sales disueltas en una masa de agua, y por lo tanto no tiene unidades. Los métodos para medir la salinidad son muy variados, pero los más utilizados son los siguientes:

- Sólidos totales disueltos (TDS);
- Conductividad eléctrica (CE);
- Iones;

Estos métodos son descritos con brevedad a continuación.

2.2.1. SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (TDS)

Peso de sales disueltas del agua en mg/l obtenidas por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada.

2.2.2. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

Obtenida a partir de la medición de la resistencia eléctrica entre dos electrodos sumergidos en la solución a medir. La unidad utilizada es el Siemens (S) referido a la distancia entre electrodos, y se suele expresar en fracciones de unidad por centímetro: $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La conductividad eléctrica es proporcional a la concentración de sales disueltas, existiendo diferentes fórmulas para el cálculo de los TDS en mg/l a partir de la CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$. La fórmula más general es la siguiente:

$$TDS \text{ mg/l} = CE \text{ } \mu\text{S}/\text{cm} \times 0,64 \quad (2.1)$$

2.2.3. IONES

Se mide a partir de los iones contenidos en el agua de estudio. Se expresan en pesos equivalentes, y las unidades son mg/meq. Los principales iones que intervienen en la salinidad son:

Tabla 2.1. – Iones que intervienen en la salinidad.

Ion	mg/L	Peso molecular	n	Peso equivalente (mg/meq)
Ca^{2+}	80	40,1	2	20,05
Mg^{2+}	30	24,3	2	12,15
Na^{+}	72	23,0	1	23,0
K^{+}	6	39,1	1	39,1
Cl^{-}	100	35,5	1	35,5

SO ₄ ²⁻	201	96,1	2	48,05
HCO ₃ ⁻	165	61,0	1	61,0

El peso equivalente se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Peso equivalente} = \text{Peso atómico (molecular)}/n \quad (2.2)$$

- n: Es la carga iónica, y en el caso de compuestos es el número de iones Hidrógeno que se necesitan para reemplazar el catión.

2.3. SALINIDAD EN LAS AGUAS RESIDUALES DE CIUDADES COSTERAS

Hasta ahora sabíamos que la salinidad de las aguas residuales es un problema serio para las estaciones de tratamiento porque afecta negativamente a los microorganismos que se encargan de eliminar la materia orgánica del agua a tratar.

Después de una búsqueda en profundidad queda comprobado que este problema es muy común en las estaciones depuradoras que tratan el agua de ciudades costeras. Las razones de este fenómeno pueden ser:

- Intrusión marina;
- Achiques;
- Salinidad del agua de abastecimiento;
- Actividades domésticas;
- Salinidad de origen industrial;

Estas posibles razones son descritas brevemente a continuación.

2.3.1. INTRUSIÓN MARINA

Las entradas de agua de mar al alcantarillado ocurren en aquellos municipios costeros donde parte de la red de alcantarillado está por debajo de la cota cero y existen deficiencias en el diseño, ejecución o deterioro de la red. Este fenómeno puede ocurrir durante los ciclos de marea alta, o incluso de forma permanente mediante infiltración salina.

Es muy difícil cuantificar las entradas de este tipo de aguas al alcantarillado, aunque se puede hacer una estimación teniendo en cuenta la diferencia entre el volumen suministrado en abastecimiento y el medido en la entrada de la correspondiente estación de tratamiento de aguas residuales.

2.3.2. ACHIQUES

En ciertas zonas con nivel freático alto, se producen entradas de aguas a los sótanos, siendo necesario su achique para evitar inundaciones. Durante la construcción de inmuebles el agua tiene que ser extraída en las fases de excavación y cimentación. Estas aguas normalmente son evacuadas a la red de alcantarillado.

También en este caso resulta complicado conocer el volumen de agua freática que entra en el alcantarillado, siendo además variable en función de las extracciones y recarga de los acuíferos.

2.3.3. SALINIDAD DEL AGUA DE ABASTECIMIENTO

Puede haber casos en que el agua de abastecimiento tenga un contenido alto de sales, llegando a alcanzar los niveles máximos permitidos.

2.3.4. ACTIVIDADES DOMÉSTICAS

El uso cada vez más extendido de tratamientos de descalcificación domésticos supone un incremento de la salinidad para el agua doméstica.

2.3.5. SALINIDAD DE ORIGEN INDUSTRIAL

También es una de las fuentes que más salinidad pueden aportar, aunque normalmente cada industria posee su propio sistema de tratamiento antes de verter las aguas a la red de alcantarillado. Las cantidades vertidas dependerán del fin de cada industria.

Como podemos comprobar, pueden ser muchas las causas por las que este fenómeno puede ser producido, aunque la razón que más peso tiene es la intrusión marina, siendo a la vez una de las más complicadas de solucionar.

La intrusión marina provoca la entrada en las estaciones de tratamiento de aguas residuales de influentes con valores de salinidad variable, alterando la eficacia de los procesos de depuración y afectando a la cinética microbiana de los reactores biológicos.

El objetivo de nuestro estudio será encontrar soluciones para actuar en aquellos momentos en los que las aguas residuales contienen mayor salinidad, porque son estas variaciones las que provocan una disminución en la eficacia de la actividad microbiana.

2.4. TIPOS DE TRATAMIENTOS SECUNDARIOS

La salinidad variable de las aguas residuales de las ciudades costeras es un problema bastante generalizado, según hemos podido comprobar a partir de la información encontrada. Esta situación se desconocía en el momento de la proyección de la estación depuradora y fue en el proceso de explotación de la misma cuando apareció.

En el momento en que se proyectó la construcción de la estación de tratamiento de aguas residuales de las localidades costeras de Vila do Conde y Póvoa de Varzim existían diferentes soluciones tecnológicas para ejecutar el tratamiento biológico, que es donde actualmente se localiza el problema principal.

Los tratamientos biológicos de aguas residuales son diseñados inicialmente para eliminar la materia orgánica tanto disuelta como suspendida en el agua residual. Es, en general, el método más eficiente y económico de eliminar la contaminación orgánica de las aguas residuales, para ello es necesario optimizar las condiciones ambientales del reactor para favorecer el crecimiento de los microorganismos responsables de la eliminación de la materia orgánica del agua residual, utilizándola como sustrato, para ser eliminada posteriormente en forma de lodos.

De todos los tratamientos biológicos existentes, el sistema de fangos activos del tipo aerobio es el más utilizado. En este tratamiento intervienen microorganismos que crecen utilizando los contaminantes del agua; materia orgánica disuelta y suspendida como fuente de carbono y fuente de energía, y elementos tales como el nitrógeno y el fósforo como nutrientes indispensables para su desarrollo. De

esta forma la carga contaminante se va eliminando y convirtiendo en nuevos microorganismos (así la biomasa se va renovando constantemente), dióxido de carbono y otros compuestos inocuos, asimismo también se elimina nitrógeno y fósforo del agua residual (queda incorporado a la estructura molecular de los microorganismos y se eliminarán con los lodos). Hay que decir que para que tenga lugar el proceso de forma aerobia es necesario mantener una aireación más o menos constante para mantener un nivel suficiente de oxígeno disuelto en el agua y también una concentración adecuada de biomasa. La biomasa sobrante se eliminará por decantación en forma de lodos.

Una vez explicada la idea de este tratamiento biológico, se pueden describir los tipos de tratamiento secundario existentes en el momento en que se procedió al diseño de la estación de tratamiento:

- Convencional;
- SBR (Reactor Biológico Secuencial);
- MBR (Reactor Biológico de Membrana);

Las características de cada uno de estos tipos de tratamiento son definidas a continuación.

2.4.1. CONVENCIONAL

Consiste en un pretratamiento del agua residual, para posteriormente llevarla al reactor biológico donde se producirá la depuración propiamente dicha, y finalmente pasará a un decantador secundario independiente, donde se recogerán los lodos. Queda representado en la figura 2.2.

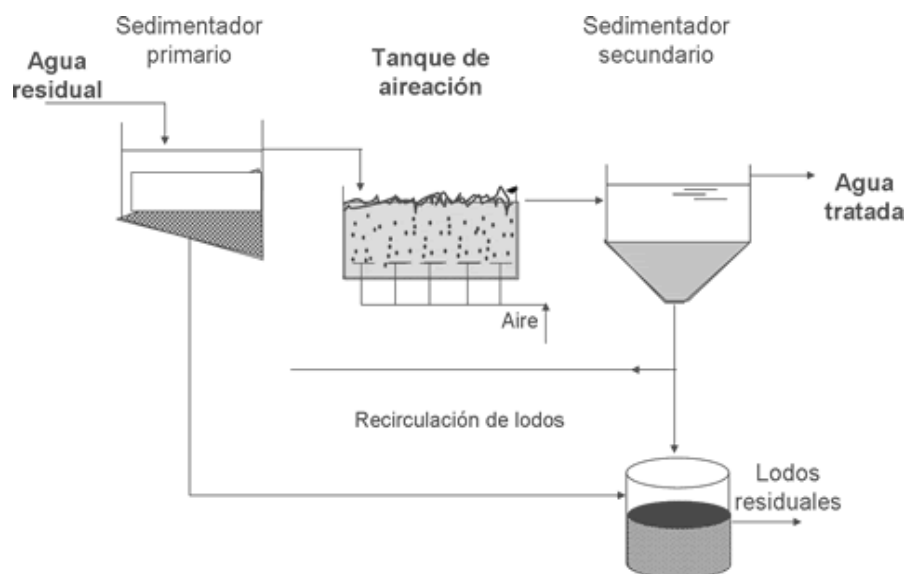


Fig. 2.2. – Tratamiento biológico convencional.

2.4.2. SBR (REACTOR BIOLÓGICO SECUENCIAL)

Un reactor discontinuo secuencial es un sistema de crecimiento suspendido en el que el agua residual se mezcla con un lodo biológico existente en un medio aireado. Es el único proceso biológico en el que se combina en el mismo tanque el proceso de reacción, aeración y clarificación.

Este sistema consta de cuatro procesos cíclicos: llenado, reacción, decantación y vaciado, tanto de efluente como de lodos, y queda representado en la figura 2.3.

El empleo de un único tanque reduce sustancialmente la inversión necesaria.

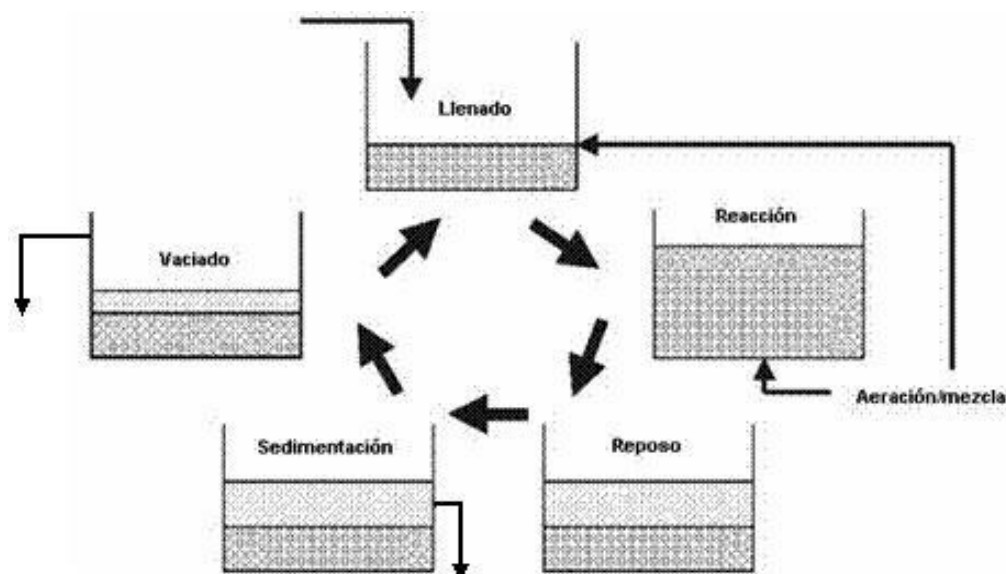


Fig. 2.3. – Reactor Biológico Secuencial (SBR)

2.4.3. MBR (REACTOR BIOLÓGICO DE MEMBRANA)

Este es un sistema que se basa en un proceso convencional de tratamiento de aguas residuales (fangos activos) con la diferencia de que el agua depurada se separa del fango activo por filtración a través de membranas, obteniendo ventajas importantes frente a la separación en los tradicionales decantadores secundarios. Su funcionamiento se basa en que el agua del reactor biológico es filtrada pasando a través de las paredes de una membrana, debido a una pequeña depresión producida por una bomba centrífuga. El agua filtrada es extraída del sistema mientras el fango y los compuestos de tamaño superior al poro de la membrana quedan retenidos y permanecen o retornan al reactor biológico.

Este ciclo se alterna con un corto contra lavado, en el que se invierte el sentido del flujo para limpiar la membrana.

Está formado por dos partes diferenciadas, que serán el reactor biológico y el módulo de membranas.

Se pueden adoptar dos configuraciones diferentes, una con membranas sumergidas (Figura 2.4.), o también con membranas externas (Figura 2.5.). La elección de un sistema u otro dependerá del espacio e instalaciones existentes.

Este sistema es el más idóneo para el tipo de agua residual de nuestro caso, es el sistema más eficiente porque es capaz de retener cualquier sólido en suspensión, el inconveniente más grande es que se necesita una inversión inicial grande.

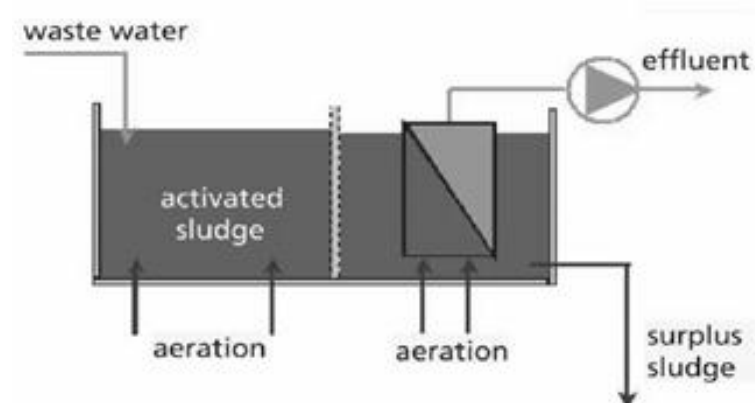


Fig. 2.4. – MBR con membranas sumergidas.

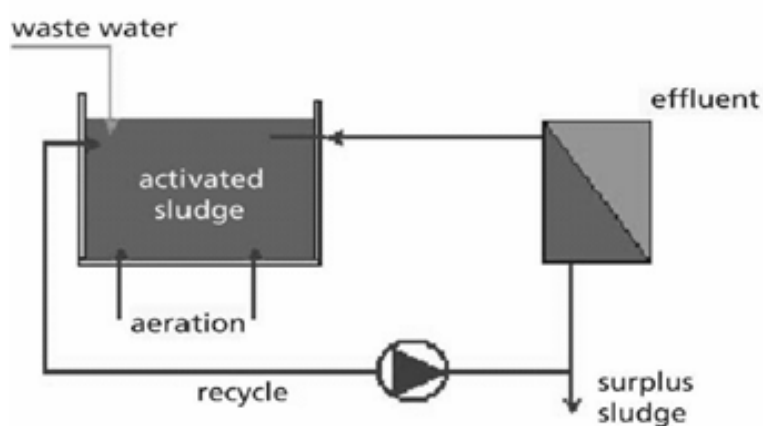


Fig. 2.5. – MBR con membranas externas.

En el momento en que se realizó el proyecto de esta instalación de aguas residuales, se optó por un tratamiento secundario convencional. En este momento, y una vez conocidos los problemas que pueden aparecer en las aguas residuales de ciudades costeras podríamos decir que fue una elección errónea. El tipo de tratamiento que se debería haber instalado en esta estación de tratamiento sería el tipo MBR debido a su gran capacidad de filtración, aunque su principal hándicap fuera el precio.

3

ETAR DEL RIO AVE

3.1. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

La estación de tratamiento de aguas residuales del Ave fue diseñada con valores horizonte previstos para el año 2036. Esta depuradora tiene una capacidad de depuración para una población de hasta 258.000 habitantes equivalentes (correspondientes a la época alta del año 2036).

En términos hidráulicos, la capacidad nominal de la estación depuradora es de 2.941 m³/h, que en valores medios corresponden a 42.935 m³/día. Se ha tenido en cuenta que en las épocas de mayor pluviosidad van a existir días en los que habrá una afluencia excesiva de caudales pluviales. Estos caudales no serán tratados por la ETAR, sino que serán desviados por el circuito *by-pass* general.

Las características de las aguas residuales brutas son las siguientes:

Tabla 3.1. – Características de las aguas residuales.

ÉPOCA ALTA			
	HP 0	HP 3	HP 26
Población			
Población (hab. Eq.)	89.909	249.982	257.557
Caudales			
Caudal Medio Diario (m ³ /d)	14.839	41.003	42.935
Caudal Punta (m ³ /h)	1.053	2.811	2.941
Cargas Contaminantes			
Carga orgánica media en CQO (kg/d)	11.868	32.998	33.997
Carga orgánica media en CBO ₅ (kg/d)	5.175	14.386	14.811
Carga de sólidos media en SST (kg/d)	5.877	16.336	16.811
Carga orgánica media en N _{kj} (kg/d)	1.079	3.000	3.091
Carga orgánica media en P-Total (kg/d)	162	451	464
Concentraciones			

Concentración media en CQO (mg/l)	800	805	792
Concentración media en CBO ₅ (mg/l)	349	351	345
Concentración media en SST (mg/l)	396	398	392
Concentración media en N _{kj} (mg/l)	73	73	72
Concentración media en P-Total (mg/l)	11	11	11

A continuación también se presenta una tabla en la que aparecen datos referentes a las temperaturas medias mensuales de las aguas residuales brutas que llegan a la estación depuradora. Estos valores son determinantes para el dimensionamiento de los procesos del tratamiento biológico:

Tabla 3.2. – Perfil de temperaturas de las aguas residuales brutas.

PERFIL DE TEMPERATURAS	
MES	TEMPERATURA (°C)
Enero	10
Febrero	11
Marzo	11
Abril	14
Mayo	18
Junio	21
Julio	22
Agosto	22
Septiembre	19
Octubre	17
Noviembre	13
Diciembre	10

Finalmente, después de tratar el agua en la estación depuradora, ésta deberá cumplir una serie de características de acuerdo con la vigente ley. La siguiente tabla representa los parámetros de calidad que tiene que alcanzar para descargarla al río Ave:

Tabla 3.3. – Parámetros de calidad del agua tratada.

Parámetro	Concentración
CBO ₅ (mg/l O ₂)	25
CQO (mg/l O ₂)	125
SST (mg/l)	35
Fósforo Total (mg/l)	10

Nitrógeno Total (mg/l)	15
CF (CF/100ml)	2.000

3.2. ETAPAS DE TRATAMIENTO

El proceso de tratamiento adoptado en esta estación de tratamiento consiste en una degradación aerobia de la carga orgánica mediante un sistema de fangos activos, en reactores con una configuración de zanja de oxidación de geometría circular con funcionamiento paralelo, con previa decantación primaria y con un sistema de cogeneración.

Como quedó explicado anteriormente, en cualquier estación depuradora de aguas residuales podemos distinguir dos líneas, la de agua y la de fango. En este caso cobra especial interés la línea de agua, porque es donde se localiza el problema de estudio, y se explica de una forma más detallada a continuación. En la línea de fangos el tratamiento considerado conlleva las etapas de espesamiento/estabilización anaerobia/deshidratación, y presenta algunas ventajas frente a un tratamiento convencional como:

- Lodos perfectamente estabilizados e inodoros para deshidratar;
- Lodos deshidratados con un elevado grado de deshidratación;

La deshidratación mecánica es llevada a cabo mediante máquinas centrífugas porque es la técnica de deshidratación más ventajosa que existe actualmente, consiguiendo mayores concentraciones finales en materia seca, además de ser un equipamiento más limpio y robusto.

A través de la digestión anaerobia se obtienen biogás y biosólidos estabilizados. El biogás producido en la digestión es almacenado en un gasómetro y será utilizado en el proceso de producción de energía de la planta mediante dos grupos de cogeneración. El sistema de recuperación de energía, con un período de funcionamiento estimado en 16 h/d en año horizonte, permite satisfacer las necesidades térmicas de calentamiento del proceso de digestión y suprimir parcialmente las necesidades energéticas de la ETAR. Para conseguir una mayor eficiencia energética, se hará coincidir el horario de funcionamiento de los cogeneradores con el período diario en que la energía sea más cara.

La energía recuperada por este sistema queda resumida en la tabla 3.4. (Dentro de cada año horizonte se distinguen dos épocas, baja y alta):

Tabla 3.4. – Energía recuperada por la planta.

Condiciones de funcionamiento	HP0	HP0	HP3	HP3	HP26	HP26
	EB	EA	EB	EA	EB	EA
Recuperación diaria teórica de energía (kWh/d)	2.972	4.150	7.606	10.500	7.919	10.742

Con el fin de evitar malos olores, la estación de tratamiento cuenta con un sistema de desodorización en aquellas partes donde es necesario, minimizando cualquier impacto ambiental negativo.

En la línea de agua se pueden distinguir varias etapas de tratamiento que permiten conseguir un agua con la calidad deseada. Todas estas etapas son representadas y descritas con detalle a continuación.

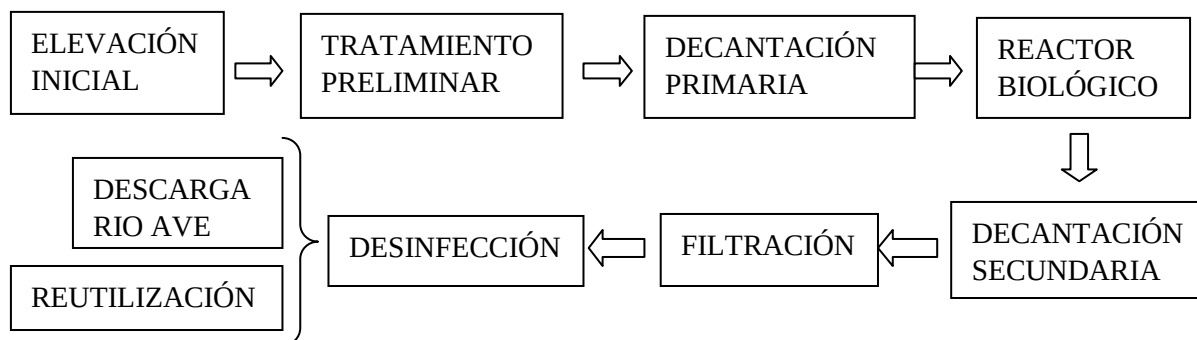


Figura 3.1. – Esquema general de tratamiento.

3.2.1. TRATAMIENTO PRELIMINAR

3.2.1.1. Elevación inicial

Las aguas residuales afluentes están sujetas a una elevación inicial a través de dos etapas de 2 (+1) tornillos de Arquímedes con variación automática de velocidad para garantizar una alimentación lo más continua posible.

La altura de elevación fue calculada de forma que las aguas residuales sean elevadas hasta una cota que permita la circulación por gravedad a lo largo de todos los órganos que componen la fase líquida sin necesidad de una elevación adicional.

3.2.1.2. Desbaste

La operación de desbaste se desarrolla en dos canales de desbaste mecánico dimensionados para el máximo caudal esperado en el año horizonte (HP36). Está dividido en dos etapas, inicialmente habrá un desbaste de gruesos mecanizado con 40 mm de espaciamiento entre barras, seguido de un equipo de desbaste de finos constituido por un tamizador/compactador filtrante rotativo con una malla de 3 mm.

Para efectos de *by-pass* existe un tercer canal idéntico y paralelo a los anteriores, y constituido por una reja de desbaste manual con espaciamiento entre barras de 25 mm.

Está provisto de tres compuertas motorizadas que, dependiendo del caudal afluente, dejarán menor o mayor abertura de manera que garanticen velocidades superiores a 0,3 m/s para evitar la sedimentación de las arenas.

3.2.1.3. Desarenado/Desengrasado

Es un proceso que se instala con el fin de proteger los equipamientos mecánicos del desgaste y evitar la acumulación de arena en los sistemas. En este caso existen tres órganos de desarrollo longitudinal, provistos de aireación para promover el lavado de las arenas y la flotación de aceites y grasas.

3.2.2. DECANTACIÓN PRIMARIA

Después del tratamiento preliminar, las aguas residuales son recogidas en el canal de salida, a partir del cual parten los canales de alimentación de los decantadores primarios.

La decantación primaria está constituida por tres decantadores lamelares, de planta cuadrada. El principio de decantación se basa en la utilización de la fuerza de la gravedad para separar y concentrar los sólidos sedimentables presentes en el agua residual. La utilización de placas superpuestas, donde se deposita la materia en suspensión, aumenta el área de decantación y reduce considerablemente el área del espacio en uso.

La tecnología consiste en una decantación lamelar en contra-corriente, con lamelas inclinadas a 60 ° y con extracción de lodos por medio de raspadores de fondo.

3.2.3. TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Posteriormente a la decantación primaria, las aguas residuales son enviadas a 3 líneas paralelas formadas por reactores biológicos de fangos activos con una configuración de zanjas de oxidación circulares. Cada una de las líneas del tratamiento biológico está compuesta por las siguientes zonas:

- Tanque de contacto (selector);
- Tanque anóxico (o de pre-desnitrificación);
- Tanque de aireación;

Estas zonas son descritas brevemente a continuación.

3.2.3.1. Tanque de contacto

Opera en condiciones anóxicas y en él se realiza una selección de biomasa con buena decantabilidad, controlando la proliferación de las bacterias filamentosas, que dan origen a fangos activos de difícil decantabilidad.

Con el fin de evitar el desarrollo de microorganismos tipo *Nocardia* (bacterias patógenas de baja virulencia), los tanques de contacto carecen de aireación, funcionando en condiciones anóxicas. Pero sí poseen agitadores sumergibles para la manutención de la biomasa en suspensión.

3.2.3.2. Tanque anóxico

Es el lugar donde se realiza la mezcla entre las aguas residuales y la recirculación de licor mezcla rico en nitratos, proveniente de la zona aireada del reactor biológico. En esta zona se crean condiciones cinéticas favorables para el desarrollo del proceso de conversión biológica de los nitratos en nitrógeno atmosférico (desnitrificación).

3.2.3.3. Tanque de aireación

Es aquí donde las aguas residuales son sometidas de forma alterna a condiciones aerobias y anóxicas a través de la disposición de dos zonas de aireación, en las cuáles son instaladas rejillas de difusores. Es en esta zona donde se eliminará la mayor cantidad de materia orgánica contenida en las aguas residuales.

En resumen, cada reactor biológico (excluyendo el volumen de selector) posee un volumen útil de 10.500 m³ con una profundidad de 6,5 m. De este volumen, 20 % es dedicado a la zona de pre-

desnitrificación que consiste en un canal circular con una anchura de 6,5 m. Por otra parte, el tanque de aireación circular posee una anchura de canal de 12 m.

3.2.4. DECANTACIÓN SECUNDARIA

En la estación de tratamiento se encuentran instalados tres decantadores secundarios circulares. La adopción de esta geometría circular se debe a que presenta una mejor relación entre el área superficial (criterio de dimensionamiento) y el perímetro de construcción (coste de inversión) que otro tipo de geometría, además de que los rendimientos de sedimentación son un poco más elevados que en los decantadores con forma rectangular.

Estos decantadores poseen puentes raspadores tanto de fondo como de superficie, que se encargarán de encaminar los fangos decantados a su compartimento correspondiente para proceder a su extracción, y a las espumas para el pozo de bombeo de espumas.

3.2.5. FILTRACIÓN

Posteriormente a la decantación secundaria, el efluente secundario sufre una etapa de filtración por medio de microtamización, para reducir la concentración de los sólidos en suspensión. El efluente tamizado de poseer una concentración máxima de sólidos en suspensión de 20 mg/L.

Esta etapa está constituida por dos líneas de tratamiento, cada una con 1 microtamizador de tipo de discos filtrantes, con una malla de 30 μm .

Esta filtración se realiza en el sentido de adentro hacia afuera, quedándose los sólidos retenidos en las telas filtrantes que recubren las paredes interiores de los discos. Cuando estas mallas se colmatan, se procede al lavado de las mismas mediante la circulación de agua en sentido contrario.

En régimen normal, el conjunto de los discos está parcialmente sumergido, cerca del 60%, y la pérdida de carga varía entre 50 y 200 mm, siendo permitida en operación continua la pérdida de carga máxima de 300 mm.

Cada tamizador incluye un *by-pass* para que en situaciones anormales se eviten daños sobre las telas de filtración, provocados por el exceso de carga hidráulica.

3.2.6. DESINFECCIÓN

La desinfección final del efluente proveniente de la etapa de filtración a través de los microtamizadores, es realizada a través de rayos ultravioleta, con equipamiento instalado en canal.

Teniendo en cuenta que el afluente procede de una etapa de filtración, la desinfección fue dimensionada teniendo en cuenta una transmitancia del 50% (la transmitancia es el parámetro dominante del proceso, ya que el éxito de la desinfección radica en la eficacia de la penetración).

Este sistema está formado por lámparas de nueva generación de baja presión y alto rendimiento, y con un sistema de limpieza automático mecánico y químico.

Se encuentran instaladas dos líneas, cada una con un banco constituido por 9 módulos de 8 lámparas tipo Amalgam.

3.2.7. REUTILIZACIÓN

Después del tratamiento terciario, una parte del agua tratada es reutilizada para usos compatibles como lavado de los espesadores y máquinas centrífugas, riego de los espacios verdes, lavado de pavimentos...

Para poder reutilizar el agua procedente de la ETAR como agua de servicio es necesario un afino posterior a la desinfección debido al contenido de coliformes fecales, porque la calidad mínima exigida es de 100 NMP/100mL.

Por lo tanto, el efluente tratado es elevado a un tanque de almacenamiento de 230 m³ situado en el edificio de tratamiento de fangos. Cuando fuera necesaria agua de servicio, ésta se desinfectaría a través de un sistema compacto de rayos UV situados en el mismo edificio, garantizando un grado de desinfección con valores de coliformes fecales inferiores a la calidad mínima exigida.

3.3. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

3.3.1. SISTEMA DE RECOGIDA

En la concepción del sistema de recogida de las aguas residuales se ha intentado maximizar la extensión de colectores en los que el agua circule por acción de la gravedad, minimizando el número de estaciones de bombeo y la extensión del transporte en conductos a presión. Este criterio conduce directamente a un aumento de fiabilidad de los sistemas y una considerable reducción de los costes de manutención y explotación.

La estación de tratamiento del río Ave se encarga de depurar el agua residual proveniente de los “concelhos” de Póvoa de Varzim, Trofa y Vila do Conde.

El sistema de drenaje de las aguas residuales está compuesto por una compleja red de tuberías cuya función será transportar el agua residual para que sea tratada. La disposición de la red de tuberías es similar en ambas poblaciones. En primer lugar, existe un conjunto de ramales que se encargan de conducir el agua residual desde los edificios hasta un interceptor general que se encuentra situado en la zona costera. Dentro de todo este sistema se diferencian dos subsistemas, el de Vila do Conde y el de Póvoa de Varzim. La construcción de esta estación depuradora conllevó la instalación de una infraestructura adicional a la ya existente, que queda resumida en las siguientes figuras:

Tabla 3.5. - Infraestructura “da Baixa”.

Infraestrutura	Existente	A construir/ reformular
Redes - Vila do Conde	119.211 m	228.125 m
Sistemas Elevat. - Vila do	3 Unid.	6 Unid.
Redes - Póvoa	151.158 m	70.658 m
Sistemas Elevatorios-Póvoa	3 Unid.	14 Unid.

Tabla 3.6. - Infraestructura “da Alta”.

Infraestrutura	Existente	A construir/ reformular
----------------	-----------	----------------------------

Interceptores - Vila do Conde	3.337 m	36.737 m
Sistemas Elevat. - Vila do	1 Unid.	4 Unid.
Interceptores - Póvoa	3.568 m	5.889 m
Sistemas Elevatorios - Póvoa	3 Unid.	2 Unid.
ETARs	-	1 Unid.

Dentro de este sistema de drenaje existen dos estaciones elevatorias fundamentales, que son:

- Estación elevatoria de Vila do Conde;
- Estación elevatoria de Molhe Sul;

Las aguas procedentes de la zona de Vila do Conde serán transportadas hasta la estación elevatoria que lleva su mismo nombre, y de ahí, éstas son elevadas hasta la estación de Molhe Sul, donde se reunirán con las aguas provenientes de Póvoa de Varzim. Es en este lugar donde se le da suficiente energía al agua residual para que llegue hasta la estación de tratamiento del Ave situada en la “freguesia” de Touguinha.

3.3.2. SALINIDAD VARIABLE

En la estación de tratamiento del rio Ave se llevan a cabo numerosos análisis del agua residual a lo largo de todo el proceso, desde el momento en que el agua llega a la estación hasta que se realiza el vertido al propio río. Además del laboratorio interno en la propia estación, que es el encargado de analizar el agua residual todos los días, es obligatorio comparar los resultados con los análisis de un laboratorio externo especializado al que se le enviará un determinado número de muestras al mes.

En este estudio nos centramos en las características del agua bruta, es decir, el agua que aún no se ha tratado, y dentro de los numerosos valores obtenidos en cada análisis enfocaremos toda nuestra atención en el parámetro de la conductividad, que es un dato fundamental para conocer la cantidad de sales contenidas en el agua residual.

Para medir la conductividad existe un procedimiento a seguir por los trabajadores de la propia estación que consiste en tomar lecturas cada hora con un conductímetro portátil, figura 3.2, y en caso en que alguna lectura supere los 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se realizarán medidas cada media hora hasta que vuelva a normalizarse y quede por debajo de este valor.



Figura 3.2. – Condutímetro portátil.

Desde que se comenzó a explotar la estación de tratamiento, en momentos puntuales, aparecen lecturas de conductividad que alcanzan valores anormales, muy por encima del valor medio que se supone que debe tener un agua residual. Estas variaciones puntuales tan amplias de la conductividad provocan efectos muy perjudiciales en el tratamiento del agua residual, y sobre todo, causan grandes problemas en la fase del tratamiento biológico, que como es explicado en apartados anteriores, provoca la pérdida excesiva de población activa de nuestros lodos activos y genera un desajuste en el proceso que será necesario restablecer, suponiendo un gasto de tiempo y dinero.

Durante los primeros meses de exploración, los técnicos de la estación de tratamiento analizaron las posibles causas de este problema, y llegaron a la conclusión de que este problema es provocado por la influencia del mar. Es necesario añadir que una vez llegados a esta conclusión no profundizaron en el tema y prefirieron centrarse en analizar las consecuencias en el tratamiento y las posibles soluciones a estos problemas.

El objetivo de este estudio es profundizar en el análisis de las causas, y llegar, si es posible, a unas conclusiones definitivas que nos permitan darle solución a este problema.

Antes de adentrarnos en un estudio más pormenorizado se ha querido caracterizar el problema escogiendo tres períodos, con una duración aproximada de treinta días, dentro del año 2011. Dos de estos períodos corresponden a la época de mareas vivas, que como es bien sabido, ocurren cada seis meses, y el tercero es un mes cualquiera, en este caso se ha elegido el mes de mayo. El primer período de mareas vivas va desde el 15 de febrero hasta el 15 de marzo, y el segundo se inicia el 15 de agosto y termina el 15 de septiembre.

En cada uno de estos intervalos de estudio se han elegido tres variables para intentar establecer una relación entre ellas. Éstas son:

- Altura de ola (m);
- Pluviosidad (mm);

- Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$);

Para la variable altura de ola se han tomado los valores de altura máxima y altura mínima de ola medidas en el Puerto de Leixões (Oporto), porque de todas las boyas marinas existentes es la más cercana a la zona de estudio. Estos datos provienen de la página web del “Instituto Hidrográfico de Portugal”, www.hidrografico.pt, que tiene a disposición de toda la población las famosas Tabelas de Maré, Tablas de mareas en castellano.

En el caso de la pluviosidad, los datos han sido obtenidos de la página web del “Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos”, www.snirh.pt, y dentro de las posibles estaciones pluviométricas se ha escogido la que es denominada como Barcelos, situada en la cuenca hidrográfica de Cávado.

Las lecturas de la conductividad del agua residual se han obtenido a partir de las mediciones tomadas en la estación de tratamiento con el conductímetro portátil.

Una vez recogidos todos estos datos procedimos a representarlos en forma de gráfica. Podemos distinguir dos tipos de gráficas. La primera está compuesta por tres ejes, uno horizontal, al que se le atribuye la evolución temporal en horas (h), un eje vertical izquierdo que representa la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), y un eje vertical derecho que expresa valores de altura de ola en metros (m). La segunda está formada únicamente por dos ejes, el horizontal al que también se le atribuye la evolución temporal en horas (h), y el eje vertical izquierdo que representa la altura de precipitación en milímetros (mm).

Las gráficas pertenecientes al primer período de mareas vivas del año 2011, comprendido entre el 15-2-2011 y el 15-3-2011, son las siguientes:

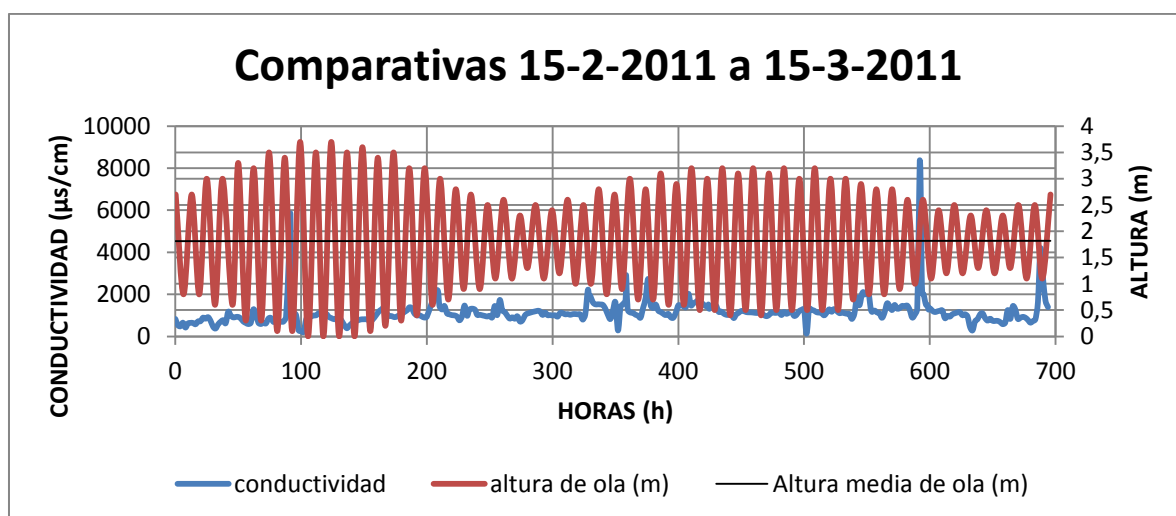


Figura 3.3. – Comparativas 15-2-2011 a 15-3-2011 (conductividad y altura de ola).

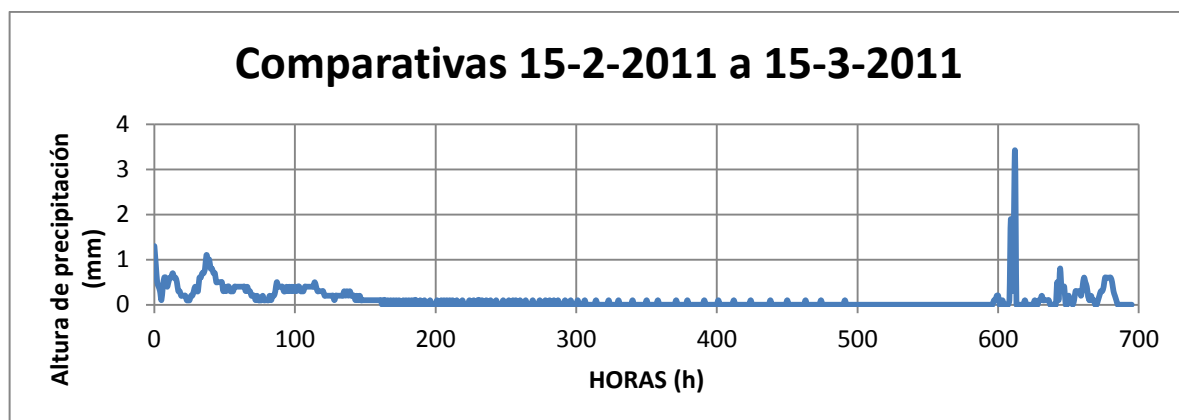


Figura 3.4. - Comparativas 15-2-2011 a 15-3-2011 (pluviosidade).

Dentro de este período hay dos picos claros de conductividad, el primero en el intervalo desde las 0 hasta las 200 horas, y el segundo que va desde las 500 hasta las 700 horas. Para poder analizarlos mejor se muestra con mayor detalle a continuación:

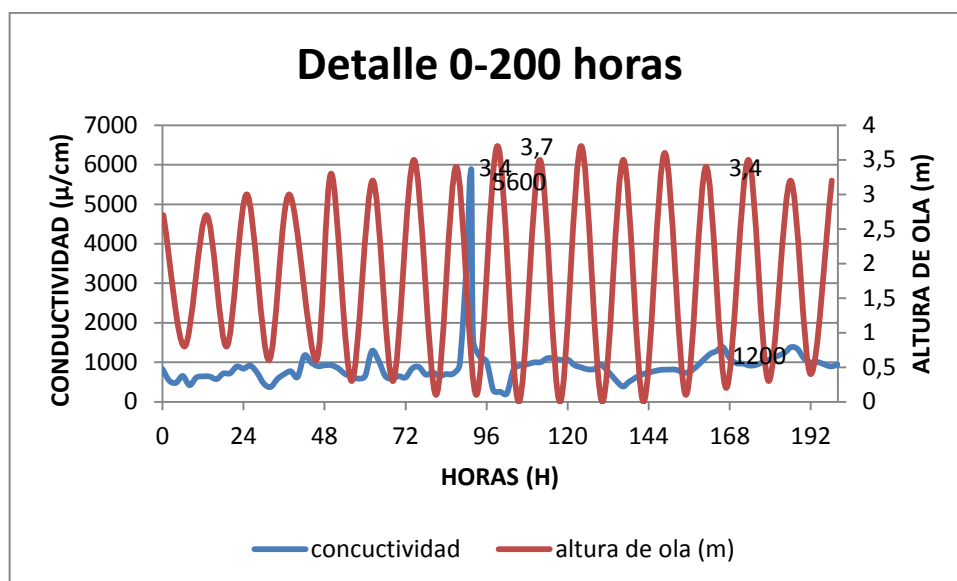


Figura 3.5. – Detalle 0-200 horas (conductividad y altura de ola).

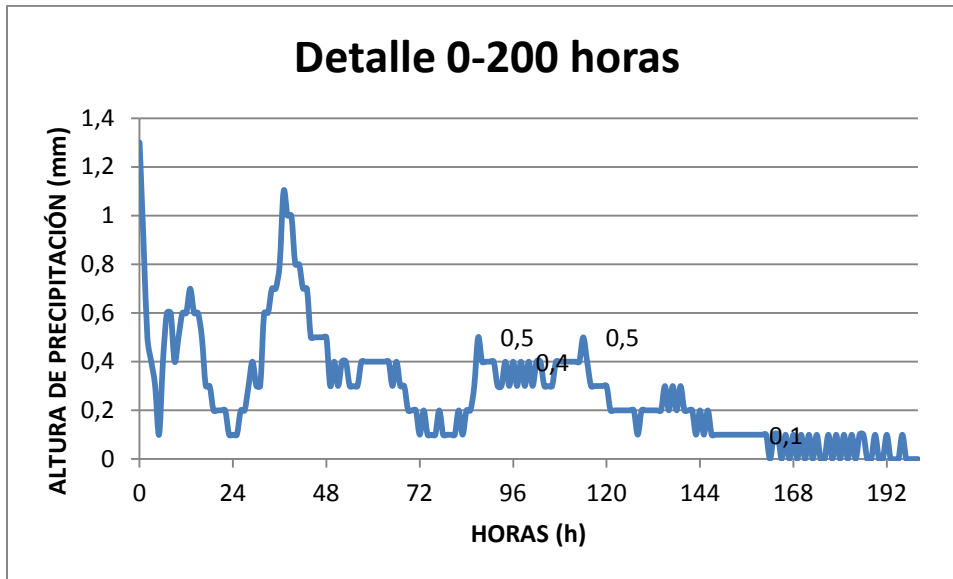


Figura 3.6. - Detalle 0-200 horas (pluviosidad).

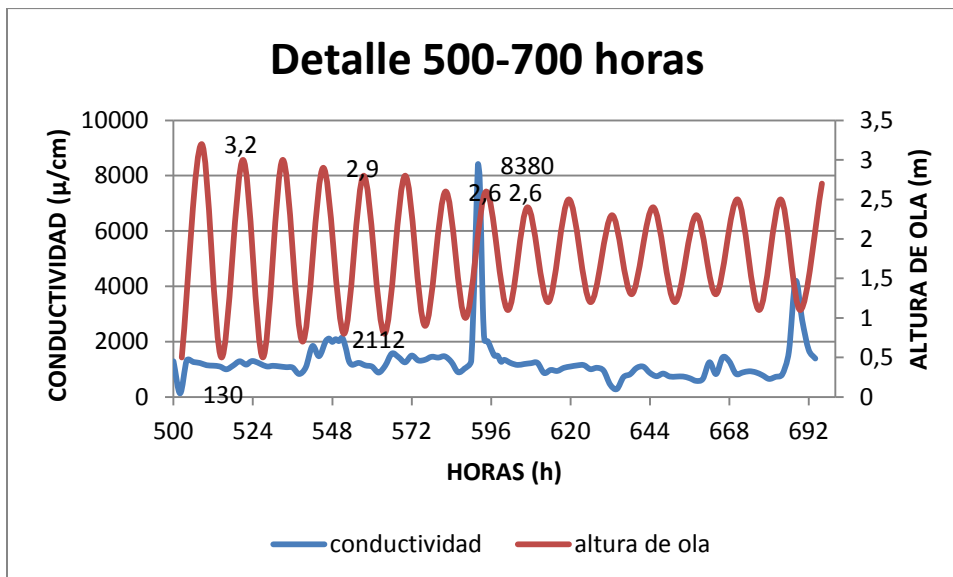


Figura 3.7. - Detalle 500-700 horas (conductividad y altura de ola).

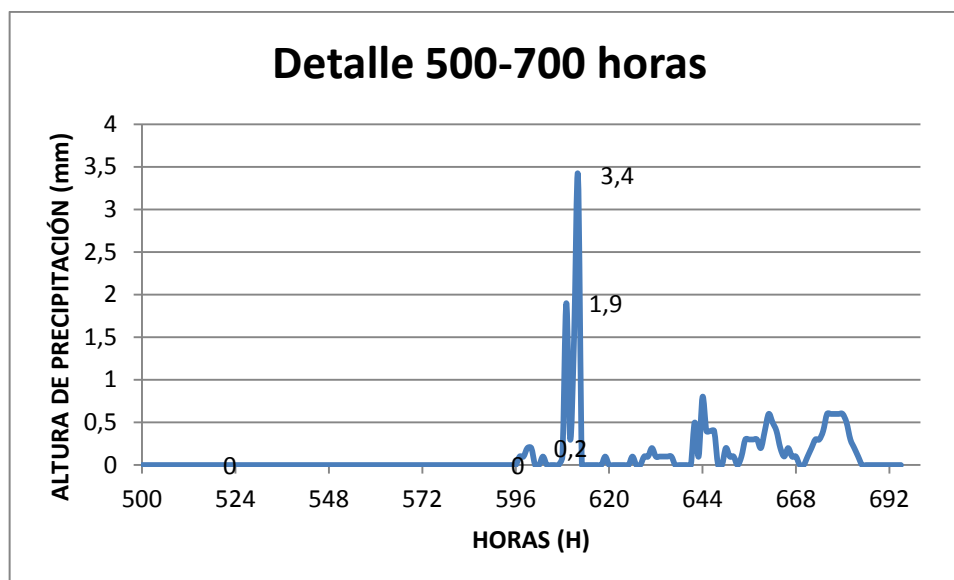


Figura 3.8. - Detalle 500-700 horas (pluviosidad).

Analizando las gráficas anteriores no se llega a alcanzar una conclusión clara. Se puede decir que en el intervalo de 0 a 200 horas el pico más alto de la conductividad coincide con uno de los momentos en que la altura de ola alcanza su valor máximo y además existe una altura de precipitación que ronda los 0,5 mm, pero esto no es definitivo, porque posteriormente a este pico siguen existiendo alturas de ola similares a la anterior junto con alturas de precipitación del orden de los 0,1 mm y las lecturas de la conductividad no sobrepasan los 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, es decir, no se nota apenas influencia del mar.

En el segundo intervalo de tiempo elegido, de 500 a 700 horas, se puede observar que la conductividad alcanza valores superiores a los 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durante un corto período que coincide con las mayores alturas de ola y nada de precipitaciones. Pero el pico más alto de la conductividad ocurre en un momento en que la altura de ola no alcanza valores importantes y tampoco existen precipitaciones.

Las gráficas pertenecientes al segundo período de mareas vivas del año 2011, comprendido entre el 15-8-2011 y el 15-9-2011, son las siguientes:

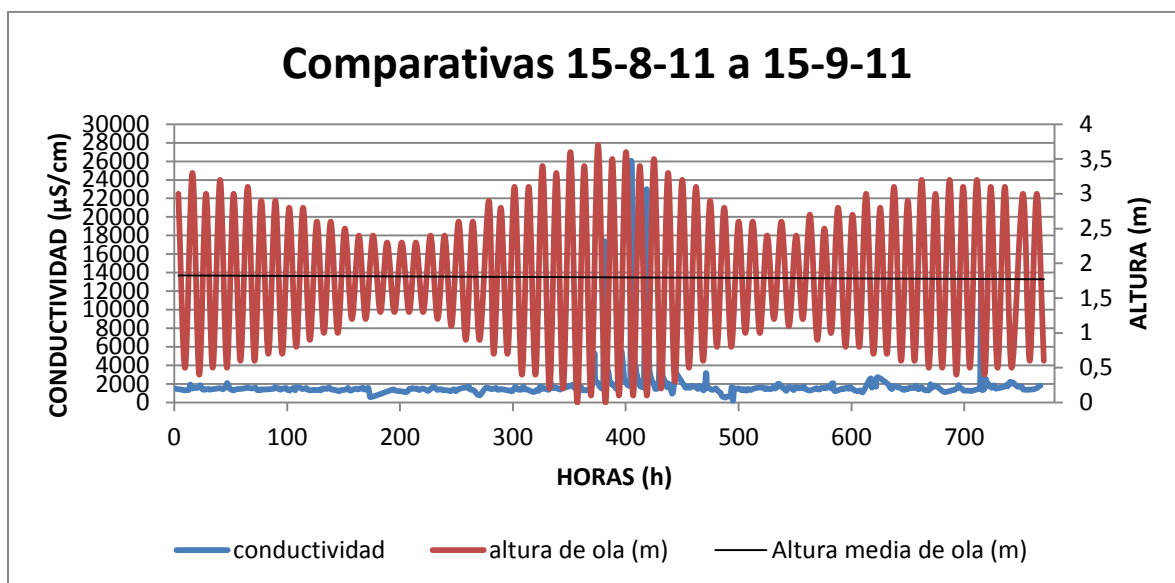


Figura 3.9. - Comparativas 15-8-2011 a 15-9-2011 (condutividade y altura de ola).

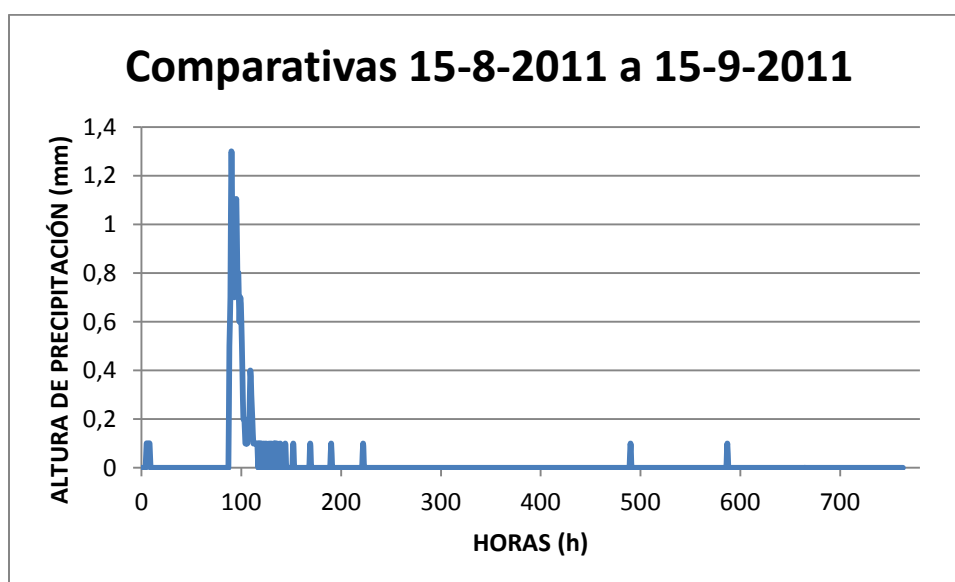


Figura 3.10. - Comparativas 15-8-2011 a 15-9-2011 (pluviosidad).

En este segundo período de tiempo se pueden distinguir dos zonas que contienen picos de conductividade importantes, y se corresponden con el intervalo de 300 a 500 horas y el período comprendido entre 600 horas hasta el final. Para poder analizarlos mejor se muestra con mayor detalle a continuación:

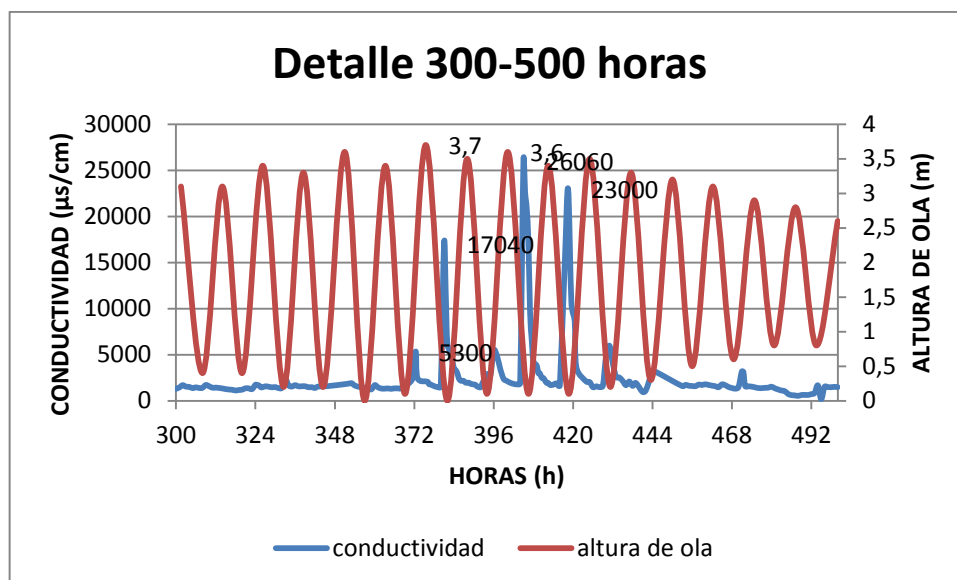


Figura 3.11. - Detalle 300-500 horas (conductividad y altura de ola).

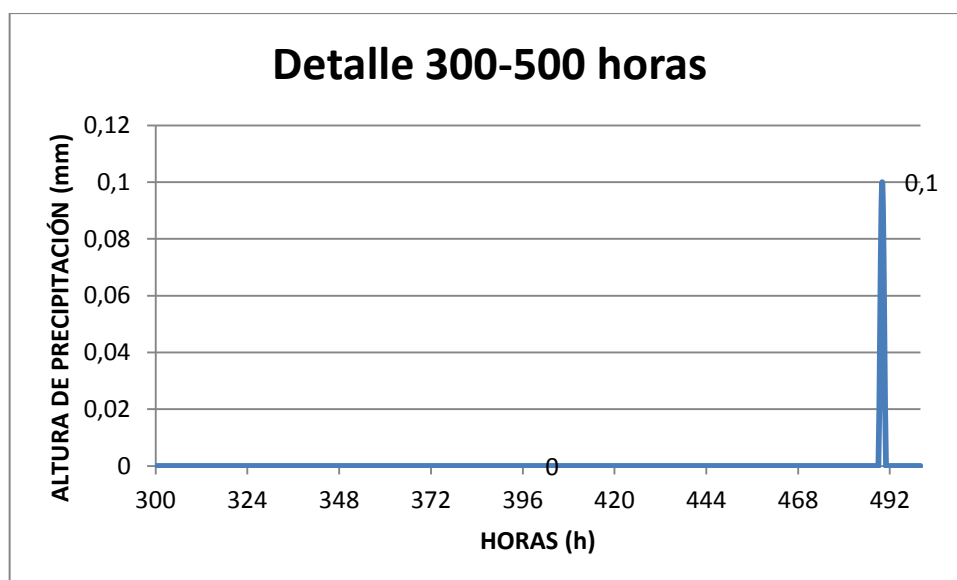


Figura 3.12. - Detalle 300-500 horas (pluviosidad).

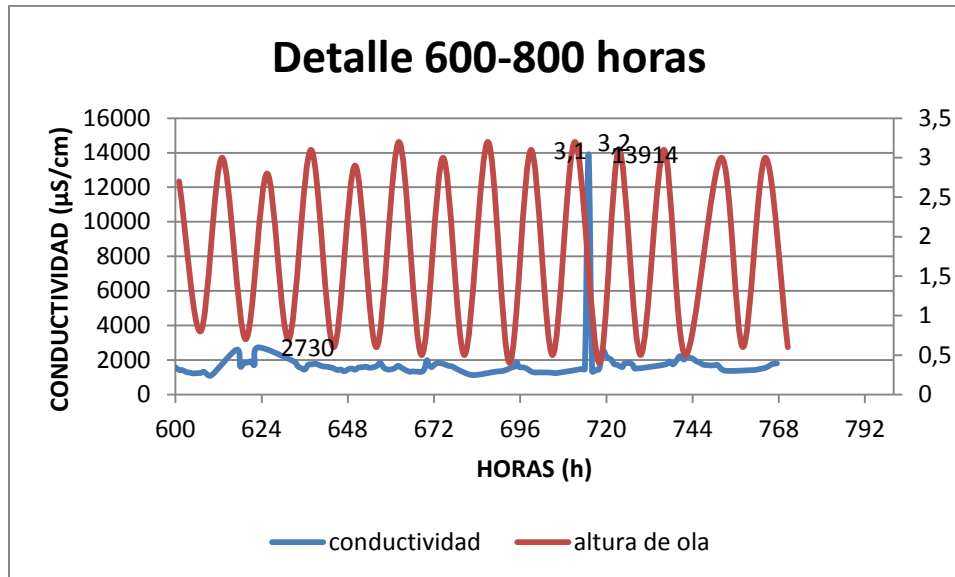


Figura 3.13. - Detalle 600-800 horas (condutividad y altura de ola).

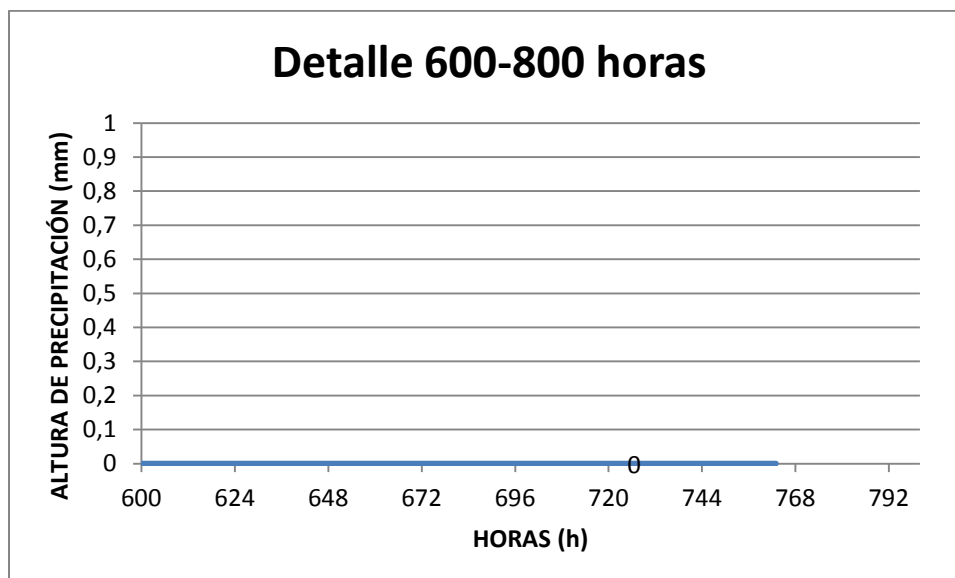


Figura 3.14. - Detalle 600-800 horas (pluviosidad).

Analizando las gráficas anteriores se puede observar que en el intervalo de las 300 a las 500 horas existen picos de conductividad muy elevados, del orden de 20.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que están muy por encima de los valores máximos alcanzados en el primer período de mareas vivas, que coinciden con las mayores alturas de ola del intervalo, alturas del orden de 3,5 m.

En el segundo intervalo de las 600 a las 800 horas únicamente existe un pico de conductividad que curiosamente es también del orden de 20.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que también coincide con las mayores alturas de ola del intervalo, alturas del orden de 3 m.

Las gráficas correspondientes al tercer intervalo, que se corresponde con el mes de mayo, se presentan a continuación:

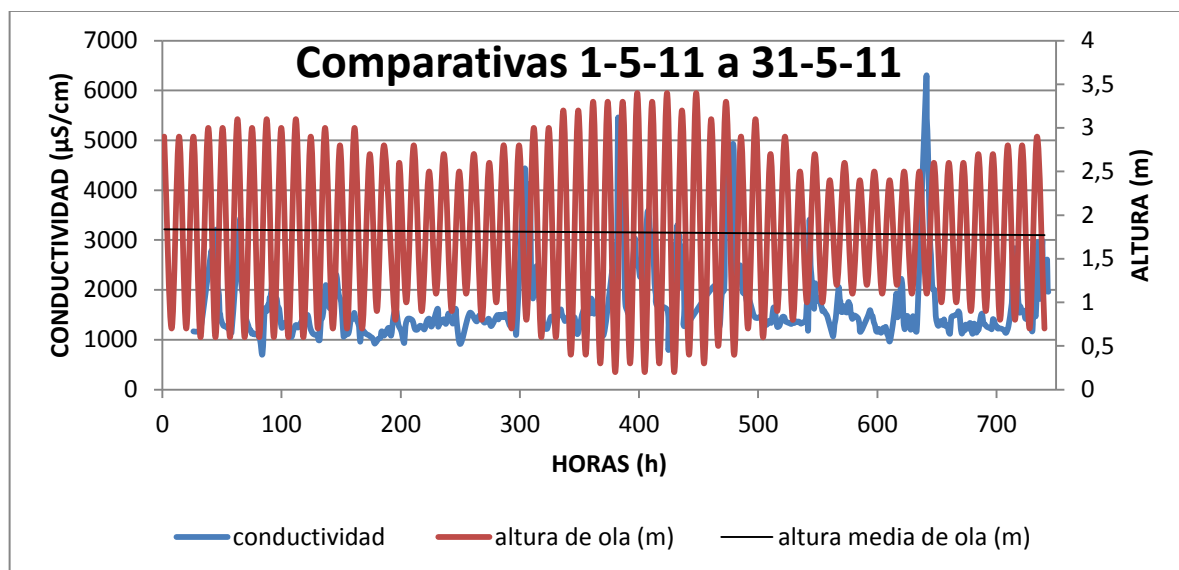


Figura 3.15. - Comparativas 1-5-2011 a 31-5-2011 (condutividade y altura de ola).

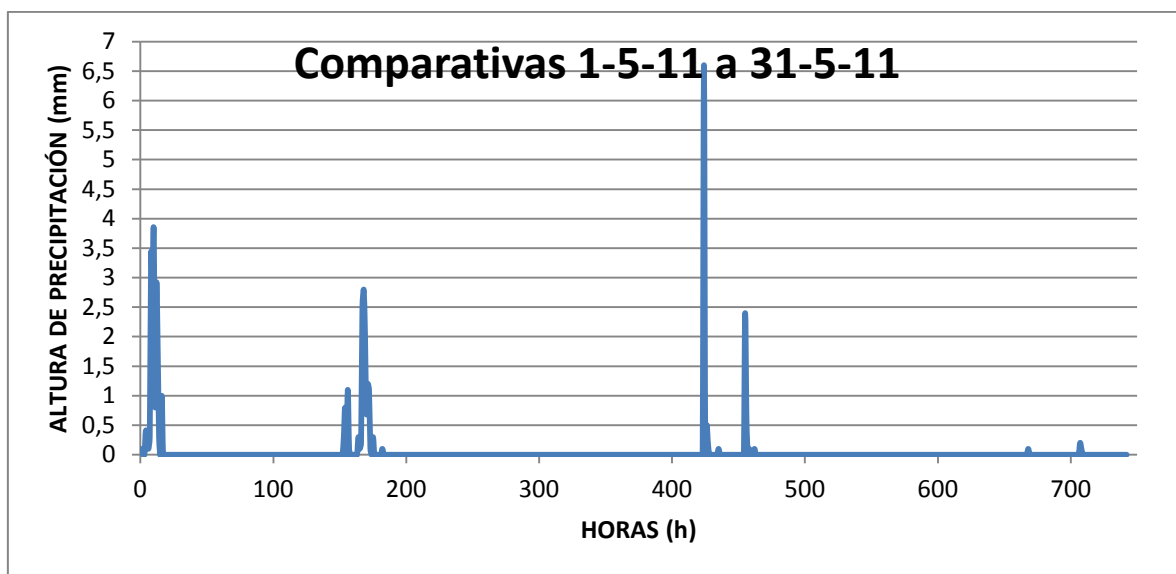


Figura 3.16. - Comparativas 1-5-2011 a 31-5-2011 (pluviosidad).

En este caso también se diferencian dos zonas con picos de conductividad importantes, que se corresponden con el período comprendido entre 300 y 500 horas, y el intervalo de tiempo situado entre 600 y 700 horas. Para realizar un mejor análisis se muestran con mayor detalle a continuación:

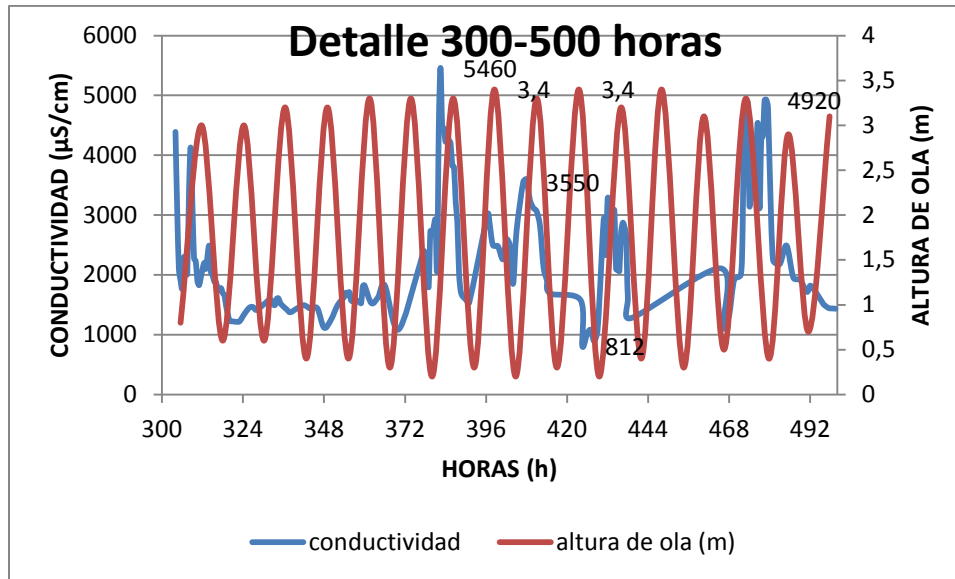


Figura 3.17. - Detalle 300-500 horas (condutividade y altura de ola).

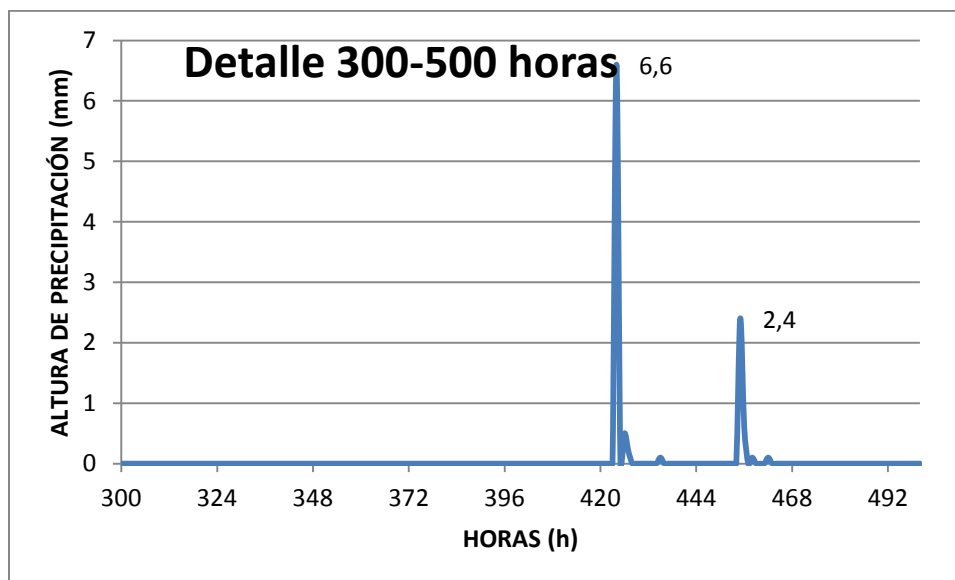


Figura 3.18. - Detalle 300-500 horas (pluviosidad).

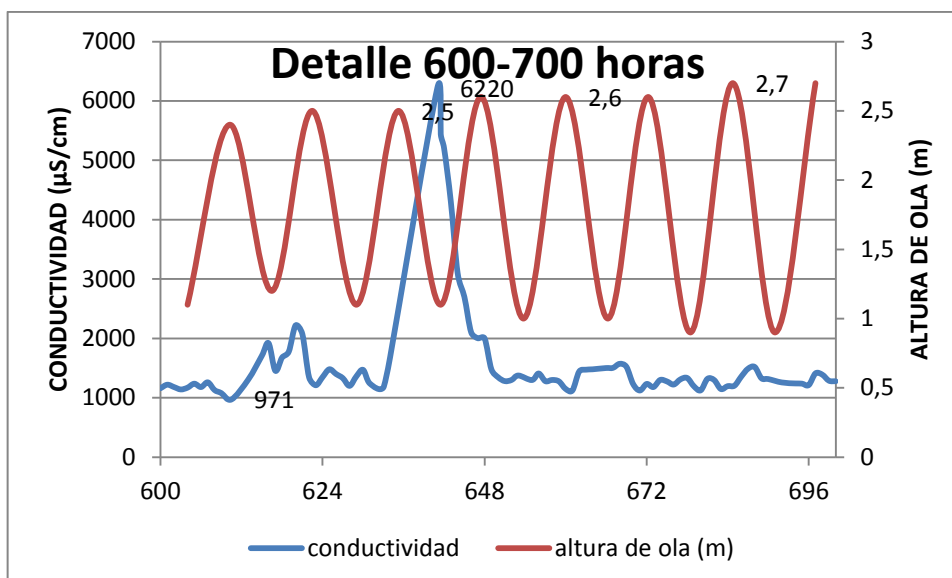


Figura 3.19. - Detalle 600-700 horas (condutividad y altura de ola).

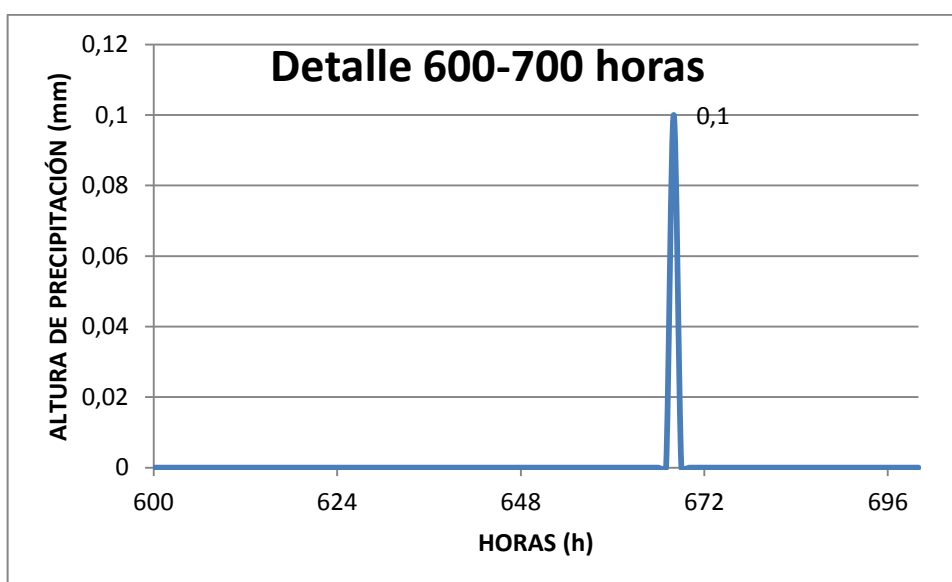


Figura 3.20. - Detalle 600-700 horas (pluviosidad).

Tal como se observa en las gráficas, en el intervalo de tiempo comprendido entre 300 y 500 horas, existe una gran variabilidad de la conductividad porque en algunos momentos alcanza valores del orden de $5.000 \mu\text{S/cm}$, mientras que en otros no sobrepasan los $1.000 \mu\text{S/cm}$. Se puede afirmar que existe una relación entre los picos de conductividad con la altura de ola en período de marea alta, que en esos momentos alcanza valores de 3,4 m. En este período es necesario señalar un detalle que salta a la vista, y que acontece alrededor de las 420 horas. Es en este momento cuando la conductividad alcanza el valor más bajo de todas las lecturas, $812 \mu\text{S/cm}$, y además coincide con una precipitación de 6,6 mm de altura, lo cual significa que en períodos de lluvia abundante los valores de la conductividad se reducen porque la salinidad del agua se diluye en mayor medida.

En el otro intervalo de tiempo únicamente existe un pico de conductividad reseñable correspondiente a las 648 horas, 6.220 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y que se puede relacionar con una altura de ola de 2,5 m. Con estas gráficas tampoco podemos sacar una conclusión definitiva sobre la relación entre la altura de ola y la conductividad, se sabe a ciencia cierta que están relacionadas pero con los datos que partimos no existe un vínculo tan obvio.

El análisis de todos los gráficos anteriores no permite llegar a ninguna conclusión definitiva. Se puede afirmar que existe una relación directa entre los picos de conductividad y la altura ola máxima que alcanza la marea, aunque esta afirmación no sea rotunda. Como punto inicial de partida, y a partir del análisis de las gráficas anteriores, se puede adelantar que la influencia del mar puede notarse en las lecturas de la conductividad cuando la altura de ola supera los 2,5 m. No es una conclusión definitiva pero nos puede servir de ayuda.

4

IMPLICACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD EN EL TRATAMIENTO

4.1. SITUACIÓN ACTUAL

La intrusión salina en las Estaciones de Tratamiento de Aguas Residuales, ETAR, situadas en zonas costeras se viene minimizando a lo largo de varias décadas a través de la implementación de medidas que inciden en el origen del problema, es decir, en la eliminación de los puntos de entrada de agua del mar o de estuarios en las redes de saneamiento.

En épocas pasadas este problema era mucho más común debido a las deficiencias y limitaciones existentes en las infraestructuras de saneamiento. A pesar de la evolución de estas medidas, todavía son muchas las estaciones de tratamiento que se ven influenciadas por este problema porque no se solucionó el problema de las infiltraciones en el origen, y como tal, reciben esporádicamente aguas con elevada salinidad. Esta situación puede ser extremadamente puntual y ocurrir apenas una vez por año, o puede ocurrir con una periodicidad muy superior, principalmente cuando el nivel del mar sobrepasa la cota a partir de la cual se verifica la intrusión.

Los tratamientos utilizados en la depuración de aguas residuales urbanas son altamente efectivos en la eliminación de contaminantes orgánicos, pero normalmente no afectan al contenido de sales disueltas que permanece prácticamente constante a lo largo de todo el proceso de depuración. Este tipo de agua residual necesita de un tratamiento terciario adicional, ya sean membranas, electrodiálisis, etc., lo que implica un elevado coste de implantación y mantenimiento.

La llegada de agua con elevado contenido en sales a las estaciones de tratamiento provoca una gran diversidad de efectos, que van a depender de muchos otros factores que intervienen en las diferentes fases del tratamiento. Los más importantes están relacionados con la comunidad microbiana, la floculación, la decantabilidad, etc.

Esta situación se repite en numerosas ciudades costeras de la Península Ibérica y Portugal. Como ejemplo significativo de España será descrito a continuación el caso de las estaciones de tratamiento que se encuentran localizadas en la región de Murcia donde ESAMUR, Entidad de Saneamiento y Depuración de la Región de Murcia, realizó un estudio para conocer los orígenes de la salinidad en las aguas residuales. Posteriormente se procederá a describir el caso principal de esta tesis, la ETAR del río Ave.

4.2. ORÍGENES DE LA SALINIDAD EN LAS AGUAS RESIDUALES EN LA REGIÓN DE MURCIA

4.2.1. INTRODUCCIÓN

La región de Murcia es una comunidad autónoma española situada en el sudeste de la Península Ibérica que se encuentra limitada por el mar Mediterráneo. Se caracteriza por ser la región con mayor producción de frutas, verduras y flores de toda Europa, de ahí la importancia que en esta región se le da al agua. Es preciso añadir que el clima en esta región es del tipo semiárido, por lo que las precipitaciones son escasas, y por ello es necesario proceder a la reutilización del agua residual depurada para regar los cultivos.

La necesidad de reutilizar el agua residual depurada para riego precisa la aplicación de tecnologías capaces de eliminar tanto los componentes orgánicos como los tóxicos y peligrosos, así como el exceso de sales que afectan negativamente a los cultivos y degradan los suelos.

Los tratamientos utilizados para la depuración de aguas residuales urbanas son altamente efectivos en la eliminación de contaminantes orgánicos, pero no afectan al contenido de sales disueltas que permanece prácticamente constante desde la entrada a la salida de las ETAR urbanas. Para conseguir eliminar estas sales presentes en el agua hay que proceder a la ejecución de tratamientos terciarios como membranas, electrodiálisis,... que implican altos costes de instalación y manutención, pero que actualmente son imprescindibles para conseguir ese objetivo.

En estas circunstancias, localizar y cuantificar con detalle las fuentes de origen de la salinidad es fundamental para la aplicación de medidas preventivas que disminuyan la entrada de sales a los sistemas de saneamiento. El agua de suministro ya contiene una cantidad de sales a las que hay que sumar las que se adicionan durante su uso doméstico o industrial. Por otra parte, puede haber intrusiones o vertidos de aguas saladas o salobres directamente a los colectores de alcantarillado.

4.2.2. SALINIDAD EN EFLUENTES DE LAS ETAR

Como ya fue explicado en capítulos anteriores, la salinidad se puede medir de muchas y diferentes formas, pero la manera más útil y práctica es mediante un conductímetro portátil que permite obtener lecturas en cualquier lugar de una forma rápida y bastante precisa.

La conductividad eléctrica ponderada respecto al volumen tratado en las ETAR públicas de la Región de Murcia, para el año 2005 es de $3.471 \mu\text{S}/\text{cm}$, lo que supone un contenido aproximado de $2,2 \text{ g/l}$, arrojando un total de 235.000 toneladas/año de sales, teniendo en cuenta que el volumen tratado es de $105,7 \text{ Hm}^3$ en el año 2005.

La siguiente figura muestra la CE media próxima o superior a $3.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ de efluentes de las ETAR de la región de Murcia para el año 2005.

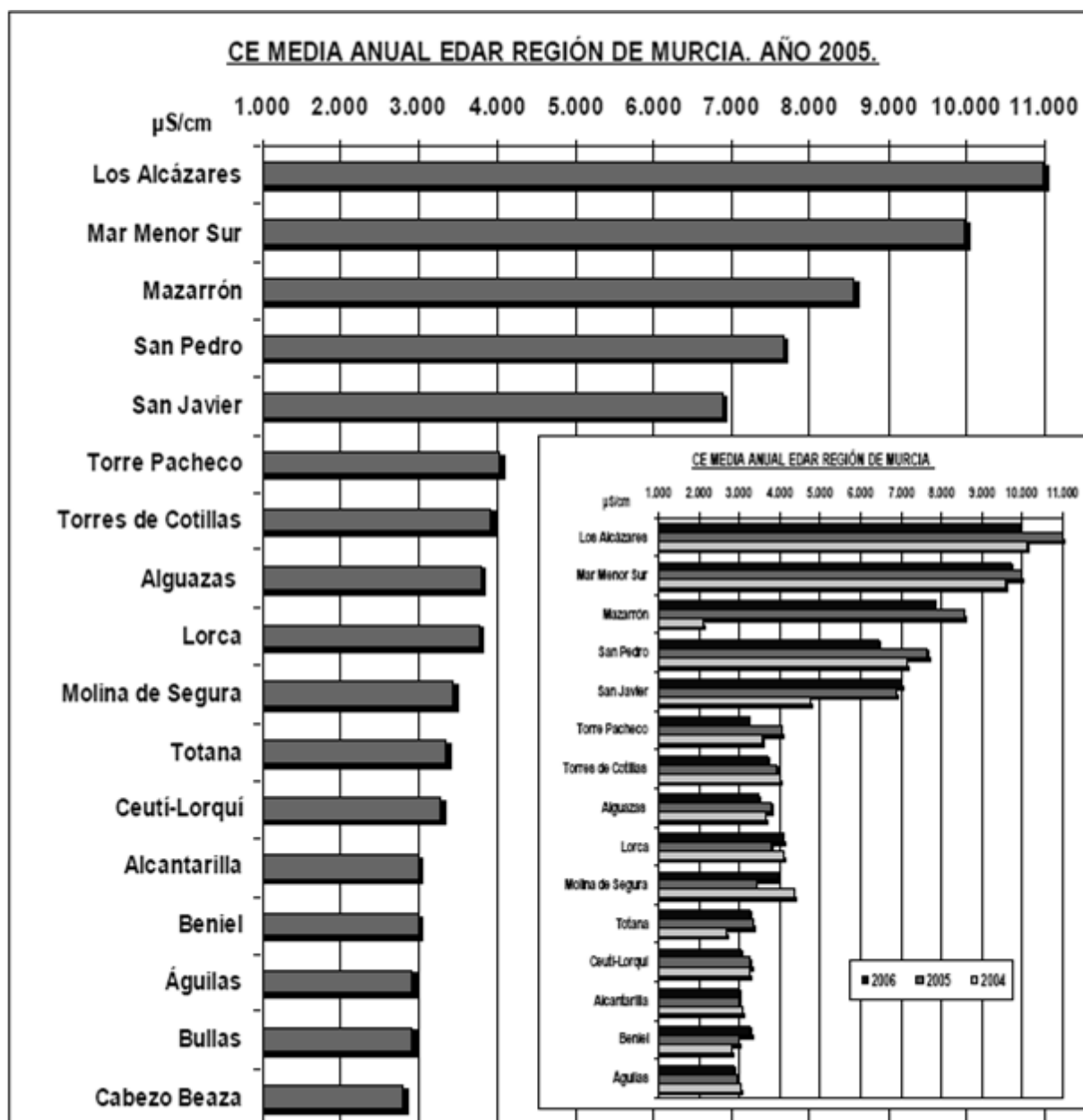


Figura 4.1. – CE media anual ETAR de Murcia.

Las salinidades superiores a 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ corresponden a municipios costeros donde se producen entradas de agua de mar al alcantarillado, en las ETAR: Los Alcázares, Mar Menor Sur (La Manga, Cartagena y San Javier), Mazarrón, San Pedro del Pinatar y San Javier, lo que supone un 15% del volumen tratado por las ETAR públicas de la Región de Murcia. Este tipo de aguas no son aptas para el riego agrícola, si bien durante algunos meses del año el aumento del consumo por la población estacional produce un efecto de dilución que permite su reutilización.

Otro grupo de ETAR presenta agua con salinidad entre 3.000 y 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, debida fundamentalmente a procesos industriales que generan vertidos salinos y aportes de aguas subterráneas procedentes de suministros mediante fuentes propias, achiques de sótanos y aguas freáticas. Suponen el 16% del agua depurada en la Región de Murcia. Esta agua es utilizada para riego, pero supone un peligro de salinización a medio plazo y sería susceptible de tratamientos de desalinización.

Las principales ETAR presentan conductividades entre 2.000 y 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con aguas en general de calidad deficiente pero reutilizables (60%).

Sólo el 9% del agua regenerada tiene una conductividad inferior a 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

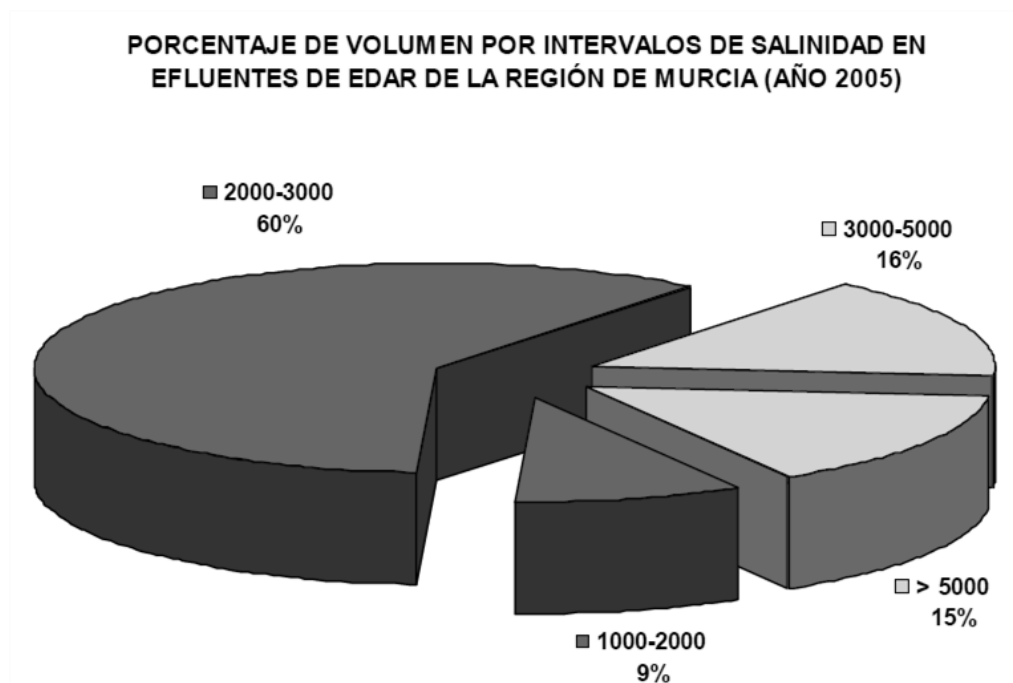


Figura 4.2. – Porcentaje de volumen por intervalos de salinidad.

En resumen, el 69% del agua regenerada en la Región de Murcia podría aplicarse a riego directamente, aunque con precauciones, no precisando tratamientos de desalinización; un 31% podría recibir tratamientos de desalinización.

4.2.3. SALINIDAD POR INTRUSIONES DE AGUAS SALOBRES AL ALCANTARILLADO

4.2.3.1. Intrusión marina

Como se ha visto en el apartado anterior, en varias ETAR la conductividad eléctrica supera los 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con contenidos de Cl^- próximos a 2 g/l y 1 g/l de Na^+ , lo que las convierte en no aptas para riego en algunas épocas del año.

Las entradas directas de agua de mar al alcantarillado ocurren en algunos municipios costeros, donde parte de la red de alcantarillado está por debajo de la cota cero y existen deficiencias en el diseño, ejecución o deterioro de la red. Los achiques de sótanos de establecimientos y viviendas próximas al mar suponen también un aporte de aguas salobres, debido igualmente a un incorrecto diseño de los inmuebles y redes de evacuación de pluviales. A esto ha contribuido la urbanización de zonas de playa, saladares y salinas abandonadas.

Es difícil cuantificar las entradas de este tipo de aguas al alcantarillado, aunque se puede hacer una estimación teniendo en cuenta la diferencia entre el volumen suministrado en abastecimiento y el medido en la entrada de la correspondiente ETAR urbana.

El total obtenido es de 4,9 Hm³, para los municipios costeros, aunque esta cifra es aproximada debido a aguas no medidas, pluviales o de otro origen que puedan alcanzar el alcantarillado, la conductividad eléctrica media ponderada respecto al volumen es de 8.831 µS/cm.

4.2.3.2. Achiques

En ciertas zonas con nivel freático alto (Huerta de Murcia, proximidades del Río Segura, etc.) se produce entrada de agua a los sótanos, siendo necesario su achique para evitar inundaciones. Durante la construcción de inmuebles el agua tiene que ser extraída en las fases de excavación y cimentación. Estas aguas son habitualmente evacuadas a la red de alcantarillado.

Resulta complicado conocer el volumen de agua freática que entra al alcantarillado, siendo además variable en función de las extracciones y recarga de los acuíferos. En el año 2006 prácticamente han desaparecido en Murcia por una bajada drástica en el nivel freático, sin embargo para el año 2005 se han estimado, según estudios realizados por ESAMUR, en 4 Hm³, siendo su conductividad media de 2.906 µS/cm.

Tabla 4.1. – Volumen de intrusiones marinas y achiques.

	CE µS/cm	TDS g/l	Volumen Hm ³ /año	Sales Tn/año
Marinas	8.831	5,65	4,9	27.411
Achiques	2.906	1,86	4	5.207
INTRUSIONES			8,9	34.850

4.2.4. SALINIDAD DEL AGUA DE ABASTECIMIENTO

El principal suministro de aguas de abastecimiento en la Región de Murcia se realiza a través de la Mancomunidad de Canales del Taibilla, que usa aguas de distintos orígenes y en distinta proporción; también existen aguas propias de los ayuntamientos y establecimientos industriales que se incorporan al abastecimiento.

Aunque la proporción y composición del agua de cada origen es variable cada año, como promedio para la Región de Murcia se ha realizado una estimación a partir de medidas de la conductividad eléctrica de las aguas de distinto origen y teniendo en cuenta que el coeficiente de agua suministrada que alcanza las ETAR es de 0,83:

Tabla 4.2. – Salinidad del agua de abastecimiento.

	CE µS/cm	TDS g/l	Volumen Hm ³ /año	Sales Tn/año
Taibilla	464	0,3	27,7	8.216
Trasvase	1.193	0,76	56,2	42.927
Otras aguas	894	0,57	8,3	4.767

Fuentes propias industria	3.807	2,44	4,7	11.334
ABASTECIMIENTO	1.083	0,69	96,9	67.244

La conductividad eléctrica ponderada respecto al volumen suministrado de cada origen es de 1.083 $\mu\text{S/cm}$, lo que supone un contenido aproximado de 0,7 g/l, con un total aproximado cercano a las 70.000 toneladas/año de sales procedentes del agua de abastecimiento.

4.2.4.1. Salinidad del agua de fuentes propias

Además del suministro mediante entidades suministradoras (de aguas de la Mancomunidad el Taibilla o recursos propios de los ayuntamientos), algunos establecimientos industriales disponen de suministros mediante fuentes propias procedentes de aguas subterráneas o de aguas superficiales. El volumen vertido de agua de fuentes propias de establecimientos industriales conectados al alcantarillado es de aproximadamente 4,7 Hm^3 en la Región de Murcia.

Se han analizado todas las fuentes propias de establecimientos industriales, obteniéndose la conductividad eléctrica ponderada respecto al volumen de cada fuente propia (3.807 $\mu\text{S/cm}$). Algunas aguas de pozos utilizados por las industrias son fuertemente salinas con conductividades máximas próximas a 8.000 $\mu\text{S/cm}$.

4.2.5. INCREMENTO DE SALINIDAD POR ACTIVIDADES DOMÉSTICAS

Se ha analizado el agua de suministro y la de salida de algunas ETAR con componente mayoritariamente doméstico, conforme a estos datos, se produce un incremento de 970 $\mu\text{S/cm}$, equivalente en el contenido en sales de 0,62 g/l procedentes fundamentalmente de cloruro sódico.

El uso cada vez más extendido de tratamientos de descalcificación domésticos supone un importante incremento de la salinidad cuantificado en 193 mg/l para el agua doméstica, cuya suma total alcanzará un valor superior a 11.000 toneladas/año.

4.2.6. SALINIDAD DE ORIGEN INDUSTRIAL

Se ha analizado la conductividad eléctrica de los distintos sectores industriales que vierten sus aguas al alcantarillado, sobre un total de casi 900 muestras se ha obtenido una conductividad media de 4.345 $\mu\text{S/cm}$.

La tabla siguiente recoge algunos ejemplos de conductividades extremas medidas puntualmente en vertidos al alcantarillado:

Tabla 4.3. – Conductividad por sectores industriales.

SECTOR	CE $\mu\text{S/cm}$
Quesos	120.000
Curtidos	84.900

Fabricación de detergentes	56.700
Cárnicas	35.600
Conservas de frutas	25.770
Pescados	25.700
Metales	21.100
Encurtidos	15.940
Dulces	12.190
Química	11.550

El aporte total de aguas residuales industriales, incluyendo comercial y servicios al alcantarillado es de 11,8 Hm³.

Los sectores industriales que aportan al saneamiento público una CE media mayor de 5.000 µS/cm son encurtidos, curtido de pieles, lácteos (elaboración de queso fresco), salazones y elaboración de conservas de pescado, industria química y farmacéutica, detergentes, elaboración de embutidos y tratamiento de superficies metálicas.

Los aportes de sales en la industria proceden:

- Del propio proceso productivo o producto (salazones, encurtidos, cárnicas, pelado químico de frutas);
- De tratamientos del agua (ablandamiento, ósmosis, calderas, refrigeración ...);
- De tratamientos de depuración antes del vertido del agua (regulación de pH con sosa o CLH, adición de polielectrolitos y otros reactivos);

La importancia de estos sectores en la Región de Murcia puede verse por el volumen vertido y la salinidad aportada. Se incluye el sector de conservas de frutas y hortalizas, que aunque con una CE media no muy elevada es el sector con el volumen más importante de vertidos al alcantarillado:

Tabla 4.4. – Cantidades aportadas por los sectores industriales.

Actividad	m ³	CE media (µS/cm)	g/l	Sales (Tn/año)
CONSERVA	3.840.064	4.081	2,6	10.029
METÁLICAS	111.370	6.060	3,9	432
CÁRNICAS	448.714	6.550	4,2	1.881
QUÍMICA	791.419	7.357	4,7	3.726
DETERGENTES	26.903	7.685	4,9	132
PESCADOS Y SALAZONES	129.148	12.091	7,7	999
QUESOS (LÁCTEOS)	114.973	16.073	10,3	1.183
CURTIDOS	50.562	19.634	12,6	635
ENCURTIDOS	73.082	21.028	13,5	984

TOTAL	5.586.235	11.173	7,15	20.001
-------	-----------	--------	------	--------

El siguiente gráfico refleja la conductividad eléctrica media ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y el aporte total de sales (toneladas/año) de los principales sectores industriales con vertidos salinos:

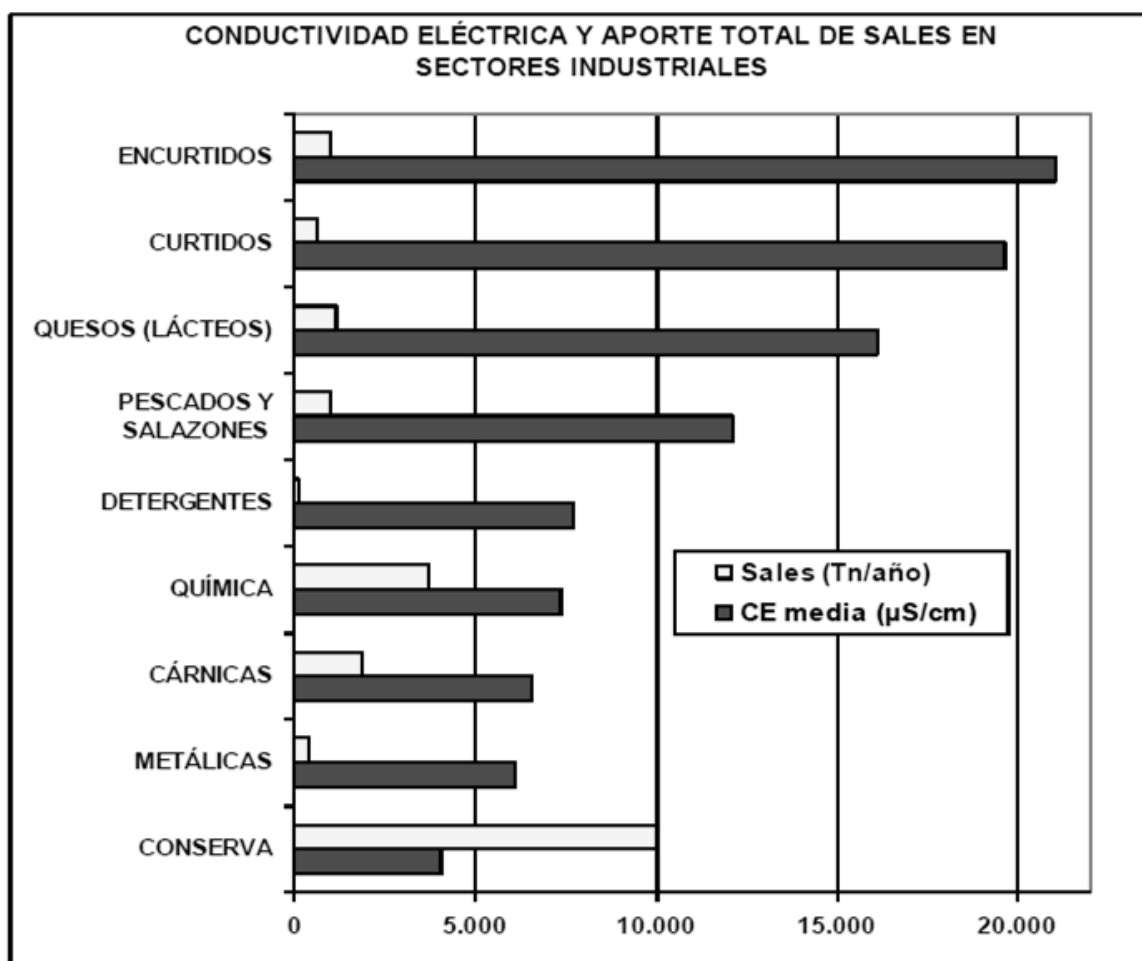


Figura 4.3. – Conductividad eléctrica y aporte total de sales en sectores industriales.

En cuanto a la composición iónica, los siguientes gráficos muestran la concentración en mg/l de los principales iones en el agua de suministro (abastecimiento y fuentes propias), y en el vertido final de de las industrias analizadas por ESAMUR que cuentan con las dos fuentes de suministro (fundamentalmente agroalimentarias).

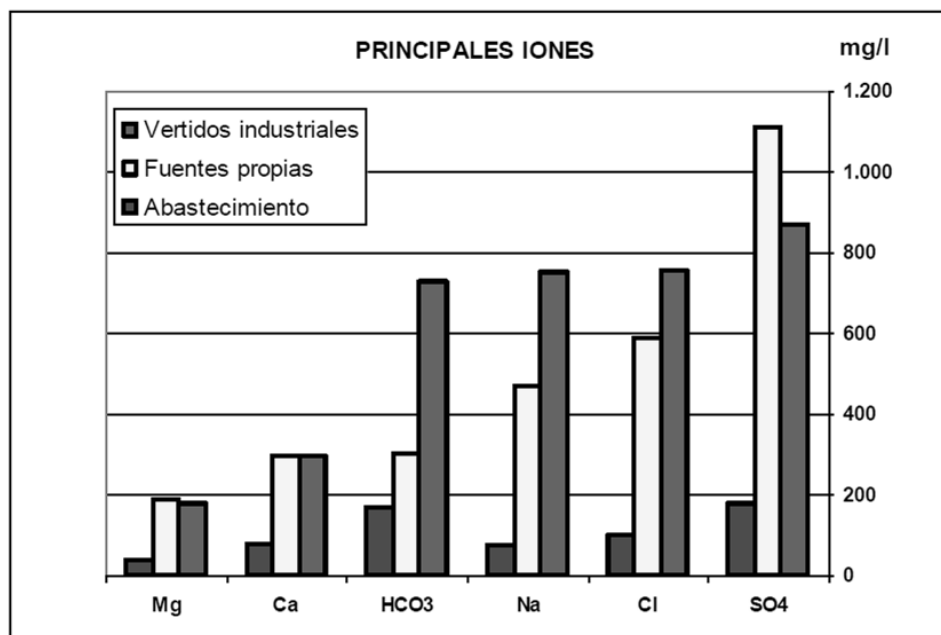


Figura 4.4. – Principales iones.

El siguiente gráfico muestra los porcentajes de sales vertidas al alcantarillado en toneladas año de los distintos sectores industriales:

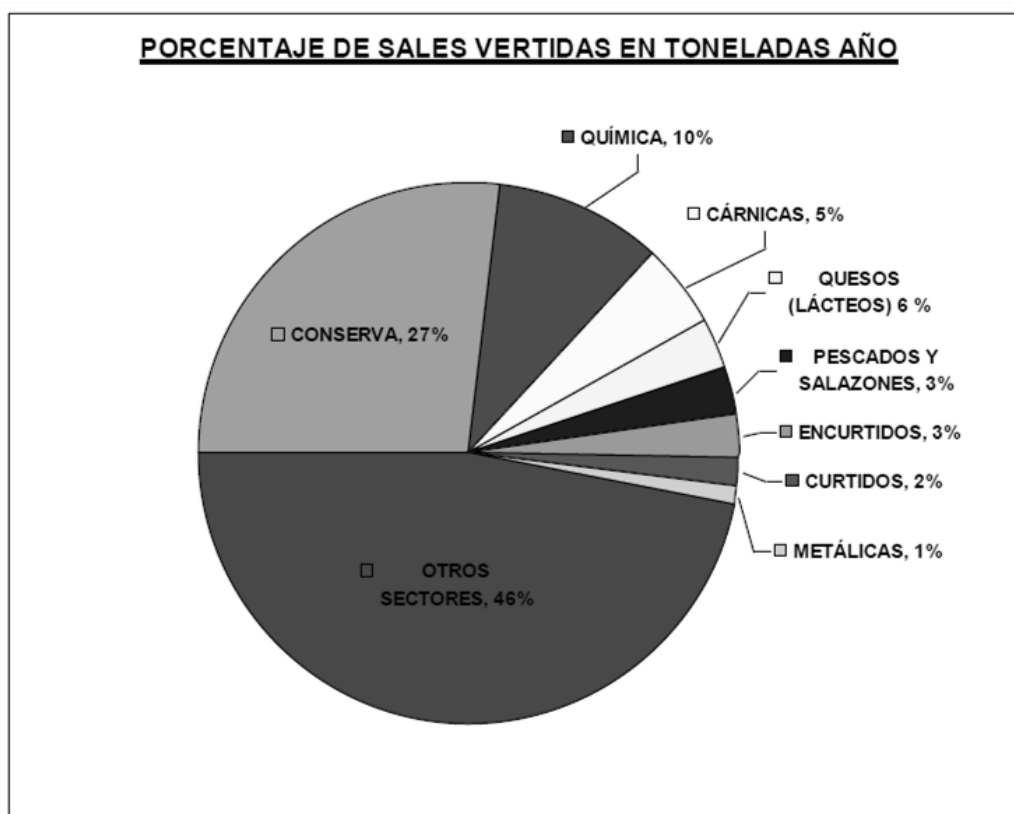


Figura 4.5. – Porcentaje de sales vertidas.

4.2.7. BALANCE GLOBAL DE SALES EN LA REGIÓN DE MURCIA

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, se realiza una primera aproximación al origen de las sales incorporadas al alcantarillado y presentes en el agua depurada de la Región de Murcia.

Muchos de estos cálculos se basan en estimaciones y su incertidumbre es grande, como demuestra la gran cantidad de sales de origen diverso o no conocido. Las cifras más aproximadas son la cantidad total de sales en las ETAR y la salinidad de origen industrial, basadas en los numerosos controles que realiza ESAMUR a lo largo del año.

El siguiente gráfico muestra, de manera estimada los aportes de sales en valores absolutos al alcantarillado en la Región de Murcia:



Figura 4.6. – Aporte de sales.

La siguiente tabla muestra las conductividades y volúmenes medidos o estimados para el origen de las sales que se vierten al alcantarillado:

Tabla 4.5. – Origen de las sales vertidas al alcantarillado.

	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (g/l)	Volumen ($\text{Hm}^3/\text{año}$)	Sales (Tn/año)
Efluente ETAR	3.471	2,22	105,7	234.857
Marinas	8.831	5,65	4,9	27.411

Achiques	2.906	1,86	4	7.439
INTRUSIONES	6.153	3,94	8,9	34.850
Taibilla	464	0,3	27,7	8.216
Trasvase	1.193	0,76	56,2	42.927
Otras aguas	894	0,57	8,3	4.767
Fuentes propias industria	3.807	2,44	4,7	11.334
ABASTECIMIENTO	1.085	0,69	96,9	67.244
Uso doméstico	970	0,62	85	52.797
Descalcificación				11.000
DOMÉSTICO		0,75	85	63.797
Conserva	4.081	2,61	3,84	10.030
Metálicas	6.060	3,88	0,11	432
Cárnicas	6.550	4,19	0,45	1.881
Química	7.357	4,71	0,79	3.726
Detergentes	7.685	4,92	0,03	132
Salazones	12.091	7,74	0,13	999
Lácteos	16.073	10,29	0,11	1.183
Curtidos	19.634	12,57	0,05	635
Encurtidos	21.028	13,46	0,07	984
Otros sectores	4.345	2,78	6,24	17.352
INDUSTRIA			11,8	37.354
ORIGEN DIVERSO				31.612

La conductividad eléctrica ponderada respecto al volumen tratado de las ETAR públicas de la Región de Murcia, para el año 2005 es de 3.471 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que supone un contenido aproximado de 2,22 g/l, arrojando un total aproximado de 235.000 toneladas/año de sales.

El siguiente gráfico muestra los porcentajes de contribución ponderada respecto al volumen en gramos por litro de cada una de las fuentes de sales al total de sales del agua tratada en las EDAR de Murcia (2,22 g/l).

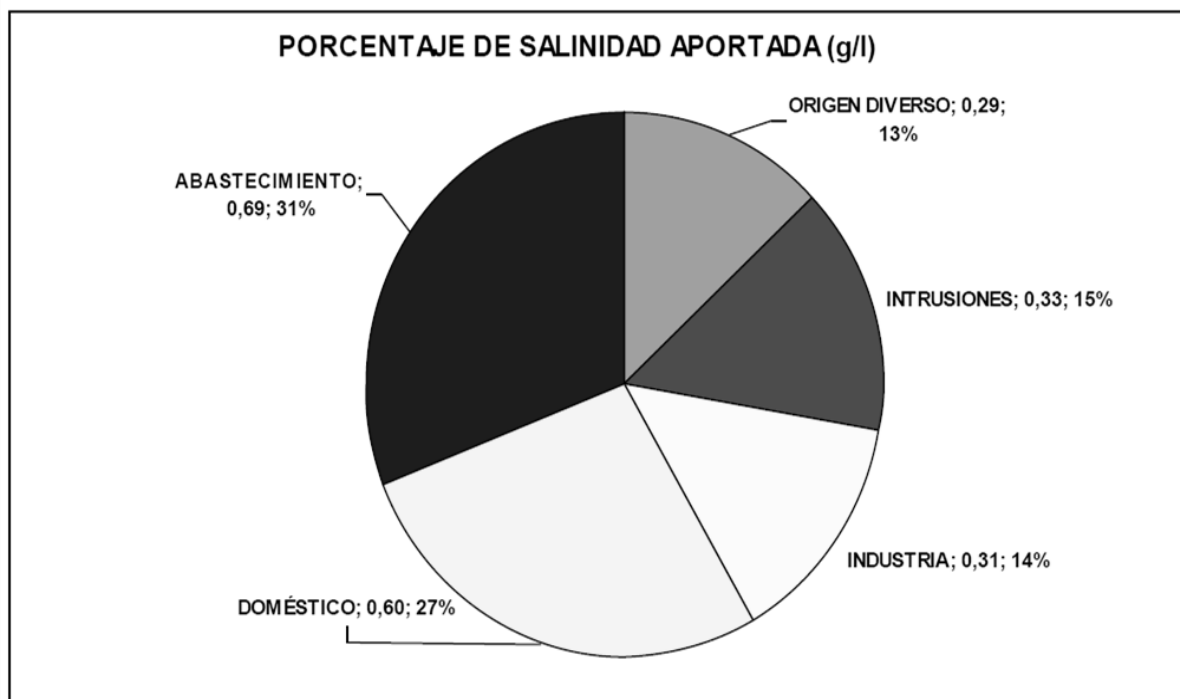


Figura 4.7. – Porcentaje de salinidad aportada.

La principal fuente de sales es la propia agua de abastecimiento (31 %), que con una conductividad eléctrica media para la Región de Murcia próxima a 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, aporta 0,69 gramos de los 2,22 g/l, y un total de casi 70.000 Tn de sales al año.

El segundo aporte de sales al alcantarillado procede del uso doméstico (27 %), aportando 0,62 g/l, se trata fundamentalmente de NaCl empleado en alimentación y en tratamientos domésticos de ablandamiento (lavavajillas, resinas en comunidades de propietarios, etc.).

El tercer aporte de sales serían las intrusiones de agua salina con 0,33 g/l (15 %), bastante importantes pero limitadas a municipios costeros o de las proximidades del Río Segura.

El sector industrial sería responsable de 0,31 g/l (14 %), en especial ciertos sectores con vertidos muy salinos, los cuales, y la industria en general, deberán modificar sus procesos productivos y tratamientos para mejorar el agua regenerada.

Es destacable la cantidad de sales cuyo origen no se ha podido asignar a ninguna de las categorías anteriores 0,29 g/l (13 %), poniendo de manifiesto la necesidad de estudios más completos para determinar su origen.

4.2.8. ACTUACIONES DE LUCHA CONTRA LA SALINIDAD

4.2.8.1. Abastecimiento

Dado que no es posible aumentar el aporte del Taibilla, medidas actualmente en curso, como la construcción del túnel Talave-Cenajo y obras asociadas, así como el creciente aporte de agua procedente de desaladoras es de esperar que suponga una mejora.

4.2.8.2. Uso doméstico

Es difícil actuar sobre el aporte de sales al alcantarillado procedentes del uso doméstico, aunque si se produce una mejora en la salinidad del agua suministrada, es de suponer que se reducirá el uso de tratamientos domésticos de ablandamiento, por otra parte innecesarios, ya que la calidad del suministro sin ser excelente, se considera aceptable, obedeciendo estos tratamientos más a un efecto comercial que a una verdadera necesidad de ablandamiento del agua. Se debería estudiar en profundidad este aporte y la posible regulación normativa de la desalación y ablandamiento de sales en viviendas y comunidades de propietarios.

4.2.8.3. Industrias

La normativa en cuanto al vertido de sales al alcantarillado es clara, ya que el Decreto 16/99 prohíbe los vertidos con conductividades por encima de 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

El coeficiente corrector del canon de saneamiento implica también un mayor coste para vertidos con sales solubles elevadas.

Ante la gravedad del problema, se tiene que aumentar la disciplina por parte de los ayuntamientos en la aplicación del decreto y las ordenanzas de vertidos, con sanciones y clausura de vertidos en caso necesario (ya existen precedentes en municipios como Murcia y Mazarrón).

Las empresas deberán:

- Modificar los procesos productivos y de tratamiento para disminuir la incorporación de sal;
- Revisar los sistemas de ablandamiento de agua sustituyéndolos por otros menos salinos;
- Hacer redes interiores separativas para aislar las aguas muy salinas de aquellas que puedan ser vertidas al alcantarillado;
- Instalar los tratamientos necesarios para evitar vertidos salinos, basados casi exclusivamente en la evaporación;
- Eliminar las sales como un residuo sólido, no incorporándolas al alcantarillado;

4.2.8.4. Intrusiones al alcantarillado

La lucha contra intrusiones marinas es complicada, siendo las medidas preventivas las más eficaces:

- Exigencia por parte de los ayuntamientos de medidas en el diseño y ejecución de las redes de saneamiento y pluviales en las nuevas urbanizaciones;
- Realización de controles, incluyendo el uso de cámaras de video, antes de la recepción de las nuevas obras de saneamiento;
- Ejecución de redes de pluviales que sirvan para evacuar las aguas salinas que entran en sótanos;

En cuanto a las redes ya existentes (Los Alcázares, La Manga del Mar Menor, Mazarrón, San Javier):

- Identificación de los ramales con mayor intrusión marina;
- Sustitución o reparación de los tramos más afectados;

En este sentido ESAMUR ha realizado estudios en Mazarrón, La Manga del Mar Menor y Molina de Segura para detectar las partes de la red de alcantarillado con mayor entrada de aguas salobres.

4.2.8.5. Achiques de aguas freáticas

Las medidas más eficaces para prevenir los achiques son las de carácter preventivo, pudiéndose actuar también sobre los achiques ya existentes. Algunas de estas alternativas podrían ser las siguientes:

- La mejor medida preventiva consistiría en construir los edificios con sótanos impermeables, en este sentido ESAMUR ha trasladado a técnicos de urbanismo del Ayuntamiento de Murcia el alcance del problema;
- Depresión del nivel freático en las zonas de mayor afección, mediante bombeos centralizados, o dispersos según el caso, destinando el agua a agricultura, o planta de potabilización;
- Evacuación del agua de achiques a una red de agua no potable, para su posterior reutilización en agricultura, usos urbanos alternativos (riego de jardines, limpieza viaria, etc.), o su vertido a cauces;
- Reinyección de las aguas extraídas en el acuífero, a profundidad suficiente para evitar recirculaciones;

4.2.9. CONCLUSIONES

- La conductividad media de las aguas depuradas en la Región de Murcia es superior a 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, situándose en extremos que pueden afectar negativamente los cultivos y los suelos;
- Afortunadamente las altas salinidades afectan sólo a las zonas costeras y algunas ETAR con fuerte componente industrial, por lo que casi el 70 % del agua regenerada se puede reutilizar con precaución;
- El 30 % restante precisaría en primer lugar medidas preventivas para disminuir su salinidad, y posteriormente ser sometidas a tratamiento de desalación;
- Las nuevas urbanizaciones en zonas costeras y de nivel freático alto deben realizarse conforme a normas que impidan la entrada de estas aguas al alcantarillado. En cuanto al saneamiento ya construido debe estudiarse los puntos de mayor intrusión y acometer su reparación o sustitución;
- Ciertos sectores industriales deben realizar esfuerzos para minimizar sus vertidos salinos, revisando sus procesos productivos y de tratamiento de agua, instalando redes separativas para que estos no alcancen el alcantarillado y procediendo a su evaporación o gestión como residuo;
- Existe un alto componente salino de los vertidos domésticos, debido a la proliferación de tratamientos que usan sal para el ablandamiento del agua. Esta práctica debería regularse mediante normativa específica;
- Las medidas encaminadas a aumentar la calidad del agua de abastecimiento repercutirán favorablemente en la calidad del agua depurada;
- Son necesarios más estudios sobre el origen de la salinidad en la Región de Murcia, así como infraestructuras específicamente destinadas a la evacuación de vertidos salinos o su tratamiento como residuos;

4.3. LA REALIDAD DE LA “ETAR DO AVE”

4.3.1. INTRODUCCIÓN

Tal y como se ha contado anteriormente, la ETAR del río Ave es una estación de tratamiento inaugurada en el verano de 2010 que se encarga de tratar el agua residual proveniente, principalmente, de los municipios de Póvoa de Varzim y Vila do Conde. El sistema de recogida consta de una red de tuberías situadas en la línea costera en la que existen un conjunto de 19 estaciones elevatorias que se encargarán de llevar el agua residual hasta la estación depuradora, situada al lado del río Ave en la “freguesia de Tougués”.

El tratamiento al que esta agua residual es sometida consta de un conjunto de fases sucesivas mediante las que se irá eliminando la materia contaminante. Estas fases ya fueron explicadas en capítulos anteriores con mayor detalle, y son las siguientes:

- Tratamiento preliminar;
- Decantación primaria;
- Reactor biológico;
- Decantación secundaria;
- Filtración;
- Desinfección;

Todos estos procesos se encuentran monitorizados digitalmente en tiempo real en una pequeña central situada dentro de la propia estación con el fin de controlar todos los aspectos y actuar de forma casi instantánea en caso de que ocurra cualquier problema, incluso son controladas las estaciones elevatorias que se encargan de impulsar el agua residual hasta la depuradora. Aparte del control digital de todas las instalaciones, se realizan análisis del agua residual en un laboratorio interno situado en el mismo edificio de la central.

Desde el momento en que se comenzó a explotar esta estación de tratamiento se han detectado algunos problemas puntuales que alteran el buen funcionamiento de los procesos. En determinados momentos llega agua con un elevado contenido en sales que perturba el tratamiento biológico acabando con gran parte de la población que se encarga de consumir la materia orgánica de forma que no se obtiene un agua con la calidad deseada. Todo esto es explicado con mayor detalle en los apartados que se muestran a continuación.

4.3.2. CONTROL ANALÍTICO

Como ya se ha comentado en apartados anteriores, en este tipo de instalaciones se lleva a cabo un exhaustivo control de los parámetros más importantes, pH, CQO, CBO₅, SST, Azoto total e Fósforo total, que nos permiten conocer el contenido de las aguas residuales de manera que dependiendo del momento se puedan aplicar tratamientos diferentes.

La estación cuenta con un laboratorio interno que se encarga de realizar estos análisis siguiendo el programa de control analítico que se muestra en la figura a seguir, teniendo por base los métodos de referencia definidos en la legislación correspondiente. Quincenalmente se envían muestras del agua bruta y de la tratada a un laboratorio externo, que también sigue un programa de control analítico, con el fin de comprobar que se cumplen todos los requisitos de calidad y que los resultados del laboratorio interno son verdaderos.

Parâmetros	Ponto de Amostragem (Periodicidade/Tipo de Amostragem)								
	Efluente Bruto	Efluente Desar./ Deseng.	Saída Dec. Primária	Reactor Biológico	Efluente Secund.	Saída Microtam.	Efluente Final	Filtrado da Espess.	Filtrado da Desidr.
pH	D/C	D/P	D/P	D/P	D/P	-	D/C	-	S/P
Temperatura	D/C	D/P	D/P	D/P	D/P	-	D/C	-	-
Oxigénio Dissolvido	D/C	D/P	-	D/P	D/P	-	D/C	-	-
Potencial Redox	D/C	-	-	D/P	D/P	-	D/C	-	-
Condutividade	D/C	-	-	-	-	-	D/C	-	-
V30	D/C	D/P	D/P	D/P	-	-	-	-	-
CQO	Ts/C	S/P	Ts/C ⁽¹⁾	-	S/C ⁽¹⁾	-	Ts/C	S/P	-
CBO ₅	Ts/C	S/P	Ts/C ⁽¹⁾	-	S/C ⁽¹⁾	-	Ts/C	-	-
SST	Ts/C	S/P	Ts/C ⁽¹⁾	S/P	S/C ⁽¹⁾	Q/P	Ts/C	S/P	S/P
SSV	Ts/C	S/P	Ts/C ⁽¹⁾	S/P	S/C ⁽¹⁾	Q/P	Ts/C	S/P	S/P
SSF	Ts/C	S/P	Ts/C ⁽¹⁾	S/P	S/C ⁽¹⁾	Q/P	Ts/C	S/P	S/P
Azoto total	S/C	-	S/C	-	-	-	S/C	-	-
Nitratos	S/C	-	-	S/P	-	-	S/C	-	-
Azoto amoniacal	S/C	-	-	S/P	-	-	S/C	-	-
Fósforo total	S/C	-	S/C	-	-	-	S/C	-	-
Caracterização microbiana	-	-	-	Q/P	-	-	-	-	-
Transmitância	-	-	-	-	-	Q/P	-	-	-
Periodicidade: D – Diário Ts – Tri-semanal S – Semanal Q – Quinzenal M – Mensal Bm – Bimestral Sm – Semestral A – Anual Tipo de Amostragem: P – Pontual C – Composta									
Observações: (1)-Esta recolha é composta, recolhida manualmente.									

Figura 4.8. – Programa de control analítico del laboratorio interno.

Además del control de todos los parámetros señalados en los cuadros anteriores se toman lecturas de los valores de la conductividad mediante un conductímetro portátil con una periodicidad muy alta, prácticamente cada hora, y en caso en que la conductividad alcance valores superiores a 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se realizarán lecturas cada 30 min hasta que los valores leídos vuelvan a descender por debajo de este umbral.

Toda la información relevante para la explotación de estas instalaciones obtenida a lo largo de cada mes es sintetizada en un informe publicado por la empresa que se encarga de explotar esta estación de tratamiento, EFACEC. De todos los datos expuestos en este documento es de especial relevancia para este estudio todo lo referido a la conductividad, normalmente se presentan tablas con aquellas lecturas más altas y posteriormente se relacionan con los efectos en las instalaciones a través de los comunicados de ocurrencia.

4.3.3. COMUNICADOS DE OCURENCIA

A lo largo de todo un mes pueden ocurrir algunos acontecimientos que hacen necesaria la actuación de los técnicos que se encuentran en las instalaciones para retornar la situación a la normalidad. Todos estos hechos son resumidos posteriormente en los informes correspondientes a cada mes con el fin de ir recopilando información de forma que si se volviera a repetir alguno de ellos ya se conoce como actuar. A continuación se plasman los comunicados de ocurrencia más significativos, que además están relacionados con la conductividad, de los meses de explotación correspondientes al período 2010-2011. En el apartado relativo a los anexos se encuentra un ejemplo de los comunicados de ocurrencia.

4.3.3.1. Comunicado de ocurrencia correspondiente al 7 de octubre de 2010

El día 6 de octubre se verificó que el afluente de entrada a la ETAR presentaba valores de conductividad alrededor de los 2.400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que indicaba la presencia de agua del mar. Los días 7 y 8 de octubre se realizaron verificaciones en la ETAR y en las Estaciones Elevatorias principales y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4.6. – Lecturas de la conductividad en la ETAR y las EE.

Local	Fecha/Hora	Valor medido (mS/cm)
ETAR Obra de entrada	7 oct./8h20	2,5
EE V.Conde entrada	7 oct./14h	13
EE V.Conde Pozo de bombeo	7 oct./17h	20
EE V.Conde Entrada pozo	7 oct./17h	16
EE V.Conde Red gravítica	7 oct./17h	10
Rio Ave (junto a la válvula de mar)	7 oct./17h	10
EE Molhe Sul	7 oct./17h30	4
ETAR Obra de entrada	7 oct./18h30	4
ETAR Obra de entrada	8 oct./4h30	19,5

Como se puede observar en la tabla anterior, los resultados obtenidos demuestran de la existencia de entrada de agua del mar a la red, por lo menos en la EE de Vila do Conde.

La entrada de agua del mar a la red que se encarga de transportar el agua residual provoca, una vez que llega a la estación de tratamiento, una desestabilización del proceso, que conlleva como consecuencia final una fuga de fangos en la decantación secundaria. Esta situación se produjo una vez el 6 de octubre, alrededor de las 17 h, y dos veces, a eso de las 16 h y las 18 h, el día 7 de octubre.

En este caso la forma de intervención consistió en cerrar la línea nº 2 del tratamiento biológico hasta que se volvió a normalizar la situación.

4.3.3.2. Comunicado de ocorrência correspondiente a los días 29/30 de noviembre de 2010

En la madrugada del día 29 de noviembre fue detectada una fuga de sólidos en la decantación secundaria, situación que se mantiene también durante el día 30. Esto se debe a la entrada de efluente contaminado con tensioactivos, sustancias que influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases y que están contenidos en productos como pueden ser detergentes o lavavajillas, conforme fue visible en varios puntos de la ETAR.



Figura 4.9. – Presencia de tensioactivos en la elevación inicial de la ETAR.



Figura 4.10. – Presencia de tensioactivos en la entrada del tratamiento biológico.



Figura 4.11. – Presencia de tensioactivos en el tratamiento biológico.

Como consecuencia de la existencia de estas sustancias se produjo una disminución significativa de la sedimentabilidad de la biomasa, debido a un efecto dispersante sobre los flóculos existentes, que tuvo como consecuencia la salida de fangos por los descargadores de superficie de los decantadores secundarios. Es necesario añadir que, debido a situaciones puntuales de intrusión salina en el sistema de saneamiento que eleva las aguas residuales a la estación depuradora, el proceso biológico se encontraba fragilizado. Esta descarga de tensioactivos agravó el problema de la sedimentabilidad de la biomasa que ya existía debido a las grandes oscilaciones de los niveles de sales disueltas en el efluente.

En este caso se actuó instalando un circuito provisional de dosificación de polímero en las líneas de tratamiento. Al final de la tarde del día 29 se inició la dosificación de un floculante catiónico en los reactores biológicos para conseguir unos flóculos más consistentes y de esta forma aumentar la sedimentabilidad de la biomasa. Como el efecto de esta medida no es inmediato se decidió abrir la línea 1, que se encontraba fuera de servicio, para funcionar como cuenca de retención y así ganar tiempo para que los flóculos de las líneas 2 y 3 se volvieran más consistentes.

Se retornaría a la normalidad cuando la sedimentabilidad de los fangos de las líneas 2 y 3 mejorara significativamente.

4.3.3.3. Comunicado de ocurrencia correspondiente al 14 de diciembre de 2010

En la madrugada del día 14 de diciembre se detectó una nueva fuga de sólidos en el decantador secundario nº3. Como puede observarse en las siguientes fotos, fue detectada la entrada de un efluente contaminado con tensioactivos en varios puntos de la ETAR. Esta situación posee los mismos síntomas que acontecimientos anteriores, se vuelve a notar la presencia de un exceso de espumas en determinados puntos clave del tratamiento.



Figura 4.12. – Presencia de tensioactivos en la elevación inicial de la ETAR.

Esta fuga de sólidos se verificó en la línea nº3, línea donde el proceso de tratamiento se encontraba más fragilizado. En cambio la línea nº2 funcionó sin ningún problema.

Como solución a este problema se procedió a cerrar la línea nº3 hasta recuperar la normalidad, quedando únicamente en servicio la línea nº2.

4.3.3.4. Comunicado de ocurrencia correspondiente al 22 de diciembre de 2010

A las 16 h del día 22 de diciembre se verificó que el efluente a la entrada de la ETAR presentaba valores elevados de conductividad, lo que significaba que se había producido una intrusión marina. Se realizaron varias verificaciones en la ETAR y en las Estaciones Elevatorias obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4.7. – Lecturas de la conductividad en la ETAR y las EE.

Local	Hora	Valor medido (mS/cm)
ETAR Obra de Entrada	16h	2,4
	16h08	2,1
	16h50	4,1
EE Vila do Conde	17h15	1,1
EE Molhe Sul	17h45	2,7
ETAR Obra de Entrada	19h30	2,8
	20h10	2,3
	20h40	2,2
	21h	2,5

22h	2,6
23h	1,5
00h	1,4

También fue detectada en la ETAR la entrada de efluente con una cantidad anormal de grasa, conforme se puede verificar por las siguientes fotografías:



Figura 4.13. – Presencia de grasas en el desbaste.

Debido a la llegada de este efluente con cantidades anormales de grasa se produjo una acumulación de las mismas en la superficie de los órganos de pretratamiento, pero a pesar de este fenómeno, el tratamiento biológico apenas sufrió alteraciones significativas con esta descarga.

Durante el tiempo que duró este acontecimiento no sólo se procedió a controlar la conductividad del agua residual, sino que también se realizaron inspecciones visuales del reactor biológico y del decantador secundario de la línea 2. Los valores de la conductividad se normalizaron alrededor de las 23h.

4.3.3.5. Comunicado de ocurrencia correspondiente al 1/2 de junio de 2011

En los días 1 y 2 de junio se detectaron fugas de sólidos en la decantación secundaria, iniciándose la primera fuga a las 15h del día 1. Al igual que en ocasiones anteriores, se detectó la existencia de una espuma blanquecina, probablemente provocada por la entrada de tensioactivos, que como ya comentamos en otros comunicados de ocurrencia, se relacionan con el uso de detergentes.



Figura 4.14. – Presencia de espuma blanquecina en el reactor biológico.



Figura 4.15. – Presencia de espuma blanquecina en el reactor biológico.

También se detectó un aumento de la conductividad durante la tarde de ambos días, alcanzando picos de $2.720 \mu\text{S}/\text{cm}$, a las 19h del día 1 y de $3.200 \mu\text{S}/\text{cm}$ a las 13h del día 2.

Por causa de estos hechos se produjo una disminución significativa de la sedimentabilidad de los fangos biológicos provocando la correspondiente fuga de sólidos en la decantación secundaria.

Como medidas de actuación se procedió a un cierre parcial de la línea 2, cuando las fugas fueron detectadas, junto con una apertura de la línea 1, además de activar el sistema de inyección de polímero en la salida del reactor biológico.

Con estas intervenciones se consiguió restablecer la situación, aunque el proceso se mantenía fragilizado.

4.3.3.6. Comunicado de ocorrência correspondiente al 7 de junio de 2011

Alrededor de las 13h del día 7 de junio fue detectada una nueva fuga de sólidos de la decantación secundaria. El proceso se encontraba bastante frágil por la entrada constante de tensioactivos, sigue existiendo esa espuma blanquecina, y la entrada de agua del mar.

Todo esto hace que la sedimentabilidad de los fangos siga manteniéndose muy baja, provocando la fuga puntual de los mismos por el decantador secundario.

De nuevo se procedió a cerrar la línea 2, cuando fueron detectadas las fugas, y la apertura de la línea 1, además de mantener la inyección del polímero en la salida del reactor biológico. También se realizó un espesamiento continuo del fango biológico para renovar la biomasa.

Con estas intervenciones se consiguió restablecer la situación, aunque el proceso se mantenía fragilizado.

4.3.3.7. Comunicado de ocorrência correspondiente al 14 de junio de 2011

Alrededor de las 14h del día 14 de junio fue detectada una nueva fuga de sólidos de la decantación secundaria. Esta situación fue provocada por varias causas que ocurrieron de forma simultánea, de las que destacan las siguientes:

- Afluencia de agua con vestigios de intrusión salina tal y como muestra el siguiente cuadro.

Tabla 4.8. – Lecturas de la conductividad en la ETAR y las EE.

Lugar	Día/Hora	Conductividad (mS/cm)
EE Molhe Sul	13/14h	6,1
ETAR	13/17h30	3,2
ETAR	14/14h30	1,9
ETAR	14/16h	2,4

- Presencia de espuma que indica la presencia de tensioactivos en el afluente, como puede demostrarse por medio de las fotografías tomadas desde la cámara intermedia de la elevación inicial y desde el reactor biológico.
- Desnitrificación del decantador secundario, con la consecuente subida de flóculos. Esta situación se debe a las alteraciones procesuales que se vienen introduciendo como forma de mejorar el proceso de tratamiento, lo que llevó a alterar la etapa de nitrificación-desnitrificación.

Todo esto hace que la biomasa presente características de baja sedimentabilidad, tal y como viene ocurriendo en fechas anteriores, y se produzca la correspondiente fuga de sólidos en la decantación secundaria.



Figura 4.16. – Presencia de tensioactivos en la cámara intermedia de la elevación inicial.



Figura 4.17. – Presencia de tensioactivos en el reactor biológico.

Nuevamente, tal y como se viene procediendo con acontecimientos de la misma índole, se cerró parcialmente la línea 2 al mismo tiempo que se abría la línea 1. Se hicieron correcciones en la etapa de nitrificación-desnitrificación, y se intentó, con la colaboración de Aguas do Noroeste, detectar la proveniencia de las afluencias extrañas.

La vuelta a la normalidad no fue alcanzada totalmente, a pesar de que se consiguiera controlar las fugas de sólidos en la decantación secundaria.

4.3.3.8. Comunicado de ocorrência correspondiente al 5 de julio de 2011

En el inicio de la tarde del 5 de junio fue detectada una fuga de sólidos en la línea 2 de la decantación secundaria. Se alcanzó un pico de caudal al final de la mañana debido a un problema de operación en la EE do Molhe Sul. A pesar de haber cerrado la compuerta, no hubo by-pass a la Elevatória porque el conducto se encontraba seco.

Otra vez fueron detectadas cantidades muy elevadas de espuma en el reactor biológico de la línea 2 (ver las imágenes).



Figura 4.18. – Presencia de gran cantidad de espumas en el reactor biológico.



Figura 4.19. – Detalle de las espumas presentes en el reactor biológico.

Esta fuga de sólidos hace que exista by-pass parcial a la microtamización. Cuando se detectó que la microtamización no conseguía hacer frente a la fuga de sólidos afluente se decidió cerrar la línea 2 para acabar con el problema.

4.3.3.9. Comunicado de ocorrência correspondiente al 27-30 de septiembre de 2011

El día 27 de septiembre se detectó la presencia de algas marinas en los residuos obtenidos en el tratamiento preliminar. Esta situación se repitió en los días siguientes de este período. Además de este hecho, también se detectó un aumento considerable de la conductividad del efluente bruto:

Tabla 4.9. – Conductividad del efluente bruto.

Fecha/Hora	Valor medido ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
27 Sep/21h	15.100
28 Sep/11h	12.350
29 Sep/10h30	12.080
29 Sep/22h	23.000
30 Sep/12h	9.460

Después de analizar los residuos de las estaciones elevatorias, se detectó la presencia de algas marinas en la EE de Forte. Naturalmente también se detectaron en la EE de Molhe Sul.



Figura 4.20. – Algas marinas presentes en la EE de Forte.



Figura 4.21. – Algas marinas presentes en la EE de Forte.

Tal y como ocurrió en fechas anteriores, los fangos biológicos de la estación de tratamiento presentan un sedimentabilidad bastante baja, de forma que la entrada de esta agua salada provoca la fuga de sólidos en la decantación secundaria. Para conseguir arreglar esto se aumentó el caudal de recirculación y se mantuvo la dosificación provisional de polímero en la línea nº2 del tratamiento biológico, que era la línea más afectada.

5

ACCIONES PARA MINIMIZAR LOS EFECTOS

5.1. DETECCIÓN DE LA INTRUSIÓN SALINA

Normalmente el suceso de una situación de intrusión salina es fácilmente detectable, por la simple observación de los residuos retirados en las etapas de pre-tratamiento existentes a la entrada de las estaciones depuradoras, tales como algas marinas, peces, etc.

Aparte de estas señales tan obvias, se van a producir alteraciones de los parámetros de control de las estaciones de tratamiento como consecuencia de este fenómeno, y es aquí donde debe actuar el equipo de explotación de la ETAR. Dentro de estas alteraciones se pueden destacar:

- Crecimiento anormalmente lento de la biomasa durante la fase de arranque del reactor biológico;
- Fuga de fangos en los decantadores secundarios sin motivo aparente;
- Aumento significativo del caudal en períodos de tiempo seco;
- Dilución de las concentraciones en el efluente bruto no imputable a aguas pluviales;
- Formación de precipitados en el análisis de la CQO;
- Tonalidad más oscura en los decantadores primarios;

Es necesario añadir que, tal y como se viene diciendo a lo largo de todo este estudio, la manera más fiable de detección de la intrusión salina es mediante la lectura de la conductividad en varios puntos de la línea (entrada, reactor biológico y efluente final). De esta forma se pueden ejecutar medidas mitigadoras que disminuyan los efectos a partir del momento en que es detectado el problema.

Es recomendable, en todas las ETAR situadas en ciudades costeras, que la medición de la conductividad forme parte de las rutinas diarias de control. En caso de que se registren fenómenos de intrusión salina, este control debe ser ampliado a las estaciones elevatorias y puntos de la red donde se sospeche que se está produciendo esta infiltración. Al realizar el planeamiento de la toma de lecturas se hace imprescindible tener en cuenta los horarios de las mareas, dando preferencia a las horas en que éstas alcanzan altura máxima.

La prioridad será minimizar los caudales de agua salina que llegan a la ETAR, pues acarrearán costes innecesarios en todos los niveles. Aparte de esto, existe el riesgo de que se produzca una disminución de las eficiencias de los procesos biológicos, con eventuales incumplimientos de las normas de descarga.

5.2. EVOLUCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO

El fenómeno de la intrusión marina en las estaciones de tratamiento situadas en zonas costeras es bastante común, existen varios casos en algunas regiones de España y Portugal. A pesar de que son varias las estaciones depuradoras afectadas por este problema, apenas hay información sobre las actuaciones que se pueden llevar a cabo para combatirlo.

Como se ha podido demostrar en capítulos anteriores, principalmente en el artículo que informa sobre el caso de la Región de Murcia, puede haber numerosas causas por las que puede aparecer este problema. A lo largo de este apartado se analizan los pasos seguidos por el equipo de explotación de la ETAR do Ave para tratar este problema.

5.2.1. LOCALIZACIÓN DEL PROBLEMA

Para que exista intrusión marina es necesario que alguna de las partes integrantes de todo el sistema de recogida de las aguas residuales se encuentre por debajo del nivel del mar. Como este problema sólo aparece en determinadas ocasiones, tiene que haber alguna parte del sistema que se encuentre por debajo del nivel del mar en momentos puntuales. A partir del análisis de las gráficas del capítulo 3 pudimos concluir, aunque no sea una conclusión definitiva, que este acontecimiento tiene lugar la mayoría de las veces en que las olas superan los 2,5 m de altura.

En este caso, el fenómeno puede ser achacado a fallos en el diseño de alguno de los componentes del sistema de recogida de las aguas residuales, bien sean los conductos encargados de transportar el agua residual, así como alguna de las estaciones elevatorias. También es necesario añadir que, probablemente, el fenómeno de la intrusión marina no se conocía en el momento en que se diseñó el sistema debido a falta de información, hecho que agrava aún más el problema.

Tal y como se ha explicado en el anterior apartado, en este tipo de estaciones depuradoras se debe llevar un control diario de la conductividad. En nuestro caso, como podemos comprobar en una de las tablas contenidas en el capítulo 4, diariamente se toman muestras compuestas del efluente bruto y final. También se realizan lecturas puntuales de la conductividad del efluente bruto a todas horas, y en caso de que se sobrepasen los 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se tomarán medidas cada media hora hasta que se vuelvan a alcanzar valores inferiores a este umbral.

Cuando se han tenido problemas de intrusión marina, tal y como se describe en algunos de los comunicados de ocurrencia, aparte de todas las lecturas anteriores, se ha procedido a realizar mediciones de la conductividad en las estaciones elevatorias que se encargan de impulsar el agua residual hasta la estación depuradora, demostrando que, al menos, la Estación Elevatoria de Vila do Conde es una de las afectadas por este fenómeno, aunque se puede decir que no es la única.

Si la EE de Vila do Conde es una de las partes que se encuentra afectada por la presencia de aguas con alto contenido de sales, esto quiere decir que es en alguno de los conductos que abastecen a esta estación elevatoria donde se produce la infiltración. Aunque las tuberías sean completamente estancas, siempre hay posibilidad de que existan filtraciones de agua por alguno de los nexos de unión entre las mismas. También puede ocurrir que el deterioro de éstas hace que pierdan parte de la estanqueidad que se presupone que tienen.

Una posible solución a este problema sería, por tanto, localizar exactamente cuáles son los conductos afectados por la intrusión marina, comprobar la estanqueidad de los mismos, y en caso en que no lo fueran, sustituirlos por otros que fueran perfectamente estancos, aunque se sepa que nunca se va a alcanzar la estanqueidad completa, pero ayudaría a disminuir los efectos de este problema. Hoy en día,

con la tecnología actual, se podrían realizar las inspecciones correspondientes en la zona que se cree que está afectada mediante cámaras internas que se mueven por el interior de los conductos y permiten localizar las zonas afectadas para proceder posteriormente a su sustitución.

En caso en que se conservara la estanqueidad que se presupone que poseen, no quedaría otra solución que diseñar otra red de tuberías de forma que éstas no se encuentren por debajo del nivel del mar en aquellos momentos puntuales. Para ello sería necesario realizar un estudio más profundo sobre las variaciones del nivel del agua en aquellas zonas donde se producen infiltraciones, para después situar los conductos. Es una solución que a simple vista parece más costosa, pero es a la vez más efectiva.

5.2.2. TRATAMIENTO EN LA ETAR

Tal y como se ha explicado anteriormente, en la estación depuradora se toman lecturas de la conductividad de las aguas residuales que llegan desde las estaciones elevatorias con una periodicidad muy alta, prácticamente cada hora. El control exhaustivo de este parámetro permite actuar de una forma rápida y casi inmediata en caso en que las aguas residuales se encuentren contaminadas debido a la intrusión marina.

La presencia de salinidad en las aguas residuales puede crear un efecto inhibitorio sobre la biocenosis del agua dulce y afectar a las propiedades de sedimentación de los sólidos. Un agua con alta salinidad provoca plasmólisis, que ocurre cuando los microorganismos del cultivo biológico se ven rodeados por agua cargada de sales, y/o pérdida de actividad de las células.

La llegada de agua contaminada por la intrusión marina provoca alteraciones en los mecanismos de tratamiento, afectando de forma importante al tratamiento biológico y a la decantación secundaria. La mayoría de las veces, según los comunicados de ocurrencia del capítulo 4, la presencia de agua con elevada salinidad provoca una desestabilización del proceso, que conlleva como consecuencia una fuga de sólidos en la decantación secundaria, que se produce porque disminuye la sedimentabilidad de la biomasa, es decir, aumentan los SST. Este efecto, en algunos casos, también se ve acentuado por la presencia de tensioactivos en las aguas residuales, que según conclusiones recientes, proceden de alguna actividad industrial que vierte directamente a la red de saneamiento sin licencia.

En el caso en que se detecte agua con elevados niveles de conductividad no existe ningún protocolo de actuación contra este fenómeno, es decir, no existen unas pautas a seguir por el equipo de explotación para minimizar los efectos de este problema. La manera de actuar frente a esta situación ha ido evolucionando a medida que fueron avanzando los meses según se han ido experimentando diferentes mecanismos para paliar este problema.

La primera vez que se detectó una fuga de sólidos en la decantación secundaria provocada por la entrada de agua con alto contenido en sales que desestabilizó el proceso, octubre de 2010, se cerró la línea nº2 del tratamiento biológico hasta que la situación se consiguió normalizar. De esta forma se aisló la línea más contaminada y se dejó que las otras continuaran trabajando con normalidad, recibiendo agua contaminada de la línea nº2 que era bombeada en pequeñas cantidades.

Una posterior evolución en la forma de tratar este problema se dio en noviembre de 2010, en este caso se tenía un proceso biológico fragilizado por la variación continua de la salinidad del agua residual, y que se vio perjudicado por la entrada de un agua contaminada con tensioactivos. La llegada de estas sustancias produce una disminución significativa de la sedimentabilidad de la biomasa, provocando un efecto dispersante en los flóculos existentes. Como consecuencia de este suceso se produce la salida de fangos por los descargadores de superficie de los decantadores secundarios. La presencia de estas partículas agravó aún más el problema que se tenía con la baja sedimentabilidad de los sólidos

provocada por las variaciones de la salinidad. En ese momento se decidió actuar mediante la instalación de un circuito provisional de dosificación de polímero, que mediante la adición de un floculante catiónico, pretendía conseguir unos flóculos más consistentes y de esta forma aumentar la sedimentabilidad de la biomasa. Como el efecto de la dosificación no es inmediato, se decidió abrir la línea nº1, que se encontraba fuera de servicio, para que funcionara como cuenca de retención mientras los flóculos de las líneas 2 y 3 se volvían más consistentes. A pesar de que este procedimiento es bastante efectivo, es necesario añadir que también es muy caro para el rendimiento que se obtiene con él, siendo inviable continuar con este tipo de tratamiento.

A medida que los meses iban avanzando las medidas tomadas para actuar frente a este problema también iban evolucionando, con el fin de encontrar el procedimiento más adecuado para tratar este problema. En los últimos meses del año 2011 se intentó dar un paso más para mejorar el proceso de tratamiento. Es en este momento donde cobra importancia el concepto “recirculación de fangos”.

El objetivo de la recirculación de fangos es mantener una concentración suficiente de fangos activos, de biomasa, en la cuba de aireación, de forma que se pueda alcanzar el tratamiento deseado. Cuanto mayor sea la concentración de biomasa en el reactor menor será la duración del tratamiento. Los fangos se recirculan desde el fondo del decantador secundario, siendo máxima la concentración de fango en este punto.

En la ETAR do Ave se aumentó la recirculación de fangos, prácticamente al doble, consiguiendo detener parte de la biomasa en el reactor biológico con el fin de que no escape por debajo del deflector de decantador secundario. Esta medida junto con la dosificación de polímero forma la combinación perfecta para actuar contra la tan famosa fuga de sólidos en la decantación secundaria, que tantos quebraderos de cabeza están dando al equipo de explotación de la estación de tratamiento.

En los anteriores párrafos se relatan las medidas tomadas por el equipo de explotación de la estación depuradora para hacer frente a los problemas generados por la llegada de aguas residuales contaminadas con elevado contenido de sales. La forma de actuar ha ido evolucionando con el fin de conseguir un tratamiento lo más efectivo posible de manera que todos los procesos se van afectados lo menos posible.

Como ejemplo de estas medidas de actuación, se muestra a continuación un gráfico perteneciente a septiembre de 2011 en el que se comparan las muestras compuestas de conductividad con la cantidad total de SST contenidos en el efluente final además del valor límite permitido de descarga.

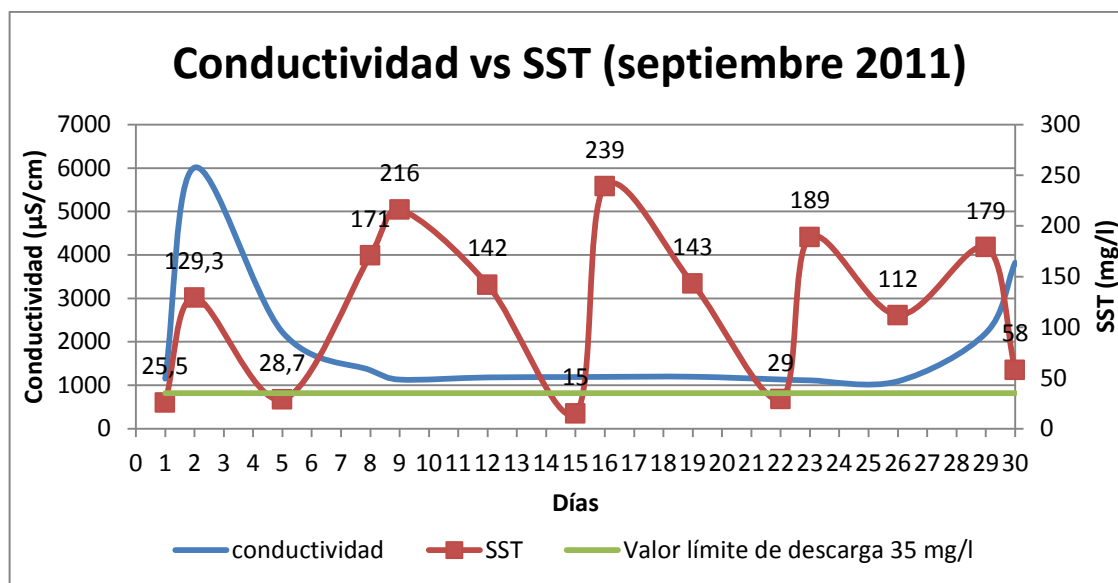


Figura 5.1. – Comparativa condutividade vs SST de setembro de 2011

Como se puede observar en la figura anterior, son numerosos los días en que se sobrepasa el valor límite de descarga, 35 mg/l, llegando, en algunos casos, a quintuplicar ese umbral, lo que significa que el tratamiento del agua residual llevado a cabo no es el correcto. Esto, a su vez, también puede ser debido a que se recibió agua residual con muy alta salinidad, y como medida de actuación se desvió el caudal contaminado a una de las líneas que se encuentran fuera de servicio para después irlo bombeando poco a poco y proceder a su tratamiento, de forma que se reparten los SST en varios días.

Mediante este gráfico se tenía la intención de demostrar la relación directa entre la conductividad y los SST y cómo la adición de polímero soluciona alguno de los problemas, pero, aparentemente, esto no ha sido posible. Son varias las razones que explican esta situación. La primera de ellas es que los valores de conductividad introducidos para elaborar este gráfico se corresponden a muestras compuestas, es decir, un valor medio de las lecturas de conductividad realizadas a lo largo de todo el día, por lo que no es representativo para este estudio. Esto también ocurre con las lecturas de los SST. Tampoco se ha conseguido establecer una relación con la cantidad de polímero añadido porque no existen datos en los informes sobre este tema.

Lo ideal, también se podría considerar como una medida de implementación, sería conocer la evolución de la conductividad a lo largo de cada uno de los días, y a partir de ahí, con su retardo temporal correspondiente, ver las consecuencias en el tratamiento y en la descarga final mediante la lectura de los SST contenidos en el efluente final. Esta sería una forma científica de corroborar que existe esa relación directa, y después se debería anotar la cantidad de polímero que es necesario adicionar para minimizar el efecto de la intrusión salina y conseguir que no se produzca la fuga de sólidos en la decantación secundaria. De esta manera se podría cuantificar la cantidad de polímero, que es un dato importante para la empresa que se encarga de la explotación de la planta porque supone un coste determinado y es necesario tenerlo en cuenta, que se necesita para actuar contra la baja sedimentabilidad. Aparte de esta posible medida existen otras acciones que pueden servir para minimizar los efectos de la intrusión salina, y son explicados a continuación.

5.2.3. POSIBLES MEJORAS

Como hemos visto anteriormente, los procesos de tratamiento del agua residual contaminada por la intrusión salina han ido evolucionando a lo largo de los meses que lleva en funcionamiento esta estación de tratamiento. Se han experimentado diferentes formas de tratamiento con el fin de encontrar la manera más adecuada de tratar este tipo de agua.

En primer lugar, se debería localizar exactamente dónde se produce el fenómeno de intrusión marina mediante un análisis exhaustivo de todos los elementos que forman parte del sistema de recogida de las aguas residuales, aunque esto signifique una inversión de dinero bastante elevada. Una vez localizada la zona donde se produce este problema, se deberían analizar las causas por las cuales llega a penetrar agua marina en la red, y en tal caso, buscar posibles soluciones para resolverlo.

Suponiendo que esto supone una inversión muy grande, de la cual la empresa encargada no puede hacerse cargo a corto plazo, se deberían buscar otras alternativas.

Una vez conocidos los efectos que este problema provoca en el tratamiento, conocimiento adquirido a lo largo de varios meses donde se han experimentado diferentes procesos para tratar los efectos causados por la llegada de aguas residuales contaminadas por la intrusión marina, se debería redactar un protocolo de actuación para hacer frente a este fenómeno. Un protocolo de actuación estaría formado por un conjunto de normas flexibles, porque cada situación puede ser diferente a casos anteriores, que sirven de guía para las personas que se encargan de explotar la estación de tratamiento. Además, este protocolo de actuación está formado por un conjunto de reglas que tienen una conocida efectividad, y se sabe que darán resultado. Esta sería una primera medida más que fundamental porque establece la forma de actuar frente a este problema.

Aparte de esta medida fundamental, sería necesario diseñar e instalar un sistema de alerta que nos avise cuando se detecte la entrada de agua residual con elevada conductividad. Actualmente la conductividad del agua es medida a la entrada de la estación de tratamiento de una forma manual, esto consiste en que una persona se traslada con un conductímetro portátil, aproximadamente cada hora, y toma la lectura. De esta forma podría llegar agua contaminada justo después de tomar la lectura, y como hasta la siguiente hora no se procederá a tomar una nueva medición, entraría agua residual con alto contenido en sales en el tratamiento provocando la correspondiente alteración de los procesos que se llevan a cabo dentro de la estación. Hay que añadir que únicamente es medida la conductividad a la entrada de la ETAR, aunque las partes más afectadas por este problema siempre sean el tratamiento biológico y la decantación secundaria. Por tanto, sería imprescindible instalar varios conductímetros electrónicos que tomen lecturas con una frecuencia muy alta, estaríamos hablando de minutos, en aquellas zonas del tratamiento más vulnerables para tener un control más exhaustivo de la evolución de la conductividad. Los más importantes se emplazarían antes y después de los reactores biológicos, porque de esta modo nos informarán de una forma continua del contenido del agua residual y nos alertarán cuando los niveles de conductividad superen un determinado valor umbral, de forma que los técnicos estén avisados y lleven a cabo las medidas adecuadas para minimizar los efectos de la intrusión salina, como por ejemplo desviar el caudal contaminado a una de las líneas que no se encuentran en funcionamiento e irlo bombeando poco a poco a las líneas activas para tratarlo adecuadamente con el agua no contaminada en exceso. Por último, se debería instalar otro conductímetro ubicado después del tratamiento terciario, que serviría para vigilar que el contenido de sales del agua residual vertida al río Ave sea inferior al valor límite permitido.

Según informaciones recientes, junio de 2012, un sistema de alerta de este tipo será instalado en breve. En este caso se instalarán dos conductímetros electrónicos situados en las estaciones elevatorias, EE de Molhe Sul y EE de Vila do Conde, que se encargan de impulsar el agua residual hasta la entrada de

la ETAR. Tomarán lecturas cada 5 minutos que serán almacenadas en la base de datos de la estación de tratamiento. Estos dos conductímetros forman parte del sistema de alerta que avisará al personal responsable del mantenimiento de la estación cuando se detecte agua residual con alto contenido en sales para que proceda a actuar con las medidas necesarias para salvaguardar el buen estado de la estación depuradora y que la intrusión salina afecte lo más mínimo posible a los procesos de tratamiento.

Uno de los problemas que también se presentan en la estación de tratamiento del río Ave tiene su origen en el diseño de la propia estación. En algunas de las estaciones depuradoras del mismo tipo existe una interconexión entre todos los decantadores secundarios, consiguiendo de esta forma, en caso de que fuera necesario, repartir el caudal entre todos y no tener tantos problemas con los fangos. En nuestro caso tenemos tres líneas totalmente independientes, de manera que este reparto no puede llevarse a cabo desde la salida del tratamiento biológico. Para poder realizar este reparto se deberían tener abiertas todas las líneas desde el principio del tratamiento biológico para poder dividir el caudal, situación que no es viable en determinadas épocas del año, porque el caudal no es suficiente para tener en funcionamiento las tres líneas. Una posible solución futura sería realizar una pequeña obra civil para interconectar los tres decantadores secundarios de forma que facilitaría el tratamiento del agua residual contaminada por la intrusión salina. Para ello sería necesario realizar un proyecto de estudio que analizara las diferentes posibilidades para llevar a cabo esta acción, y dependiendo de todas las posibles soluciones, elegir la opción más adecuada.

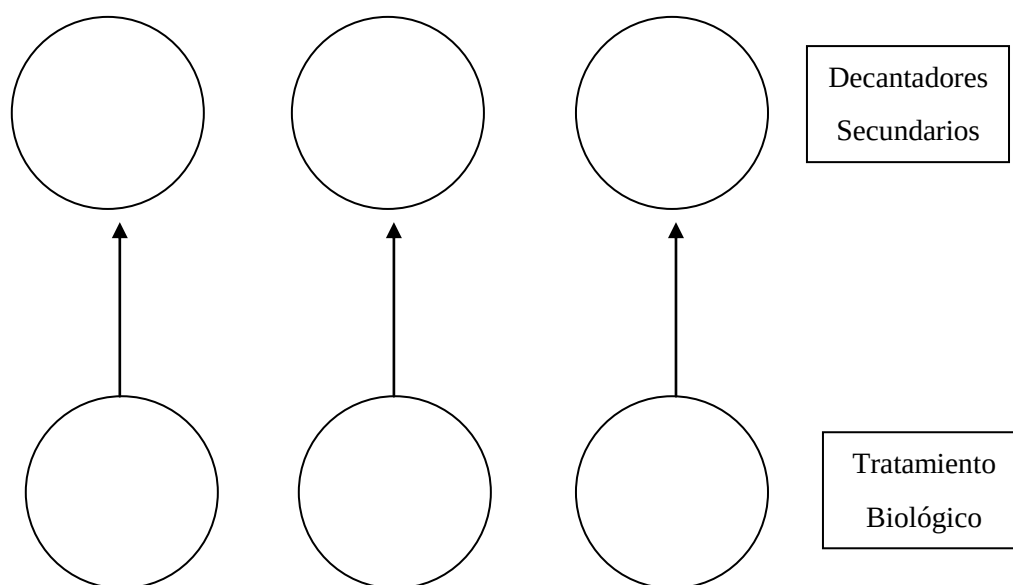


Figura 5.2. - Situación actual.

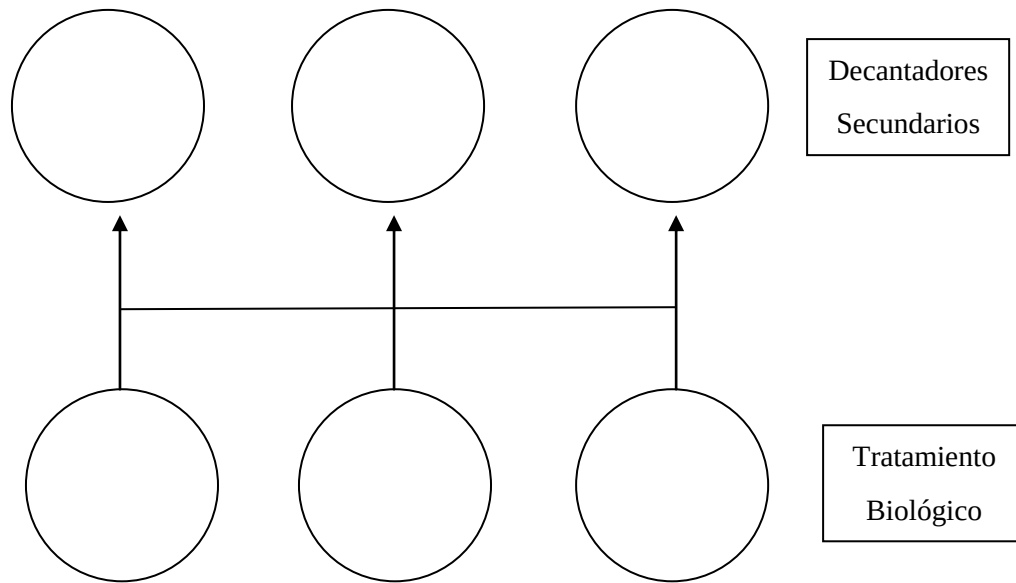


Figura 5.3. – Situación futura con la obra de interconexión.

6

SISTEMA DE ALERTA

6.1. INTRODUCCIÓN

Como ya se sabe, a partir de la información detallada en capítulos anteriores, la ETAR do Ave es una estación depuradora de aguas residuales provenientes, principalmente, de las localidades de Vila do Conde y Póvoa de Varzim que se encuentra en su segundo año de exploración. Tras un tiempo más que suficiente para calibrar todos los procesos y conseguir un agua tratada de calidad se mantienen los problemas presentados desde el inicio de su explotación, entre los cuáles se encuentra la intrusión salina, el más importante, y protagonista de este estudio.

En el capítulo 5, Acciones para minimizar los efectos, se describen posibles medidas que pueden llevarse a cabo con el fin de evitar las consecuencias en los procesos de tratamiento de la ETAR, detalladas en los comunicados de ocurrencia pertenecientes al capítulo 4.

Entre las numerosas alternativas posibles se encuentra la opción de instalar un sistema de alerta que avise de la llegada de agua residual contaminada con alto contenido en sales, de forma que el personal encargado de explotar la estación de tratamiento tenga tiempo suficiente para tomar las decisiones necesarias con el fin de minimizar sus efectos en los procesos de depuración.

6.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ALERTA

Recientemente, a inicios de junio de 2012, se ha procedido a la instalación de un sistema de alerta que permite avisar al personal responsable del mantenimiento de la estación cuando se detecte agua residual con alto contenido en sales para que actúe con las medidas necesarias para salvaguardar el buen estado de la estación depuradora y que la intrusión salina afecte lo más mínimo posible a los procesos de tratamiento.

El sistema de alerta está formado por dos conductímetros digitales localizados en las estaciones elevatorias principales, la EE de Molhe Sul y la EE de Vila do Conde. Se ha decidido instalar aquí los conductímetros porque la gran mayoría de las aguas residuales que llegan a la estación depuradora son impulsadas por el sistema de bombeo presente en estas estaciones. Aparte de esta razón, que es la más importante, las estaciones elevatorias se encuentran lo suficientemente alejadas, alrededor de 6 km, como para que el personal encargado de explotar la estación depuradora tenga suficiente tiempo de reacción y tome las decisiones correctas para conseguir que los procesos de tratamiento sean afectados lo más mínimo posible.

Asociados a estos conductímetros se encuentran los correspondientes data-logger, aparatos encargados de registrar los datos que necesitamos, cuya función, en este caso, es almacenar las lecturas de conductividad realizadas de 5 en 5 minutos. De momento estos equipos de lectura sólo almacenan los datos para su posterior descarga por el personal encargado, es decir, el sistema de alerta todavía no está completo porque faltarían las correspondientes emisoras cuya misión sería enviar los datos a la central de explotación para actuar en caso de que fuera necesario.

En este caso habría que darle más importancia a la señal emitida por el conductímetro que se encuentra en la EE de Molhe Sul porque, como sabemos de capítulos anteriores, recibe las aguas provenientes de la EE de Vila do Conde para su posterior impulsión hasta la ETAR do Ave.



Figura 6.1. – Conductímetro EE Vila do Conde.



Figura 6.2. – Conductímetro EE Molhe Sul.



Figura 6.3. – Data-logger asociado a uno de los conductímetros.

6.3. PRIMERA SEMANA DE FUNCIONAMIENTO

Una vez finalizada la instalación de estos equipamientos se procedió a almacenar los datos y realizar un análisis de los mismos después de su descarga. En este caso se obtuvieron lecturas comprendidas entre las fechas 13-6-2012 (a partir de las 11:45 horas) y 18-6-2012 (hasta las 15:00 horas), que quedan representadas, junto con la previsión de las mareas, en la siguiente figura.

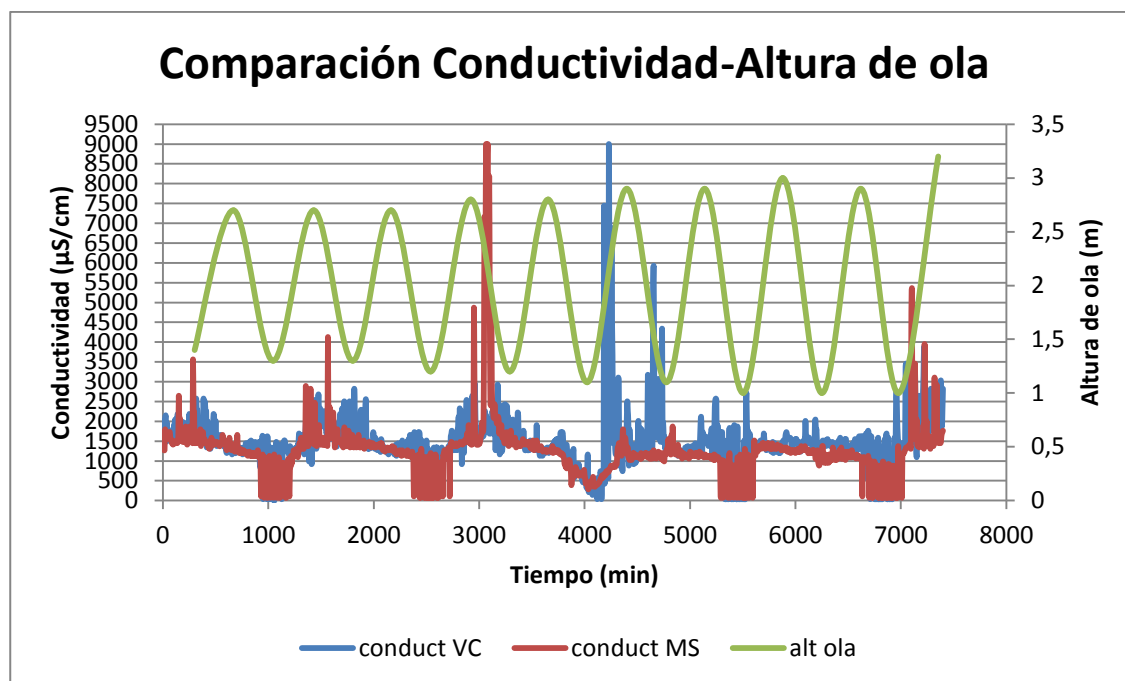


Figura 6.4. – Comparativa Conductividad vs Altura de ola.

Si se observa el gráfico anterior se puede comprobar que únicamente existen dos picos significativos, del orden de 9000 $\mu\text{S/cm}$, pero su duración es mínima, por lo que esto puede ser atribuible a un error del aparato porque las lecturas son de 5 en 5 minutos, y en el caso de que existiera intrusión marina estas lecturas perdurarían en el tiempo. Apenas se puede encontrar relación alguna con la previsión de la marea, pero esto no es relevante porque se necesitaría más tiempo de prueba y un análisis más en profundidad. Algunos de los picos existentes se pueden relacionar con vertidos puntuales de alguna industria desconocida a la red de alcantarillado.

Aquellos valores de conductividad inferiores a 800 $\mu\text{S/cm}$ pueden ser despreciables porque no se corresponden con la realidad, esto ocurre porque, explicación dada por las personas encargadas del control de las instalaciones, a veces no hay caudal suficiente y el nivel del agua queda por debajo de la parte que debe estar en contacto continuo con el agua, de forma que nos da lecturas erróneas. Si se analiza esta figura más detenidamente, a la vez que se reflexiona sobre la anterior explicación, parece que esto ocurre con una determinada periodicidad, que además coincide con las horas en que la población se encuentra descansando y no hay apenas aguas residuales que lleguen a la EE de Molhe Sul.

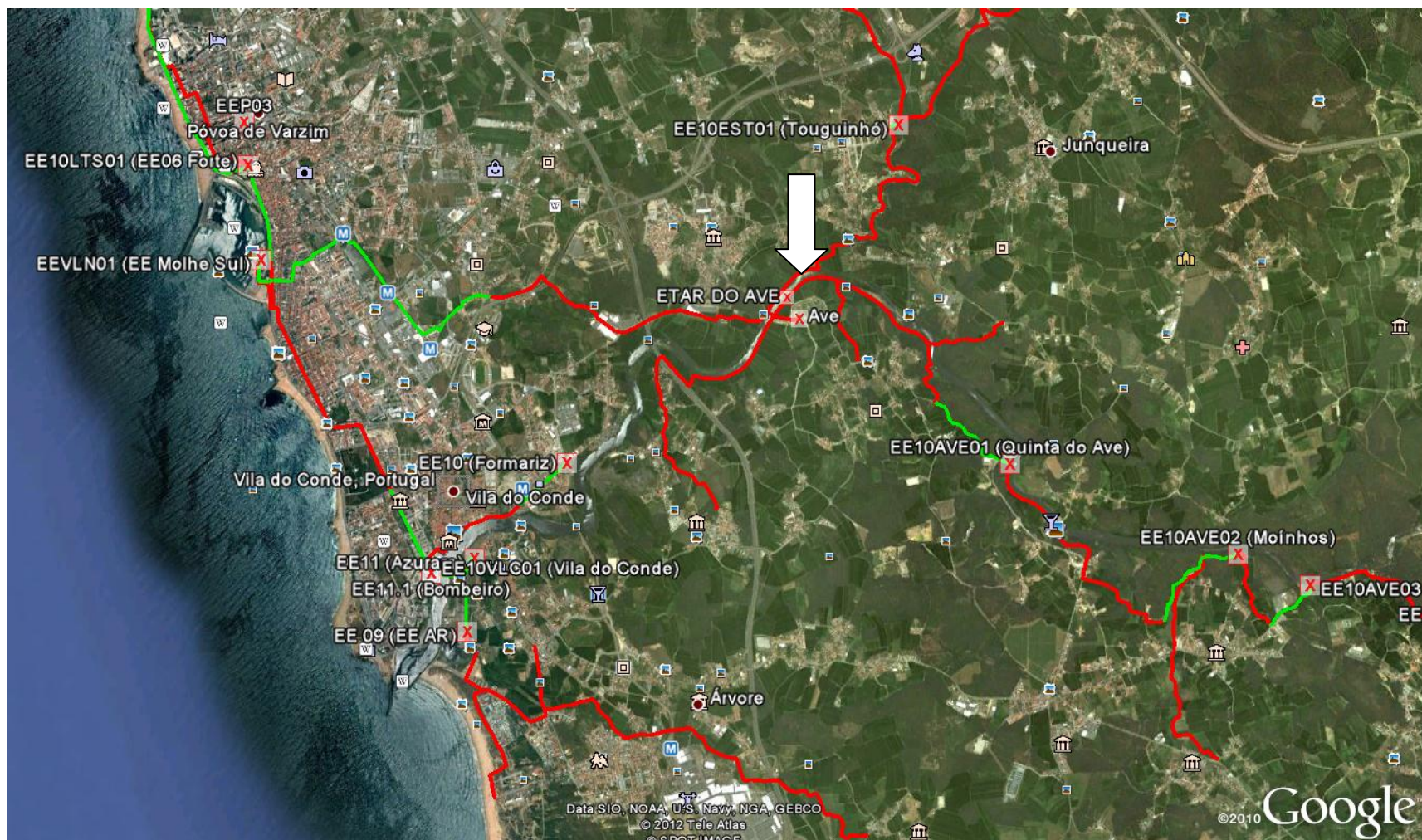
Tal y como se ha explicado en anteriores capítulos, se sabe que el agua residual de la EE Vila do Conde es impulsada a la EE de Molhe Sul, con lo que, en teoría, debería existir una correspondencia entre los picos de la EE Vila do Conde con los picos aparecidos en EE Molhe Sul, pero demorados en el tiempo. Si se examina la figura no se aprecia la existencia de esa correlación entre los picos de estas estaciones elevatorias, por lo que tiene que existir algún factor externo que afecte a las aguas residuales.

En este momento no se puede llegar a ninguna conclusión relevante puesto que estas últimas instalaciones apenas llevan una semana en funcionamiento. Sería necesario esperar un tiempo para conseguir datos suficientes con el fin de realizar un análisis en profundidad sobre la casuística posible.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kargi, F., Dinçer, A. *Salt Inhibition Effects in Biological Treatment of Saline Wastewater in RBC*. Journal of Environmental Engineering, Vol. 125, No 10, October/1999, pp. 966-971.
- [2] Castillo, P., Bezanilla, J., Amieva, J., Jácome, A., Tejero, I. *Depuración de agua residual con salinidad variable empleando un proceso de biodiscos (RBC)*. Ingeniería del agua, Vol. 2, No. 1, Abril/1995, pp. 25-30.
- [3] Hamoda, M. F., Al-Attar, I. M. S. *Effects of high sodium chloride concentrations on activated sludge treatment*. Water Science and Technology, Vol. 31, No. 9, pp. 61-72, 1995.
- [4] Moreira, H., Bonifácio, J. *Tratabilidade de efluentes com elevado teor de matéria orgânica e cloretos*. Projecto de Investigação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005/2006.
- [5] Lahora Cano, A., Rodríguez Molina, V. *Orígenes de la salinidad en las aguas residuales, situación en la Región de Murcia*. II Jornadas Técnicas Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales. Problemas de Salinidad, 25-26/Octubre/2006, pp. 1-18, Murcia.
- [6] Santos, C., Saraiva, I. *Influência da intrusão salina no desempenho de ETAR urbanas com tratamento por lamas ativadas*. II Congresso da Água, 6-8/Fevereiro/2011, pp. 1-11, Porto.
- [7] <http://www.hidrografico.pt>. 24/4/2012.
- [8] http://snirh.pt/snirh/dadosbase/site/simplex.php?OBJINFO=DADOS&FILTRA_BACIA=107&FILTRA_COVER=920123704&FILTRA_SITE=920685098. 24/4/2012.
- [9] Relatórios de Exploração. *Operação e Manutenção da ETAR do Ave e Estações Elevatórias*. Efaced, Engenharia e Sistemas, S.A.

ANEXOS

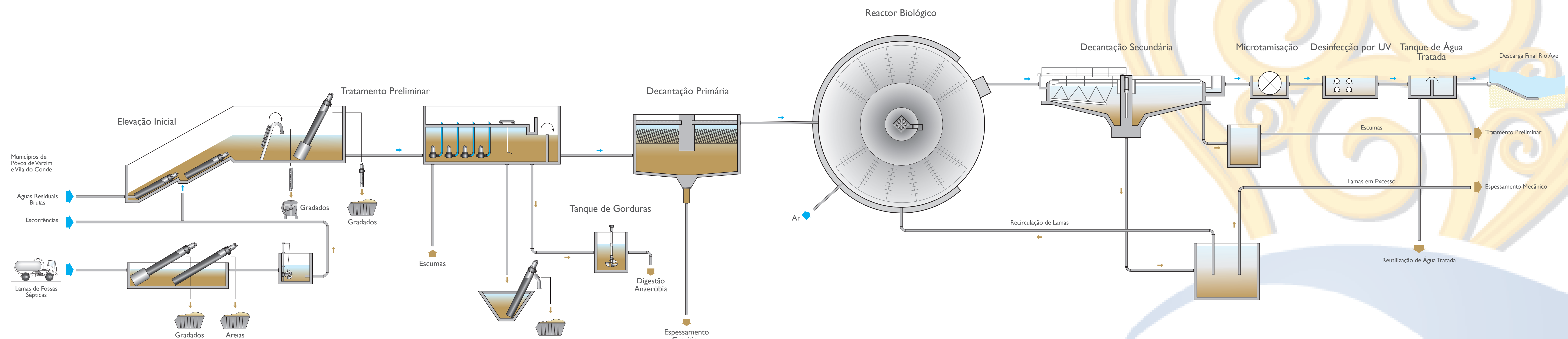


Anexo 1 – Localización de la ETAR do Ave.



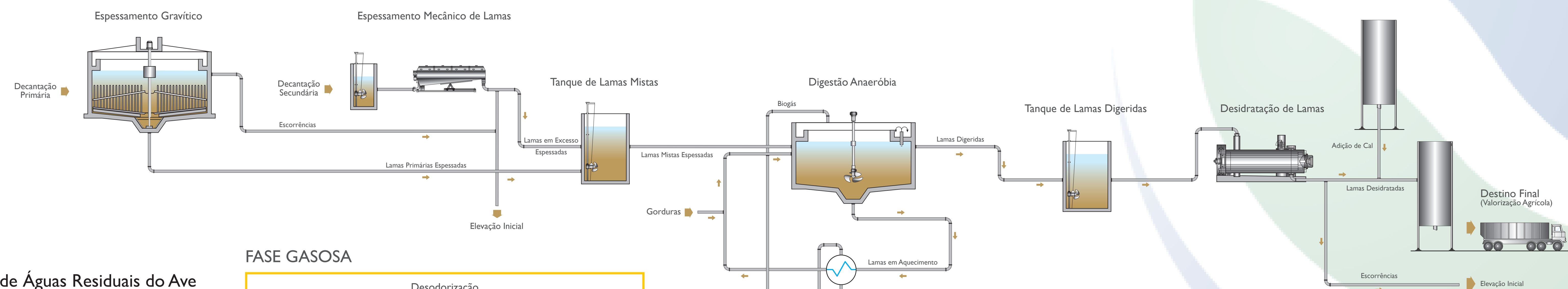
Anexo 2 – ETAR do Ave.

ETAR do Ave

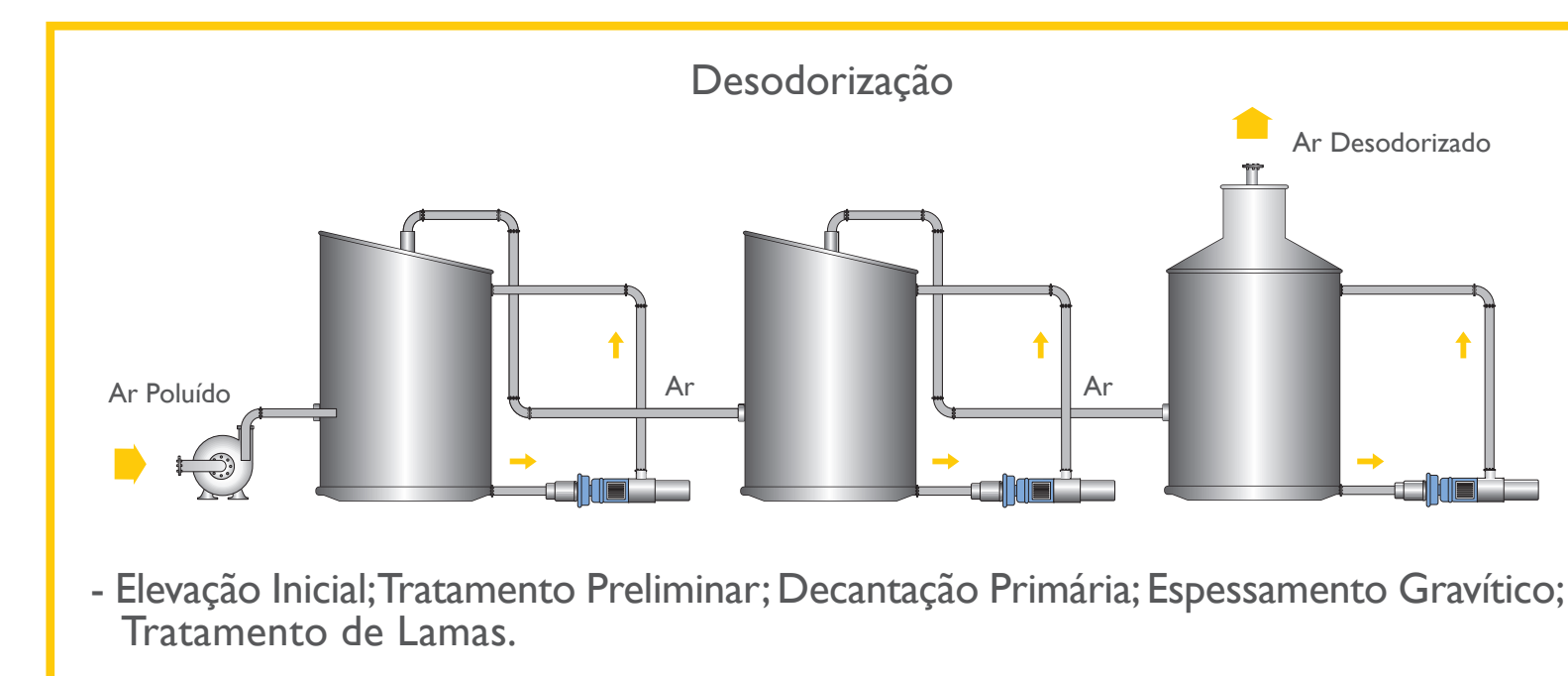


FASE LÍQUIDA ▲

FASE SÓLIDA ▼



FASE GASOSA



A Estação de Tratamento de Águas Residuais do Ave foi dimensionada para dar resposta a um equivalente populacional de cerca de 257.000 habitantes-equivalentes e tratar cerca de 42.900m³/dia de efluente.

Esta infra-estrutura serve as populações dos Municípios de Vila do Conde e Póvoa de Varzim.

1. INSTALAÇÃO: ETAR do Ave

2. DONO DE OBRA: Águas do Noroeste

3. DESCRIÇÃO DA OCORRÊNCIA:

- a. Nos dias 1 e 2 de Junho foram detectadas fugas de sólidos da decantação secundária.
- b. A primeira fuga iniciou-se às 15h do dia 1.

4. CAUSAS

- a. Conforme já ocorrido em situações anteriores, foi notada a presença de espuma branca, provavelmente provocada pela entrada de tensioactivos, em ambos os dias.



Fotografia da câmara de aspiração do 2º estágio de elevação, no dia 1.



Fotografias do Reactor biológico dia 1.



Fotografias do Reactor biológico, dia 2.

- b. Foi também detectado um aumento da condutividade durante a tarde de ambos os dias, sendo os picos de 2,72 ms/cm, às 19h do dia 1 e de 3,2 ms/cm às 13h do dia 2.

5. EFEITOS:

- a. Diminuição significativa da sedimentabilidade das lamas biológicas e consequente fuga de sólidos na decantação secundária.

6. INTERVENÇÃO:

- a. Encerramento parcial da linha 2, quando detectadas as fugas, com abertura da linha 1;
- b. Activação do sistema de injeção de polímero na saída do reactor biológico.

7. REPOSIÇÃO DA NORMALIDADE:

- a. Através das intervenções referidas, tem sido possível realizar algum controlo das fugas de sólidos, mas a situação ainda não se encontra totalmente ultrapassada.

Vasco Braga

(Responsável de Exploração)