



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

**DISEÑO DE UN MBR PARA EL TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES URBANAS EN UNA POBLACIÓN  
DE 11,500 HABITANTES/EQUIVALENTES.**

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

**AUTORA:**

***Anaïs Fernández Sanz***

**TUTORA:**

***M<sup>a</sup> Fernanda López Pérez***

**Convocatoria de defensa: diciembre 2019**



## ***RESUMEN***

**“Diseño de un MBR para el tratamiento de aguas residuales urbanas en una población de 11,500 habitantes/equivalentes”**

La necesidad actual de depuración de las aguas residuales debido a la cada vez más restrictiva normativa de vertido genera la búsqueda de sistemas capaces de obtener una mayor tasa de depuración. Por todo ello, actualmente los tratamientos biológicos son una de las opciones más utilizadas.

En este contexto, la tecnología de los Biorreactores de Membrana (MBR) es la más adecuada ya que presenta diversas ventajas: mayor calidad del efluente, menor requerimiento de espacio, menor producción de fangos, capacidad de carga superior.

Por tanto, este trabajo pretende aportar los parámetros de diseño del MBR junto con el módulo de membranas de ultrafiltración (UF) para lograr la mayor eliminación posible de sustancias presentes en el agua.



## *SUMMARY*

“Design of an MBR for the treatment of urban wastewater in a population of 11,500 equivalent / inhabitants”

The current need for wastewater treatment due to the increasingly restrictive discharge regulations generates the search for systems capable of obtaining a higher rate of treatment. For all these reasons, biological treatments are currently one of the most widely used options.

In this context, the membrane bioreactor (MBR) technology is the most suitable as it has several advantages: higher effluent quality, less space requirement, lower sludge production, higher load capacity.

Therefore, this work aims to provide the design parameters of the MBR together with the ultrafiltration membrane (UF) module to achieve the highest possible elimination of substances present in water.



## *RESUM*

**“Disseny d'un MBR per al tractament d'aigües residuals urbanes en una població de 11,500 habitants/equivalents”**

La necessitat actual de depuració de les aigües residuals a causa de la cada vegada més restrictiva normativa d'abocament genera la busca de sistemes capaços d'obtindre una major taxa de depuració.

Per tot això, actualment els tractaments biològics són una de les opcions més utilitzades. En este context, la tecnologia dels Bioreactors de Membrana (MBR) és la més adequada ja que presenta diversos avantatges: major qualitat de l'efluent, menor requeriment d'espai, menor producció de fangs, capacitat de càrrega superior.

Per tant, este treball pretén aportar els paràmetres de disseny del MBR junt amb el mòdul de membranes d'ultrafiltració (UF) per a aconseguir la major eliminació possible de substàncies presents en l'aigua.



# ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
1.1	ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS .....	13
1.1.1	<i>Propiedades de las aguas residuales</i> .....	13
☐	PROPIEDADES FÍSICAS .....	15
☐	PROPIEDADES QUÍMICAS .....	16
☐	CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS.....	17
1.2	INTRODUCCIÓN TECNOLÓGICA.....	18
1.2.1	<i>Tratamiento biológico</i> .....	18
1.2.2	<i>Biorreactor de membrana (MBR)</i> .....	21
1.2.3	<i>Membranas</i> .....	26
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>34</b>
<b>3.</b>	<b>PARÁMETROS DE DISEÑO DEL BIOLÓGICO.....</b>	<b>35</b>
3.1	CARGA MÁSCA.....	36
3.2	EDAD DEL FANGO.....	37
3.3	VOLUMEN .....	37
3.4	CANTIDAD DE O <sub>2</sub> .....	40
3.5	MASA DE FANGOS EXTRAÍDOS .....	43
3.6	TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO.....	44
<b>4</b>	<b>DISEÑO MBR.....</b>	<b>45</b>
4.1	NÚMERO DE DIFUSORES.....	45
4.2	MEMBRANA DE UF .....	46
<b>5</b>	<b>ESTUDIO ECONÓMICO .....</b>	<b>52</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>57</b>
<b>7</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>59</b>
<b>ANEXO 1.</b>	<i>PLANO DEL DISEÑO PROPUESTO .....</i>	<b>59</b>
<b>ANEXO 2.</b>	<i>FICHA TÉCNICA MEMBRANA HYDRACap® MAX 40, HYDRANAUTICS NITTO GROUP COMPANY .....</i>	<b>60</b>
<b>ANEXO 3.</b>	<i>FICHA TÉCNICA MEMBRANA HYDRACap® MAX 60, HYDRANAUTICS NITTO GROUP COMPANY .....</i>	<b>61</b>
<b>ANEXO 4.</b>	<i>FICHA TÉCNICA MEMBRANA HYDRACap® MAX 80, HYDRANAUTICS NITTO GROUP COMPANY .....</i>	<b>62</b>
<b>ANEXO 5.</b>	<i>CALIDAD AGUA DE ENTRADA Y SALIDA .....</i>	<b>63</b>
<b>ANEXO 6.</b>	<i>FICHA TÉCNICA DIFUSORES .....</i>	<b>64</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema funcionamiento tratamiento biológico (Fuente: <a href="http://www.gedar.com">www.gedar.com</a> ) .....	20
Figura 2. Esquema biorreactor membrana externa (Fuente: <a href="http://iuaca.ua.es">iuaca.ua.es</a> ).....	25
Figura 3. Esquema biorreactor membrana interna sumergida (Fuente: <a href="http://iuac.ua.es">iuac.ua.es</a> ) .....	25
Figura 4. Esquema biorreactor membrana externa sumergida (Fuente: <a href="http://iuac.ua.es">iuac.ua.es</a> ) .....	26
Figura 5. Esquema funcionamiento membrana (Fuente: <a href="http://sgpwe.izt.uam">sgpwe.izt.uam</a> ) .....	27
Figura 6. Procesos de filtración por membrana (Fuente: <a href="http://blog.condorchem.com">blog.condorchem.com</a> ) .....	27
Figura 7. Esquema membrana porosa (Fuente: apuntes del grado).....	28
Figura 8. Esquema membrana no porosa (Fuente: apuntes del grado).....	28
Figura 9. Esquema membrana transporte (Fuente: apuntes del grado).....	29
Figura 10. Membrana isotrópica (Fuente: apuntes del grado).....	29
Figura 11. Esquema membrana asimétrica (Fuente: apuntes del grado) .....	29
Figura 12. Esquema membrana plana (Fuente: <a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> ) .....	30
Figura 13. Esquema membrana cilíndrica (Fuente: <a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> ).....	30
Figura 14. Esquema de ensuciamiento de una membrana (Fuente: <a href="http://www.rdpower.com">www.rdpower.com</a> )....	31
Figura 15. Proceso UF (Fuente: <a href="http://www.totagua.com">www.totagua.com</a> ).....	32
Figura 16. Diagrama de bloques del proceso actual (Fuente: <a href="http://www.epsar.gva.es">www.epsar.gva.es</a> ) .....	34
Figura 17. Planta de los difusores.....	46
Figura 18. Datos de entrada para la simulación (Fuente: Hydranautics projections) .....	47
Figura 19. Datos específicos de alimentación (Fuente: Hydranautics projections) .....	48
Figura 20. Calidad agua efluente .....	51
Figura 21. Simulación HYDRAcap MAX 40 (Fuente: Hydranautics projections) .....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características agua (Fuente: <a href="http://www.epsar.gva.es">www.epsar.gva.es</a> ) .....	35
Tabla 2. Requisitos de vertido .....	35
Tabla 3. Criterios de diseño fijados .....	36
Tabla 4. Relación Cm y a .....	40
Tabla 5. Diseño membrana UF (Fuente: Hydranautics projections).....	49
Tabla 6. Equipos de bombeo y aire (Fuente: Hydranautics projections).....	50
Tabla 8. Costes reactor biológico .....	52
Tabla 9. Costes unidad UF .....	53
Tabla 10. Costes Energía.....	53
Tabla 11. Costes reemplazos .....	54
Tabla 12. Amortización de la inversión .....	54
Tabla 13. Costes capital directos .....	55
Tabla 14. Costes capital indirectos .....	55
Tabla 15. Costes Variables .....	56
Tabla 16. Costes Fijos.....	56
Tabla 17. Costes agua depurada .....	56

## ABREVIATURAS

AR	Agua residual
Cm	Carga másica
COT	Carbono orgánico total
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
EDAR	Estación depuradora de aguas residuales
MBR	Biorreactor de membrana ( <i>Membrane Bioreactor</i> )
MF	Microfiltración
MO	Materia orgánica
NF	Nanofiltración
N <sub>T</sub>	Nitrógeno total
OD	Oxígeno disuelto
P <sub>T</sub>	Fósforo total
RO	Ósmosis Inversa ( <i>Reverse Osmosis</i> )
SS	Sólidos en suspensión
SSLM	Sólidos en suspensión en el licor mezcla
TRH	Tiempo de retención hidráulico
UF	Ultrafiltración



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Las aguas residuales (AR) se definen desde el punto de vista de las fuentes de generación, como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales, a los que pueden añadirse ocasionalmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

La descomposición de la materia orgánica (MO) que contiene la acumulación y estancamiento del agua residual puede conducir a la generación de gases. A este hecho cabe añadir la presencia en el agua residual de numerosos microorganismos patógenos causantes de enfermedades. A esto se le suma la presencia de nutrientes, que estimula el crecimiento de plantas acuáticas, y puede incluir compuestos tóxicos. Es por todo ello, que la evacuación, tratamiento y eliminación del agua residual sea necesario para la sociedad.

La composición de los caudales de aguas residuales de una comunidad depende del tipo de sistema de recogida que se emplee, y puede incluir los siguientes componentes:

- *Agua residual doméstica* (o sanitaria). Procedente de zonas residenciales o instalaciones comerciales.
- *Agua residual industrial*. Agua residual en la cual predominan vertidos industriales.
- *Infiltración y aportaciones incontroladas*. Agua que entra tanto de manera directa como indirecta en la red de alcantarillado.
- *Aguas pluviales*. Agua resultante de la escorrentía superficial.

### 1.1.1 Propiedades de las aguas residuales.

Es fundamental de cara al proyecto y explotación de las infraestructuras tanto de recogida como de tratamiento y evacuación de las aguas residuales el conocimiento de la naturaleza de dichas aguas. Por lo que es de suma importancia conocer las características físicas, químicas y biológicas.

A continuación, se muestran las principales propiedades físicas de agua residual, así como sus principales constituyentes químicos y biológicos.

### Propiedades físicas:

- Color
- Olor
- Sólidos
- Temperatura

### Constituyentes químicos:

Dentro de los constituyentes químicos, se diferencia entre los orgánicos e inorgánicos y gases.

#### - Orgánicos:

- Carbohidratos
- Grasas y aceites
- Pesticidas
- Fenoles
- Proteínas
- Contaminantes prioritarios
- Agentes tensoactivos
- Compuestos orgánicos volátiles

#### - Inorgánicos:

- Alcalinidad
- Cloruros
- Metales pesados
- Nitrógeno
- pH
- Fósforo
- Azufre

#### - Gases:

- Sulfuro de hidrógeno
- Metano
- Oxígeno

## Constituyentes biológicos:

- Animales
- Plantas
- Eubacterias
- Archeobacterias
- Virus

### ▪ Propiedades físicas

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son la temperatura y la turbidez.

- **Sólidos totales**

Indican la concentración de sólidos presente en el agua residual. Son junto con la materia orgánica los principales contaminantes del agua.

- **Temperatura**

La temperatura del agua residual suele ser más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de casas y los diferentes usos industriales. Los valores medios de las aguas residuales varían entre 10 y 21°C. Este parámetro es muy significativo debido a su influencia en el desarrollo de la vida acuática, en las reacciones químicas y velocidades de reacción del proceso, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos.

- **Turbidez**

Otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas es la turbidez. Es una medida de las propiedades de transmisión de la luz en el agua.

- **Propiedades químicas**

El estudio de las características químicas de las aguas residuales se aborda tratando los siguientes conceptos:

- **Materia orgánica (MO)**

Cerca del 75% de los SS y del 40% de los sólidos filtrables de un agua residual de concentración media son de procedencia orgánica. Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Normalmente estos compuestos están formados por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, y en determinados casos nitrógeno. Los principales grupos presentes en el agua residual son las proteínas (40-60%), hidratos de carbono (20-50%) y grasas y aceites (10%).

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Es el parámetro de contaminación orgánica más empleado. La determinación de este está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica.

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

Este parámetro se emplea para medir el contenido de materia orgánica presente en aguas residuales tanto industriales como municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. La DQO de un agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO, esto se debe al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan biológicamente.

- **Carbono orgánico total (COT)**

Otro parámetro para la medida de la MO presente en el agua es el COT, especialmente para pequeñas concentraciones de MO.

- pH

La medida del pH es un parámetro de calidad de gran importancia, ya que el intervalo de concentraciones idóneo para la adecuada proliferación y desarrollo de la vida biológica es crítico. El agua residual puede presentar dificultades de tratamiento con procesos biológicos con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas.

- Alcalinidad

La alcalinidad ayuda a regular los cambios de pH producidos por adición de ácidos. Normalmente, el agua residual es alcalina, propiedad que adquiere de las aguas de tratamiento, el agua subterránea, y los materiales añadidos en los usos domésticos.

- Nitrógeno

El nitrógeno y el fósforo son los principales elementos nutritivos de los microorganismos. Es necesario conocer datos sobre la presencia y cantidad de nitrógeno en las aguas, ya que es básico para la síntesis de proteínas y poder valorar el posible tratamiento de estas mediante procesos biológicos.

- Fósforo

Otro principal nutriente para algas y organismos biológicos es el fósforo. El intervalo de fósforo en aguas residuales urbanas varía entre 4 y 15 mg/L.

- Oxígeno disuelto (OD)

Otro parámetro a tener en cuenta es el OD, ya que es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios.

- **Características biológicas**

La eliminación de la DBO carbonosa, la coagulación de los sólidos coloidales no sedimentables, y la estabilización de la MO se consiguen, biológicamente mediante los microorganismos. A continuación, se mencionan algunos de los microorganismos más importantes en el tratamiento de aguas residuales:

- **Bacterias:** Las bacterias son organismos procariotas unicelulares. Desempeñan un papel fundamental en los procesos de descomposición y estabilización de la MO. Por ello resulta imprescindible conocer sus características, funciones, metabolismo y proceso de síntesis. Se reproducen por escisión binaria. Su forma general puede ser: esférica, cilíndrica o helicoidal.
- **Hongos:** Son protistas eucariotas aerobios, multicelulares, no fotosintéticos y quimioheterótrofos. Muchos de los hongos son saprófitos, es decir, basan su alimentación en MO muerta. Son los responsables de la descomposición del carbono en la biosfera, junto con las bacterias. Se desarrollan a pH bajos.
- **Algas:** Las algas son protistas unicelulares o multicelulares, autótrofas y fotosintéticas. La presencia de algas es necesaria para suministrar el oxígeno a las bacterias heterótrofas aerobias.
- **Protozoos:** Son microorganismos eucariotas, cuya estructura está formada por una única célula abierta. La mayoría son aerobios. Se alimentan de bacterias y MO por lo que actúan como purificadores de los efluentes de procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales.
- **Virus:** Los virus son partículas parasíticas formadas por un cordón de materiales genético. No tienen capacidad para sintetizar compuestos nuevos. [1]

## 1.2 INTRODUCCIÓN TECNOLÓGICA

### 1.2.1 Tratamiento biológico

La alternativa más competitiva cuando las AR presentan una elevada concentración de MO disuelta es el tratamiento biológico, por su simplicidad y bajos costes. Para que sea posible la aplicación de esta tecnología, es que la contaminación sea biodegradable y que no haya presencia de ningún compuesto biocida en el efluente a tratar. [2]

El proceso biológico está diseñado principalmente para la eliminación de MO disuelta y suspendida de las AR. Una vez que el agua residual ha sido tratada en el reactor, la masa biológica resultante es separada del líquido en un tanque de sedimentación de donde se extrae el agua tratada y parte de los sólidos sedimentados son retornados al reactor con el objetivo de mantener una concentración determinada de sólidos en el reactor. La

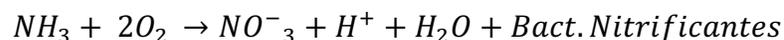
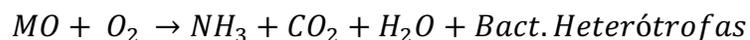
masa sobrante es purgada para su posterior tratamiento y gestión de los lodos de depuradoras.

El proceso se basa en proporcionar las condiciones ambientales correctas para fomentar el crecimiento de microorganismos que utilizan los compuestos orgánicos, a menudo medidos como DBO y DQO, como sustrato de carbono. Los microorganismos que crecen en el sustrato se separan posteriormente del agua a la que se le ha eliminado la DBO, dejando un efluente relativamente limpio. Estos microorganismos originan energía y material celular proveniente de la oxidación de la MO, y pueden ser aeróbicos o anaeróbicos. El tratamiento biológico de AR también es capaz de eliminar otros componentes de las aguas, incluidos SS, nitrógeno, fósforo y metales pesados.

Una ventaja del uso de procesos biológicos es que son vistos como 'naturales', los sistemas de reactores intensifican el proceso que podría ocurrir en el medio natural. Los desechos solubles y sólidos se transforman, convirtiéndose en gases, ya sea CO<sub>2</sub> si es aeróbico o CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> si es anaeróbico, sólidos inertes y agua. El metano obtenido, puede usarse como fuente de energía. Los sólidos de desecho, denominados lodos, son tratados antes de la eliminación final. Con este tipo de proceso, se consigue una alta eficiencia de eliminación y tolera cargas variables. Sin embargo, los procesos biológicos son susceptibles a productos químicos tóxicos y lentos en comparación con el tratamiento químico. [3]

Los microorganismos presentes en este proceso tienen como fuente principal de carbono celular la MO y el CO<sub>2</sub>. Los organismos que utilizan el carbono orgánico para la formación de tejido celular se denominan heterótrofos, mientras que los que obtienen carbono celular a partir de CO<sub>2</sub> reciben el nombre de autótrofos.

A continuación, se muestran las reacciones de eliminación de la MO por actuación de bacterias heterótrofas y autótrofas:



Los procesos biológicos se pueden clasificar según varias características:

1) Régimen de alimentación:

- Continuos
- Secuenciales

- 2) Condiciones redox
- 3) Película fija o suspensión de crecimiento

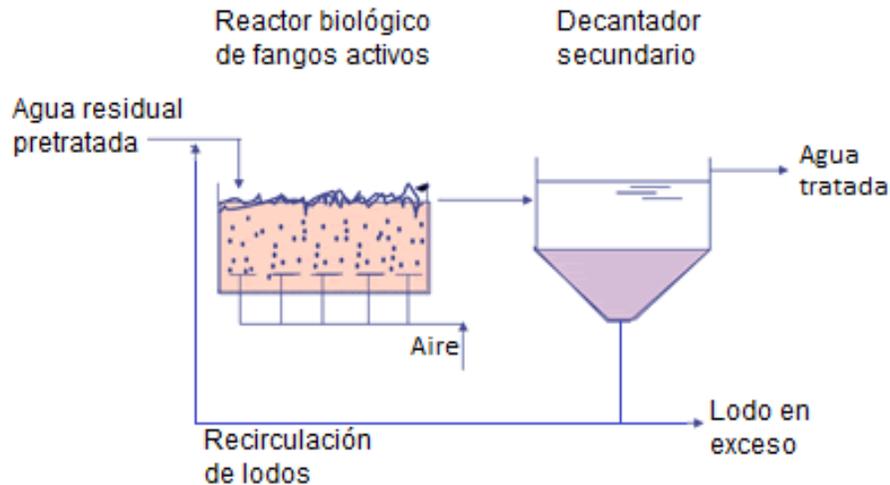


Figura 1. Esquema funcionamiento tratamiento biológico (Fuente: [www.gedar.com](http://www.gedar.com))

A continuación, se exponen los parámetros más significativos para el diseño de un reactor biológico:

- **Carga másica ( $C_m$ )**: La carga másica se define como la relación existente entre la cantidad de microorganismos del reactor y la materia orgánica presente en el agua residual. Se comporta de manera inversa a la edad del fango.
- **Edad del fango ( $\theta_c$ )**: Representa la relación expresada en días, entre la masa de fangos en el reactor y la masa de fangos eliminada de la instalación diariamente. Este parámetro da una idea acerca del tiempo de retención de los microorganismos en la instalación.
- **O<sub>2</sub> necesario**: Determina la cantidad de oxígeno que se requiere para realizar la degradación de la MO. A mayor cantidad de microorganismos, mayor será el O<sub>2</sub> necesario para el proceso de degradación.
- **Masa de fangos extraídos**: Cantidad de fango que se produce en el biorreactor.

- **Tiempo de retención hidráulico (TRH):** El tiempo de retención hidráulico representa el tiempo de permanencia del agua en el volumen del reactor.

### 1.2.2 Biorreactor de membrana (MBR)

Los biorreactores de membrana (MBR) se han convertido en una de las alternativas más competentes para el tratamiento de AR, desde su aparición en el mercado. Esto se debe a las muchas ventajas que tiene este proceso, como es la calidad del efluente obtenido, posibilidad de trabajar a altas concentraciones de SS, menor espacio requerido de la instalación y menor tiempo de depuración.

De manera generalizada, los biorreactores de membrana (Membrane Bio-Reactor, MBR) pueden ser definidos como sistemas en los que se integra la degradación biológica de los efluentes de aguas residuales con una filtración por membrana. [4]

En un principio, el uso de la tecnología de membrana se vio limitada como tratamiento de afino o para desalación de agua de mar. Actualmente el uso de membranas en el tratamiento de AR se emplea para la reutilización del agua depurada y para requerimientos de vertidos rigurosos.

Esta tecnología, se ha visto limitada debido a su elevado coste de inversión y de operación. A pesar de esto, a causa del endurecimiento de los requisitos de vertido y la aparición de módulos de membrana con menor coste, el sistema de membranas ha tomado una gran relevancia en los tiempos actuales.

Existen varias áreas de aplicación que se encuentran en vías de desarrollo y que requieren una mayor evaluación experimental, entre las que se encuentra el tratamiento de efluentes procedentes de actividades ganaderas, aguas residuales de industrias alimentarias, tratamiento de lixiviados de vertederos, la eliminación de herbicidas y pesticidas de las corrientes de aguas residuales, la eliminación biológica de los nitratos y reducción de las sustancias prioritarias conocidas como sustancias prioritarias.

El MBR es una modificación del sistema convencional de fangos activados, en el que se sustituye el decantador secundario y el tratamiento terciario por unidades de membrana de ultrafiltración (tamaño de poro entre 0,005 y 0,1  $\mu\text{m}$ ) o de Microfiltración (tamaño de poro entre 0,1 y 1  $\mu\text{m}$ ), para producir un efluente libre de sólidos en suspensión y de microorganismos. Como se ha explicado con anterioridad, se trata de

sistemas en los que se integra la degradación biológica de los afluentes (biodegradación) con la filtración de membrana (separación sólido-líquido).

La combinación de la tecnología de membrana con reactores biológicos para el tratamiento de aguas residuales ha llevado al desarrollo de tres biorreactores de membrana genéricos (MBR): para la separación y retención de sólidos; para aireación sin burbujas dentro del biorreactor; y para la extracción de contaminantes orgánicos prioritarios de las aguas residuales industriales. Sin embargo, las membranas también pueden combinarse con bioprocesos para el tratamiento de aguas residuales de otras dos formas. En primer lugar, pueden usarse para la transferencia de masa de gases (tales sistemas no deben confundirse con los llamados "aireadores de membrana", que es un término utilizado para algunos difusores de burbuja fina), generalmente oxígeno para procesos aeróbicos. En segundo lugar, las membranas se pueden utilizar para la transferencia controlada de nutrientes a un biorreactor o la extracción de contaminantes de aguas residuales que no son tratables mediante procesos biológicos convencionales. [3]

En cuanto a las ventajas e inconvenientes de los MBR:

- **Ventajas**

- 1. Tamaño compacto de la instalación:**

El volumen del reactor MBR es entre 2 y 5 veces inferior al del sistema convencional, para la misma carga másica de trabajo. Esto se debe a que la concentración de fango en el biorreactor es mucho mayor que en un sistema convencional. Las concentraciones típicas de un sistema aerobio convencional están entre 2 y 6 kg/m<sup>3</sup>, ya que a concentraciones mayores no se consigue decantar todo el fango. En un MBR se puede llegar hasta 20-30 kg/m<sup>3</sup>, aunque los valores óptimos de concentraciones de biomasa para los MBRs se encuentran entre 8 y 12 kg/m<sup>3</sup>. [5]

Además, el MBR supone un ahorro en el espacio de la planta, ya que se elimina tanto el decantador secundario como el sistema terciario del sistema convencional para llegar a la misma calidad del efluente.

## 2. Elevada calidad y altos niveles de desinfección del agua tratada:

Al sustituir la decantación secundaria por membranas, la calidad del agua permeada es excelente ya que no depende de la mejor o peor decantación del fango, el agua atraviesa las membranas de micro o ultrafiltración en donde quedan retenidos los SS y coloides. Por otra parte, se reduce la utilización de reactivos químicos desinfectantes debido a que la membrana actúa como barrera para bacterias y virus disminuyendo su presencia en el permeado. [6]

## 3. Elevada tasa de degradación de los contaminantes:

En los MBRs es posible mantener una edad del fango muy elevada, lo cual hace posible el desarrollo de biomasa especializada en degradar compuestos específicos con los que están en contacto. Esta capacidad es muy interesante para el tratamiento de efluentes que presentan sustancias difíciles de degradar, como ocurre en determinados sectores industriales.

## 4. Menor producción de lodos:

La producción de fangos en los MBR es menor que en un sistema convencional de lodos activados, normalmente de un 30-50 % inferior. Esto se debe a que por la alta edad de fango se logran tasas de utilización de sustrato y constantes de velocidad media muy superiores a los sistemas convencionales, lo que implica que la mayor parte del sustrato se utiliza para obtener energía en lugar de producir biomasa.

### ▪ Inconvenientes

A pesar de que la utilización de MBRs para el tratamiento de aguas residuales ofrece muchas ventajas, existen ciertas limitaciones:

#### 1. Ensuciamiento de membranas.

El ensuciamiento de membranas es uno de los mayores problemas que existe en la tecnología MBR y determina que su comercialización no se extienda actualmente de modo general. Este viene dado por dos fenómenos: el ensuciamiento dentro del poro y la deposición de una capa de lodo sobre la superficie de la membrana, la cual se considera el componente predominante en el ensuciamiento. El ensuciamiento conlleva a una reducción del flujo de permeado. Esto implica la necesidad de realizar ciclos de limpieza, los cuales se realizan de forma física, mediante la aireación y la relajación/retrolavado de las membranas, y química, mediante el uso de reactivos en dependencia de la naturaleza orgánica o inorgánica de las incrustaciones. [7]

## **2. Coste de instalación y sustitución de membranas:**

Dos factores a tener en cuenta son, el elevado coste de implantación de las unidades de membrana y la vida útil, que actualmente está limitada entre 5 y 10 años.

### *Configuraciones de los MBR*

Los MBR están compuestos por dos partes principales:

- a) La unidad biológica, responsable de la degradación de la materia orgánica presente en el agua residual (biodegradación).
- b) La unidad de filtración, encargada de llevar a cabo la separación sólido-líquido del licor mezcla mediante filtración.

De forma general, el funcionamiento de un MBR es el afluente, normalmente predecantado, entra en el biorreactor, donde se pone en contacto con la biomasa y luego es filtrado en la membrana. El agua filtrada, o permeado (permeate), es retirada, mientras que la biomasa permanece en el biorreactor. El exceso de fangos se purga a fin de mantener un tiempo de retención celular constante. [5]

### Tipos de MBR

Existen tres tipos de biorreactores de membrana diferentes:

- Biorreactor con membrana externa

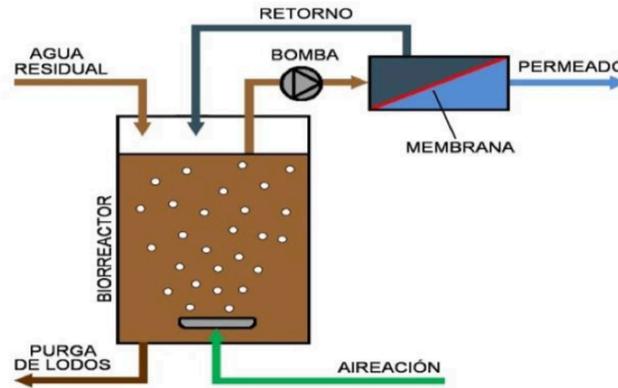


Figura 2. Esquema biorreactor membrana externa (Fuente: iuaca.ua.es)

- Biorreactor con membrana interna sumergida

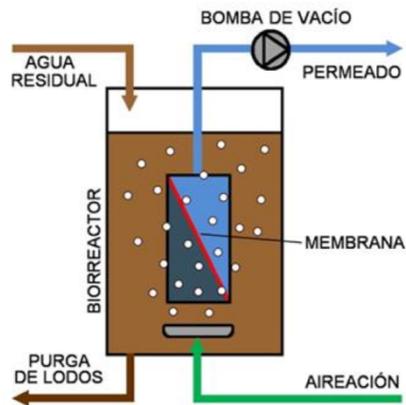


Figura 3. Esquema biorreactor membrana interna sumergida (Fuente: iuac.ua.es)

- Biorreactor con membrana externa sumergida

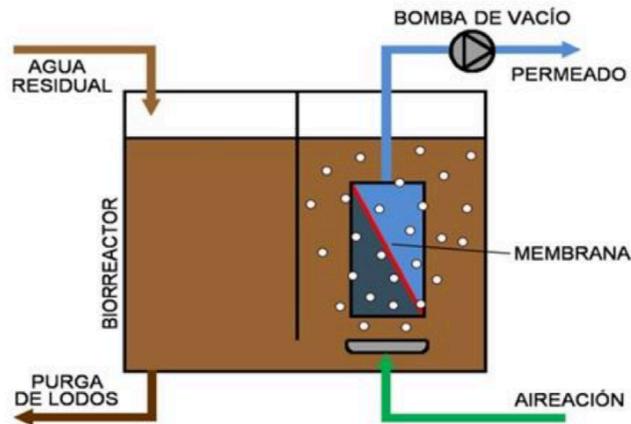


Figura 4. Esquema biorreactor membrana externa sumergida (Fuente: iuac.ua.es)

### 1.2.3 Membranas

Una membrana puede considerarse como un material semipermeable a través del cual un tipo de sustancia puede pasar más fácilmente que otra, siendo así la base de un proceso de separación. Las membranas son barreras físicas semipermeables que se disponen entre dos fases separándolas e impidiendo su contacto, pero que permiten el movimiento de las moléculas a través de ellas de forma selectiva.

Para muchos procesos, la membrana actúa para rechazar los contaminantes, que pueden estar suspendidos o disueltos (rechazo), y permitir que el agua purificada la atraviese (permeado). [8]

A continuación, se muestra el funcionamiento de la membrana.

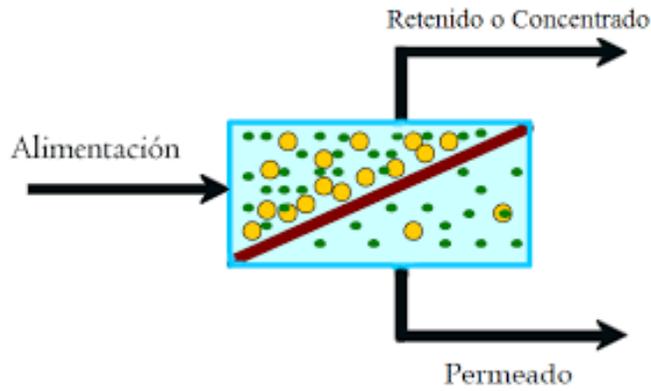


Figura 5. Esquema funcionamiento membrana (Fuente: sgpwe.izt.uam)

Existen diferentes tipos de procesos de separación mediante membranas, pero en este trabajo se centrará en las membranas de ultrafiltración (UF).

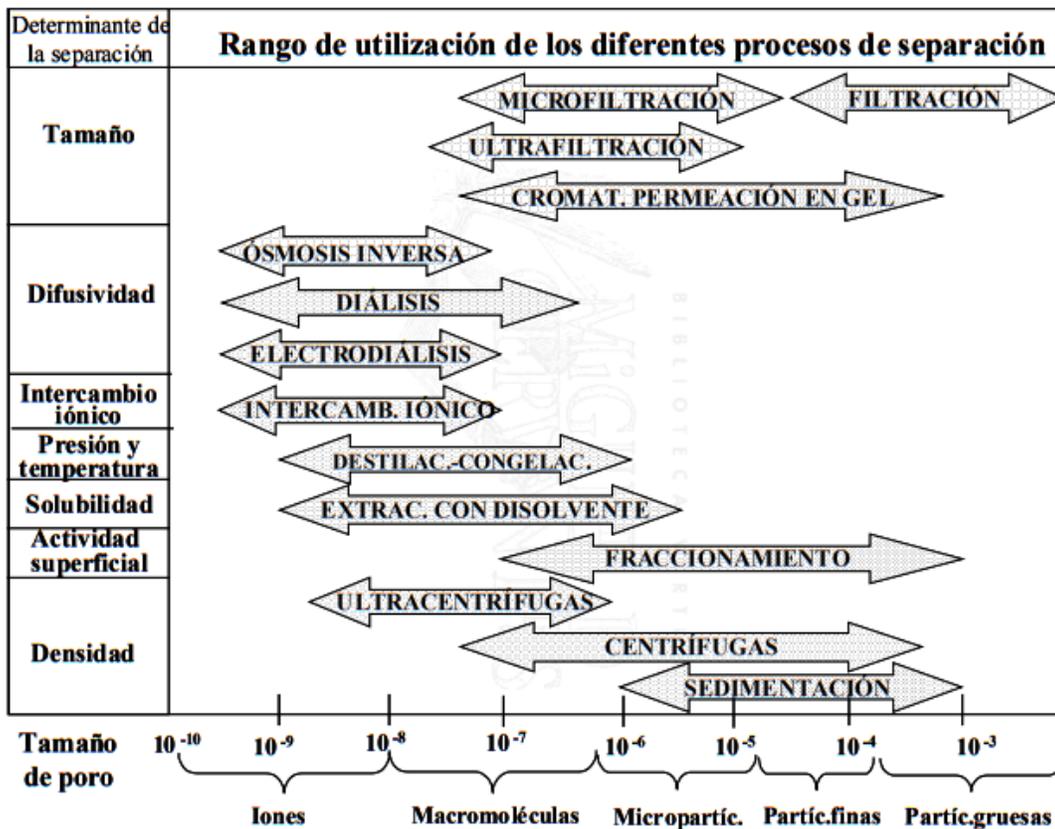


Figura 6. Procesos de filtración por membrana (Fuente: blog.condorchem.com)

## Clasificación de las membranas

- Según el mecanismo de separación

**Membranas porosas:** producen separación por diferencias de tamaño y están compuestas por poros finos (macroporos:  $>50$  nm, mesoporos,  $2 < 50$  nm y microporos:  $< 2$  nm) se utilizan en procesos de microfiltración (MF) y ultrafiltración (UF).

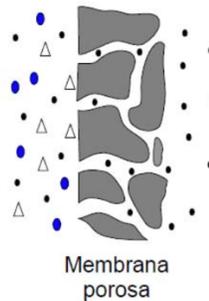


Figura 7. Esquema membrana porosa (Fuente: apuntes del grado)

**Membranas no porosas:** no contiene poros macroscópicos. El mecanismo de transferencia predominante es el de disolución-difusión. Utilizadas en separación de gases, nanofiltración (NF) y pervaporación.

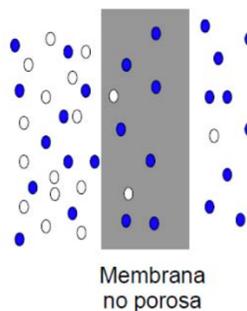


Figura 8. Esquema membrana no porosa (Fuente: apuntes del grado)

**Membranas de transporte:** la separación en este tipo de membranas viene dada por una molécula transportadora, no por el material o la estructura. Puede extraer sólidos, líquidos y gases.

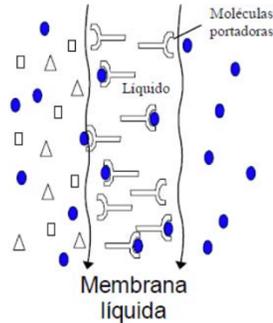


Figura 9. Esquema membrana transporte (Fuente: apuntes del grado)

- **Según su estructura**

**Membranas isotropas (simétricas):** estructura porosa uniforme a lo largo de todo su espesor, no existen zonas de mayor densidad en una o ambas caras de la membrana. Este tipo de membranas, presentan una alta permeabilidad al solvente y un bajo rechazo de sales.



Figura 10. Membrana isotrópica (Fuente: apuntes del grado)

**Membranas asimétricas:** presentan una estructura irregular a lo largo de todo el espesor, existen zonas de mayor densidad.

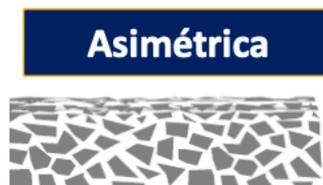


Figura 11. Esquema membrana asimétrica (Fuente: apuntes del grado)

- Según su forma

Las membranas pueden prepararse en dos formas geométricas según la presentación comercial.

***Membrana plana***



*Figura 12. Esquema membrana plana (Fuente: [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net))*

***Membrana cilíndrica:*** pueden distinguirse los siguientes tipos de membranas cilíndricas:

- Membranas tubulares con diámetro interno mayor de 3 mm.
- Membranas tubulares de fibra hueca con diámetro interno menor de 3 mm.



*Figura 13. Esquema membrana cilíndrica (Fuente: [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net))*

### Ensuciamiento de la membrana

Unos de los mayores inconvenientes del uso de membranas para el tratamiento de las AR es el ensuciamiento de estas. El ensuciamiento de la membrana es debido a la presencia en la alimentación de sustancias que pueden interaccionar con ella, adsorbiéndose y/o precipitando en su superficie o penetrando en su interior, en cuyo caso son adsorbidas en las paredes de los poros, reduciendo el diámetro de paso de estos. Las causas del ensuciamiento pueden darse por diversas situaciones, por precipitación (precipitación de sales minerales, óxidos o hidróxidos) o por depósito (partículas de gran tamaño, coagulación de sustancias coloidales, biofouling...) esto provoca una disminución del flujo de permeado, debido a una mayor resistencia de la membrana. Un aumento progresivo de la diferencia de presión transmembrana, con el fin de mantener el flujo de permeado, acelerará el proceso de ensuciamiento, pudiendo llegar a una situación irreversible de taponamiento de la membrana, lo que haría necesario su sustitución.

Las etapas de un ciclo de limpieza estándar podrían ser:

1. Enjuagados de las membranas con agua caliente y alta velocidad de flujo
2. Lavado con ácido o base, dependiendo de la naturaleza de la membrana
3. Lavado del sistema con un detergente en caliente
4. Enjuagado del sistema con agua para eliminar los restos de detergente.

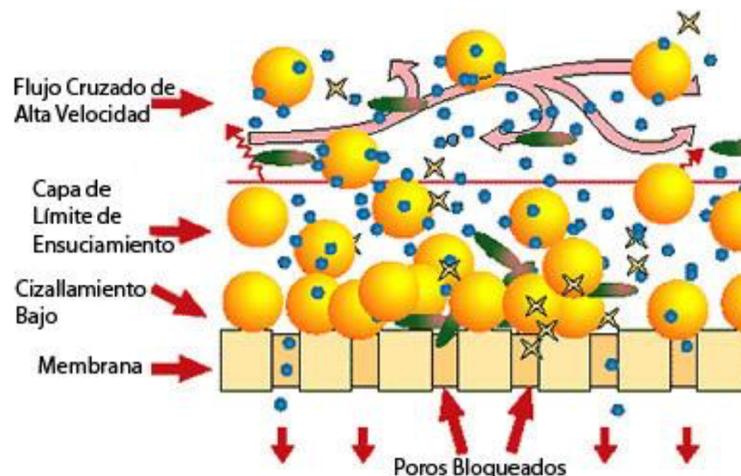


Figura 14. Esquema de ensuciamiento de una membrana (Fuente: [www.rdpower.com](http://www.rdpower.com))

### Proceso de ultrafiltración (UF)

La ultrafiltración se basa en la separación física, siendo el tamaño de poro de la membrana lo que determina la eliminación de microsolutos como coloides y macromoléculas. Las partículas con mayor tamaño de poro son retenidas, mientras que las de menor tamaño son retenidas parcialmente.

En relación con el tratamiento de aguas, consiste en impulsar el AR a presión mediante bombas haciéndola pasar por las membranas las cuales tienen un tamaño de poro de entre 0.1 y 0.01 micras, obteniendo así aguas libres de microorganismos. Para evitar la colmatación de la membrana, se realizan lavados a contracorriente.

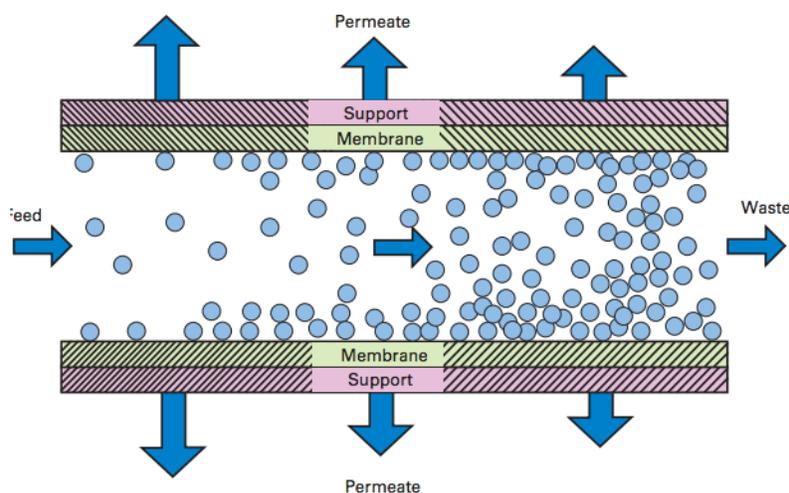


Figura 15. Proceso UF (Fuente: [www.totagua.com](http://www.totagua.com))

Las ventajas más relevantes del proceso de UF son las siguientes:

- Calidad del agua tratada. REUTILIZACIÓN
- Estabilidad. Calidad del permeado con independencia de picos de carga
- Desinfección
- Mínimo requerimiento de espacio
- Sistemas ampliables sin necesidad de reformas en el reactor
- Sistemas automatizados
- Eliminación de espumas

En cuanto a los ámbitos de aplicación de la tecnología de ultrafiltración, se utiliza sobre todo en aguas residuales urbanas o industriales, pero cabe destacar que puede ser muy útil como potabilización de aguas menos cargadas. [9]

## 2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo fin de grado, es marcar las pautas para diseñar un Biorreactor de membrana (MBR), para ello en los diferentes apartados se establecen los parámetros para los cálculos y el dimensionamiento, así como también se realizará un estudio económico de la implantación de dicho diseño.

En este trabajo se mejorará el proceso de depuración actual de la EDAR de Utiel, la cual recibe un caudal de 1995 m<sup>3</sup>/d, sustituyendo los decantadores y el tratamiento terciario por unidades de membrana de UF, ya que trabajando con un MBR se reduce el espacio de las instalaciones, obtenemos una menor producción de fangos, así como mejor calidad del agua tratada.

Según los datos proporcionados por la EDAR, el tipo de tratamiento actual que utiliza esta estación consta de un pretratamiento, el cual comienza con las rejillas de desbaste donde se quedarán los objetos más grandes para evitar las posibles obstrucciones. Una vez sale del desbaste pasa al desarenador/desengrasador, donde por medio de la reducción del flujo del agua, obtenemos por un lado las arenas en el fondo, y por otro las grasas las cuales salen a flote, después de esta etapa, pasa al reactor biológico donde se encuentran los microorganismos responsables de la depuración. A continuación, el agua a tratar pasa por el decantador, este hace posible el proceso de separación de la materia en suspensión del agua. El siguiente paso es el tratamiento secundario, que consta de otro reactor biológico y de un decantador del que obtenemos el efluente. En cuanto a las líneas de fangos, primero pasa por un espesador que elimina gran parte del agua presente en los fangos, luego se introduce en la etapa de digestión anaeróbica con el fin de evitar la fermentación de la materia orgánica. Se vuelve a eliminar el agua presente en los fangos mediante la deshidratación mecánica. Por último, va a la tolva de fangos donde se almacenan.

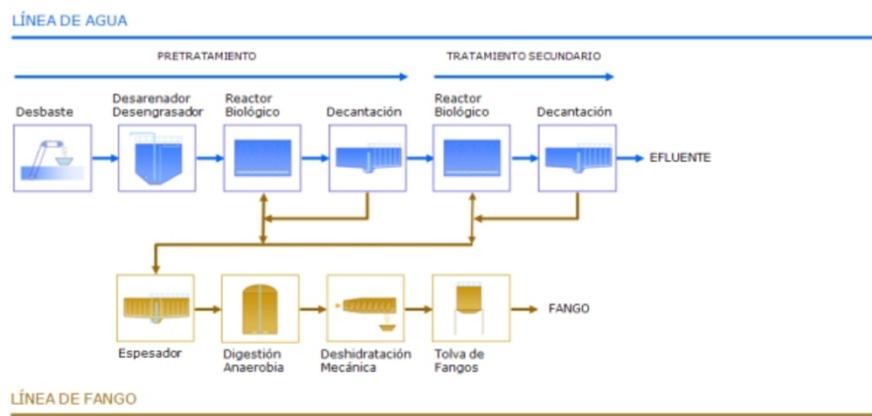


Figura 16. Diagrama de bloques del proceso actual (Fuente: [www.epsar.gva.es](http://www.epsar.gva.es))

### 3. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL BIOLÓGICO

A continuación, se detallan los cálculos de los parámetros explicados anteriormente para el diseño del biológico. Para ello se hará uso de los datos de la calidad del agua de entrada y salida proporcionados por la EPSAR, así como los parámetros numéricos fijados para el diseño. Se utilizarán como base los parámetros de vertido que actualmente tiene la planta como punto de partida para los rendimientos que se calculen.

Tabla 1. Características agua (Fuente: [www.epsar.gva.es](http://www.epsar.gva.es))

Parámetros	Valor entrada	Valor salida	Unidades
SS	352	7	mg/L
DBO <sub>5</sub>	453	8	mg/L
DQO	861	41	mg/L
N <sub>T</sub>	81.01	21.74	mg/L
P <sub>T</sub>	8.33	0.78	mg/L
Caudal	1995	1930	m <sup>3</sup> /d

Los límites de vertido se rigen según la Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas. [10]

Tabla 2. Requisitos de vertido

Parámetros	Valor	Unidades
DBO <sub>5</sub>	25	mg/L
DQO	125	mg/L
SS	35 (> 10000 h-e)	mg/L
SS	60 (2000-10000 h-e)	mg/L
P <sub>T</sub>	2 (10000 - 100000 h-e) 1 (> 100.000 h-e)	mg/L P
N <sub>T</sub>	15 (10000 - 100000 h-e) 10 (> 100000 h-e)	mg/L N

Los parámetros del agua de salida del proceso cumplirán con la normativa de vertido según la Directiva exceptuando el  $N_T$ , esto es debido principalmente por el tipo de biorreactor utilizado, ya que este se caracteriza por la eliminación de SS y DBO. Cabe destacar que se podría eliminar más  $N_T$  si se diseñara un reactor secuencial.

Con respecto a los criterios de diseño fijados que se muestran en la tabla 3, se ha decidido tomar los valores bibliográficos típicos en este tipo de biorreactores.

Tabla 3. Criterios de diseño fijados

Parámetros	Valor	Unidades
SSLM	8000	mg/L
$\theta_c$	7	d
Rendimiento celular (Y)	0.6	
Constante de respiración endógena ( $K_d$ )	0.06	d
$P_T$	8.33	mg/L
Caudal	1995	m <sup>3</sup> /d

### 3.1 CARGA MÁSCICA

Para calcular el valor de la carga másica, se hará uso de los datos de la tabla 1. La ecuación que define la carga másica es la siguiente:

$$C_m = \frac{S_o \cdot Q_o}{SSLM \cdot V} \quad Ec. (1)$$

Donde,

- $Q_o$ : caudal de entrada (m<sup>3</sup>/d)
- $S_o$ : DBO del afluente (mg/L)
- SSLM: concentración de microorganismos en el tanque de aireación (mg/L)
- $V$ : volumen del reactor (m<sup>3</sup>)

$$C_m = \frac{0.453 \frac{Kg}{m^3} \cdot 1995 \frac{m^3}{d}}{8 \frac{Kg}{m^3} \cdot 328.23 m^3}$$

$$C_m = 0.34 Kg DBO/Kg \cdot d$$

Tras haber obtenido el valor de la carga másica, podemos añadir que el valor calculado se encuentra dentro del rango cuando se trata de media carga. Estos valores se encuentran entre 0.15-0.4.

### 3.2 EDAD DEL FANGO

Como se ha especificado con anterioridad, el valor de la edad de fango se ha fijado en 7 días, puesto que es un valor típico en este tipo de diseño. La ecuación que define la edad de fango es la siguiente:

$$\theta_c = \frac{V \cdot SSLM}{Q_w \cdot SS_w + Q_m \cdot SS_m} \quad Ec. (2)$$

Donde,

- V: volumen del reactor (m<sup>3</sup>)
- Q<sub>w</sub>: caudal de fango purgado (m<sup>3</sup>/d)
- SS<sub>w</sub>: concentración de microorganismos en el fango (mg/L)
- Q<sub>m</sub>: caudal del efluente de la unidad de membranas (m<sup>3</sup>/d)
- SS<sub>m</sub>: concentración de microorganismos en la unidad de membranas (mg/L)
- SSLM: concentración de microorganismos en el tanque de aireación (mg/L)

### 3.3 VOLUMEN

Parámetro que expresa el volumen que requiere el reactor. Se calcula mediante el siguiente sistema de ecuaciones:

Balance de masas para los microorganismos:

$$Acumulación = Entrada - Salida + Crecimiento neto$$

$$\frac{dX}{dt} V_r = QX_o - [Q_w X + Q_e X_e] + V_r (r'_g) \quad \text{Ec. (3)}$$

Sustituyendo  $r'_g$  por la ecuación de la tasa de crecimiento y suponiendo que la concentración de células en el efluente es nula y que hay estado estacionario, se obtiene:

$$\frac{Q_w X + Q_e X_e}{V_r X} = -Y \frac{r_{su}}{X} - k_d \quad \text{Ec. (4)}$$

Simplificando la Ecuación 2 y reordenando:

$$\frac{1}{\theta_c} = -Y \frac{r_{su}}{X} - k_d \quad \text{Ec. (5)}$$

El término  $r_{su}$  se determina por medio de la siguiente expresión:

$$r_{su} = -\frac{Q}{V_r} (S_o - S) = -\frac{S_o - S}{\theta} \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde,

- $S_o - S$ : cantidad de sustrato utilizado (mg/L)
- $S_o$ : DBO del afluente (mg/L)
- $S$ : DBO del efluente (mg/L)
- $\theta$ : tiempo de detención hidráulico (d)

La concentración de microorganismos en el reactor SSLM, se puede obtener sustituyendo la Ecuación 4 en la 3 y despejando el valor de SSLM:

$$SSLM = \frac{\theta_c}{\theta} \cdot \frac{Y (S_o - S)}{(1 + k_d \theta_c)} \quad \text{Ec. (7)}$$

Sustituyendo en la Ecuación 5  $V/Q$  por  $\theta$  y reordenando, obtenemos:

$$V = \frac{Y \cdot Q_0 \cdot (S_0 - S_e) \cdot \theta_c}{SSLM \cdot (1 + \theta_c \cdot K_d)} \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde,

- $Q_0$ : caudal de entrada ( $m^3/d$ )
- $Y$ : rendimiento celular
- $S_0$ : DBO del afluente (mg/L)
- $S_e$ : DBO del efluente (mg/L)
- $\theta_c$ : Edad del fango (días)
- $SSLM$ : concentración de microorganismos en el tanque de aireación (mg/L)
- $K_d$ : constante de respiración endógena ( $d^{-1}$ )

$$V = \frac{0.6 \cdot 1995 \frac{m^3}{d} \cdot \left(0.453 \frac{Kg}{m^3} - 0.008 \frac{Kg}{m^3}\right) \cdot 7}{8 \frac{Kg}{m^3} (1 + 7 d \cdot 0.06 d)}$$

$$\mathbf{V = 328.23 m^3}$$

Respecto a la geometría que tendrá el reactor biológico será rectangular. Mientras que la altura del reactor se fija en 7 metros, valor típico de los reactores en tratamientos de depuración. Por lo tanto, el dimensionamiento es el siguiente:

$$S = \frac{328.23 m^3}{7 m}$$

$$\mathbf{S = 46.89 m^2}$$

### 3.4 CANTIDAD DE O<sub>2</sub>

Para el cálculo de la cantidad de oxígeno, debemos tener en cuenta el oxígeno necesario para la síntesis celular, el oxígeno de la respiración endógena y el oxígeno de la nitrificación. A continuación, vamos a definir cada uno de esos conceptos:

- O<sub>2</sub> síntesis celular

$$O_2 \text{ síntesis celular} = a \cdot R \cdot S_o \cdot Q_o \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde,

- Q<sub>o</sub>: caudal de entrada (m<sup>3</sup>/d)
- R: rendimiento
- S<sub>o</sub>: DBO del afluyente (mg/L)
- a: constante obtenida de las tablas de carga másica

En relación con el coeficiente estequiométrico que define la necesidad de oxígeno para síntesis expresada a efectos de utilización para el cálculo como KgO<sub>2</sub>/KgDBO<sub>5</sub> eliminada, hacemos uso de la siguiente tabla:

Tabla 4. Relación Cm y a

Carga Másica (Kg DBO/d/KgSSLM)	a (Kg O <sub>2</sub> /KgDBO <sub>5</sub> eliminada)
0,1	0,50
0,7	0,50
0,5	0,50
0,4	0,53
0,3	0,55
0,2	0,59
0,1	0,65
0,05	0,66

▪ O<sub>2</sub> respiración endógena

$$O_2 \text{ respiración endógena} = Kd \cdot V \cdot SSLM \quad Ec. (10)$$

Donde,

- Kd: constante de respiración endógena (d<sup>-1</sup>)
- V: volumen del reactor (m<sup>3</sup>)
- SSLM: concentración de microorganismos en el tanque de aireación (mg/L)

▪ O<sub>2</sub> nitrificación

$$O_2 \text{ nitrificación} = \frac{4.57 \cdot Q \cdot (N - N_{O_3f})}{10^3} \quad Ec. (11)$$

Donde,

- Q: caudal diario (m<sup>3</sup>/d)
- N-N<sub>O<sub>3f</sub></sub>: nitratos formados (mg/L)

Por lo tanto, para la cantidad de O<sub>2</sub> total debemos sumar todos:

$$O_2 \text{ total} = O_2 \text{ síntesis celular} + O_2 \text{ respiración endógena} + O_2 \text{ nitrificación} \quad Ec. (12)$$

Para la cantidad de O<sub>2</sub> necesario, como se ha explicado con anterioridad se hallarán primero los siguientes valores:

- O<sub>2</sub> síntesis celular

Para hallar el O<sub>2</sub> necesario para la síntesis celular, es necesario calcular el rendimiento, que se define como:

$$R = \frac{S_o - S_e}{S_o}$$

$$R = \frac{0.453 \frac{Kg}{m^3} - 0.08 \frac{Kg}{m^3}}{0.453 \frac{Kg}{m^3}}$$

$$R = 0.9823$$

Sustituyendo todos los datos en la Ecuación 9:

$$O_2 = 0.55 \text{ Kg } O_2/\text{Kg } DBO_{eliminada} \cdot 0.9823 \cdot 0.453 \frac{Kg}{m^3} \cdot 1995 \frac{m^3}{d}$$

$$O_2 = 488.26 \text{ Kg/d}$$

- O<sub>2</sub> respiración endógena

$$O_2 = 0.06 \text{ d} \cdot 328.23 \text{ m}^3 \cdot 8 \frac{Kg}{m^3}$$

$$O_2 = 157.55 \text{ Kg/d}$$

- O<sub>2</sub> nitrificación

En este caso, la demanda de O<sub>2</sub> necesario para la nitrificación se desprecia ya que consideramos unas bacterias heterótrofas.

Por lo tanto, el  $O_2$  total se obtiene sustituyendo todos los valores en la Ecuación 12:

$$O_2total = 488.26 \frac{Kg}{d} + 157.55 \frac{Kg}{d}$$

$$O_2total = 645.81 \frac{Kg}{d}$$

### 3.5 MASA DE FANGOS EXTRAÍDOS

Haciendo uso de la Ecuación 2 y despreciando la concentración microorganismos en la unidad de membrana, se despeja la masa de fangos extraídos:

$$Q_w \cdot SS_w = \frac{V \cdot SSLM}{\theta_c}$$

$$Q_w \cdot SSLM = \frac{V \cdot SSLM}{\theta_c}$$

$$Q_w = \frac{328.23 m^3}{7 d}$$

$$Q_w = 46.85 m^3$$

Donde,

- $Q_w$ : caudal de fango purgado ( $m^3/d$ )
- $SS_w$ : concentración de microorganismos en el fango (mg/L)

### 3.6 TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO

Se expresa según la ecuación siguiente:

$$TRH = \frac{V}{Q_0} \quad \text{Ec. (13)}$$

Donde,

- $Q_0$ : caudal de entrada ( $m^3/d$ )
- $V$ : volumen del reactor ( $m^3$ )

Con el valor hallado anteriormente del volumen necesario, sustituimos en la ecuación que define el tiempo de retención hidráulico:

$$TRH = \frac{328.23 m^3}{1995 m^3/d}$$

$$\mathbf{TRH = 0.16 d}$$

## 4 DISEÑO MBR

A continuación, se va a calcular los parámetros necesarios para el diseño y dimensionamiento de la aireación del reactor, así como el modulo de membranas de UF.

A partir de los datos de la tabla 1 y con los parámetros fijados en la tabla 3, se calculará el número de difusores necesarios y por último se simulará el sistema de UF.

### 4.1 NÚMERO DE DIFUSORES

Uno de los parámetros más importantes a la hora de diseñar el MBR, es el sistema de aireación, en este caso difusores. Los difusores tienen como tarea proporcionar la cantidad suficiente de  $O_2$  necesario para el proceso biológico, así como ayudar a mantener la biomasa mezclada. La eficacia de los difusores está relacionada con la profundidad a la que estén sumergidos, a mayor profundidad mayor eficacia. Normalmente se suelen situar a una profundidad mínima de 4.5 m.

Una vez calculado el valor del oxígeno necesario ( $O_T$ ) y con el dato que nos aporta la ficha técnica de los difusores a cerca de la capacidad de aire que puede transferir (SOTE %), se halla el número de difusores necesarios para suministrar el oxígeno al sistema.

$$645.81 \frac{Kg}{d} \text{ de } O_2 = 26.9 \frac{m^3}{h}$$

Según las especificaciones del difusor, para  $4m^3/h$  es capaz de suministrar en las condiciones más desfavorables un 20%, por lo tanto:

$$4 \frac{m^3}{h} \cdot 0.2 = 0.8 \frac{m^3}{h} \text{ de } O_2$$

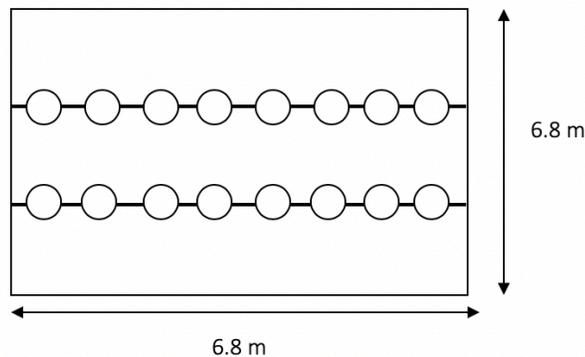
Por lo tanto, el número de difusores se obtiene:

$$N^{\circ} \text{ difusores} = \frac{26.9 \frac{m^3}{h}}{0.8 \frac{m^3}{h}}$$

$$N^{\circ} \text{ difusores} = 33.63 \approx 34$$

$$\text{Área que ocupan los difusores} = 0.035 \text{ m}^2 \cdot 34$$

$$\text{Área que ocupan los difusores} = 1.19 \text{ m}^2$$



*Figura 17. Planta de los difusores*

Para la disposición que tendrán los difusores, se colocarán en dos filas las cuales contarán con 17 difusores separados entre si 20 cm.

#### 4.2 MEMBRANA DE UF

Se ha decidido hacer uso de Hydranautics Nitto Group Company, puesto que se adapta a las condiciones de trabajo que se tienen en el proceso biológico.

Con respecto al diseño de la membrana de UF, Hydranautics proporciona acceso a un software libre para diseñar de manera fácil y efectiva el proceso.

Dentro de los productos que ofrece Hydranautics Nitto Group Company, se va a trabajar con HYDRAcap® MAX, es una tecnología que utiliza fibras huecas de PVDF de ultrafiltración (tamaño de poro de 0,08 micras). Los módulos de fibra hueca presurizada

son adecuados para una amplia gama de aplicaciones, ya sea como tratamiento final o como pretratamiento para ósmosis inversa (RO) y nanofiltración (NF).

HYDRAcap® MAX ofrece beneficios combinados de alta recuperación y baja huella debido a su área de membrana optimizada y nuevos regímenes de limpieza. La membrana de PVDF de alta resistencia minimiza la velocidad de rotura de la fibra y garantiza una calidad de filtrado consistentemente superior.

Las características correspondientes al agua de entrada en la unidad de UF son proporcionadas por la EPSAR (Anexo 5), puesto que informan sobre la calidad del agua del efluente mediante una tabla resumen de cada municipio, en este caso como ya hemos fijado con anterioridad, nuestro objeto de diseño es Utiel.

El primero paso para la simulación del proyecto es introducir los siguientes datos que requiere el software:

Mandatory Data Input	
System of Measurement	Metric
Project Title	UF MAX 40
Application	RO Pretreatment
Client Name	Anaïs Fernández
Source	Waste Water Municipal
Minimum Temperature	20 °C
Turbidity	10 NTU
Module type	HYDRAcap® MAX 40
Design Volume is Feed or Filtrate?	Filtrate
Design volume	1930 m <sup>3</sup> /d
Design Basis	Constant Flux

Figura 18. Datos de entrada para la simulación (Fuente: Hydranautics projections)

Una vez introducido los parámetros generales del afluente y el tipo de agua a tratar, en este caso AR urbana, se debe escoger el tipo de membrana. El software ofrece la posibilidad de elegir entre tres membranas (HYDRAcap Max 40, HYDRAcap Max 60 e HYDRAcap Max 80), tras haber simulado el proceso con las tres posibilidades, se ha decidido seleccionar la membrana HYDRAcap Max 40. A la hora de seleccionar el tipo de membrana de UF, se ha tenido en cuenta las dimensiones de esta (Anexo 3), ya que el resultado final era el mismo, por lo que el factor decisivo ha sido el menor espacio que requiere el modelo seleccionado.

Posteriormente al haber introducido los datos iniciales y la membrana escogida, el software realiza la simulación. Una vez simulado, es necesario introducir datos de entrada más específicos para obtener un resultado que se adapte más a las necesidades que se tienen. Para ello, el software da acceso a una nueva tabla donde demanda valores concretos de los datos de alimentación del sistema.

Feed Information	
Source	Waste Water - Municipal
Minimum Temperature	20 °C
Average Temperature	20 °C
pH	7.8
Turbidity	10 NTU
Total suspended solids	7 ppm
Total dissolved solids	650 ppm
COD	41 ppm
BOD5	8 ppm
TOC	5 ppm
Fe	0.05 mg/L as Fe
Mn	0.02 mg/L as Mn

Figura 19. Datos específicos de alimentación (Fuente: Hydranautics projections)

Se vuelve a ejecutar la simulación, y se obtienen las características finales del diseño. El sistema de membranas se ha diseñado para 2 bastidores de 21 módulos cada uno. Cada ciclo de filtrado tiene una duración de 29 minutos, basado en las especificaciones del programa.

El volumen de agua tratada es 1930 m<sup>3</sup>/d, mientras que el volumen de alimentación es 1995 m<sup>3</sup>/d.

A continuación, se muestra una tabla con los resultados del diseño.

Tabla 5. Diseño membrana UF (Fuente: Hydranautics projections)

Elemento	Valor	Unidades
Nº bastidores	2	
Módulos por bastidor	21	
Nº válvulas por módulo	8	
Nº total válvulas	19	
Membrana	HYDRAcap® MAX 40	
Área de membrana	52	m <sup>2</sup>
Bomba de alimentación	1	
Volumen alimentación	1995	m <sup>3</sup> /d
Volumen neto de filtrado	1930	m <sup>3</sup> /d
Volumen rechazo	64.66	m <sup>3</sup> /d
Volumen rechazo sin carga química	55.78	m <sup>3</sup> /d
Volumen rechazo con carga química	8.67	m <sup>3</sup> /d
Volumen de concentrado	0	m <sup>3</sup> /d
Volumen alimentación de permeado	0.05	mg/L
Recuperación media	96.76	%
Tiempo de operación	8	h
Tiempo de filtración	29	min
Flux promedio	44.3	LMH

Con respecto al bombeo de la alimentación y al sistema de aireación, el propio software proporciona una lista detallada con las especificaciones de los equipos.

Tabla 6. Equipos de bombeo y aire (Fuente: Hydranautics projections)

Equipo	Detalle	Valor	Unidades
<b>Bomba de alimentación</b>	Nº bombas alimentación	1	
	Caudal medio de alimentación por bomba	83.11	m <sup>3</sup> /h
	Presión media de alimentación	147.7	kPa
	Caudal máximo de alimentación por bomba	96.74	m <sup>3</sup> /h
	Presión máxima de alimentación	270	KPa
	Promedio estimado del consumo total de energía de la bomba de alimentación	0.065	Kwh/m <sup>3</sup>
<b>Purga de aire/ventilador del sistema</b>	Nº ventiladores	2	
	Aireación media por bastidor/ventilador	255.5	m <sup>3</sup> /h
	Aireación máxima por bastidor/ventilador	319.4	m <sup>3</sup> /h
	Presión media del aire	53.06	kPa
	Presión máxima del aire	70	kPa
	Promedio estimado del consumo total de energía del ventilador	0.011	Kwh/m <sup>3</sup>

En cuanto a la limpieza de las membranas de UF, en la ficha técnica de la membrana elegida (HYDRAcap Max 40) se dan las especificaciones del proceso de lavado de estas. El tiempo de lavado tiene una duración de 20-30 minutos, y se recomienda hacer una limpieza de 1-3 veces por día, según las recomendaciones del fabricante.

El diseño cuenta con un sistema de auto limpieza, añadiendo al agua filtrada 12% de hipoclorito sódico (NaOCl), 50% de hidróxido de sodio (NaOH) y 96% de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), como se indica en la simulación (ver figura 16). La recuperación de limpieza al sistema tiene lugar en un tanque de 2.15 m<sup>3</sup> a la salida del filtrado. El cual tiene un caudal máximo de 43.71 m<sup>3</sup>/h y una presión máxima de 230 kPa.

Por último, para conocer la calidad del agua del efluente se hace uso de la tabla de detalles del diseño, donde aparece el valor de los SS a la salida del proceso.

### 1 A. Expected permeate water quality

Turbidity	< 0.2	NTU
TSS	< 0.5	ppm
SDI	3	

\* These values are general values based on any feed water characteristics.

Figura 20. Calidad agua efluente

Como se observa en la figura 20, se han eliminado prácticamente todos los SS totales, siendo estos un valor por debajo de 0.5 ppm por lo que se obtiene un efluente con una gran calidad.

A continuación, se muestra la simulación del proceso de UF con la membrana seleccionada.

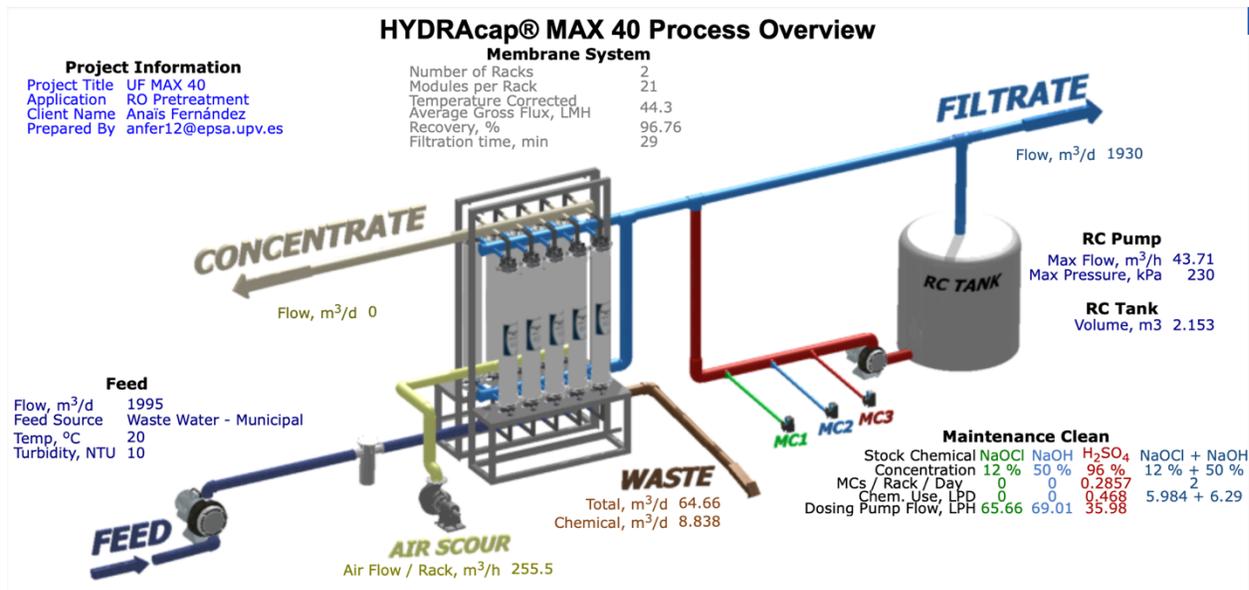


Figura 21. Simulación HYDRAcap MAX 40 (Fuente: Hydranautics projections)

## 5 ESTUDIO ECONÓMICO

A continuación, se realizan los costes de inversión de la implantación de un MBR con la unidad de membranas de UF con el fin de establecer el coste inicial del proyecto, así como su viabilidad y recuperación.

### Costes del reactor biológico

Para los costes del reactor biológico se tendrá en cuenta los elementos principales, difusores, bombas, agitadores.

*Tabla 7. Costes reactor biológico*

REACTOR BIOLÓGICO	
Coste reactor	15000 €
REF. DIFUSORES	Difusores de burbuja
Nº de elementos	34
Coste de cada elemento (€/elemento)	300 €
Coste total ELEMENTOS	10200 €
REF. COMPRESOR	RC2-50
Coste	1200 €
REF. BOMBA	Bomba de llenado y vaciado
Coste	2000 €
Coste tuberías + válvulas	3500 €
REF. AGITADOR	HDSP
Coste agitador	450 €
<b>COSTE TOTAL</b>	<b>32350 €</b>

## Costes unidad de UF

Para los costes de la unidad de UF se han tomado los elementos principales que intervienen en el proceso, así como un coste aproximado de estos. [11]

Tabla 8. Costes unidad UF

UNIDAD UF	
REF. MÓDULO	HYDRAcap® MAX 40
Módulos por bastidor	21
Coste de cada elemento (€/elemento)	1200 €
Coste total ELEMENTOS	25200 €
REF. BOMBA	BLUE C2F
Coste bomba y motor	1400 €
REF. COMPRESOR	RC2-50
Coste	1200 €
REF. TANQUE LIMPIEZA	CT-120
Coste	1890 €
Coste tuberías + válvulas	8000 €
Coste caseta para módulo UF	5500 €
<b>COSTE TOTAL</b>	<b>43190 €</b>

## Costes de Energía

Tabla 9. Costes Energía

COSTE ENERGÍA	
Potencia total (KW/h)	36243
Consumo específico de energía en UF (KWh/m <sup>3</sup> )	2.07
Consumo resto de la planta (20%)	0.414
Consumo específico total de energía en la planta (KWh/m <sup>3</sup> )	2.484
Volumen anual producido (m <sup>3</sup> /año)	704293
Consumo anual energía (KW/h)	1749463.81
<b>COSTE TOTAL ANUAL ENERGÍA</b>	<b>267143.12 €</b>

## Reemplazos membranas y filtros

El reemplazo de las membranas se hará respecto a la vida útil de estas.

Tabla 10. Costes reemplazos

REEMPLAZO MEMBRANAS	
Tasa de reemplazo (%/año)	15%
Coste anual de reemplazo membranas	188370 €
Coste anual de reemplazo filtros (15% membranas)	28255.5 €
<b>COSTE TOTAL ANUAL REEMPLAZO</b>	<b>216625.5 €</b>

## Amortización

El coste anual de amortización es de 9247.39€ siendo la vida útil del proyecto 10 años.

Tabla 11. Amortización de la inversión

AMORTIZACIÓN	
<i>Variables económicas del proyecto</i>	
Vida del proyecto (años)	10
Tasa de interés (%)	0.08
$(1+i)^n$	2.16 €
CRF (capital recovery factor): $[(1+i)^{n1}]/[i \cdot (1+i)^n]$	6.71 €
<b>CANTIDAD ANUAL AMORTIZADA</b>	<b>9247.39 €</b>

## Costes de Capital

Para realizar el cálculo de los costes de capital se analizará por un lado los costes de capital directos y por otra parte los costes de capital indirectos, siendo el porcentaje 77-23% respectivamente. El coste total de capital es 94400€.

Tabla 12. Costes capital directos

COSTES DE CAPITAL DIRECTOS (Construcción)		
Preparación del terreno	1000 €	1.5%
Equipos reactor biológico	32350 €	20%
Entrada agua	2500 €	4.5%
Equipos para el sistema de UF	43190 €	39.5%
Gestión de residuos	1200 €	2.5%
Sistemas eléctricos e instrumentación	1560 €	3%
Edificios	1700 €	4%
Puesta en marcha y pruebas de aceptación	1100 €	2%
<b>SUBTOTAL COSTES DIRECTOS</b>	<b>84600 €</b>	<b>77%</b>

Tabla 13. Costes capital indirectos

COSTES DE CAPITAL INDIRECTOS (Construcción)		
Costes de ingeniería del proyecto	3500 €	8%
Desarrollo del proyecto	2300€	6%
Costes financieros del proyecto	4000 €	9%
<b>SUBTOTAL COSTES DIRECTOS</b>	<b>9800 €</b>	<b>23%</b>
<b>COSTES TOTALES DE CAPITAL</b>	<b>94400 €</b>	<b>100%</b>

## Costes anuales de Operación y Mantenimiento

Respecto a los costes de operación y mantenimiento, se tienen en cuenta por un lado los costes variables siendo 53% del total y los costes fijos que son el 47% restante.

Tabla 14. Costes Variables

COSTES VARIABLES		
Energía	267143.12 €	30%
Productos químicos	1500 €	6%
Reemplazamiento de membranas	216625.5 €	12%
Gestión de la corriente residual	1200 €	5%
<b>SUBTOTAL COSTES VARIABLES</b>	<b>486468.62 €</b>	<b>53%</b>

Tabla 15. Costes Fijos

COSTES FIJOS		
Termino de potencia	1450 €	7%
Personal	10000 €	13%
Mantenimiento	1300 €	6%
Vigilancia ambiental	750 €	0.5%
Costes indirectos	1000 €	2.5%
Amortización de la inversión	9247.39 €	18%
<b>SUBTOTAL COSTES FIJOS</b>	<b>23747.39 €</b>	<b>47%</b>
<b>TOTAL COSTES O&amp;M</b>	<b>1151830.05 €</b>	<b>100%</b>

## Costes del agua depurada

Tabla 16. Costes agua depurada

COSTES DEL AGUA €/m <sup>3</sup>	
Total costes de producción	0.42€
Beneficio industrial (10%)	0.04 €
Impuestos (10%)	0.05€
<b>TOTAL COSTES DEL AGUA PRODUCIDA</b>	<b>0.51 €</b>

El coste del agua depurada en este diseño es de 0.51€/m<sup>3</sup>.

## 6 CONCLUSIONES

Tras haber realizado este proyecto, se ha llegado a la conclusión de que el tratamiento de las aguas residuales es de gran importancia puesto que tiene grandes repercusiones medioambientales.

En este proyecto se ha diseñado un tratamiento biológico mediante MBR para la posible implantación en la depuradora de Utiel.

El diseño de la instalación cuenta con un MBR y un modulo de membranas de UF externas, así como un tanque de limpieza para el mantenimiento de esta.

Con respecto a la comparativa entre el tratamiento actual y el propuesto, cabe destacar que la tecnología MBR cuenta con diversas ventajas como son un menor espacio requerido, mayor calidad del efluente, reutilización del agua tratada.

De acuerdo con la información obtenida tras elaborar este presente trabajo, aportar que las características del agua tratada son de gran calidad ya que se reduce los sólidos sedimentables totales prácticamente a 0 mg/L, mientras que con el tratamiento actual el valor está en 7 mg/L.

En cuanto al estudio económico, cierto es que la implantación de esta tecnología es más costosa a nivel de inversión, a pesar de ahorrarnos todo el tratamiento secundario.

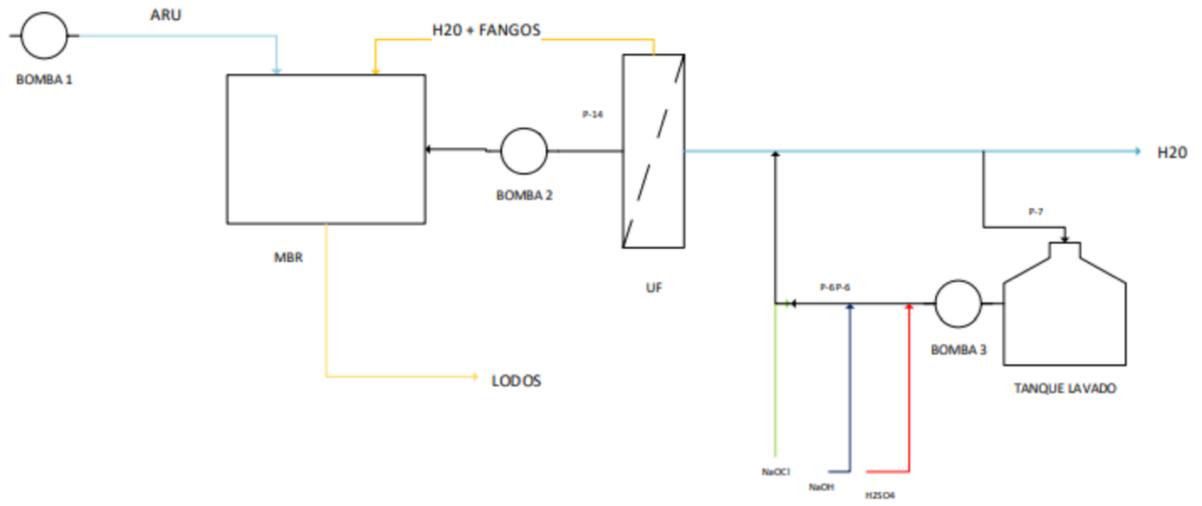
Una vez analizado los costes económicos, aportar que el coste de depurar 1m<sup>3</sup> de agua es 0.51€, valor que garantiza la recuperación de la inversión en el tiempo de vida del proyecto, el cual se ha fijado en 10 años.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Metcalf & Eddy (2000), *Ingeniería de Aguas Residuales*, 3rd ed. Mc Graw Hill.
- [2] Tratamiento biológico de aguas residuales. Recuperado de <https://condorchem.com/es/tratamiento-biologico-aguas-residuales>
- [3] Cicek, N.; Winnen, H.; Suidan, M.T.; Wrenn, B.E.; Urbain, V. and Manem, J. (1998), *Effectiveness of the membrane bioreactor in the biodegradation of high molecular weight compounds*, Wat. Res.
- [4] Tom Stephenson, Simon Judd, Bruce Jefferson & Keith Brindle (2000), *Membrane bioreactors for wastewater treatment*, Iwa Publishing.
- [5] Judd, Simon y Judd, Claire. (2006), *The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment*. USA: Elsevier.
- [6] Langlais, B., y otros (1992), *Test on Microfiltration as a tertiary Treatment Downstream of Fixed Bactery Filtration*.
- [7] Meng, F., y otros. (2009), *Recent Advances in Membrane Bioreactors (MBRs): Membrane Fouling and Membrane Material*.
- [8] Tom Stephenson, Simon Judd, Bruce Jefferson & Keith Brindle (2000), *Membrane bioreactors for wastewater treatment*, Iwa Publishing.
- [9] Totagua. Recuperado de <http://www.totagua.com/pdf/equipos-depuracion/ultrafiltracion.pdf>
- [10] Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Boletín Oficial del Estado. Recuperado de <https://www.boe.es/doue/1991/135/L00040-00052.pdf>
- [11] Welcome to Big Brand Water Filter Inc - Water Filtration, Water Treatment and Purification. Recuperado de <https://www.bigbrandwater.com>

# ANEXOS

## Anexo 1. Plano del diseño propuesto



Anexo 2. Ficha técnica membrana HYDRACap® MAX 40, Hydranautics Nitto Group Company



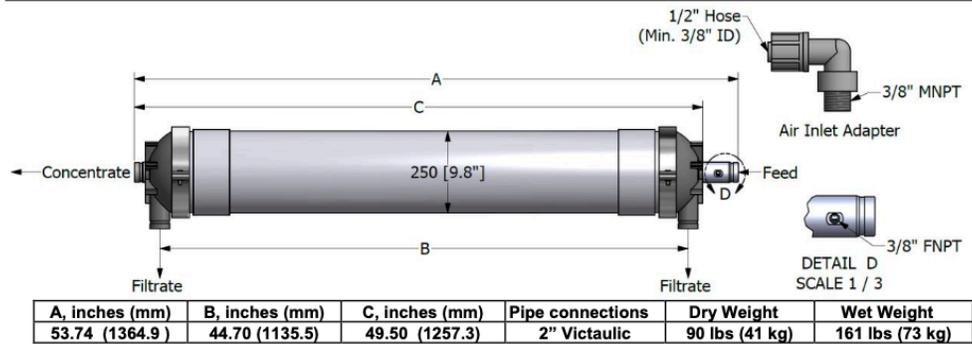
**Capillary Ultrafiltration Module**

**HYDRACap® MAX 40**

<b>Performance<sup>1</sup></b>	Filtrate Flow: Filtrate Turbidity: Bacteria removal:	7.5 – 24.4 gpm (1.7 – 5.5 m <sup>3</sup> /h) ≤ 0.10 NTU ≥ 4 log
<b>Type</b>	Configuration: Membrane Polymer: Nominal Membrane Area: Fiber Dimensions: Pore size:	Capillary Ultrafiltration Module TIPS PVDF 560 ft <sup>2</sup> (52 m <sup>2</sup> ) ID 0.024" (0.6 mm), OD 0.047" (1.2 mm) 0.08 micron
<b>Application Data<sup>2</sup></b>	Typical Filtrate Flux Range: Maximum Applied Feed Pressure: Maximum Transmembrane Pressure: Instantaneous Chlorine Tolerance: Maximum Chlorine Exposure: Maximum Feed Turbidity: Maximum Operating Temperature: pH Operating Range: Cleaning pH Range: Operating Mode:	20 – 65 gfd (34 – 110 l/m <sup>2</sup> /h) 73 psig (5.0 bar) <sup>3</sup> 30 psig (2.0 bar) 5000 ppm <sup>4</sup> 1,000,000 ppm-hrs 300 NTU <sup>5</sup> 104 °F (40 °C) 2.0 – 11.0 1.0 – 13.0 Outside to Inside Filtration Dead End or Cross flow mode

**Typical Process Conditions**

Air Scour Rate:	7.3 – 9.1 acfm (12.3 – 15.4 m <sup>3</sup> /h)
Air Scour Duration:	120 – 240 seconds
Air Scour Frequency:	Once every 20 – 60 minutes
Maintenance Clean Frequency:	1 – 3 times per day
Maintenance Clean Duration:	20 – 30 minutes
Disinfection Chemicals:	NaOCl, ClO <sub>2</sub> or NH <sub>2</sub> Cl
Cleaning Chemicals:	NaOH, HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> or Citric Acid



**Certifications:** NSF61, NSF419 (US LT2ESWTR – Public Drinking Water Compliance)

<sup>1</sup> Typical module performance for most feedwaters.  
<sup>2</sup> The limitations shown here are for general use. The values may be more conservative for specific projects to ensure the best performance and longest life of the membrane.  
<sup>3</sup> At ≤20°C, 58psi (4 bar) between 21 – 30°C, 44 psi (3 bar) between 31 – 40°C.  
<sup>4</sup> For 60 minutes or less.  
<sup>5</sup> Higher values can be treated. Consult Hydranautics' technical staff.



**Notice:** Hydranautics also offers HYDRACap® MAX 40-NON, which is a dummy module with no potting or fiber. Hydranautics believes the information and data contained herein to be accurate and useful. The information and data are offered in good faith, but without guarantee, as conditions and methods of use of our products are beyond our control. Hydranautics assumes no liability for results obtained or damages incurred through the application of the presented information and data. It is the user's responsibility to determine the appropriateness of Hydranautics' products for the user's specific end uses. 2/27/19

Anexo 3. Ficha técnica membrana HYDRACap® MAX 60, Hydranautics Nitto Group Company



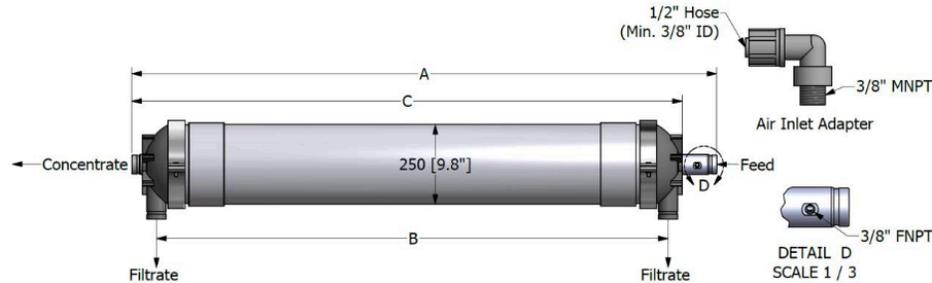
**Capillary Ultrafiltration Module**

**HYDRACap® MAX 60**

<b>Performance<sup>1</sup></b>	Filtrate Flow: Filtrate Turbidity: Bacteria removal:	11.7 – 37.9 gpm (2.7 – 8.6 m <sup>3</sup> /h) ≤ 0.10 NTU ≥ 4 log
<b>Type</b>	Configuration: Membrane Polymer: Nominal Membrane Area: Fiber Dimensions: Pore size:	Capillary Ultrafiltration Module TIPS PVDF 840 ft <sup>2</sup> (78 m <sup>2</sup> ) ID 0.024" (0.6 mm), OD 0.047" (1.2 mm) 0.08 micron
<b>Application Data<sup>2</sup></b>	Typical Filtrate Flux Range: Maximum Applied Feed Pressure: Maximum Transmembrane Pressure: Instantaneous Chlorine Tolerance: Maximum Chlorine Exposure: Maximum Feed Turbidity: Maximum Operating Temperature: pH Operating Range: Cleaning pH Range: Operating Mode:	20 – 65 gfd (34 – 110 l/m <sup>2</sup> /h) 73 psig (5.0 bar) <sup>3</sup> 30 psig (2.0 bar) 5000 ppm <sup>4</sup> 1,000,000 ppm-hrs 300 NTU <sup>5</sup> 104 °F (40 °C) 2.0 – 11.0 1.0 – 13.0 Outside to Inside Filtration Dead End or Cross flow mode

**Typical Process Conditions**

Air Scour Rate:	7.3 – 9.1 acfm (12.3 – 15.4 m <sup>3</sup> /h)
Air Scour Duration:	120 – 240 seconds
Air Scour Frequency:	Once every 20 – 60 minutes
Maintenance Clean Frequency:	1 – 3 times per day
Maintenance Clean Duration:	20 – 30 minutes
Disinfection Chemicals:	NaOCl, ClO <sub>2</sub> or NH <sub>2</sub> Cl
Cleaning Chemicals:	NaOH, HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> or Citric Acid



A, inches (mm)	B, inches (mm)	C, inches (mm)	Pipe connections	Dry Weight	Wet Weight
72.15 (1832.6)	63.11 (1602.9)	67.90 (1724.7)	2" Victaulic	115 lbs (52 kg)	220 lbs (100 kg)

**Certifications: NSF61, NSF419 (US LT2ESWTR – Public Drinking Water Compliance)**

<sup>1</sup> Typical module performance for most feedwaters.  
<sup>2</sup> The limitations shown here are for general use. The values may be more conservative for specific projects to ensure the best performance and longest life of the membrane.  
<sup>3</sup> At ≤20°C. 58psi (4 bar) between 21 - 30°C. 44 psi (3 bar) between 31 – 40°C.  
<sup>4</sup> For 60 minutes or less.  
<sup>5</sup> Higher values can be treated. Consult Hydranautics' technical staff.



**Notice:** Hydranautics also offers HYDRACap® MAX 60-NON, which is a dummy module with no potting or fiber. Hydranautics believes the information and data contained herein to be accurate and useful. The information and data are offered in good faith, but without guarantee, as conditions and methods of use of our products are beyond our control. Hydranautics assumes no liability for results obtained or damages incurred through the application of the presented information and data. It is the user's responsibility to determine the appropriateness of Hydranautics' products for the user's specific end uses. 2/27/19

Anexo 4. Ficha técnica membrana HYDRACap® MAX 80, Hydranautics Nitto Group Company



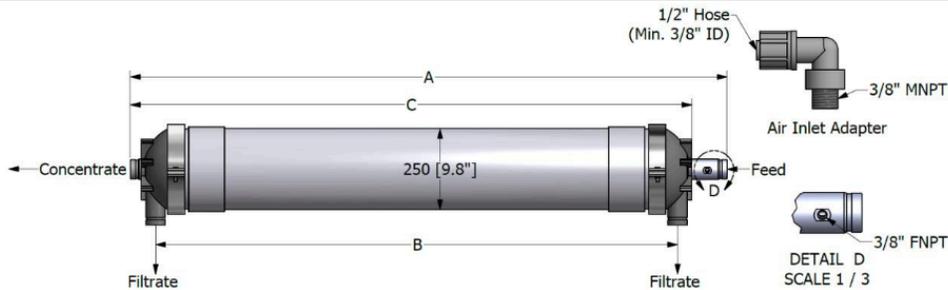
**Capillary Ultrafiltration Module**

**HYDRACap® MAX 80**

<b>Performance<sup>1</sup></b>	Filtrate Flow: Filtrate Turbidity: Bacteria removal:	15.7 – 51.0 gpm (3.6 – 11.6 m <sup>3</sup> /h) ≤ 0.10 NTU ≥ 4 log
<b>Type</b>	Configuration: Membrane Polymer: Nominal Membrane Area: Fiber Dimensions: Pore size:	Capillary Ultrafiltration Module TIPS PVDF 1130 ft <sup>2</sup> (105 m <sup>2</sup> ) ID 0.024" (0.6 mm), OD 0.047" (1.2 mm) 0.08 micron
<b>Application Data<sup>2</sup></b>	Typical Filtrate Flux Range: Maximum Applied Feed Pressure: Maximum Transmembrane Pressure: Instantaneous Chlorine Tolerance: Maximum Chlorine Exposure: Maximum Feed Turbidity: Maximum Operating Temperature: pH Operating Range: Cleaning pH Range: Operating Mode:	20 – 65 gfd (34 – 110 l/m <sup>2</sup> /h) 73 psig (5.0 bar) <sup>3</sup> 30 psig (2.0 bar) 5000 ppm <sup>4</sup> 1,000,000 ppm-hrs 300 NTU <sup>5</sup> 104 °F (40 °C) 2.0 – 11.0 1.0 – 13.0 Outside to Inside Filtration Dead End or Cross flow mode

**Typical Process Conditions**

Air Scour Rate:	7.3 – 9.1 acfm (12.3 – 15.4 m <sup>3</sup> /h)
Air Scour Duration:	120 – 240 seconds
Air Scour Frequency:	Once every 20 – 60 minutes
Maintenance Clean Frequency:	1 – 3 times per day
Maintenance Clean Duration:	20 – 30 minutes
Disinfection Chemicals:	NaOCl, ClO <sub>2</sub> or NH <sub>2</sub> Cl
Cleaning Chemicals:	NaOH, HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , or Citric Acid



A, inches (mm)	B, inches (mm)	C, inches (mm)	Pipe connections	Dry Weight	Wet Weight
92.15 (2340.6)	83.11 (2110.9)	87.90 (2232.7)	2" Victaulic	135 lbs (62 kg)	260 lbs (118 kg)

**Certifications: NSF61, NSF419 (US LT2ESWTR – Public Drinking Water Compliance)**

<sup>1</sup> Typical module performance for most feedwaters.  
<sup>2</sup> The limitations shown here are for general use. The values may be more conservative for specific projects to ensure the best performance and longest life of the membrane.  
<sup>3</sup> At ≤20°C, 58psi (4 bar) between 21 - 30°C, 44 psi (3 bar) between 31 – 40°C.  
<sup>4</sup> For 60 minutes or less.  
<sup>5</sup> Higher values can be treated. Consult Hydranautics' technical staff.



**Notice:** Hydranautics also offers HYDRACap® MAX 80-NON, which is a dummy module with no potting or fiber. Hydranautics believes the information and data contained herein to be accurate and useful. The information and data are offered in good faith, but without guarantee, as conditions and methods of use of our products are beyond our control. Hydranautics assumes no liability for results obtained or damages incurred through the application of the presented information and data. It is the user's responsibility to determine the appropriateness of Hydranautics' products for the user's specific end uses. 2/27/2019

## Anexo 5. Calidad agua de entrada y salida

DATOS DE 2018				CAUDAL Y CARGA TRATADA			CONSUMO ELÉCTRICO		CALIDAD DEL AGUA INFLUENTE Y EFLUENTE - RENDIMIENTOS DE DEPURACIÓN													
EDAR	VOLUMEN DEPURADO m <sup>3</sup> /año	VOLUMEN DEPURADO m <sup>3</sup> /día	he tratados	KWH/año	SS-E	SS-S	SS-R	DBOS-E	DBOS-S	DBOS-R	DQO-E	DQO-S	DQO-R	NT-E	NT-S	NT-R	PT-E	PT-S	PT-R			
SIMAT DE LA VALLDIGNA	509.166	1.395	3.298	99.829	159	5	96	142	5	96	263	19	91	25	8,29	61	3,04	1,27	54			
SINARCAS	111.722	306	1.274	64.834	218	16	92	250	11	95	391	43	89	46,06	17,16	57	7,77	1,93	67			
SISTEMA CALLOSA DEL SEGURA	3.155.027	8.644	61.199	1.208.277	415	4	98	425	3	99	690	26	96	48,86	3,15	93	7,16	1,75	75			
SONEJA	149.434	409	1.885	66.442	308	7	97	276	7	97	539	26	95	49,6	4,31	91	6,23	1,33	69			
SOT DE FERRER	38.900	107	399	28.274	183	13	92	225	14	93	396	36	91	58,8	28,3	59	5,21	2,44	48			
SUECA	3.069.896	8.411	17.843	672.375	103	5	94	127	7	93	275	23	90	31,7	5,96	81	5,13	0,48	89			
SUECA (EL PERELLO)	766.170	2.099	3.760	239.516	87	6	90	107	6	88	223	25	81	31,5	4,83	81	4,27	0,3	92			
SUMACARCER	57.114	156	630	23.360	107	5	94	242	6	97	420	26	93	54,11	2,33	95	8,11	2,61	60			
TALES - SUERAS	79.540	218	745	71.585	164	8	93	205	6	94	392	24	91	45,41	8,4	60	4,32	2,59	25			
TARBENA	37.088	102	268	25.235	108	10	90	159	5	96	274	29	88	57,87	5,91	89	4,86	2,65	39			
TAVERNES (BASA)	449.989	1.233	5.673	305.166	326	21	91	276	7	97	597	43	91	60,5	16,29	77	8,71	2,99	75			
TAVERNES (CASCO)	716.505	1.963	8.008	470.050	156	6	95	245	5	97	435	24	94	57,42	12,51	77	6,08	1,84	66			
TAVERNES (GOLETA)	291.283	798	1.161	55.698	122	9	83	87	6	89	234	32	76	36,14	12,64	53	3,64	1,28	60			
TERESA	46.541	128	120	14.859	40	7	80	57	6	86	113	18	79	18,74	12,49	39	3,11	1,19	60			
TERESA DE COFRENTES	41.460	114	929	20.177	1196	5	99	491	7	98	1726	17	99	88,43	1,76	98	16,14	2,3	84			
TERRATEIG	16.948	46	110	14.994	102	6	94	142	4	96	259	25	89	24,33	5,67	78	3,43	3,71	2			
TEULADA	253.581	695	5.625	118.725	295	11	96	486	6	99	854	44	95	87,33	21,45	76	11	3,33	70			
TEULADA (BENISOL)	9.125	25	124	4.033	116	10	90	298	5	98	492	26	94	71,3	11,15	78	7	2,59	52			
TEULADA (MORAIRA)	520.095	1.425	7.361	866.869	285	3	99	310	5	99	587	19	96	52,9	5,05	90	8,48	1,02	86			
TIBI	43.784	120	858	33.760	219	18	92	429	15	97	684	54	92	75,59	22,86	64	9,02	2,59	70			
TIRIG	23.288	65	202	15.293	117	9	91	186	9	94	400	42	88	61,03	23,83	56	5,68	4,17	33			
TITAGUAS	111.399	305	1.271	72.336	270	9	96	250	7	96	502	27	94	27,02	6,22	75	4,43	1,89	78			
TOGA	7.725	21	66	8.470	128	4	96	187	5	97	342	16	95	63,4	15,6	69	6	7,84	23			
TOLLOS	1.747	5	18	9.626	148	13	91	231	6	97	417	36	91	52,56	14,3	71	9,26	3	67			
TORAS	19.710	54	89	11.797	137	7	93	99	8	91	195	27	83	28,62	20,62	33	2,94	2,38	25			
TORRE D'EN BESORA	9.490	26	63	14.059	76	6	90	146	7	94	280	31	87	73,19	54,5	64	6,04	3,95	33			
TORRE DE LES MAÇANES	41.732	114	749	24.146	218	10	93	393	9	98	623	44	92	72,3	8,85	88	8,25	2,78	63			
TORRE ENDOMENECH	16.755	46	89	12.817	89	7	84	117	5	88	265	29	74	36,12	25,52	21	3,55	2,7	21			
TORREBAJA	73.996	203	245	41.646	59	4	93	73	4	89	134	11	91	22,99	3,06	82	2,17	1,51	19			
TORREBLANCA	558.217	1.529	5.778	240.139	165	5	97	227	4	98	415	23	94	41,73	8,8	76	4,86	0,85	82			
TORRECHIVA	13.082	36	172	7.016	243	4	97	287	4	98	470	13	96	42,28	1,94	96	5,34	2,38	53			
TORRENT	1.845.961	5.057	36.458	1.152.554	360	16	95	433	13	97	812	65	92	87,92	42,72	53	13,32	1,98	79			
TORRES TORRES	94.052	258	1.054	94.792	147	5	97	246	8	97	482	27	94	63,5	10,53	86	7,69	2,63	72			
TORREVEJIA	6.745.075	18.480	140.223	7.418.805	355	3	99	455	3	99	738	29	96	76,49	13,93	82	8,75	1,11	87			
TOUS	92.214	253	568	43.707	68	8	77	135	7	91	318	36	78	35,96	7,74	71	4,02	2,29	42			
TRAIGUERA - LA JANA	119.636	328	988	66.231	102	7	93	181	5	97	357	27	91	55,62	5,62	91	6,01	3,52	33			
TUEJAR	207.035	567	1.437	66.455	108	6	93	152	6	93	289	29	83	34,37	12,41	56	2,96	1,05	59			
TURIS (URB. ALTURY)	26.935	74	134	8.302	75	4	93	109	5	94	234	26	88	39,66	7,23	79	5,57	1,71	66			
TURIS 1	245.372	672	3.134	73.977	204	26	86	280	35	87	570	95	83	64,7	46,93	30	6,54	4,38	35			
TURIS 2	73.259	201	1.121	27.892	149	17	87	335	20	93	625	70	85	76,26	8,94	80	7,17	7,33	88			
USERES	64.044	175	787	48.625	130	12	87	269	4	97	485	29	91	61,35	15,97	70	5,39	5,38	15			
<b>UTIEL</b>	<b>704.293</b>	<b>1.930</b>	<b>14.564</b>	<b>545.657</b>	<b>352</b>	<b>7</b>	<b>98</b>	<b>453</b>	<b>8</b>	<b>98</b>	<b>861</b>	<b>41</b>	<b>95</b>	<b>81,01</b>	<b>21,74</b>	<b>71</b>	<b>8,33</b>	<b>0,78</b>	<b>90</b>			

## Air Fine Bubble Diffuser

**CDF-250** type fine bubble membrane diffusers are very flexible, durable and consistent. An upwardly convex disc is covered by elastic rubber diaphragm that perforate “Z” slits. In addition. A clamp ring circumferentially secures the rubber diaphragm. The [non-return valve](#) in the center of the diaphragm as a safety feature preventing sludge from entering the piping and clogging the whole system.

### Features:

- High Oxygen Transfer Efficiency
- Back Flow Prevention
- Low Pressure Loss
- Non-Clog Operation
- Wide Range Air Flow
- Material Resistant for Wastewater
- Simple Installation Procedures
- Low Energy Consumption
- Extended Lifetime Expectancy



CDF- 250N



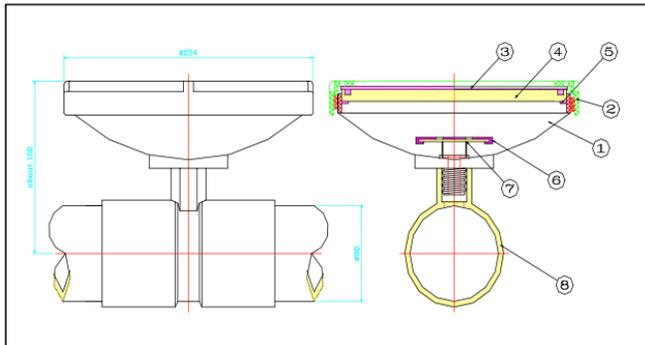
CDF- 250E

### Specifications:

MODEL	CDF-250N	CDF-250E
Disc Diameter (mm)	254	254
Flow rate ( m3/hr)	4.0-6.5	4.0-6.5
SOTE (%)	20-40	20-40
Frame /Membrane	ABS/ EPDM	ABS/ EPDM
Bubble Diameter(mm )	1-3	1-3
Aeration Density(%)	3-15	3-15
Square of Disc( m2/per-pcs)	0.035	0.035
Connection(PTB inch)	3/4	3/4
Check Valve Diameter(mm)	EPDM, 77	EPDM, 26(option)
Disc Height (mm)	105	55

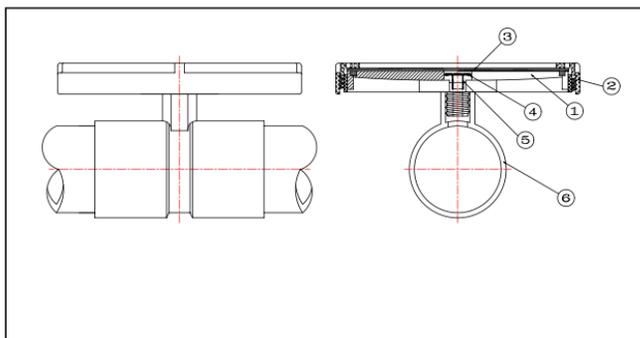
## Structural & Materials:

Model: CDF-250 N



1	Main Body	ABS
2	Clamp Ring	ABS
3	Membrane	EPDM
4	Separate plate	ABS
5	Rubber Seal	EPDM
6	Check-valve membrane	EPDM
7	Check-valve socket	ABS
8	Reducing Tee	PVC

Model: CDF-250 E



1	Main Body	ABS
2	Clamp Ring	ABS
3	Membrane	EPDM
4	Check-valve membrane	EPDM
5	Check-valve socket	ABS
6	Reducing Tee	PVC

## Applications:

- Treatment of municipal and industrial wastewater
- Oxygenation for sludge stabilization
- Aeration of streams and fish ponds

### ENFOUND ENTERPRISE CO., LTD.

Mailing Address: P.O Box 3-129, Mucha, Taipei, Taiwan

TEL: +886-2-29365894 FAX: +886-8-7230230

<http://www.en-found.com> E-mail: [info@en-found.com](mailto:info@en-found.com)

Agent