

**TRABAJO DE FIN DE GRADO**  
DEPURACIÓN Y REGENERACIÓN DE AGUAS  
RESIDUALES URBANAS EN LA ISLA DE  
TENERIFE. ESTADO ACTUAL Y ACTUACIONES  
FUTURAS

Grado:

Ingeniería Química Industrial

Autor:

Manuel Briceño Patiño

Tutores:

Enrique González Cabrera

Vicente Fernando Mena González

Departamento de Ingeniería Química y Tecnología  
Farmacéutica.

# Índice

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>1</b>
<b>0. RESUMEN-ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
Resumen: .....	2
Abstract:.....	2
<b>1. CAPITULO 1: INTRODUCCION.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 LEGISLACION DE VERTIDO Y REUTILIZACION DE AGUAS RESIDUALES .....</b>	<b>3</b>
1.1.1 Legislación de Vertidos .....	3
1.1.2. Legislación de Aguas Residuales .....	5
<b>1.2. FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE LOS BIOREACTORES DE MEMBRANA ....</b>	<b>7</b>
1.2.1. Ventajas de los Biorreactores de membrana.....	8
1.2.2. Pretratamiento .....	9
1.2.2.1. Etapas de pretratamiento comunes en los biorreactores de membrana .....	9
1.2.3. Homogenización .....	9
<b>1.3. TRATAMIENTO BIOLÓGICO.....</b>	<b>9</b>
1.3.1. Carga orgánica o relación F/M .....	10
1.3.2. Tiempo de residencia. Edad de lodo .....	10
1.3.3. Necesidades aireación .....	10
1.3.4. Producción de lodo en exceso .....	11
<b>1.4. FILTRACION CON MEMBRANAS.....</b>	<b>12</b>
1.4.1. Características de los módulos.....	12
1.4.2. Aireación de limpieza de la membrana.....	12
1.4.3. Métodos de limpieza química de la membrana .....	12
<b>1.5. TRATAMIENTO DE FANGOS.....</b>	<b>13</b>
1.5.1. Espesamiento.....	13
1.5.2. Deshidratación .....	13
<b>1.6 ANALISIS DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE SANEAMIENTO EN LA ISLA DE TENERIFE .....</b>	<b>14</b>
<b>1.7. OBJETIVO DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO.....</b>	<b>15</b>
<b>2. CAPITULO 2: ANALISIS DE LA EDAR GRANADILLA.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 OBJETIVO .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 SOLUCION PROPUESTA DE TRATAMIENTO GRANADILLA .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 CAUDALES, CARGAS CONTAMINANTES Y OBLIGACIONES DE VERTIDO.....</b>	<b>19</b>
2.3.1. Caudales por tratar .....	19
2.3.2 Cargas contaminantes .....	19
2.3.3. Obligaciones de vertido .....	19
<b>2.4. LLEGADA DE AGUA BRUTA .....</b>	<b>20</b>
<b>2.5. LÍNEA DE AGUA .....</b>	<b>21</b>
2.5.1. Pretratamiento .....	21
Desbaste grueso y fino:.....	21

Desarenado-Desengrase:.....	21
2.5.2. Tanque de laminación y tamizado superfino .....	22
2.5.3. Reactor biológico .....	23
Sistema de aireación .....	23
2.5.4. Sistema de membranas .....	24
2.5.5. Almacenamiento de agua ultrafiltrada .....	25
2.5.6. Desodorización .....	25
<b>2.6. LÍNEA DE FANGOS .....</b>	<b>26</b>
2.6.1. Bombeo de fangos .....	26
2.6.2. Espesamiento.....	26
2.6.3. Deshidratación y almacenamiento.....	26
<b>3. CAPITULO 3: ANALISIS DE LA EDAR OESTE.....</b>	<b>28</b>
<b>3.1. OBJETIVO .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2. PROCESO DE TRATAMIENTO PLANTEADO DE LA EDAR OESTE.....</b>	<b>28</b>
<b>3.3. CAUDALES DE LLEGADA A LA EDAR Y CARGAS CONTAMINANTES .....</b>	<b>31</b>
3.3.1. Caudales .....	31
Caudales por gravedad:.....	31
Caudales bombeados por ETBAR de San Juan .....	31
3.3.2. Cargas contaminantes .....	31
3.3.3. Exigencias de vertido .....	32
<b>3.4. TUBERIAS DE ENTRADA .....</b>	<b>32</b>
<b>3.5. LÍNEA DE AGUA .....</b>	<b>33</b>
3.5.1. Pretratamiento .....	33
Desbaste de Gruesos: .....	33
Pretratamiento compacto: .....	33
3.5.2. Tanque de laminación y microtamizado .....	35
3.5.3. Reactor biológico .....	35
Aireación .....	37
Tipo de soplantes .....	37
Distribución de aire en los reactores.....	37
3.5.4. Tanques de filtración con membranas.....	38
Sistema de permeado .....	38
Soplantes para limpieza de membranas.....	39
3.5.5. Desinfección.....	39
3.5.6. Tanque de agua tratada.....	39
<b>3.6. LÍNEA DE FANGOS .....</b>	<b>39</b>
3.6.1. Fangos en exceso .....	39
3.6.2. Espesado .....	40
3.6.3. Bombas a deshidratación .....	40
3.6.4. Deshidratación .....	40
3.6.5. Preparación automática de polielectrolito .....	41

---

3.6.6. Tolvas de fango deshidratado .....	41
<b>4. CAPITULO 4: ANALISIS COMPARATIVO DE EDARS GRANADILLA Y OESTE.....</b>	<b>42</b>
<b>4.1. RESUMEN COMPARATIVO INSTALACIONES .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2. CAUDALES A TRATAR Y CARGAS CONTAMINANTES.....</b>	<b>45</b>
<b>4.3. CONDUCCIONES DE ENTRADA .....</b>	<b>46</b>
<b>4.4. LÍNEA DE AGUA .....</b>	<b>46</b>
4.4.1. Pretratamiento .....	46
4.4.2. Tanque de laminación y tamizado superfino .....	46
4.4.3. Reactor biológico .....	47
4.4.5. Almacenamiento y desinfección .....	48
4.4.6. Desodorización .....	48
<b>4.5. LÍNEA DE FANGOS .....</b>	<b>50</b>
4.5.1. Bombeo.....	50
4.5.2. Espesamiento.....	50
4.5.3. Deshidratación y almacenamiento.....	50
<b>4.6. ANALISIS COMPARATIVO .....</b>	<b>51</b>
<b>4.7. REFERENCIAS .....</b>	<b>52</b>
<b>5.CONCLUSIONES- CONCLUSIONS.....</b>	<b>53</b>

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres, Manuel Briceño y Paula Patiño por darme la oportunidad de poder venir a estudiar en el extranjero, a mi madre por ser mi apoyo en todos los momentos difíciles durante estos años, además siendo mi ejemplo resiliencia y valentía, si hoy soy Ingeniero químico es gracias a ti.

Quiero agradecer a mis familiares, Simón Patiño, Dalia Holder, Albano Patiño y Sinohe López por haberme dado la motivación que se necesita para acabar la carrera, por hacerme sacar la mejor versión de mi en cada momento durante 5 años, por recibirme siempre con los brazos abiertos, por hacerme ver que jamás me vine a España solo, jamás lograre explicarles lo importantes que ustedes han sido y son para mí.

Quiero agradecer a todos esas personas que directa o indirectamente me han hecho decir que este es el mejor año de mi vida, durante 5 años seguidos, que, aunque han sido 5 años con muchas adversidades, no puedo decir que no la he pasado bien, gracias a las personas que he conocido en Tenerife que me han hecho crecer como persona e tutte quelle persone che mi hanno fatto trascorrere un anno incredibile a Genova.

A todos ellos mil gracias.

## CAPÍTULO 0: RESUMEN-ABSTRACT

### 0. RESUMEN-ABSTRACT

#### Resumen:

En el presente Trabajo de fin de grado se investigará sobre las diferentes estaciones depuradoras de aguas residuales en la isla de Tenerife, tanto las que están operando en el presente como las planificadas para el futuro, entre todas las EDAR ubicadas en Tenerife, se seleccionaran 6 diferentes estaciones depuradoras que puedan ser de interés, se investigaran las diferencias entre estas ,sus similitudes en sus métodos y capacidades, y posteriormente, se elegirán dos para su respectivo análisis a profundidad, razonando porque se han seleccionado específicamente esas dichas estaciones depuradoras para su estudio.

Una vez seleccionadas, se realizará una investigación profunda sobre cada una de las dos estaciones depuradoras, sobre sus diferentes métodos, capacidades, objetivos y normativas de vertido a cumplir, se compararán directamente las dos estaciones depuradoras y se hará una conclusión sobre las diferencias de procesos entre las dos estaciones depuradoras, también se analizarán las distintas semejanzas que pueden tener las dos estaciones depuradoras.

#### Abstract:

In this Final Degree Project, the different wastewater treatment plants on the island of Tenerife will be investigated, both those that are operating at present and those planned for the future, among all the WWTPs located in Tenerife, 6 will be selected. different treatment plants that may be of interest, the differences between them will be investigated, their similarities in their methods and capacities, and later, two will be chosen for their respective in-depth analysis, reasoning why these two treatment plants have been exclusively selected for their study .

Once selected, an in-depth investigation will be carried out on each of the two treatment plants, on their different methods, capacities, objectives and discharge regulations to be met, the two treatment plants will be directly compared and a conclusion will be made about the differences in processes. between the two treatment plants, the different similarities that the two treatment plants may have will also be analysed.

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1 LEGISLACION DE VERTIDO Y REUTILIZACION DE AGUAS RESIDUALES

#### 1.1.1 Legislación de Vertidos

En España, desde hace mucho tiempo existen problemas por vertidos que afectan la calidad del agua cuerpos hídricos, suelos y ecosistemas generando graves consecuencias ambientales y para la salud pública. Los diversos tipos de vertidos incluyen industrias urbanas agrícolas que son emitidas directamente a las fuentes naturales provocando efectos negativos significativos.

Los vertidos provienen especialmente del sector industrial provocando incluso grave contaminación durante el siglo 20 donde no existía tratamiento adecuado causando deterioro acelerado en los organismos vivientes dentro estas fuentes hídricas locales con graves efectos para d en la salud pública. Es una buena noticia que las regulaciones actuales y la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales estén ayudando a reducir su impacto contaminante. Incluso hay disposiciones legales definidas claramente sobre niveles permitidos y técnicas aceptadas para evitar emisión directa o indirecta de contaminantes en agua continentales o el Dominio Público Hidráulico. En el ámbito nacional, se debe considerar lo que abarca el Dominio Público Hidráulico, que incluye las aguas continentales (lagos, embalses y lagunas), tanto superficiales como subterráneas renovables sin importar el tiempo de renovación.

También contempla los cauces de corrientes naturales, continuas o discontinuas y los lechos de los lagos y lagunas, así como aquéllos en embalses superficiales en cauces públicos.

Además, se contemplan los acuíferos subterráneos para los actos de disposición o de afección de los recursos hidráulicos. Finalmente, también se incorporan las aguas procedentes de la desalación del agua del mar al momento que ingresan a cualquiera de los elementos señalados anteriormente.

Es importante destacar que España es uno de los países europeos con mayores volúmenes de vertidos industriales según el informe emitido por la Agencia Europea del Medio Ambiente. Las industrias generan una gran cantidad de residuos líquidos que requieren un tratamiento adecuado para evitar la contaminación del agua.

Asimismo, en España se han realizado importantes inversiones en infraestructuras para saneamiento y tratamiento de aguas residuales urbanas con el fin de preservar la calidad del agua y proteger medio ambiente.

A pesar del progreso alcanzado en términos de construcción de plantas de tratamiento, todavía hay regiones en España limitadas en acceso hacia sistemas automatizados y plantas específicas que pueden vincular con vertidos no controlados comprometiendo así la salud del agua.

La agricultura intensiva empleada en algunas zonas españolas tiene resultados negativos sobre la calidad del agua como una posible consecuencia del uso excesivo e inadecuado por pesticidas y fertilizantes químicos. En resumidas cuentas, este impacto infiltración

contaminante llega al suelo implicando después un problema mayor sobre las aguas conectándose tanto al subsuelo como superficiales.

Es vital que se cumplan regulaciones establecidas para prevenir futuras contingencias referentes al medio ambiente. Como tal, el gobierno español tiene como objetivo imponer sanciones o multar aquellos que incumplen los reglamentos correspondientes.

Los resultados de las plantas de tratamiento de residuos líquidos reflejan el progreso conseguido en España en su compromiso para conservar nuestro planeta.

Según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, en 2019, un 93,7% había sido correctamente tratado en relación con los residuos generados, mientras un 95,6% estaba conectado a sistemas de saneamiento.

En España se están utilizando normativas tanto nacionales como europeas para regular vertidos contaminantes. En España hay distintos ejes legales que buscan tutelar adecuadamente el agua.

Algunas leyes destacadas son:

1. La Ley 1/2001, o Ley de Aguas, es una normativa general que contempla medidas para prevenir la contaminación hídrica con especial énfasis en los vertidos que se puedan liberar.

2. El Real Decreto 509/1996 rige todo lo correspondiente al vertido de aguas residuales a sistemas de saneamiento o aguas superficiales y subterráneas, donde se proponen directrices a seguir y ciertos requisitos técnicos que deben cumplirse para la obtención de una debida autorización y control.

3. El Real Decreto 1290/2012 especifica un régimen jurídico aplicable para la gestión de agua residual solo en el ámbito territorial integrante de la Comunidad Autónoma de Cataluña.

4. La Ley 22/2011, llamada Ley de Residuos y Suelos Contaminados, tiene por objeto regular la prevención y gestión adecuada para los distintos residuos incluyendo aquellos que son líquidos generados por las distintas actividades urbanas e industriales que pueden generar vertidos.

5. La Directiva Marco del Agua (2000/60/CE) perteneciente al ámbito comunitario europeo establece un conjunto normativo en cada uno de los países miembros con el mismo objetivo, el de proteger el recurso hídrico.

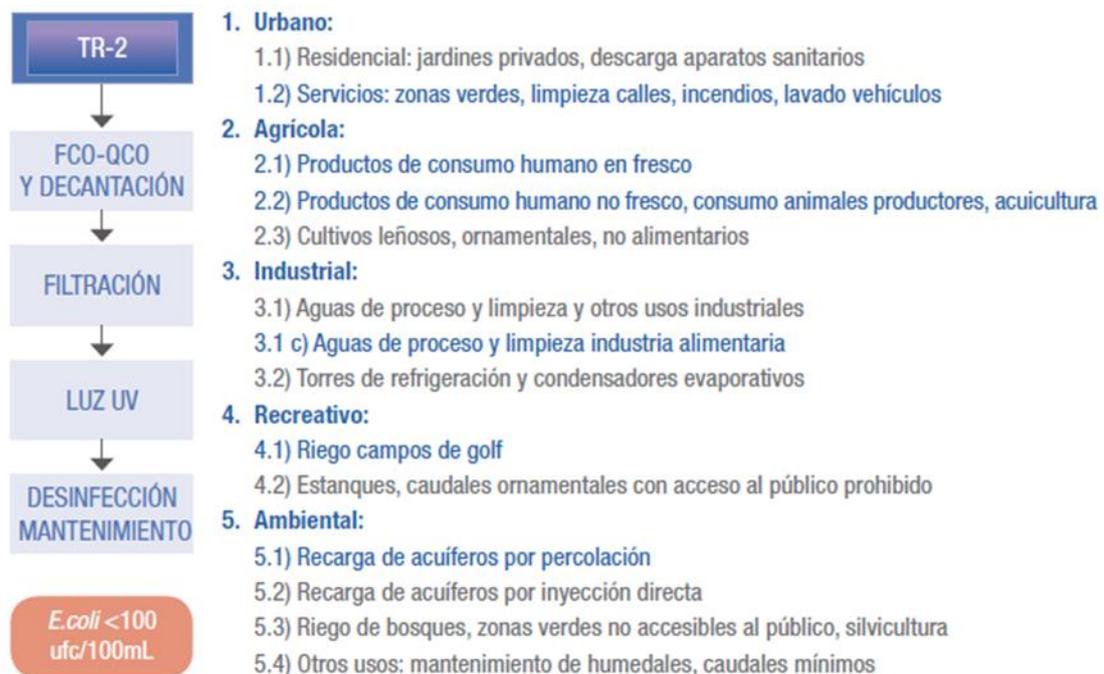
En España esta directiva ya forma parte integral del conjunto legal vigente.

Aunado a estas leyes principales existen normativas autonómicas y regionales que complementan las medidas ya descritas respecto al manejo adecuado en cuanto a los vertidos se refiere. Las competencias en cuanto a la gestión y control de los vertidos en sus territorios son del cargo de las Comunidades Autónomas.

### 1.1.2. Legislación de Aguas Residuales

Las bases jurídicas para la reutilización del agua en España están establecidas en la Ley de Aguas de 1985 que exige las condiciones óptimas para su tratamiento previo a su uso. A pesar de esto, no era una práctica común hasta que fue impulsada por el Plan Hidrológico Nacional modificado en 2005 donde se reconoció su importancia como solución a la escasez del vital líquido. Es entonces cuando se creó el Real Decreto 1620/2007 para regular su uso y asegurar protección del medio ambiente, así como resguardar la salud pública mediante normativas específicas que permiten un adecuado manejo del recurso hídrico. En este Decreto se establecen cinco áreas en las que se permite el uso de aguas regeneradas (Figura 1.1.): agrícola, ambiental, recreativo, urbano (residencial y de servicios) e industrial.

**Figura 1.1.** Tratamientos tipo en función de cada una de las calidades exigidas en el RD de reutilización y los usos asociados



Cada campo tiene exigencias concretas en cuanto a la calidad del agua, que se desglosan en un total de 14 categorías según la calidad bacteriana y se agrupan en 6 tipos diversos de calidad de agua (A, B, C, D, E y F) a partir de los límites establecidos, la tabla 1.1. define cada tipo de calidad de agua.

**Tabla 1.1.** Tipos de calidad del agua según Real Decreto 1620/2007

Tipos de calidad del agua según Real Decreto 1620/2007	
TIPO A	Categoría de mayor calidad. El agua de esta categoría es apta para el consumo humano directo sin tratamiento previo y también es adecuada para diversos usos, como el riego de cultivos sensibles y la protección de ecosistemas acuáticos.
TIPO B	Categoría apta para el consumo humano después de un tratamiento convencional y cumple con los estándares establecidos para los usos comunes del agua, como la recreación y la pesca. Sin embargo, puede requerir un tratamiento adicional para usos más sensibles.
TIPO C	Agua no adecuada para el consumo humano directo sin tratamiento adicional, pero se puede utilizar para fines como el riego de cultivos no sensibles, la protección de ecosistemas acuáticos y otros usos no potables.
TIPO D	Aguas con una calidad limitada. No son aptas para el consumo humano ni para usos agrícolas directos. Pueden ser utilizadas para ciertos fines industriales o para la dilución de contaminantes.
TIPO E	El agua en esta categoría es de calidad muy limitada. Solo para usos industriales específicos o para la dilución de contaminantes en condiciones controladas.
TIPO F	Esta es la categoría de calidad más baja. El agua de esta categoría está altamente contaminada y no se recomienda su uso para ningún propósito, ya que representa un riesgo significativo para la salud humana y los ecosistemas acuáticos. Es el único en el que la ley no recoge límites precisos, ya que éstos deberán ser determinados en cada caso concreto y por lo tanto es imposible su generalización normativa

La ley también incluye parámetros adicionales para usos específicos, como la presencia de *Legionella spp* en el caso de refrigeración industrial o la ausencia de fósforo y nitrógeno en usos ambientales y recreativos. Es importante señalar que los organismos de cuenca pueden imponer parámetros adicionales o niveles de calidad más estrictos según lo requieran las autoridades sanitarias o la normativa sectorial correspondiente.

Según el RD 1620/2007, para establecer los grupos de calidad se utilizan valores máximos admisibles de bacterias, que se pueden observar en la tabla 1.2. (Fuente: Guía para la Aplicación del RD 1620/2007 Marco Jurídico Regulador de la Reutilización de Agua Purificada - 2010).

En España, la práctica común del uso de aguas recicladas pone al país como uno líderes en Europa. Sin embargo, después 16 años desde la aprobación del RD1620/2007 surgen posibilidades para su mejora y cambios futuros son esperados para ajustarse al marco legal adecuado.

En respuesta a esta situación estos son los planes aplicados: Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales (1995 -2005); Plan Nacional de Calidad Saneamiento y Depuración (2007-2015); y el Plan Nacional DSEAR, diseñado para incluir los planes hidrológicos del tercer ciclo (2022-2027).

**Tabla 1.2.** Grupos de calidad en función de los Valores Máximos Admisibles

USOS	Tipo de calidad	Escherichla coli UFC/100 ml	Nematodos	Legionella spp UFC/100 ml
-Torres de refrigeración y condensadores evaporativos	A	Ausencia	Ausencia	Ausencia
-Residenciales		Ausencia	<1 huevo/10L	<100
-Recarga acuíferos inyecciones directas		Ausencia	<1 huevo/10L	No se fija límite
-Servicios urbanos -Riesgo agrícola sin restricciones -Riesgo campos de golf	B	<100-200	<1 huevo/10L	<100
-Riesgo de productos agrícolas que no se consumen frescos. -Riesgo pastos animales productores -Acuicultura -Aguas procesos y limpieza industria alimentaria	C	<1000	<1 huevo/10L	No se fija límite
-Recarga acuíferos por precolación a través del terreno		<1000	No se fija límite	No se fija límite
-Riesgo de cultivos leñosos, viveros y cultivos industriales -Masas agua sin acceso publico	D	<10.000	<1 huevo/10L	<100
-Riesgo de bosques y zonas verdes no accesible al publico	E	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite
-Ambientales: mantenimiento humedales, caudales mínimos	F	La calidad se estudiará caso por caso		

## 1.2. FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE LOS BIOREACTORES DE MEMBRANA

Un sistema de biorreactor de membrana combina dos procesos: un proceso biológico y un proceso de separación para tratar agua residual y producir un efluente de alta calidad. Esto asegura una eliminación eficiente de los contaminantes presentes en el agua, y así obtener

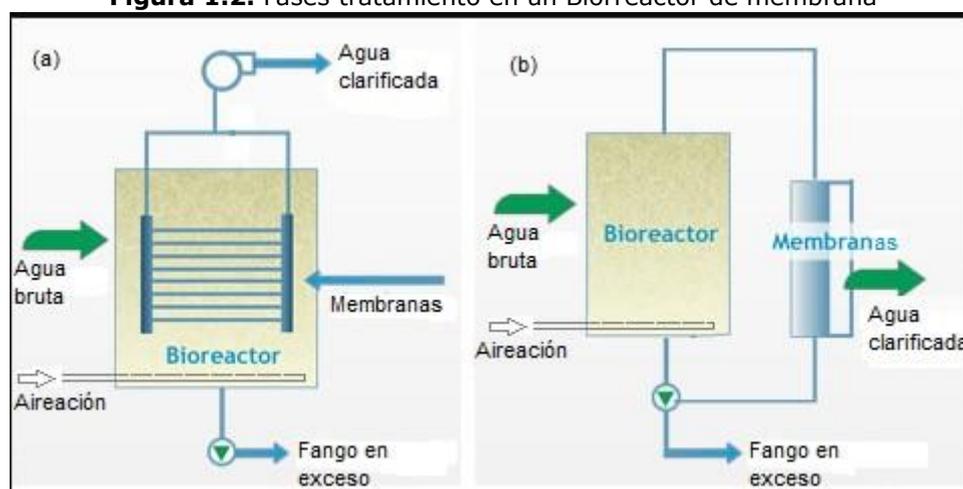
agua tratada apta para descarga o reutilización. En primer lugar, el agua es tratada en un reactor biológico donde los microorganismos cumplen su función descomponiendo y transformando los contaminantes presentes en el agua. Conforme el agua circula a través del reactor, se forman partículas sólidas y lodos activos. Posteriormente, se hace uso de membranas semipermeables para separar el efluente del lodo activo. Estas membranas pueden ser distintos tipos (como MF, UF, NF u OI) dependiendo del nivel de purificación que se requiera. Dichas membranas tienen la capacidad de retener partículas, microorganismos y contaminantes disueltos permitiendo que solo sea liberado al exterior el líquido tratado.

La disposición de las membranas puede ser de dos tipos (figura 1.2.), ubicada dentro del biorreactor o de manera externa a este.

### 1.2.1. Ventajas de los Biorreactores de membrana

- Menos espacio requerido: El MBR simplifica las etapas de un proceso convencional, reduciendo en 1/3 el tamaño del reactor biológico.
- Plantas compactas: Los reactores biológicos de membranas se construyen de manera compacta, de tal forma que todas las etapas se sintetizan en una única unidad de operación.
- Reducción de costes de inversión: Se requiere de un menor coste de inversión por la ausencia de costes asociados a obra civil y mantenimiento continuo.
- Versatilidad de producción: Los equipos tienen la capacidad de soportar una sobrecarga de producción sin afectar a la calidad de agua tratada. Esta característica permite que este sistema pueda ser utilizado en plantas con vertidos irregulares de aguas residuales.
- Alto rendimiento de depuración: Los MBR permiten eliminar entre un 95% y 99% de DBO<sub>5</sub>, DQO<sub>5</sub>, microorganismos y nutrientes del efluente. Esta alta tasa de eliminación permite obtener un efluente de alta calidad que puede ser reutilizado.

**Figura 1.2.** Fases tratamiento en un Biorreactor de membrana



a) MBR membrana sumergida. b) MBR membrana externa.

### 1.2.2. Pretratamiento

Engloba a aquellos procesos que se sitúan a la entrada de la planta depuradora para eliminar residuos sólidos, arenas y grasas, que de no ser separados dañarían mecánicamente los equipos de las siguientes fases de tratamiento y sedimentarían en las tuberías y conductos de la instalación, obstruyéndolos o bien producirían pérdida de eficacia (por ejemplo grasas en el reactor biológico). En todos los procesos se eliminan los contaminantes del agua residual por medios físicos.

#### 1.2.2.1. Etapas de pretratamiento comunes en los biorreactores de membrana

- **Desbaste:** Es una operación en la que se eliminan los sólidos de mayor tamaño del agua residual. El agua se hace pasar por rejillas o tamices y tiene como objetivo separar todos aquellos materiales de tamaño excesivamente grueso que además de representar por sí una forma de contaminación (sólidos en suspensión), pueden dañar u obstaculizar las fases sucesivas de tratamiento.
- **Desarenado:** El proceso de desarenado se utiliza para separar la arena, grava, etc., arrastrada en suspensión por el influente. Esta arena origina depósitos en canales y tuberías, abrasión y desgaste sobre los elementos mecánicos en movimiento y dificulta la eliminación y digestión de los lodos separados en los tanques de sedimentación, al aumentar su densidad.
- **Desengrasado:** El desengrasado consiste en la separación de las grasas y aceites arrastrados por el agua residual. Las grasas en las aguas residuales crean numerosos problemas en el proceso de depuración, entre los que destacan:
  - Adhesión a aparatos, conductos o depósitos, dificultando la depuración.
  - Obstrucción de las rejillas finas
  - Formación de una capa, en la superficie de los decantadores, que dificulta la sedimentación al atraer hacia arriba pequeñas partículas de materia orgánica.
  - Dificulta la correcta aireación en la depuración de fangos activos.

### 1.2.3. Homogenización

Para asegurar un rendimiento óptimo del sistema y evitar obstrucciones en las membranas, es importante llevar a cabo el proceso de homogeneización en el reactor.

Este proceso consiste en mezclar y mantener uniforme el contenido del reactor para garantizar una distribución equitativa de los microorganismos y los contaminantes en el agua residual. Para lograr esto se pueden instalar mecanismos como agitadores o sistemas de recirculación que permiten mantener una circulación constante y prevenir la acumulación selectiva de biomasa o microorganismos en áreas específicas.

## 1.3. TRATAMIENTO BIOLÓGICO

El tratamiento biológico se utiliza para eliminar los contaminantes orgánicos disueltos, el tratamiento biológico se lleva a cabo mediante microorganismos, que en condiciones aeróbicas atacan la materia orgánica del agua residual y la convierten en gas y materia celular, que luego se separan por decantación.

El papel de las bacterias en el tratamiento secundario es fundamental. Son los responsables de los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica. Por ello, es

importante entender los diferentes tipos de operaciones y las principales características que existen.

Las condiciones del agua a tratar, como la temperatura o el pH, son factores clave en el crecimiento, desarrollo y supervivencia de las bacterias.

### 1.3.1. Carga orgánica o relación F/M

La relación F/M se describe como la relación entre la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la carga microbiana del sistema, que se expresa en VSS (sólidos suspendidos volátiles), entonces, la carga orgánica se define como:

$$\frac{F}{M} = \frac{DBO(Kg)}{SSV(Kg)}$$

Un nivel más elevado de relación F/M sugiere una carga alimenticia mayor en comparación con la población microbiana. La privación de nutrientes de los microorganismos y un rendimiento más deficiente del sistema de tratamiento pueden ser el resultado. En contraste, una relación F/M reducida posiblemente sugiere un menor nivel de alimentación. La consecuencia de esto puede ser un crecimiento microbiano deficiente y una capacidad limitada para degradar la materia orgánica.

### 1.3.2. Tiempo de residencia. Edad de lodo

El tiempo de retención del lodo (SRT) hace referencia a la proporción entre la cantidad de lodo presente en el reactor y el volumen de lodo que sale. Este tiempo se mide en días.

Para calcular la edad del lodo, se divide la cantidad total presente en el sistema entre el caudal de entrada y salida.

Es importante determinar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales, por lo que conocer este parámetro es crucial. En resumen, se trata del promedio de tiempo que una partícula de lodo permanece en el sistema antes de eliminarse.

Si la antigüedad es mayor, habrá más oportunidades para descomponer y estabilizar la materia orgánica, contribuyendo así a mejorar dicha eficiencia y calidad del agua tratada. Por otro lado, una menor edad implica un incremento en el tiempo de permanencia, limitando con ello las capacidades microbianas para descomponer los residuos orgánicos y afectando quizás a su eficacia.

### 1.3.3. Necesidades aireación

En aquellos MBR sumergidos existe una ausencia total de todos esfuerzos cortantes proveniente del flujo turbulento suscitada por medio del uso recirculatorio del dispositivo bombeador, no obstante, son muy usuales voluntariamente las tareas de aireado grueso con el objetivo de controlar el ensuciamiento o taponamiento en las membranas. Aquí entonces es siempre muy beneficioso hacer que el suministro del aire se exceda o pase abundantemente delante para tener precaución de alguna obstrucción emanada desde el residuo interiormente relativamente más fino dentro del sistema.

Es por esta misma razón que existe una incidencia desfavorable provenientes directamente desde la agitación burbujeante excesiva, por citarse un problema común, la floculación incorrecta relativa al aireado extremadamente exacerbado da cuenta a menudo lamentables resultados reportados regularmente.

La intensidad de aireación (m/h), que es uno de los parámetros de diseño importantes para MBR sumergidos, se refiere a la relación entre el caudal de aire suministrado (m<sup>3</sup>/h) y el área de membrana (m<sup>2</sup>). El aumento de la intensidad de la aireación en más de un orden de magnitud no siempre produce un aumento proporcional en el flujo. Por lo tanto, la optimización de la intensidad de la aireación que permite suficiente fuerza de corte para reducir la capa de torta es necesario.

La Ecuación para la demanda de oxígeno teórico es:

$$DO_{teo} = Q(S_0 - S) + 4,3Q(N_{OX} - NO_{3,e}) - 1,42P_{X,bio}$$

La demanda específica de aireación (Specific Aeration Demand SAM) suele tener valores como mínimo 0,15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h y como máximo 0,75 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h

#### 1.3.4. Producción de lodo en exceso

Se conoce como producción excesiva de lodos o acumulación de biomasa microbiana en un sistema de tratamiento de aguas residuales, a la condición en la que la cantidad de lodos generados supera la capacidad del sistema para tratarlos o eliminarlos. Problemas de obstrucción y malos olores pueden ser el resultado de esto. Existen varias razones por las que esto puede suceder. Existen varios casos donde se puede observar un aumento desproporcionado de microorganismos, sistemas de tratamiento desequilibrados o ineficaces procedimientos de deshidratación y eliminación de lodos. La producción excesiva de lodo puede generar diversos efectos desfavorables, incluyendo:

En caso de que la generación de lodos supere la capacidad disponible, se produce una acumulación de lodos dentro del sistema de tratamiento. Una consecuencia posible de esto es que la capacidad de tratamiento se vea reducida. También, puede provocar la disminución en la calidad de las aguas residuales que han sido procesadas.

Algunos de los inconvenientes que se presentan son la limitación del espacio disponible, la obstrucción de tuberías, así como dificultades en el manejo de equipos y depósitos de almacenamiento, junto con problemas para agitar y transferir oxígeno. La eficiencia y el rendimiento del proceso pueden verse perjudicados por estos inconvenientes.

Si se produce una cantidad excesiva de lodos, puede requerirse un aumento en el consumo de energía para realizar la aireación, mezcla y deshidratación adecuadas. Por lo tanto, es posible que el costo de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales experimente un incremento. Esto podría resultar en incrementos de los gastos operativos y efectos ambientales adversos.

En caso de que la capacidad para eliminar los lodos sea insuficiente, podría ser preciso explorar opciones de eliminación alternativas. Se pueden utilizar diversas técnicas, como el transporte y la disposición en vertederos controlados o la quema en instalaciones especializadas, para llevar a cabo esta tarea. Tener estas opciones puede resultar en gastos elevados y ocasionar impactos ambientales extra.

## 1.4. FILTRACION CON MEMBRANAS

### 1.4.1. Características de los módulos

Aunque la morfología de la superficie, la estructura, la carga y la rugosidad de las membranas están sujetas a cambiar, una mejora de la hidrofiliidad de la superficie es un factor clave para conseguir un mejor rendimiento, modificaciones superficiales de hidrófobo a las membranas hidrofílicas generalmente se logran recubriendo o injertando un grupo funcional en la superficie de la membrana preparada. Numerosos estudios que tratan la modificación de la superficie de las membranas se han centrado en los cambios en la hidrofiliidad a través de métodos versátiles.

La modificación superficial de PVDF, el material de membrana usado en plantas de MBR en todo el mundo, esto se atribuye a la resistencia hidráulica del vértice de la superficie modelada, que induce turbulencias locales, al contrario de las formas convencionales de modificación de superficies.

Los investigadores están centrándose en la aplicación de nanomateriales para modificar las propiedades de la membrana gracias a los notables desarrollos recientes de las nanotecnologías. Nanopartículas de plata (nAg), nanopartículas de óxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), nanotubos de carbono (CNT) y fullerene (C<sub>60</sub>) podrían ser candidatos potenciales que se espera que muestren un rendimiento mejorado cuando se usan para modificar las propiedades de la membrana.

La optimización y modificación de la configuración del módulo intenta mejorar el rendimiento de la membrana. En particular, el ensuciamiento de la membrana se puede reducir aumentando turbulencia cerca de las superficies de la membrana a través de la rotación de la membrana o espaciador o usando una membrana helicoidal

### 1.4.2. Aireación de limpieza de la membrana

La aireación de limpieza es una técnica empleada para eliminar los residuos acumulados y los depósitos presentes en las superficies internas del sistema MBR, su finalidad principal consiste en mantener las membranas limpias para asegurar un correcto funcionamiento del sistema. Para llevar a cabo este proceso, se utilizan distintos métodos de aireación; siendo uno muy común aquel que emplea el burbujeo para inyectar aire en la parte inferior del tanque.

Este flujo de burbujas asciende, creando una agitación suficiente para desprender los residuos adheridos a las membranas. Otro método también utilizado es el de la fluencia tangencial, donde tanto el agua como el aire se desplazan a lo largo de la superficie de la membrana, eliminando los residuos acumulados mediante un movimiento enérgico y constante. El tiempo y la frecuencia en que se realiza este proceso de aireación dependen de distintos factores, tales como: calidad del agua residual tratada, concentración de sólidos suspendidos y presencia de sustancias adherentes.

### 1.4.3. Métodos de limpieza química de la membrana

El uso del lavado químico es muy común cuando se trata de limpiar las membranas utilizadas en los sistemas empleados para tratar el agua. Esta solución implica combinar hipoclorito de sodio (comúnmente conocido como cloro) con ácido cítrico. La combinación resultante ofrece propiedades que ayudan a deshacerse tanto de microorganismos como incrustaciones no deseadas.

Usar estos productos químicos mejora notablemente tanto la eficiencia como el rendimiento general en los sistemas utilizados. Por un lado, el hipoclorito de sodio o cloro es un agente desinfectante potente que logra combatir todos esos microorganismos, bacterias e inclusive el

biofilm que puede acumularse sobre estas membranas con facilidad. Para garantizar esto se debe utilizar una concentración adecuada evitando así cualquier crecimiento adicional no deseado presente durante dicho proceso.

No solo actúa como limpiador principal sino también tiene efectos positivos al eliminar diversas incrustaciones provenientes tanto del biofilm como inorgánicas, mejorando en última instancia la eficacia de las membranas en uso. Por otro lado, el ácido cítrico es otro componente crucial si se disuelven en ciertos depósitos como pueden ser carbonatos o fosfatos entre otros, este ácido también se encarga de atacar la presencia de grasas y aceites que podrían llegar a afectar la calidad del agua tratada.

## 1.5. TRATAMIENTO DE FANGOS

### 1.5.1. Espesamiento

El proceso de espesamiento de lodos se utiliza en el tratamiento de aguas residuales para elevar la cantidad de sólidos suspendidos presentes en el fango. Esto reduce su volumen total. Mejorar la eficiencia del manejo es el propósito principal del proceso de espesamiento de fangos. Asimismo, se pretende optimizar la gestión de los residuos sólidos producidos durante el procedimiento de tratamiento. A continuación, se exponen ciertas propiedades y ventajas vinculadas al proceso de espesamiento de lodos:

- Reducción del volumen de lodos. Mediante el espesado es posible reducir la cantidad total de lodos producidos, lo que simplifica su transporte, almacenamiento y eliminación definitiva. La cantidad de agua presente disminuye al incrementar la concentración de sólidos suspendidos en el lodo. Como resultado, se obtiene un volumen más compacto y fácil de manejar.
- Incremento de la eficacia de los equipos de deshidratación. Los lodos con mayor viscosidad son preferibles para el proceso de deshidratación debido a su menor contenido de agua. Los equipos de deshidratación presentan mayor eficiencia y menor consumo de energía como resultado. Algunos ejemplos son las prensas de tornillo, las centrífugas y los filtros de banda.
- Mejoramiento de la estabilidad del fango. Mejora la estabilidad del lodo al incrementar la concentración de sólidos suspendidos mediante el espesamiento. Significa que los lodos espesados tienen menos propensión a separarse en fases o formar capas. Su manejo y posterior tratamiento se ven facilitados por esto.

### 1.5.2. Deshidratación

La deshidratación es un método empleado para reducir el exceso líquido presente en los lodos producidos durante el proceso tratado de aguas residuales. El objetivo es conseguir una materia sólida con menor contenido hídrico a fin de poder manipularla o disponerla mejor; a continuación, se menciona algunos beneficios adicionales asociados a esta técnica:

1. Disminución del contenido hídrico: La biodisponibilidad complica la manipulación adecuada del lodo; por medio de la deshidratación de fangos, el lodo se solidifica con mayor efectividad al reducirse el contenido líquido por debajo del 80%.
2. Disminución de costos en disposición: La reducción proporcional del peso y tamaño debido a la eliminación de agua permite ahorrar hasta en los costos finales.
3. Mejora en la seguridad y manejo: El proceso produce sólidos más seguros y fáciles de manejar comparado con lodos mucho más acuosos; puede almacenarse, cargarse, además tratarse o disponerse correctamente.

La deshidratación de lodos posee varios beneficios, uno de ellos es que reduce la formación de olores desagradables y evita la proliferación de microorganismos indeseados. Aunque este proceso implica el uso de equipos especializados, como prensas de tornillo, centrifugadoras y filtros de banda, que aplican fuerzas mecánicas o presión para separar el agua del lodo, al reducir la cantidad de agua presente en los lodos se logra una mayor eficiencia energética en el transporte y tratamiento posterior.

Además, los lodos deshidratados pueden ser valorizados para diferentes aplicaciones dado que tienen un mayor contenido sólido. Por ejemplo, se pueden utilizar como fertilizantes agrícolas, como material de relleno en construcciones o generar energía a través de digestión anaerobia o incineración controlada.

## 1.6 ANALISIS DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE SANEAMIENTO EN LA ISLA DE TENERIFE

La longitud total de la red de saneamiento interno de la ciudad es de 1.630 km, pero no todos se encuentran funcionales u operativos.

-Volumen de producción de aguas residuales industriales:

Como el uso turístico urbano, el reciclaje de agua es del 75%, resultando un volumen de 2,75 hm<sup>3</sup> para el año 2005, el desarrollo actual de la red de polígonos industriales permite captar 2,21 hm<sup>3</sup>/año, es el 80,4% aguas residuales generadas. De estas 1,12 hm<sup>3</sup>/año (de los cuales se produjeron el 50,7%) Se han depurado correctamente

Se han aprobado 780 plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas (equivale al 95,9% de 813 de todo tipo), la capacidad total de producción es de 74.306 metros cúbicos por día (52,0% del agua residual generada).

Se tiene constancia de la existencia de 116 conducciones de vertido, 82 (70,7%) conducciones de desagüe, y 25 (21,6%) emisarios submarinos; 40 de ellas (34,5%) sin tratamiento previo, y 65 (56,0%) sin autorización.

Es importante señalar cómo los elevados valores de carga contaminante de las aguas reducen a casi la mitad la capacidad de tratamiento nominal de las estaciones de tratamiento.

Así, de los 63,48 hm<sup>3</sup> /año de aguas residuales generadas, el desarrollo de la red interior y colectores generales permiten recoger 38,4 hm<sup>3</sup> /año (60,5%).

24,6 hm<sup>3</sup> /año (38,7%) de aguas depuradas proceden de las EDAR de Buenos Aires (Santa Cruz), Adeje-Arona, valle de La Orotava y NorEste.

Actualmente tan solo se reutilizan 7,48 hm<sup>3</sup> /año de aguas regeneradas (11,8% de las aguas residuales generadas), procedentes de las EDAR de Buenos Aires y Adeje – Arona.

94 aglomeraciones superan los 2.000 h-e, y suponen el 91,8% del agua residual generada; 25 tienen más de 10.000 h-e y generan el 79,1% de las aguas residuales, de las que 13 desaguan sus aguas al mar mediante conducciones de vertido.

Algunas de las principales estaciones depuradoras de aguas residuales en la isla de Tenerife se pueden apreciar en la tabla 1.3:

**Tabla 1.3** EDARs Tenerife

Nombre	Tecnología	Capacidad	Etapas	Ubicación
EDAR de Adeje-Arona	Biorreactor de membrana	200.000 habitantes	3	Adeje/Arona
EDAR Buenos Aires	Convencional + Biorreactor de membrana	166.666 habitantes	3	Santa Cruz de Tenerife
EDAR Valle de la Orotava	Biorreactor de membrana	40.000 habitantes	2	La Orotava
EDAR de Granadilla	Biorreactor de membrana	139.790 habitantes	2	Granadilla de Abona
EDAR de Candelaria	Biorreactor de membrana	25.000 habitantes	3	La Candelaria
EDAR Oeste	Biorreactor de membrana	109.000 habitantes	3	Guía de Isora

### 1.7. OBJETIVO DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO

Una vez investigado y comparado 6 distintas estaciones depuradoras de Tenerife en la tabla 1.3., se seleccionaron dos EDAR y se tendrá como objetivo hacer el respectivo estudio sobre cada una de las EDAR seleccionadas, posteriormente después de analizar cada una, se compararán directamente sus procesos, dimensiones y métodos, concluyendo así con la señalización de sus similitudes y diferencias en sus respectivos procesos de depuración

Las dos EDAR que se han seleccionado han sido:

- **Estación Depuradora de Aguas Residuales Granadilla:** Ubicada en Los letrados, al sur de la isla de Tenerife, por un valor estimado de 39.956.015 de euros, la EDAR Granadilla es un proyecto que ha sido declarado de interés general y está incluido en el Plan Hidrológico Nacional, Las obras consisten en la construcción de la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) que dará servicio a una población de 139.790 habitantes y al menos hasta 2036.
- **Estación Depuradora de Aguas Residuales Oeste:** Esta ubicada en el norte de Tenerife, en Guía de Isora, autorizada por el Consejo de Administración de la sociedad mercantil estatal Aguas de las Cuencas de España (ACUAES), del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, por el importe de 11.645.383 euros, esta estación se realizara sobre la antigua EDAR que existía en ese momento, el proyecto

---

busca renovarlo para servicio a una población de 109.000 habitantes equivalentes con una capacidad de tratamiento de 11.955 m<sup>3</sup>/día.

Se seleccionaron esas dos estaciones depuradoras de aguas residuales por las siguientes razones:

- 1) Tanto la EDAR Granadilla como la EDAR Oeste están muy bien documentadas, siendo de gran utilidad a la hora de hacer el análisis entre estas dos.
- 2) Las dos EDAR tienen una capacidad relativamente similar, con una diferencia de 30.790 habitantes equivalentes, siendo la de mayor capacidad la EDAR Granadilla
- 3) Las dos estaciones depuradoras tienen como método de depuración biorreactor de membranas, y, ya que las dos EDARs tienen una capacidad de habitantes equivalentes algo similares, las diferencias y similitudes en los procesos pueden ser de interés.
- 4) Las dos estaciones depuradoras, son depuradoras a futuro, teniendo como horizonte el año 2036.

## CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE LA EDAR GRANADILLA

### 2.1 INTRODUCCIÓN

La EDAR se sitúa dentro de la zona de Los Letrados, Granadilla de Abona (figura 2.1.), donde se ha dotado de una reserva de suelos destinada a Protección de Infraestructuras en el Planeamiento Municipal de Ordenación Urbana vigente.

El diseño de las obras corresponde al año horizonte 2036, excepto los equipos de aireación del tratamiento biológico, y el tratamiento con membranas que se equipan para el año 2026.

El agua bruta llega por medio de dos conducciones. La conducción que proviene de la zona de medianías y la conducción que proviene de la zona costera.

Las aguas se tratarán conjuntamente en la EDAR, con la salvedad de que el agua procedente de la zona costera ya ha sido previamente pretratada antes de su bombeo, con lo que se incorpora al tanque de laminación después del pretratamiento diseñado solamente para el caudal de medianías.

Para el tratamiento biológico de las aguas residuales conjuntas de la zona de medianías y de la zona costera se ha diseñado un proceso de fangos activados en oxidación prolongada con membranas de ultrafiltración (MBR).

El efluente de la EDAR se conduce a un depósito de agua tratada, conectado al emisario terrestre que desemboca en el mar. Junto a este depósito se ha dejado espacio suficiente para que en el futuro se construya una estación de bombeo para impulsar el efluente de la Balsa de San Isidro.

**Figura 2.1.** Ubicación EDAR Granadilla



### 2.2 SOLUCION PROPUESTA DE TRATAMIENTO GRANADILLA

El agua proveniente de la zona medianías llega a través de un colector de Ø 800mm y se someterá a una etapa de pretratamiento (Tabla 2.1).

**Tabla 2.1.** Resumen pretratamiento

Proceso	Información
Pozo de gruesos	Con tamiz aliviadero
Desbaste de gruesos	3 canales con 2 rejillas automáticas y una manual de 30 mm de paso cada una
Desbaste de finos	3 canales con 2 tamices automáticos y uno manual de 3 mm de paso cada uno
Desarenado/ Desengrasado	Dos líneas de 3 x 11 m

Mediante una arqueta de reunión, el efluente del pretratamiento se unirá con el agua proveniente de la Zona Costera y se someterá a la laminación del flujo (Tabla 2.2).

**Tabla 2.2.** Resumen laminación de flujo

Proceso	Información
Tanque de laminación	Volumen útil total de 3.563 m <sup>3</sup>
Microtamizado	2+1R tamices (paso 1 mm)

Una vez laminado, el flujo entrará al reactor biológico (Tabla 2.3).

**Tabla 2.3.** Resumen reactor biológico

Proceso	Información
Reactor biológico	3 líneas con 3.316 m <sup>3</sup> /línea
Sistema de aireación	2+1R (émbolo rotativo) ,1 turbosoplante
Difusores de membrana	2 difusores de membranas de 11" por línea

Después, ingresará al reactor biológico de membranas (MBR) (Tabla 2.4).

**Tabla 2.4.** Resumen MBR

Proceso	Información
Membrana	4 trenes de membrana con 3 casetes cada una
Bombas de permeado	(4+1) bombas de 190 m <sup>3</sup> /h
Soplantes de lavado de membrana	(2+1R) bombas

El agua tratada se conduce a un tanque de 408 m<sup>3</sup> de volumen, mientras que los fangos obtenidos en el proceso se someterán a tratamiento (Tabla 2.5).

**Tabla 2.5.** Resumen línea de fangos

Proceso	Información
Bombeo de fangos en exceso	(1+1R) Bombas sumergibles de 35 m <sup>3</sup> /h
Espesado	Espesador de 14 m de diámetro
Deshidratación	(1+1R) Centrífugas de 20 m <sup>3</sup> /h

El fango deshidratado se almacena en dos tolvas de 32,5 m<sup>3</sup>.

## 2.3 CAUDALES, CARGAS CONTAMINANTES Y OBLIGACIONES DE VERTIDO

Para la estimación de los caudales en la tabla 2.6. se utilizaron una dotación de consumo prevista de 215 l/h, coeficiente de retorno de 0,8 y para calcular los habitantes equivalentes se ha usado el DBO<sub>5</sub> de 600 mg/l, como muestra la Tabla 3,7.

Respecto a los caudales punta en el pretratamiento y en el reactor biológico se ha usado como factor punta 6 para el caudal de pretratamiento y 1,2 en el del reactor biológico.

### 2.3.1. Caudales por tratar

**Tabla 2.6.** Caudales de diseño y habitantes equivalentes de las EDAR de Granadilla

Caudal entrada	2026		2036	
	Medianías	Costera	Medianías	Costera
Caudal medio diario (m <sup>3</sup> /día)	7.121	4.272	8.737	5.242
Habitantes Equivalentes	71.210	42.720	87.370	52.420
Caudal medio en biológico (m <sup>3</sup> /h)		582		
Caudal punta en biológico (m <sup>3</sup> /h)		698,4		
Caudal máx. en pretratamiento (m <sup>3</sup> /h)		2.184		

### 2.3.2 Cargas contaminantes

**Tabla 2.7.** Concentraciones de diseño para contaminantes en la EDAR Granadilla

Contaminante	2026 y 2036	
	Medianías	Costera
DQO (mg/l)	1000	1000
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	600	600
S.S.T. (mg/l)	375	375
N <sub>t</sub> (mg/l)	75	75
P <sub>t</sub> (mg/l)	10,3	10,3

### 2.3.3. Obligaciones de vertido

La calidad del agua tratada según EL requerimiento RD 1620/2007 consta que la calidad del agua tratada deberá tener las características reflejadas en la Tabla 2.8.

**Tabla 2.8.** Exigencias de calidad de agua

Contaminante	Valor
DQO (mg/l)	≤125 mg/l
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	≤25 mg/l
S.S.T. (mg/l)	≤35 mg/l

El fango que proviene de la depuración deberá tener las características de la Tabla 2.9.

**Tabla 2.9.** Exigencias de fango producido

Característica	Valor
Sequedad	> 22%
Contenido en materia volátil	< 45% de MV (sobre total de materia seca)

## 2.4. LLEGADA DE AGUA BRUTA

El agua bruta que llegará a la EDAR se obtendrá de dos zonas diferentes (Tabla 2.10):

- Zona Medianías: Con un colector de 800 mm de diámetro, llega por gravedad desde las zonas residenciales por la zona noreste y se incorpora a un pozo de gruesos en la entrada al pretratamiento
- Zona Costera: Con un colector de 450 mm de diámetro, llega por impulsión, dónde ya existe un pretratamiento, por lo que directamente se incorporara en una arqueta de reunión para unirse al flujo pretratado y continuara para el tanque de laminación.

**Tabla 2.10.** Caudales de diseño de la EDAR de Granadilla

Colector	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /h)		Q <sub>med</sub> (m <sup>3</sup> /h)		D (mm)
	2026	2036	2026	2036	
Zona medianías	1780	2184	297	364	800/ND
Zona costera	534	655	178	218	450/ND

Se instala un tamiz aliviadero en el vertedero del pozo de gruesos para la salida del bypass que conecta con la red de alivios de la EDAR Este alivio del pozo de gruesos llega hasta una arqueta situada junto al edificio de pretratamiento en la que se instalará una compuerta para poder enviar el alivio de entrada, la conducción será polietileno y de 800 mm de diámetro e irá a la red general de alivios de la EDAR o bien al barranco.

También se ha previsto el aislamiento del pozo de gruesos mediante compuerta manual, y la ejecución de un bypass general formado por dos compuertas manuales que conectan el colector de medianías con la arqueta de bypass general.

## 2.5. LÍNEA DE AGUA

### 2.5.1. Pretratamiento

El diseño del pretratamiento se realiza para el año 2036. El pretratamiento está alojado en un edificio cubierto y desodorizado. Consta básicamente de desbaste de gruesos y finos y desarenado-desengrase y está diseñado para un caudal máximo de 2.184 m<sup>3</sup>/h, que corresponde a seis veces el caudal medio horario producido en la zona de medianías.

#### Desbaste grueso y fino:

Se previenen 3 líneas de desbaste y cada canal de 0,9 m. de ancho, dos canales tienen equipos automáticos y una línea un sistema manual de emergencia para el desbaste grueso. Cada línea de desbaste está formada por una reja de gruesos y un tamiz de finos del tipo escalera. Las rejas de los tres canales para los gruesos tienen un paso de 30 mm y los tamices de 3 mm de paso, ambos equipos de fabricados en acero inoxidable AISI-316.

Los desechos en las rejas y tamices son conducidos a dos contenedores mediante tornillos transportadores-compactadores.

#### Desarenado-Desengrase:

Se previenen dos desarenadores. Las características de los desarenadores adoptados están reflejadas en las Tabla 2.11 y 2.12.

Las condiciones de operación garantizan garantizar la eliminación de partículas de tamaño superior a 0,2 mm.

La aireación del proceso de eliminación de arena se lleva a cabo utilizando soplantes y difusores de burbuja gruesa. Para proporcionar aire a los desarenadores, se utilizan (2+1) soplantes de émbolos rotativos con una capacidad de 270 m<sup>3</sup>/h a 350 mbar.

La captura de la mezcla de agua y arena se realiza mediante bombas ubicadas en el puente, con una capacidad de 15 m<sup>3</sup>/h. Además, se ha instalado un clasificador de arenas tipo "Tornillo" con una capacidad de 30 m<sup>3</sup>/h.

La recolección de las grasas se realiza en la parte posterior del desarenador. La salida se controla mediante una compuerta que es activada por un final de carrera ubicado en el puente del desarenador. La mezcla de agua y grasas se dirige hacia un separador de grasas con una capacidad de 10 m<sup>3</sup>/h.

**Tabla 2.11.** Diseño desarenador

Tipo	Desarenador / desengrasador rectangular
Nº de desarenadores	2
Anchura unitaria	3 m
Longitud unitaria	11 m
Superficie líquida unitaria	33 m <sup>2</sup>
Volumen unitario	92,4 m <sup>3</sup>

**Tabla 2.12.** Caudales de diseño desarenador

Característica	Caudal medio / máximo
Caudal de operación	182 / 1.092 m <sup>3</sup> /h
Carga Hidráulica	5,5 / 33,1 m/h
Tiempo de permanencia	30,5 / 5,1 min

### 2.5.2. Tanque de laminación y tamizado superfino

Una vez unidos los caudales en la arqueta de reunión el caudal del pretratamiento y el caudal impulsado por la zona costera se procederá a laminar el flujo.

Ubicado aguas abajo del edificio de pretratamiento, el objetivo principal del tanque de laminación es regular los caudales máximos para lograr un flujo constante hacia el tratamiento biológico. Esto tiene como propósito mejorar el rendimiento y prolongar la vida útil de las membranas de ultrafiltración. Se ha establecido que el caudal máximo en el tratamiento biológico será 1,2 veces el caudal medio. Por lo tanto, la diferencia entre este caudal y el caudal máximo tratado en el pretratamiento se almacenará en el tanque de laminación.

El tanque de laminación se encuentra dividido en dos cámaras y tiene una capacidad total útil de regulación de 3.563 m<sup>3</sup>. Esto proporciona un tiempo de retención para la diferencia de caudales (máximo pretratamiento - máximo biológico) de 2,04 horas durante períodos de lluvia en el año 2026. Sin embargo, para condiciones de tiempo seco y puntas diarias, el tiempo de retención con las dos cámaras sería de 5,77 horas, lo cual resulta excesivo. Por lo tanto, sería posible trabajar con una sola cámara, lo que reduciría el tiempo de retención a 2,89 horas, un período más adecuado para las puntas de caudal en condiciones de tiempo seco en una población de este tamaño.

El flujo de salida del tanque de laminación se realiza por gravedad, y la regulación del caudal se lleva a cabo mediante una válvula reguladora y un medidor de caudal electromagnético ubicados en la tubería.

Justo después del tanque de laminación, se disponen tres líneas de tamices de superfinos. Cada tamiz tiene una abertura de paso de 1 mm. El agua que sale de los tamices se envía al tratamiento biológico.

Además, se instalan dos agitadores de 5 kW por cada cámara y línea del tanque para evitar la sedimentación en el fondo.

A modo de resumen, se presenta la Tabla 2.13.

**Tabla 2.13.** Laminación de flujo previo al biológico

ELEMENTO	EDAR GRANADILLA	
	Dimensión	Información
Laminación	2 cámaras ( $V_{total}=3.563 \text{ m}^3$ )	Tiempo de retención medio 5,77 h 2 agitadores por cámara
Microtamizado	2+1R tamices automáticos	Paso 1 mm Q=350 m <sup>3</sup> /h

### 2.5.3. Reactor biológico

Todos los tanques y plantas de tratamiento biológico están diseñados para 2036, a excepción de las plantas de aireación, que están diseñadas para 2026, lo que permite una futura expansión a 2036. El criterio de diseño es empezar a trabajar en 2036.

El lodo se estabiliza por oxidación prolongada. La temperatura de diseño es de 20°C, por lo que la edad del fango necesaria para conseguir la estabilización del fango a esta temperatura es de 15,65 días en 2026 y 14,39 días en 2036 según la citada norma ATV-A 131.

El biorreactor está diseñado como un tipo de tres cadenas, con un volumen total de 9949 metros cúbicos y una altura de agua de 5,5 metros. Para el escenario de diseño 2036, con este volumen y una carga de DBO5 de 8387 kg/día, se logra una carga volumétrica de 0,84 kg DBO5/día x m<sup>3</sup> en la bioentrada. La concentración del reactor de diseño es de 8 kg MS/m<sup>3</sup> con una carga másica de 0,105 kg DBO5/kg MLSSxdía. Por lo tanto, la cantidad de lodos es de 79.589 kg y el rendimiento de los lodos supera los 5.531 kg, por lo que la edad de los lodos en 2036 es de 14,39 días.

En el escenario correspondiente al primer año de operación (7300 m<sup>3</sup>/día), solo se necesita utilizar dos de las tres líneas de producción para tratar el lodo de 14,48 días de edad, pudiendo reducirse la concentración de trabajo a 6,3 kg/m<sup>3</sup>, ahorrando así energía. Con esta edad de fangos, por un lado, se consigue un fango estabilizado, y por otro, se garantiza la nitrificación y desnitrificación. Ahora, a medida que envejece el lodo,

La calidad esperada del agua tratada se encuentra en la Tabla 2.14.

**Tabla 2.14.** Parámetros de salida reactor biológico

Parámetro	Valor
DBO <sub>5</sub>	≤ 6,9 mg/l
S.S.T.	≤ 1 mg/l.
N-NTK	≤ 3,5 mg/l.
N-NO <sub>3</sub>	≤ 10,00 mg/l.
N-N Total	≤ 13,1 mg/l.

### Sistema de aireación

La distribución de aire en el biorreactor se realiza a través de un difusor de burbujas finas de EPDM de 11 pulgadas de diámetro. Se despliegan 2.496 difusores, cada fila dividida en dos cuadrículas con 416 difusores cada una.

En el escenario de diseño, un caudal máximo de 5,5 Sm<sup>3</sup>/h por difusor con un escenario de primer año de 3,7 Sm<sup>3</sup>/h. Estos valores son algo conservadores, pero aun así prolongan significativamente la vida útil del difusor. La transferencia de oxígeno observada varió de 31% a 34%.

En el escenario de diseño, la demanda de aire media en 2026 es de 9.485 Sm<sup>3</sup>/h y la máxima de 9.984 Sm<sup>3</sup>/h. En el escenario del primer año, la demanda de aire media es de 6.157 Sm<sup>3</sup>/h y la máxima de 6.323 Sm<sup>3</sup>/h.

La Tabla 2.15 describe un resumen de los parámetros más importantes a tomar en cuenta en el reactor biológico

**Tabla 2.15.** Parámetros reactor biológico

ELEMENTO	EDAR OESTE	
	Dimensión	Información
Reactor biológico	3 líneas ( $V_{tot}=9.949 \text{ m}^3$ ) Altura: 5,5 m Longitud: 38,5 m Ancho: 15,5 m	Zona anóxica (32,13%) MLSS: 6,3 g/l, edad fango: 15,65 días
Soplantes del proceso	2+1R 1 turbosoplante	Émbolos rotativos Caudal unitario: 2.200 $\text{Sm}^3/\text{h}$ 625 mbar Levitación magnética Caudal unitario: 5.357 $\text{Sm}^3/\text{h}$
Red de difusores	2 parrillas por línea	Elastómero Diámetro= 11" 832 uds. por línea Rendimiento: 31-34 %

#### 2.5.4. Sistema de membranas

En este proyecto 2026 se disponen 4 trenes de membranas, cada tren consta de 3 casetes de membranas y cada casete de membranas tiene 48 módulos de filtración, aunque solo están equipados con 44 elementos, se pueden ampliar a 48 elementos. En caudales intermedios, la tasa de filtración (caudal) media a través de la membrana en el escenario de diseño en 2026 será de 26,2  $\text{l/m}^2/\text{h}$ , con todos los trenes en funcionamiento. Tasa de filtración 34,9  $\text{l/m}^2/\text{h}$  para caudal medio cuando el tren no está en marcha

El agua tratada se extrae mediante succión de los módulos por medio de bombas de permeado (una por tren más una de reserva en taller), con un caudal unitario de 190  $\text{m}^3/\text{h}$ , a 10,0 m.c.a., dotadas de variadores de frecuencia.

El sistema de purificación de aire por membranas será del tipo LEAP, donde cada dos trenes estará equipada con un soplante y una reserva común. En total hay (2+1) soplantes con 1.200  $\text{Nm}^3/\text{h}$  a una presión de 350 mbar. Queda espacio para un futuro soplante.

Las bombas de retrolavado están diseñadas para futuras expansiones, además de estas limpiezas inmediatas y continuas, mensualmente se realizan limpiezas químicas con ácido cítrico e hipoclorito de sodio. Por este motivo, estos reactivos están equipados con equipos de dosificación adecuados.

En la tabla 2.16 se encuentra resumida el sistema de membranas del proceso.

**Tabla 2.16.** Dimensionado y equipos de los módulos de membrana las EDAR de Granadilla

ELEMENTO	EDAR GRANADILLA	
	Dimensión	Información
Bastidores de membrana	4 líneas (3 casetes por línea, 44 elementos por casete)	Fibra hueca Flujo medio: 26,2 l/m <sup>2</sup> h
Bombas de permeado	4+1R	Caudal unitario: 190 m <sup>3</sup> /h 10 mca
Soplantes de membranas	2+1R	Émbolos rotativos Caudal unitario: 1.200 m <sup>3</sup> /h 350 mbar
Hipoclorito sódico	1 sistema dosificación	ND
Ácido cítrico	1 sistema dosificación	ND
Bombas recirculación	3+1R	Sumergibles Caudal unitario: 780 m <sup>3</sup> /h 3,5 mca

### 2.5.5. Almacenamiento de agua ultrafiltrada

Para el almacenamiento de agua filtrada, se cuenta con dos depósitos. El primero se encuentra dentro del edificio de membranas, entre los tanques de membranas y las bombas de permeado y retrolavado. Tiene dimensiones de 11,7 x 2,25 metros, con un calado de 2,9 metros y un volumen útil de 76 m<sup>3</sup>. Este depósito tiene un tiempo de retención de 25,7 minutos para el año 2026, considerando el caudal medio. Su función principal es abastecer a las bombas de contralavado y a los servicios auxiliares de la planta.

El segundo depósito, conocido como depósito general de salida de agua tratada, se encuentra ubicado frente al edificio de membranas. Tiene dimensiones de 9,10 x 8,55 metros, con un calado de 5,25 metros y un volumen útil de 408 m<sup>3</sup>. El tiempo de retención en este depósito es superior a 2,2 horas para el año 2026, considerando el caudal medio. Su objetivo es almacenar el agua tratada antes de su salida de la planta.

### 2.5.6. Desodorización

La desodorización de todas las estancias se ha resuelto con un sistema por vía seca utilizando adsorbentes químicos. Se ha elegido este sistema, y no uno convencional por vía húmeda con torres de lavado, por dos razones fundamentales:

- Ocupan mucho menos espacio.
- Se evita el uso de reactivos, aunque obviamente se deben remplazar los módulos.

El edificio de pretratamiento y el edificio de membranas se someten a un proceso de desodorización en una unidad común. Sin embargo, debido a que los focos de olores son diversos y están separados entre sí, se han propuesto equipos individuales con características específicas en el resto de la línea de agua y fangos.

Para las estancias pequeñas y equipos confinados se han previsto pequeñas instalaciones individuales. Estos equipos están diseñados para tratar el aire localizado en esas áreas específicas y se dimensionan de acuerdo con los caudales calculados.

En cambio, para el edificio de pretratamiento y el edificio de membranas, se utilizan equipos más grandes que tienen la capacidad de tratar el aire general de la sala. Se asume que este aire no contiene contaminación odorífica significativa.

## 2.6. LÍNEA DE FANGOS

### 2.6.1. Bombeo de fangos

Los fangos en exceso producidos ascienden a un total de 5.531 kg/día para el año 2036 y 4.449 kg/día para el año 2026. Esto equivale a un volumen de 564 m<sup>3</sup>/día y 524 m<sup>3</sup>/día, respectivamente, considerando concentraciones de 9,8 kg/m<sup>3</sup> y 8,5 kg/m<sup>3</sup>.

La extracción de estos fangos se realiza mediante (1+1) bombas sumergibles con una capacidad de 35 m<sup>3</sup>/h cada una. Estas bombas impulsan los fangos en exceso hacia el espesador utilizando la fuerza de gravedad.

### 2.6.2. Espesamiento

Se ha planificado la instalación de un espesador circular de gravedad con un diámetro de 14 metros. Este espesador funcionará con una carga de sólidos que varía entre 29 y 36 kg/día por metro cuadrado para los años 2026 y 2036, respectivamente.

La carga máxima diaria que llegará al espesador en el futuro, en el año 2036, será de 5.531 kg/día, con una concentración media de entrada de 9,8 g/l.

Los fangos espesados se extraen desde la tolva ubicada en el fondo del espesador a través de una tubería de 150 mm de diámetro. Esta tubería está conectada al sistema de bombeo de fangos para su posterior deshidratación.

Los sobrenadantes resultantes del proceso de espesado, que se generan por rebose en el espesador, se conducen a la red de drenaje que desemboca en el pozo de vaciados. Desde este pozo, los sobrenadantes se reintroducen en la cabecera de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR).

### 2.6.3. Deshidratación y almacenamiento

La alimentación de fangos a las centrífugas se realizará mediante 2 bombas de tornillo, una en reserva, de 20 m<sup>3</sup>/h de caudal unitario provistas de variador de frecuencia y medidor de caudal.

Para el proceso de deshidratación de fangos, se han planificado dos centrífugas, una de las cuales se mantendrá como reserva. Estas centrífugas tienen las siguientes características:

- Número de centrífugas: 1+1 (una en funcionamiento y otra en reserva).
- Caudal de deshidratación: 20 m<sup>3</sup>/h.
- Carga máxima de sólidos (MS) por centrífuga: 505 kg MS/h.
- Sequedad del fango deshidratado: 23%.

El tiempo de operación previsto con una sola centrífuga en funcionamiento es de 5 días a la semana, durante 13 horas al día en el año 2026, y 16 horas al día en el año 2036.

La producción estimada de fangos deshidratados con una sequedad del 23% será de 32,1 m<sup>3</sup> por día de secado en el año 2036, y de 25,8 m<sup>3</sup> para el año 2026.

Para el acondicionamiento del fango con polielectrolito, se ha previsto una dosis de diseño de 5 kg por tonelada de materia seca (MS), con una dosificación máxima de 7 kg por tonelada de MS.

La solución madre de polielectrolito se preparará en un grupo compacto de preparación de 850 litros. Este grupo compacto estará equipado con una tolva de almacenamiento, un dosificador volumétrico, cubas de preparación y maduración, así como electroagitadores para la mezcla y dilución adecuada del polielectrolito.

Desde estos equipos, la solución madre se bombeará utilizando (1+1) bombas de tornillo con una capacidad de 700 litros por hora hacia las centrífugas donde se realizará el acondicionamiento del fango.

Para el almacenamiento de fangos deshidratados, se han previsto dos silos de fangos de 32,5 m<sup>3</sup> lo que supone una autonomía superior a 2 días de trabajo a futuro.

El silo va equipado con un sistema de extracción de fango que evita el apelmazamiento del mismo, células de pesaje, así como medidor de nivel por radar.

La deshidratación de fangos y su almacenamiento se encuentran resumidas en la tabla 2.17. mostrando sus parámetros más importantes.

**Tabla 2.17.** Dimensionado y equipos de deshidratación y almacenamiento de fangos de las EDAR de Granadilla

ELEMENTO	EDAR GRANADILLA	
	Dimensión	Dimensión
Deshidratación	1+1R	Centrífuga Caudal unitario: 20 m <sup>3</sup> /h 5 días 13 h/día Sequedad 23 %
Equipo de polielectrolito	1	Polielectrolito 0,5% Caudal unitario: 700 l/h
Bombas dosificadoras de poli	1+1R	Tornillo Caudal: 700 l/h
Bombas fango deshidratado	1+1R	Tornillo Caudal unitario: 2,20 m <sup>3</sup> /h
Almacenamiento de fangos deshidratados	2 (V <sub>uni</sub> =32,5m <sup>3</sup> )	Autonomía superior a 2 d

## CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LA EDAR OESTE

### 3.1. INTRODUCCIÓN

Con una capacidad máxima de tratamiento de 10.325 m<sup>3</sup> /d previstos para el año 2026 y de 11.955 m<sup>3</sup> /d caudal estimado para el año 2036, año horizonte del proyecto. Además, pese a que el año horizonte es el 2036, se ha realizado una comprobación de la idoneidad del dimensionamiento hidráulico en los elementos comunes del proceso que pudieran condicionar una futura ampliación si se dan las cifras estimadas para el horizonte de techo poblacional.

Para el diseño hidráulico y de proceso se ha considerado un caudal máximo de 3Qm<sup>24</sup> circulante por las tuberías que llegan bombeadas y de 6 Qm<sup>24</sup> en aquellas que llegan por gravedad y que transportan aguas pluviales.

Esta EDAR contempla el pretratamiento de las aguas que llegan por gravedad de los colectores de Guía de Isora y de Chío, y una vez pretratadas, se unen con las que proceden bombeadas desde la ETBAR de Playa San Juan, para someterse conjuntamente al Tratamiento Biológico.

Este Biológico ha sido proyectado por el proceso de Oxidación Prolongada con aireación mediante soplantes de émbolos rotativos y red de difusores y empleando como sistema de clarificación membranas de Ultrafiltración, conociéndose todo el proceso como MBR, buscando la máxima calidad del agua tratada, con vistas a su reutilización futura.

Como medida de optimización del proceso, se modifica el reactor biológico de la actual EDAR en desuso, para convertirlo en un tanque de laminación para alimentar el Biológico de manera que se eliminen puntas, habiendo quedado proyectado para que el caudal punta no sobrepase el valor de 1,20 el correspondiente al medio, resultando un caudal medio de tratamiento de 498,1 m<sup>3</sup> /h y un caudal punta de 598 m<sup>3</sup> /h.

### 3.2. PROCESO DE TRATAMIENTO PLANTEADO DE LA EDAR OESTE

El diagrama de bloques del proceso se encuentra resumido en la figura 3.1.

Las aguas procedentes de los colectores de Guía de Isora y Chío se someterán a un pretratamiento, la tabla 3.1:

**Tabla 3.1.** Pretratamiento

Proceso	Información
Pozo de gruesos	Cuchara bivalva (100 l) 1 reja predesbaste (80mm)
Desbaste de gruesos	1 reja automática (30 mm),1 reja manual (30 mm),1 tornillo compactador (1,5 m <sup>3</sup> /h)
Desbaste de finos	2 tamices tipo tambor rotatorio (3 mm)
Desarenado/Desengrasado	2 uds. longitudinal y aire lateral, Separación: 95% 0,2 mm

Una vez pretratadas, estas aguas se conducen a un tanque de laminación en el que se unen con las que vienen ya pretratadas de la ETBAR de Playa de San Juan. Siguiéndose a partir de este punto la línea de tratamiento ilustrada en la tabla 3.2:

**Tabla 3.2.** Resumen reactor biológico

Proceso	Información
Tanque de laminación	2 cámaras ( $V_{total} = 1.563 \text{ m}^3$ )
Microtamizado	2+1R tamices (paso 1 mm)

El caudal efluente ingresará al reactor biológico, siguiendo los pasos mostrados en la tabla 3.3:

**Tabla 3.3.** Resumen reactor biológico

Proceso	Información
Reactor biológico	3 líneas (edad fango 13 días)
Sistema de aireación	3+1R (émbolo rotativo)
Difusores de membrana	3 parrillas por línea, 1 zona facultativa

Posteriormente se ira al proceso de membranas MBR, ilustrados en la tabla 3.4:

**Tabla 3.4.** Resumen MBR

Proceso	Información
Membrana	3 líneas (4 casetes por línea, 48 elementos por casete)
Bombas de permeado	3+1R
Soplantes de lavado de membrana	2+1R
Desinfección	3 líneas UV (16 lámparas en cada línea)

Los fangos del proceso pasaran por el tratamiento mostrado en la tabla 3.5, que consiste en:

**Tabla 3.5.** Resumen línea de fangos

Proceso	Información
Bombeo de fangos en exceso	2+1R (centrífuga)
Espesado	Mecánico (2 uds. $20 \text{ m}^3/\text{h}$ ), sequedad 4 %
Deshidratación	2 (centrífuga), sequedad 22%



### 3.3. CAUDALES DE LLEGADA A LA EDAR Y CARGAS CONTAMINANTES

#### 3.3.1. Caudales

##### Caudales por gravedad:

En la tabla 3.6 se encuentran los caudales de entrada que se someterán a pretratamiento.

**Tabla 3.6.** Colectores por gravedad EDAR oeste (para año 2036)

En la EDAR, colectores por gravedad		2016	2026	2036	Techo plan	
CHÍO	Caudal diario		385,3	445,0	614,6	m <sup>3</sup> /día
	Caudal medio Qm 24		16,1	18,5	25,6	m <sup>3</sup> /h
	Caudal punta de llegada, Pretrata 6 Qm24		96,3	111,2	153,7	m <sup>3</sup> /h
GUÍA DE ISORA	Caudal diario	943,5	1126,7	1272,7	1814,8	m <sup>3</sup> /día
	Caudal medio Qm 24, m <sup>3</sup> /h	39,3	46,9	53,0	75,6	m <sup>3</sup> /h
	Caudal punta a Pretrata. 6 Qm24, m <sup>3</sup> /h	235,9	281,7	318,2	453,7	m <sup>3</sup> /h
Caudal total de entrada por gravedad		943,49	1512,00	1717,63	2429,37	m <sup>3</sup> /día
Caudal medio Qm 24, m <sup>3</sup> /h		<b>39,3</b>	<b>63,0</b>	<b>71,6</b>	<b>101,2</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>
Caudal punta a Pretrata. 6 Qm24, m <sup>3</sup> /h		<b>235,87</b>	<b>378,00</b>	<b>429,41</b>	<b>607,34</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>

##### Caudales bombeados por ETBAR de San Juan

La tabla 3.7. refleja el caudal que llega por impulsión y mediante una arqueta de reunión se unirá al caudal pretratado.

**Tabla 3.7.** Caudal procedente ETBAR

Caudal procedente de la ETBAR	2026	2036	Techo plan	
Caudal diario	6950,35	8813,78	10238,09	m <sup>3</sup> /día
Caudal medio	289,60	367,24	426,59	m <sup>3</sup> /h
Caudal máximo bombeo 3 Qm	868,79	1101,72	1279,76	m <sup>3</sup> /h

Por lo anterior, se someterán a tratamiento Biológico, la suma de ambos.

#### 3.3.2. Cargas contaminantes

Priorizando las más recientes, se han adoptado para el diseño del proyecto, las concentraciones y cargas más desfavorables en el agua, de las campañas realizadas de Konagua y Canaragua sobre los contaminantes en las aguas residuales de la isla de Tenerife, con las que se calculan por igual los dos escenarios de 2026 y 2036, los valores se reflejan en la tabla 3.8:

**Tabla 3.8.** Cargas contaminantes (años 2026 y 2036)

	DQO (mg/l)	DBO5(mg/l)	SST(mg/l)	Nt(mg/l)	Pt(mg/l)
2036	875	546	348	93	5,7

### 3.3.3. Exigencias de vertido

Se ha de seguir una serie de exigencias tanto en el vertido de agua (tabla 3.9.) como en el vertido de fangos (tabla 3.10).

**Tabla 3.9.** Exigencias de vertido del agua

Parámetro	Concentración	%reducción
DBO <sub>s</sub>	≤25 mg/l	70-90
DQO	≤125 mg/l	75
SST	≤35 mg/l	90

**Tabla 3.10.** Exigencias de fango producido

Característica	Valor
Sequedad	> 23%
Contenido en materia volátil	< 45% de MV (sobre total de materia seca)

## 3.4. TUBERIAS DE ENTRADA

A la EDAR llegan las siguientes tuberías:

- Colector por gravedad procedente de Chío: PVC Ø400. Este colector, no se contempla en los datos de caudal del escenario actual 2016, ya que está prevista su ejecución más adelante.
- Colector por gravedad de Guía de Isora: PVC Ø315, que en la actualidad está derivada parcialmente aguas arriba de la actual EDAR.

Estas dos se unen para pasar por un pretratamiento, tras el cual se unen con la tubería procedente de la impulsión desde la ETBAR Playa San Juan: Fundición Ø500.

Los caudales de entrada están reflejados en la tabla 3.6 y 3.7

Los dos vertidos de llegada por gravedad a la planta son reunidos en una arqueta en la que hay una compuerta de 600\*600 mm entrada al pozo de gruesos y una derivación con una

válvula motorizada de 400 mm Ø que derivaría el agua a los canales de desbaste. En el pozo de gruesos hay habilitado un vertedero que conduce el agua al exterior en caso de emergencia, a través de la red de alivios.

Las dimensiones en planta del pozo son de 3,40 x 2,00 m y una altura recta de 0,60 e inclinada de 0,50 m y con muros perimetrales de 1,30 m. Estas dimensiones suponen un tiempo de retención de 1 minuto a caudal horizonte

El paso del pozo de gruesos a los canales de desbaste se realiza a través de una reja de predesbaste de 80 mm de luz de paso, para minimizar el impacto de olores, se ha previsto el cierre del tanque mediante una cubierta retráctil y tensionada con una toma para la captación de aire al sistema de desodorización. Así mismo, los contenedores dispondrán de un sistema de cierre que permita la aspiración localizada.

### 3.5. LÍNEA DE AGUA

#### 3.5.1. Pretratamiento

##### Desbaste de Gruesos:

El equipo será una reja de desbaste, de pletinas con espacio libre de 30 mm, construida en acero inoxidable 316 L y que contará con carenado que proteja los elementos móviles y con limpieza automática mediante temporización y control de nivel. Se construyen 2 canales, de 0,60 m de anchura y 0,80 de altura total, con 40 cm mínimos de cobertura sobre el nivel máximo, dejando uno con reja manual que se podrá sustituir por automática en el futuro. Con dos canales se cubre escenario 2036 y el tercero cubriría el escenario para el TechoPlan. Las características de las línea de desbaste grueso está en la tabla 3.11.

**Tabla 3.11.** Conducciones de entrada de agua bruta (años 2026 y 2036)

EDAR OESTE	2026	2036	Techo		
Número de líneas en servicio para el caudal total:	1	1	2	Ud	
Colmatación máxima admitida:	30	30	30	mm	
Ancho del canal	30%	30%	30%		
	Teórico	0,55	0,59	0,49	m
	Adoptado	0,6	0,6	0,6	m
Calado a caudal máximo:	0,33	0,38	0,27	m	

El funcionamiento es automático controlado por la altura que se alcance aguas arriba de la reja, mediante un control de nivel de tipo conductivo.

##### Pretratamiento compacto:

Se proyectan dos equipos en paralelo, con capacidad cada uno para un caudal máximo de 225 m<sup>3</sup>/h, y equipado con:

- Tamiz de tambor rotatorio con paso de 3 mm

- Sistema de extracción de arenas con dos tornillos, uno horizontal inferior y otro hacia el exterior para vertido sobre contenedor
- Inyección de aire con un soplante de canal lateral y difusores de burbuja gruesa
- Barredor superficial de arrastre de grasas al exterior.

**Sistema de tamizado**

Tamiz tornillo con compactación de montaje en carcasa, incluyendo sistema de transporte y compactación de los sólidos, provisto de limpieza en zona de compactación y con un grado de deshidratación y compactación de los sólidos entre 30 y el 45%. Cepillos en sectores atornillados y de fácil sustitución fabricados en PP y Nylon de alta resistencia. Carcasa completamente cerrada con conexión bridada, tapa de acceso abatible y conexión roscada hembra 2” para sonda de nivel, en resumen, la tabla 3.12

**Tabla 3.12.** Características del sistema de Tamizado

Parámetro	Unidad
Luz de paso	3 mm
Diámetro nominal	600 mm
Caudal nominal para agua limpia	432 m3/h
Nivel de agua máximo de funcionamiento	541 mm
Inclinación	35°

**Zona de desarenado**

Depósito de desarenado del tipo longitudinal y diseño especial de construcción robusta, provisto de cubierta desmontable, con sistema de inyección de aire para la separación de orgánicos de la arena y ayuda a flotación de grasas y sobrenadantes, estructura soporte con patas regulables y accesorios para sujeción de los sinfines de extracción de arenas. Los sinfines transportadores de arena se fabrican de eje hueco y su trabajo es en discontinuo, logrando una buena deshidratación de la arena a baja velocidad y una mínima erosión de las hélices, de modo resumido la tabla 3.13.

**Tabla 3.13.** Características zona desarenado

Parámetro	
Grado de separacion	95%, partícula 0,2 mm
Transportador	A sinfín horizontal
Tipo de sinfin	Sin eje de gran espesor

### **Zona de desengrasado**

Desengrasador lateral y paralelo al desarenador con rasqueta automática de separación de grasas y longitud igual al desarenador con muro cortacorrientes con entradas en forma de peine y sistema de barrido en todo el largo mediante rascador flotante para una mejor deshidratación de las grasas y flotantes.

La grasa y flotantes son descargados automáticamente y caen por gravedad a un concentrador de grasas.

### **3.5.2. Tanque de laminación y microtamizado**

Para laminar el caudal que se dirige al Biológico, se aprovecha el tanque existente que fue reactor biológico de la EDAR actual.

Su volumen es de 1.563 m<sup>3</sup>

Cada uno de los dos recintos dispondrá de un agitador sumergido de 3,50 KW.

La salida de agua se realiza por la parte inferior, mediante una tubería de inoxidable de Ø 500 mm. En esta tubería se monta un medidor de caudal y aguas abajo, una válvula de mariposa con actuador eléctrico en función de la señal del medidor, que limite el caudal al máximo admitido según el escenario de trabajo.

Para protección de las membranas de MBR, se proyecta un sistema de tamizado, que se proyectará con los siguientes criterios:

Dado que el caudal medio para el escenario 2026 es de 430 m<sup>3</sup>/h y el de 2036 de 498 m<sup>3</sup>/h, se han proyectado 2+1R tamices de 518 m<sup>3</sup>/h de caudal nominal con agua limpia para el caudal máximo de 2036, dejando instalado en esta fase dos de ellos.

Corrigiendo el caudal nominal, que facilita el fabricante para una concentración de sólidos en suspensión de 200 mg/l, cada tamiz trabajará con un caudal máximo de 300 m<sup>3</sup>/h

Son tamices rotativos, con tambor de chapa perforada y paso de 1 mm. El tambor tiene un diámetro de 630 mm y una longitud de 1500 mm. Equipados con boquillas interiores de limpieza

### **3.5.3. Reactor biológico**

Se ha proyectado un proceso biológico por fangos activos en régimen de oxidación prolongada, en el que se sustituyen los decantadores secundarios por un sistema de ultrafiltración por membranas, MBR.

Teniendo en cuenta el exigente pretratamiento proyectado, se ha considerado la reducción en el mismo del 10 % en DBO y SS.

La edad del fango es superior a 13 días y se trabajará con una carga másica de 0,11 y una concentración de MLSS en el reactor de de 8 gr/l, 10 en los canales de membranas, lo que obliga a realizar una recirculación del 400% sobre el caudal medio y que al mismo tiempo contribuye a asegurar la desnitrificación.

El escenario de cálculo ha sido el de 2036, en tres líneas y habiendo estimado temperaturas del agua de 18 y 20 °C

Los datos más significativos del proceso se ilustran en la tabla 3.14

**Tabla 3.14.** Caudales y cargas de entrada

Caudales y cargas de entrada		
Temperatura adoptada para el proceso nitrificación	Verano	
	20	°C
<b>Datos generales de entrada</b>		
Caudal diario:	11956	m <sup>3</sup> /día
Caudal medio:	498,2	m <sup>3</sup> /h
Caudal punta a biológico:	597,8	m <sup>3</sup> /h
Concentración DBO5 entrada agua bruta	546	mg/l
Rendimiento eliminación en Pretrata y microtamizado Teniendo en cuenta que se pasa por tamizado de 1 mm	10%	
Concentración DBO5 entrada	491	mg/l
Carga DBO5 entrada:	5875	Kg/día
Concentración DBO5 esperada en vertido:	10	mg/l
Carga DBO5 esperada en vertido:	120	Kg/día
Carga DBO5 a eliminar:	5755	Kg/día
Concentración SS en agua bruta	348	mg/l
Rendimiento eliminación en pretratamiento y microtamizado	10%	
Concentración SS entrada biológico:	313	mg/l
SS entrada biológico:	3744,5	Kg/día
Concentración SS esperada en vertido:	10	mg/l

Para el escenario 2026:

Dado que las cargas contaminantes consideradas son las mismas y el caudal de 2026 es el 86% del de 2036, para los caudales nominales no se puede prescindir de una de las tres líneas. El biológico podrá trabajar con un contenido menor de MLSS con el consiguiente ahorro de energía.

Resultando estos parámetros de trabajo en la tabla 3.15.:

**Tabla 3.15.** Temperatura más desfavorable para el proceso de nitrificación

Datos generales de entrada	Invierno	Verano	°C
	18	20	
Caudal diario:	10325	10325	m <sup>3</sup> /día
Caudal medio:	430,2	430,2	m <sup>3</sup> /h
Caudal punta a biológico:	516,3	516,3	m <sup>3</sup> /h
Concentración DBO5 entrada agua bruta	546	546	mg/l
Rendimiento eliminación en pretrata y microtamizado Teniendo en cuenta que se pasa por tamizado de 1mm	10%	10%	mg/l
Concentración DBO5 entrada:	491	491	mg/l
Carga DBO5 entrada:	5074	5074	Kg/día
Concentración DBO5 esperada en vertido:	10	10	mg/l
Carga esperada en vertido:	103	103	Kg/día
Carga DBO5 a eliminar:	4971	4971	Kg/día
Concentración SS en agua bruta	348	348	mg/l
Rendimiento eliminación en Pretratamiento y microtamizado	10%	10%	
Concentración SS entrada biológico:	313	313	mg/l
SS entrada biológico:	3233,9	3233,9	Kg/día
Concentración SS esperada en vertido:	10	10	mg/l

Para los datos de cálculo de 2036 se han previsto la construcción de tres líneas de reactor biológico, que permitirán escalonar este proceso en función de cómo aumente el caudal de llegada a la EDAR, el reactor biológico tendrá una altura de agua de 6,5 m, una longitud de 42 m y ancho de 8,4 m.

La configuración es la de tanques rectangulares, con un 35 % de zona anóxica, de la cual una parte será facultativa, 10%, y la otra anóxica pura, 25%

### Aireación

Los criterios empleados, con la inclusión de los grupos de soplantes necesarias son por un lado el mantener un mínimo de 2 mg/l de oxígeno disuelto en el reactor y aportar el oxígeno necesario para eliminar la materia orgánica carbonada y la oxidación del nitrógeno de entrada, así como mantener en condiciones aerobias el contenido en MLSS de 8 gr/l

### Tipo de soplantes

Se ha considerado en el proyecto, hasta tres alternativas, tomando la decisión final por la mejor relación de precio y eficiencia energética y está reflejado en la tabla 3.16.

**Tabla.3.16.** Características de los soplantes

Soplantes de émbolos rotativos	
Caudal aspirado	3800Nm <sup>3</sup> /h
Impulsado	3383 Nm <sup>3</sup> /h
W absob	96 KW
W Motor	132 KW

### Distribución de aire en los reactores

La distribución se realiza uniando las tres tuberías de salida de los soplantes, en un colector común, de 600 mm Ø. Colector que luego se divide en 3 de 300 mm Ø, uno para cada reactor y con una válvula reguladora para alimentación de cada uno.

En cada reactor se montan 3 parrillas alimentadas por una tubería con válvula de 200 mm Ø. En la zona facultativa se proyecta una parrilla con la misma densidad de difusores de la zona óxica

El número total de difusores instalados es de 824 Uds., en tres parrillas de 276 cada una. Esto supone una densidad de 3,6 dif/m<sup>2</sup> en la zona óxica. El caudal medio de aire por cada difusor es de 4 Nm<sup>3</sup>/h y a caudal punta de 5,6 Nm<sup>3</sup>/h.

La tabla 3.17. resume los parámetros con los que trabaja el reactor biológico.

Habiendo tres líneas de reactores no se considera imprescindible que las parrillas sean extraíbles.

**Tabla 3.17.** Parámetros reactor biológico

ELEMENTO	EDAR OESTE	
	Dimensión	Información
Reactor biológico	3 líneas y espacio para 4ª. VTot 6880 m <sup>3</sup> , lámina agua 6,5 m.	Zona anóxica, facultativa y aerobia. Cm 0,11, MLSS 8 gr/l, edad fango 13 días
Soplantes del proceso	3+1R de 3175 Nm <sup>3</sup> /h	De émbolos rotativos con cabina insonorización
Red de difusores	Tres parrillas por reactor, más otra en zona facultativa	Elastómero de 9 " Ø, 824 Uds en cada reactor, más 134 en zona facultativa

### 3.5.4. Tanques de filtración con membranas

La planta MBR está compuesta por 3 tanques de filtración de membrana en paralelo.

Las dimensiones internas de cada tanque de membrana son 8,66 m x 2,74 m x 2,96 m de lámina de agua. La alimentación al tanque de membranas se hará por la parte inferior del tanque con una placa deflectora, distribuyendo la alimentación por debajo de los casetes de membrana. El rebose del tanque de membranas estará en el lado opuesto, preferiblemente sobre toda la anchura del tanque.

Cada tanque de membrana será alimentado por gravedad desde un canal de alimentación. La alimentación a cada tanque será de 5 veces la producción de permeado para mantener la concentración de MLSS en el tanque de membrana por debajo de 10 g/L durante la operación con el flujo medio diario y 12 g/L durante la operación con el caudal pico diario y horario. El rebose de los tanques de membrana se recoge en un tanque RAS de recirculación desde donde es bombeado a la entrada de la biología (configuración Pump-From).

#### Sistema de permeado:

Mediante la aplicación de una presión de vacío el permeado se conduce a través de las membranas con una bomba de permeado reversible por tren de filtración. Esta bomba se utiliza tanto para la filtración, como para el retrolavado de las membranas con permeado o para la limpieza química de las membranas (retrolavado mejorado con químicos). Las características del sistema de bombeo están en la tabla 3.18.

**Tabla 3.18.** Características de las bombas de permeado

Bombas de Permeado		
Caudal medio de entrada a EDAR	498,1	m <sup>3</sup> /h
Caudal máximo	597,8	m <sup>3</sup> /h
Nº de líneas	3	Ud
Caudal medio por línea	166,0	m <sup>3</sup> /h
Caudal máximo por línea	199,3	m <sup>3</sup> /h
Caudal medio por tren con uno fuera de servicio	249,1	m <sup>3</sup> /h
Caudal medio por tren con uno fuera de servicio y escenario de retrolavados	283,9	m <sup>3</sup> /h
Nº de bombas por línea	1	Ud
Caudal adoptado	290	m <sup>3</sup> /h

### Soplantes para limpieza de membranas:

Se propone un régimen de aireación basado en la tecnología LEAP. La aireación LEAP permite diseñar el sistema con un soplante dedicado por tren. Los casetes de membranas se airean con un difusor de burbuja gruesa multietapa que es parte integral del casete.

Se proyectan dos soplantes de 1940 Nm<sup>3</sup>/h, que serán de émbolos rotativos, equipados con cabina insonorizante.

Para la limpieza de las membranas se emplean hipoclorito sódico y ácido cítrico.

#### 3.5.5. Desinfección

El sistema proyectado es el de generadores en tubería. Se instalarán tres equipos de ultravioleta, sus parámetros en la tabla 3.19. permaneciendo uno de ellos en reserva, montados en bypass en la línea de permeado.

Cada uno de ellos dispone de un total de 16 lámparas, con una potencia total de 5200 W y una durabilidad superior a las 12.000 horas.

**Tabla 3.19.** Características del sistema UV

Características del sistema UV		
Número de líneas	3	Ud
Número de reactores por línea	1	Ud
Lámparas por reactor	16	Ud
Lámparas en total	48	Ud
Potencia Lámpara	325	W
Potencia de cada generador	5200	W
Porcentaje de transmisión	0,5	(1 cm)
Sistema de limpieza	Limpieza automática	

#### 3.5.6. Tanque de agua tratada

El tanque de agua ultrafiltrada se calcula para una capacidad de una hora a caudal medio 2036.

El almacenamiento de el agua tratada se llevara acabo en 1 tanque de 540 m<sup>3</sup> , dividido en dos cámaras .

### 3.6. LÍNEA DE FANGOS

#### 3.6.1. Fangos en exceso

Esta parte del proceso se calcula para el escenario del año 2036. El fango en exceso se extrae del canal de recirculación en el que se estima una concentración de MLSS de 10 gr/l.

La producción de fangos en exceso resultante de la aplicación de los parámetros de proceso, nos lleva a un ratio de 0,74 Kg por Kg de DBO eliminada.

La tabla 3.20. señala las características de los fangos en exceso.

**Tabla 3.20.** Balance de fangos en exceso

Balance de fangos en exceso		
Total fangos en exceso para diseño con el condicionante de un mínimo exigido	4604	kg/día
Concentración de bombeo, canales MBR	10	kg/m <sup>3</sup>
Volumen a extraer desde purga decantador	460,4	m <sup>3</sup> /día
Tiempo mínimo de extracción desde purga con todas las unidades en servicio	12	h
Caudal de bombeo nominal desde purga	38,4	m <sup>3</sup> /día
Día de trabajo a la semana	7	día
Capacidad de bombeo en día útil	460,4	m <sup>3</sup> /día
Bombeo desde purga	38,4	m <sup>3</sup> /h
Numero de bombas en servicio	2	Ud
Caudal unitario adoptado	20	m <sup>3</sup> /h

En el escenario 2026 la cantidad de fango producida es de 3977 Kg/día, manteniendo el mismo régimen de trabajo de 12 horas diarias de purga.

El fango es enviado al edificio de fangos, al espesado mecánico, mediante bombas horizontales en cámara seca, de 20 m<sup>3</sup>/h cada una, especiales para no deteriorar el fango.

### 3.6.2. Espesado

Se ha previsto esta operación con espesadores mecánicos, que se proyectarán con los criterios:

- Se proyectan máquinas de espesado para el mismo caudal de bombeo previsto, de 20 m<sup>3</sup> /h.
- Depósito de recepción de fango espesado. Que recibe el fango que sale de los espesadores a una concentración media del 4%. El fango diario espesado es de 115 m<sup>3</sup>/día.

En resumen, la tabla 3.21.

**Tabla 3.21.** Espesador

Espesador	
Número de líneas	2
Caudal necesario por línea	19,2
Caudal adoptado	20
Concentración de purga estimada	40
Caudal fangos espesados	115,1

### 3.6.3. Bombas a deshidratación

Las bombas, 2+1R, serán de husillo con variador de frecuencia, de 5 m<sup>3</sup>/h, enviando el fango a las decantadoras centrífugas.

### 3.6.4. Deshidratación

El fango espesado es enviado a deshidratación, proceso para el que se proyectan también dos centrífugas de 5 m<sup>3</sup>/h cada una, los parámetros del decantador centrifugo están en la tabla 3.22.

**Tabla 3.22.** Decantador centrifugo

Decantador centrifugo		
Número de líneas instaladas	2	Ud
Número de líneas en servicio	2	Ud
Producción de materia seca	192	kg/h
Caudal operación medio unitario, con poli	4,9	m <sup>3</sup> /h
Caudal adoptado para las centrifugas	5	m <sup>3</sup> /h

Las bombas, una bajo cada centrífuga, serán de husillo, con tolva de precarga, especiales para este fango deshidratado y para un caudal nominal de 2 m<sup>3</sup> /h.

### 3.6.5. Preparación automática de polielectrolito

Se proyecta otro equipo específico para esta aplicación, permitiendo así que se pueda emplear productos distintos y mejor adaptados a los procesos de espesado o deshidratación. Equipo de doble función, pudiendo trabajar a partir de producto sólido o de emulsión al 50 %. Por ello el equipo incorpora una bomba de trasiego entre el producto comercial y la dilución necesaria para aplicación.

Se ha previsto la aplicación de 7 Kg/Tm de fango, por ello el equipo tendrá capacidad para la preparación automática de hasta 537 l/h de dilución al 0,5%. La aplicación se realizará con 2+1 bombas de husillo de 269 l/h.

### 3.6.6. Tolvas de fango deshidratado

El fango deshidratado se almacenará en dos tolvas metálicas verticales de 50m<sup>3</sup> cada una, lo que aporta una capacidad de almacenamiento de 5 días en las condiciones máximas de proyecto.

Tiene forma prismática con la parte inferior piramidal, de 3,80 \* 3,60 m en planta y una altura total de 9,30 m, dejando una altura libre para descarga sobre camión de 3,80 m.

## **CAPÍTULO 4: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS EDARS DE GRANADILLA Y OESTE**

### **4.1. RESUMEN COMPARATIVO INSTALACIONES**

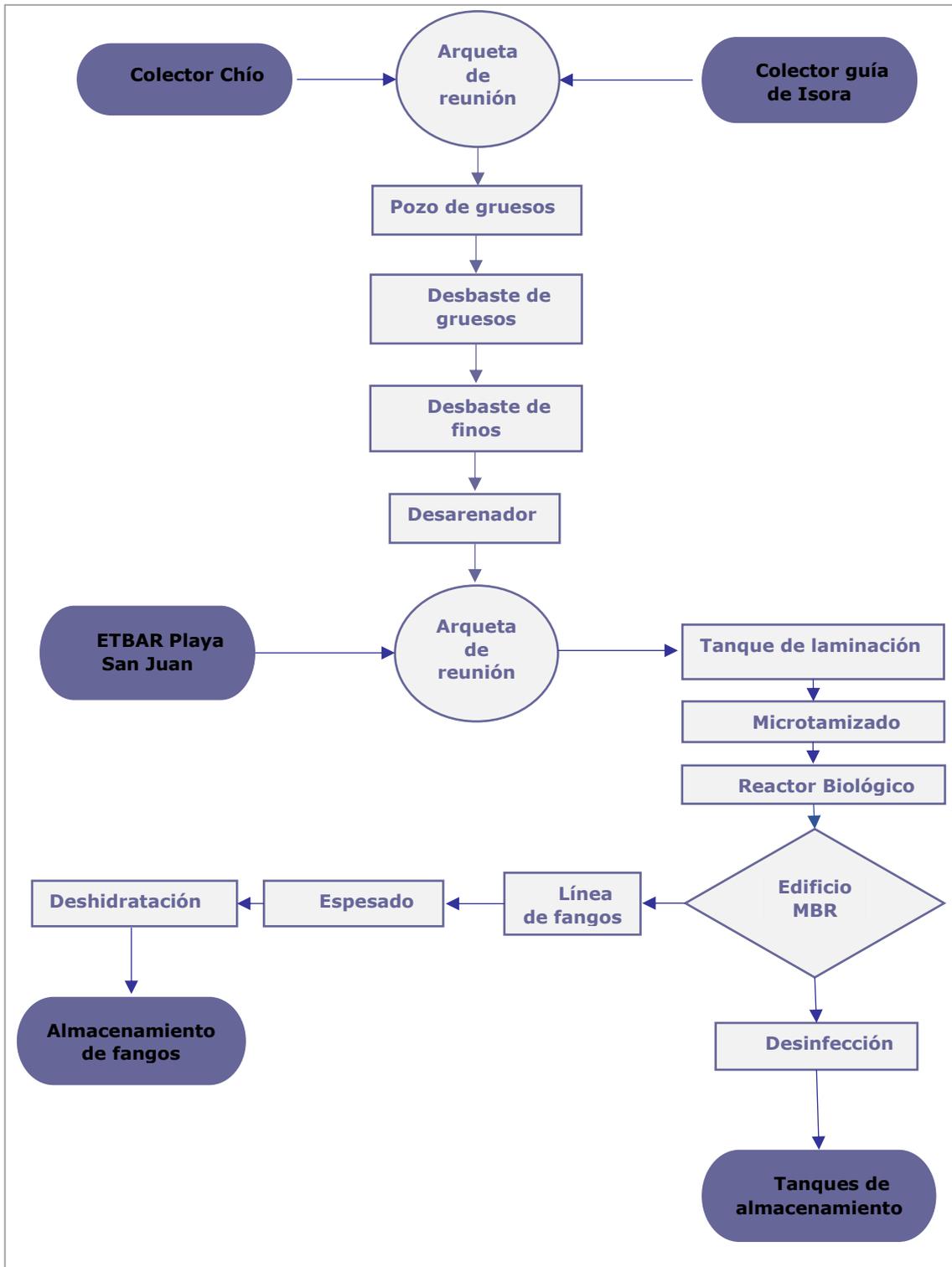
En el presente capítulo se describen las etapas de tratamiento proyectadas para cada EDAR, incluyendo el dimensionamiento básico, y se destacan tanto los elementos comunes como aquellos en los que se diferencian (Tabla 4.1 y Figuras 4.1 y 4.2).

**Tabla 4.2.** Resumen general comparativo de los principales elementos de las EDARs de Granadilla y del Oeste

ELEMENTO	EDAR GRANADILLA	EDAR OESTE
Pozo de gruesos	2,5 x 2,5 m	3,4 x 2,0 m
Desbaste de gruesos	2+1R canales (paso 30 mm)	1+1R (paso de 30 mm)
Desbaste de finos	2+1R canales (tamizado 3 mm)	2 líneas (tamizado 3 mm)
Desarenado/desengrasado	2 líneas	2 líneas
Tanque de laminación	2 cámaras ( $V_{total}=3.563 \text{ m}^3$ )	2 cámaras ( $V_{total}= 1.563 \text{ m}^3$ )
Microtamizado	2+1R tamices (paso 1 mm)	2+1R tamices (paso 1 mm)
Reactor biológico	3 líneas (edad fango 16 días)	3 líneas (edad fango 13 días)
Soplantes del Proceso	2+1R (émbolo rotativo) 1 turbosoplante	3+1R (émbolo rotativo)
Red de difusores	2 parrillas por línea	3 parrillas por línea 1 zona facultativa
Bastidores de membrana	4 líneas (3 casetes por línea, 44 elementos por casete)	3 líneas (4 casetes por línea, 48 elementos por casete)
Bombas de permeado	4+1R	3+1R
Soplantes membranas	2+1R	2+1R
Hipoclorito sódico	1 sistema dosificación	2+1R bombas dosificadoras
Ácido cítrico	1 sistema dosificación	1+1R bombas dosificadoras
Desinfección	1 sistema dosificación	3 líneas UV (16 lámparas en cada línea)
Almacenamiento agua filtrada	2 depósitos ( $V_1=76 \text{ m}^3$ , $V_2=408 \text{ m}^3$ )	1 depósito ( $V=540 \text{ m}^3$ )
Bombeo fangos exceso	1+1R (sumergibles)	2+1R (centrífuga)
Espesado	Gravedad sequedad 3 %	Mecánico (2 uds. $20 \text{ m}^3/\text{h}$ ) sequedad 4 %
Deshidratación	1+1R (centrífuga) sequedad 23%	2 (centrífuga) sequedad 22%
Equipo polielectrolito	1 (concentración 0,5 %)	2 (concentración 0,5 %)
Bombas dosificadoras de polielectrolito	1+1R (tornillo)	2+1R espesado (husillo) 2+1R deshidratación (husillo)
Bombas fangos deshidratados	1+1R (tornillo)	2+1R (husillo)
Almacenamiento fangos deshidratados	2 silos ( $V_1=32,5 \text{ m}^3$ , $V_2=32,5 \text{ m}^3$ )	2 silos ( $V_1=50 \text{ m}^3$ , $V_2=50 \text{ m}^3$ )

De manera general, ambas depuradoras siguen un esquema similar de tratamiento. Ambas poseen un pretratamiento básico (desbaste de gruesos, finos y desarenado/desengrasado) para las aguas que proceden de los colectores de gravedad. A continuación, el agua se lleva a

una arqueta donde se une a la procedente de las estaciones de impulsión, que ya ha sido previamente pretratada antes de su bombeo.



*Figura 4.1. Esquema de tratamiento de la EDAR del Oeste*

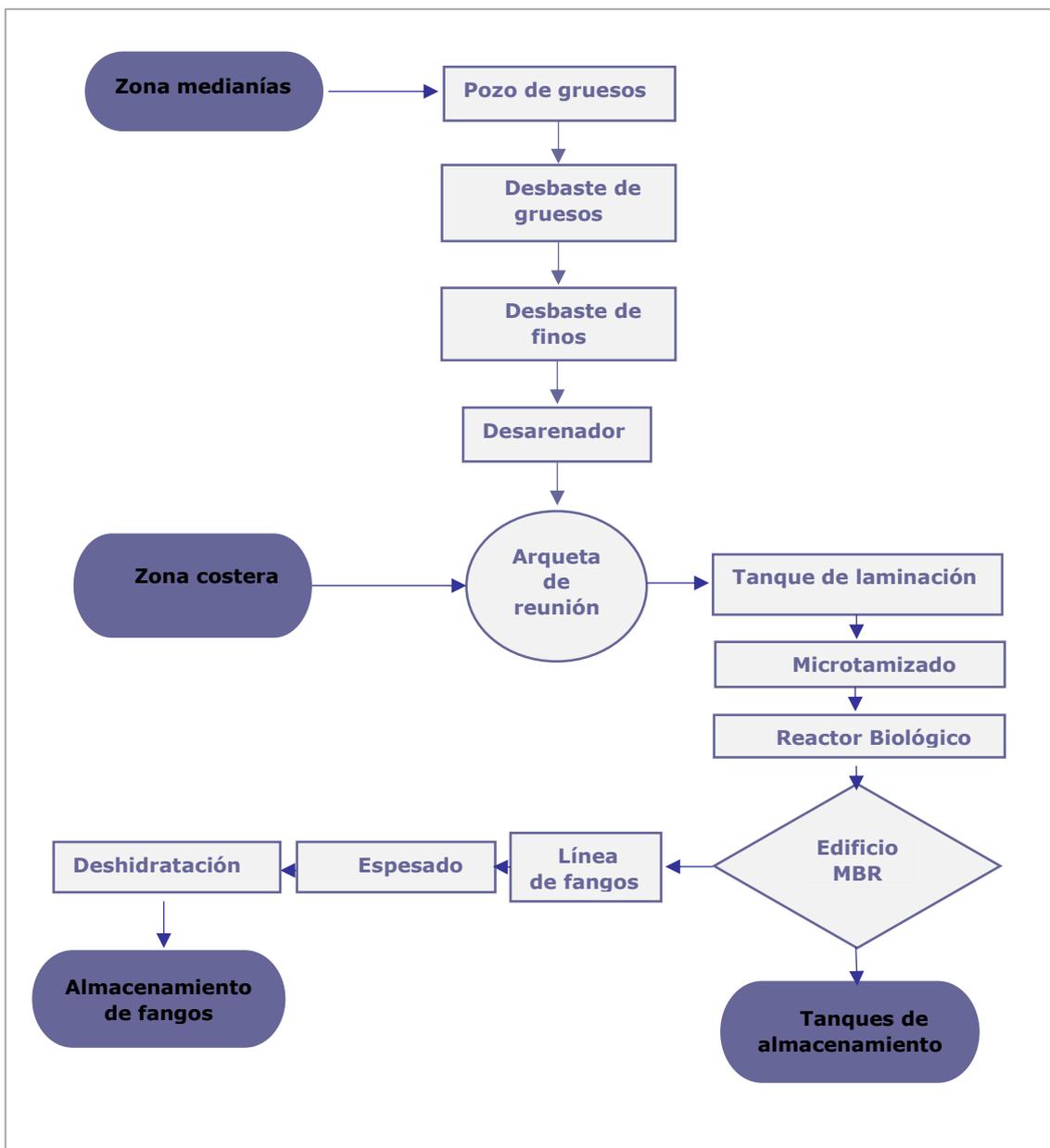


Figura 4.2. Esquema de tratamiento de la EDAR de Granadilla

De la arqueta las aguas se llevan a tanque de laminación, de donde se llevan al Microtamizado y posteriormente al tratamiento biológico. En ambos casos, se trata de un proceso de fango activos con aireación prolongada y con membranas de ultrafiltración (proceso MBR). Los reactores son rectangulares con un 35% de zona anóxica inicial para obtener la eliminación de nitrógeno. El efluente tratado se conduce a un depósito de almacenamiento. El tratamiento de fangos comprende los procesos de espesamiento y deshidratación.

## 4.2. CAUDALES A TRATAR Y CARGAS CONTAMINANTES

En la Tabla 4.2 se muestran los caudales proyectados para el año 2036. Para la estimación de los caudales se utilizaron en ambos casos una dotación de consumo prevista de 215 l/ha d, asumiendo un coeficiente de retorno de 0,8. Para el cálculo de los habitantes equivalentes se han adoptado las concentraciones de DBO<sub>5</sub> en el agua de entrada que aparecen en la Tabla 4.3, correspondientes a la carga contaminante. Tanto los factores de punta en el caudal al biológico adoptado como el factor de punta en el pretratamiento han sido de 1,2 y 6, respectivamente.

**Tabla 4.2.** Caudales de diseño y habitantes equivalentes de las EDARs de Granadilla y del Oeste (para año 2036)

CAUDAL ENTRADA	EDAR OESTE			EDAR GRANADILLA	
	Chío	G.I.	S.J.	Medianías	Costera
Caudal medio diario (m <sup>3</sup> /día)	445	1.272,7	8.813	8.737	5.242
Habitantes Equivalentes	4.047	11.577,9	80.206	87.370	52.420
Caudal medio en biológico (m <sup>3</sup> /h)		498,1		582	
Caudal punta en biológico (m <sup>3</sup> /h)		597,76		698,4	
Caudal máx. en pretratamiento* (m <sup>3</sup> /h)		429,41		2.184	

Nota: ND: No disponible; \*aplica solo a las aguas procedentes de colectores por gravedad; G.I.: Colector Guía de Isora; S.J.: ETBAR Playa San Juan.

**Tabla 4.3.** Concentraciones de diseño para contaminantes de las EDARs de Granadilla y del Oeste (para año 2036)

CONTAMINANTE	EDAR OESTE	EDAR GRANADILLA
DQO (mg/l)	875	1.000
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	546	600
S.S.T. (mg/l)	348	375
N <sub>t</sub> (mg/l)	93	75
P <sub>t</sub> (mg/l)	5,7	10,3

Con relación a las concentraciones de contaminantes básicos utilizados para el diseño (Tabla 4.3), los criterios fueron distintos para cada EDAR. En caso de la Granadilla, se realizó una campaña de muestreo previa que luego corregida según valores del proyecto original del Consejo Insular de Aguas de Tenerife. Salvo en el caso del N<sub>t</sub>, los valores adoptados resultaron ser ligeramente superiores a los analizados. Por el contrario, en la EDAR del Oeste se aplicó un criterio combinando en el que se tomaron analíticas de dos campañas (2015 y 2016) se

aplicaron factores de corrección según el parámetro (entre 1,1 o 1,5). Si comparan los parámetros de ambas EDARs, resulta llamativa la variación de concentraciones en DQO y nutrientes, siendo por el contrario similares las de SST y DBO<sub>5</sub>.

### 4.3. CONDUCCIONES DE ENTRADA

En la Tabla 4.4. se muestran los caudales y características de las conducciones de agua bruta en la EDARs. Se observa que la EDAR Oeste tiene un mayor aporte desde impulsión (82% de su caudal medio) frente a la de Granadilla que obtiene mayor parte del agua de su colector de gravedad (76% de su caudal medio).

**Tabla 4.4.** Concentraciones de diseño para contaminantes de las EDARs de Granadilla y del Oeste

		EDAR OESTE			EDAR GRANADILLA		
COLECTOR		Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>med</sub> (m <sup>3</sup> /h)	D (mm)/MAT	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>med</sub> (m <sup>3</sup> /h)	D (mm)/MAT
Grave	Chío	96,3	18,5	400/PVC			
	Guía de Isora	318,2	63,0	315/PVC			
	Zona medianías				2.184	364	800/ND
Impulsi	Playa de San Juan	1.101,72	367,24	500/FD			
	Zona costera				655	218	450/ND

(para año 2036)

Nota: ND: No disponible; D: Diámetro; MAT: Material; FD: Función dúctil; PVC: Policloruro de vinilo

### 4.4. LÍNEA DE AGUA

#### 4.4.1. Pretratamiento

Básicamente, los criterios de diseño utilizados para el pretratamiento en ambas EDARs son similares, constando de un pozo de gruesos, rejillas automáticas de 30 mm, tamices de 3 mm y unidades de desarenado/desengrasado longitudinales con aireación lateral, para garantizar la eliminación de partículas de tamaño superior a 0,2 mm y de las grasas (Tabla 4.5). No obstante, la EDAR del Oeste tiene previsto equipos compactos que permitan integrar el desbaste de finos y desarenado/desengrasado en el mismo equipo. En el caso de la EDAR de Granadilla, se realizará el desbaste de finos justo después de realizarse el desbaste de gruesos en el mismo canal. Posteriormente, se dispone de 2 desarenadores/desengrasadores.

#### 4.4.2. Tanque de laminación y tamizado superfino

Ambas EDARs disponen de dos depósitos de laminación con tiempos de retención a caudal medio de llegada superiores a 3 h y equipados con dos agitadores. Para el tamizado superfino se han previsto 3 tamices (1 en reserva) con luz de paso de 1 mm. Se observa, por tanto, criterios homogéneos de diseño (Tabla 4.6).

**Tabla 4.5.** Dimensionado y equipos del pretratamiento de las EDARs de Granadilla y del Oeste

ELEMENTO	EDAR OESTE		EDAR GRANADILLA	
	Dimensión	Información	Dimensión	Información
Pozo gruesos	de 3,4 x 2,0 m	Cuchara bivalva (100 l) 1 reja predesbaste (80 mm)	2,5 x 2,5 m	ND
Desbaste gruesos	de 1+1R canales Ancho:0,6m Altura:0,8m	1 reja automática (30 mm) 1 reja manual (30 mm) 1 tornillo compactador (1,5 m <sup>3</sup> /h)	2+1R canales Ancho:0,90 m	2 rejillas automáticas (30 mm) 1 reja manual (30 mm) Caudal máx. unitario (1.092 m <sup>3</sup> /h) 2 tornillos compactadores
Desbaste finos	de 2 equipos Diámetro (600 mm)	2 tamices tipo tambor rotatorio (3 mm) Caudal máx. unitario (225 m <sup>3</sup> /h)	2+1R canales Ancho:0,90 m	2 Tamices tipo escalera (3 mm) Caudal máx. unitario (1.092 m <sup>3</sup> /h)
Desarenado/Desengrasado	2 equipos Largo: 7,132 m Ancho: 1,535 m	2 uds. longitudinal y aire lateral Separación: 95% 0,2 mm Caudal máx. unitario (225 m <sup>3</sup> /h)	2 líneas Largo: 11 m Ancho: 3 m	2 uds. longitudinal y aire lateral Separación: 95% 0,2 mm Caudal máx. unitario (1.092 m <sup>3</sup> /h)

Nota: ND: No disponible

**Tabla 4.6.** Dimensionado y equipos del pretratamiento del depósito de laminación y tamizado fino de las EDARs de Granadilla y del Oeste

ELEMENTO	EDAR OESTE		EDAR GRANADILLA	
	Dimensión	Información	Dimensión	Información
Laminación	2 cámaras (V <sub>total</sub> =1.563 m <sup>3</sup> )	Tiempo de retención 3,14 h 2 agitadores por cámara	2 cámaras (V <sub>total</sub> =3.563 m <sup>3</sup> )	Tiempo de retención medio 5,77 h 2 agitadores por cámara
Microtamizado	2+1R tamices rotativos Diámetro: 630 mm Longitud:1.500 mm	Paso 1 mm Q=300 m <sup>3</sup> /h	2+1R tamices automáticos	Paso 1 mm Q=350 m <sup>3</sup> /h

Nota: ND: No disponible

#### 4.4.3. Reactor biológico

Ambas EDARs presentan una configuración del proceso biológico similar. Disponen de 3 líneas, de las cuales la primera zona es anóxica (o anóxica seguida de facultativa) y el resto del reactor es zona aerobia. La edad de fango es superior a 13 días, estando prevista la eliminación de N<sub>t</sub> a valores inferiores a 15 mg/l. Para la aireación se disponen parillas de difusores de burbuja fina, con rendimientos comprendidos entre 31-36%. El sistema de aireación de ambas EDARs son soplantes (una por línea más una en reserva) de émbolos rotativos. Como particularidad, la EDAR de Granadilla tiene además un turbosoplante (Tabla 4.7).

**Tabla 4.7.** Dimensionado y equipos del tratamiento biológico de las EDARs de Granadilla y del Oeste

ELEMENTO	EDAR OESTE		EDAR GRANADILLA	
	Dimensión	Información	Dimensión	Información
Reactor biológico	3 líneas ( $V_{tot}=6.880 \text{ m}^3$ ) Altura: 6,5 m Longitud: 42 m Ancho: 8,4 m	Zona anóxica (25%) Zona facultativa (10%) $C_m: 0,11 \text{ kgDO}_5/\text{kg MLSS d}$ MLSS: 8 g/l, edad fango: 13 días	3 líneas ( $V_{tot}=9.949 \text{ m}^3$ ) Altura: 5,5 m Longitud: 38,5 m Ancho: 15,5 m	Zona anóxica (32,13%) MLSS: 6,3 g/l, edad fango: 15,65 días
Agitación zona anóxica y facultativa	Varios	10 W/m <sup>3</sup>		
Soplantes del proceso	3+1R	Émbolos rotativos Caudal unitario: 3.175 Nm <sup>3</sup> /h 7,1 mca	2+1R 1 turbosoplante	Émbolos rotativos Caudal unitario: 2.200 Sm <sup>3</sup> /h 625 mbar Levitación magnética Caudal unitario: 5.357 Sm <sup>3</sup> /h
Red de difusores	3 parrillas por línea 1 en zona facultativa	Elastómero Diámetro= 9" 824 uds. por línea 134 uds. en zona facultativa Rendimiento: 35,28 %	2 parrillas por línea	Elastómero Diámetro= 11" 832 uds. por línea Rendimiento: 31-34 %

Como tecnología de clarificación, ambas EDARs utilizan los mismos módulos de membrana de ultrafiltración en configuración de fibra hueca. La disposición es similar con 3-4 líneas y 3-4 casetes por línea, según el caudal de tratamiento de la EDAR. Para la limpieza de la membrana, se disponen de 2 soplantes que alimentan al sistema de aireación LEAP en cada casete. Además, se disponen de las correspondientes bombas de permeado y los sistemas de dosificación de reactivos químico. Como se observa, los criterios de diseño son similares (Tabla 4.8).

#### 4.4.5. Almacenamiento y desinfección

En relación al almacenamiento de efluente filtrado, ambas EDARs disponen de depósitos que permiten un tiempo de retención superior a 1 h. Como caso particular la EDAR de Granadilla no tiene previsto un sistema de desinfección (Tabla 4.9).

#### 4.4.6. Desodorización

En este caso, sí aparecen diferencias entre los diseños realizados. La EDAR del Oeste usa como método la filtración química para la desodorización, mientras que la EDAR de Granadilla utiliza adsorbentes químicos (Tabla 4.10).

**Tabla 4.8.** Dimensionado y equipos de los módulos de membrana las EDARs de Granadilla y del Oeste

ELEMENTO	EDAR OESTE		EDAR GRANADILLA	
	Dimensión	Información	Dimensión	Información
Bastidores de membrana	3 líneas (4 casetes por línea, 48 elementos por casete)	Fibra hueca Flujo medio: 29,7 l/m <sup>2</sup> h Área por módulo: 34,37 m <sup>2</sup> Superficie total: 19.800 m <sup>2</sup>	4 líneas (3 casetes por línea, 44 elementos por casete)	Fibra hueca Flujo medio: 26,2 l/m <sup>2</sup> h
Bombas de permeado	3+1R	Reversible, de lóbulos Caudal unitario: 290 m <sup>3</sup> /h	4+1R	Caudal unitario: 190 m <sup>3</sup> /h 10 mca
Soplantes de membranas	2+1R	Émbolos rotativos Caudal unitario: 1.940 m <sup>3</sup> /h	2+1R	Émbolos rotativos Caudal unitario: 1.200 m <sup>3</sup> /h 350 mbar
Hipoclorito sódico	V=1.500 l 2+1R	Bombas dosificadoras Caudal unitario: 500 l/h	1 sistema dosificación	ND
Ácido cítrico	V=1.000 l 1+1R	Bombas dosificadoras Caudal unitario: 500 l/h	1 sistema dosificación	ND
Bombas recirculación	3+1R	Centrífugas Caudal unitario: 665 m <sup>3</sup> /h 2,5 mca	3+1R	Sumergibles Caudal unitario: 780 m <sup>3</sup> /h 3,5 mca

**Tabla 4.9.** Dimensionado y equipos de almacenamiento y desinfección de las EDARs de Granadilla y del Oeste

ELEMENTO	EDAR OESTE		EDAR GRANADILLA	
	Dimensión	Información	Dimensión	Información
Desinfección UV	2+1R (16 lámparas por equipo)	Potencia total: 5.200 W Durabilidad: 12.000 h	ND	ND
Almacenamiento agua filtrada	2 cámaras (V=540 m <sup>3</sup> )	Tiempo de retención: 1 h	2 cámaras (V <sub>1</sub> =76 m <sup>3</sup> y V <sub>2</sub> =408 m <sup>3</sup> )	Tiempo de retención 1: 0,5 h Tiempo de retención 2: 2,2 h

Nota: ND: No disponible

**Tabla 4.10.** Dimensionado y equipos de desodorización de las EDARs de Granadilla y del Oeste

ELEMENTO	EDAR OESTE		EDAR GRANADILLA	
	Eficacia	Diseño	Eficacia	Diseño
Solución adoptada	99,99%	Captaciones de aire localizadas en aparatos General del edificio	99,99%	Captadores Edificio de Pretratamiento Edificio de membranas

## 4.5. LÍNEA DE FANGOS

### 4.5.1. Bombeo

Ambos diseños son similares variando el tipo de bomba, pero manteniendo la disposición (Tabla 4.11).

### 4.5.2. Espesamiento

En el espesamiento se observan diferencias importantes en cuanto a la tecnología utilizada, teniendo una separación mecánica la EDAR del Oeste y por gravedad de la Granadilla. No obstante, la sequedad de diseño prevista en ambos casos es similar (Tabla 4.12).

### 4.5.3. Deshidratación y almacenamiento

Finalmente, en la deshidratación del fango se ha adoptado en ambos casos son equipos centrífugos, con dosificación de polielectrolito, para alcanzar una sequedad final del 32-33%. En relación al almacenamiento, ambos diseños permiten una autonomía superior a 2 d.

**Tabla 4.11.** Dimensionado y equipos de bombeo de fangos en exceso de las EDARs de Granadilla y del Oeste

ELEMENTO	EDAR OESTE		EDAR GRANADILLA	
	Dimensión	Información	Dimensión	Información
Bombeo fangos exceso	2+1R	Centrífuga, rodete especial de fangos Caudal unitario: 20 m <sup>3</sup> /h	1+1R	Sumergible Caudal unitario: 35 m <sup>3</sup> /h

**Tabla 4.12.** Dimensionado y equipos del espesamiento de fangos de las EDARs de Granadilla y del Oeste

ELEMENTO	EDAR OESTE		EDAR GRANADILLA	
	Dimensión	Información	Dimensión	Información
Espesado	2	Mecánico Caudal unitario: 20 m <sup>3</sup> /h sequedad 4 % Dosificación de polielectrolito: 5 Kg/Tm	Circular Diámetro: 14 m, Carga de sólidos: 29-36 Kg/día m <sup>2</sup>	Gravedad Caudal: 184 m <sup>3</sup> /día. sequedad 3 %

**Tabla 4.13.** Dimensionado y equipos de deshidratación y almacenamiento de fangos de las EDARs de Granadilla y del Oeste

ELEMENTO	EDAR OESTE		EDAR GRANADILLA	
	Dimensión	Información	Dimensión	Información
Deshidratación	2+1R	Centrífuga Caudal unitario: 5 m <sup>3</sup> /h 12 h/día Sequedad 22%	1+1R	Centrífuga Caudal unitario: 20 m <sup>3</sup> /h 5 días 13 h/día Sequedad 23 %
Equipo de polielectrolito	1+1	Polielectrolito 0,5% Caudal: 537l/h	1	Polielectrolito 0,5% Caudal unitario: 700 l/h
Bombas dosificadoras de poli	2+1R (espesado) 2+1R (deshidratación)	Husillo Caudal: 300 l/h espesado Caudal: 400 l/h deshidratación	1+1R	Tornillo Caudal: 700 l/h
Bombas fango deshidratado	2+1R	Husillo Caudal unitario: 2 m <sup>3</sup> /h	1+1R	Tornillo Caudal unitario: 2,20 m <sup>3</sup> /h
Almacenamiento de fangos deshidratados	2 m <sup>3</sup> )	(V <sub>uni</sub> =50 Vertical Acero Autonomía 5d	2(V <sub>uni</sub> =32,5 m <sup>3</sup> )	Autonomía superior a 2 d

#### 4.6. ANALISIS COMPARATIVO

Como se ha podido ver en los apartados anteriores, los criterios de diseño adoptados en la dos EDARs son prácticamente análogos. El agua bruta que llega a las instalaciones procede de dos fuentes principales: bombeo de zonas costeras y gravedad de medianías. Para el diseño, las características del agua residual utilizadas son similares, adoptando una DBO<sub>5</sub> de 550-600 mg/l y una concentración de sólidos en suspensión de 350-375 mg/l. Los factores punta de caudal utilizados para el biológico y el pretratamiento en el diseño son los mismos. El pretratamiento previsto consiste en rejillas de gruesos de 30 mm seguido de tamices finos de 3 mm, aplicándose solo al agua que llega por gravedad. Este influente y el procedente del bombeo se llevan a unos tanques de laminación con tiempos de retención a caudal medio superiores a 3 h. A continuación, se aplica un microtamizado de 1 mm, como es requisito de los sistemas de membranas con fibra hueca. El proceso biológico de ambos diseños consiste en 3 líneas, con zona anóxica previa, y una edad de fango superior a 13 d, para garantizar una adecuada eliminación de nitrógeno. Las membranas utilizadas son las mismas, con similares criterios de diseño y operación. En el tratamiento de fango, se sigue la secuencia de espesamiento y deshidratación hasta alcanzar un 22-23% de sequedad. El sistema de almacenamiento permite una autonomía, en ambos casos, superior a 2 d.

---

#### **4.7. REFERENCIAS**

Memoria del Proyecto de Construcción de la EDAR del Oeste - T.M. de Guía de Isora (Tenerife). Konagua-Tratamiento & Diseño SLU. ACUAES-Aguas de las cuencas de España S.A. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

Memoria del Proyecto de EDAR de los Letrados. (T.M. Granadilla). Vaico-Ingenieros Consultores S.A. ACUAES-Aguas de las cuencas de España S.A. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

## CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES-CONCLUSIONS

### 5.CONCLUSIONES-CONCLUSIONS

#### Conclusiones:

- De manera general, al analizar con detalle las dos estaciones depuradoras, se puede observar una serie de similitudes en su funcionamiento y objetivo. Si bien no son exactamente iguales, comparten una base conceptual y tecnológica similar. Ambas disponen de un pretratamiento convencional, homogeneización, microtamizado y biorreactores de membrana. En el tratamiento de fango, se sigue la secuencia de convencional de espesamiento y deshidratación.
- Es posible notar algunas divergencias entre las dos estaciones depuradoras. Por mencionar algunas, se encuentran diferencias en el proceso de tamizado fino llevado a cabo durante el pretratamiento, así como también variaciones en los métodos utilizados para eliminar olores indeseables, el espesamiento de los fangos y la desinfección UV con la que EDAR Oeste cuenta y EDAR Granadilla no.
- La EDAR Granadilla sugiere depositar una mayor confianza en los colectores del medio para asegurar su correcto funcionamiento. Por otro lado, la EDAR Oeste busca aumentar su dependencia del caudal proveniente por tuberías de impulsión de la ETBAR San Juan.
- De todo lo analizado en el presente trabajo se concluye que en el diseño de las EDARs que va a instalar en los próximos años en la isla de Tenerife se tienen un criterio unificado, independientemente de la ubicación de la instalación y de las características de las aguas residuales a tratar.

#### Conclusions:

- In general, when analyzing the two treatment plants in detail, a series of similarities in their operation and objective can be observed. While they are not exactly the same, they share a similar conceptual and technological foundation. Both have a conventional pretreatment, homogenization, microsieving and membrane bioreactors. In the sludge treatment, the conventional thickening and dewatering sequence is followed.
- It is possible to notice some divergences between the two treatment plants. To mention a few, there are differences in the fine sieving process carried out during the pretreatment, as well as variations in the methods used to eliminate undesirable odors, the thickening of the sludge and the UV disinfection that EDAR Oeste has and EDAR Granadilla does not have.

- 
- The Granadilla WWTP suggests placing greater trust in the medium collectors to ensure their proper functioning. On the other hand, the Oeste WWTP seeks to increase its dependence on the flow coming from the impulsion pipes of the ETBAR San Juan.
  - From everything analyzed in this paper, it can be concluded that the design of the WWTPs to be installed in the coming years on the island of Tenerife has a unified criterion, regardless of the location of the installation and the characteristics of the wastewater to treat.