

**“EDAR Urbana
avanzada con
tratamiento terciario
para la eliminación de
nuevos contaminantes”**

Alfonso Bonilla Rodríguez

Cristina García Santamaría

Virginia Esquinas Martínez

ÍNDICE

1. Introducción

1.1. Legislación aplicable

1.2. Concepto de contaminante emergente

1.3. Tipos y problemas que generan los contaminantes emergentes

1.3.1. Retardantes de llama bromados

1.3.2. Parafinas cloradas

1.3.3. Pesticidas polares

1.3.4. Compuestos perfluorados

1.3.5. Fármacos y productos de higiene personal

1.3.6. Drogas

1.3.7. Surfactantes y sus metabolitos

1.4. Tecnologías de eliminación de contaminantes emergentes

1.4.1. Procesos avanzados

1.4.2. Procesos fisicoquímicos

1.4.3. Procesos biológicos

1.4.4. Procesos combinados

1.5. Consideraciones

2. Objetivos, localización y datos de partida

2.1 Datos de partida

3. Diseño

3.1. Pretratamiento

3.1.1. Obra de llegada y alivio caudal

3.1.2. Predesbaste: Pozo de gruesos

3.1.3. Desbaste

3.1.4. Desarenador

3.2. Depósito de regulación

3.3. Tratamiento primario

3.4. Tratamiento secundario

- 3.4.1. Proceso biológico
 - 3.4.1.1. Edad del fango y MLSS
 - 3.4.1.2. Recirculación de fangos
 - 3.4.1.3 Fangos en exceso
- 3.4.2. Separación por membranas
 - 3.4.2.1. Tamaño de poro
 - 3.4.2.2. Material de fabricación
 - 3.4.2.3. Morfología y estructura interna
 - 3.4.2.4. Configuración de las membranas

3.5. Tratamiento terciario

- 3.5.1. Adsorción de carbón activo

4. Estudio económico

4.1 Estructura de costes

- 4.1.1. Costes fijos
- 4.1.2. Costes variables

4.2. Costes fijos

- 4.2.1. Mantenimiento y explotación
- 4.2.2 Costes de personal
- 4.2.3. Reposición de membranas
- 4.2.4. Energía. Término de potencia
- 4.2.5. Seguridad e higiene
- 4.2.6. Otros costes
 - 4.2.6.1. Amortización
 - 4.2.6.2. Seguro
 - 4.2.6.3. Material de oficina
 - 4.2.6.4. Comunicaciones (telefonía fija y móvil, correos)
 - 4.2.6.5. Vestuario
- 4.2.7. Resumen de costes fijos

4.3. Costes variables

- 4.3.1 Costes de energía
- 4.3.2. Costes de transporte

4.3.3. Análisis de laboratorio

4.3.4. Resumen de costes variables

5. Estudio de impacto ambiental

5.1. Introducción y objeto de estudio

5.2. Descripción de la actuación

6. Conclusiones

7. Bibliografía

1. INTRODUCCIÓN

El agua es objeto de estudio debido a la importancia que tiene la conservación de los recursos naturales, para que puedan ser aprovechados por los seres vivos.

Los contaminantes emergentes han empezado a preocupar desde hace unos años debido a que antes no se medía su concentración en las aguas y la cantidad que se usaba de ellos era menor. Preocupa si son una amenaza para la salud pública y de los organismos acuáticos, demostrando mediante la realización de muchos estudios que son altamente peligrosos para los peces debido a la bioacumulación que experimentan en sus tejidos. Numerosos estudios han demostrado que los contaminantes emergentes también afectan a la salud de humanos en relación a problemas endocrinos como descenso del número de espermatozoides en hombres, aumento de los casos de cáncer de testículos, próstata, mama y ovarios y malformaciones en recién nacidos.

Se está empezando a tener conciencia del problema y con ello se están empezando a realizar estudios de cómo se podría llevar a cabo su eliminación.

1.1. Legislación aplicable

1) Directiva 91/271/CEE Anexo 1, sobre El Tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas sujetos a lo dispuesto en los artículos 4 y 5 para más de 15.000 Hab-eq. Se deberán cumplir los siguientes parámetros de vertidos:

Tabla 1 Límites de Vertido según Directiva 91/271/CEE de Aguas Residuales

Parámetros	Límites de vertido (ppm)
DBO5	25
DQO	125
SS	35
Pt	1
Nt	10

2) RD 1620/2007, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. Anexo 1: Criterios de calidad para la reutilización de las aguas

según el uso 3.2: Usos industriales para torres de refrigeración y condensadores evaporativos.

Tabla 2 Valor máximo admisible según RD 1620/2007

Parámetros	Valor máximo admisible
Nematodos intestinales	1 huevo/10 L
Escherichia coli	-
SS	5 mg/L
Turbidez	1 UNT

1.2. Concepto de contaminante emergente

Anteriormente han surgido varios intentos de definiciones de contaminante emergente, entre los cuales destaca:

- Un nuevo grupo de productos químicos antropogénicos persistentes clasificados no regulados que pueden existir en el aire, suelo, agua, alimentos y seres vivos en concentraciones traza y que son capaces de alterar la fisiología de receptores diana.
- Un nuevo grupo de contaminantes antropogénicos, constituido por nuevos compuestos utilizados en la industria, alimentación, farmacología, agricultura, etc.
- Productos químicos conocidos que aparecen como nuevos en el medio ambiente y que por sus características no se sospechaba de sus posibles consecuencias perjudiciales.
- Compuestos resultantes de la degradación y recombinación de productos químicos artificiales con larga persistencia en distintos medios naturales.
- Mezclas de productos químicos que individualmente pueden ser inocuos pero que, combinados, son capaces de degradar la salud de los seres humanos, los ecosistemas y la vida silvestre.

Ninguna de ellas puede llegar a recoger las múltiples matizaciones que encierra el término contaminantes emergente.

Actualmente se acepta que un contaminante emergente es un material, un elemento, un compuesto, una especie química, e incluso un fenómeno físico desconocido o no reconocido, cuya presencia en el medio ambiente, en alimentos, en

cualquier producto natural o artificial, o en cualquier ser vivo, no es necesariamente nueva, pero sí son nuevas las posibles consecuencias perjudiciales de esa presencia.

La contaminación por productos químicos y por productos procedentes de la actividad humana está teniendo un importante impacto sobre la Tierra y en nuestra propia salud y bienestar. Las huellas de la contaminación antropogénica se encuentra desde la estratosfera hasta la profundidad de los océanos, de polo a polo, en la vida silvestre, en la cadena alimentaria. El término contaminante emergente a menudo causa confusión, ya que no es solo para los propios productos químicos, sino también para dimensiones asociadas a sus propiedades y al concepto “fuente continua-efecto”, aunque sea a muy bajas concentraciones.

En la actualidad la mayoría de los contaminantes emergentes se detectan en algunos ecosistemas acuáticos en muy pequeñas cantidades de ppb a ppt. Un origen importante de estos contaminantes de estos efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR).

Algunos de estos contaminantes son persistentes en el ambiente y, a través de la cadena alimentaria, hacen su camino de regreso a los seres vivos. Los contaminantes pueden ser tan variados como productos para el cuidado personal (por ejemplo, agentes antimicrobianos y tintes), productos farmacéuticos, retardantes de llama, nuevas clases de pesticidas, drogas ilícitas, productos químicos industriales, colorantes, etc. En los últimos años, todo tipo de nanomateriales se han unido a la lista de potenciales contaminantes emergentes.

La amplia variedad de contaminantes emergentes que se pueden encontrar en nuestro entorno, la diversidad de sus estructuras químicas, la falta de información en cuanto a sus mecanismos de transporte y transformación y sus efectos sobre la salud humana y los ecosistemas son algunos elementos que estimulan la investigación científica así como la creciente preocupación de las Administraciones públicas.

Por último los contaminantes emergentes no están regulados, es decir, no hay una legislación que indique su valor límite de emisión.

1.3. Tipos y problemas que generan los contaminantes emergentes

Los compuestos más relevantes a día de hoy son:

- Retardantes de llama bromados.
- Parafinas cloradas.
- Pesticidas polares.
- Compuestos perfluorados.
- Fármacos y productos de higiene personal.
- Drogas.
- Surfactantes y sus metabolitos.

1.3.1. Retardantes de llama bromados

Los retardantes de llama bromados (BFRs) son compuestos empleados como aditivos o reactivos en una amplia variedad de polímeros. También se utilizan en una gran variedad de productos de consumo, como pueden ser el material electrónico y los materiales de construcción. En la actualidad se producen unas 20-25 clases de BFRs, siendo tres de ellas las más importantes como son el tetrabromobisfenol A, hexabromociclododecano y difenil-éteres polibrominados (Wit, 2002). Las estructuras de estos compuestos se muestran en la Figura 1.

Estos productos se han encontrado en una gran variedad de muestras tanto humanas y animales, así como medioambientales. Aunque no está completamente demostrado, existen serios indicios sobre sus posibles efectos adversos, como disrupción endocrina y cáncer (Barceló y López de Alda, 2008). Es por ello por lo que se ha motivado la aplicación del principio de precaución y medidas legislativas para su control. Su análisis es muy complicado, ya que existen un gran número de congéneres con diferentes estructuras y propiedades.

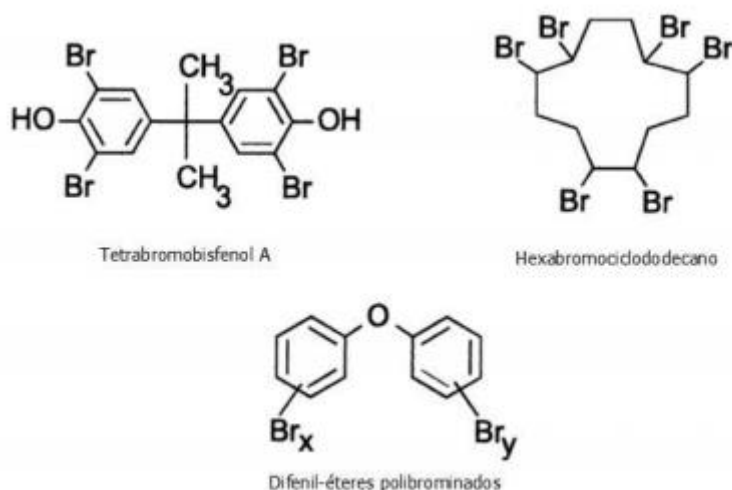


Figura 1. Tipos de retardantes bromados.

1.3.2. Parafinas cloradas

Las parafinas cloradas (CPs) son formadas por mezclas extremadamente complejas de alcanos de cadena lineal policlorados (PCAs), con un número de átomos de carbono entre 10 y 30 y un contenido en cloro entre el 30-70 % de su masa (Kenne y Ahlborg, 1996).

Se clasifican en función de la longitud de la cadena carbonosa en tres categorías (Castells et al., 2003):

- Cadena corta (C10-C13).
- Cadena intermedia (C14-C17).
- Cadena larga (C20-C30).

Se desconoce su origen natural, son solubles en agua y con una fuerte tendencia a absorberse en sedimentos. Se encuentran mayoritariamente en aguas.

La mayor peligrosidad se encuentra en las parafinas cloradas de cadena corta y con un contenido en cloro de un 60 %, ya que están catalogadas como posibles carcinógenos humanos. Su análisis y determinación presenta grandes dificultades debido a la complejidad de las mezclas y a la escasez de patrones individuales.

1.3.3. Pesticidas polares

Los pesticidas son compuestos orgánicos de carácter antropogénico. Representan un elevado peligro para la salud de las personas, la flora y la fauna y el medio ambiente. Actualmente se conocen alrededor de 16 millones de pesticidas diferentes y cada año se sintetizan, aproximadamente, 250.000 nuevos compuestos. Aunque los pesticidas se regularon hace décadas, el problema radica en sus productos de degradación, prácticamente ignorados hasta la actualidad, pero que pueden resultar más tóxicos incluso que los productos de partida.

La estructura química de los pesticidas es muy diversa, siendo los grupos más importantes los siguientes (Biziuk et al., 1996):

- Carbamatos: eficaces herbicidas, insecticidas y fungicidas, son altamente biodegradables. El carbaril y la carbenzima son de los más empleados.
- Cloroacetanilidas: pre-herbicidas para controlar la proliferación de la maleza. El metaloclor fue uno de los primeros pesticidas que se detectó en las aguas subterráneas y superficiales.
- Clorofenoxiácidos: herbicidas para uso agrícola, en las actividades forestales y de control de la maleza, tienden a absorberse en el suelo. Ejemplos más comunes de este tipo de compuestos son bentazona y triclopyr.
- Organoclorados: insecticidas agrícolas, altamente persistentes en el medioambiente, son hidrófobos, tienen muy baja solubilidad y son conocidos por su alta toxicidad. Los compuestos de este tipo que se encuentran más frecuentemente en el agua son el 1,1,1-tricloro-2,2-bis(4-clorofenil) etano (DDT), la dieldrina, el lindano y el metoxicloro.
- Organofosforados: insecticidas que actúan como neurotóxicos.
- Piretroide: insecticidas, son hidrofóbicos y pueden ser persistentes en el medioambiente.
- Triazinas: herbicidas selectivos. Algunos ejemplos de triazinas son la cianazina, la atrazina, y la simazina, estos dos últimos son persistentes y solubles en agua.

1.3.4. Compuestos perfluorados

Los compuestos perfluorados (PFCs) son un grupo de sustancias químicas con una cadena hidrofóbica lineal de carbonos completamente fluorados, unida a diversos grupos hidrofílicos.

1.3.5. Fármacos y productos de higiene personal

Los productos farmacéuticos (PPCPs) son un amplio grupo de compuestos químicos empleados en el cuidado de la salud humana y animal. Los fármacos son los contaminantes emergentes que más interés ha suscitado y han sido objeto de numerosos estudios, cogiendo fuerza en la década de los 90. Debido a sus propiedades físico-químicas y a las características de los suelos, estas sustancias pueden alcanzar las aguas subterráneas, contaminando los acuíferos o permanecer retenidas en los suelos. El control de los productos farmacéuticos es muy complejo; su origen no radica en las industrias dedicadas a su producción, que se encuentran perfectamente reguladas y controladas, si no, en el uso por parte de las personas, que vierten constantemente fármacos y restos de los mismos, haciendo que sea algo casi imposible de controlar.

Los fármacos más comunes son los analgésicos/antiinflamatorios, tales como el ibuprofeno, el diclofenaco, y los antiepilépticos, sin olvidarse que el uso de productos farmacéuticos en veterinaria, agricultura y ganadería ha ido aumentando en los últimos años. Los grupos farmacéuticos que se consideran actualmente más peligrosos son los siguientes:

- Antibióticos.
- Medios de contraste en Rayos X: Son muy persistentes y no son eliminados en las plantas de tratamiento de aguas convencionales.
- Citostáticos: Presentan propiedades carcinogénicas, mutagénicas o embriogénicas y al igual que en el caso anterior no son eliminados en las plantas de tratamiento de aguas convencionales.
- Estrógenos: Pueden producir feminización, hermafroditismo y disminución de la fertilidad.

Algunos ejemplos de la peligrosidad de los fármacos son los siguientes:

- La concentración del diclofenaco encontrada para la toxicidad crónica en los pescados está en el rango de las concentraciones de aguas residuales.
- Se ha demostrado que el antibiótico ciprofloxacina tiene efectos perniciosos sobre el placton y el crecimiento de algas con importantes efectos estrogénicos.
- El anticonceptivo α -etinilestradiol produce efectos estrogénicos en peces en concentraciones extremadamente bajas (ng/l). Estos efectos incluyen la alteración de los procesos de reproducción, características sexuales y la disminución de la fertilización del huevo.

1.3.6. Drogas

En los últimos años las drogas ilícitas han destacado como contaminantes emergentes de interés. Los diversos tratamientos realizados en las plantas depuradoras son ineficientes para la recuperación de estos compuestos. Los estudios realizados para detectar las drogas de abuso en las aguas son relativamente escasos (Petrovic et al., 2003), centrándose estos trabajos en la cocaína, estimulantes anfetamínicos, opiáceos y cannabis.

1.3.7. Surfactantes y sus metabolitos

Los surfactantes son utilizados con propósitos de limpieza y producidos en grandes cantidades. Suponen uno de los contaminantes orgánicos más importantes producidos por el hombre. Luego de su uso los detergentes son llevados a las plantas de tratamiento de aguas en el que son tratados y parcialmente eliminados con combinaciones de productos de sorción y biodegradación.

Uno de los surfactantes más importantes es el alquilfenol etoxilado (APEOs). Los APEOs son surfactantes no iónicos usados en limpieza industrial, no se consideran tóxicos pero sus productos metabolitos producen estrógenos.

1.4. Tecnologías de eliminación de contaminantes emergentes

A lo largo de la historia las plantas de tratamiento de aguas residuales han sido diseñadas para la eliminación de materia orgánica y ciertos tipos de contaminantes, especialmente los que se especifican en las normas oficiales. Sin embargo, el estudio de nuevos contaminantes como los emergentes, los cuales poseen una amplia gama de propiedades químicas, requieren de tratamientos avanzados para una segura incorporación de las aguas residuales al medio ambiente.

A continuación se muestran los tratamientos utilizados para purificar las aguas residuales y su rendimiento respecto a los contaminantes emergentes, siendo nuestro proceso escogido un proceso avanzado.

1.4.1. Procesos avanzados:

Nuestro proceso escogido es un tratamiento avanzado en el que se utiliza un reactor biológico de membrana (MBR) seguido de una adsorción de carbón activo. Además nuestro proceso se compone de un depósito de regulación, un pretratamiento y una decantación primaria.

El proceso de MBR es una tecnología de membrana que sustituye el decantador en el proceso de fangos activos convencional de una EDAR. De esta forma la separación de la fase sólido-líquido se realiza por filtración a través de las membranas, en lugar de sedimentación en el decantador, consiguiéndose un efluente tratado que reúne, generalmente, los requisitos para reutilización para usos industriales.

Las principales ventajas son las siguientes:

- Menor requerimiento de espacio.
- Mayor calidad de efluente similar a la de tratamiento terciario de un proceso convencional, para valorar la implantación de un MBR, conviene realizar un balance técnico- económico completo que nos permita diferenciar claramente las ventajas e inconvenientes del proceso convencional instalado y el MBR que lo sustituiría.

La diferencia entre el proceso convencional de fangos activados y los MBR es la superficie ocupada por ambos procedimientos para una misma capacidad de tratamiento.

Para una misma capacidad de tratamiento, la diferencia en superficie puede llegar a ser un 35% menor. Ello se debe no solo a las altas concentraciones de biomasa, que permiten trabajar con volúmenes de reactor más pequeños, sino a la eliminación del decantador secundario como etapa de sedimentación en el proceso convencional.

Al haber una superficie menor, implica un importante ahorro en obra civil en el caso de una nueva instalación. Por lo tanto, se podría justificar el empleo de los MBR frente a los tratamientos convencionales por el importante ahorro en espacio que supondría su aplicación: Disminución de obra civil, mayor ahorro económico.

El MBR es una solución compacta que no necesita decantador, ya que la separación se realiza en las membranas y se opera con concentraciones de sólidos en el reactor, en lugar de operar a concentraciones típicas de procesos de fangos activos, ocupando hasta 3-4 veces menos espacio que un tratamiento convencional con tratamiento terciario.

Los procesos de adsorción con carbón activo son efectivos para remover contaminantes emergentes (Filale et al., 2004; Westerhoff et al., 2005), siendo la causa la competencia por los sitios activos en la superficie o el bloqueo de los poros con otras partículas, aunque es necesario un proceso de MBR ya que sino se pierde rendimiento de eliminación de los contaminantes emergentes.

El carbón activo presenta una elevada área superficial, por su distribución de tamaño de poros y su naturaleza química superficial. Por este motivo, su uso como adsorbente es considerado como un buen método para la eliminación de contaminantes emergentes de las aguas. Una de sus ventajas es que se lleva a cabo en condiciones suaves de temperatura y presión, pero, aunque el carbón activo es un adsorbente universal, la clave de la economía del proceso está en la posibilidad de su regeneración y reutilización.

En un estudio a nivel experimental (Terner et al., 2002) se predijo los rendimientos de eliminación de algunos fármacos mediante la utilización de carbón activo. Se obtuvieron unos rendimientos de eliminación del 80% con 5 mg/l de carbón activo para un tiempo de contacto de 4h. Algunos de los contaminantes emergentes fueron fármacos como la carbamazepina, la trimetoprima o la pentoxifilina. En el caso de los compuestos que tienen grupos carboxilo, por ejemplo el ácido clofíbrico, ibuprofeno y diclofenaco,

los rendimientos de eliminación fueron un poco menores, de un 79%; dado que en el agua ellos son hasta cierto punto disociado y, por ende, cargados negativamente.

Con lo cual el proceso escogido data de un sistema MBR y una adsorción con carbón activo. Tiene un rendimiento del 95%, comprobado en un estudio en el que se utilizó el MBR con una unidad de nanofiltración seguida de una adsorción de carbón activo (Wintgens et al., 2002). En este mismo estudio se comprobó que usando un módulo de membrana de nanofiltración seguido del tratamiento de MBRs en donde se logró la retención del 70% de los contaminantes emergentes, un rendimiento menor que si se utiliza seguido de una adsorción de carbón activo.

Además del proceso en que se utiliza el reactor MBR, hay otros procesos avanzados como son la osmosis inversa y los procesos de oxidación avanzada (POA), considerados como los más apropiados para remover concentraciones traza de los contaminantes emergentes, aunque su inconveniente es que presentan unos costes más elevados.

Biorreactores de membrana

El MBR es un sistema que combina las tecnologías de lodos activos y filtración con membranas. Es una mejora del tratamiento de lodos activos.

Esta tecnología se utiliza para eliminar los contaminantes emergentes de una planta depuradora, garantizando que se cumplan las normas más estrictas de calidad del agua y además generan agua reutilizable.

La idea de acoplar al sistema de lodos activos convencional una membrana de separación fue concebida por vez primera en el Instituto Politécnico Rensselaer, Nueva York y en Dorr-Oliver, Milford, Connecticut. (Hardt F.W. y col. 1970). La primera instalación fue llevada a cabo por Dorr-Oliver con una tela de ultrafiltración plana y una membrana y tuvo un gran éxito en Japón en las décadas de 1970 y 1980. Después de la década de 1990, la mayoría de las instalaciones de MBR estaban tratando aguas residuales industriales. Después del desarrollo de las membranas sumergidas (Yamamoto K. y col. 1989), el número de MBR utilizadas para el tratamiento de aguas residuales urbanas aumentó considerablemente y hoy en día sigue en aumento. El poderse construir en plantas ya existentes hace del MBR un sistema atractivo para la depuración de aguas residuales.

Tecnologías de membrana

Los sistemas de membrana trabajan por diferencia de presión, en donde el agua pasa a través de ellas y se divide en dos corrientes, el filtrado o permeado, que es la que pasa a través de la membrana, y el rechazo, que es la que se queda en el otro lado. Estas dos corrientes tienen una concentración de solutos muy diferentes, el filtrado es casi agua pura mientras que el rechazo contiene casi todas las partículas en suspensión y disueltas.

Hay cuatro tipos de procesos diferentes dependiendo de las propiedades (porosidad y carga eléctrica):

- Microfiltración: Separa los sólidos disueltos de mayor tamaño.
- Ultrafiltración (UF): Separa partículas disueltas más pequeñas y coloides.
- Nanofiltración (NF) y ósmosis inversa (OI): Separan todas las partículas, iones y moléculas. Su tamaño de poro varía entre 0,5 y 2,0 nm para NF y entre 0,2 y 1,0 nm para OI.

Las más adecuadas para la eliminación de contaminantes emergentes son la nanofiltración y la ósmosis inversa, aunque su coste energético es mayor y por tanto, su coste económico es más elevado. La diferencia entre la nanofiltración y la ósmosis inversa membrana no reside en el tamaño de poro sino en los iones que rechazan una y otra. En membranas NF los iones rechazados son di y multivalentes, siendo el rechazo de iones univalentes menor de un 70%. Sin embargo, las membranas de OI rechazan casi exclusivamente iones hidratados, y la exclusión es por tamaño.

Se han hecho grandes esfuerzos en crear membranas altamente selectivas durante los 30 años que se llevan usando. Aunque hoy en día siguen habiendo problemas sin resolver en cuanto a los mecanismos de retención de los diferentes solutos. No se ha conseguido diseñar una membrana que deje el agua absolutamente limpia.

Tipos de membranas según su geometría plana o circular:

- Fibra Hueca (HF): Forman un haz de tubos y el final de los tubos están sellados en una resina epoxi conectados con la parte de fuera de la carcasa. El agua fluye desde dentro de las fibras hacia fuera así como de fuera a

dentro, dependiendo del fabricante. Estas membranas pueden trabajar a diferencia de presiones y a vacío.

- En espiral: Es usado sobre todo en los procesos de nano filtración y ósmosis inversa. La membrana se encuentra arrollada en un tubo perforado a través del cual el efluente sale. Es un sistema más barato porque su construcción está estandarizada por todos los fabricantes lo que hace su instalación más fácil.
- Plato y marco (FS): Están formadas por conjuntos de membranas separadas por piezas de soporte. Las telas filtrantes están ancladas a un plato. El agua fluye a través de las telas y el efluente se recoge por las tuberías que emergen del interior del módulo de membranas. El proceso es a vacío.
- Cartucho de filtro plegado y tubular: No son muy usados. Las membranas tubulares por lo general se encuentran en recipientes a presión en los que el alimento es bombeado al interior en una configuración “side stream”.

Oxidación con ozono

El ozono es una molécula muy reactiva y es uno de los oxidantes más fuertes para el tratamiento de aguas residuales. Se utiliza en el tratamiento de aguas residuales con varios fines, el primero de ellos como desinfectante. El ozono se descompone en el agua por un complejo mecanismo iniciado por la reacción con un hidróxido y seguido por la formación de diferentes especies radicálicas como son HO, HO₂ y HO₃. Es un potente biocida capaz de desactivar microorganismos que son resistentes a otros oxidantes como son el cloro o el dióxido de cloro.

Otra de las aplicaciones del ozono es que es capaz de reducir la concentración de microorganismos fecales como E. coli hasta niveles inocuos para los seres humanos. También se usa para precipitar óxidos de Fe y Mg, unos metales que dotan a las aguas de color rojo o negro y sabor y forman sedimentos. Otra de las aplicaciones del ozono es que se usa para eliminar materia orgánica disuelta que puede ser de muy distinta naturaleza (contaminantes orgánicos persistentes (POPs, PCPs, disruptores endocrinos, etc.).

Uno de los parámetros de diseño en las plantas de tratamiento que utilicen el proceso de oxidación con ozono es la concentración de ozono disuelto, ya que de ello depende la oxidación de los contaminantes presentes en el agua.

El principal inconveniente de la utilización del ozono en aguas residuales es que es un compuesto muy caro y se necesitan dosis bastante altas aunque sigue siendo atractivo para los procesos de regeneración de aguas. El ozono hace que los compuestos orgánicos de alto peso molecular se rompan en moléculas más pequeñas aumentando la biodegradabilidad de las mismas de un 5 a un 50%.

El ozono se aplica a todo tipo de contaminantes, en especial a fármacos y productos de higiene personal. Se utiliza en distintas industrias como textiles, refinerías de petróleo y papelera, que son industrias que necesitan tratamientos avanzados de depuración. Contaminantes orgánicos como pesticidas son eficazmente eliminados.

Por otro lado se han utilizado procesos de oxidación avanzados (POA) como ozono con peróxido de hidrogeno (O_3/H_2O_2) para tratar ibuprofeno y diclofenaco, aquí se logró la eliminación de las del 90% de estos compuestos.

Procesos fotocatalíticos

La fotocatalisis se utiliza para mineralizar los contaminantes a CO_2 , H_2O y compuestos inorgánicos. Su utilización genera muchos gastos energéticos provocando un elevado coste. Recientes estudios defienden las fotocatalisis ya que pueden usar la luz solar como fuente de energía, puede haber dos tipos de fotocatalisis, la heterogénea y la homogénea. El problema es que cada corriente es un caso particular y hay que especificar un tratamiento para cada una de ellas, lo que requiere estudios previos.

1.4.2. Procesos fisicoquímicos

Diferentes tratamientos fisicoquímicos como la coagulación, flotación y cloración se han utilizado para eliminar contaminantes emergentes en aguas residuales. En un estudio realizado a nivel laboratorio utilizando diversos tratamientos (coagulación/flotación, suavización con cal y cloración) se analizó la eliminación de 30 diferentes compuestos farmacéuticos, no se obtuvo un rendimiento de eliminación

insignificante (<20%) con los procesos de coagulación/flotación ni suavización con cal (Westerhoff et al., 2005).

Por otro lado los procesos cloración resultan ser una buena alternativa, sin embargo, al reaccionar con diferentes químicos se pueden generar subproductos de efectos desconocidos.

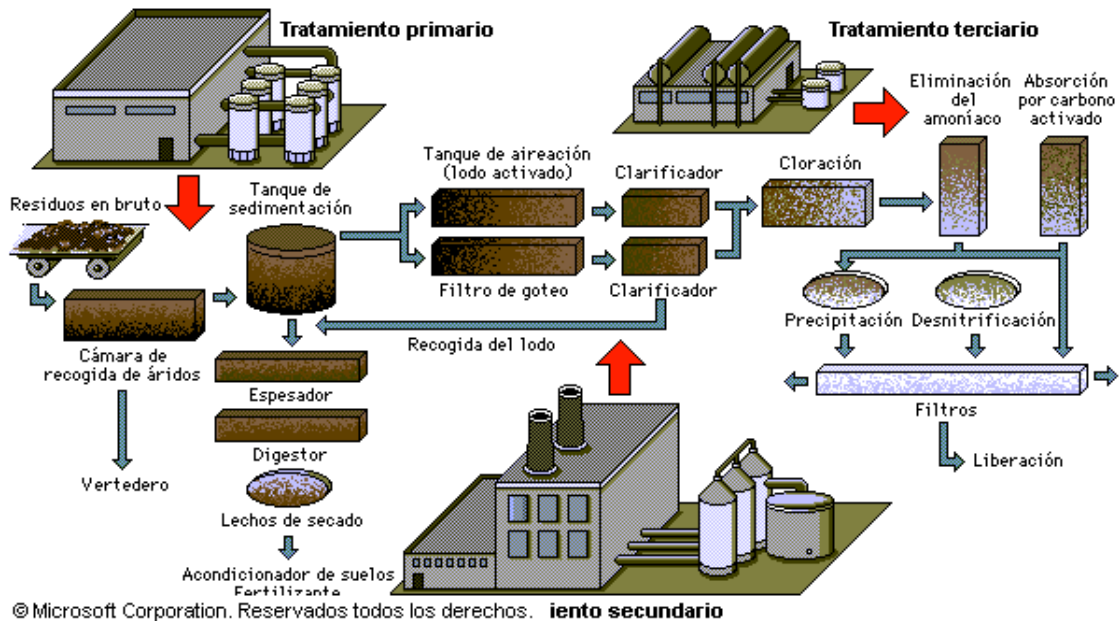


Figura 2. Esquema del proceso de una edar con tratamientos fisicoquímicos.

1.4.3. Procesos biológicos

Tratamientos convencionales como los sistemas de lodos activados o filtros biológicos percoladores pueden rápidamente convertir diversos compuestos orgánicos en biomasa que posteriormente por medio de clarificadores pueden ser separados. Sin embargo no sucede lo mismo con los contaminantes emergentes. En un agua residual de una planta tratadora en Suiza se encontraron compuestos como el diclofenaco o la Carbamazepina, con una eficiencia de eliminación de un 69%, 45% y 7% respectivamente (Tixier et al., 2003). También se realizó la degradación de pesticidas (isoproturon, terbutilazina, mecoprop y metamitrona) a nivel laboratorio, donde se alcanzó casi el 100% de eliminación, pero con un largo tiempo de adaptación de los lodos activados. En una planta de tratamiento de aguas residuales convencional esto representa una desventaja ya que la utilización de plaguicidas es realizada durante un

corto periodo y cuando el lodo activado recibe una carga de estos contaminantes no se encuentra aclimatado para una eliminación satisfactoria (Nitscheke et al., 1999).

1.4.4. Procesos combinados

Los procesos avanzados se postulan como buena opción para el tratamiento de los contaminantes emergentes. Hay diversas investigaciones que contemplan la combinación de procesos de oxidación con biológicos, resaltando su gran potencial ante el problema del tratamiento de aguas contaminadas difíciles o imposibles de remover por procesos convencionales fisicoquímicos/biológicos y con el prometedor objetivo de reutilizar esa agua y contribuir con el cuidado medioambiental.

Para el tratamiento de la penicilina se ha implementado la ozonización y la pre-ozonización ($O_3+H_2O_2$) a diferentes concentraciones antes de someter un efluente a un tratamiento biológico de lodos activados, el resultado de esta investigación ha sido la eliminación del 83% de DQO no biodegradable (Arslan et al., 2004). Para el tratamiento de un común precursor farmacéutico como es el α -metilfenilglicina se ha utilizado un proceso de foto-fenton adicionado con H_2O_2 como pretratamiento a un reactor de biomasa inmovilizada (IBR) lográndose eliminar hasta el 95% del COT del cual el 33% corresponde al sistema de oxidación avanzada y el 62% al tratamiento biológico. En este mismo sistema combinado también se estudió la eliminación de ácido nalidíxico (perteneciente al grupo de los Quinolonas) lográndolo remover totalmente en tan solo 190 minutos.

1.5. Consideraciones

Se puede destacar que hoy en día los contaminantes emergentes siguen siendo ignorados y además de no ser monitoreados. Sus efectos adversos en la vida acuática y humana han sido reportados en diversas investigaciones, es por eso que el impacto sobre la salud y medio ambiente ha promovido el estudio de estos contaminantes y sus posibles opciones de eliminación con nuevos sistemas de tratamiento de aguas residuales. Diversos tratamientos han sido aplicados para la eliminación de estos contaminantes; como adsorción por carbón activado, procesos de oxidación (ozono y peróxido de hidrógeno), coagulación/flotación, procesos biológicos como lodos activados y filtración por membranas. Los procesos por medio de carbón activado y membranales han demostrado ser los más eficientes para la eliminación de contaminantes emergentes. Desafortunadamente la mayoría de las plantas tratadoras de

aguas no cuentan con estos tipos de sistemas por lo que estos contaminantes emergentes están siendo arrojados al ambiente, es por eso la importancia de implementar diversas tecnologías para lograr un buen tratamiento de estos compuesto y una mejora al medio ambiente.

2. OBJETIVOS, LOCALIZACIÓN Y DATOS DE

PARTIDA

El objetivo de este proyecto es la eliminación de contaminantes emergentes que puedan dañar las aguas superficiales y los ecosistemas que en ella vivan.

Concretamente se ha elegido una localización física real, en base a un estudio realizado por la fundación Tekniker (Contaminantes emergentes en el agua: Caracterización, degradación y monitorización) en el que se ha investigado la presencia de contaminantes emergentes en una EDAR de Vizcaya, y en la que se ha constatado la no eliminación completa de la mayor parte de los contaminantes emergentes, que son en su mayoría fármacos.

La estación depuradora de estudio es la de Galindo en Sestao, Vizcaya, perteneciente al Consorcio de Aguas “Bilbao Bizcaia”, que recibe las aguas de toda la provincia de Vizcaya. Se han analizado los efluentes de entrada y salida de la estación depuradora para tratar de establecer adecuadamente el origen de los contaminantes emergentes y correlacionar su presencia con factores antropogénicos.

En la actualidad la EDAR de Galindo tiene un caudal de 125.000.000 m³/año, una carga contaminante de 1.546.000 habitantes equivalentes y tiene un tratamiento de fangos activos convencional. Sin embargo este tratamiento de fangos activos convencional se ha comprobado en dicho estudio que no elimina en su totalidad los contaminantes emergentes, aunque algunos se eliminan más que otros.

En este proyecto se propone la nueva construcción de la EDAR de Galindo, incluyendo un tratamiento secundario no convencional como es el Reactor Biológico con membranas MBR y un tratamiento terciario avanzado como la filtración con carbón activo granular, que se ha constatado que tienen un alto rendimiento utilizados como tecnología híbrida para la eliminación de contaminantes emergentes.

Se considera bastante importante este nuevo diseño debido a que la EDAR de estudio, recibe las aguas de toda la provincia de Vizcaya y las vierte al río, siendo la población de Vizcaya de 1.15 millones de habitantes, por lo que es una estación depuradora de gran tamaño. Por lo que se considera de vital importancia la total

eliminación de contaminantes de estas aguas para la salud humana y del medio ambiente y el buen estado de las masas superficiales.

Hay que comentar que la concentración máxima de vertido de los contaminantes emergentes no está hoy en día contemplada en la legislación, sin embargo se va a proponer este nuevo diseño de la EDAR para eliminar este tipo de contaminante, ya que aunque a día de hoy las cantidades deberían ser muy grandes para afectar a la salud humana, sí afectan a las especies acuáticas. Por esta razón se va a dimensionar una nueva EDAR que cuente con tratamientos avanzados que sí consigan la eliminación de estos contaminantes, porque a pesar de que hoy en día este no es un método habitual, se ha comprobado que sería completamente necesario remodelar todas las depuradoras para que eliminen este tipo de contaminantes porque aunque a día de hoy la ley se excuse en ese vacío legal, es un asunto bastante preocupante por la cantidad de fármacos, productos de higiene personal o drogas de abuso que llegan a las depuradoras y que no son eliminados llegando a los ríos.

En el estudio de la fundación Tekniker se han analizado 44 contaminantes emergentes, su concentración a la entrada y salida de la EDAR y su grado de eliminación con el tratamiento convencional. Para el diseño propuesto y para su eliminación con el nuevo tratamiento se elegirán los compuestos que se encuentren en mayor cantidad a la salida de la depuradora (los 22 principales compuestos) y por tanto los que menos se eliminan. Se trata además de los fármacos que más preocupación suscitan hoy en día. Las cantidades de fármacos que llegan hoy en día a las depuradoras están alrededor de las 15 toneladas anuales, siendo imposible su total eliminación en estas.

Los datos de partida de este proyecto serán los datos de parámetros contaminantes de la población, que son los parámetros de entrada a la EDAR. Sin embargo se construirá una nueva EDAR a 50 años y se tendrá en cuenta el crecimiento de la población de la provincia en estos años, con lo que la EDAR existente no contaba, por lo que se calculará un nuevo caudal de diseño para esta EDAR y una nueva población con la que se comenzará su dimensionamiento.

Los valores de los 44 contaminantes emergentes del estudio de la fundación Tekniker en la EDAR de Galindo se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Contaminantes emergentes de estudio en la EDAR Galindo (Estudio de fundación Tekniker)

Parámetros contaminantes emergentes			
Contaminante	ENTRADA($\mu\text{g/L}$)	SALIDA($\mu\text{g/L}$)	Rdto Eliminación (%)
Naproxeno	0,1	0,1	0,0
Diclofenaco	3,7	3,0	18,9
Ibuprofeno	41,0	29,5	28,0
Acetaminoteno	6,1	0,1	98,4
α -Ethinyl Estradiol	10,4	0,6	94,2
Cloranfenicol	0,1	0,1	0,0
Estriol	0,1	0,1	0,0
Amoxicilina	0,1	0,1	0,0
Benzafibrato	2,1	0,4	81,0
Cenifibrozil	2,5	0,1	96,0
Genfibrozil	2,4	0,2	91,7
Lasalocid	0,4	0,3	25,0
OH-THC-Hidroxi-THC	4,7	0,1	97,9
PFBS	77,9	35,7	54,2
PFOA	0,4	0,8	0,0
PFOS	6,5	1,8	72,3
Progesterona	15,2	1,5	90,1
Diazepan	3,6	4,4	0,0
Sulfametosazol	9,0	3,5	61,1
Sulfadiazina	1,1	0,9	18,2
Cafeína	131,7	2,1	98,4
Ciprofloxacina	0,1	0,1	0,0
Anfetamina	12,5	0,5	96,0
Atenolol	0,4	0,2	50,0
Bisoprolol	0,8	0,3	62,5
Metadona	0,1	0,3	0,0
BE-benzoilecgonina	2,1	0,1	95,2
Carbamazepina	5,9	5,3	10,2
Cocaína	3,6	0,1	97,2
Codeína	0,2	0,1	50,0
EDDP	6,3	8,1	0,0
Dilantin	0,1	0,1	0,0

Enalapril	2,7	3,6	0,0
Ketoprofeno	6,6	3,0	54,5
Solatol	0,5	1,8	0,0
Atorvastatin	0,1	0,1	0,0
o-Hidroxy Atorvastatin	0,2	0,1	50,0
p-Hidroxy Atorvastatin	0,2	0,1	50,0
THCCOOH	4,3	1,5	65,1
Triamcinolona	0,3	0,8	0,0
Meclociclina	0,4	0,5	0,0
Norfloxacin	0,1	0,2	0,0
Enrofloxacin	0,9	1,6	0,0
Erytromicina	0,1	0,2	0,0

En la tabla 3 se observan los valores de los compuestos a la entrada y a la salida de la EDAR de Galindo existente. Se observa por tanto que la mayoría de los compuestos no son eliminados por el tratamiento convencional.

Para el diseño de la nueva estación depuradora se elegirán los 22 compuestos que se detectan en mayor cantidad a la salida de la EDAR y que además son los compuestos más consumidos comúnmente en la sociedad. Entre los elegidos se encuentran algunos muy conocidos como el ibuprofeno, cafeína, codeína, y alguna hormona como es α -Ethinyl Estradiol que es utilizada en la píldora anticonceptiva. Estos se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Principales compuestos detectados a la salida de la EDAR

Principales compuestos detectados a la salida EDAR			
Contaminante	Valor entrada($\mu\text{g/L}$)	Valor salida($\mu\text{g/L}$)	Función
PFBS	77,9	35,7	Desinfectante
Ibuprofeno	41	29,5	Antiinflamatorio
EDDP	6,3	8,1	Droga ilícita
Carbamazepina	5,9	5,3	Antiepiléptico
Diazepan	3,6	4,4	Ansiolítico
Diclofenaco	3,7	3	Antiinflamatorio
Enalapril	2,7	3,6	Inhibidor

Sulfametosazol	9	3,5	Antibiótico
Ketoprofeno	6,6	3	Antiinflamatorio
Cafeína	131,7	2,1	Droga lícita
PFOS	6,5	1,8	Desinfectante
Progesterona	15,2	1,5	Progesterona
THCCOOH	4,3	1,5	Droga ilícita
Sulfadiazina	1,1	0,9	Antibiótico
α -Ethinyl Estradiol	10,4	0,6	Hormona
Anfetamina	12,5	0,5	Droga ilícita
Benzafibrato	2,1	0,4	Reductor colesterol
Bisoprolol	0,8	0,3	Bloqueante
Lasalocid	0,4	0,3	Antibiótico
Genfibrozil	2,4	0,2	Reductor colesterol
Atenolol	0,4	0,2	Bloqueante
Cenifibrozil	2,5	0,1	Reductor colesterol

Para el diseño del presente proyecto se partirá de los datos de entrada en la EDAR y de los parámetros de contaminación convencionales y de ahí se comenzará el diseño.

Datos de partida

Las características del agua de la población de Vizcaya (afluente de la EDAR Galindo) y por tanto los parámetros de diseño del proyecto propuesto sobre la reconstrucción de la planta depuradora se muestran en las siguientes tablas 5 y 6.

Tabla 5. Valores de los parámetros a la entrada de la EDAR Galindo(datos fundación Tekniker)

Parámetros EDAR	Unidades	ENTRADA EDAR
pH		7,9
Conductividad	μS/cm	3777
SS	ppm	897
DBO5	ppm	447
DQO	ppm	682
COT	ppm	95
NT	ppm	6,3
PT	ppm	3,4
Fe	ppm	3,6
Cu	ppm	0,07
Mn	ppm	0,12
Ni	ppm	0,02
Zn	ppm	0,30
Pb	ppm	0,03
Cr	ppm	0,04

Tabla 6. Valores de los contaminantes emergentes a la entrada de la EDAR

Contaminantes	Valor entrada(μg/L)
PFBS	77,9
Ibuprofeno	41
EDDP	6,3
Carbamazepina	5,9
Diazepan	3,6
Diclofenaco	3,7
Enalapril	2,7
Sulfametosazol	9
Ketoprofeno	6,6
Cafeina	131,7
PFOS	6,5
Progesterona	15,2
THCCOOH	4,3
Sulfadiazina	1,1
α-Ethynyl Estradiol	10,4

Anfetamina	12,5
Benzafibrato	2,1
Bissoprolol	0,8
Lasalocid	0,4
Genfibrozil	2,4
Atenolol	0,4
Cenifibrozil	2,5

La provincia de Vizcaya pertenece a la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental.

Una vez se dispone de los parámetros contaminantes será necesario calcular el caudal para el que se diseñará la nueva EDAR. Para ello será necesario conocer datos de la provincia de Vizcaya como son el número de habitantes, el porcentaje de industria, el crecimiento de la población en los próximos años, el área, la dotación media en la demarcación o la precipitación media diaria (Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental). La nueva EDAR se diseñará a 50 años. El caudal de diseño se calculará como la suma del caudal medio de lluvia diario más el caudal de las Aguas Residuales. Este último se calculará como el producto de la población en el año 50, por la dotación, que es de 250 L/hab*día (PH de la DH del Cantábrico Oriental), será por tanto este caudal el más restrictivo para el diseño. El caudal medio diario se obtiene con la precipitación media diaria en la demarcación hidrógrafica del Cantábrico Oriental.

Se trabaja con el caudal medio diario ya que el depósito de regulación se diseñará para un día y porque el caudal de lluvias que llega a la estación depuradora es el caudal medio ya laminado en las redes de saneamiento.

Los datos de la provincia de Vizcaya y los caudales de diseño obtenidos se muestran en las siguientes tablas 7 y 8.

Tabla 7. Datos sobre la provincia de Vizcaya.

DATOS PLAN HIDROLÓGICO DE LA DH CANTÁBRICO ORIENTAL	
Crecimiento población (%)	0,30%
Industria (%)	27%
Población Vizcaya 2016 (nº habitantes)	1.150.000
Área Vizcaya(km ²)	2.217
Área DH Cantábrico Oriental(km ²)	5.806
Precipitación DH Cantábrico (Hm ³ /año)	8,212
Precipitación DH Cantábrico (m ³ /día)	22.500
Precipitación Vizcaya (m ³ /día)	8.592
Dotación (L/habitante*día)	250
Habitantes totales Equivalentes 2016	1.460.500

Tabla 8. Caudales de diseño de la EDAR.

Año	Año	Población equivalente	Q _{RESIDUALES} (m ³ /día)	Q _{total} (m ³ /día)
0	2016	1460500,00	365125,00	373717,00
1	2017	1464881,50	366220,38	374812,38
2	2018	1469276,14	367319,04	375911,04
3	2019	1473683,97	368420,99	377012,99
4	2020	1478105,02	369526,26	378118,26
5	2021	1482539,34	370634,83	379226,83
6	2022	1486986,96	371746,74	380338,74
7	2023	1491447,92	372861,98	381453,98
8	2024	1495922,26	373980,57	382572,57
9	2025	1500410,03	375102,51	383694,51
10	2026	1504911,26	376227,81	384819,81
11	2027	1509425,99	377356,50	385948,50
12	2028	1513954,27	378488,57	387080,57
13	2029	1518496,13	379624,03	388216,03
14	2030	1523051,62	380762,91	389354,91
15	2031	1527620,78	381905,19	390497,19
16	2032	1532203,64	383050,91	391642,91
17	2033	1536800,25	384200,06	392792,06
18	2034	1541410,65	385352,66	393944,66
19	2035	1546034,88	386508,72	395100,72

20	2036	1550672,99	387668,25	396260,25
21	2037	1555325,01	388831,25	397423,25
22	2038	1559990,98	389997,75	398589,75
23	2039	1564670,95	391167,74	399759,74
24	2040	1569364,97	392341,24	400933,24
25	2041	1574073,06	393518,27	402110,27
26	2042	1578795,28	394698,82	403290,82
27	2043	1583531,67	395882,92	404474,92
28	2044	1588282,26	397070,57	405662,57
29	2045	1593047,11	398261,78	406853,78
30	2046	1597826,25	399456,56	408048,56
31	2047	1602619,73	400654,93	409246,93
32	2048	1607427,59	401856,90	410448,90
33	2049	1612249,87	403062,47	411654,47
34	2050	1617086,62	404271,66	412863,66
35	2051	1621937,88	405484,47	414076,47
36	2052	1626803,69	406700,92	415292,92
37	2053	1631684,11	407921,03	416513,03
38	2054	1636579,16	409144,79	417736,79
39	2055	1641488,90	410372,22	418964,22
40	2056	1646413,36	411603,34	420195,34
41	2057	1651352,60	412838,15	421430,15
42	2058	1656306,66	414076,67	422668,67
43	2059	1661275,58	415318,90	423910,90
44	2060	1666259,41	416564,85	425156,85
45	2061	1671258,18	417814,55	426406,55
46	2062	1676271,96	419067,99	427659,99
47	2063	1681300,78	420325,19	428917,19
48	2064	1686344,68	421586,17	430178,17
49	2065	1691403,71	422850,93	431442,93
50	2066	1696477,92	424119,48	432711,48

Por tanto el caudal de diseño de la nueva EDAR será de 432.711 m³/día o 18.030 m³/h, el más restrictivo en cuanto a capacidad.

3. DISEÑO

En este apartado se calcularán las dimensiones y magnitudes de todos los equipos que comprende la EDAR nueva que se va a diseñar. Esta nueva EDAR se va a construir a un caudal de diseño de 18.030 m³/h o 432.711 m³/día. La EDAR contará con un pretratamiento, seguido de un depósito de regulación, un tratamiento primario de un decantador primario, un tratamiento secundario de un Reactor MBR, y un tratamiento terciario de filtración con carbón activo.

Se realizará lo primero el pretratamiento para eliminar todo tipo de sólidos que puedan dañar la planta. El depósito de regulación irá después del pretratamiento debido a que las aguas residuales y las de lluvia van con mucha cantidad de contaminación y es conveniente poner el depósito de regulación después de este pretratamiento. Además el depósito de regulación laminará el caudal que viene de la población, que no es constante a lo largo del día, y diseñando este equipo, se podrá construir la planta al caudal medio. El pretratamiento se diseñará al caudal máximo y medio de la planta, eligiendo las condiciones más restrictivas. (Metcalf; Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales Juan Antonio Sainz Sastre)

3.1 Pretratamiento

El objetivo del pretratamiento en una estación de tratamiento de agua es eliminar, reducir o modificar los componentes del agua bruta influente que puedan ocasionar problemas en los equipos aguas abajo.

Los componentes a eliminar en el pretratamiento mayoritariamente son sólidos de gran tamaño, textiles, arenas, botellas, palos, piedras, trapos, espumas flotantes y grasas, etc.

Estos materiales ocasionan problemas de diferente índole a las instalaciones, pueden provocar la obstrucción de los colectores, canales o tuberías, dañar equipos de bombeo, bloquear mecanismos en movimiento o atascar las purgas de las unidades,

entre otros problemas. Si el problema se origina en una conducción enterrada, mecanismo inaccesible o unidad crítica, las consecuencias podrían ser muy graves para la estación depuradora. (Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales Juan Antonio Sainz Sastre; Degremont)

Entre los objetivos de las operaciones del pretratamiento se encuentran:

- Proteger a la estación depuradora de la posible llegada de grandes objetos capaces de provocar obstrucciones en las distintas unidades de la instalación.
- Separar y evacuar fácilmente las materias voluminosas arrastradas por el agua bruta que podrían disminuir la eficacia de los tratamientos posteriores.
- Protección mecánica de los equipos.
- Evitar la presencia de sólidos inertes de gran tamaño en el tratamiento de fangos
- Evitar la deposición de residuos en los canales y equipos

Es evidente que es de vital importancia la eliminación previa de objetivos de gran tamaño y sólidos, para garantizar el buen estado de las instalaciones. Es por eso que la mayor parte de los tratamientos previos cuentan con:

- Obra de llegada y alivio de caudal
- Predesbaste: Pozo de gruesos
- Bombeo de cabecera
- Desbaste
- Desarenado
- Desengrasado

El pretratamiento se suele diseñar al caudal máximo de la planta, sin embargo se diseñará al caudal medio (Q_m) y al caudal máximo (Q_{max}) y se escogerán aquellos valores de volumen y de superficie que sean mayores, y por tanto más restrictivos, para asegurarnos además que cumple para ambos valores.

El caudal máximo será 2,5 veces el caudal medio, por tanto será de 45.074 m³/h. (Metcalf, Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales Juan Antonio Sainz Sastre)

3.1.1 Obra de llegada y alivio de caudal.

Si a la depuradora llegan los colectores de agua bruta por gravedad, no existe un control del caudal máximo de llegada. La única limitación viene derivada de la capacidad hidráulica de las tuberías de llegada. Las depuradoras se diseñan para un caudal máximo hidráulico, Q_{max}, que no puede superarse; el bombeo de cabecera está diseñado para ese caudal máximo.

A la entrada de la estación depuradora se instala un alivio de caudal, normalmente mediante vertedero, diseñado para que no acceda a esta más caudal que el que sea capaz de tratar. El exceso de caudal puede derivarse a un tanque de tormentas o directamente by-passear la planta y verter a cauce.

Además, la depuradora tiene que poder ser aislada mediante elementos de cierre, que permitan sacarla de operación. En ese caso, todo el caudal influente se deriva por el alivio de caudal. Se suele colocar una compuerta, manual o automatizada a la salida de la obra de llegada para este fin. (Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales Juan Antonio Sainz Sastre)

3.1.2 Predesbaste: Pozo de gruesos

Este proceso se emplea en las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas, aunque su instalación no está generalizada.

Debido a que en el presente proyecto se trata un elevado caudal de una población bastante grande, será necesario un pozo de gruesos donde se queden retenidos los sólidos de mayor tamaño que puedan estropear las instalaciones.

En las redes de colectores de tipo unitario, en las épocas secas hay una cierta acumulación de arenas y sólidos de alta densidad, que con las primeras fracciones de lluvia son arrastradas hacia la depuradora, llegando en cantidades importantes.

Por otra parte debido a obras, entrada por bocas de registro, sumideros...es frecuente la llegada a las depuradoras de elementos de volumen elevado y alta densidad como piedras, ladrillos, escorias, etc.

Los pozos de gruesos consisten básicamente en una rebaja o foso realizado en la solera de la cámara de bombeo y antes de los equipos, con el fin de que una parte de las arenas y sólidos de gran densidad queden retenidos.

Con el fin de hacer un pre-desarenado y eliminar los objetos de gran tamaño y densidad, es frecuente la instalación de un pozo de gruesos antes de la unidad de bombeo.

Los pozos de gruesos se fundamentan en la elevada diferencia de densidad entre el sólido a separar y el agua, lo que conlleva que caigan al fondo del mismo en un tiempo mínimo. (Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales Juan Antonio Sainz Sastre).

Los pozos de gruesos se diseñan generalmente en base al tiempo de retención (TR) y a la carga hidráulica (CH), los valores de estos parámetros se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Bases de diseño del pozo de gruesos (Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales Juan Antonio Sainz Sastre)

POZO GRUESOS		
	Caudal máximo	Caudal medio
TR(minutos)	0,5	1
CH(m ³ /m ² *h)	300	100
calado mínimo(m)	1,5	

Esto quiere decir que a Qmax:

- $TR \geq 0,5$ minutos \rightarrow TRmínimo=0,5 minutos \rightarrow TR mínimo da un volumen mínimo.
- $CH \leq 300$ m³/m²*h \rightarrow CHmáxima=300 m³/m²*h \rightarrow CH máxima da una superficie mínima.

Y que a Qmedio:

- $TR \geq 1$ minuto $\rightarrow TR_{\text{mínimo}} = 1$ minutos \rightarrow TR mínimo da un volumen mínimo.
- $CH \leq 300 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ $\rightarrow CH_{\text{máxima}} = 300 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ \rightarrow CH máxima da una superficie mínima.

El pozo de gruesos se diseñará a caudal máximo y al medio. Se escogerán los volúmenes y superficies más grandes obtenidas tanto para el Qmax como para el Qm, para además asegurarnos que cumple para los dos casos. Los volúmenes y superficies se calcularán mediante las siguientes ecuaciones:

$$TR = \frac{VOL}{Q}$$

$$CH = \frac{Q}{SH}$$

Siendo SH la superficie horizontal. Se calculará para cada caudal un volumen y una superficie mínima y de todos los valores se escogerán los dos mayores, ya sean del caudal medio o del caudal máximo.

Los resultados de los volúmenes y superficies obtenidos para cada caudal se muestran en la tabla 10, y se observa en verde los finalmente escogidos.

Tabla 10. Valores obtenidos de volumen, superficie y altura mínimos para el pozo de gruesos.

	Qmax	Qmedio
Volumen mínimo (m3)	375,62	300,49
SH mínima(m2)	150,25	180,30
h mínima(m)	2,50	1,67

Finalmente los valores escogidos para el diseño, cumpliendo con las características establecidas serán:

Tabla 11. Valores finalmente escogidos para el pozo de gruesos

Volumen (m ³)	400
SH (m ²)	190
h (m)	2,11

Del pozo de gruesos normalmente solo se dispone de una línea de tratamiento.

Las normas generales para el diseño del pozo de gruesos son las siguientes:

- Es importante que su sección tenga forma troncopiramidal con las paredes inclinadas, para evitar la acumulación de sólidos y arenas en los laterales y esquinas y poder extraer de manera efectiva la mayor cantidad de residuos.
- Las paredes laterales de los pozos de gruesos tienen una pendiente próxima a 60°.
- Tanto las paredes como la solera del fondo tienen embebidos perfiles metálicos con el fin de no dañar el hormigón en las operaciones de limpieza.
- La forma de evacuar los materiales retenidos en el pozo de gruesos es mediante una cuchara bivalva, montada sobre un pórtico grúa y con una capacidad entre 250 y 500 litros.
- Los materiales retirados con la cuchara bivalva se recogen sobre un contenedor, de los utilizados para transporte de escombros de construcción.
- Todos los materiales separados en esta fase deben ser evacuados de la planta de forma diaria, con el fin de evitar posibles fermentaciones de la materia orgánica que sea arrastrada en la decantación de las arenas y genere malos olores.

El pozo de gruesos está comunicado con la cámara de bombeo. Se debe instalar una reja de muy gruesos antes de la cámara de bombeo, con el objetivo de proteger mecánicamente a las bombas de agua bruta. En este proyecto no tenemos bombeo puesto que la instalación va por gravedad, por lo que tampoco se instalará una reja de muy gruesos.



Figura 3. Pozo de gruesos y cuchara bilvalva.

3.1.3 Desbaste

Las rejas consisten en un conjunto de barras metálicas de sección regular, paralelas y de separación uniforme entre ellas, situadas en un canal de hormigón, en posición transversal al flujo, de tal forma que el agua residual pase a través de ellas, quedando retenidos todos los sólidos presentes con un tamaño superior a la separación entre barrotes. (Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales Juan Antonio Sainz Sastre)

El objetivo del proceso de desbaste mediante rejas es la eliminación de todos los sólidos en suspensión de tamaño superior a la separación entre barrotes con el fin de evitar obstrucciones en líneas o problemas mecánicos en los equipos.

La separación de los sólidos de gran tamaño presentes en las aguas residuales en las rejas se basa en su tamaño, de tal forma que quedarán retenidos todos aquellos que tengan un tamaño superior a la separación fijada entre los barrotes.

La operación puede ser más o menos eficaz, según la separación entre los barrotes de la reja, que se llama luz de paso (L). Pueden distinguirse: (Degremont)

- Desbaste fino: con una separación de 3 a 10 mm.
- Desbaste medio: con una separación de 10 a 25 mm.
- Predesbaste: con una separación de 50 a 100 mm.

Las rejas utilizadas en el desbaste pueden ser de limpieza manual o automática. En este caso se trabajará con rejas de limpieza manual, el ángulo de la reja con el canal será de 60° .

En las depuradoras urbanas es común la utilización de una reja de medios, seguido de una de finos.

El espesor entre barrotes (e) depende del tamaño de las rejas, de tal forma que le da la resistencia mecánica precisa para evitar deformaciones, variando desde 6 mm en las más pequeñas, hasta los 12 mm en las de mayor tamaño. (Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales Juan Antonio Sainz Sastre, Degremont)

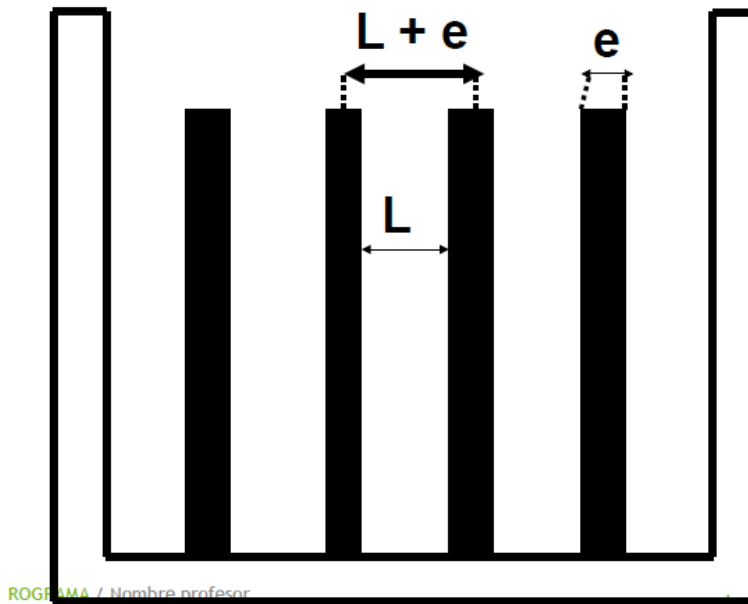


Figura 4. Reja

En el presente proyecto se instalarán 4 líneas con rejas de medios seguidas de rejas de finos. Es bueno tener varias unidades por si acaso alguna se estropease, para dar

más flexibilidad a la planta. Las características de las rejillas se muestran en las siguientes tablas 12 y 13:

Tabla 12. Luz de paso y espesor de barros en rejillas de desbaste medio.

Rejillas medias	
L(mm)	25
e(mm)	10

Tabla 13. Luz de paso y espesor de barros en rejillas de desbaste fino.

Rejillas finas	
L(mm)	25
e(mm)	6

Uno de los factores más importantes en el cálculo de estos equipos es la velocidad de paso del agua a través de las rejillas, ya que una velocidad elevada da lugar a una menor retención de los sólidos a eliminar por las turbulencias generadas, mientras que una velocidad demasiado lenta provoca decantaciones de arenas y otros sólidos en suspensión de alta densidad en el canal.

Los parámetros de diseño del desbaste se muestran en la tabla 14

Tabla 14. Bases de diseño para el desbaste(Degremont)

DESBASTE				
	Valor mínimo	Valor máximo	Caudal	Colmatación
Vpaso(m/s)	0,6	1	Qmedio	30%
Vpaso(m/s)	1,2	1,4	Qmax	30%
Vagua(m/s)>	0,3			

Para el diseño de las rejillas, ya sea de gruesos o de finos, se utiliza la siguiente ecuación:

$$S = \frac{Q}{V} * \frac{L + e}{L} * \frac{1}{C}$$

Donde:

- S la superficie en m^2 .
- Q el caudal en $m^3/hora$.
- V la velocidad de paso a través de la reja en m/s.
- L la luz de paso o separación de barrotes en mm
- e el espesor entre barrotes en mm
- C el coeficiente de colmatación, que representa la superficie libre de la reja, en plantas urbanas se considera un porcentaje de reja sucia del 30%, por lo que el valor de C es de 0,7. (Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales Juan Antonio Sainz Sastre)

Se calculará la superficie de las rejillas a caudal medio y a caudal máximo y se escogerá aquella superficie más restrictiva. Los resultados obtenidos para ambos caudales y los finalmente escogidos se muestran en las tablas 15, 16, 17 y 18.

Tabla 15. Superficie para la reja de desbaste medio

	Qmax	Qmedio
Superficie Reja de medios(m^2)	4,47	2,50

Tabla 16. Superficie para la reja de desbaste medio

	Qmax	Qmedio
Superficie Reja de finos(m^2)	5,32	2,98

Finalmente las superficies obtenidas se muestran en las tablas 17 y 18.

Tabla 17. Resultados de la superficie de las rejillas de medios.

Superficie Reja medios= 4,47 m ²	
Base(m)	3
Altura(m)	1,5
Resguardo(m)	0,5
Altura total(m)	2

Tabla 18. Resultados de la superficie de las rejillas de finos.

Superficie Reja finos= 5,32 m ²	
Base(m)	3
Altura(m)	1,8
Resguardo(m)	0,5
Altura total(m)	2,3

Las normas generales para el diseño son:

- La instalación de las rejillas se lleva a cabo en un canal de sección rectangular, con fondo horizontal o ligera pendiente descendente en la dirección del flujo, y en un tramo recto, con el fin de que la velocidad sea lo más homogénea posible, ya que las turbulencias harían que los sólidos pasasen por las rejillas en vez de quedar retenidos.

- La instalación debe realizarse de tal forma que disponga de accesos fáciles para la evacuación de basura que quede retenida en la rejilla y se almacena en contenedores de residuos.

- Instalación de dos o más unidades, para dar más flexibilidad a la planta.

- Son necesarias compuertas de aislamiento de cada canal, con el fin de proceder a su reparación en caso de avería.

3.1.4 Desarenador

En el afluente de la EDAR no hay grasas, por lo que únicamente se diseñará un equipo desarenador, y no un desengrasador.

El desarenador consiste en un proceso en el que se produce una separación por decantación diferencial o selectiva de todos aquellos sólidos en suspensión de densidad elevada (compuestos inorgánicos) impidiendo la sedimentación de la materia en suspensión de baja densidad (de naturaleza orgánica).

Las partículas de naturaleza inorgánica eliminadas en este proceso son las conocidas con el nombre de arenas, incluyendo en dicha denominación otros productos presentes en el agua residual como pueden ser gravas, partículas metálicas..

La característica fundamental de estos elementos inorgánicos separados en este proceso es que son totalmente estables, lo que conlleva que no se van a generar descomposiciones posteriores de los mismos.

Estas unidades en sus diferentes versiones son utilizadas en todas las plantas depuradoras urbanas, siendo el desarenador instalado tras el desbaste. (Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales Juan Antonio Sainz Sastre).

El desarenado tiene por objetivo extraer del agua bruta la grava, arena y partículas minerales más o menos finas, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión y para evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguientes. (Degremont).

Los principales tipos de desarenadores son:

- Desarenadores de flujo horizontal: Se utilizan únicamente en plantas pequeñas.
- Desarenadores de sección cuadrada.
- Desarenadores aireados

Los primeros se utilizan únicamente en plantas pequeñas, los segundos han caído en desuso por los problemas mecánicos que presentan, por lo que, por las

características de la planta de Galindo, se utilizará un desarenador aireado, ya que se trata de una planta de considerable tamaño.

Los desarenadores aireados se usan habitualmente en las plantas urbanas, y por su configuración no se ven afectados por las variaciones de caudal y se obtiene una arena con un grado de lavado importante (mínimas concentraciones de materia orgánica).

Estas unidades consisten en un canal, que dispone de un colector provisto de difusores que crean un movimiento helicoidal al agua. La velocidad de giro o rotación del agua vendrá determinada por la cantidad de aire inyectado a través de los difusores. De tal manera que se puede establecer la velocidad adecuada actuando sobre la cantidad de aire inyectado.

El aire inyectado favorece, por su efecto de agitación, la separación de la materia orgánica que haya podido quedar adherida a las partículas de arena (Degremont).

En la figura se observa un desarenador aireado.

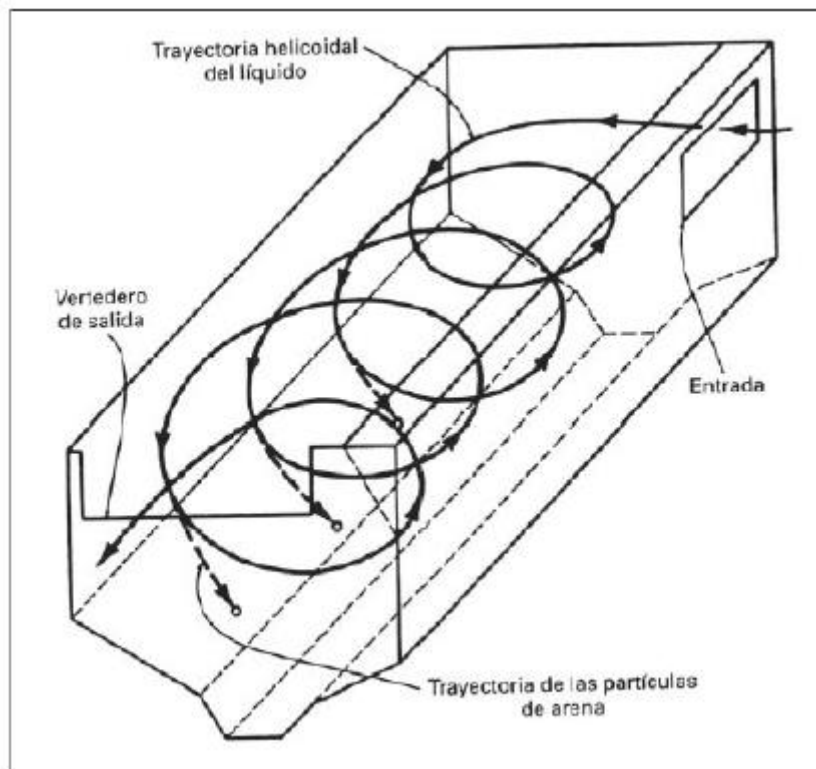


Figura 5. Desarenador aireado

Cualquier partícula que se encuentre en las proximidades de la zona de recogida de arena se encuentra sometida a dos fuerzas opuestas que son:

- Una de caída debida a la diferencia de peso específico con el agua
- Otra ascensional debida al giro de la masa de agua

Si la fuerza de caída es superior a la de arrastre las partículas se depositarán en el fondo del desarenador, y si es inferior, serán arrastradas por el agua fuera del equipo.

Para obtener una arena limpia, la arena extraída del desarenador se introduce en un lavador (clasificador) de arenas, donde se elimina la posible materia orgánica depositada, la arena se extrae habitualmente por bombeo. Las aguas de lavado se envían a la cabecera de planta.

Las bases del diseño de los desarenadores aireados se muestran en la tabla 19.

Tabla 19. Parámetros de diseño de un desarenador aireador (datos aquology).

DESARENADOR		
	Caudal máximo	Caudal medio
TR (minutos)	5,0	10
CH (m ³ /m ² *h)	35	10

Esto quiere decir que a Qmax:

- $TR \geq 5$ minutos $\rightarrow TR_{\text{mínimo}} = 5$ minutos \rightarrow TR mínimo da un volumen mínimo.
- $CH \leq 35$ m³/m²*h $\rightarrow CH_{\text{máxima}} = 35$ m³/m²*h \rightarrow CH máxima da una superficie mínima.

Y que a Qmedio:

- $TR \geq 10$ minutos $\rightarrow TR_{\text{mínimo}} = 10$ minutos \rightarrow TR mínimo da un volumen mínimo.
- $CH \leq 10$ m³/m²*h $\rightarrow CH_{\text{máxima}} = 10$ m³/m²*h \rightarrow CH máxima da una superficie mínima.

Se utilizarán las ecuaciones siguientes para el cálculo del volumen mínimo y la superficie hidráulica mínima, que debe tener el desarenador para cumplir con los parámetros establecidos, tanto para el caudal medio como para el caudal máximo.

$$TR = \frac{VOL}{Q}$$

$$CH = \frac{Q}{SH}$$

De cada caudal se obtiene un volumen y una superficie mínima. Se escogerá aquel volumen y aquella superficie de valor mayor, ya sea la calculada para el caudal medio o para el caudal máximo.

En la tabla 20 se muestran los resultados para ambos caudales, y en color verde observamos el volumen y superficie mínimos más restrictivos y por tanto elegidos finalmente.

Tabla 20. Resultados de volumen y superficie mínima en el desarenador aireado

	Qmax	Qmedio
Volumen mínimo (m3)	3756,18	3004,94
SH mínima(m2)	1287,83	1802,96
h mínima(m)	2,92	1,67

Se construirán 4 líneas al igual que en el resto de la planta. Los volúmenes y superficies finales obtenidos cumpliendo con las características establecidas (las de tiempo de retención y carga hidráulica) se muestran en la tabla 21.

Tabla 21. Valores finalmente obtenidos para volumen y superficie del desarenador.

EN 4 LÍNEAS	
Volumen(m3)	950
SH(m2)	452
h (m)	2,1
resguardo altura(m)	0,5
altura total (m)	2,6
base(m)	15
largo(m)	30

Finalmente el caudal de aire necesario en el desarenador aireado se calculará con la siguiente ecuación:

$$Q_{aire} \left(\frac{m^3 \text{ aire}}{m^3 * hora} \right) = 1,5 * Volumen = 1,5 * 950m^3 * 4 = 5700 \frac{m^3 \text{ aire}}{hora}$$

3.2. Depósito de Regulación

Los procesos más utilizados en cuanto a regulación son: regulación del caudal y homogeneización de composición. En aguas residuales urbanas lo más común es utilizar un tanque de regulación de caudal, ya que la composición de las aguas no varía.

La regulación del flujo de agua que llega a la estación depuradora, consiste en la laminación de los picos y valles de caudal, de tal forma que la instalación de depuración trabaja con un caudal constante, esto lleva unido un incremento de la eficiencia de los diferentes procesos.

Si el agua residual tiene sólidos en suspensión, las balsas o tanques de regulación deben estar agitados para evitar su decantación.

El proceso de regulación de caudal, consiste por tanto en un taque del volumen adecuado donde tiene lugar la acumulación del exceso de agua cuando el caudal de llegada a la planta es mayor que el medio y de donde se extrae el agua cuando el caudal de llegada es menor que el medio. (Metcalf; Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales Juan Antonio Sainz Sastre).

Entre las ventajas de la regulación del caudal se encuentran:

- Mejora la eficiencia de los procesos, sobre todo del biológico.
- Evita el sobredimensionamiento de la depuradora.
- Facilita el control de la depuradora.
- Al trabajar en condiciones constantes, aumenta la vida útil de la instalación.
- Facilita los trabajos de mantenimiento.

Hay dos formas de operación de los tanques de regulación del caudal: en serie y en paralelo. Por sencillez se operará en serie, donde el tanque está en línea con la alimentación a la depuradora, y todo el agua pasa a través de este tanque como se muestra en la figura 6.

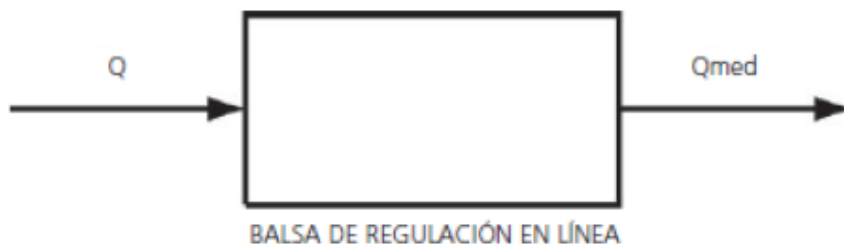


Figura 6. Tanque de regulación de caudal en serie

Siendo:

- Q : caudal de llegada a la planta en m^3/h .
- Q_m : caudal medio en m^3/h .

El depósito de regulación se diseñará para que sea capaz de almacenar agua durante un día. Si el caudal de diseño es de $432.711 m^3/día$, se almacenarán en el tanque de regulación por tanto $432.711 m^3$.

Sin embargo en la práctica el volumen del tanque de regulación debe ser superior al determinado teóricamente para tener en cuenta los siguientes factores:

- Imprevistos que puedan producirse por cambios inesperados de caudal.
- El retorno a cabeza de planta de sobrenadantes y filtrados exige un volumen adicional.

No puede darse un valor fijo, pero el volumen adicional variará entre el 10 y 20%. (Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales Juan Antonio Sainz Sastre).

Por lo que el volumen final será de 497.618 m³.

Puesto que se trata de un caudal de diseño muy grande, ya que a la depuradora llegan las aguas de toda la provincia de Vizcaya, vamos a dividir la EDAR en cuatro líneas de trabajo, al igual que en el resto de la planta.

Por lo que quedan 4 depósitos de 178 m de diámetro y altura 5 m.

3.3 Tratamiento primario

En la reconstrucción de la EDAR de Galindo, las aguas que se van a tratar no tienen altas concentraciones de grasas, por lo que se dispondrá en el tratamiento primario de decantadores, y no de flotadores.

Tampoco se dispondrá de un tratamiento de coagulación-floculación previo a la decantación a pesar de que facilitaría la decantabilidad de las partículas en suspensión. Esto es debido a que se va a utilizar un tratamiento posterior secundario y terciario avanzado, y por tanto no sería necesario el empleo de la coagulación-floculación ya que estos nuevos tratamientos van a eliminar casi en su totalidad todos los sólidos en suspensión por lo que no merece la pena la inversión en este tratamiento.

El proceso de la decantación es una de las operaciones unitarias más utilizadas tanto en aguas urbanas o industriales, siendo un proceso puramente físico de eliminación de sólidos en suspensión por diferencia de densidad, de tal forma que las

partículas con mayor densidad que el agua, son separadas por la acción exclusiva de la gravedad.

El objetivo de la decantación es el de conseguir que se depositen las partículas que se encuentran en suspensión en el agua, tanto si se trata de partículas presentes en el agua bruta, como si se deben a la acción de un reactivo químico añadido en el tratamiento.

Se obtiene un líquido claro sobrenadante en la superficie del equipo y unos sólidos que son extraídos en forma de fangos, con una concentración más o menos elevada por el fondo. La concentración de los fangos dependerá de la naturaleza de los sólidos, los parámetros de diseño y el tipo de equipo utilizado.

En un agua residual urbana, la concentración de los fangos obtenidos en los decantadores primarios varía entre el 1,5% y el 2,5%, siendo dichas concentraciones bastante menores en los decantadores secundarios.

El decantador está constituido por un depósito rectangular o circular. Para que se depositen los fangos, es preciso que la velocidad ascensional del agua sea inferior a la velocidad de caída de las partículas, lo que, naturalmente, depende de la densidad y tamaño de las mismas. (Degremont).

Los tres tipos de decantadores más utilizados son:

- Rectangulares
- Circulares
- Lamelares

Los más utilizados en España y los que por tanto se utilizarán en este proyecto serán los decantadores circulares.

Estos decantadores circulares consisten en una cuba de hormigón en la cual la alimentación se realiza por la parte central, que dispone de una campana responsable de disipar la energía cinética con que entra el agua en el equipo y la distribución del flujo en todas las direcciones. La salida del agua clarificada se lleva a cabo a través de un vertedero periférico.

Radialmente y pivotando sobre la columna central, se instala un puente giratorio.

Colgando del puente radial, se encuentran las rasquetas de barrido de fondo que en su avance desplazan los fangos hasta una poceta central desde donde son purgados al exterior. Igualmente del puente cuelga una barreadera superficial que arrastra los posibles flotables y espumas hasta una tolva de purga.

El puente radial se construye en acero al carbono. La solera del fondo tiene una pendiente hacia el centro para facilitar el desplazamiento de los fangos a la poceta. (Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales Juan Antonio Sainz Sastre)

En la figura 7 se observa un decantador circular en sección y planta.

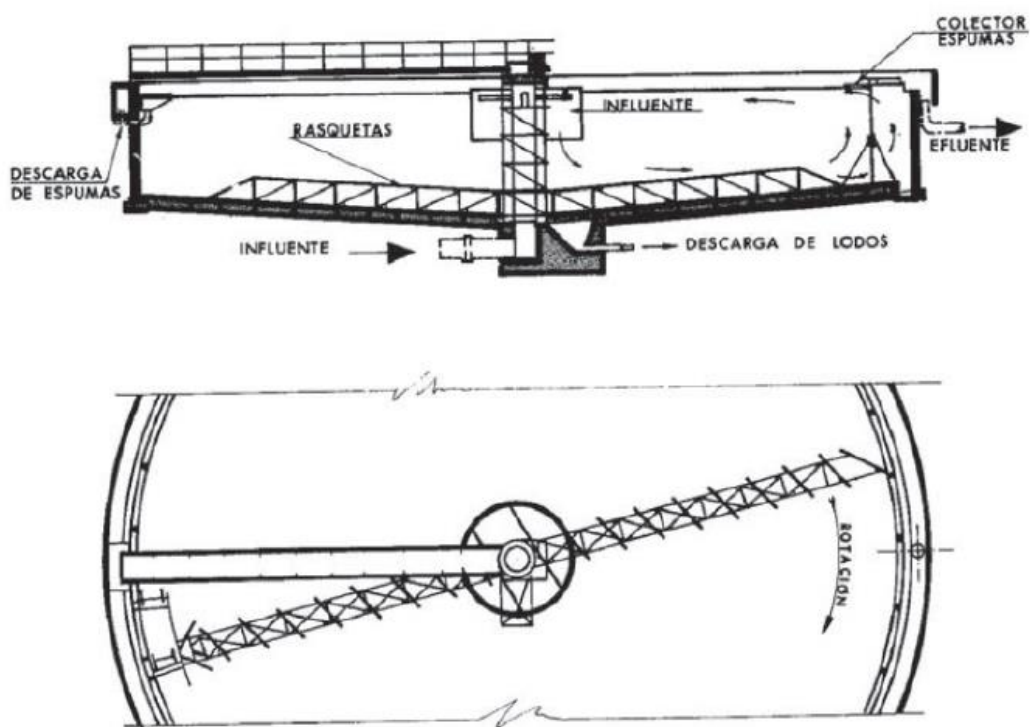


Figura 7. Decantador circular

Las normas generales de diseño en los decantadores circulares son:

- Oscilan entre 5 y 60 m de diámetro.
- La pendiente de la solera de fondo es de 1:10 a 1:12, siendo definida por el fabricante.

- El diámetro de la campana central está comprendido entre el 10 y 15% del diámetro del decantador.
- La altura de la campana central varía entre el 30 y el 60% de la altura del decantador.
- La altura útil varía entre 2,5 y 4 m.
- En el caso de que en el cálculo las dimensiones fueran elevadas, se utilizarían unidades múltiples.

El tratamiento primario y todos los que van a continuación del depósito de regulación, se diseñarán al caudal medio de la planta. Esto es debido a que el depósito de regulación actúa como un depósito donde se almacena el agua cuando el caudal es mayor que el medio de la planta y de donde se extrae el caudal cuando el caudal es inferior al medio. Y por esta razón todo lo que vaya a continuación del depósito de regulación, será diseñado únicamente al caudal medio de la planta.

Generalmente los decantadores se diseñan al caudal máximo y medio de la planta y se elige el que presente las características más restrictivas, pero al disponer de un tanque de regulación, con el que va llegando el caudal medio al tratamiento primario, únicamente se diseñará el decantador primario para el caudal medio de la planta (Q_m)

En el tratamiento primario hay eliminación de contaminantes emergentes y de parámetros convencionales. La eliminación que se produce en el decantador primario se muestra en la tabla 22. (Westerhoff, Degremont, Sainz Sastre)

Tabla 22. Porcentaje de eliminación del decantador primario de los distintos parámetros. (Westerhoff et al, Degremont, Sainz Sastre)

DECANTADOR PRIMARIO	
Parámetros	Eliminación
Contaminantes emergentes	33%
SS	66%
DBO	33%
DQO	33%
NT	10%
PT	10%

Por tanto conociendo las eliminaciones que se producen en el decantador primario, se podrá calcular los parámetros de contaminación que salen del decantador primario. Estos resultados se muestran en las tablas 23 y 24.

Tabla 23. Valores de entrada y salida de contaminantes emergentes en el decantador primario
CONTAMINANTES EMERGENTES

Contaminante	Valor ENTRADA Decantador 1°(µg/L)	Valor SALIDA Decantador 1°(µg/L)
PFBS	77,90	52,19
Ibuprofeno	41,00	27,47
EDDP	6,30	4,22
Carbamazepina	5,90	3,95
Diazepan	3,60	2,41
Diclofenaco	3,70	2,48
Enalapril	2,70	1,81
Sulfametosazol	9,00	6,03
Ketoprofeno	6,60	4,42
Cafeina	131,70	88,24
PFOS	6,50	4,36
Progesterona	15,20	10,18
THCCOOH	4,30	2,88
Sulfadiazina	1,10	0,74
α-Ethynyl Estradiol	10,40	6,97
Anfetamina	12,50	8,38
Benzafibrato	2,10	1,41
Bissoprolol	0,80	0,54
Lasalocid	0,40	0,27
Genfibrozil	2,40	1,61
Atenolol	0,40	0,27
Cenifibrozil	2,50	1,68

Tabla 24. Valores de los parámetros de contaminación de entrada y salida del decantador primario.

Parámetros	Unidades	ENTRADA DEC1°	SALIDA DEC1°
SS	ppm	897,00	304,98
DBO5	ppm	447,00	299,49
DQO	ppm	682,00	456,94
NT	ppm	6,30	5,67
PT	ppm	3,40	3,06

El decantador primario se diseñará a caudal medio. Las bases de diseño para los decantadores primarios se muestran en la siguiente tabla 25

Tabla 25 Parámetros de diseño de decantadores primarios (datos Aquology).

Parámetros diseño			
	Valor mínimo	Valor máximo	Caudal
TR(h)	1,5	3	Qm
CH(m ³ /m ² *h)	1,25	2,5	Qm
carga sobre vertedero(m ³ /ml*h)<		40	Qm

Esto quiere decir que a Qmedio:

- $TR \geq 3$ horas \rightarrow TR mínimo= 3 horas \rightarrow TR mínimo da un volumen mínimo.
- $CH \leq 1,25$ m³/m²*h \rightarrow CHmáxima= 1,25 m³/m²*h \rightarrow CH máxima da una superficie mínima.

Se utilizarán las ecuaciones siguientes para el cálculo del volumen mínimo y la superficie hidráulica mínima.

$$TR = \frac{VOL}{Q}$$

$$CH = \frac{Q}{SH}$$

Los resultados de los volúmenes y superficies que debe tener como mínimo el decantador primario para cumplir con los parámetros establecidos (tiempo de retención y carga hidráulica), para una línea de tratamiento que deben se muestran en la tabla 26.

Tabla 26. Valores mínimos para el decantador primario.

Volumen mínimo(m ³)	54088,94
Superficie mínima(m ²)	14423,72
altura mínima(m)	3,75

Se dividirá la instalación en 10 líneas debido a que los volúmenes que se obtienen son muy elevados y los diámetros entonces no estarían dentro del rango. Los volúmenes finalmente escogidos que cumplan con los parámetros (tiempo de retención y carga hidráulica) se muestran en la tabla 27.

Tabla 27. Valores escogidos en el diseño de los decantadores primarios

EN 10 LÍNEAS	
Volumen(m ³)	5410
SH(m ²)	1445
altura (m)	3,75
resguardo altura(m)	0,50
altura total (m)	4,25
D(m)	42,8
Pendiente fondo	1:12

3.4 Tratamiento secundario

Como se mencionó con anterioridad, el tratamiento secundario elegido para diseñar en el proyecto propuesto será un **Reactor MBR**.

Un biorreactor de membranas MBR es una modificación del proceso de fangos activos para el tratamiento de las aguas residuales, donde la separación del fango del agua tratada se realiza por filtración a través de un sistema de membranas en sustitución

de la decantación secundaria, obteniéndose un efluente de mayor calidad, prácticamente libre de sólidos en suspensión y microorganismos.

En este proceso se dan las mismas operaciones y fases que en un proceso convencional de fangos activos: la oxidación biológica de la materia orgánica, separación sólido-líquido, aireación, recirculación de fangos y purga de fangos en exceso.

El agua a tratar entra en el reactor biológico, donde se pone en contacto con el licor mezcla, produciéndose las reacciones de oxidación biológica que permiten la degradación de la materia orgánica. Posteriormente el licor mezcla es filtrado mediante el sistema de membranas.

El proceso necesita para su desarrollo un sistema de aireación y agitación que produzca el oxígeno necesario para la actividad depuradora de las bacterias, evite la sedimentación de los flóculos y permita la homogeneización de los fangos activos. Las membranas precisan de un sistema de aireación propio para garantizar su buen funcionamiento.

La recirculación de fangos tiene una serie de singularidades que la diferencia de la correspondiente a un proceso de fangos activos convencional. Sus objetivos, además de permitir alcanzar la concentración de sólidos en suspensión en el licor de mezcla en el reactor biológico, pueden ser otros según las configuraciones del proceso. En general el fango recirculado se manda a la cabecera del reactor, pero su punto de extracción varía también en función de las citadas configuraciones.

La disposición de los diferentes elementos que componen la línea dependen principalmente del tipo de membrana y de si estas trabajan sumergidas en el licor de mezcla o son externas. Las configuraciones sumergida y externa se muestran en las figuras 8 y 9.

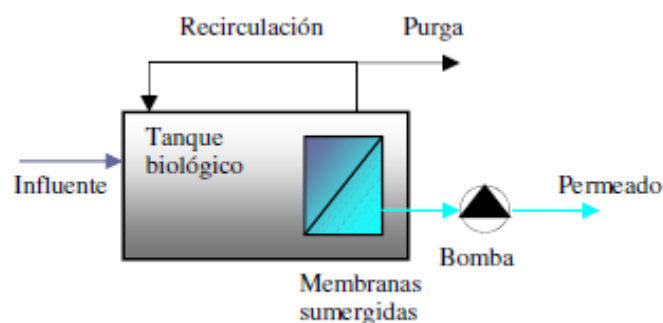


Figura 8. Membranas sumergidas

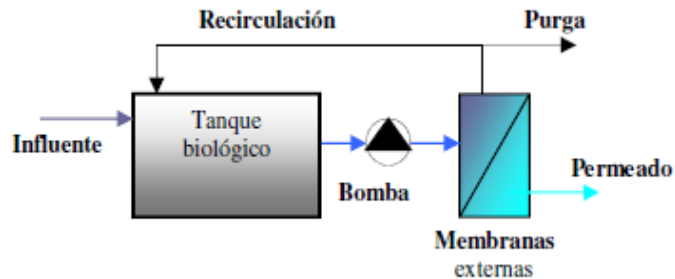


Figura 9. Membranas externas

- Los sistemas sumergidos integrados son aquellos donde las membranas están sumergidas y ubicadas dentro del reactor biológico. Normalmente esta configuración necesita de cierta recirculación de fangos para mantener la concentración homogénea de MLSS.
- Los sistemas externos son aquellos que no tienen las membranas sumergidas y la filtración se realiza en módulos externos, fuera del reactor biológico. En estos sistemas existen dos tipos de recirculación, una para controlar las concentraciones en el reactor biológico y otra para conseguir altas velocidades creando un flujo tangencial en el interior de las membranas.
(Judd, S. The MBR Book)

Hoy en día, el sistema predominante en el mercado es el de membranas sumergidas, ya que tienen un menor rendimiento energético y son más compactas que las membranas externas.

La vida útil de las membranas sumergidas ha resultado mayor de lo previsto por las distintas casas comerciales, siendo habitual encontrar membranas de más de 8 años de duración.

La sustitución de la decantación secundaria por las membranas en el tratamiento de aguas residuales tiene ventaja tales como la mejor calidad del efluente o la menor superficie requerida, debido a la eliminación del decantador secundario y a las altas concentraciones de MLSS a las que permite trabajar este sistema.

Como inconvenientes destacarían los mejores y mayores requerimientos de pretratamiento, los mayores costes de implantación y explotación frente a otros tipos de sistemas de depuración o la necesidad de controlar el ensuciamiento de las mismas.

En este sentido, la optimización del proceso respecto al consumo energético y al control del ensuciamiento de las membranas se han convertido en las principales líneas de experimentación de las diferentes casas comerciales que suministran estos sistemas.

3.4.1 Proceso biológico

Los principales parámetros que caracterizan el funcionamiento y el diseño del proceso biológico son los mismos que en cualquier proceso de fangos activos: la edad del fango, la carga másica, la concentración de SSLM, la recirculación, la producción de fangos en exceso y la capacidad de aireación necesaria. (Judd, S. The MBR Book)

- Carga másica (C_m) expresada en kg de DBO entre kg de MLSS es la relación que existe entre la carga de materia orgánica que entra en el reactor por unidad de tiempo y la masa de microorganismos existentes en el mismo.
- Caudal de recirculación de fangos (Q_R) expresado en $m^3/día$ es el caudal necesario para mantener una concentración adecuada de sólidos en el licor de mezcla.
- Producción de fangos en exceso (F_w) expresados en $kg/día$ es la masa de fangos que debe extraerse del sistema para mantener una concentración adecuada de SS en el reactor biológico.

3.4.1.1 Edad del fango y MLSS

La edad del fango (E) o tiempo de retención celular (TRC), expresada en días, es la relación entre la masa de fangos existentes en la cuba de aireación y la masa de fangos en exceso extraídos por unidad de tiempo y determina el rendimiento de eliminación de los contaminantes orgánicos presentes en el agua residual.

MLSS es la concentración de sólidos en suspensión en el licor mezcla del reactor biológico, expresada en mg/L. El licor mezcla es la mezcla de microorganismos en el agua junto con la materia orgánica a eliminar.

La presencia de membranas elimina los problemas frecuentes de decantabilidad del fango en los procesos de lodos activos convencionales, e independiza el tiempo de retención hidráulico (TRH) de la edad del fango, consiguiendo así un mayor control de las operaciones de recirculación y purga. Este hecho permite trabajar con elevadas concentraciones de MLSS, baja carga másica y TRC elevados próximos a la aireación prolongada.

Estas condiciones de funcionamiento permiten la eliminación biológica de nitrógeno y disminuyen los problemas de ensuciamiento de las membranas.

Altas concentraciones de MLSS permiten disminuir el volumen del reactor pero como contrapartida se produce una disminución de la transferencia de oxígeno (disminuye el coeficiente α de transferencia de oxígeno) y un encarecimiento del coste energético de la aireación. (Judd, S. The MBR Book). Por lo que suele diseñarse para una concentración de MLSS en el reactor biológico del orden de 6.000 a 8.000 mg/L o ppm.

3.4.1.2 Recirculación de fangos

En MBR con eliminación de nutrientes se distinguirían dos tipos de recirculaciones:

- Recirculación interna que va del tanque aerobio al anóxico para completar la eliminación de nitrógeno tras la nitrificación.
- Recirculación externa para mantener las concentraciones de MLSS adecuadas tanto en el reactor biológico como en las membranas.

En el presente proyecto únicamente se tendrá una recirculación externa ya que no será necesario hacer un reactor biológico con reducción de nutrientes ya que existen nitrógeno y fósforo en baja cantidad.

El ratio de recirculación externa varía en función del tipo de configuración empleada:

- En sistemas sumergidos, se precisa de una recirculación para mantener las concentraciones de diseño tanto en el reactor biológico como en las membranas. El ratio habitual es de 2 a 6 veces el caudal medio tratado.
- En membranas externas, la necesidad de filtrar a flujo tangencial requiere una recirculación entre 10 y 15 veces el caudal medio tratado. (Judd, S. The MBR Book)

3.4.1.3 Fangos en exceso

La producción de fangos en exceso en los MBR es superior a la de los procesos de lodos activos convencionales operados con los mismos parámetros de diseño, debido a la mayor retención de sólidos de las membranas. Esto es debido a que la filtración por membranas aporta una retención de SS superior a los procesos convencionales de lodos activos, por lo que también se producirá una mayor eliminación de materia orgánica y nutrientes, lo que se traduce en un fango con concentraciones mayores de materia orgánica y nutrientes.

Además la concentración del fango en exceso es superior ya que en los MBR se trabaja a mayores concentraciones de MLSS tanto en las membranas como en el reactor.

En este tipo de reactores, los fangos en exceso se pueden extraer de distintos puntos del tratamiento. Lo más habitual es extraer el fango de la recirculación de la zona de membranas en sistemas sumergidos y del reactor biológico en sistemas externos. (Judd, S. The MBR Book)

3.4.2 Separación por membranas

Las membranas son el elemento tecnológico más singular del proceso MBR, y la parte más estudiada en su composición y funcionamiento. Las membranas se pueden clasificar en función del tamaño de poro, el material del que se componen, o por su morfología y estructura interna. (Judd, S. The MBR Book)

3.4.2.1 Tamaño de poro

Las membranas se han clasificado tradicionalmente tanto por el tamaño de poro nominal en micras (μm), como por el peso molecular en daltons (Da) de las sustancias que pueden retener.

A menor tamaño de poro, más requerimiento de energía para filtrar el efluente, por lo que el objetivo está en conseguir el máximo permeado, con el mínimo gasto energético dentro de cada tipo de membrana.

En función de las características físico-químicas de la membrana, como el material de fabricación y sobre todo el tamaño de poro, las membranas tienen una selectividad específica, es decir, pueden retener o dejar pasar distintos compuestos contenidos en el agua residual y tener una mayor o menor capacidad de paso del agua a través de ellas.

En los MBR se utilizan membranas de dos tipos: microfiltración (MF) y ultrafiltración (UF).

Las de MF tiene tamaños de poro entre 0,2 y 0,4 micras y retención de sustancias con pesos moleculares del orden de 500.00 Da. Y las de UF tienen tamaños de poro entre 0,03 y 0,04 micras y retención de sustancias con pesos moleculares del orden de unos 20.000 Da. (Judd and Jefferson, 2003).

Con estos tamaños de poro y pesos moleculares de rechazo no se retienen sales, nitrógeno, fósforo ni la mayoría de los contaminantes emergentes tipo herbicidas, fármacos o disruptores endocrinos como sí lo haría una ósmosis inversa. Sin embargo el permeado quedaría libre de bacterias y desinfectado dentro del concepto de regeneración del Real Decreto 1620/2007 y por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de aguas depuradas.

3.4.2.2 Material de fabricación

Los materiales más utilizados en la fabricación de membranas destinadas al tratamiento de aguas son de dos tipos: poliméricas de origen orgánico y cerámicas de origen inorgánico.

Se trata de encontrar un material y una estructura que permita altas porosidades con la resistencia mecánica e integridad suficiente para soportar la presión de operación, las limpiezas químicas, variaciones de temperatura o pH y el ataque de sustancias agresivas.

Las membranas más utilizadas en los procesos MBR en aguas urbanas, son de material polimérico. Suelen ser más económicas que las cerámicas, y tienen una alta superficie porosa y una distribución del tamaño de poro que permite un mayor rechazo de sustancias, aunque este tipo de material es menos resistente a compuestos agresivos.

3.4.2.3 Morfología y estructura interna

En los tratamientos de aguas por membranas, se usan membranas anisotrópicas. Estas son aquellas que tiene una capa muy fina o película y otra que le sirve de soporte, más gruesa y porosa. La película es la membrana propiamente dicha y da las características propias de selectividad de partículas que puede separar.

Dentro de este grupo de membranas, en los procesos MBR se utilizan tanto las asimétricas como las mixtas. En las asimétricas la película y la capa soporte son del mismo material, en las mixtas no. (Judd, S. The MBR Book)

3.4.2.4 Configuración de las membranas

Las membranas por sí solas no son funcionales y han de configurarse atendiendo a sus características y su forma de disposición en módulos que permitan conectarlas con los elementos exteriores. Módulos son las mínimas unidades intercambiables, dispuestas en un soporte, que permite la operación de un conjunto determinado de estos módulos.

Las configuraciones más típicas en los procesos MBR son las siguientes:

- Membranas planas, están formadas por dos capas de material de membrana adheridas a un material soporte (placa o panel), por donde se extrae el permeado.
- Membranas de fibra hueca, están constituidas por varias fibras que llevan un material base que está recubierto del material de la membrana. Las fibras se agrupan en forma de haz o láminas y se insertan en un soporte donde se

extrae el permeado. Las fibras suelen estar puestas de forma vertical y sujetas a un soporte por la parte inferior.

- Membranas tubulares, están dentro de una estructura tubular que sirve de soporte a la membrana propiamente dicha. El material de soporte de las membranas se localiza dentro de una carcasa también en forma de tubo. El flujo, es de dentro a fuera y debido a que tiene mayor diámetro es difícil que se obstruyan.

En la siguiente figura 10 se observan los distintos tipos de membranas.

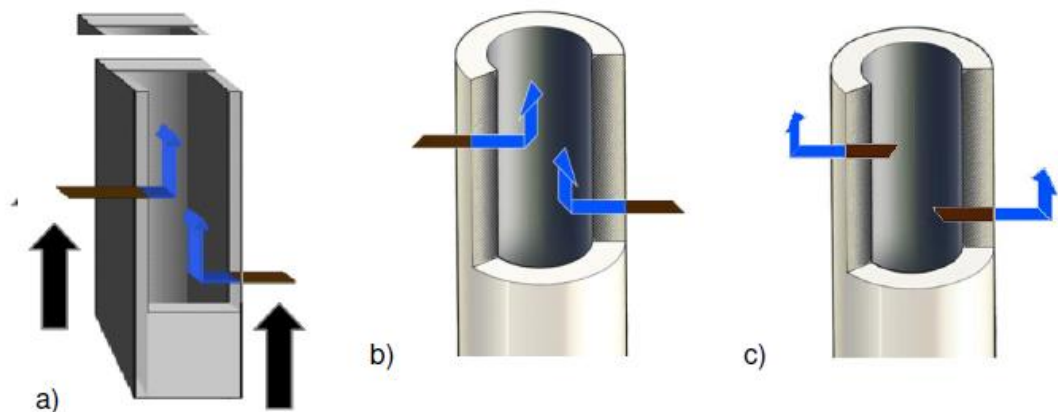


Figura 10. Tipos de membranas en MBR

3.4.2.4 Proceso de separación por membranas

Las membranas pueden diseñarse para trabajar en flujo tangencial o perpendicular. El tipo de flujo más usado en los procesos MBR es el flujo tangencial, donde no todo el caudal pasa a través de la membrana.

Para trabajar con flujo tangencial se precisa hacer pasar el agua a velocidades altas sobre la membrana, requiriéndose recirculaciones sucesivas para conseguirlo. La manera de operar sería bombeando el agua a la membrana, recirculando el agua no filtrada junto al rechazo.

La separación con flujo tangencial de las membranas se muestra en la figura 11.

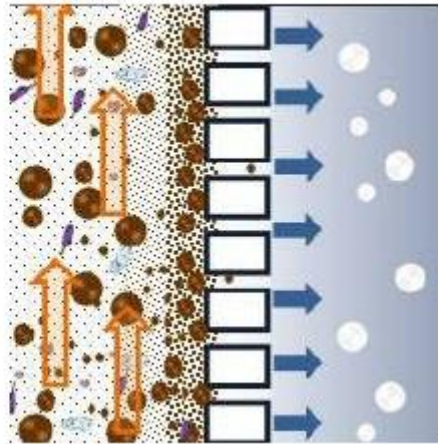


Figura 11. Separación físico química de membranas

Las membranas aplicadas al tratamiento de aguas residuales permiten una separación físico-química de una parte importante de las sustancias contenidas en el licor de mezcla.

El grado de separación está ligado al tamaño y forma del poro de la membrana, a la afinidad de la sustancia a retener con el material de fabricación de la misma y de las condiciones de operación. Al efluente se le denomina permeado y no filtrado ya que su obtención no depende exclusivamente de un proceso físico de filtración.

La capacidad de filtración y la selectividad de la membrana son aspectos importantes para el diseño y la eficiencia de un proceso con membranas. Los parámetros directamente relacionados con el proceso de separación por membranas son los siguientes:

- Flujo, expresado en $L/m^2 \cdot h$ o LMH. Es el caudal que atraviesa las membranas por m^2 de superficie en unas condiciones específicas de

operación. El flujo determina la superficie de membrana necesaria independientemente de la concentración en el reactor biológico.

- Presión transmembrana (PTM) expresada en bar. Es la diferencia de presión que se crea entre uno y otro lado de la membrana durante el filtrado. Es un parámetro clave en el funcionamiento de los MBR.
- Permeabilidad (L) expresada en $L(h \cdot m^2 \cdot bar)^{-1}$. Es la relación del flujo respecto a la presión transmembrana.
- Resistencia de la membrana (R) expresada en m^{-1} . Es el concepto inverso a la permeabilidad. Es la resistencia que opone la membrana al paso de un fluido.

En las tablas 28 y 29 se muestra las características de las configuraciones de membranas más utilizadas en MBR y las ventajas desventajas de cada una de ellas.

Tabla 28. Configuraciones más comunes de membranas en MBR.

Parámetro	Placa plana	Fibra hueca	Tubulares
Dirección de flujo	Fuera-dentro	Fuera-dentro	Dentro-fuera
Tipo de flujo	Flujo perpendicular	Flujo perpendicular	Flujo tangencial
Sumergida/externa	Sumergida	Sumergida	Externa
Refuerzo textil	Si	Algunas	Si
Filtración (MF/UF)	MF/UF	UF	UF
PTM operación (bar)	0,03-0,1	0,1-0,3	0,1-0,5
Flujo a Qmedio (LMH)	18-30	25-30	50-65

⁽¹⁾ Datos basados en la información aportada por las casas comerciales

Tabla 29. Ventajas y desventajas de las membranas

Parámetro	Placa Plana	Fibra hueca
Calidad pretratamiento	+	++
Espacio ocupado	+	+++
Facilidad de limpieza in situ	+	-
Facilidad de limpieza ex situ	-	++
Presión transmembrana (PTM)	++	+
Consumo energético	+	++
Resistencia	++	+
Coste por módulo	+	+++

+ Ventaja - Desventaja

En la tabla 30 se muestran los valores habituales para los principales parámetros de diseño del reactor biológico según el proyecto constructivo de las plantas estudiadas y actualmente en operación en España.

Tabla 30. Parámetros de diseño del MBR

Parámetro	Abreviación	Unidad	Valores habituales	Max-Min	
				Placa plana	Fibra hueca
Concentración de fangos	SSLM	g·L ⁻¹	6-8 ⁽¹⁾	5 - 10	< 7,5
Coefficiente alfa	α		0,35 - 0,5	-	-
Edad del fango	SRT	d	> 9	21 - 31	8 - 20
Recirculación	Qr	%	300-500	300 - 400	150 - 500

⁽¹⁾En función del espacio disponible

Concentración de MLSS

La concentración de sólidos en suspensión en el tanque de filtración, dependerá del caudal de recirculación. Normalmente se toman valores que oscilan entre el 300 y 500% del caudal permeado. A menor porcentaje significará que habrá más diferencias entre las concentraciones de la cuba de filtración y del reactor biológico.

La fórmula para el cálculo de los MLSS en la membrana es la siguiente:

$$MLSS \text{ membrana} = \left(1 + \frac{1}{N}\right) * MLSS \text{ reactor biológico}$$

Donde N es el número de veces que se recircula el caudal de tratamiento.

En las membranas de fibra hueca la concentración de MLSS no tiene límite en su valor inferior, podría tener valores muy bajos en la cuba de filtración. En cambio, en membranas planas es conveniente no bajar de 5.000 mg.L-1, o pueden producirse problemas de ensuciamiento y mal funcionamiento de las membranas, tal como recomiendan los fabricantes. Por el contrario, las membranas planas aguantan concentraciones de sólidos más elevadas en la cuba de filtración. Según demuestra la experiencia, en las membranas de fibra hueca una concentración adecuada en la cuba de filtración sería entre 8.000 y 10.000 mg.L-1, y en ningún caso pasar de 12.000 mg.L-1, o se producirá un ensuciamiento de las membranas mucho más rápido si se quieren mantener los mismos caudales. En cambio, en las membranas planas podemos llegar a valores de 15.000 mg.L-1 en el tanque de membranas y no se observa ensuciamiento más rápido.

El segundo aspecto a considerar se refiere al peligro de trabajar con recirculaciones bajas, del orden del 200% por ejemplo, especialmente en el caso de que las concentraciones de MLSS en el reactor biológico sean elevadas. Esto conllevará una diferencia mayor entre las concentraciones de las cubas del reactor biológico y filtración, y exigirá llevar un control más estricto de MLSS en la cuba de filtración. (Judd, S. The MBR Book)

En la siguiente tabla 31 se observa las calidades del efluente en procesos MBR y en fangos activos convencionales.

Tabla 31. Calidades del efluente tratado del MBR y de fangos activos convencionales

Parámetro	MBR ₁	FAC ⁽¹⁾
DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	1-5	10-20
SS (mg.L ⁻¹)	1-5	8-20
N _T (mg. L ⁻¹)	5-15	5-15
Turbidez (UNT)	< 1,5	5-10
E.coli (UFC.100 mL ⁻¹)	Ausencia	10 ⁶ -10 ⁷

Elección proceso y membranas

En la reconstrucción de la EDAR Galindo, se utilizará un MBR con membranas de ultrafiltración ya que retienen más que las de microfiltración y el agua saldrá desinfectada de bacterias.

Se utilizarán las membranas sumergidas ya que es lo más común en los procesos MBR. Además la membrana será de material polimérico, de flujo tangencial, y será de fibra hueca ya que presentan mayores ventajas frente a las láminas planas.

Únicamente se tendrá recirculación externa para mantener los MLSS del reactor biológico ya que no habrá reducción de nutrientes.

El MBR elimina en gran cantidad de contaminantes emergentes y demás parámetros. Los porcentajes de eliminación obtenidos para el MBR (Wintengs et al, Margarita González Benítez) se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 32. Porcentajes de eliminación de MBR (Wintengs et al, Margarita González Benítez)

MBR	
Parámetros	Eliminación
Contaminantes emergentes	70%
SS	99%
DBO	99%
DQO	70%
NT	86%
PT	96%

Por tanto conociendo las eliminaciones que se producen en el MBR, se podrá calcular los parámetros de contaminación que salen del MBR. Estos resultados se muestran en las tablas 33 y 34.

Tabla 33. Valores de entrada y salida de contaminantes emergentes en el MBR

CONTAMINANTES EMERGENTES		
Contaminante	Valor ENTRADA MBR($\mu\text{g/L}$)	Valor SALIDA MBR($\mu\text{g/L}$)
PFBS	52,19	15,66
Ibuprofeno	27,47	8,24
EDDP	4,22	1,27
Carbamazepina	3,95	1,19
Diazepan	2,41	0,72
Diclofenaco	2,48	0,74
Enalapril	1,81	0,54
Sulfametosazol	6,03	1,81
Ketoprofeno	4,42	1,33
Cafeina	88,24	26,47
PFOS	4,36	1,31
Progesterona	10,18	3,06
THCCOOH	2,88	0,86
Sulfadiazina	0,74	0,22
α -Ethylnyl Estradiol	6,97	2,09
Anfetamina	8,38	2,51
Benzafibrato	1,41	0,42
Bissoprolol	0,54	0,16
Lasalocid	0,27	0,08
Genfibrozil	1,61	0,48
Atenolol	0,27	0,08
Cenifibrozil	1,68	0,50

Tabla 34. Valores de entrada y salida para los parámetros de contaminación en el MBR.

Parámetros	Unidades	ENTRADA	SALIDA
		MBR	MBR
SS	ppm	304,98	3,05
DBO5	ppm	299,49	2,99
DQO	ppm	456,94	137,08
NT	ppm	5,67	0,79
PT	ppm	3,06	0,12

Se observa que la salida de SS es de 3 ppm, de entre 1 y 5 que sale de las membranas de ultrafiltración.

Los valores finalmente escogidos para el diseño del MBR se muestran en la tabla 35. Estos valores son los valores medios de varios estudios llevados a cabo en España sobre Bioreactores de membrana aplicados al tratamiento de aguas residuales urbanas.

Tabla 35. Valores del reactor biológico finalmente escogidos.

REACTOR BIOLÓGICO			
Parámetros	Unidad	Abreviación	Valor
Concentración de fangos	mg/L o ppm	MLSS	6000
Edad del fango	días	E o TRC	10
Recirculación	%	QR	300
Tiempo de retención hidráulico	hora	TRH	10

Conociendo la eliminación de DBO en el proceso, se conocerá la carga másica. (Juan Antonio Sainz Sastre, Metcalf).

El rendimiento de eliminación de DBO se calcula con la siguiente ecuación:

$$R_{\text{dto DBO reactor biológico}} = \frac{DBO \text{ entrada} - DBO \text{ salida}}{DBO \text{ entrada}}$$

$$Rdto\ DBO\ reactor\ biologico = \frac{299,49 - 2,99}{299,49} = 99\% \rightarrow Carga\ m\acute{a}sica = 0,0075$$

Para el dise\~no del reactor biol\~ogico siempre se usar\~a el caudal medio de la planta, Q_m de 18.029,65 m³/h

El siguiente paso ser\~a el c\~alculo del volumen del reactor biol\~ogico por medio de los 3 par\~ametros fundamentales como son la carga m\~asica, tiempo de retenci\~on hidr\~aulico y edad del lodo. Se calcular\~an los 3 vol\~umenes y se escoger\~a el mayor de ellos para el reactor. Las ecuaciones de los 3 se muestran a continuaci\~on (Juan Antonio Sastre, Metcalf)

$$Carga\ m\acute{a}sica\ (C_m) = \frac{Q_m * DBO\ entrada}{kgMLSS}$$

$$TRH = \frac{Volumen}{Q_m}$$

$$Edad\ fango\ o\ tiempo\ de\ retenci\~on\ celular\ (TRC) = \frac{kgMLSS}{Q_m * (DBO_e - DBO_s) * T_e}$$

Los kg de MLSS se calculan con el volumen y con la concentraci\~on de MLSS en el reactor biol\~ogico, mediante la siguiente ecuaci\~on:

$$kgMLSS = Volumen(m^3) * [MLSS] \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

T_e es la tasa de extracci\~on de fangos y se calcula seg\~un Huisken por la siguiente ecuaci\~on:

$$T_e = 1,2 * Carga\ m\acute{a}sica^{0,23} + 0,5 * \left(\frac{SS}{DBO} - 0,6 \right)$$

Siendo SS y DBO, las cantidad de sólidos en suspensión y demanda biológica de oxígeno referidos a la entrada al biológico.

Los volúmenes obtenidos según las 3 ecuaciones se muestran en la tabla 36.

Tabla 36. Volúmenes obtenidos del Reactor Biológico.

Volumen(Cm)	119993,30
Volumen (TRH)	180296,45
Volumen (E)	127999,58
Te	0,60
R	1,02

El volumen mínimo que debe tener el reactor será el calculado por el TRH y su valor será de 180.297 m³.

Se diseñarán 10 líneas de tratamiento debido a que se trata de unos volúmenes muy elevados. El volumen escogido finalmente se muestra en la tabla 37.

Tabla 37. Parámetros del Reactor Biológico.

10 líneas	
Volumen unitario (m ³)	18030
Base(m)	15,0
Longitud(m)	100,0
Altura(m)	12,0
Resguardo altura(m)	0,5
Altura total(m)	12,5

Existen distintos diseños comerciales de reactores MBR con membranas sumergidas. Las características para cuatro de los más importantes se muestran en la tabla. (T. Mellin, B. Jefferson, D. Bixio, C. Thoeye, W. de Wilde, J. de Koning, J. van der Graaf y T. Wintgens. “Membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse”. Desalination)

Aireación:

Una vez determinado el volumen del reactor biológico, sus dimensiones y número de líneas, se deberá definir la demanda de oxígeno.

Se tendrá en cuenta para el cálculo de la demanda real el coeficiente de transferencia y las puntas de caudal.

En un sistema biológico se precisa oxígeno para:

- a: Para la síntesis, para la degradación de la materia orgánica.
- b: Respiración endógena de las bacterias.
- c: oxígeno necesario en el proceso de nitrificación
- d: oxígeno recuperado en el proceso de desnitrificación.

En este proceso únicamente se necesitará oxígeno para la síntesis y para la respiración endógena de las bacterias ya que no tenemos procesos de nitrificación y desnitrificación.

Para el cálculo de los coeficientes a y b se utilizan las siguientes ecuaciones (Sainz Sastre):

$$a = 0,5 + 0,01 * TRC \left(\frac{kgO_2}{kgDBO_{eliminada}} \right) / día$$

$$b = 0,15 - 0,0055 * TRC \left(\frac{kgO_2}{kgMLSS} \right) / día$$

Los resultados para los coeficientes a y b se muestran en la tabla 38.

Tabla 38. Necesidades de oxígeno para el reactor biológico

Necesidades de oxígeno	
a(kgO ₂ /kgDBOeliminada/día)	0,60
a(kgO ₂ /día)	76978,10
b(kgO ₂ /kgMLSS/día)	0,10
b(kgO ₂ /día)	102768,98

Para tener en cuenta las necesidades reales de oxígeno, habrá que tener en cuenta los valores punta de caudal. Las puntas de caudal únicamente afectan al oxígeno utilizado para la síntesis porque el consumo para la respiración no cambia, al no variar la cantidad de microorganismos presentes en el reactor.

Los valores punta y los resultados para las necesidades reales de oxígeno se muestran en la tabla 39.(Sainz Sastre, Degremont)

Tabla 39. Valores punta y necesidades teóricas finales de oxígeno

Valores punta	
e1	1,50
e2	1,75
e3	0,50
Et	1,31
eT adoptado	1,50
kgO ₂ totales/día	218236,12

Necesidades reales de oxígeno:

Las fórmulas anteriores están referidas al laboratorio, con agua limpia, luego corresponden a necesidades teóricas de oxígeno. Para pasar a necesidades reales se emplean una serie de coeficientes, con ellos se calcula un factor que es el factor de corrección de las necesidades teóricas a reales.

Este factor de corrección se calcula aplicando una fórmula que es función de la salinidad, tensión superficial, altitud, transferencia de O₂, el tipo de sistema de aireación

utilizado, temperatura del agua residual, concentración de saturación de O2, etc.(Sainz Sastre, Degremont)

El factor de corrección se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$Factor\ corrección = \frac{\alpha(\beta * Cs * Caltura - CL)}{Cs^{10}} * Ch * 1,024^{T-10}$$

Los valores obtenidos para los parámetros, el factor de corrección obtenido y finalmente las necesidades reales de oxígeno se muestran en la tabla 40.

Tabla 40. Necesidades reales de oxígeno en el reactor biológico.

Necesidades reales de oxígeno	
Altitud Vizcaya(m)	10,0
Tª verano (°C)	22,0
α	0,7
β	0,9
Cs	8,9
Cl (ppm)	1,5
Cs^10	11,3
Caltura(m)	1,6
Ch (m)	1,0
Factor corrección	0,9
Necesidades reales(kgO₂/día)	239909,4

Transferencia de oxígeno

La dosificación del oxígeno se realiza a través de aire, la transferencia de oxígeno está en función de:

$$T0 = transferencia\ de\ oxígeno = P * P0 * Re$$

Siendo:

- P el peso específico del aire
- P0 la concentración de oxígeno en el aire
- Re el rendimiento de transferencia de oxígeno por metro de profundidad del reactor biológico(Sainz Sastre, Degremont)

Los valores obtenidos se muestran en la tabla 41.

Tabla 41. Transferencia de oxígeno

Transferencia de oxígeno	
P (Kg/Sm ³)	1,248
Po (%O ₂ /Aire)	0,209
Re (%/m)	0,045
Altura útil (m)	12
T0	0,141

El caudal de aire necesario por tanto será:

$$Q_{aire}(m^3) = \frac{\text{necesidades reales}}{T0} = 1.703.305 m^3$$

Número de difusores

Los difusores se calculan a partir del flujo de aire, dividiendo el caudal de aire entre el flujo de aire por difusor. El flujo de aire se obtiene en la gráfica con un sote del 54%.

$$Difusores\ totales = \frac{\text{Caudal de aire}(\frac{m^3}{h})}{\text{Flujo de aire por difusor}(\frac{Nm^3}{h})} = 177.428\ difusores$$

Tabla 42. Número total de difusores.

Difusores	
Difusores de burbuja fina	
SOTE%	54%
Flujo de aire (Nm ³ /h)	0,40
Número de difusores	177.428
Difusores por línea	17.743
Consumo (kgO ₂ /kw)	2,50
Consumo difusores(kw/h)	95.963,74

En la tabla 43 se observan los principales tipos de membranas sumergidas en las industria.

Tabla 43. Principales tipos de membranas sumergidas

	Zenon	USFilter	Kubota	Mitsubishi-Rayon
Tipo membrana	Fibra hueca	Fibra hueca	Láminas planas	Fibra hueca
Disposición membranas	Vertical	Vertical	Vertical	Horizontal
Tamaño poro (mm)	0,04	0,1	0,4	0,1/0,4
Material membrana	Registrado por la empresa	PVDF	Polietileno	Polietileno
Superficie módulos (m ²)	31,6	9,3	0,8	105
Método limpieza	Cambio de flujo pulsante	Cambio de flujo	Cambio de flujo	Cambio de flujo
Frecuencia lavado (min/min)	0,5/15-1/15	1/15	1/60	2/12
Método recuperación membrana	Lavado con productos químicos	Lavado con productos químicos	Con cloro mediante flujo contrario	Con cloro mediante flujo contrario
Frecuencia procedimientos de recuperación	3 meses	2 meses	6 meses	3 meses
Forma de llevar a cabo la recuperación	Ex situ/ in situ	Ex situ	In situ	In situ

La tecnología escogida será de tipo Zenon, ya que previamente se escogieron las membranas de fibra hueca por sus ventajas y además estas membranas tienen un menor tamaño de poro.

Los MLSS de las membranas se calcularán con la siguiente ecuación:

$$MLSS \text{ membranas} = \left(1 + \frac{1}{N}\right) * MLSS \text{ reactor biológico}$$

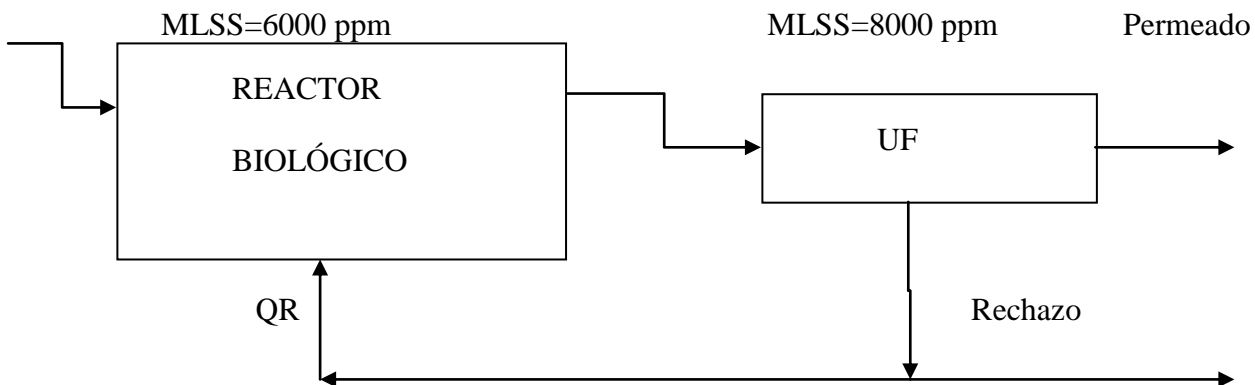
Siendo N el número de veces que se recircula, que es 3 ya que la recirculación es del 300%.

$$MLSS \text{ membrana} = \left(1 + \frac{1}{3}\right) * 6000 \text{ ppm} = 8000 \text{ ppm}$$

Hay un caudal de fangos que será necesario recircular de las membranas de ultrafiltración al reactor biológico para mantener los 6.000 ppm de MLSS que éste tiene, este caudal es QR y es el caudal de recirculación de fangos.

Del reactor biológico salen 6.000 ppm hacia las membranas de ultrafiltración. Al salir de las membranas, se obtiene un permeado con una cantidad entre 1 y 5 ppm de sólidos en suspensión y un rechazo con una cantidad de MLSS de 8.000 (como se había calculado previamente).

Aunque la membrana que se usará es de tipo sumergida, este es el concepto de recirculación.



El caudal QR o caudal de recirculación, es el caudal de fangos que es necesario recircular y se calculará con la siguiente ecuación:

$$QR\left(\frac{m^3}{h}\right) = Qm\left(\frac{m^3}{h}\right) * \frac{MLSS\ reactor\left(\frac{kg}{m^3}\right)}{(MLSS\ membranas - MLSS\ reactor)\left(\frac{kg}{m^3}\right)}$$

$$QR\left(\frac{m^3}{h}\right) = 18.029,65 * \frac{6}{8 - 6} = 54.089 \frac{m^3}{h}$$

Será necesario recircular 54.089 m³/h de fangos para mantener la concentración en el reactor biológico.

Una parte de los fangos se recircularán y hay otra parte de fangos que se purgarán, los fangos que estén en exceso.

El caudal de purga se calculará en función de los fangos a purgar, que a su vez se calculan con la siguiente ecuación:

$$Fangos\ a\ purgar = Te * DBO_{eliminada}$$

$$Caudal\ purga\left(\frac{m^3}{h}\right) = \frac{Fangos\ a\ purgar\left(\frac{kg}{h}\right)}{1000 * Cp\left(\frac{kg}{m^3}\right)}$$

Siendo Cp la concentración de purga de 8 kg/m³.

$$QP = Caudal\ purga = 0,4\ m^3/h$$

Para el cálculo del número de membranas previamente hay que conocer el flujo de las membranas elegidas y la superficie de las membranas. Los datos recopilados se muestran en la tabla. (xylemsolution.com/biorreactoresdemembrana/casazenon)

Tabla 43. Características membranas tipo Zenon

Membranas tipo ZENON	
T(°C)	20
Flujo(L/m ² *h)	25

CARACTERISTICAS GENERALES	
Marca (fabricante)	ZENON
Modelo	W500D
Tipo de filtración (MF, UF)	UF
Tipo de configuración (tubular, fibra hueca, plana)	Fibra hueca reforzada
Modo de filtración (succión, presión, gravedad, sifón)	Succión
Material de la membrana	PVDF
Diámetro de poro nominal (micras)	0,034
Tipo de refuerzo	Textil
Dimensiones del módulo (mxmxm)	2,198 x 0,844 x 0,049
Dimensiones del bastidor (mxmxm)	2,112x1,745x 0,590
Nº de módulos por bastidor	≤ 48
Superficie de membrana por módulo (m ²)	34,37
Superficie de membrana por bastidor (m ²)	1.649,76
Empaquetado del módulo (m ² membrana /m ³)	378
Empaquetado del bastidor (m ² membrana /m ³)	172,84
Dirección del flujo	De fuera a dentro
Configuración del sistema	Sumergido

Debido al tan elevado caudal, se diseñarán también 10 líneas al igual que en el reactor biológico, como se comentó previamente.

Las membranas van en módulos de membranas. A su vez cada módulo de membrana van en bastidores. El número de módulos por bastidor máximo es de 48.

Se calculará la superficie por línea , el número de módulos y finalmente el número de bastidores o Raks mediante las siguientes ecuaciones (Situación actual de la tecnología MBR de Juan Antonio Cortacans):

$$\text{Superficie por línea} = \frac{\text{Caudal por línea}}{\text{Flujo}}$$

$$\text{Nº de modulos de membranas} = \frac{\text{Superficie por línea}}{\text{Superficie por módulo}}$$

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 44.

Tabla 44. Resultados de número de membranas.

Qm(m ³ /h)	18029,65
n° líneas	10
Reserva	1
Q por línea(m ³ /h)	1802,96
Superficie por línea(m ²)	72118,58
n°módulos de membrana	2098,30
N° Raks o bastidores por línea	44

Se tendrá en cuenta que se realizará una reposición de las membranas cada 10 años ya que se pierde su capacidad de depuración y la casa Zenon establece en este período su reposición.

3.5 Tratamiento terciario

3.5.1. Adsorción por carbón activo

El proceso de adsorción por carbón activo se emplea de manera habitual en las aguas residuales que contengan sustancias susceptibles de ser adsorbidas en carbón activo, es decir, aquellas aguas industriales que contengan pesticidas, herbicidas, compuestos aromáticos, clorados, fenoles, compuestos de alto peso molecular, etc.

La adsorción con carbón activo se emplea como tratamiento terciario para adsorber los compuestos que no son eliminados en el tratamiento secundario.

El material por el que estará compuesto el lecho será de carbón activo granular. La viabilidad económica de la aplicación del carbón activa depende de su capacidad de regeneración y recuperación, una vez agotada su capacidad de adsorción. El carbón activo granular se regenera fácilmente por oxidación de la materia orgánica y su

posterior eliminación de la superficie del carbón en un horno. En este proceso se destruye parte del carbón, entre un 5 y un 10%, y es necesario reemplazarlo por carbón nuevo o virgen.

En los lechos de carbón activo el agua residual entra por la parte más alta de la columna, fluye de forma descendente a través del lecho, saliendo por la parte baja de la columna. Conforme el agua residual se va transmitiendo a través de la columna, los contaminantes son adsorbidos.

El diseño de los lechos de adsorción de carbón activo se realiza mediante el tiempo de contacto (TC) y la carga hidráulica superficial (CH), los valores de los parámetros son los siguientes.

Tabla 45. Bases de diseño del lecho de adsorción de carbón activo (Ficha técnica de adsorción de carbón activo INDITEX (FT-TER-002))

Caudal(m ³ /h)	18030
Carga hidráulica (m ³ /m ² *h)	12
tiempo de contacto(min)	20
Relación altura/diámetro	5

El lecho de carbón activo se diseña con el caudal medio, en donde la longitud, la altura y el volumen se determinan usando las siguientes fórmulas.

$$TC = \frac{VOL}{Q}$$

$$TC = \frac{D}{CH}$$

$$5 = \frac{H}{D}$$

En donde TC es el tiempo de contacto, y por medio del caudal se determina el volumen. CH es la carga hidráulica, cuya fórmula es el caudal entre el área (Q/A), en donde se obtiene el área.

Para obtener el diámetro se obtiene a partir del volumen y la altura del lecho, gracias a la relación que deben cumplir la altura y el diámetro del lecho.

Por último, el diámetro y la altura del lecho se obtienen a partir del volumen calculado gracias al tiempo de contacto y a la relación que cumplen la altura (H) y el diámetro.

Los valores obtenidos se muestran en la siguiente tabla

Tabla 46. Valores finales escogidos para el lecho de adsorción de carbón activo

Volumen lecho(m ³)	6010
N ^o líneas	6
Volumen unitario (m ³)	1002
longitud del lecho(m)	6,34
altura del lecho(m)	31,7
área del lecho(m ²)	40,2

La adsorción por carbón activo dispone de 6 líneas de tratamiento en el que las columnas están conectadas en paralelo y disponen de un sistema de lavado a contracorriente y para la limpieza de la superficie, con el fin de limitar las pérdidas de carga producidas por la retención del material particularizado en su interior.

El carbón activo debe ser regenerado cuando la calidad del efluente alcanza el nivel mínimo establecido, ya que la capacidad de adsorción del carbón activo se deteriora gradualmente con el uso.

El diseño suministra además:

- Medidores de presión a la entrada y salida de lecho.
- Posibilidad de tenerlo activo o by-paseado en caso de tener un buen efluente.

En la siguiente figura se observa el lecho de adsorción de carbón activo en el que se distinguen lo que lleva incluido, las válvulas, las toberas de drenaje y los distribuidores.



Figura 12. Lecho de adsorción de carbón activo

En el proceso de adsorción por carbón activo hay eliminación de los contaminantes emergentes y de los parámetros de vertido. Los rendimientos del proceso de adsorción activo se muestran en la siguiente tabla 43 (Jojoa-Unigarro et al.).

Tabla 47. Porcentaje de eliminación del proceso de adsorción de carbón activo de los distintos parámetros

Compuesto	Rto eliminación
Contaminantes emergentes	80%
SS	74%
DBO	99%
DQO	92%
NT	92%
PT	90%

Tabla 48. Valores de entrada y de salida del carbón activo para contaminantes emergentes.

CONTAMINANTES EMERGENTES		
Contaminante	Valor ENTRADA CAG($\mu\text{g/L}$)	Valor SALIDA CAG($\mu\text{g/L}$)
PFBS	15,66	3,13
Ibuprofeno	8,24	1,65
EDDP	1,27	0,25
Carbamazepina	1,19	0,24
Diazepan	0,72	0,14
Diclofenaco	0,74	0,15
Enalapril	0,54	0,11
Sulfametosazol	1,81	0,36
Ketoprofeno	1,33	0,27
Cafeina	26,47	5,29
PFOS	1,31	0,26
Progesterona	3,06	0,61
THCCOOH	0,86	0,17
Sulfadiazina	0,22	0,04
α -Ethinyl Estradiol	2,09	0,42
Anfetamina	2,51	0,50
Benzafibrato	0,42	0,08
Bissoprolol	0,16	0,03
Lasalocid	0,08	0,02
Genfibrozil	0,48	0,10
Atenolol	0,08	0,02
Cenifibrozil	0,50	0,10

Tabla 49 Valores de entrada y salida de parámetros de contaminación convencional.

Parámetros	Unidades	ENTRADA	
		CAG	SALIDA CAG
SS	ppm	3,05	0,79
DBO5	ppm	2,99	0,03
DQO	ppm	137,08	10,97
NT	ppm	0,79	0,06
PT	ppm	0,12	0,01

4. ESTUDIO ECONÓMICO:

Se detallarán los costes de explotación y mantenimiento de las instalaciones. Los costes dependerán de las siguientes actividades: mantenimiento y conservación, explotación y control, y seguimiento de equipos e instalaciones con el consiguiente rendimiento óptimo.

4.1. Estructuras de costes

4.1.1. Costes fijos

Los costes fijos son los gastos que van a producirse desde que se ponga la depuradora en servicio y a lo largo de su vida útil de forma continua y constante, son independientes del caudal a tratar.

Los costes fijos están compuestos por:

- Personal
- Mantenimiento y explotación
- Reposición de membranas
- Seguridad e Higiene
- Varios (amortización, seguros, material de oficina, vestuario)

4.1.2. Costes variables

Los costes variables dependen de las características del agua residual a tratar, compuesto por:

- Energía
- Transporte
- Análisis de laboratorio

4.2. Costes fijos

4.2.1. Mantenimiento y explotación

Los costes de mantenimiento y explotación dependen del tamaño de la planta, equipos y materiales existentes, así como su exigencia y funcionamiento, en cual se incrementa a lo largo del tiempo, a medida que van envejeciendo los equipos.

Se ha establecido un rango de 80 €/Hab eq.

Coste total de implantación: 123.680.000 €.

Tabla 50: Coste total de implantación

Num hab equi	Coste €/Hab-eq	Coste total
1.696.478	80	123680000

Los costes totales de implantación están compuestos por los costes de equipos y obra civil y sus respectivos costes de mantenimiento, que suponen un 4% el coste anual de mantenimiento del coste de los equipos y un 0,2% del coste anual de conservación de la obra civil.

Costes de mantenimiento y conservación de las plantas.

Tabla 51: Costes de operación y mantenimiento

Num hab equi	Coste total (€)	%	Mantenimiento y explotación	Coste €/año
1.696.478	123680000	4%	Equipos	1978880
		0,20%	Obra civil	148416

4.2.2. Costes de personal

Los costes de personal se divide en 5 grupos: diseño y construcción, mantenimiento y operación, operarios, jefe de planta y subjefe de planta.

La jornada laboral es de lunes a viernes. En la planta habrá personal en la instalación las 24 horas del día y se adoptará en base de cuarenta horas semanales o las que en el futuro puedan establecer los Reglamentos o Leyes Laborales de obligado cumplimiento. Los días laborables totales son de 250 días al año.

Los costes de personal incluyen:

- Salarios.
- Cargas sociales
- Formación

En resumen, los costes de personal se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 52. Costes de personal

Num hab equi	Categoría	Nº Personas	Coste unitario	Coste €/Año
1.696.478	Jefe de planta	1	60000	60.000
	Subjefe de planta	1	40000	40.000
	Diseño y construcción	10	30.000	300.000
	Operación y mantenimiento	3	26.000	78.000
	Operarios	16	24.000	384.000

El coste total de personal es de 862.000 €/año.

4.2.3. Reposición de Membranas

La reposición de membranas se realizará al 100% en 10 años. Con lo cual el coste de la reposición de las membranas por línea será de 865.416 €/año. Como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 53. Costes de reposición de las membranas

Coste membranas €/m2	Superficie membranas m2	Coste total	Coste reposición €
120	72118	8654160	865416

Al ser el coste del módulo de las membranas de 1100 €/módulos, los módulos de las membranas cuestan 80 M€ en total por línea (CAPEX).

4.2.4. Energía. Término de potencia.

El término potencia depende de la potencia eléctrica concentrada, no de los gastos, con lo cual es un costo fijo a cargar de la explotación.

El coste de la energía se calculará por medio de la potencia instalada en Kw por el precio del término de potencia por el número de meses.

La potencia instalada en toda la planta se compone de la de todos los componentes eléctricos de la planta.

El coste anual de potencia es de 300.000 €/año.

4.2.5. Seguridad e Higiene.

En este apartado se detallan los costes anuales de seguridad e higiene, y no la inversión inicial para dotar a la planta de los equipos y medidas necesarios, que se incluirán en el apartado de varios.

Se incluye la reposición de elementos fungibles como protecciones personales (filtros para mascarillas, guantes, gafas de seguridad, protectores auditivos, etc.), revisiones anuales de los extintores y sus recargas, modernización de las medidas protectoras, etc.

Costes de seguridad e Higiene: 1000 €/año.

4.2.6. Otros costes.

En los costes varios se incluye la amortización, los seguros, el material de oficina, el vestuario.

4.2.6.1. Amortización

Se incluirá un coste de amortización de los costes de implantación en la repercusión de los costes de explotación anual.

Tabla 54: Coste de amortización

Num hab equi	Coste equipos €	Coste amortización	Coste obra civil €	Coste amortización
1.696.478	49472000,00	3298133,33	74208000,00	2473600,00

El coste total de la amortización es de 5.771.733 €/año.

4.2.6.2. Seguro

La empresa dispondrá de una póliza de responsabilidad civil que cubre todas sus instalaciones. El coste anual es de 900 €/año.

4.2.6.3. Material de Oficina

El coste anual del material de oficina es de 500 €/año.

4.2.6.4. Comunicaciones (Telefonía Fija y Móvil, Correos)

Se estimará un coste anual de 500 €/año.

4.2.6.5. Vestuario

Dentro del vestuario se incluye: botas de agua, botas de seguridad, buzo impermeable, ropa de trabajo, etc. Por operario y año sale de 800 €/año.

4.2.7. Resumen de costes fijos:

En este apartado se resume todos los costes fijos. En primer lugar se muestra un resumen de los costos varios.

Tabla 55: Otros costes fijos

Otros costes fijos	Costes fijos €/año
Amortización	5771733,33
Seguro	900,00
Material de oficina	500,00
Comunicaciones	500,00
Vestuario	800,00
TOTAL	5774433,33

A continuación se muestra el resto de costes fijos.

Tabla 56: Resumen de costes fijos

Categoría	Costes fijos anuales
Personal	862000,00
Mantenimiento y explotación	2127296,00
Reposición de membranas	8654160,00
Energía. Potencia	300000,00
Seguridad e higiene	1000,00
Otros	5774433,33
TOTAL	17720000

Costes fijos totales: 17.720.000 €/año

4.3. Costes variables

4.3.1. Costes de Energía

Se ha calculado el promedio del número de horas de funcionamiento al año de cada equipo en función de su potencia y eficiencia. Viene asociado un término de energía relativo al coste por el consumo eléctrico.

El coste variable de la energía es de 11420 €/año.

4.3.2. Costes de transporte

En la EDAR se genera un tipo de residuos: basuras.

Las basuras con recogidos en el desbaste. Las basuras serán recogidas mediante un gestor autorizado de residuos.

Para el cálculo de costes de transporte y gestión de basuras se ha estimado en la recogida diaria, salvo los días festivos de un contenedor de 1000 L. Supondrá un presupuesto anual de 1000 €/año.

También se incluirá el coste de transportes varios y grúas para el mantenimiento de equipos, en unos 2000 €/año.

4.3.3. Análisis de laboratorio

Es importante conocer una serie de parámetros en diferentes puntos de la instalación, para que se pueda mantener los procesos dentro del rango previsto y para conocer con que procesos no se obtienen el rendimiento preciso y pueda afectar el rendimiento global de toda la instalación.

La empresa colaboradora encargada de realizar los análisis de DBO, DQO, SS, nitrógeno total y fósforo total será la empresa AQM LABORATORIOS, S.L. cuyos precios de las muestras analíticas se recogen en la siguiente tabla.

Tabla 57: Precios de los análisis

Parámetro	Precio unidad
DBO	50
SS	30
DQO	35
Nt	30
Pt	60

En total se realizarán 50 muestras al año, lo que se traduce en unos costes de análisis de laboratorio de 1100 €/año.

4.3.4. Resumen de costes variables

En la siguiente tabla se muestran el total de los costes variables.

Tabla 54: Costes variables totales

Categoría	Costes variables anuales
Transporte	3000,00
Análisis laboratorio	10660,00
Energía	11420,00
TOTAL	25080,00

Costes fijos totales: 25.080 €/año

El resumen de los costos de la línea de agua se muestra en la línea de agua (HIDROMETÁLICA, INDITEX, ZENON).

		Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1 Obra de llegada	Unidades		
Vertedero (alivio de caudal)	1	100.000	100.000
compuerta automatizada	1	50.000	50.000
2 Pozo de gruesos			0
Pozo de gruesos	1	500.000	500.000
Cuchara bivalva	1	61.360	61.360
4 Desbaste			0
Reja de sólidos	4	29.840	119.360
Reja de finos	4	19.800	79.200
5 Desarenado-Desengrasado			0
Desarenador	4	400.000	1.600.000
Turbina de agitación	4	200.000	800.000
Clasificador de arenas	4	200.000	800.000
7 Depósito de regulación			0
Depósito de regulación	4	500.000	2.000.000
8 Decantador primario			0
Decantador	10	180.000	1.800.000
9 Reactor biológico			0
Compuerta de entrada reactor biológico	10	200.000	2.000.000
Reactor biológico	10	500.000	2.000.000
11 Filtración carbón activo			0
Lechos adsorción	6	150.000	900.000
			19.609.920,00

Ejecución de la obra	Precio total (€)
Mano de obra	3.000.000
Terrenos	10.000.000
Materiales	800.000
	13.800.000,00

TOTAL COSTOS EQUIPOS:	23.809.920,00	M€
TOTAL COSTOS EJECUCIÓN DE LA OBRA:	13.800.000,00	M€
TOTAL COSTOS LINEA DE AGUA:	37.609.920,00	M€

5. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

En este apartado se va a estudiar los posibles efectos medioambientales y sociales que puede tener la ampliación de la estación depuradora de Galindo tanto en su etapa de construcción como de funcionamiento.

5.1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO DE ESTUDIO

Antecedentes y justificación de la actuación

Este Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) acompaña al Proyecto de “EDAR de Galindo”.

El Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de la EDAR de Galindo se realiza dando cumplimiento a la legislación vigente con el objetivo de identificar, predecir y prevenir las consecuencias de la construcción y explotación de la infraestructura compatible con el medio ambiente.

Objeto y alcance del estudio

El objetivo del presente estudio es proporcionar al órgano ambiental, en este caso el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (Viceconsejería

de Medio Ambiente) del Gobierno Vasco la información necesaria para el trámite de Evaluación de Impacto Ambiental del Proyecto de EDAR de Galindo.

Dicho trámite está regulado por la siguiente normativa marco estatal:

Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.

Real Decreto 1131/1988, Reglamento para la Ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/1986.

Esta legislación se desarrolla en la normativa de la Comunidad Autónoma del País Vasco mediante la Ley Autonómica 3/1998, General de Protección del Medio Ambiente del País Vasco.

Justificación del sometimiento a Evaluación de Impacto Ambiental

Consultada la legislación ambiental aplicable, Ley 3/1998, de 27 de febrero, General de Protección del Medio Ambiente del País Vasco, se observa que el proyecto de EDAR de Galindo está incluido en su Anexo I.B:

2. Proyectos de infraestructura hidráulica, de gestión y tratamiento del agua y actuaciones en dominio público hidráulico.

2.6 Plantas de tratamiento de aguas residuales de capacidad superior a 100.000 habitantes equivalentes, tal como se define en el punto 6 del artículo 2 de la Directiva 91/271/CEE.

De este modo el proyecto está sometido a evaluación individualizada de impacto ambiental. El procedimiento de evaluación individualizada se cita en el Artículo 43, apartado b., de la Ley 3/1998, donde se dice que está “destinada a valorar los efectos de la ejecución de un proyecto sobre el medio ambiente de acuerdo con el procedimiento contemplado con el Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio y su normativa de desarrollo”.

Puesto que el Real Decreto Legislativo 1302/1986 ha sido derogado por el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, este último será la normativa

básica sobre la que se basará el procedimiento de evaluación de impacto ambiental del proyecto de EDAR de Galindo.

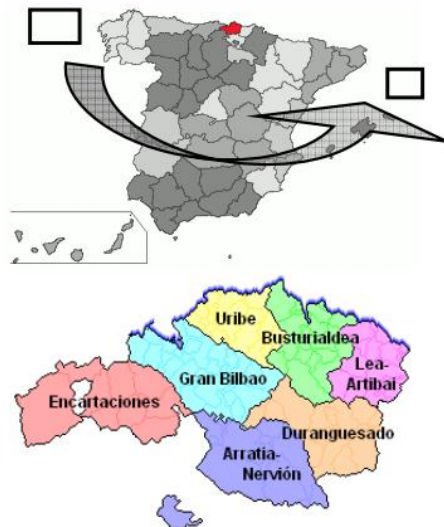
5.2 DESCRIPCIÓN DE LA ACTUACIÓN

A continuación se presenta un resumen de las características del proyecto de EDAR de Galindo.

Localización geográfica

La actuación se desarrolla íntegramente en el término municipal de Sestao, perteneciente a la Comarca del Gran Bilbao. El Gran Bilbao es una comarca de Vizcaya (País Vasco, España) que está constituida por el conjunto de municipios dispuestos a lo largo del río Nervión hasta su desembocadura y que debido a su crecimiento han llegado a unirse físicamente dando la apariencia de una sola ciudad.

Figura 12. Localización geográfica de la depuradora.



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Gran_Bilbao

Objeto de actuación

En la actualidad, las aguas tratadas en la depuradora de Galindo desaguan a la ría del Nervión.

Las instalaciones existentes presentan un problema en la calidad de las aguas que tratan, los procesos de depuración utilizados no son capaces de la eliminación de contaminantes emergentes, los cuales se encuentran en dicha agua.

El proyecto en el que nos encontramos trata de conseguir dicha eliminación con la utilización de los procesos de depuración adecuados.

6. CONCLUSIONES

- El tratamiento secundario con MBR es una tecnología novedosa en la depuración de aguas residuales con el que se obtienen mejores rendimientos de eliminación de la DBO, DQO y los sólidos en suspensión, y con el que además se consiguen eliminar los contaminantes emergentes impidiendo que contaminen el medio ambiente y preservando el mundo natural.
- La combinación del proceso MBR y carbón activo consigue eliminar el 95% de los contaminantes emergentes.
- Aunque los contaminantes emergentes no están legislados su presencia en el medio ambiente es perjudicial para los seres vivos, con lo que será imprescindible implantar este tipo de tecnologías en todas las depuradoras.
- La principal ventaja de la nueva tecnología de tratamiento de agua residual con MBR es que ocupa una menor superficie que el tratamiento secundario convencional con fangos activos, ya que en lugar del clarificador convencional se tienen unas membranas de ultrafiltración.
- Las membranas de ultrafiltración tienen un tamaño de poro de 0,04 μm y eliminan los virus y el agua residual sale desinfectada.
- Al trabajar en los procesos MBR con MLSS mayores que en los fangos activos convencionales se logra una mayor depuración del agua en menor espacio.
- En los procesos MBR se trabaja con un tiempo de retención hidráulico y celular mucho mayor que en los fangos activos convencionales y una carga másica menor.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Arslan I, Dogruel S, Baykal E y Gerone G, 2004. Combined chemical and biological oxidation of penicillin formulation effluent. *Journal of Environment Manager* 73 (2):155-163.
- Barceló D., López de Alda M.J. “Contaminación y calidad química del agua. El problema de los contaminantes emergentes”. Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales-CSIC. Barcelona, 2008.
- Biziuk, M., Pryjazny, A., Czerwinski, J. & Wiergowski, M. (1996). Occurrence and determination of pesticides in natural and treated waters. *J. Chromatogr. A* , 754 (1-2), 103-123.
- Castells, P., Santos, F.J.& Galceran, M.T. (2003). Solid-phase microextraction for the analysis of short-chain chlorinated paraffins in water samples. *J. Chromatogr., A*, 984 (2), 1-8.
- Contaminantes emergentes en el agua: Caracterización, degradación y monitorización Estudio de fundación Tekniker.
- Datos de agua, estación depuradora de aguas residuales municipales (EDAR).
- Manual Técnico del agua Degremont.
- Ficha técnica de adsorción de carbón activo INDITEX (FT-TER-002).
- Filale Y, TyagiR, Surampalli R, Barata C y Riva M, 2004. Endocrine-disrupting compounds in wastewater, sludge-treatment processes, and receiving waters: Overview, *Practice Periodical of Hazardous, Toxic and Radioactive Waste Management ASCE*, 8(1): 39-56.
- Frederick W. Hardt, Lenore S. Clesceri, Nelson L. Nemerow and Donald R. Washington *Journal (Water Pollution Control Federation)* Vol. 42, No. 12 (Dec., 1970), pp. 2135-2148.
- G.D. Jojoa-Unigarro, H.L. Rodríguez-Zambrano, S.A. Cardona-Gallo, tratamiento de aguas residuales a partir de métodos biológicos.
- Judd, S. *The MBR Book*.
- K. Yamamoto, M. Hiasa, T. Mahmood, T. Matsuo,” *Direct Solid-Liquid Separation Using Hollow Fiber Membrane in an Activated Sludge Aeration Tank*”, Published April 1989, 21 (4-5) 43-54;

- Kenne, K. & Ahlborg, U.G. (1996). Environmental Health Criteria 181, Chlorinated Paraffins. Recuperado, Diciembre 1, 2013, de International Programme on Chemical Safety. Sitio web:<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc181.htm>

- Margarita G. B., Carlos S.G., Ramón G. F., Biorreactores de membrana (MBR), Departamento de Proyectos de Ingeniería. Universitat de Catalunya.

- Metcalf.

- Nitscheke L, Wilk A, Schussler W, Metzner G y Lind G, 1999. Biodegradation in laboratory activated sludge plants and aquatic toxicity of herbicides. *Chemosphere* 39: 2313-2323.

- Petrovic M, Diaz A, Ventura F y Barcelo D, 2003. Occurrence and removal of estrogenic short chain ethoxy nonylphenolic compound and their halogenated derivatives during drinking water production. *Env. Sci. Technol.* 27: 4442-4448.

- Pierre Le Clech, Bruce Jefferson, In Soung Chang, Simon J. Judd, "Critical flux determination by the flux-step method in a submerged membrane bioreactor", Critical flux determination by the flux-step method in a submerged membrane bioreactor.

- Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental.

- Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales Juan Antonio Sainz Sastre.

- Ternes, T., Meisenheimer, M., Mc Dowell, D., Sacher, F., Brauch, H-J., Haist-Gulde, B., Preuss, G., Wilme, U. y Zulei-Seibert, N. 2002. Removal of Pharmaceuticals during drinking water treatment. *Environ. Sci. Technol.* 36:3855-3863.

- Tixier C, Singer H, Ollers S, Muller S, 2003. Occurrence and Fate of Carbamazepine, Clofibric Acid, Diclofenac, Ibuprofen, Ketoprofen, and Naproxen in Surface Waters. *Environ. Sci. Technol.* 37: 1061-1068.

- T. Mellin, B. Jefferson, D. Bixio, C. Thoeye, W. de Wilde, J. de Koning, J. van der Graaf y T. Wintgens. "Membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse". *Desalination*

- Wintgens T., Gellenkemper M. y Melin T, 2002. Endocrine disrupter removal from wastewater using membrane bioreactor and nanofiltration technology. *Desalination* 146: 387-391.

- Westerhoff P, Yoon Y, Snyder S. y Wert E, 2005. Fate of endocrine-disrupter, pharmaceuticals and personal care product chemicals during simulated drinking water treatment process, *Env. Sci. Technol.* 39: 6649-6663.

- Westerhoff P, Mezyk SP, Cooper WJ, Minakata D. Electron pulse radiolysis determination of hydroxyl rate constants with Suwannee river fulvic acid and other dissolved organic matter isolates. *Environmental Science and Technology* 2007; 41:4640-6.

- Wit, C. (2002). An overview of brominated flame retardants in the environment. *Chemosphere*, 46 (5), 583624.

- xylemsolution.com/biorreactoresdemembrana/casazenon

PROYECTO FIN DE MÁSTER:

*“EDAR Urbana con
tratamiento secundario y
terciario avanzados para la
eliminación de nuevos
contaminantes”*

INTRODUCCIÓN

Legislación aplicable

1) Directiva 91/271/CEE Anexo 1, sobre tratamiento de aguas residuales

Parámetros	Límites de vertido (ppm)
DBO5	25
DQO	125
SS	35
Pt	1
Nt	10



2) RD 1620/2007 sobre reutilización de aguas

Parámetros	Valor máximo admisible
Nematodos intestinales	1 huevo/10 L
Escherichia coli	-
SS	5 mg/L
Turbidez	1 UNT

INTRODUCCIÓN

Concepto de contaminante emergente

Un contaminante emergente es un material, un elemento, un compuesto, una especie química, e incluso un fenómeno físico desconocido o no reconocido



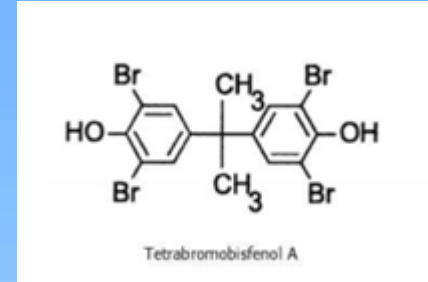
Cuya presencia puede ser en el medio ambiente es perjudicial para los seres vivos



INTRODUCCIÓN

Tipos de contaminantes emergentes

- Retardantes de llama bromados.
- Parafinas cloradas.
- Pesticidas polares.
- Compuestos perfluorados.
- Fármacos y productos de higiene personal.
- Drogas.
- Surfactantes y sus metabolitos.



INTRODUCCIÓN

- Fármacos y productos de higiene personal

Fármacos más comunes

- Antibióticos
- Medios de contraste en rayos X
- Citostáticos
- Estrógenos

Ejemplos de peligrosidad:

La concentración del diclofenaco encontrada para la toxicidad crónica en los pescados está en el rango de las concentraciones de aguas residuales.



INTRODUCCIÓN

Tecnologías de eliminación de contaminantes emergentes

Procesos avanzados

Proceso escogido: Reactor membranas (MBR) seguido de una adsorción de carbón activo

Ventajas

Menor requerimiento de espacio

Mayor calidad del efluente

Otros procesos avanzados

Biorreactores de membranas

Oxidación con ozono

Procesos fotocatalíticos



INTRODUCCIÓN

Tecnologías de eliminación de contaminantes emergentes

Otras
tecnologías

Procesos fisicoquímicos: Coagulación, floculación

Procesos biológicos: Lodos activos o filtros biológicos

Procesos combinados: Ej: oxidación con biológicos

Mejor proceso para la eliminación de contaminantes emergentes:



procesos membranales más la adsorción de carbón activo

OBJETIVOS

- ✘ Eliminación de contaminantes emergentes que no son eliminados en las EDAR CONVENCIONALES → pueden dañar las aguas superficiales y ecosistemas.
- ✘ Aunque concentración máxima de emisión de nuevos contaminantes no esté legislada → será necesaria la remodelación de las EDAR para su casi total eliminación.
- ✘ Adelantándonos a las tecnologías → reconstrucción de una EDAR de fangos activos convencionales.

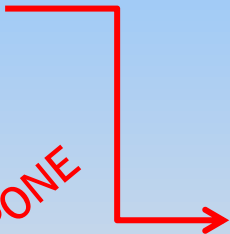
LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

- ✘ Localización física real → En base a un estudio realizado por la fundación Tekniker → en el que ha comprobado la no eliminación de contaminantes emergentes en la EDAR GALINDO en Sestao, Vizcaya
- ✘ Esta EDAR recibe las aguas de toda la provincia de Vizcaya.
- ✘ Se trata de una EDAR con fangos activos convencionales.

LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

- ✘ En la actualidad la EDAR → $Q = 125.000.000 \text{ m}^3/\text{año}$ y carga contaminante de 1.546.000 habitantes equivalentes.
- ✘ Se considera importante la adaptación de la EDAR GALINDO para eliminación de estos contaminantes → gran capacidad.

SE
PROPONE



Reconstrucción EDAR Galindo → Se diseñará un pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario avanzado (MBR) y tratamiento terciario avanzado (Adsorción con CAG)

DATOS DE PARTIDA

- ✘ Estudio fundación Tekniker analiza 44 contaminantes emergentes → Se escogerán los 22 que tienen menor rendimiento de eliminación y que se usan en mayor cantidad en la sociedad.

Parámetros EDAR	Unidades	ENTRADA
PH		7,9
Conductividad	μS/cm	3777
SS	ppm	897
DBO5	ppm	447
DQO	ppm	682
COT	ppm	95
NT	ppm	6,3
PT	ppm	3,4

DATOS DE PARTIDA

Contaminantes	Valor entrada($\mu\text{g/L}$)
PFBS	77,9
Ibuprofeno	41
EDDP	6,3
Carbamazepina	5,9
Diazepan	3,6
Diclofenaco	3,7
Enalapril	2,7
Sulfametosazol	9
Ketoprofeno	6,6
Cafeina	131,7
PFOS	6,5
Progesterona	15,2
THCCOOH	4,3
Sulfadiazina	1,1
α -Ethinyl Estradiol	10,4
Anfetamina	12,5
Benzafibrato	2,1
Bissoprolol	0,8
Lasalocid	0,4
Genfibrozil	2,4
Atenolol	0,4
Cenifibrozil	2,5

DATOS DE PARTIDA

- ✗ La nueva EDAR se diseñará a 50 años.
- ✗ Una vez se dispone de parámetros de entrada → será necesario calcular $Q_{\text{diseño}}$.
- ✗ Red unitaria:

$Q_{\text{diseño}} \text{ (m}^3\text{/día)} = Q \text{ Aguas Residuales} + Q_{\text{lluvia}}$

- ✗ $Q_{\text{AR}} = \text{Población año 50} * \text{Dotación (más restrictivo)}$
- ✗ $Q_{\text{lluvia}} = \text{medio diario}$

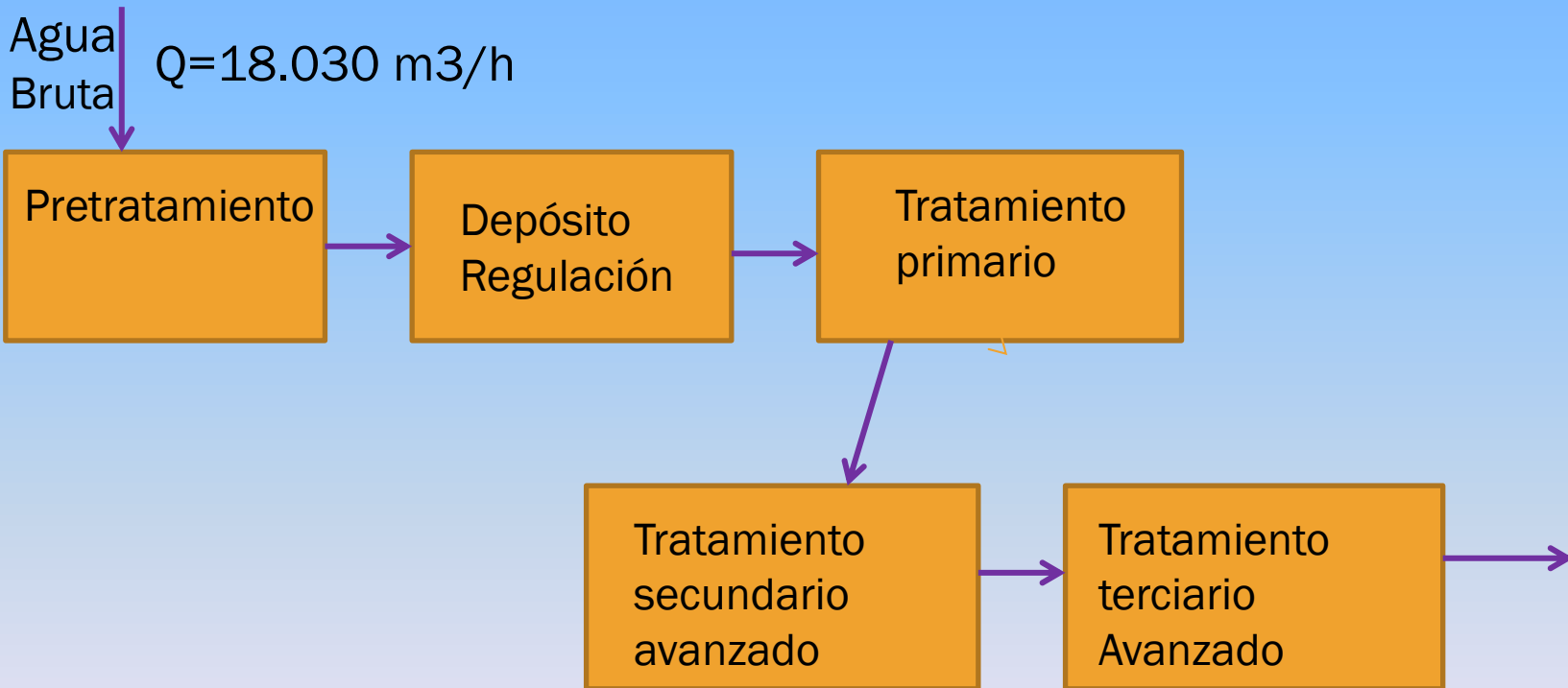
DATOS DE PARTIDA

DATOS PLAN HIDROLÓGICO DE LA DH CANTÁBRICO ORIENTAL	
Crecimiento población (%)	0,30%
Industria (%)	27%
Población Vizcaya 2016 (nº habitantes)	1.150.000
Área Vizcaya(km ²)	2.217
Área DH Cantábrico Oriental(km ²)	5.806
Precipitación DH Cantábrico (Hm ³ /año)	8,212
Precipitación DH Cantábrico (m ³ /día)	22.500
Precipitación Vizcaya (m ³ /día)	8.592
Dotación (L/habitante*día)	250
Habitantes totales Equivalentes 2016	1.460.500

✘ $Q_{\text{diseño}} = 432.711 \text{ m}^3/\text{día} = 18.030 \text{ m}^3/\text{h}$

DISEÑO

- ✘ Cálculo de las dimensiones y magnitudes de todos los equipos que comprenden la EDAR.



DISEÑO-PRETRATAMIENTO

- ✘ Objetivo: Proteger la planta de posible llegada de objetos grandes que provoquen obstrucciones en las unidades instalación.
- ✘ Generalmente formado por:
 - Obra de llegada y alivio de caudal
 - Predesbaste: Pozo de gruesos
 - Bombeo de cabecera
 - Desarenado
 - Desengrasado

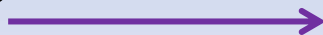
POZO DE GRUESOS

- ✗ Para eliminar sólidos de gran tamaño
- ✗ El pretrat se diseñará a Q_m y Q_{max} y se elegirá Volumen y SH mayor (más restrictiva)
- ✗ Volumen y SH se calcularán:

$$TR = \frac{VOL}{Q}$$

$$CH = \frac{Q}{SH}$$

Parámetros
diseño



POZO GRUESOS		
	Caudal máximo	Caudal medio
TR(minutos)	0,5	1
CH(m ³ /m ² *h)	300	100
calado mínimo(m)	1,5	

POZO DE GRUESOS

- De esta manera se obtienen volumen y superficie mínimas:

	Qmax	Qmedio
Volumen mínimo (m3)	375,62	300,49
SH mínima(m2)	150,25	180,30
h mínima(m)	2,50	1,67

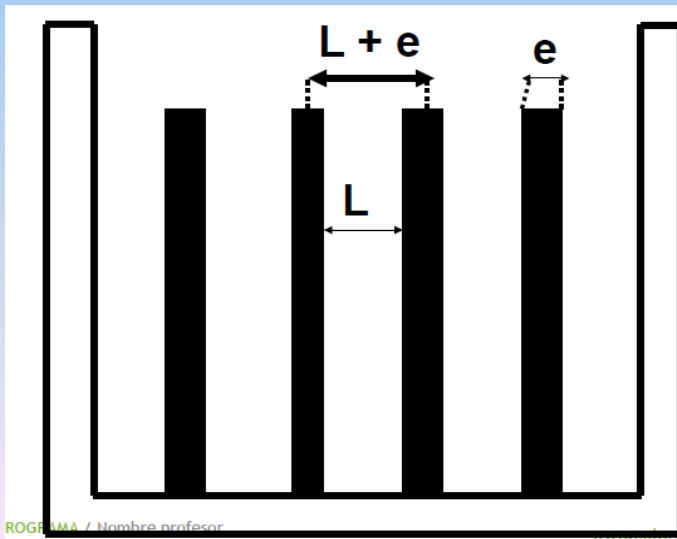
- Finalmente los valores escogidos son:

Volumen (m3)	400
SH (m2)	190
h (m)	2,11



DESBASTE

- ✘ Objetivo rejas: Eliminación de SS de tamaño superior a la separación entre barrotes (L).
- ✘ La operación puede ser más eficaz según $L \rightarrow$ puede ser desbaste grueso, medio o fino.
- ✘ Rejas de limpieza manual inclinadas 60° con el canal.



- e : espesor barrotes
- Se diseñará reja medios + reja finos

Rejas medios		Rejas finos	
L(mm)	25	L(mm)	9
e(mm)	10	e(mm)	6

DESBASTE

- Los parámetros de diseño son:

DESBASTE				
	Valor mínimo	Valor máximo	Caudal	Colmatació n
Vpaso(m/s)	0,6	1	Qmed	30%
Vpaso(m/s)	1,2	1,4	Qmax	30%
Vagua(m/s)				
>	0,3			

- La superficie de reja se calcula:

$$S = \frac{Q}{V} * \frac{L + e}{L} * \frac{1}{C}$$

- Los valores mínimos obtenidos son:

	Qmax	Qmedio
Superficie Reja de medios(m ²)	4,47	2,50

4 LÍNEAS

VALORES
FINALES

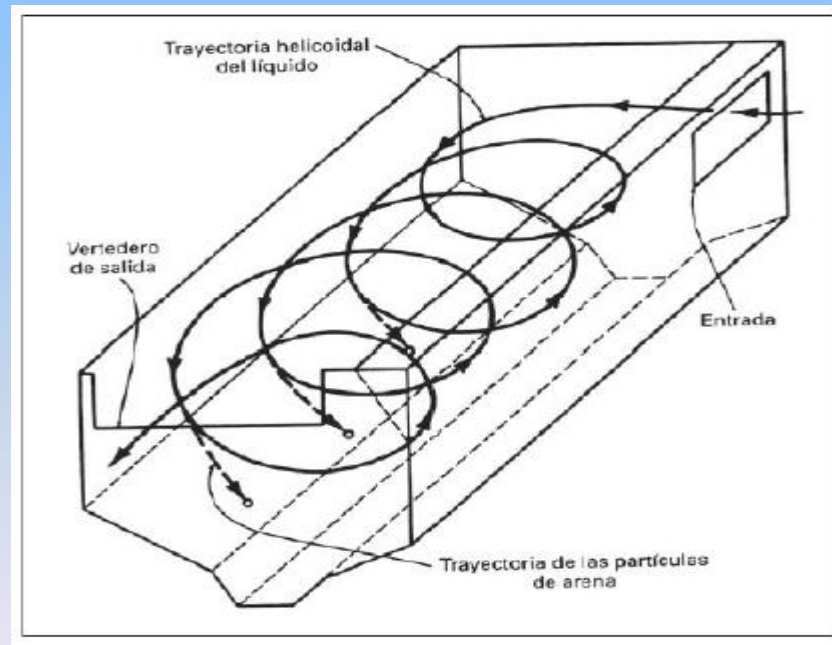
	Qmax	Qmedio
Superficie Reja de finos(m ²)	5,32	2,98

Superficie Reja medios= 4,47 m ²	
Base(m)	3
Altura(m)	1,5
Resguardo(m)	0,5
Altura total(m)	2

Superficie Reja finos= 5,32 m ²	
Base(m)	3
Altura(m)	1,8
Resguardo(m)	0,5
Altura total(m)	2,3

DESARENADOR AIREADO

- ✘ Desarenador aireado: se inyecta flujo de aire por difusores que favorece la separación de la materia orgánica que haya quedado adherida en las arenas



DESARENADOR AIREADO

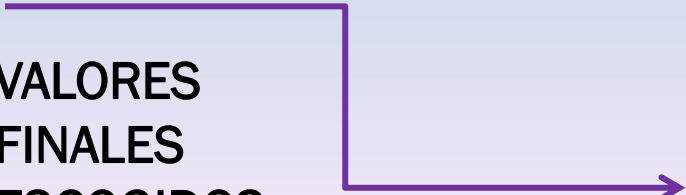
✘ Parámetros de diseño:

DESARENADOR		
	Caudal máximo	Caudal medio
TR (minutos)	5,0	10
CH (m ³ /m ² *h)	35	10

• Valores mínimos obtenidos:

	Qmax	Qmedio
Volumen mínimo (m3)	3.756,18	3.004,94
SH mínima(m2)	1.287,83	1.802,96
h mínima(m)	2,92	1,67

VALORES
FINALES
ESCOGIDOS



EN 4 LÍNEAS	
Volumen(m3)	950
SH(m2)	452
h (m)	2,1
resguardo altura(m)	0,5
altura total (m)	2,6
base(m)	15
largo(m)	30

DEPÓSITO DE REGULACIÓN

- ✘ En ARU es común el uso de tanque de regulación de $Q \rightarrow$ tanque donde se almacena agua cuando $Q > Q_m$ y de donde se extrae agua cuando $Q < Q_m$.
- ✘ Ventaja: Laminación picos y valles de caudal \rightarrow evita sobredimensionamiento de la EDAR y mejora eficiencia procesos (biológico)
- ✘ Se diseñará para almacenar agua durante 1 día con un 15% mas de volumen por imprevistos:

$$V = 497.618 \text{ m}^3$$

4 LÍNEAS
D=178m
H=5m

TRAT PRIMARIO- DECANTACIÓN

- ✗ Separación de las partes con mayor densidad que el agua por acción de la gravedad.
- ✗ Los parámetros de diseño son:

Parámetros diseño		
	Caudal maximo	Caudal medio
TR(h)	1,50	3,00
CH(m ³ /m ² *h)	2,50	1,25
carga sobre vertedero(m ³ /ml*h)<		40,00

- Los valores mínimos obtenidos a Q_m son:

Volumen mínimo(m ³)	54.089
Superficie mínima(m ²)	14.423,72
altura mínima(m)	3,75

VALORES
FINALES
ESCOGIDOS



EN 10 LÍNEAS	
Volumen(m ³)	5.410
SH(m ²)	1445
altura (m)	3,75
resguardo altura(m)	0,50
altura total (m)	4,25
D(m)	42,8
Pendiente fondo	1:12

DECANTACIÓN

DECANTADOR PRIMARIO	
Parámetros	Eliminación
Contaminantes emergentes	33%
SS	66%
DBO	33%
DQO	33%
NT	10%
PT	10%

Parámetros	Unidades	ENTRADA DEC1º	SALIDA DEC1º
SS	ppm	897,00	304,98
DBO5	ppm	447,00	299,49
DQO	ppm	682,00	456,94
NT	ppm	6,30	5,67
PT	ppm	3,40	3,06

CONTAMINANTES EMERGENTES		
Contaminante	Valor ENTRADA Decantador 1º(µg/L)	Valor SALIDA Decantador 1º(µg/L)
PFBS	77,90	52,19
Ibuprofeno	41,00	27,47
EDDP	6,30	4,22
Carbamazepina	5,90	3,95
Diazepan	3,60	2,41
Diclofenaco	3,70	2,48
Enalapril	2,70	1,81
Sulfametosazol	9,00	6,03
Ketoprofeno	6,60	4,42
Cafeina	131,70	88,24
PFOS	6,50	4,36
Progesterona	15,20	10,18
THCCOOH	4,30	2,88
Sulfadiazina	1,10	0,74
α-Ethynyl Estradiol	10,40	6,97
Anfetamina	12,50	8,38
Benzafibrato	2,10	1,41
Bissoprolol	0,80	0,54
Lasalocid	0,40	0,27
Genfibrozil	2,40	1,61
Atenolol	0,40	0,27
Cenifbrozil	2,50	1,68

TRATAMIENTO SECUNDARIO MBR

- ✘ Proceso MBR es igual que proceso de FAC pero cambiando membranas UF por decantador 2°.
- ✘ Ventajas MBR frente a FAC:
 - Disminución de espacio por \uparrow MLSS y a que no hay clarificador si no membranas.
 - Elimina problemas de decantabilidad del fango
 - Efluente de mayor calidad al trabajar con mayor MLSS → SS en el licor mezcla (mezcla de bacterias y materia orgánica)
- ✘ En MBR se trabaja con altos TRC y TRH y alta MLSS.

TRAT SECUNDARIO MBR

MBR	
Parámetros	Eliminación
Contaminantes emergentes	70%
SS	99%
DBO	99%
DQO	70%
NT	86%
PT	96%

Parámetros	Unidades	ENTRAD A MBR	SALIDA MBR
SS	ppm	304,98	3,05
DBO5	ppm	299,49	2,99
DQO	ppm	456,94	137,08
NT	ppm	5,67	0,79
PT	ppm	3,06	0,12

CONTAMINANTES EMERGENTES		
Contaminante	Valor ENTRADA MBR(µg/L)	Valor SALIDA MBR(µg/L)
PFBS	52,19	15,66
Ibuprofeno	27,47	8,24
EDDP	4,22	1,27
Carbamazepina	3,95	1,19
Diazepan	2,41	0,72
Diclofenaco	2,48	0,74
Enalapril	1,81	0,54
Sulfametosazol	6,03	1,81
Ketoprofeno	4,42	1,33
Cafeina	88,24	26,47
PFOS	4,36	1,31
Progesterona	10,18	3,06
THCCOOH	2,88	0,86
Sulfadiazina	0,74	0,22
α-Ethynyl Estradiol	6,97	2,09
Anfetamina	8,38	2,51
Benzafibrato	1,41	0,42
Bisoprolol	0,54	0,16
Lasalocid	0,27	0,08
Genfibrozil	1,61	0,48
Atenolol	0,27	0,08
Cenfibrozil	1,68	0,50

TRATAMIENTO SECUNDARIO MBR

- Parámetros de diseño Reactor Biológico (media plantas españolas):

REACTOR BIOLÓGICO			
Parámetros	Unidad	Abreviación	Valor
Concentración de fangos	mg/L o ppm	MLSS	6000
Edad del fango	días	E o TRC	10
Recirculación	%	QR	300
Tiempo de retención hidráulico	hora	TRH	10

$$Rdto\ DBO\ R.biologico = \frac{299,49 - 2,99}{299,49} = 99\%$$

↓

$$Cargamásica = 0,0075$$

- Se calculará el volumen del Reactor por los 3 parámetros:

$$Carga\ másica\ (Cm) = \frac{Qm * DBO\ entrada}{kgMLSS}$$

$$TRH = \frac{Volumen}{Qm}$$

$$Edad\ fango / tiempo\ retencion\ celular\ (TRC) = \frac{kgMLSS}{Qm * (DBOe - DBOs) * Te}$$

- Siendo:

$$kgMLSS = Volumen(m^3) * [MLSS] \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$Te = 1,2 * Cargamásica^{0,23} + 0,5 * \left(\frac{SS}{DBO} - 0,6 \right)$$

TRATAMIENTO SECUNDARIO MBR

✗ Volúmenes obtenidos:

Volumen(Cm)	119.993,30
Volumen (TRH)	180.296,45
Volumen (E)	128.000
Te	0,60
R	1,02

• Volumen finales escogidos:

10 líneas	
Volumen unitario (m ³)	18.030
Base(m)	15
Longitud(m)	100
Altura(m)	12
Resguardo altura(m)	0,5
Altura total(m)	12,5

• Aireación: O₂ únicamente necesario para síntesis (a) y respiración endógena de las bacterias

$$a = 0,5 + 0,01 * TRC \left(\frac{kgO_2}{kgDBO_{eliminada}} \right) / día$$

$$b = 0,15 - 0,0055 * TRC \left(\frac{kgO_2}{kgMLSS} \right) / día$$

Necesidades de oxígeno	
a(kgO ₂ /kgDBO _{eliminada} /día)	0,60
a(kgO ₂ /día)	76.978
b(kgO ₂ /kgMLSS/día)	0,10
b(kgO ₂ /día)	102.769



Aplicando valor punta a la síntesis:

KgO₂ totales/día= 218236,12

TRATAMIENTO SECUNDARIO MBR

- Necesidades reales O₂=Necesidades teóricas/Factor corrección

$$\text{Factor corrección} = \frac{\alpha(\beta * C_s * C_{ultura} - CL)}{C_S^{10}} * Ch * 1,024^{T-10}$$

- ✗ Necesidades reales O₂=419.841 kgO₂/día.

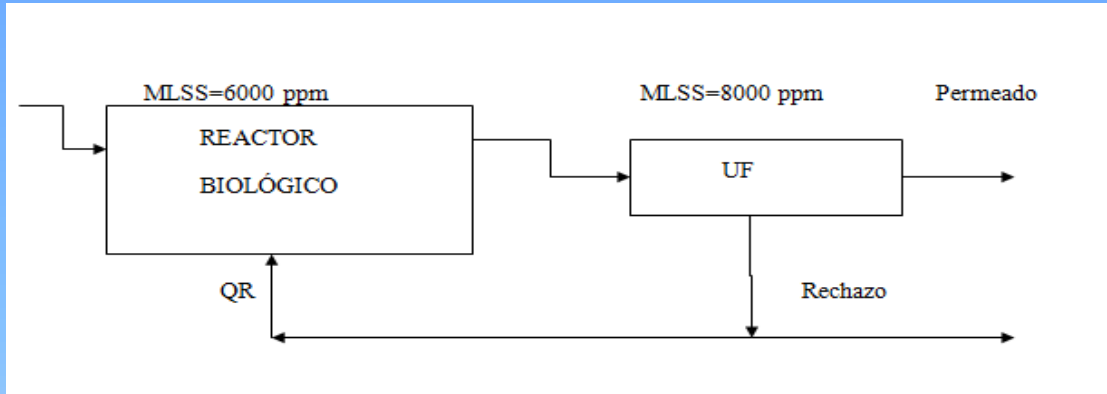
- Caudal de aire total (m³/día)=Necesidades reales/T₀

$$T_0 = \text{transferencia de oxígeno} = P * P_0 * Re$$

Transferencia de oxígeno	
P (Kg/Sm ³)	1,248
P ₀ (%O ₂ /Aire)	0,209
Re (%*m)	0,045
Altura útil (m)	12
T ₀	0,141
Caudal de aire(m ³ /hora)	124.200

Difusores	
Difusores de burbuja fina	
SOTE%	54%
Flujo de aire (Nm ³ /h)	0,40
Número de difusores	310.498
Difusores por línea	31.050
Consumo (kgO ₂ /kw)	2,50
Consumo difusores(kw/h)	167.936,55

TRATAMIENTO SECUNDARIO MBR



$$MLSS \text{ membranas} = \left(1 + \frac{1}{N}\right) * MLSS \text{ reactor biológico}$$

$$MLSS \text{ membrana} = \left(1 + \frac{1}{3}\right) * 6000 \text{ ppm} = 8000 \text{ ppm}$$

- QR= caudal de fangos que es necesario recircular para mantener los MLSS del biológico

$$QR \left(\frac{m^3}{h}\right) = Qm \left(\frac{m^3}{h}\right) * \frac{MLSS \text{ reactor} \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{(MLSS \text{ membranas} - MLSS \text{ reactor}) \left(\frac{kg}{m^3}\right)} \longrightarrow QR \left(\frac{m^3}{h}\right) = 18.029,65 * \frac{6}{8 - 6} = 54.089 \frac{m^3}{h}$$

- Qp= caudal de fangos que es necesario purgar, fangos en exceso.

$$QP \left(\frac{m^3}{h}\right) = \frac{Fangos \text{ a purgar} \left(\frac{kg}{h}\right)}{Cp \left(\frac{kg}{m^3}\right)} = \frac{Te * DBO_{eliminada}}{8 \text{ kg/m}^3} = 400 m^3/h$$

TRATAMIENTO SECUNDARIO MBR

- Membranas sumergidas, de fibra hueca, casa Zenon

membranas tipo ZENON	
Flujo(L/m ² *h)	25,00
Superficie módulo membranas (m ²)	34,37
T(°C)	20

Qm(m ³ /h)	18.030
nº líneas	10
Reserva	1
Q por línea(m ³ /h)	1.803
Superficie por línea(m ²)	72.119
nºmódulos de membrana	2098
nºbastidores o raks	44

$$\text{Superficie por línea} = \frac{\text{Caudal por línea}}{\text{Flujo}}$$

$$\text{Nº de modulos de membranas} = \frac{\text{Superficie por línea}}{\text{Superficie por módulo}}$$

TRATAMIENTO Terciario- ADSORCIÓN CAG

Adsorción con carbón activo: Se emplea en aguas residuales que contengan sustancias susceptibles de ser adsorbidas.

Bases para el diseño del lecho de carbón activo (Se dispondrá de 6 líneas)

Caudal(m ³ /h)	18030
Carga hidráulica (m ³ /m ² *h)	12
tiempo de contacto(min)	20
Relación altura/diámetro	5

Valores finales escogidos:

Volumen lecho(m ³)	6010
Nº líneas	6
Volumen unitario (m ³)	1002
longitud del lecho(m)	6,34
altura del lecho(m)	31,7
área del lecho(m ²)	40.2



TRATAMIENTO TERCIARIO- ADSORCIÓN CAG

Compuesto	Rto eliminación
Contaminantes emergentes	80%
SS	74%
DBO	99%
DQO	92%
NT	92%
PT	90%

Parámetros	Unidades	ENTRADA CAG	SALIDA CAG
SS	ppm	3,05	0,79
DBO5	ppm	2,99	0,03
DQO	ppm	137,08	10,97
NT	ppm	0,79	0,06
PT	ppm	0,12	0,01

CONTAMINANTES EMERGENTES		
Contaminante	Valor ENTRADA CAG(µg/L)	Valor SALIDA CAG(µg/L)
PFBS	15,66	3,13
Ibuprofeno	8,24	1,65
EDDP	1,27	0,25
Carbamazepina	1,19	0,24
Diazepan	0,72	0,14
Diclofenaco	0,74	0,15
Enalapril	0,54	0,11
Sulfametosazol	1,81	0,36
Ketoprofeno	1,33	0,27
Cafeina	26,47	5,29
PFOS	1,31	0,26
Progesterona	3,06	0,61
THCCOOH	0,86	0,17
Sulfadiazina	0,22	0,04
α-Ethynyl Estradiol	2,09	0,42
Anfetamina	2,51	0,50
Benzafibrato	0,42	0,08
Bisoprolol	0,16	0,03
Lasalocid	0,08	0,02
Genfibrozil	0,48	0,10

ESTUDIO ECONÓMICO

4.1. Costes fijos

Categoría	Costes fijos anuales
Personal	862000,00
Mantenimiento y explotación	2127296,00
Reposición de membranas	8654160,00
Energía. Potencia	300000,00
Seguridad e higiene	1000,00
Otros	5774433,33
TOTAL	17720000

4.2. Costes variables

Categoría	Costes variables anuales
Transporte	3000,00
Análisis laboratorio	10660,00
Energía	8100000,00
TOTAL	8113660,00



IMPACTO AMBIENTAL

5.1 Introducción y objeto de estudio

Identificación de todos los aspectos ambientales

Evaluación de la significación según los criterios establecidos por la propia organización

Aspectos no significativos

Aspectos medioambientales significativos



IMPACTO AMBIENTAL

Impactos ambientales asociados:



Vector residuos sólidos

Pozo de gruesos

Reja de desbaste, tamices de finos

Residuos edificio control

Fangos (colmatación vertederos)

Aceites lubricantes (contaminación suelo
/agua)

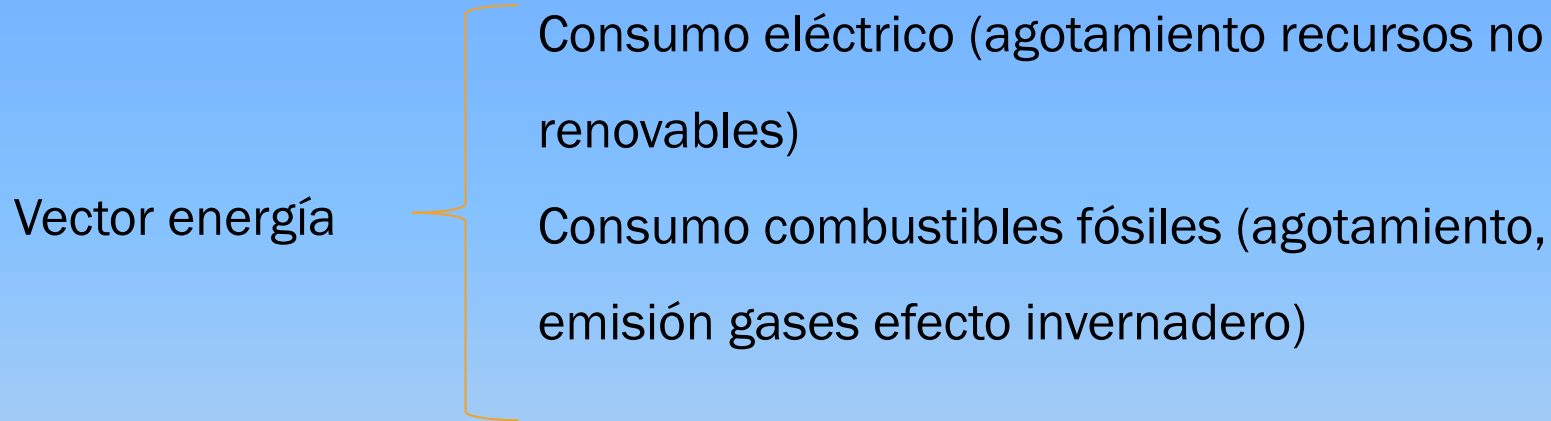
Vector atmósfera

Emisiones gaseosas (Calentamiento global)

Olores (molestias población)

IMPACTO AMBIENTAL

Impactos ambientales asociados:



Vector agua: Vertido agua depurada (mejora calidad agua)


Vector visual: Paisaje (contaminación visual)

Vector ruido y vibraciones: Ruido maquinaria (molestias población)

Vector suelo: Fugas contenedores (contaminación)

CONCLUSIONES

- El agua depurada se reutilizará para uso industrial, ya que cumple con los parámetros.
- La combinación del proceso MBR y carbón activo consigue eliminar el 95% de los contaminantes emergentes.
- Con MBR se consigue un efluente de mayor calidad, ocupando una menor superficie
- En los procesos MBR se trabaja con un tiempo de retención hidráulico y celular mucho mayor que en los fangos activos convencionales.
- Las membranas de ultrafiltración tienen un tamaño de poro de 0,04 μm y eliminan los virus y el agua residual sale desinfectada
- Aunque los contaminantes emergentes no estén legislados, será imprescindible implantar este tipo de tratamientos en el futuro para su eliminación.



CONCLUSIONES



**¡ GRACIAS
POR SU
ATENCIÓN !**

RESUMEN EJECUTIVO

Grupo compuesto por:

- Alfonso Luis Bonilla Rodríguez
- Virginia Esquinas Martínez
- Cristina García Santamaría

Nombre del proyecto: “EDAR avanzada que cuenta con tratamiento terciario para la eliminación de nuevos contaminantes”.

1. INTRODUCCIÓN

Los contaminantes emergentes han empezado a preocupar desde hace unos años debido a que antes no se medía su concentración en las aguas y la cantidad que se usaba de ellos era menor.

Nuestro proceso escogido es un tratamiento avanzado en el que se utiliza un reactor biológico de membrana (MBR) seguido de una adsorción de carbón activo. Además nuestro proceso se compone de un depósito de regulación, un pretratamiento y una decantación primaria.

Diversos tratamientos han sido aplicados para la eliminación de estos contaminantes; como adsorción por carbón activado, procesos de oxidación (ozono y peróxido de hidrógeno), coagulación/flotación, procesos biológicos como lodos activados y filtración por membranas. Los procesos por medio de carbón activado y membranales han demostrado ser los más eficientes para la eliminación de contaminantes emergentes.

2. OBJETIVOS, LOCALIZACIÓN Y DATOS DE PARTIDA

El objetivo de este proyecto es la eliminación de contaminantes emergente que puedan dañar las aguas superficiales y los ecosistemas que en ella vivan.

Concretamente se ha elegido una localización física real, en base a un estudio realizado por la fundación Tekniker (Contaminantes emergentes en el agua: Caracterización, degradación y monitorización) en el que se ha investigado la presencia de contaminantes emergentes en una EDAR de Vizcaya, y en la que se ha constatado la no eliminación completa de la mayor parte de los contaminantes emergentes, que son en su mayoría fármacos.

La estación depuradora de estudio es la de Galindo en Sestao, Vizcaya, perteneciente al Consorcio de Aguas “Bilbao Bizcaia”, que recibe las aguas de toda la provincia de Vizcaya. Se han analizado los efluentes de entrada y salida de la estación depuradora para tratar de establecer adecuadamente el origen de los contaminantes emergentes y correlacionar su presencia con factores antropogénicos.

En la actualidad la EDAR de Galindo tiene un caudal de 125.000.000 m³/año, una carga contaminante de 1.546.000 habitantes equivalentes y tiene un tratamiento de fangos activos convencional. Sin embargo este tratamiento de fangos activos convencional se ha comprobado en dicho estudio que no elimina en su totalidad los contaminantes emergentes, aunque algunos se eliminan más que otros.

En este proyecto se propone la nueva construcción de la EDAR de Galindo, incluyendo un tratamiento secundario no convencional como es el Reactor Biológico con membranas MBR y un tratamiento terciario avanzado como la adsorción con carbón activo granular.

Se considera bastante importante este nuevo diseño debido a que la EDAR de estudio, recibe las aguas de toda la provincia de Vizcaya y las vierte al río, siendo la población de Vizcaya de 1.15 millones de habitantes, por lo que es una estación depuradora de gran tamaño. Por lo que se considera de vital importancia la total eliminación de contaminantes de estas aguas para la salud humana y del medio ambiente y el buen estado de las masas superficiales.

Hay que comentar que la concentración máxima de vertido de los contaminantes emergentes no está hoy en día contemplada en la legislación, sin embargo se va a proponer este nuevo diseño de la EDAR para eliminar este tipo de contaminante, ya que aunque a día de hoy las cantidades deberían ser muy grandes para afectar a la salud humana, sí afectan a las especies acuáticas. Por esta razón se va a dimensionar una nueva EDAR que cuente con tratamientos avanzados que sí consigan la eliminación de estos contaminantes, porque a pesar de que hoy en día este no es un método habitual, se ha comprobado que sería completamente necesario remodelar todas las depuradoras para que eliminen este tipo de contaminantes porque aunque a día de hoy la ley se excuse en ese vacío legal, es un asunto bastante preocupante por la cantidad de fármacos, productos de higiene personal o drogas de abuso que llegan a las depuradoras y que no son eliminados llegando a los ríos.

Los datos de partida de este proyecto serán los datos de parámetros contaminantes de la población, que son los parámetros de entrada a la EDAR. Sin embargo se construirá una nueva EDAR a 50 años y se tendrá en cuenta el crecimiento de la población de la provincia en estos años, con lo que la EDAR existente no contaba, por lo que se calculará un nuevo caudal de diseño para esta EDAR y una nueva población con la que se comenzará su dimensionamiento.

Una vez se disponga de los parámetros contaminantes será necesario calcular el caudal para el que se diseñará la nueva EDAR. Para ello será necesario conocer datos de la provincia de Vizcaya como son el número de habitantes, el porcentaje de industria, el crecimiento de la población en los próximos años, el área, la dotación media en la demarcación o la precipitación media diaria (Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental).

La nueva EDAR se diseñará a 50 años. El caudal de diseño se calculará como la suma del caudal medio de lluvia diario más el caudal de las Aguas Residuales. Este último se calculará como el producto de la población en el año 50, por la dotación, que es de 250 L/hab*día (PH de la DH del Cantábrico Oriental), será por tanto este caudal el más restrictivo para el diseño. El caudal medio diario se obtiene con la precipitación media diaria en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental.

Se trabaja con el caudal medio diario ya que el depósito de regulación se diseñará para un día y porque el caudal de lluvias que llega a la estación depuradora es el caudal medio ya laminado en las redes de saneamiento.

El caudal de diseño de la nueva EDAR será de 432.711 m³/día o 18.030 m³/h, el más restrictivo en cuanto a capacidad.

3. DISEÑO

Pretratamiento

El objetivo del pretratamiento en una estación de tratamiento de agua es eliminar, reducir o modificar los componentes del agua bruta influente que puedan ocasionar problemas en los equipos aguas abajo.

La mayor parte de los pretratamiento cuentan con:

- Obra de llegada y alivio de caudal

- Predesbaste: Pozo de gruesos
- Bombeo de cabecera
- Desbaste
- Desarenado
- Desengrasado

El pretratamiento se suele diseñar al caudal máximo de la planta, sin embargo se diseñará al caudal medio (Q_m) y al caudal máximo (Q_{max}) y se escogerán aquellos valores de volumen y de superficie que sean mayores, y por tanto más restrictivos, para asegurarnos además que cumple para ambos valores.

El caudal máximo será 2,5 veces el caudal medio, por tanto será de $45.074 \text{ m}^3/\text{h}$. (Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales Juan Antonio Sainz Sastre).

Obra de llegada y alivio de caudal.

Si a la depuradora llegan los colectores de agua bruta por gravedad, no existe un control del caudal máximo de llegada, la única limitación viene derivada de la capacidad hidráulica de las tuberías de llegada. Las depuradoras se diseñan para un caudal máximo hidráulico, Q_{max} , que no puede superarse; el bombeo de cabecera está diseñado para ese caudal máximo.

A la entrada de la estación depuradora se instala un alivio de caudal, normalmente mediante vertedero, diseñado para que no acceda a esta más caudal que el que sea capaz de tratar. El exceso de caudal puede derivarse a un tanque de tormentas o directamente by-passear la planta y verter a cauce.

Además, la depuradora tiene que poder ser aislada mediante elementos de cierre, que permitan sacarla de operación. En ese caso, todo el caudal influente se deriva por el alivio de caudal. Se suele colocar una compuerta, manual o automatizada a la salida de la obra de llegada para este fin. (Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales Juan Antonio Sainz Sastre).

Predebaste: Pozo de gruesos

Este proceso se emplea en las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas, aunque su instalación no está generalizada.

Debido a que en el presente proyecto se trata un elevado caudal de una población bastante grande, será necesario un pozo de gruesos donde se queden retenidos los sólidos de mayor tamaño que puedan estropear las instalaciones.

Los pozos de gruesos se diseñan generalmente en base al tiempo de retención (TR) y a la carga hidráulica (CH).

El pozo de gruesos se diseñará a caudal máximo y al medio. Se escogerán los volúmenes y superficies más grandes obtenidas tanto para el Q_{max} como para el Q_m , para además asegurarnos que cumple para los dos casos.

Finalmente los valores escogidos para el diseño, cumpliendo con las características establecidas serán:

Valores finalmente escogidos para el pozo de gruesos

Volumen (m^3)	400
SH (m^2)	190
h (m)	2,11

El pozo de gruesos está comunicado con la cámara de bombeo. Se debe instalar una reja de muy gruesos antes de la cámara de bombeo, con el objetivo de proteger mecánicamente a las bombas de agua bruta. En este proyecto no tenemos bombeo puesto que la instalación va por gravedad, por lo que tampoco se instalará una reja de muy gruesos.

Desbaste

El objetivo del proceso de desbaste mediante rejas es la eliminación de todos los sólidos en suspensión de tamaño superior a la separación entre barrotes con el fin de evitar obstrucciones en líneas o problemas mecánicos en los equipos.

La separación de los sólidos de gran tamaño presentes en las aguas residuales en las rejas se basa en su tamaño, de tal forma que quedarán retenidos todos aquellos que tengan un tamaño superior a la separación fijada entre los barrotes.

La operación puede ser más o menos eficaz, según la separación entre los barrotes de la reja, que se llama luz de paso (L). Pueden distinguirse:(Degremont)

- Desbaste fino: con una separación de 3 a 10 mm.
- Desbaste medio: con una separación de 10 a 25 mm.
- Predesbaste: con una separación de 50 a 100 mm.

Las rejas utilizadas en el desbaste pueden ser de limpieza manual o automática. En este caso se trabajará con rejas de limpieza manual, el ángulo de la reja con el canal será de 60°.

En las depuradoras urbanas es común la utilización de una reja de medios, seguido de una de finos.

El espesor entre barrotes (e) depende del tamaño de las rejas, de tal forma que le da la resistencia mecánica precisa para evitar deformaciones, variando desde 6 mm en las más pequeñas, hasta los 12 mm en las de mayor tamaño. (Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales Juan Antonio Sainz Sastre, Degremont)

En el presente proyecto se instalarán 4 líneas con rejas de medios seguidas de rejas de finos. Es bueno tener varias unidades por si acaso alguna se estropease, para dar más flexibilidad a la planta. Las características de las rejas se muestran en las siguientes tablas:

Luz de paso y espesor de barrotes en rejas de desbaste medio.

Rejas medios	
L(mm)	25
e(mm)	10

Luz de paso y espesor de barrotes en rejas de desbaste fino.

Rejas finos	
L(mm)	25
e(mm)	6

Uno de los factores más importantes en el cálculo de estos equipos es la velocidad de paso del agua a través de las rejas, ya que una velocidad elevada da lugar a una menor retención de los sólidos a eliminar por las turbulencias generadas, mientras

que una velocidad demasiado lenta provoca decantaciones de arenas y otros sólidos en suspensión de alta densidad en el canal.

Los parámetros de diseño del desbaste se muestran en la siguiente tabla

Bases de diseño para el desbaste (Degremont)

DESBASTE				
	Valor mínimo	Valor máximo	Caudal	Colmatación
Vpaso(m/s)	0,6	1	Qmedio	30%
Vpaso(m/s)	1,2	1,4	Qmax	30%
Vagua(m/s)>	0,3			

Se calculará la superficie de las rejas a caudal medio y a caudal máximo y se escogerá aquella superficie más restrictiva. Los resultados obtenidos para ambos caudales y los finalmente escogidos se muestran en las siguientes tablas.

Superficie para la reja de desbaste medio

	Qmax	Qmedio
Superficie Reja de medios(m ²)	4,47	2,50

Superficie para la reja de desbaste fino

	Qmax	Qmedio
Superficie Reja de finos(m ²)	5,32	2,98

Finalmente las superficies

Resultados de la superficie de las rejas de medios.

Superficie Reja medios= 4,47 m ²	
Base(m)	3
Altura(m)	1,5
Resguardo(m)	0,5
Altura total(m)	2

Resultados de la superficie de las rejas de finos.

Superficie Reja finos= 5,32 m ²
--

Base(m)	3
Altura(m)	1,8
Resguardo(m)	0,5
Altura total(m)	2,3

Desarenador

En el afluente de la EDAR no hay grasas, por lo que únicamente se diseñará un equipo desarenador, y no un desengrasador.

El desarenado tiene por objetivo extraer del agua bruta la grava, arena y partículas minerales más o menos finas, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión y para evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguientes. (Degremont)

Los principales tipos de desarenadores son:

- Desarenadores de flujo horizontal: Se utilizan únicamente en plantas pequeñas.
- Desarenadores de sección cuadrada.
- Desarenadores aireados

Los primeros se utilizan únicamente en plantas pequeñas, los segundos han caído en desuso por los problemas mecánicos que presentan, por lo que, por las características de la planta de Galindo, se utilizará un desarenador aireado, ya que se trata de una planta de considerable tamaño.

Los desarenadores aireados se usan habitualmente en las plantas urbanas, y por su configuración no se ven afectados por las variaciones de caudal y se obtiene una arena con un grado de lavado importante (mínimas concentraciones de materia orgánica).

Estas unidades consisten en un canal, que dispone de un colector provisto de difusores que crean un movimiento helicoidal al agua. La velocidad de giro o rotación del agua vendrá determinada por la cantidad de aire inyectado a través de los difusores. De tal manera que se puede establecer la velocidad adecuada actuando sobre la cantidad de aire inyectado.

El aire inyectado favorece, por su efecto de agitación, la separación de la materia orgánica que haya podido quedar adherida a las partículas de arena. (Degremont)

Cualquier partícula que se encuentre en las proximidades de la zona de recogida de arena se encuentra sometida a dos fuerzas opuestas que son:

- Una de caída debida a la diferencia de peso específico con el agua
- Otra ascensional debida al giro de la masa de agua

Si la fuerza de caída es superior a la de arrastre las partículas se depositarán en el fondo del desarenador, y si es inferior, serán arrastradas por el agua fuera del equipo.

Para obtener una arena limpia, la arena extraída del desarenador se introduce en un lavador (clasificador) de arenas, donde se elimina la posible materia orgánica depositada, la arena se extrae habitualmente por bombeo. Las aguas de lavado se envían a la cabecera de planta.

Las bases del diseño de los desarenadores aireados son:

Parámetros de diseño de un desarenador aireado.(datos aquology)

DESARENADOR		
	Caudal máximo	Caudal medio
TR (minutos)	5,0	10
CH (m ³ /m ² *h)	35	10

De cada caudal se obtiene un volumen y una superficie mínima. Se escogerá aquel volumen y aquella superficie de valor mayor, ya sea la calculada para el caudal medio o para el caudal máximo.

En la siguiente tabla se muestran los resultados para ambos caudales, y en color verde observamos el volumen y superficie mínimos más restrictivos y por tanto elegidos finalmente.

Resultados de volumen y superficie mínima en el desarenador aireado

Qmax	Qmedio
------	--------

Volumen mínimo (m3)	3756,18	3004,94
SH mínima(m2)	1287,83	1802,96
h mínima(m)	2,92	1,67

Se construirán 4 líneas al igual que en el resto de la planta. Los volúmenes y superficies finales obtenidos cumpliendo con las características establecidas (las de tiempo de retención y carga hidráulica) se muestran en la siguiente tabla.

Valores finalmente obtenidos para volumen y superficie del desarenador.

EN 4 LÍNEAS	
Volumen(m3)	950
SH(m2)	452
h (m)	2,1
resguardo altura(m)	0,5
altura total (m)	2,6
base(m)	15
largo(m)	30

Finalmente el caudal de aire necesario en el desarenador aireado se calculará con la siguiente ecuación:

$$Q_{aire} \left(\frac{m^3 \text{ aire}}{m^3 \cdot \text{hora}} \right) = 1,5 * Volumen = 1,5 * 950m^3 * 4 = 5700 \frac{m^3 \text{ aire}}{\text{hora}}$$

Depósito de Regulación

Los procesos más utilizados en cuanto a regulación son: regulación del caudal y homogeneización de composición. En aguas residuales urbanas lo más común es utilizar un tanque de regulación de caudal, ya que la composición de las aguas no varía.

La regulación del flujo de agua que llega a la estación depuradora, consiste en la laminación de los picos y valles de caudal, de tal forma que la instalación de depuración trabaja con un caudal constante, esto lleva unido un incremento de la eficiencia de los diferentes procesos.

Si el agua residual tiene sólidos en suspensión, las balsas o tanques de regulación deben estar agitados para evitar su decantación.

El proceso de regulación de caudal, consiste por tanto en un taque del volumen adecuado donde tiene lugar la acumulación del exceso de agua cuando el caudal de llegada a la planta es mayor que el medio y de donde se extrae el agua cuando el caudal de llegada es menor que el medio. (Metcalf; Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales Juan Antonio Sainz Sastre).

Entre las ventajas de la regulación del caudal se encuentran:

- Mejora la eficiencia de los procesos, sobre todo del biológico.
- Evita el sobredimensionamiento de la depuradora.
- Facilita el control de la depuradora.
- Al trabajar en condiciones constantes, aumenta la vida útil de la instalación.
- Facilita los trabajos de mantenimiento.

Hay dos formas de operación de los tanques de regulación del caudal: en serie y en paralelo. Por sencillez se operará en serie, donde el tanque está en línea con la alimentación a la depuradora, y toda el agua pasa a través de este tanque.

El depósito de regulación se diseñará para que sea capaz de almacenar agua durante un día. Si el caudal de diseño es de $432.711 \text{ m}^3/\text{día}$, se almacenarán en el tanque de regulación por tanto 432.711 m^3 .

Sin embargo en la práctica el volumen del tanque de regulación debe ser superior al determinado teóricamente para tener en cuenta los siguientes factores:

- Imprevistos que puedan producirse por cambios inesperados de caudal.
- El retoro a cabeza de planta de sobrenadantes y filtrados exige un volumen adicional.

No puede darse un valor fijo, pero el volumen adicional variará entre el 10 y 20%. (Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales Juan Antonio Sainz Sastre)

Por lo que el volumen final será de 497.618 m^3 .

Puesto que se trata de un caudal de diseño muy grande, ya que a la depuradora llegan las aguas de toda la provincia de Vizcaya, vamos a dividir la EDAR en cuatro líneas de trabajo, al igual que en el resto de la planta.

Por lo que quedan 4 depósitos de 178 m de diámetro y altura 5 m.

Como el agua tiene elevada concentración de sólidos en suspensión, se pondrá un sistema de agitación mediante inyección de aire a través de difusores, en el que la cantidad de aire será de 216.356 m³aire/hora.

Tratamiento primario

En la reconstrucción de la EDAR de Galindo, las aguas que se van a tratar no tienen altas concentraciones de grasas, por lo que se dispondrá en el tratamiento primario de decantadores, y no de flotadores.

Tampoco se dispondrá de un tratamiento de coagulación-floculación previo a la decantación a pesar de que facilitaría la decantabilidad de las partículas en suspensión. Esto es debido a que se va a utilizar un tratamiento posterior secundario y terciario avanzado, y por tanto no sería necesario el empleo de la coagulación-floculación ya que estos nuevos tratamientos van a eliminar casi en su totalidad todos los sólidos en suspensión por lo que no merece la pena la inversión en este tratamiento.

El objetivo de la decantación es el de conseguir que se depositen las partículas que se encuentran en suspensión en el agua, tanto si se trata de partículas presentes en el agua bruta, como si se deben a la acción de un reactivo químico añadido en el tratamiento.

Se obtiene un líquido claro sobrenadante en la superficie del equipo y unos sólidos que son extraídos en forma de fangos, con una concentración más o menos elevada por el fondo. La concentración de los fangos dependerá de la naturaleza de los sólidos, los parámetros de diseño y el tipo de equipo utilizado.

En un agua residual urbana, la concentración de los fangos obtenidos en los decantadores primarios varía entre el 1,5% y el 2,5%, siendo dichas concentraciones bastante menores en los decantadores secundarios.

El decantador está constituido por un depósito rectangular o circular. Para que se depositen los fangos, es preciso que la velocidad ascensional del agua sea inferior a la

velocidad de caída de las partículas, lo que, naturalmente, depende de la densidad y tamaño de las mismas. (Degremont)

Los tres tipos de decantadores más utilizados son:

- Rectangulares
- Circulares
- Lamelares

Los más utilizados en España y los que por tanto se utilizarán en este proyecto serán los decantadores circulares.

El tratamiento primario y todos los que van a continuación del depósito de regulación, se diseñarán al caudal medio de la planta. Esto es debido a que el depósito de regulación actúa como un depósito donde se almacena el agua cuando el caudal es mayor que el medio de la planta y de donde se extrae el caudal cuando el caudal es inferior al medio. Y por esta razón todo lo que vaya a continuación del depósito de regulación, será diseñado únicamente al caudal medio de la planta.

Generalmente los decantadores se diseñan al caudal máximo y medio de la planta y se elige el que presente las características más restrictivas, pero al disponer de un tanque de regulación, con el que va llegando el caudal medio al tratamiento primario, únicamente se diseñará el decantador primario para el caudal medio de la planta (Q_m)

En el tratamiento primario hay eliminación de contaminantes emergentes y de parámetros convencionales. La eliminación que se produce en el decantador primario se muestra en la siguiente tabla. (Westerhoff, Degremont, Sainz Sastre)

Porcentaje de eliminación del decantador primario de los distintos parámetros.

DECANTADOR PRIMARIO	
Parámetros	Eliminación
Contaminantes emergentes	33%
SS	66%
DBO	33%
DQO	33%
NT	10%
PT	10%

Por tanto conociendo las eliminaciones que se producen en el decantador primario, se podrá calcular los parámetros de contaminación que salen del decantador primario. Estos resultados se muestran en las siguientes tablas.

Valores parámetros de contaminación de entrada y salida del decantador primario.

Parámetros	Unidades	ENTRADA DEC1°	SALIDA DEC1°
SS	ppm	897,00	304,98
DBO5	ppm	447,00	299,49
DQO	ppm	682,00	456,94
NT	ppm	6,30	5,67
PT	ppm	3,40	3,06

El decantador primario se diseñará a caudal medio. Las bases de diseño para los decantadores primarios se muestran en la siguiente tabla.

Parámetros de diseño de decantadores primarios (datos Aquology)

Parámetros diseño			
	Valor mínimo	Valor máximo	Caudal
TR(h)	1,5	3	Qm
CH(m ³ /m ² *h)	1,25	2,5	Qm
carga sobre vertedero(m ³ /ml*h)<		20	Qm

Los resultados de los volúmenes y superficies que debe tener como mínimo el decantador primario para cumplir con los parámetros establecidos (tiempo de retención y carga hidráulica), para una línea de tratamiento que deben se muestran en esta tabla

Valores mínimos para el decantador primario.

Volumen mínimo(m ³)	54088,94
Superficie mínima(m ²)	14423,72
altura mínima(m)	3,75

Se dividirá la instalación en 10 líneas debido a que los volúmenes que se obtienen son muy elevados y los diámetros entonces no estarían dentro del rango. Los volúmenes finalmente escogidos que cumplan con los parámetros (tiempo de retención y carga hidráulica) se muestran en la siguiente tabla.

Valores escogidos en el diseño de los decantadores primarios

EN 10 LÍNEAS	
Volumen(m ³)	5410
SH(m ²)	1445
altura (m)	3,75
resguardo altura(m)	0,50
altura total (m)	4,25
D(m)	42,8
Pendiente fondo	1:12

Tratamiento secundario

El tratamiento secundario en el proyecto propuesto es de un reactor MBR, en un proceso en el que se dan las mismas fases que un proceso de fangos activos: la oxidación biológica de la materia orgánica, separación sólido-líquido, aireación, recirculación de fangos y purga de fangos en exceso.

La modificación del proceso MBR con el proceso de fangos activos es que la separación del fango del agua tratada se realiza por filtración a través de un sistema de membranas en sustitución de la decantación secundaria, obteniéndose un efluente de mayor calidad, prácticamente libre de sólidos en suspensión y microorganismos.

Proceso biológico

Los parámetros que caracterizan el funcionamiento y el diseño del proceso biológico son: la carga másica, el caudal de recirculación de fangos, la producción de fangos en exceso, la edad del fango, la capacidad de aireación necesaria y la concentración de MLSS.

Los porcentajes de eliminación del proceso MBR se muestran en las siguientes tablas.

Porcentajes de eliminación de MBR (Wintengs et al, Margarita González Benítez)

MBR	
Parámetros	Eliminación
Contaminantes emergentes	70%
SS	99%

DBO	99%
DQO	70%
NT	86%
PT	96%

Valores de entrada y salida para los parámetros de contaminación en el MBR.

Parámetros	Unidades	ENTRADA	SALIDA
		MBR	MBR
SS	ppm	304,98	3,05
DBO5	ppm	299,49	2,99
DQO	ppm	456,94	137,08
NT	ppm	5,67	0,79
PT	ppm	3,06	0,12

Los valores escogidos para el diseño del MBR se muestran en las siguientes tablas:

Valores del reactor biológico finalmente escogidos.

REACTOR BIOLÓGICO			
Parámetros	Unidad	Abreviación	Valor
Concentración de fangos	mg/L o ppm	MLSS	6000
Edad del fango	días	E o TRC	10
Recirculación	%	QR	300
Tiempo de retención hidráulico	hora	TRH	10

Obteniéndose los siguientes valores para el reactor biológico, en donde se diseñarán 10 líneas:

Volúmenes obtenidos del Reactor Biológico.

Volumen(Cm)	119993,30
Volumen (TRH)	180296,45
Volumen (E)	127999,58
Te	0,60
R	1,02

10 líneas	
Volumen unitario (m ³)	18030

Base(m)	15,0
Longitud(m)	100,0
Altura(m)	12,0
Resguardo altura(m)	0,5
Altura total(m)	12,5

La tecnología tipo Zenon será la escogida para el diseño de las membranas, en donde se partirá de los siguientes valores.

Características membranas tipo Zenon	
Membranas tipo ZENON	
Flujo(L/m ² *h)	25
Superficie membrana(m ²)	34,37

Obteniéndose los siguientes resultados mediante las siguientes fórmulas:

$$\text{Superficie por línea} = \frac{\text{Caudal por línea}}{\text{Flujo}}$$

$$\text{N}^{\circ}\text{membranas} = \frac{\text{Superficie por línea}}{\text{Superficie 1 membrana}}$$

Resultados de número de membranas.	
Qm(m ³ /h)	18029,65
n° líneas	10
Reserva	1
T(°C)	20
Q por línea(m ³ /h)	1802,96
Superficie por línea(m ²)	72118,58
n°membranas por línea	2098,30

Se dispondrá de una recirculación desde las membranas de ultrafiltración hasta el reactor biológico.

Tratamiento terciario

El diseño de los lechos de adsorción de carbón activo se realiza mediante el tiempo de contacto (TC) y la carga hidráulica superficial (CH), los valores de los parámetros son los siguientes.

Bases de diseño del lecho de adsorción de carbón activo (Ficha técnica de adsorción de carbón activo INDITEX (FT-TER-002))

Caudal	18030	m3/h
Carga hidráulica (HLR)	12	m3/m2*h
tiempo de contacto	20	min
Relación altura/diámetro	5	

El lecho de carbón activo se diseña por caudal medio, con las siguientes fórmulas.

$$TC = \frac{VOL}{Q} \quad TC = \frac{D}{CH} \quad 5 = \frac{H}{D}$$

Valores finales escogidos para el lecho de adsorción de carbón activo

Volumen lecho	6010	m ³
líneas	6	
Volumen unitario	1002	m ³
longitud del lecho	6,34	m
altura del lecho	31,7	m
área del lecho	40,2	m ²

Porcentaje de eliminación del proceso de adsorción de carbón activo de los distintos parámetros

Compuesto	Rto eliminación
emergentes	80%
SS	74%
DBO	99%
DQO	92%
NT	92%
PT	90%

4. ESTUDIO ECONÓMICO

Costes fijos anuales: 9264000 €/año

Costes variables anuales: 25080 €/año

5. IMPACTO AMBIENTAL

En este apartado se va a estudiar los posibles efectos medioambientales y sociales que puede tener la ampliación de la estación depuradora de Galindo tanto en su etapa de construcción como de funcionamiento.