



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

ÍNDICE DE DOCUMENTOS

- DOCUMENTO I: MEMORIA
- DOCUMENTO II: PRESUPUESTO
- DOCUMENTO III: ANEXO I

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA

1. Objetivos	1
2. Justificación	3
2.1. Justificación Académica	3
2.2. Justificación Técnica	3
3. Antecedentes	5
4. Introducción teórica	7
4.1. Escasez económica del agua	7
4.2. Contaminación del agua	8
4.2.1. Legislación sobre vertidos	9
4.3. Contaminantes emergentes	11
4.3.1. Tipos de contaminantes	13
4.3.2. Técnicas de eliminación	19
4.4. Tecnología de membranas	21
4.4.1. Tipos de membranas	21
4.4.2. Procesos de membranas	29
4.4.3. Parámetros característicos	31
4.4.4. Factores influyentes	33
4.4.5. Ultrafiltración	34
4.4.6. Nanofiltración	34
4.5. Reactor biológico secuencial	35
4.5.1. Parámetros del reactor biológico secuencial	37
4.6. Carbón activo	39
5. Metodología	41
6. Evaluación técnica	43
6.1. Ultrafiltración	43
6.2. Nanofiltración	47
6.3. Reactor Biológico secuencial	49
6.4. Sistema completo	50
7. Diseño de la planta	53
7.1. Ultrafiltración	53
7.1.1. Circuito de filtrado	55
7.1.2. Circuito de acondicionamiento	58
7.1.3. Circuito de limpieza	59

7.1.4.	Accesorios	60
7.2.	Nanofiltración.....	61
7.2.1.	Circuito de filtrado	63
7.2.2.	Circuito de limpieza.....	64
7.2.3.	Circuito de acondicionamiento	65
7.2.4.	Accesorios	66
7.3.	Reactor Biológico secuencial.....	66
7.3.1.	Circuito de reacción biológica	68
7.3.2.	Circuitos de acondicionamiento y vertido	69
7.3.3.	Accesorios	70
7.4.	Sistema completo.....	70
8.	Evaluación Económica	73
9.	Conclusiones.....	75
10.	Bibliografía	77

PRESUPUESTO

1.	Presupuestos parciales.....	82
1.1.	Presupuesto de mano de obra	82
1.2.	Presupuesto equipos e instrumentación	83
2.	Presupuesto total de ejecución material	85
3.	Presupuesto total de ejecución por contrata	86
4.	Presupuesto base de licitación.....	86

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Población mundial y disponibilidad hídrica 2005-2025. Adaptación	7
Figura 2. Ciclo del agua y fuentes de su contaminación.....	9
Figura 3. Diagrama resumen de la legislación en el ámbito de los vertidos	10
Figura 4. Posibles vías de los contaminantes emergentes y su incorporación al medio.	11
Figura 5. Consumo antidepressivos España 2000-2013.)	18
Figura 6. Flujo perpendicular.....	23
Figura 7. Flujo transversal	23
Figura 8. Sistema simple sin recirculación	24
Figura 9. Sistema tipo batch o por lotes.....	24
Figura 10. Sistema de diafiltración.....	25
Figura 11. Módulo plano o de placa bastidor.....	25
Figura 12. Módulo de arrollamiento en espiral.....	26
Figura 13. Módulo tubular.....	27
Figura 14. Módulo de membranas capilares y fibra hueca. Adaptación.....	27
Figura 15. Membranas simétricas.....	28
Figura 16. Membranas asimétricas.....	29
Figura 17. Selectividad de proceso de filtración con membranas	29
Figura 18. Ciclo de operación SBR)	36
Figura 19. Parámetros volumétricos SBR	38
Figura 20. Diagrama de la estructura metodológica	41
Figura 21. Resumen Índices Rechazo UF por compuesto y pH.	43
Figura 22. Superficies de respuesta para cada uno de los contaminantes	44
Figura 23. Tendencia del Índice de rechazo en función del pKa del compuesto.....	45
Figura 24. Evolución del Flux en función del tiempo	46
Figura 25: Índice de rechazo para cada membrana a distintas presiones transmembrana.	47
Figura 26. Evolución del flux con el tiempo para Seiro-MPS34	48
Figura 27. Porcentajes de eliminación de SBR (+PAC) por compuesto.....	49
Figura 28. Diagrama flujo proceso ultrafiltración	54
Figura 29. Diagrama flujo proceso ultrafiltración	62
Figura 30. Diagrama flujo proceso reactor biológico secuencial	67
Figura 31. Diagrama de flujo de proceso del sistema completo	71
Figura. I: Gama producto TAMI INDUSTRIES, INSIDE CÉRAM	88
Figura. II: Carter TAMI INDUSTRIES, INSIDE CÉRAM-	90
Figura. III: Carter TAMI INDUSTRIES, INSIDE CÉRAM-	92
Figura. IV: Carter TAMI INDUSTRIES, INSIDE CÉRAM-	92
Figura. V: Ábaco de Moody	93
Figura. VI: Catálogo bombas IDEAL	94
Figura. VII: Catálogo Tanques TANKEROS.SL.....	94
Figura. VIII: Catálogo Agitadores GRUNDFOS	95
Figura. IX: Catálogo filtros HECISA	96
Figura. X: Catálogo válvulas COMEVAL	97
Figura. XI: Ficha técnica membranas NF	99
Figura. XII: Catálogo bombas ANDRITZ HYDRO.....	101

Figura. XIII: <i>Catálogo tanques TANK CONNECTION</i>	102
Figura. XIV: <i>Catálogo bombas SANTOS MAQUINARIA ELECTRICA S.L.</i>	102
Figura. XV: <i>Características aireador mezclador sumergible HURRICANE</i>	103
Figura. XVI: <i>Identificación de riesgos de reactivos</i>	103
Figura. XVII: <i>Identificación de riesgos de contaminantes emergentes</i>	104

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1: Resumen legislación sobre vertido de aguas.	9
Tabla 2: Principales antibióticos detectados y su presencia en aguas	14
Tabla 3: Principales antihipertensivos detectados y su presencia en aguas	16
Tabla 4: Principales analgésicos detectados y su presencia en aguas	17
Tabla 5: Principales antidepresivos investigados	18
Tabla 6: Características membranas según materiales	22
Tabla 7: Procesos de membrana	30
Tabla 8: Factores influyentes en el permeado.....	33
Tabla 9: Compuestos del estudio y concentraciones iniciales	43
Tabla 10: Compuestos del estudio y pKa	45
Tabla 11: Compuestos del estudio y rechazos	49
Tabla 12: Ciclo SBR	50
Tabla 13: Resumen índice de rechazo y factor de reducción por compuesto y tecnología	51
Tabla 14: Resumen de caudales y concentraciones por tecnología	52
Tabla 15. Flujos máxicos de contaminantes emergentes	52
Tabla 16: Resumen concentraciones y pOH.	59
Tabla 17: Resumen cálculos cantidad HCl	59
Tabla 18. Detalles válvulas proceso UF	60
Tabla 19: Resumen de reactivos de limpieza	64
Tabla 20. Detalles válvulas proceso NF	66
Tabla 21: Distribución de tiempos SBR	68
Tabla I. Presupuesto mano de obra	82
Tabla II. Presupuesto equipos e instrumentación.....	83
Tabla III. Resumen presupuesto equipos e instrumentación.....	85
Tabla IV. Resumen presupuesto total de ejecución material	85
Tabla V. Resumen presupuesto total de ejecución por contrata.....	86
Tabla VI. Resumen presupuesto base de licitación	86

DOCUMENTO I

MEMORIA

1. Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es el estudio de la viabilidad técnica y económica de una instalación mixta de membranas y reactores biológicos secuenciales, para una población de 400.000 habitantes equivalentes, con el fin de eliminar contaminantes emergentes presentes aguas debajo de una estación depuradora de aguas residuales urbanas.

De la consecución del objetivo principal se derivan los objetivos específicos que a continuación se detallan:

- Elaboración de un proyecto en el ámbito de la Ingeniería Química mediante la integración de las competencias características de dicha rama, como la toma de decisiones, capacidad resolutoria o la resolución e interpretación de resultados.
- Afianzar y poner en práctica conocimientos propios de la Ingeniería Química como la transferencia de materia, las operaciones de separación o la mecánica de fluidos.
- Ser capaz de emitir una valoración técnica y económica de forma razonada en base a la coherencia y la cohesión de los resultados.
- Diseño de equipos e instalaciones en base a los requerimientos marcados por el propio proyecto y los resultados obtenidos en fases piloto.
- Ser capaz de analizar el impacto técnico y económico de la consecución del proyecto a escala industrial.
- Búsqueda y extracción de la información, así como su gestión a partir de diferentes fuentes bibliográficas. Presentando así, datos y conceptos comprobables y adecuados al tema del trabajo.
- Ser consciente de la problemática medioambiental actual, así como del estado del arte de las tecnologías disponibles y viables para reducir el impacto social sobre el medio.
- Poner de manifiesto las competencias transversales obtenidas a lo largo de la etapa formativa del alumno.

2. Justificación

2.1. Justificación Académica

La elaboración del presente trabajo final de master está motivada por la valoración de los conocimientos adquiridos en la titulación Máster en Ingeniería Química impartido en la Universitat Politècnica de València. Con la consecución del mismo se pretende demostrar los conocimientos tanto prácticos como teóricos desarrollados a lo largo del propio Máster. Además, el propio trabajo pretende completar la formación del alumno y la obtención del título del Máster en Ingeniería Química.

2.2. Justificación Técnica

La justificación técnica del presente trabajo como se verá más adelante en el marco teórico, está basada en la problemática asociada a la crisis económica del agua y la aparición de nuevos contaminantes. Es el incremento en la demanda del agua asociado a una desigual distribución de la misma, así como factores añadidos como el calentamiento global o la contaminación del agua lo que la convierte en un bien escaso y cada vez más, sujeto a intereses económicos.

En la sociedad actual los niveles de contaminación hacen que sea necesaria una actuación por parte del ser humano puesto que en muchos casos de contaminación medioambiental las consecuencias ya son irreversibles. El agua no es una excepción, pese a que es un recurso muy abundante, solo el 3% del agua mundial es agua dulce y menos del 0.9% está disponible para abastecer a la población, incluido en este abastecimiento necesidades sociales e industriales. Es por ello que se trata de un recurso natural frágil debido a factores como la contaminación que podrían generar una situación incorregible.

Es debido a esta problemática que es necesaria una actuación por parte del ser humano no solo a nivel social reduciendo el gasto de agua sino también a nivel industrial. Es por ello que es necesaria la investigación de nuevas tecnologías que permitan una mejor detección de los contaminantes clásicos, así como de nuevos contaminantes (contaminantes emergentes) y, además tecnologías que permitan su eliminación. De este modo será posible una reutilización del agua, lo cual lleva a una reducción del consumo, y también se reducirá la contaminación antropológica del medioambiente

3. Antecedentes

El presente trabajo final de master se enmarca dentro del Proyecto “Evaluación de la viabilidad técnica y económica para la eliminación de compuestos farmacológicos persistentes presentes en aguas residuales” (EVITECFA). Este proyecto se desarrolla en el Instituto Universitario de Seguridad Industrial Radiosfísica y Medioambiental (ISIRYM) y es llevado a cabo por el grupo de investigación de Procesos de membrana, tratamiento de efluentes líquidos y optimización (PROMETEO).

Este trabajo surge como una necesidad de integración de los distintos trabajos realizados previamente, a cerca de la viabilidad individual de cada una de las distintas tecnologías, a escala piloto, todos ellos comprendidos dentro del proyecto EVITECFA.

4. Introducción teórica

4.1. Escasez económica del agua

En el contexto social actual, la demanda de agua dulce está en constante aumento pese a que la regeneración de la misma no está al mismo nivel. Esto es debido a fenómenos como el calentamiento global o la contaminación que impiden la disponibilidad o la reutilización de este recurso.

El agua siempre se ha considerado un recurso natural e ilimitado, es decir un bien libre, no económico y gratuito. Sin embargo, debido a que a día de hoy es un recurso escaso su gestión implica un coste asociado y por lo tanto tiene asociado un carácter económico a los ya conocidos social y ecológico. Es por ello que es necesaria una mejor gestión de los recursos hídricos actuales en pos de reducir el consumo global.

La escasez de agua se hace patente en las previsiones realizadas por la ONU sobre la población mundial y la disponibilidad hídrica comparada desde 2005-2025, presentadas en la *Figura 1*.

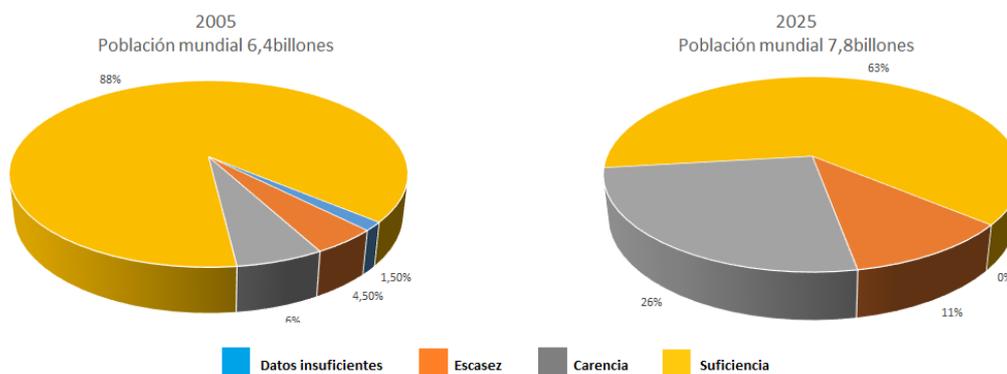


Figura 1. Población mundial y disponibilidad hídrica 2005-2025. Adaptación (UNITED NATIONS, 2000-2001)

A partir de la *Figura 1* se puede apreciar como los pronósticos para un futuro relativamente cercano implican una situación mundial en la cual más de un tercio de la población sufrirá escasez o al menos carencias en la disponibilidad de agua.

No es de extrañar que, en el Informe de Riesgos Globales de 2016, el cual analiza qué riesgos globales podrían interactuar en la próxima década y de qué forma, sitúe la crisis del agua como el tercer riesgo en términos de impacto de forma consecutiva en los últimos años. Además, se debe de tener presente que el primer riesgo está estrechamente relacionado con la escasez económica del agua puesto que es el fracaso de la reducción y la adaptación al cambio climático. (World Economic Forum, 2016)

Aunque la agricultura consume en torno al 70% del agua dulce empleada anualmente, su incremento depende del aumento de la población mundial. Sin embargo, en el caso de la industria cuyo consumo ronda el 20% el consumo de agua no solo está sujeto al incremento de la población sino también a los cambios de los modelos. El incremento del consumo de carne implica un incremento proporcional del consumo de agua ya que se estima que son necesarios 15.000 litros de agua por 1 kg de carne de vacuno. Otros ejemplos son la fabricación de productos alimenticios los cuales suponen un gasto de 5 m³ por persona y día (Naciones Unidas, 2017) o la fabricación textil en países como Asia. Este último ejemplo merece especial atención

puesto que el sector textil deja una de las huellas medioambientales en términos de agua más grande. En el caso de países como China o India, este sector agota los suministros locales de agua y además en muchas ocasiones es responsable del vertido de aguas residuales no tratadas en arroyos y ríos locales. (The Guardian, 2017) Debido a la cantidad de químicos que se emplean en el proceso de tintado, así como el uso ineficiente del agua en los procesos de tintado, el consumo de agua se dispara puesto que no solo consume agua, sino que además hace inaccesible aquella que se contamina por efecto del vertido. Este problema se acrecienta con los años debido a la variabilidad de tendencias en el ámbito de la moda textil, que generan una gran demanda y variabilidad de patrones en las ropas y estilos, implicando una gama cambiante de productos químicos en su elaboración. (Wade, 2014)

Para una correcta gestión del agua es de vital importancia la regeneración de la misma con el fin de reducir el impacto de la demanda sobre el propio recurso. Tan importante como la gestión del agua para su reutilización, es realizarlo de una forma regulada y controlada, a fin de no comprometer la salud de las personas.

El concepto de agua residual como desecho afortunadamente está cambiando con los años, reconociéndose el valor de la misma gracias a su reutilización. Sin embargo, el camino a seguir acaba de empezar, muchos países desarrollados apenas disponen de información sobre la gestión y el tratamiento de sus aguas, lo cual impide una actuación. A medida que este problema gana importancia crece la información recogida y por lo tanto posibilita la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías. (Naciones Unidas, 2017) El fin de ello es mejorar la gestión actual de los recursos para poder adaptarlos a las necesidades actuales y futuras.

4.2. Contaminación del agua

A día de hoy se estima que un 80% de las aguas residuales en el mundo se vierten al medio ambiente sin tratamiento alguno. Estas actuaciones tienen unas consecuencias predecibles sobre la sociedad como son 800.000 muertes en el mundo en el año 2012 debidas al consumo de agua potable contaminada e instalaciones de saneamiento inadecuadas. Pero esto no solo afecta en la reutilización del recurso, puesto que el propio vertido afecta a los ecosistemas acuáticos afectando a una superficie de 245.000 km². La contaminación del ecosistema marino a su vez genera un riesgo sobre la población asociado al consumo de productos marinos contaminados. (Naciones Unidas, 2017)

El principal motivo de la contaminación de las aguas es el vertido incontrolado tanto industrial como doméstico existiendo diferentes tipos de contaminantes a tener en cuenta:

- Sedimentos: Implica una contaminación producida de forma natural debido a la erosión del agua, pero también por el vertido industrial de sustancias como pueden ser fangos.
- Patógenos: Son organismos que causan o producen enfermedades.
- Metales pesados: Procedentes en su mayoría del vertido industrial, son tóxicos para la mayoría de los seres vivos y son difícilmente degradables.
- Contaminación térmica: Debida al uso del agua como refrigerante. Varía la solubilidad de oxígeno en el agua y por lo tanto las reacciones biológicas.
- Sustancias radiactivas: Generadas en procesos industriales con uso de elementos radiactivos.
- Salinidad: Debida a una alta cantidad de cloruros en el agua.

- Compuestos orgánicos minoritarios: Su principal característica es que no son biodegradables y su origen suele ser industrial.
- Nutrientes: Son elementos como el nitrógeno o el fósforo que en concentraciones altas generan zonas sensibles.
- Compuestos orgánicos biodegradables: Son oxidados por las bacterias generando olores.

La contaminación o la disminución de la calidad del agua se da a lo largo de lo denominado ciclo del agua. Es en un punto de este ciclo donde se incorporan elementos no deseables al agua generalmente en forma de vertido de agua residual. Como se puede apreciar en la *Figura 2*, estos compuestos se generan principalmente en la industria y el sector primario, incorporándose tras las estaciones depuradoras pudiendo comprometer el resto del ciclo.

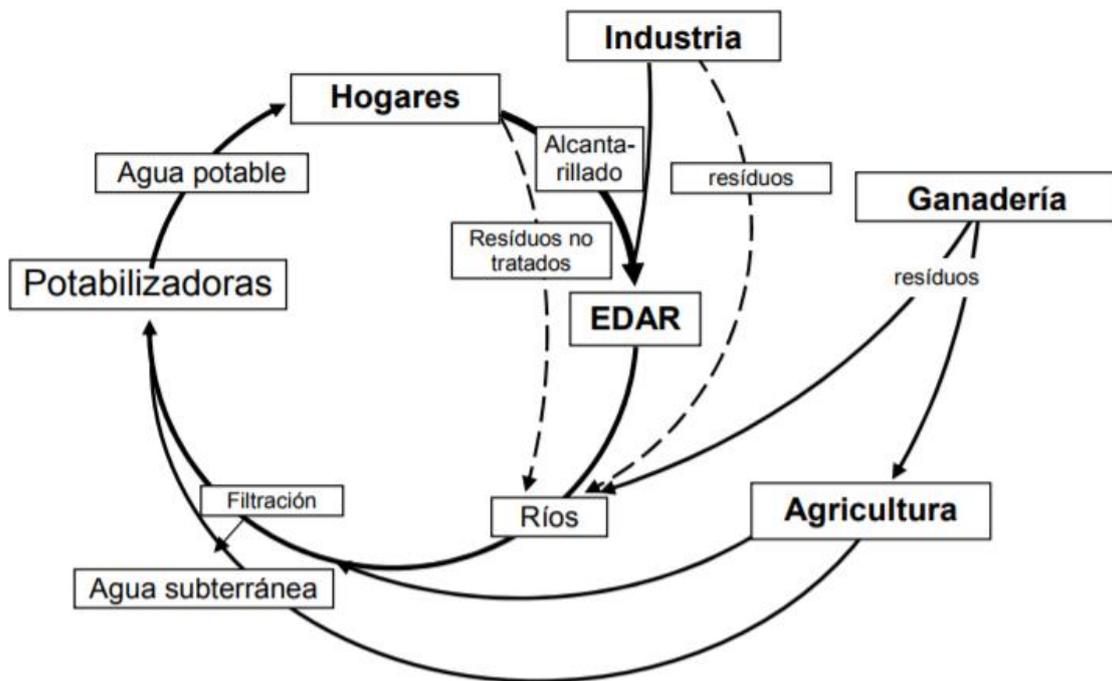


Figura 2. Ciclo del agua y fuentes de su contaminación. (Damià Barceló & López de Alda, 2007)

4.2.1. Legislación sobre vertidos

Para corregir esta situación existe una legislación asociada la cual se adapta temporalmente al nivel de problemática. Dicha legislación se comenta brevemente a continuación en la *Tabla 1*.

Tabla 1: Resumen legislación sobre vertido de aguas. (Peiró Ortiz, 2016)

Legislación europea	Carta Europea del agua	Fue redactada en 1968 y contiene 12 principios para la correcta gestión del agua.
	Directiva 91/271/CEE	Regula la depuración de las aguas residuales en la Unión Europea. Regula los términos de cumplimiento en depuradoras.

Tabla 1: Resumen legislación sobre vertido de aguas. (Peiró Ortiz, 2016)

Legislación europea	Convenio de Estocolmo	Entró en 2004 para eliminar la descarga de COP.
	Reglamento (CE) 850/2004	Marco jurídico basado en las disposiciones del convenio de Estocolmo. Tiene como objetivo proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los COP
Legislación estatal	Ley 22/2013	Legislación estatal aplicable al vertido a domini público marítimo-terrestre. Trata protección del litoral.
	Real Decreto 606/2003	Marca los límites de vertido a cauce.
	Ordenanza municipal	Propia de donde se genere el agua residual, marca los límites de vertido al alcantarillado para su tratamiento en una EDAR
	Real Decreto 1620/2007	Legislación aplicable a la reutilización del agua para usos distintos al consumo humano
Legislación provincial (Comunidad Valenciana)	Ley 2/1992	Su objetivo es garantizar la evacuación, tratamiento y reutilización de aguas residuales en la Comunidad Valenciana
	Decreto 193/2001	Regula el régimen económico-financiero y tributario del Canon de Saneamiento.

Atendiendo a la información presentada se puede resumir el proceso legislativo a tener en cuenta frente a un vertido de agua residual en la *Figura 3*:

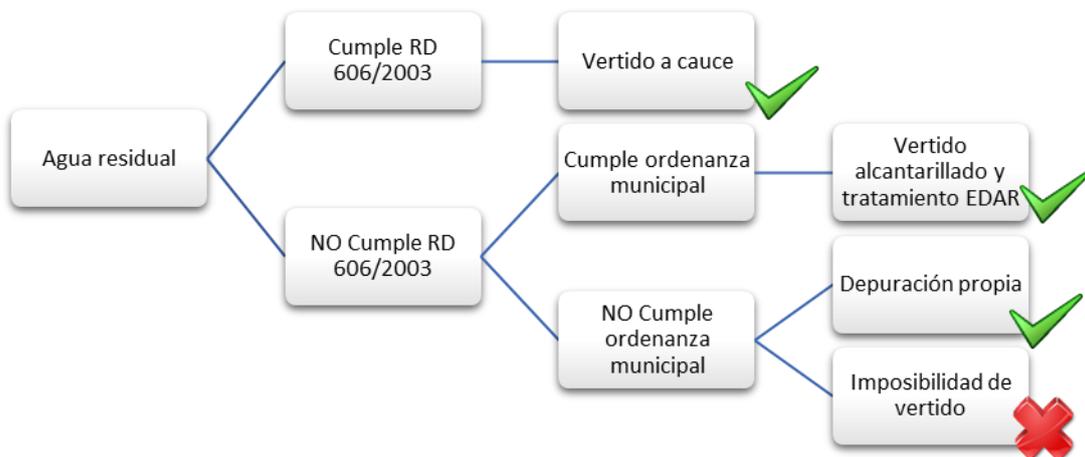


Figura 3. Diagrama resumen de la legislación en el ámbito de los vertidos

En el peor de los casos como es la imposibilidad de vertido, se deberían transferir a un gestor autorizado o en su defecto proceder al cierre de la instalación.

4.3. Contaminantes emergentes

El término contaminante emergente es empleado para referirse a aquellos compuestos con composiciones químicas diversas que hasta la fecha no se habían detectado y/o controlado, debido a su baja concentración y distribución. La razón de ello es que hasta recientemente no se consideraba significativa ni su presencia ni su efecto sobre el medio ambiente. Sin embargo, a raíz de su detección, los nuevos estudios centran su atención en la mejor caracterización de la presencia de estos compuestos en las aguas superficiales, así como sus efectos. (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012) Esto es debido a que, en primer lugar, son muy estables químicamente, pudiendo permanecer en el medioambiente o en el organismo de los seres vivos durante largos periodos de tiempo puesto que son resistentes a la biodegradación. En segundo lugar, son bioacumulables y por lo tanto pese a que se detecten en pequeñas cantidades pueden ser perjudiciales para la salud de los organismos vivos, puesto que se acumulan en los tejidos grasos de los mismos y su concentración va aumentando. Por último, se dispersan fácilmente y por lo tanto pueden viajar largas distancias desde la fuente contaminando escenarios medioambientales diversos.

Es importante identificar las fuentes de este tipo de contaminantes a fin de poder controlar su dispersión. En la *Figura 4* se pueden apreciar estas fuentes, así como las vías que siguen los contaminantes emergentes hasta su efecto sobre los ecosistemas.

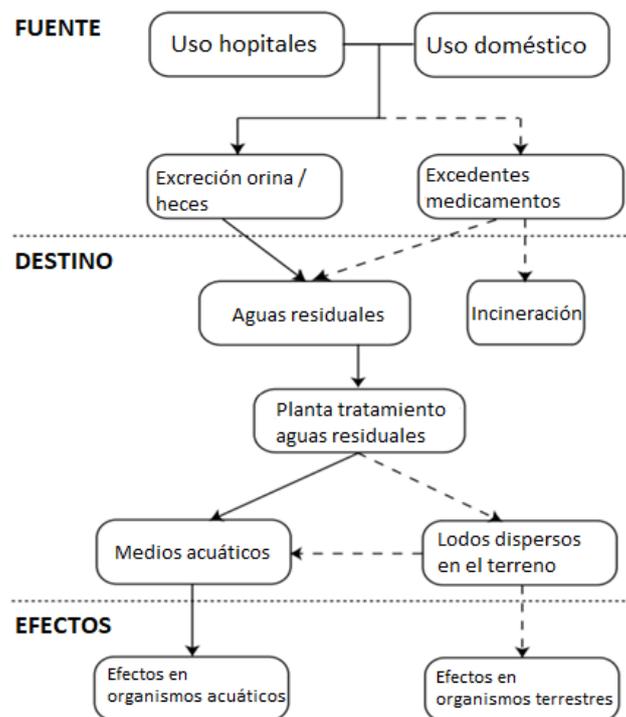


Figura 4. Posibles vías de los contaminantes emergentes y su incorporación al medio (Tauxe Würsch, 2005)

A partir de dichas fuentes se puede observar como el origen de este tipo de contaminantes es completamente antropológico y por lo tanto es posible afirmar que ese sujeto a factores demográficos. Estos factores demográficos se corresponden con el aumento de la población, pero además con el aumento de la esperanza de vida de la misma. Una mayor esperanza de vida implica por una parte una mayor cantidad de tiempo de consumo de compuestos farmacéuticos y además dicha esperanza se consigue a través del uso de los mismos ya sea doméstico o en hospitales.

La presencia de contaminantes no controlados en las aguas que puedan tener un efecto peyorativo sobre el conjunto de la biodiversidad es altamente peligrosa, puesto que se detectaría el daño sobre dicho efecto una vez ocurrido. Los contaminantes, así como los productos de degradación de los mismos, pueden alcanzar acuíferos o acumularse en el terreno, incorporándose así a la cadena trófica. (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012)

La reciente preocupación sobre la presencia de estos nuevos contaminantes en el agua como los productos farmacéuticos ha generado nuevos criterios sobre la calidad del agua y nuevas pautas en su tratamiento. (Watkinson, Murby, Kolpin, & Costanzo, 2009)

Según la *Framework Water Directive*, 2000/60/EC Europa debe de emprender medidas para mejorar la calidad medioambiental de sus aguas. Por ello desde el parlamento europeo se emite la Directiva 2008/105/EC la cual establece los estándares de calidad de las aguas para componentes prioritarios y otros contaminantes. A raíz de esta situación la comisión europea ha incluido por primera vez tres compuestos farmacéuticos como compuestos que implican un riesgo al medioambiente. Estos compuestos son el diclofenac, estradiol y ethynilestradiol (Molinos-Senante, y otros, 2013)

Resultado de la concienciación en torno a este tipo de contaminantes se han realizado estudios constatando su existencia en cuerpos de agua a nivel mundial. Un ejemplo de ello es el estudio realizado en el parque natural de Doñana (Camacho Muñoz, Santos, Aparicio, & Alonso, 2010). Sin embargo, esto no es un problema que atañe solo a Europa, puesto que, a raíz de los resultados obtenidos en Europa y Estados Unidos la realización de estudios en Korea ha constatado que las presencias de compuestos farmacéuticos en sus plantas de tratamiento de residuos provienen del consumo de la población. Derivado también del consumo humano se encuentran además altas concentraciones de cafeína 3.37µg/L. (Won Jin, Lee, & Jeong Eun, 2010). Una muestra más de ello se encuentra en Sevilla, donde tras el estudio de varias plantas de tratamiento de aguas, se detectó en todas ellas cafeína, carbamazepina, ibuprofeno, ketoprofeno y naproxeno en la entrada siendo el ibuprofeno el compuesto con una mayor concentración a la entrada y a la salida. (Santos, Aparicio, & Alonso, 2007)

Más allá de la detección de este tipo de contaminantes, es importante prestar atención a las consecuencias de su concentración en el medio ambiente. Los residuos derivados de medicamentos pueden tener efectos adversos sobre ecosistemas acuáticos si existe una concentración de los mismos. Además, también se sospecha que compuestos antiinflamatorios presentan un alto riesgo tóxico en aguas superficiales. (Hernando, Mezcuca, Fernández Alba, & Barceló, 2006)

La principal fuente de detección de contaminantes emergentes, entre ellos productos farmacéuticos, son las estaciones de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, las estaciones de depuración de agua actuales están diseñadas para la eliminación de contaminantes como sólidos en suspensión, metales pesados o materia orgánica, pero no para compuestos farmacéuticos. Esta situación hace que sea necesaria la incorporación de nuevos tratamientos al agua para cumplir con la eliminación de los nuevos compuestos. (Won Jin, Lee, & Jeong Eun, 2010)

Debido a la preocupación que están generando los contaminantes emergentes, se están desarrollando nuevas técnicas que permitan su detección en diferentes entornos medioambientales y geográficos. Además, esto implica el estudio de su transporte y efecto en cuerpos de agua, fangos o el propio terreno; así como el estudio para su eliminación de ecosistemas acuáticos como térreos. (Camacho Muñoz, Santos, Aparicio, & Alonso, 2010)

4.3.1. Tipos de contaminantes

a) Pesticidas o plaguicidas

Los pesticidas o plaguicidas se emplean en la mitigación, prevención o atracción de especies indeseadas de plantas o animales durante el proceso productivo de alimentos o productos agrícolas. Dentro del ámbito de los contaminantes emergentes, los pesticidas y los plaguicidas son aquellos de los cuales más se conoce ya que han sido regulados con mayor anterioridad. Sin embargo, en los últimos años se ha descubierto que existen productos de degradación derivados de los pesticidas y plaguicidas, los cuales no se han tenido en cuenta, que pueden llegar a ser más tóxicos que los compuestos primarios. (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012) (Sinclair & Boxall, 2003). Existen estudios que acreditan actualmente su detección en aguas subterráneas en concentraciones superiores a los compuestos de los que se derivan. (Lapworth & Gooddy, 2006).

Cada vez son más los metabolitos cuya presencia se descubre en aguas, así como en la propia población. (López, Dualde, Yusà, & Coscollá, 2016). Esto no es de extrañar si se tiene en cuenta que una de las principales necesidades del ser humano como es la alimentación es también una de las principales fuentes de exposición a este tipo de metabolitos. Se afirma que no hay segmento alguno de la población general exento de la exposición a estos compuestos y a sus potenciales efectos nocivos sobre la salud. (Al Saleh, 1994)

b) Productos farmacéuticos

A lo largo de las últimas décadas la producción de compuestos de uso en productos farmacéuticos ha incrementado rápidamente Sin embargo, los productos farmacéuticos tienen asociado un riesgo potencial en ecosistemas acuáticos como puede ser la alteración endocrina entre otros efectos biológicos específicos. (Won Jin, Lee, & Jeong Eun, 2010).

La principal fuente de este tipo de contaminante es la excreción humana, así como la eliminación de aquellos productos no utilizados. Además, la presencia de antibióticos empleados en agricultura sitúa la actividad como una fuente a tener en cuenta. A partir de estas fuentes, las plantas depuradoras de agua actúan como nexo de unión entre las fuentes y el paso de los contaminantes al ciclo del agua y por lo tanto a los ecosistemas. Esto ocurre por no haberse tenido en cuenta estos contaminantes hasta la fecha y por lo tanto no existen procesos implementados en las plantas capaces de retenerlos en su totalidad. (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012) (Watkinson, Murby, Kolpin, & Costanzo, 2009).

Dentro de la amplia variedad de productos farmacéuticos son los antibióticos, los analgésicos y los antihipertensivos aquellos que más se utilizan y que por lo tanto a continuación se comentarán.

Antibióticos

Los antibióticos por definición: “son sustancias químicas capaces de paralizar el desarrollo de ciertos microorganismos patógenos, por su acción bacteriostática, o de causarles la muerte, por su acción bactericida, y que es producida o fabricada por síntesis” (RAE, 2017). Sin embargo, existen estudios en el sector de la acuicultura donde se presenta una resistencia microbiana a los antibióticos. (Akinbowale, Peng, Grant, & Barton, 2007). Se consideran los efluentes procedentes de hospitales como importantes fuentes puntuales en la incorporación de antimicrobianos, y genes de resistencia a los antibióticos en las aguas superficiales, siendo esta tendencia común a nivel global. Esto refleja la presencia omnipresente de los productos

farmacéuticos en los ecosistemas. (Duong, y otros, 2008). Este problema se puede acentuar en aquellos casos en los que no se tratan los efluentes hospitalarios (Duong, y otros, 2008) puesto que, sustancias con un elevado uso en hospitales, ya sea diclofenac, ibuprofeno o antisépticos como el triclosan entre otros fármacos, pasan directamente al alcantarillado y posiblemente haya un vertido a río; como estudios han demostrado en Colombia (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012)

Es importante tener en cuenta que independientemente de donde se produzcan los vertidos es un problema a nivel global puesto que una vez se desarrollan microorganismos con una resistencia antimicrobiana, es decir capaces de sobrevivir a antimicrobianos que generalmente deberían detener su desarrollo o matarlos, es relativamente sencilla su extensión al resto del mundo a partir de una persona infectada. Ejemplos de estas superbacterias a fármacos son Staphylococcus aureus (MRSA) o la tuberculosis, las cuales son imposibles de tratar con los fármacos actuales permitiéndoles crecer y expandirse y suponiendo a su vez un riesgo epidémico. (UK Government, 2016)

En la siguiente tabla (Tabla 2) se presentan algunos de los antibióticos más comunes, así como sus concentraciones detectadas:

Tabla 2: Principales antibióticos detectados y su presencia en aguas (Jiménez Cartagena, 2011)

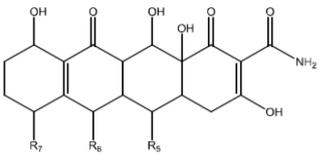
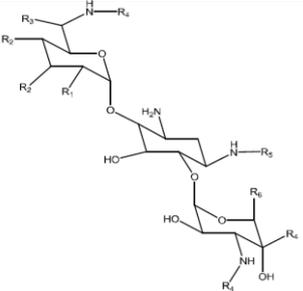
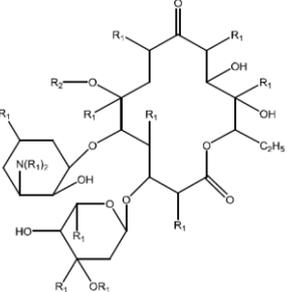
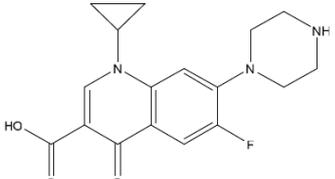
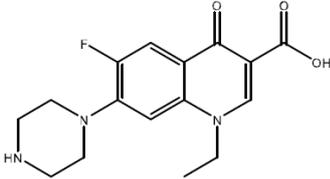
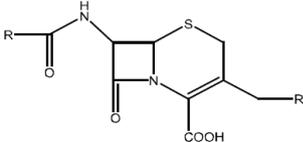
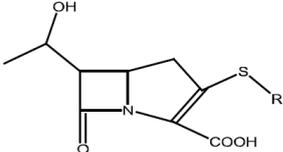
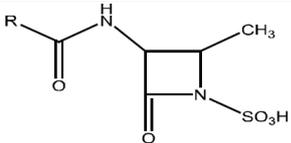
Compuesto	Formulación	Presencia/Concentración (µg/L)
Tetraciclinas		Agua residual doméstica: 0.06-0.21 Agua río: 0.08-0.30
Aminoglicósidos		Residuos hospitalarios: 0.4-7.6
Macrólidos		Planta tratamiento Baja eliminación
Ciprofloxacina		Efluentes: 0.002 Planta tratamiento: 2.3

Tabla 2: Principales antibióticos detectados y su presencia en aguas (Jiménez Cartagena, 2011)

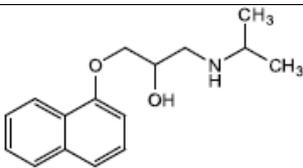
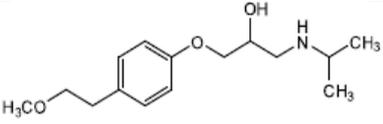
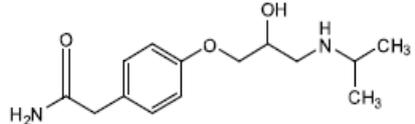
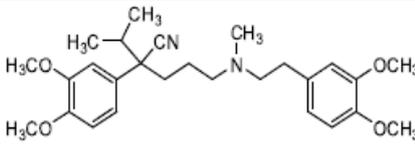
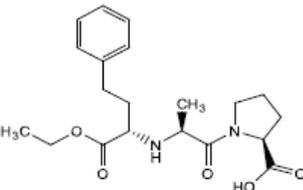
Compuesto	Formulación	Presencia/Concentración (µg/L)
Norfloxacin		Plantas de tratamiento
B-Lactámicos		Efluente planta tratamiento
Cefalosporinas		Agua rio:1.01
Carbapenemas		Aguas residuales

Antihipertensivos.

Los fármacos antihipertensivos son aquellos empleados en medicina para el tratamiento de la hipertensión, es decir, empleados en la reducción de la presión arterial. Algunos son los bloqueadores de canales de calcio, los inhibidores de la encima angiotensina o los bloqueadores β – empleados en las terapias iniciales de la hipertensión-. (Alderman, Madhavan, & Cohen, 1996). En el caso de los bloqueadores β se ha constatado su presencia en plantas de tratamiento de aguas así como en ríos tras el vertido de efluentes (Ternes, 1998) existiendo además estudios ecotoxicológicos donde se muestra la sensibilidad de los organismos acuáticos frente a estos compuestos y en especial el alga verde (*Desmodesmus subspicatus*) (Maurer, Escher, Richle, Schaffner, & Alder, 2007)

De forma análoga al caso de los antibióticos, se presentan los principales antihipertensivos detectados en la *Tabla 3*:

Tabla 3: Principales antihipertensivos detectados y su presencia en aguas (Jiménez Cartagena, 2011)

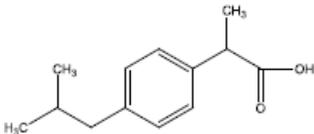
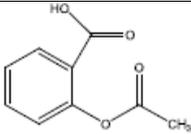
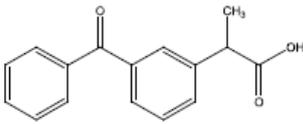
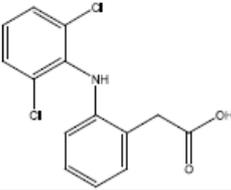
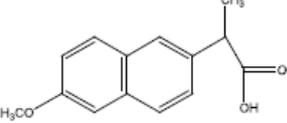
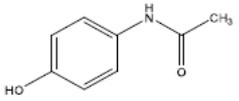
Compuesto	Formulación	Presencia/Concentración (µg/L)
Propranolol		Planta tratamiento: 2.41
Metoprolol		Planta tratamiento: 0.27
Atenolol		Lodos activados 0.54
Verapamilo		Lodos activados sólidos Alta absorción
Enalapril		Efluentes planta tratamiento: 0.055

Analgésicos

Los analgésicos son medicamentos empleados la eliminación y la calma del dolor principalmente. Se encuentran dentro de los fármacos más consumidos a nivel mundial y además con un mayor índice de automedicación (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012). Al igual que ocurre con el resto de productos farmacéuticos mencionados también se han encontrado, tanto en las corrientes de entrada como en los efluentes en estaciones depuradoras de aguas. (Guerra, Kim, Shah, Alae, & Smyth, 2014). Tal vez los ejemplos más representativos de estos fármacos sean el ibuprofeno y el diclofenac –el cual es frecuentemente detectado no solo en aguas residuales sino también en aguas superficiales (Lonappan, y otros, 2015).

Los principales analgésicos así como su lugar de detección y concentración se detallan en la *Tabla 4:*

Tabla 4: Principales analgésicos detectados y su presencia en aguas (Jiménez Cartagena, 2011)

Compuesto	Formulación	Presencia/Concentración (µg/L)
Ibuprofeno		Sedimento: 35.83 Agua fresca: 4.3
Ácido acetil salicílico		Agua superficial: 0.34 Agua residual: 1.0
Ketoprofeno		Agua superficial y agua residual 28 (pH=2)- 53 (pH=7)
Diclofenaco		Agua superficial < 5.1
Naproxeno		Agua residual 5.41 - 21.2
Acetaminofén		Agua superficial 3.35 - 15.7 Efluente hospitalario 186.5

Antidepresivos

El uso de antidepresivos en los países occidentales ha aumentado y España no es una excepción, el consumo de este tipo de medicamentos se ha disparado a lo largo de la última década llegándose incluso a duplicar su uso. La clase más utilizada de estos medicamentos son los inhibidores selectivos de la recaptación de la serotonina (70.4% consumo 2013) (AEMPS, 2015). Dicho aumento se puede apreciar en la *Figura 5*.

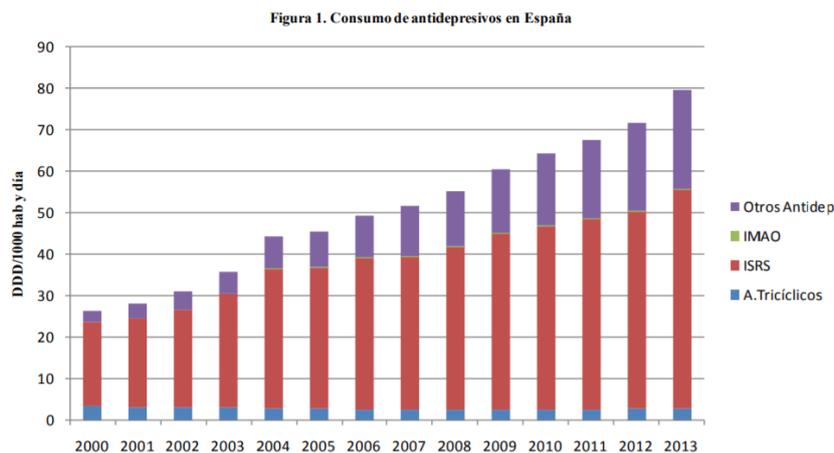
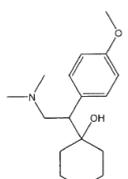
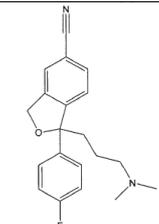
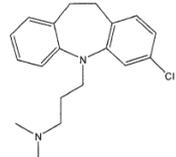
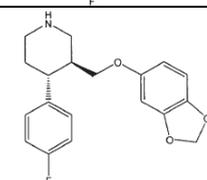
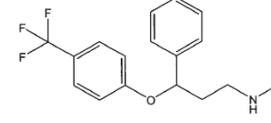
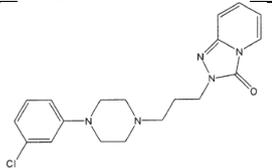


Figura 5. Consumo antidepresivos España 2000-2013. (AEMPS, 2015)

Debido al aumento del consumo de este tipo de compuestos, su presencia es cada vez más elevada en las aguas superficiales y subterráneas, constituyendo un objetivo principal su correcta detección a fin de poder eliminarlos. Algunos de los principales antidepresivos investigados debido a su alto consumo se detallan en la *Tabla 5*.

Tabla 5: Principales antidepresivos investigados (Himmelsbach, Buchberger, & Klampfl, 2006)

Compuesto	Formulación	Compuesto	Formulación
Venlafaxine		Citalopram	
Clomipramine		Paroxetine	
Sertraline		Fluoxetine	
Trazodone			

Compuestos "estilo de vida"

Son aquellos compuestos que se encuentran en mayor o menor medida relacionados con el conjunto de patrones de conducta que caracterizan la manera general de vivir de la población. Un buen ejemplo de ello son compuestos como la cafeína, la nicotina o el metabolito de la nicotina, los cuales han sido detectados en aguas subterráneas con afluencias de aguas

residuales. De esta forma las principales fuentes de este tipo de contaminantes son la descarga de aguas residuales tras su tratamiento y aquellas aguas procedentes de tanques sépticos. (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012)

c) Aditivos industriales y subproductos

En un mundo industrializado como el actual, existe una gran cantidad de compuestos que tras su adición a los productos de consumo pueden ser liberados al medio ambiente. Ejemplos de este tipo de compuestos son los plastificantes, disolventes clorados o hidrocarburos poliaromáticos entre otros. Estos contaminantes suelen ser considerados contaminantes primarios, aunque algunos de sus productos de degradación se consideran emergentes. Un ejemplo de ello son las dioxinas, las cuales se pueden generar a partir del compuesto antimicrobiano triclosán.

También se encuentran este tipo de contaminantes en otros sectores industriales como son la producción de plastificantes (bisfenol A), retardantes de fuego o detergentes (agentes tensoactivos).

4.3.2. Técnicas de eliminación

Como se ha comentado a lo largo del presente trabajo las estaciones depuradoras de aguas residuales son uno de los principales puntos de detección de contaminantes emergentes. Sin embargo, esto no ocurre solo a la entrada, sino que también se encuentran presentes en los efluentes de las mismas. Es por ello que nace una doble necesidad derivada de esta problemática. En primer lugar, conseguir una mayor efectividad de retención de este tipo de contaminantes en los procesos convencionales de las plantas de tratamiento de agua, y, en segundo lugar, emplear procesos en un tratamiento terciario que permitan la eliminación de los contaminantes emergentes. Bajo esta problemática son numerosos los estudios que persiguen la aplicación de técnicas que consigan una efectiva eliminación de los contaminantes emergentes con un bajo coste medioambiental y económico (energético).

a) Tratamientos de membranas

i. Ultrafiltración

Se enmarca dentro de los procesos de separación fisicoquímicos con uso de membranas, tecnologías cuyo uso incrementa en el tratamiento de aguas a lo largo de las últimas décadas. En el caso de la ultrafiltración, su capacidad en la eliminación de contaminantes emergentes depende en gran medida del tipo de contaminante (índice de retención asociado) y se ve limitada por el ensuciamiento de la membrana.

Es por ello que debe combinarse con otras operaciones previas o posteriores que permitan obtener un permeado libre de contaminantes emergentes. Estas operaciones pueden incluir etapas de coagulación-floculación que faciliten la retención de estos contaminantes, mediante su aglomeración en flóculos capaces de ser retenidos por las membranas de ultrafiltración, o, mediante la adsorción de los compuestos por adsorbentes como el carbón activado de potencia, el cual también es retenido por las membranas de ultrafiltración (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012)

ii. Nanofiltración

Es una tecnología prometedora en la remoción de este tipo de contaminantes. Consigue un gran índice de rechazo al igual que procesos como la ósmosis inversa, pero sin la necesidad de emplear altas presiones y el consecuente consumo energético que es el principal inconveniente de la ósmosis (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012)

Es importante tener en cuenta que mediante estas técnicas si bien se consigue una corriente “libre” de contaminantes emergentes también se genera una corriente rechazo con una alta concentración de los mismos que debe de ser tratada.

b) Oxidación

La tecnología de oxidación se ha empleado previamente en el tratamiento de agua y ahora se presenta como una opción efectiva en la eliminación de contaminantes emergentes, en particular con el uso de ozono y cloro. El principio de funcionamiento de esta técnica es la reactividad del compuesto oxidante, como por ejemplo el ozono, el cual reacciona con los compuestos orgánicos o con el agua formando hidroxilos. Esta técnica implica una especial atención en los subproductos formados por la reacción de oxidación puesto que los bioproductos formados pueden tener efectos nocivos desconocidos. (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012)

c) Empleo de adsorbentes

La principal característica y ventaja de estos procesos frente a la oxidación es que no genera subproductos en la corriente de agua, ya que como su nombre indica consiste en la adsorción de los compuestos no deseados por parte de adsorbentes como el carbón activo. Sin embargo, la cantidad de adsorbente necesaria para llevar a cabo el proceso es elevada, lo cual puede suponer un inconveniente para su aplicación en zonas con una alta densidad poblacional. (Rossner, Snyder, & Knappe, 2009)

d) Tratamientos biológicos

Consisten en el uso de procesos como los filtros de goteo biológico, biorreactores o lodos activos entre otros de modo que se consigue convertir compuestos orgánicos acuosos en biomasa sedimentable a posteriori. Sin embargo, estos consiguen eliminar un pequeño rango de la totalidad de los contaminantes emergentes, los polares. (Bolong, Ismail, Salim, & Matsuura, 2009)

i. Biorreactores con membranas

Se enmarca dentro de los tratamientos biológicos, aunque emplea de forma combinada un tratamiento físico-químico como las membranas. Combina la degradación biológica obtenida mediante lodos activos con una separación sólido líquido obtenida mediante ultrafiltración. Esta técnica se postula como una alternativa viable en el reciclado de aguas residuales. (Petrovic, Gonzalez, & Barcelo, 2003)

e) Tratamientos avanzados

El proceso más estudiado en este ámbito es la oxidación avanzada, la cual consiste en la generación de radicales hidroxilos en grandes cantidades para asegurar que son capaces de oxidar la mayor cantidad posible de contaminantes emergentes (compuestos orgánicos complejos) presentes en las aguas a tratar. Algunos ejemplos son la cavitación, la oxidación fotocatalítica y la química de Fenton (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012).

Otro ejemplo de oxidación avanzada es la fotocatálisis heterogénea, la cual consigue maximizar la absorción de fotones y reactivos mediante el uso de la fotocatálisis nanoestructurada. Aunque el coste asociado a este proceso es bajo, al igual que ocurría en el caso de los adsorbentes, no es apto para el tratamiento de grandes volúmenes de agua generados por zonas con alta densidad de población, puesto que el coste asociado a la radiación artificial (Lámparas UV) es muy elevado.

4.4. Tecnología de membranas

Es posible definir las membranas como “región que actúa como una barrera permitiendo el paso exclusivo y/o de forma controlada de una o más especies a través de ella” (A.Hernandez, F.Tejerina, Arribas, Martinez, & Martinez, 1990). De esta forma, existe una gran variedad de membranas, desde aquellas naturales presentes en las propias células de los seres vivos hasta aquellas diseñadas por el ser humano en laboratorios. Por ello el mecanismo de separación será característico del tipo de membrana empleada. (Reche Guillem, 2015)

4.4.1. Tipos de membranas

Es posible clasificar las membranas en base a distintos criterios, a continuación, se comentan algunos de ellos. Se debe tener presente que las membranas según su origen se pueden clasificar en naturales y sintéticas dependiendo de si se encuentran presentes en la naturaleza o han sido fabricadas por el ser humano, respectivamente. En los siguientes apartados se realizará una clasificación dentro del grupo de las membranas sintéticas.

a) Composición

Las membranas sintéticas han experimentado un auge en lo que a su utilización se refiere en los últimos años y por lo tanto existe una amplia variedad de materiales y composiciones en busca de mejores eficacias y eficiencias de filtrado. Sin embargo, se pueden clasificar según los materiales en inorgánicas y orgánicas y según la carga en neutras o cargadas. (Reche Guillem, 2015) A continuación se presenta la *Tabla 6* donde se resumen las características más importantes de cada una:

Tabla 6: Características membranas según materiales (Reche Guillem, 2015)

Tipo	Materiales	Técnica producción	Ventajas	Desventajas
Orgánica ¹	Polímeros (polietileno, polipropileno, poliamidas...)	Inversión de fase	Bajo coste de fabricación	Resistencia química, térmica y mecánica
Inorgánica ²	Vidrio poroso, metales o materiales cerámicos (óxido de zirconio o alúmina)	Proceso sol-gel	Mayor resistencia mecánica, térmica y química	Precio más elevado

¹ (Zapata Montoya, 2006).
² (Foundation, Eaux, & Africa, 1998)

La composición de la membrana también afecta a la carga del mismo, de modo que pueden ser neutras o cargadas. Las membranas cargadas pueden ser aniónicas o catiónicas. Su campo de aplicación es la separación de especies cargadas eléctricamente de forma que su aplicación es aconsejable en la separación de compuestos cargados respecto a compuestos neutros. (Sotto Díaz, 2008) (Reche Guillem, 2015)

b) Fuerza impulsora

Una clasificación alternativa del tipo de membranas viene marcada por el principio por el cual se realiza la separación. Este principio se conoce con el nombre de fuerza impulsora y a continuación se comentan los más comunes: (Reche Guillem, 2015)

- *Diferencia de potencial eléctrico:* Se emplea en la separación de especies cargadas y neutras, debido a la diferente interacción de ambas con la membrana.
- *Gradiente de concentración:* Se basa en la existencia de dos concentraciones distintas a ambos lados de la membrana, de modo que se produce un flujo de materia por difusión de la parte concentrada a la diluida.
- *Diferencia de presión hidrostática:* Existe una diferencia de presión entre ambas fases, generándose un flujo que atraviesa la membrana de la fase con mayor presión a la fase con menor presión. De esta forma se genera un flujo de materia a través de la membrana de aquellas especies químicas capaces de atravesarla y por lo tanto se produce una separación de las mismas generalmente por impedimento estérico.

c) Dirección de flujo

En el caso de la dirección de flujo las posibilidades se reducen a flujo perpendicular o flujo transversal.

En el caso del flujo perpendicular (Figura 6) el alimento incide perpendicularmente sobre la membrana, obteniéndose como productos una corriente de permeado y una torta de filtrado. Dicha torta se genera a medida que son retenidos los compuestos y actúa a su vez como medio filtrante. Esto implica que el permeado se ve reducido a medida que avanza la filtración y es necesario un aumento de la fuerza impulsora progresivo para corregirlo. (Mulder, 2003)

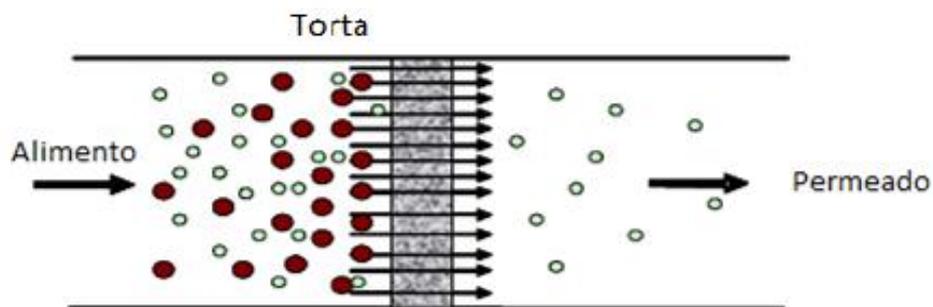


Figura 6. Flujo perpendicular (Zapata Montoya, 2006)

Respecto al flujo tangencial (Figura 7), puesto que como su nombre indica el alimento fluye tangencialmente a la superficie de filtrado de la membrana dificultando la generación de la torta de filtrado. Esto es debido a que la propia corriente que no atraviesa la membrana es capaz de arrastrar las especies que no la atraviesan. En esta dirección de flujo se generan como productos una corriente de permeado y una corriente de rechazo. Aunque existe esta "autolimpieza" este tipo de membranas no están exentas de ensuciamiento.

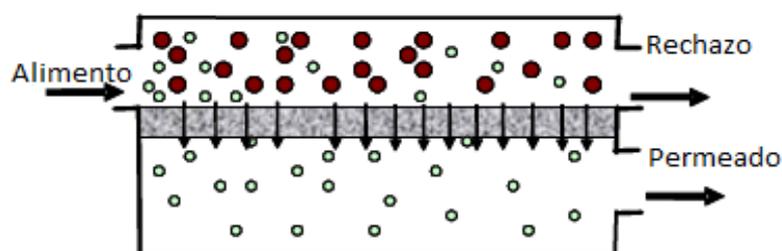


Figura 7. Flujo transversal (Zapata Montoya, 2006)

d) Modos de operación

En base al recorrido establecido sobre los flujos de entrada y salida del proceso de membranas se pueden establecer una clasificación teniendo en cuenta la existencia de recirculaciones o si el proceso es por lotes por ejemplo.

- Sistema simple: Opera en continuo y no existe recirculación del rechazo, de esta forma solo existe un paso por la membrana del fluido a tratar (*Figura 8*). (Zapata Montoya, 2006)

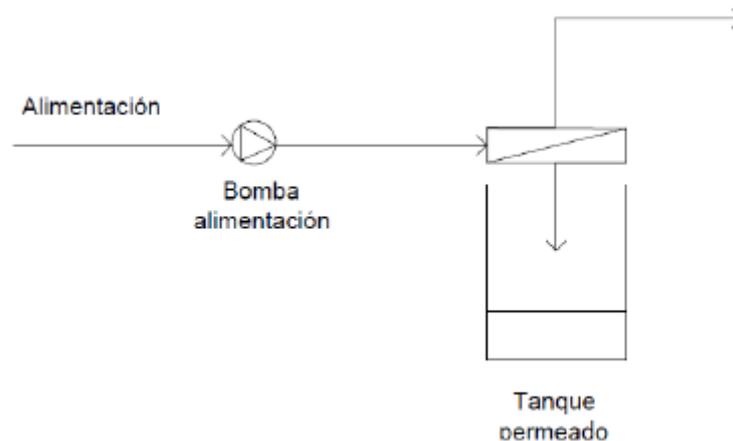


Figura 8. Sistema simple sin recirculación (Reche Guillem, 2015)

- Sistema tipo batch o por lotes: Se caracteriza por la existencia de una recirculación del rechazo como se puede observar en la *Figura 9*. Esta recirculación implica que el alimento esté más concentrado en aquellas especies no filtradas a medida que el proceso avanza.

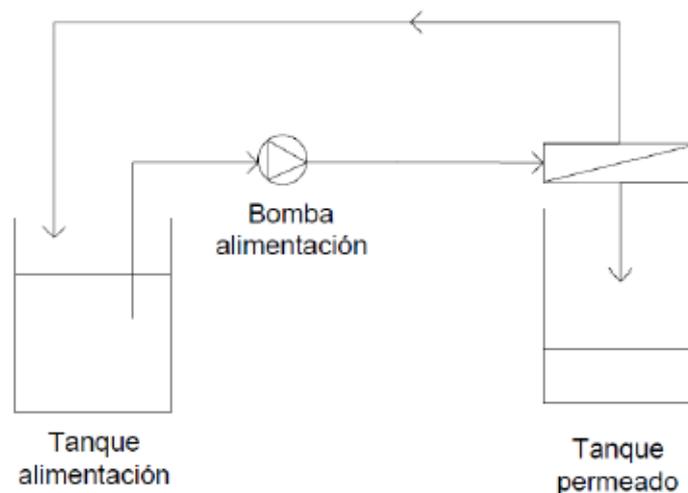


Figura 9. Sistema tipo batch o por lotes (Reche Guillem, 2015)

- Sistema de diafiltración: Es una combinación de los dos sistemas anteriormente comentados. Como se puede observar en la *Figura 10* existe una recirculación de modo que se puede obtener una mayor cantidad de permeado característico del sistema por

lotes. Además se realiza una adición de disolvente igual al permeado obtenido de modo que se puede trabajar en continuo puesto que la concentración del alimento se mantiene constante al igual que ocurre en el sistema simple. (A.Hernandez, F.Tejerina, Arribas, Martinez, & Martinez, 1990)

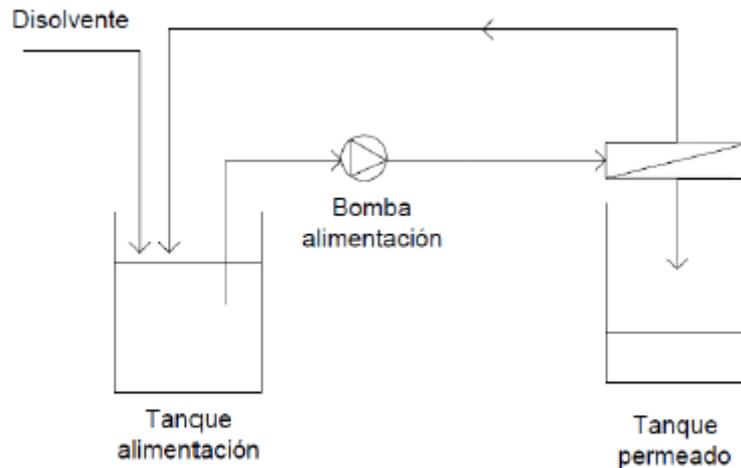


Figura 10. Sistema de diafiltración (Reche Guillem, 2015)

e) Configuración membrana

Es posible clasificar los sistemas de membranas según la configuración de la membrana dentro del módulo de filtrado. El módulo de filtrado contiene la membrana y es el responsable junto con la configuración que adopte la membrana de las características hidáulicas y mecánicas del sistema de membranas. (Reche Guillem, 2015). A continuación se citan los principales módulos de membranas y sus principales características.

- Módulo plano o de placa bastidor
 - Una sola capa de filtración
 - Relación volumen área desfavorable ($100-400 \text{ m}^2/\text{m}^3$) (Gallego Molina, 2011)
 - Fácil de desmontar para sustitución o limpieza y por lo tanto fácil detectar membranas defectuosas.

Un ejemplo de este tipo de módulo se puede ver en la *Figura 11*

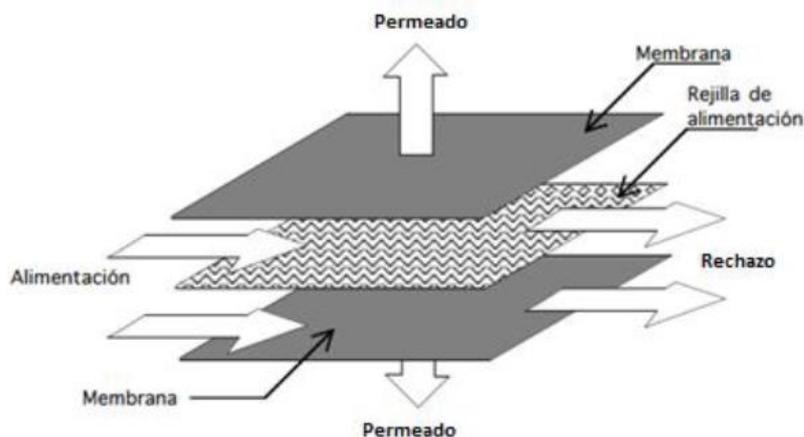


Figura 11. Módulo plano o de placa bastidor. (Guizard, 1999)

- Módulo de arrollamiento en espiral

- Disposición cilíndrica y concéntrica en torno al tubo central de recogida de permeado.
- Mejora la relación de compacidad ($300-1000 \text{ m}^2/\text{m}^3$) (Gallego Molina, 2011)
- Mayor sensibilidad al ensuciamiento y necesidad de pretratamientos más exigentes.

Un ejemplo de este tipo de módulo se puede ver en la *Figura 12*

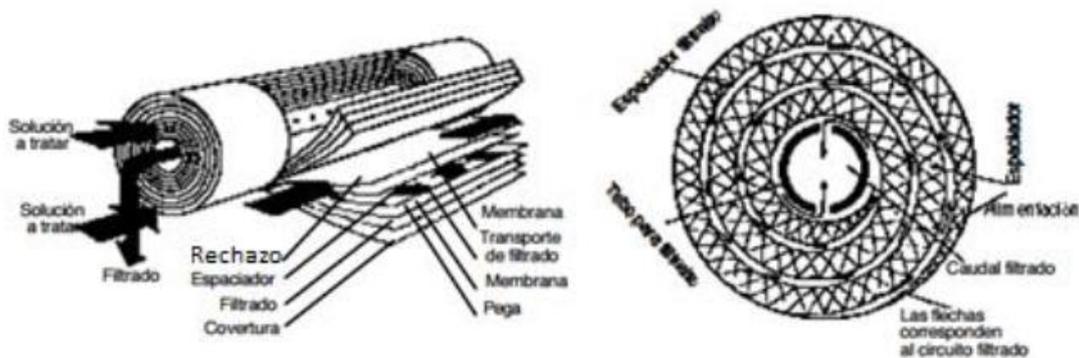


Figura 12. Módulo de arrollamiento en espiral. (Guizard, 1999)

- Módulo tubular.

- Tubos con diámetro interno superior a 3 mm. sobre cuyas paredes se moldea la membrana. Es posible que exista más de un canal por tubo.
- Permiten filtrado de líquidos viscosos y altas concentraciones de sólidos en suspensión.
- La compacidad ronda los $400 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (Gallego Molina, 2011)
- Permite una limpieza sencilla.

Un ejemplo de este tipo de módulo se puede ver en la *Figura 13*

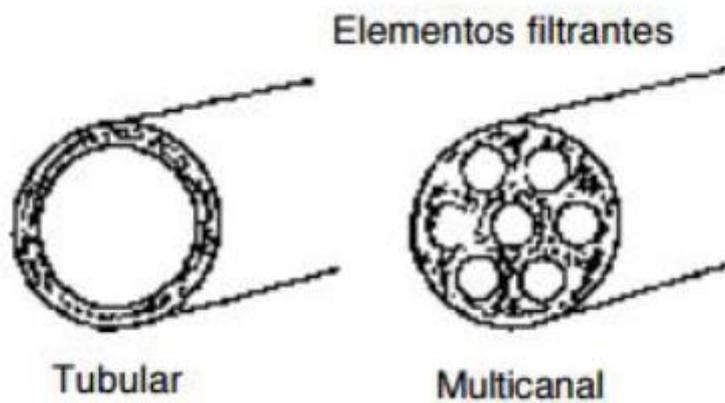


Figura 13. Módulo tubular. (Guizard, 1999)

- Módulo membranas capilares y fibra hueca.
 - Las membranas capilares tienen un diámetro interno superior a 1mm y las de fibra hueca inferior.
 - Ambos módulos contienen miles o millones de capilares o fibras agrupadas en módulos compactos.
 - La compactidad se encuentra entre 600 y 1200 m²/m³ para capilares y hasta 30000 m²/m³ en fibras huecas (Gallego Molina, 2011).
 - El ensuciamiento merece una especial atención en estas configuraciones y es necesario un pretratamiento del alimento.

Un ejemplo de este tipo de módulo se puede ver en la Figura 14

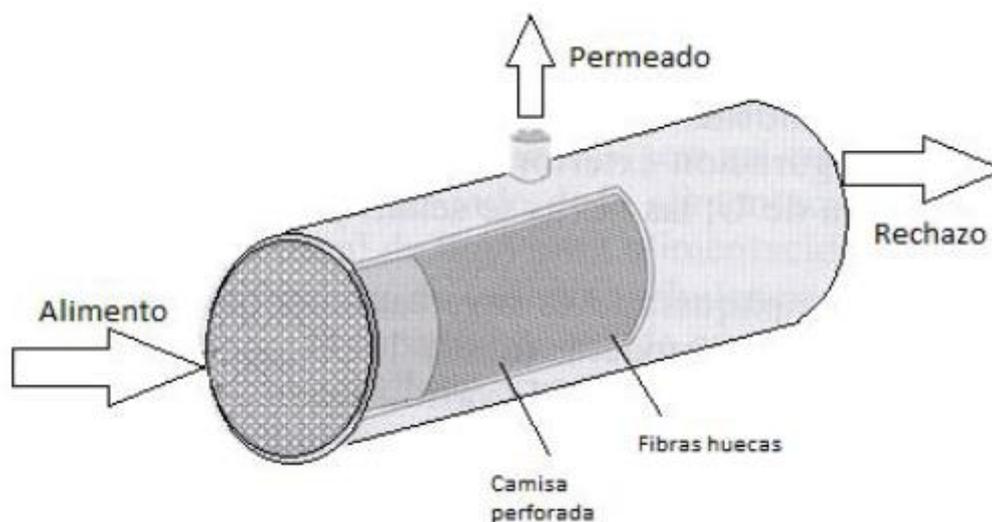


Figura 14. Módulo de membranas capilares y fibra hueca. Adaptación (Foundation, Eaux, & Africa, 1998)

- Módulo de disco rotativo y cilindro.
 - Compuesto por un disco o cilindro rotativo
 - Favorece la despolarización de los solutos y las partículas alimento-membrana disminuyendo la resistencia al filtrado.
 - Implica un alto consumo energético (Foundation, Eaux, & Africa, 1998).

f) Estructura (Simétrica, asimétricas)

La estructura de la membrana marca el mecanismo de separación y los solutos que es capaz de separar, o lo que es lo mismo el campo de aplicación. Se pueden clasificar las membranas según su estructura en:

- Membranas simétricas: Su principal característica es que solo constan de una capa que compone la totalidad del espesor. A su vez se pueden clasificar en porosas o densas (*Figura 15*), siendo las densas las que retienen solutos con un menor tamaño. El espesor de la membrana marca la resistencia a la transferencia de materia.

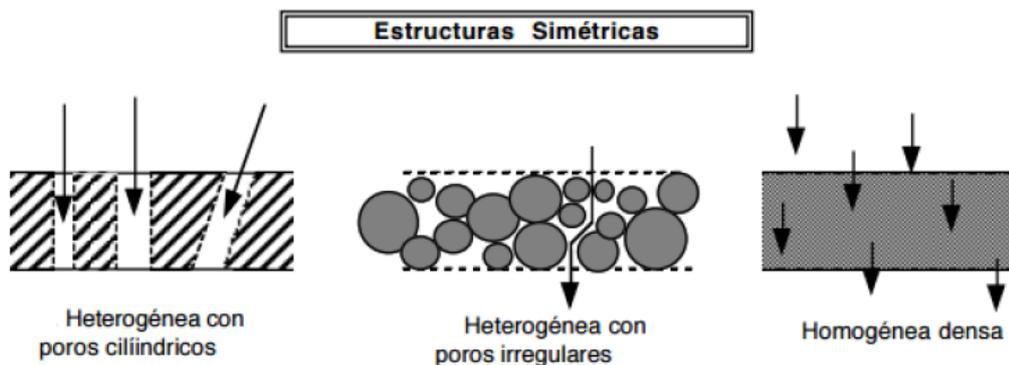


Figura 15. Membranas simétricas. (Guizard, 1999)

- Membranas asimétricas: están compuestas por dos capas (*Figura 16*). Una capa superior con un espesor 0.1 -0.5 micras y una capa inferior que a su vez hace de soporte con espesores entre 50 y 150 micras. La primera capa proporciona una alta selectividad puesto que es una capa densa pero aporta una pequeña resistencia a la transferencia de materia debido a su reducido espesor. La segunda capa actúa como soporte facilitando la manipulación. (Mulder, 2003)

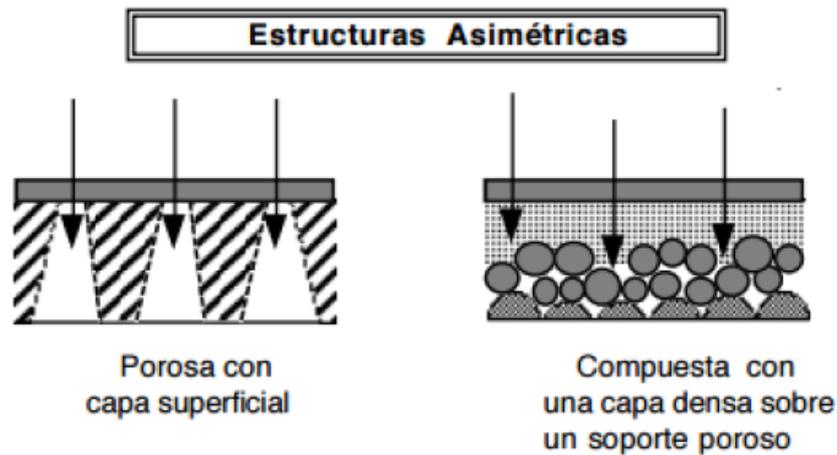


Figura 16. Membranas asimétricas. (Guizard, 1999)

4.4.2. Procesos de membranas

A partir de las clasificaciones vistas anteriormente y su combinación se pueden distinguir distintos tipos procesos de membrana según el tipo de los solutos que sean capaces de separar. Algunos de ellos se ejemplifican en la *Figura 17*.

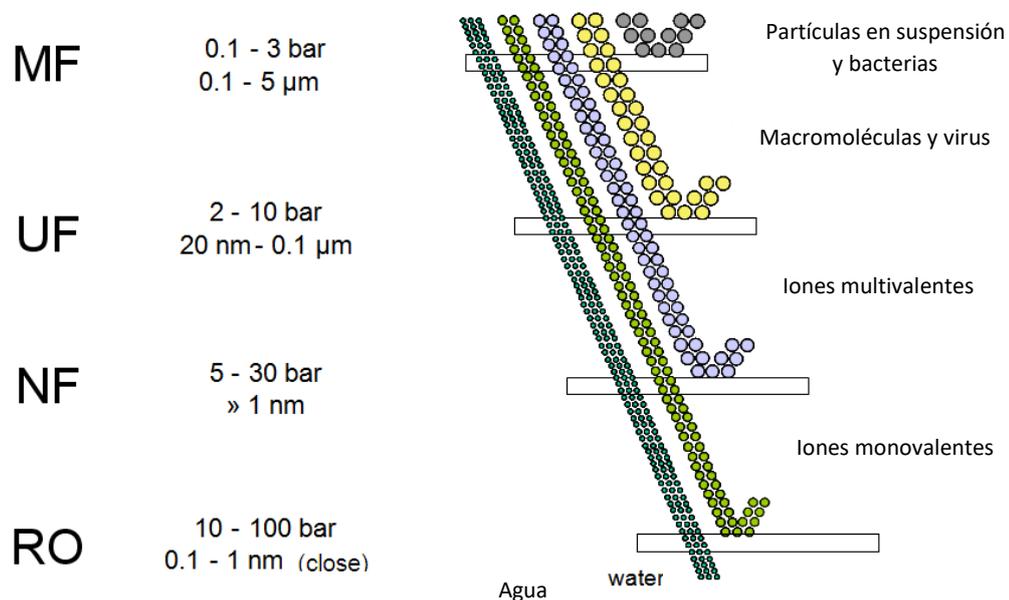


Figura 17. Selectividad de proceso de filtración con membranas (emis, 2010)

Tal y como se puede apreciar en la *Figura 17*, la microfiltración y la ultrafiltración se emplean en la separación de aquellos solutos con un mayor tamaño. El mecanismo de separación es análogo a un proceso de cribado, donde mediante la aplicación de una presión en la corriente de alimento se consigue que la membrana retenga los solutos con un tamaño superior a sus poros y que el disolvente atraviese la membrana. (Reche Guillem, 2015)

Respecto a las aplicaciones de estos dos procesos, la microfiltración se aplica en clarificaciones, esterilizaciones y concentraciones con permeabilidades que rondan los $500 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{bar}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$. En el caso de la ultrafiltración sus campos de aplicación más frecuentes son la industria textil, láctea y las aguas residuales obteniéndose permeabilidades entre 50 y $500 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{bar}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$. (Mulder, 2003)

Tanto la ultrafiltración como la microfiltración se pueden emplear a su vez como pretratamiento a procesos como la nanofiltración para conseguir reducir la velocidad de ensuciamiento de este último proceso. La nanofiltración a su vez se emplea como pretratamiento para procesos de ósmosis inversa donde interesa con permeabilidades en torno a 1.5 y $15 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{bar}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ debido a que son membranas densas. (Scott & R, 1996)

Por último, en el caso de la retención de sales monovalentes, el proceso más indicado es la ósmosis inversa. Permite la obtención de agua de alta pureza aunque en cantidades inferiores a los procesos anteriormente comentados debido a su alta selectividad, obteniéndose permeabilidades de $0.05\text{-}1.4 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{bar}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ (Scott & R, 1996). Respecto a sus campos de aplicación predominan la obtención de agua ultra pura, así como la desalinización de agua de mar.

Sin embargo, se debe tener presente que existen más procesos de membranas cuyo funcionamiento se basa en otras fuerzas impulsoras como se ha visto en apartados anteriores. En la *Tabla 7* se presenta un breve resumen representativo de estos procesos.

Tabla 7: Procesos de membrana (Reche Guillem, 2015)

Proceso	Tipo de membrana	Material retenido	Fuerza impulsora
Microfiltración	Macroporos ^a ϕ_p [>50nm]	Partículas en suspensión	Diferencia de presión (<2bar)
Ultrafiltración	Mesoporos ^a ϕ_p [2 -50nm]	Materia biológica, coloides y macromoléculas	Diferencia de presión (1-5bar)
Nanofiltración	Microporos ^a ϕ_p [<2nm]	Micro contaminantes e iones multivalentes (sales univalentes moderadamente)	Diferencia de presión (5-35bar)
Ósmosis inversa	Semipermeable	Cualquier material disuelto o en suspensión	Diferencia de presión (10-100bar)
Diálisis	Membrana de diálisis	Solutos peso molecular superior a 1000	Diferencia de concentración
Electrodiálisis	Membrana de electrodiálisis	Iones o macromoléculas	Diferencia de potencial eléctrico
Permeación de gases	Semipermeable	Gases y moléculas a los que la membrana es impermeable	Diferencia de presión

^a Tamaño de poro (ϕ_p) utilizando definición adoptada por IUPAC (1985)

4.4.3. Parámetros característicos

Hasta ahora se han comentado las diferencias existentes entre distintos tipos de membranas las cuales permiten clasificarlas. Sin embargo, también existen parámetros característicos de las membranas los cuales permiten su diferenciación entre mismos tipos de membrana. En este apartado se pretenden comentar de forma resumida aquellos más empleados y conocidos. Debe tenerse presente que estos parámetros se corresponden con procesos de filtrado en los que la fuerza impulsora es el gradiente de presión puesto que son éstos procesos los que ocupan el presente trabajo.

El primer parámetro a comentar es el flujo de permeado, el cual viene dado por la *Ecuación 1* y representa el caudal que atraviesa la membrana por unidad de área de la misma.

$$J_P = \frac{Q_P}{S} \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

- J_p : Flujo de permeado ($L \cdot hr^{-1} \cdot m^{-2}$)
- Q_p : Caudal de permeado ($L \cdot hr^{-1}$)
- S : Superficie de filtración (m^2)

A partir del flux se puede comparar el permeado obtenido por distintas membranas independientemente de su tamaño. Sin embargo, el factor Q_p está influenciado a su vez por otros factores, como la temperatura o la presión transmembrana, de modo que en caso de comparar membranas las condiciones de operación deben de ser homólogas. (Mulder, 2003)

La presión transmembrana viene definida por la *Ecuación 2*. Habitualmente la presión del permeado suele ser la ambiental

$$\Delta P = \frac{P_E + P_S}{2} - P_p \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde:

- ΔP : Presión transmembrana (bar)
- P_E : Presión a la entrada del alimento a la membrana (bar)
- P_S : Presión en la salida del rechazo de la membrana (bar)
- P_p : Presión del permeado (bar)

Tanto la presión transmembrana como el flujo de permeado están relacionados por la ley de Darcy según la *Ecuación 3*:

$$J_P = \frac{\Delta P}{R_t \cdot \mu} \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde :

- R_t : Resistencia total al proceso de filtrado (m^{-1})
- μ : Viscosidad dinámica ($Pa \cdot s$)

A partir de la *Ecuación 3*, es posible deducir la *Ecuación 4* la cual hace referencia al coeficiente de permeabilidad hidráulica, L_p ($L \cdot hr^{-1} \cdot m^{-2} \cdot bar^{-1}$), la cual depende del conjunto de resistencias ofrecidas por la membrana y los solutos, así como de la viscosidad del fluido a tratar. Esta es una de las características más usadas a ahora de comparar membranas frente a su utilización para la separación de componentes.

$$L_p = \frac{1}{R_m \cdot \mu} \quad Ec. 2$$

Es también importante tener en cuenta el rendimiento obtenido por la membrana, o el factor de reducción obtenido. Este parámetro también es característico de la membrana y el fluido a tratar y expresa la relación entre el caudal de permeado obtenido frente el caudal de alimento. Este factor se calcula mediante la *Ecuación 5*

$$\eta = \frac{Q_p}{Q_f} * 100 \quad Ec. 3$$

Dónde:

- η : Rendimiento de la membrana (%)
- Q_p : Caudal de permeado ($L \cdot hr^{-1}$)
- Q_f : Caudal de alimento ($L \cdot hr^{-1}$)

Los parámetros expuestos hasta el momento si bien es cierto que se pueden ver influidos por el tipo de solutos o la concentración del mismo se pueden obtener igualmente con agua pura obteniéndose así valores intrínsecos de la membrana como la resistencia, sin que el soluto influya en ello.

Sin embargo, cuando se trata de calcular la selectividad de la membrana o el índice de rechazo para un soluto o mezcla de solutos determinados se precisa de disoluciones con concentraciones conocidas. De este modo es posible obtener el índice de rechazo de la membrana según la *Ecuación 6*.

$$R = \frac{c_f - c_p}{c_f} = 1 - \frac{c_p}{c_f} \quad Ec. 4$$

Dónde:

- R : Índice de rechazo (%)
- c_f : Concentración soluto del alimento ($gr \cdot L^{-1}$)
- c_p : Concentración soluto del permeado ($gr \cdot L^{-1}$)

El índice de rechazo se emplea en la determinación del cut-off de las membranas y consiste en aquel tamaño de soluto el cual es capaz de alcanzar un índice de retención del 90%. Este es uno de los parámetros más característicos dentro de un mismo tipo de membranas y sirve de guía en la elección de la membrana en función del tamaño del soluto que se desea separar. (Reche Guillem, 2015)

4.4.4. Factores influyentes

Tal y como se ha comentado anteriormente las condiciones de operación son muy importantes en la comparación de membranas a fin de elegir la mas adecuada para un proceso. Esto es debido a que su influencia sobre el resultado obtenido es importante pudiendo implicar un gasto innecesario aplicado a la fuerza impulsora en caso de que no seas las condiciones adecuadas.

Los principales factores influyentes sobre el flujo de permeado obtenido además de la presión se resumen en la *Tabla 8*

Tabla 8: Factores influyentes en el permeado

Factor	Acción	Efecto sobre el permeado
Velocidad alimento	Aumento	Aumenta
Temperatura	Aumento	Aumento
Concentración alimento	Disminución	Aumento

Anteriormente se ha hablado del coeficiente de permeabilidad hidráulica, L_p , el cual viene dado según se vió en la ecuación 4, por la inversa del producto por la viscosidad y la resistencia total. La resistencia total esta formada por distintos tipos de resistencias las cuales pueden pertenecer a la propia membrana o derivarse a lo largo del proceso de filtrado dependiendo el tipo de soluto o por ejemplo su concentración. En la *Ecuación 7* se detallan las principales resistencias componentes de la resistencia total previamente citada. (Mulder, 2003)

$$R_t = R_a + R_p + R_m + R_g + R_{cp} \quad \text{Ec.7}$$

Donde:

- R_a : Resistencia por adsorción. Las partículas pueden adsorberse sobre la superficie de la membrana o en el interior de los poros generando una resistencia adicional al paso del disolvente.
- R_p : Resistencia por bloqueo de los poros. Algunas partículas pueden obstruir los poros generando una resistencia extra.
- R_m : Resistencia intrínseca de la membrana. Es independiente del soluto a filtrar.
- R_g : Resistencia de la capa gel. Resistencia que ofrece al filtrado la capa de moléculas formada.
- R_{cp} : Resistencia de polarización por concentración. Debida a la retención de solutos cuya acumulación ofrece una resistencia a la transferencia de materia del seno del alimento a la membrana

A excepción de la resistencia intrínseca de las membranas el resto de resistencias comentadas se pueden reducir mediante la realización de limpiezas periódicas sobre las membranas. Es importante dicha limpieza puesto que el efecto de estas resistencias implica una menor cantidad de permeado así como una mayor pérdida de carga en la membrana y por lo tanto un mayor consumo.

4.4.5. Ultrafiltración

La ultrafiltración es una operación de filtración mediante el uso de membranas la cual se enmarca entre la microfiltración y la nanofiltración. Por lo tanto, el rango de tamaños de poro en los procesos de ultrafiltración se encuentra entre los límites inferior y superior de ambos procesos, 0.05 μm y 1nm respectivamente. El tamaño de poro condiciona directamente las aplicaciones de esta tecnología siendo adecuada para la retención de macromoléculas y coloides de disoluciones. (Mulder, 2003)

Las membranas de ultrafiltración se pueden considerar membranas porosas en las cuales, en primer lugar, el rechazo viene determinado por el tamaño y la forma de los solutos y el tamaño del poro, y, en segundo lugar, la transferencia de soluto a través de la membrana es directamente proporcional a la presión aplicada.

Si bien es cierto que la ultrafiltración y la microfiltración se basan en el mismo procedimiento de separación la estructura de las membranas de ultrafiltración es asimétrica en comparación con la microfiltración. Dicha asimetría consiste en la distinción de dos capas: una superior (o capa activa) y otra inferior (capa soporte). De esta forma es la capa superior de la membrana, o capa activa, es la que marca la resistencia a la transferencia de materia (resistencia hidrodinámica). Los tamaños típicos de poro de la capa activa de la membrana en ultrafiltración van desde los 0.1 a los 0.001 μm . (Mulder, 2003)

Existe distintos modelos para la definición del transporte en ultrafiltración (capilar, nodular, resistencias o capa límite) según si consideran o no la morfología del poro. Todos ellos describen una relación lineal entre la presión aplicada y el permeado obtenido para presiones y concentraciones bajas, así como ausencia de ensuciamiento y polarización por concentración. Esta relación lineal se obtiene por combinación de las ecuaciones 3 y 4 obteniéndose la *Ecuación 8* (Baker, 2004).

$$J=L_p \cdot \Delta P \qquad \text{Ec.8}$$

Donde J es el flujo de permeado ($\text{L}\cdot\text{hr}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$), L_p es la constante de permeabilidad ($\text{L}\cdot\text{hr}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{bar}^{-1}$) - la cual incluye los factores estructurales oscilando entre valores de 0.5 a 5 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}\cdot\text{bar}$ - y ΔP es la diferencia de presión a ambos lados de la membrana, siendo esta última la fuera impulsora. (Mulder, 2003)

4.4.6. Nanofiltración

La nanofiltración es un proceso de membranas empleado en la separación de solutos con bajo peso molecular como sales inorgánicas o pequeñas moléculas orgánicas presentes en un disolvente. De esta forma la nanofiltración se encuentra entre procesos con membranas porosas (ultrafiltración) y procesos con membranas densas no porosas (Ósmosis Inversa). A diferencia de la microfiltración o la ultrafiltración se emplean membranas densas por lo cual la presión hidrodinámica necesaria para atravesar la membrana es superior siendo necesario superar la presión osmótica. (Mulder, 2003)

Las membranas empleadas en nanofiltración, si bien no disponen de poro físico, disponen de una red estructural más abierta que las de ósmosis inversa. Debido a ello la retención de sales monovalentes como iones de sodio o cationes de cloro es baja (<50%) en comparación a las sales divalentes como cationes de calcio donde se alcanzan eficacias de retención superiores al 90%.

Además, la retención para micro contaminantes como tintes o azúcares también es alta. Por ello se hace una técnica ideal en procesos con bajas concentraciones de iones divalentes o compuestos con un peso molecular entre 500 y unos pocos miles de Dalton. En el caso de que se pretendan eliminar compuestos como puede ser NaCl, la ósmosis inversa sería el proceso más apropiado. La importancia de una correcta elección está respaldada por el coste asociado a cada una de las tecnologías, siendo preferible realizar una nanofiltración - siempre que el índice de retención cumpla con el objetivo - debido a su menor coste. (Mulder, 2003)

Respecto a las propiedades de este tipo de membranas, puesto que son membranas densas se pueden distinguir dos capas o láminas. La capa superior tiene un espesor de $1\mu\text{m}$ y es la principal responsable del rechazo puesto que tamaño de poro es inferior a 2nm . Además, existe una segunda capa, en este caso inferior, que sirve de apoyo, y que le confiere la resistencia mecánica a la membrana, cuyo tamaño ronda $150\mu\text{m}$. Teniendo en cuenta esta configuración las presiones de trabajo necesarias oscilen desde los 10 a los 25 bar. (Mulder, 2003)

En el caso de la nanofiltración el permeado vendrá marcado por una expresión (Ec.9) distinta al caso de la ultrafiltración debido a que es necesario superar la presión osmótica del fluido.

$$J=L_p \cdot (\Delta P - \Delta \pi) \quad \text{Ec.9}$$

Siendo $\Delta \pi$ la presión osmótica a superar y A el coeficiente de permeabilidad hidráulica de la membrana. Dicha constante de permeabilidad depende de la estructura de la membrana.

Sin embargo, la membrana puede ser permeable frente a solutos con un peso molecular bajo, por ello la presión osmótica real no es $\Delta \pi$ sino $\sigma \Delta \pi$ de modo que σ adquirirá valores inferiores a 1 para rechazos inferiores al 100% de modo que el flujo aumentará según la Ecuación 10. (Mulder, 2003)

$$J=A \cdot (\Delta P - \sigma \Delta \pi) \quad \text{Ec.10}$$

4.5. Reactor biológico secuencial

Los reactores biológicos secuenciales (SBR) son usados globalmente desde aproximadamente el año 1920. Su uso abarca tanto aguas residuales urbanas como industriales y son característicos de zonas en las que los patrones de composición de las aguas son estables. (NEW ENGLAND INTERSTATE WATER POLLUTION CONTROL COMMISSION, 2005).

Los reactores SBR se presentan como una variación de los procesos con fangos activos. Su principal diferencia es la combinación de todas las etapas en un mismo espacio físico, el reactor. En éste único tanque, el cual actúa como reactor biológico y como decantador, se dan las operaciones de aireación y decantación. Lo cual ocurre en distintos tanques en el caso de los fangos activos en flujo continuo. (Peiró Ortiz, 2016)

La posibilidad de realizar todas las operaciones en un mismo tanque, con la reducción de espacio y costes que ello supone, justifica que sea una opción a tener en cuenta en el tratamiento de aguas industriales y urbanas. (Zuriga Agustí, 2009)

Las principales etapas de un SBR se presentan en la *Figura 18* y a continuación se detallan.

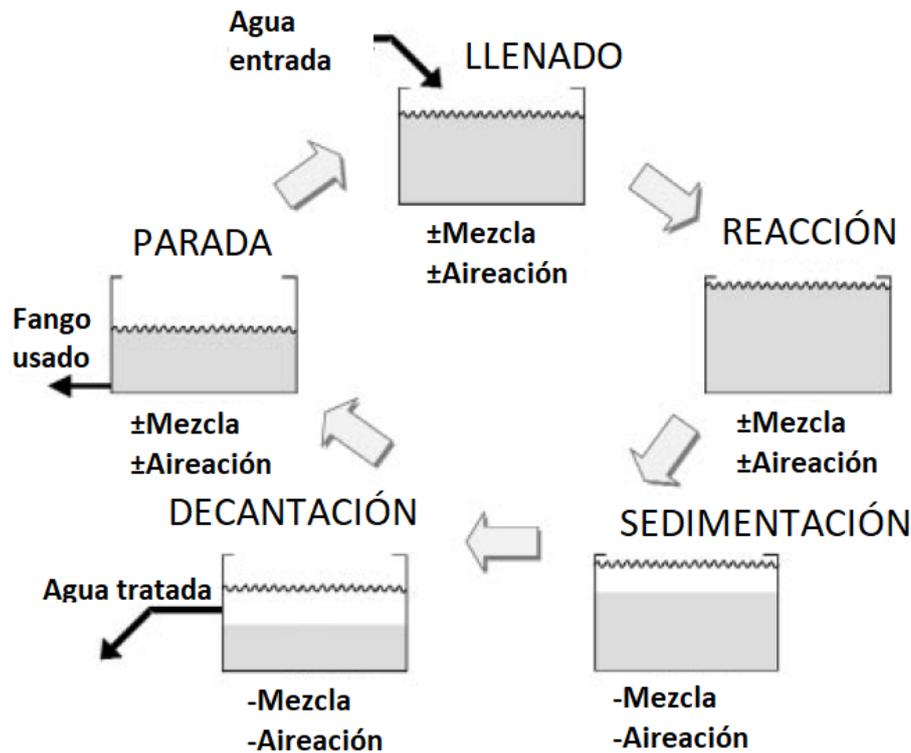


Figura 18. Ciclo de operación SBR (Adaptación: University of Florida TREEO Center's Sequencing Batch Reactor Operations and Troubleshooting Manual.)

Llenado

Durante la fase de llenado, se introduce el agua residual a tratar. Esta agua contiene nutrientes que serán empleados como alimento por parte de los microorganismos presentes en el fango activado, y generándose un ambiente en el que tienen lugar las reacciones bioquímicas. Las configuraciones del reactor en esta etapa pueden ser variadas en función de si se airea o se mezcla simultáneamente durante el llenado. Las principales configuraciones son:

- Llenado estático: No existe mezcla ni aireación durante el llenado del tanque. Este tipo de llenado es característico de la puesta en marcha del reactor, en plantas donde no es necesario una nitrificación o una desnitrificación, o en etapas con caudales bajos como modo de ahorro energético.
- Llenado con agitación: Durante el llenado con agitación, los agitadores están encendidos pero la aireación permanece desactivada. Mediante la agitación se consigue una mezcla uniforme del agua de entrada y la biomasa. Las condiciones en este caso son anóxicas favoreciendo la desnitrificación.
- Llenado con aireación: En el llenado con aireación tanto los agitadores como lo aireadores están activados. De modo que la mezcla de biomasa y agua entrante esta aireada y se convierte en una situación aerobia. En esta situación se consigue una nitrificación de la mezcla. Se pueden alcanzar una mezcla de zonas anaeróbicas y aerobias mediante el apagado de los aireadores.

Reacción

Esta etapa es una continuación de las reacciones de descomposición que se han originado durante la fase de llenado, aunque aumentan drásticamente puesto que el volumen es constante, es decir no se está alimentando la vasija del reactor. En esta etapa al igual que ocurre

con el llenado también es posible realizar combinaciones mediante el apagado y el encendido de los aireadores. Así se consiguen fases aerobias donde las bacterias nitrificantes oxidan el nitrógeno orgánico a nitritos y nitratos. Aunque también se pueden conseguir fases anaerobias en las cuales los nitratos son reducidos por las bacterias desnitrificantes en nitrógeno y los óxidos nítrico o nitroso.

Sedimentación

Durante esta fase se permite que los fangos activos sedimenten mediante el apagado de los aireadores y los agitadores; durante esta etapa no entra agua al reactor. Los fangos activos tienden a sedimentar como una masa floculada de modo que se forma un sobrenadante de agua clara. Esta es una de las fases críticas del proceso puesto que es necesario que los fangos se asienten rápidamente para que no sean extraídos en la siguiente fase. Este error implicaría una reducción de la biomasa disponible, así como una degradación de la calidad del efluente.

Decantación

Esta fase consiste en la decantación o extracción del sobrenadante una vez se ha completado la sedimentación, mediante la apertura de la válvula de decantación. Los decantadores pueden ser de dos tipos flotantes o de brazo fijo. Una vez realizada la decantación parte del agua de entrada no extraída y los fangos activos quedan en el reactor.

Parada

Esta etapa no es imprescindible en el funcionamiento del reactor puesto que se emplea para la realización de comprobaciones o el ajuste de tiempos. Esta etapa permite la retirada del fango en caso de ser necesario o el ajuste del reactor. El estudio del fango debe de hacerse mediante la toma de muestras durante la fase de reacción puesto que es la más homogénea y en base a los resultados la actuación se realiza durante la fase de parada.

Tras la etapa de parada se produciría nuevamente la etapa de llenado, cerrando así el ciclo de funcionamiento.

4.5.1. Parámetros del reactor biológico secuencial

En este apartado se comentan los principales parámetros característicos que definen un reactor SBR.

La *Figura 19* muestra los principales parámetros relacionados con el volumen de un reactor biológico secuencial.

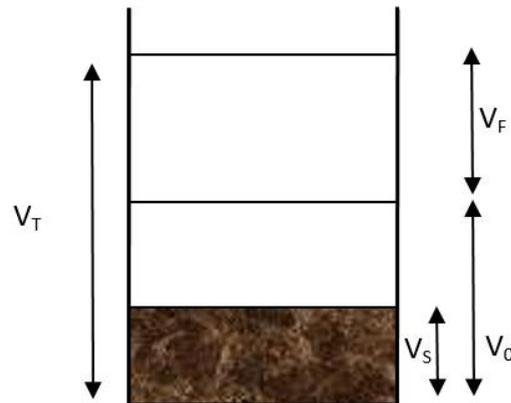


Figura 19. Parámetros volumétricos SBR (Peiró Ortiz, 2016)

Dónde:

- V_T : Volumen total de reacción, se puede medir tras la etapa de llenado
- V_S : Volumen del fango tras la etapa de sedimentación
- V_0 : Volumen del fango activo y el agua no extraída. Volumen previo al siguiente llenado.
- V_F : Volumen de agua introducida en la etapa de llenado.

Del mismo modo que existen parámetros relacionados con el volumen asociado a las etapas comentadas previamente, también existen parámetros temporales relacionados con las mismas. El conjunto de estos tiempos (*Ec.11*) constituye el tiempo de un ciclo.

$$T_C = T_F + T_R + T_S + T_D + T_I + \dots \quad Ec.11$$

Dónde:

- T_C : Tiempo de duración de un ciclo completo con todas las fases.
- T_F : Tiempo de la etapa de llenado.
- T_R : Tiempo de la etapa de reacción.
- T_S : Tiempo de la etapa de sedimentación.
- T_D : Tiempo de la etapa de vaciado.
- T_I : Tiempo de la etapa de parada o reposo.

4.6. Carbón activo

La adsorción es la adhesión de una fina capa de moléculas sobre la superficie de los sólidos o los líquidos en contacto con dichas moléculas. El carbón activo es uno de los materiales más usados habitualmente para que se produzca dicha adsorción debido a su versatilidad y su coste. La obtención del carbón activo, se consigue mediante la reacción de calor y vapor con un material con una estructura de carbono, como es el caso de la madera o el carbón. Mediante esta reacción se genera un material muy poroso capaz de adsorber compuestos orgánicos disueltos en corrientes líquidas o gaseosas. (Global Asset Protection Services LLC, 2015)

El carbón activo se emplea en lechos de adsorción a través de los cuales se hace pasar la corriente que contienen el soluto a adsorber. La razón principal de su uso es su relación de área por gramo la cual alcanza valores en torno a 500 m², llegando a los 1500 m²o incluso más en el caso de los aerogeles. La configuración de trabajo puede ser por lotes o continua:

- En el caso de la operación por lotes una vez se ha adsorbido el soluto, se consigue la desorción mediante el paso de una corriente de vapor de agua a través del lecho, de modo que finalmente se obtiene el soluto por procesos como la decantación o la destilación de dicha corriente.
- Cuando se emplea en operación continua se emplean lechos móviles (como por ejemplo ruedas) de modo que la corriente a tratar atraviesa parte del lecho y la otra parte del lecho con el carbón activo saturado por el soluto es atravesada por vapor a alta temperatura para su recuperación.

La recuperación del soluto es característica de la operación por lotes, generalmente la corriente de vapor generada en la operación continua se conduce a un incinerador. (Global Asset Protection Services LLC, 2015)

Existen distintos tipos de carbón activo en base al tamaño de las partículas. Esto influye directamente en las aplicaciones a las que están asociados:

- PAC: El carbón activo en polvo se caracteriza por un tamaño de partícula inferior a 1 mm siendo el diámetro medio de las partículas entre 0.15 y 0.25mm. Esto implica una relación entre el área y el volumen muy grande, lo cual lo hace ideal para aplicaciones como la purificación de aire, agua o compuestos químicos, así como su uso como catalizador. (CABOT, 2017)
- GAC: El tamaño de partícula en el carbón activo granular es mayor al del PAC siendo característico un 90% de retención en mallas del número 80 (0.177mm). Sus principales aplicaciones diferenciales del PAC son el control de emisiones en automoción o la purificación de productos de extracción en minería como el biogás. (CABOT, 2017)
- EAC: El carbón activo extruido es una combinación de carbón en polvo y un aglutinante la cual, es extruida obteniéndose pellets con diámetros característicos entre 5 y 10 mm. Su principal aplicación es en corrientes gaseosas como el caso de los gases de escape de la automoción debido que su resistencia mecánica y la baja caída de presión que implican. (GalaQuim, 2017)

Además de los tipos comentados, existen combinaciones más complejas de carbón activo sobre sustratos específicos o combinados con elementos inorgánicos, como pueden ser aluminio o zinc, orientados a aplicaciones de eliminación de contaminantes específicos.

5. Metodología

Se pretende estructurar en este apartado la metodología empleada en la consecución del presente trabajo de final de master. Con dicho fin se presenta la *Figura 20*, en la cual se pueden apreciar cada una de las etapas del mismo.

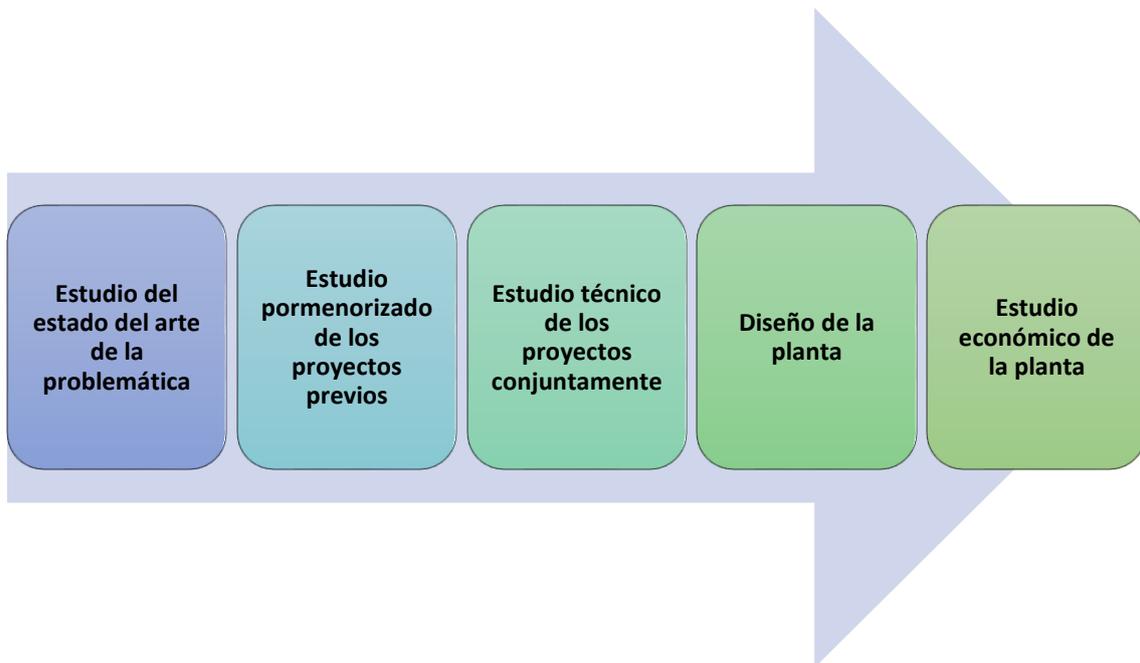


Figura 20. Diagrama de la estructura metodológica

A continuación, se comentan cada una de las etapas a fin de aclarar en qué consiste cada una de ellas.

- **Estudio del estado del arte de la problemática:** Es la primera etapa de la elaboración del trabajo. Esta etapa consiste en, una vez conocidos los objetivos del trabajo y la problemática existente que justifica su elaboración, la búsqueda de fuentes bibliográficas, así como su estudio. El principal fin de esta parte, es el conocimiento del tema a tratar, así como la situación en la cual se encuentra en base a las aportaciones de la comunidad científica. Esta etapa se ve reflejada en la realización del marco teórico el cual incluye apartados del presente trabajo como la introducción o los antecedentes.
- **Estudio pormenorizado de los proyectos previos:** Esta parte del trabajo consiste en la realización de un estudio más específico por parte del alumno de aquellos trabajos realizados previamente y pertenecientes al mismo proyecto general. Estos estudios son aquellos que han sido elaborados por el grupo PROMETEO en lo referente al proyecto EVICTECFA. Cada uno de ellos analiza una única tecnología para la eliminación de contaminantes emergentes sin tener en cuenta procesos previos o posteriores.

- **Estudio técnico de los proyectos conjuntamente:** En esta etapa se evalúa la capacidad de cada una de las tecnologías, que se pretenden integrar, en la eliminación de los contaminantes emergentes. Esta evaluación se hace por separado y conjuntamente teniendo en cuenta la intervención secuencial de la ultrafiltración, la nanofiltración y los reactores biológicos secuenciales.
- **Diseño de la planta:** Una vez evaluada la eficacia de cada una de las tecnologías para la eliminación de compuestos emergentes, se procede al diseño de cada uno de los procesos por separado. En este apartado se tienen en cuenta consideraciones intrínsecas al problema de estudio, como los habitantes equivalentes para los que se hace el cálculo, a fin de realizar un diseño verídico.
- **Estudio económico de la planta:** En este apartado se considera por primera vez no solo la eficacia de cada una de las tecnologías sino también su eficiencia, es decir los recursos empleado en la eliminación de los contaminantes emergentes de la corriente de entrada. Este apartado se realiza al igual que el estudio técnico para cada una de las tecnologías por separado y luego mediante su unión. El estudio económico está condicionado por el nivel de detalle alcanzado en el diseño de la planta puesto que los costes en equipos e instrumentación se realiza en el apartado previo de diseño. Además, esta sección del trabajo se encuentra estrechamente ligada al presupuesto del mismo.

6. Evaluación técnica

En este apartado se estudia la viabilidad técnica de la eliminación de contaminantes emergentes mediante la combinación en series de un proceso de ultrafiltración, nanofiltración y un reactor biológico secuencial con carbón activo. (Vona, Iborra Clar, Mendoza Roca, & Yolanda Picó, 2015)

6.1. Ultrafiltración

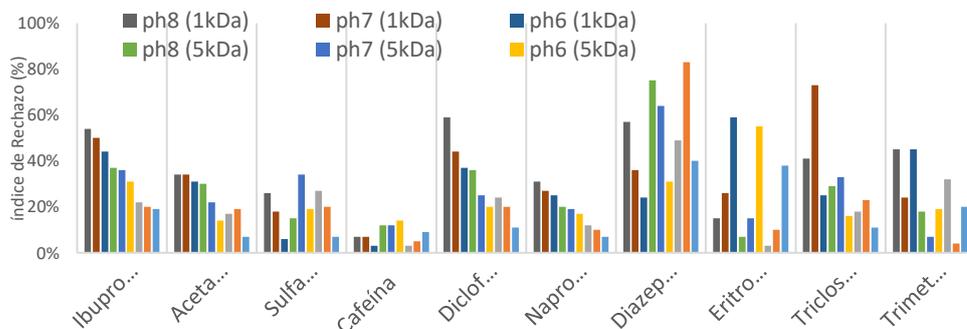
Se han realizado estudios para determinar la eficacia de eliminación de una variedad de compuestos catalogados como contaminantes emergentes (ANEXO -Figura XVII). Estos estudios analizan tanto las membranas de ultrafiltración a emplear, así como los parámetros de operación. A continuación, se analizan los resultados existentes en busca de las condiciones más eficientes a partir del estudio: "DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS PARA ELIMINACIÓN DE COMPUESTOS FARMACÉUTICOS PROCEDENTES DE SALIDA DE EDAR (30.000 HE)" (Durá María, 2016) (García Ivars, y otros, 2016)

Los resultados se obtienen partiendo de un agua residual a la cual se añaden las cantidades necesarias de cada fármaco para obtener las concentraciones mostradas en la *Tabla 9*.

Tabla 9: Compuestos del estudio y concentraciones iniciales

Compuesto	Concentración inicial (ng/L)	Compuesto	Concentración inicial (ng/L)
Ibuprofeno	1000	Naproxeno	300
Acetaminofén	1000	Diazepam	300
Sulfametoxazol	1000	Eritromicina	300
Cafeína	300	Triclosan	300
Diclofenaco	300	Trimetopcina	300

En este caso de estudio se ensayan membranas con diferentes cut-off 5,7 y 8 kDa para 3 pH distintos 6,7 y 8. En primer lugar a partir del análisis de los datos presentados se elabora la *Figura 21* en la que se representan los índices de rechazo frente a cada uno de los compuestos, así como el pH.



Resumen Índices Rechazo UF por compuesto y pH.

Figura 21.

Si se presta atención a la figura 20 se puede observar que la tendencia general es un mayor índice de rechazo para pH básicos en la mayoría de los compuestos. A excepción del Diazepam. Además, como cabía esperar cuanto menor es el Cut-Off de la membrana mayor es el índice de retención. Por lo tanto, tras un primer análisis se aprecia que a priori un pH de 8 y membranas de 1kDa serían las adecuadas para la planta.

Además, mediante la realización de un análisis estadístico mediante el uso del diseño de experimentos, aplicado a los factores pH y Cut-Off de la membrana, con ensayos a tres niveles es posible realizar diagramas de superficies de respuesta (Figura 22) que permiten determinar de una forma justificada las condiciones óptimas del filtrado.

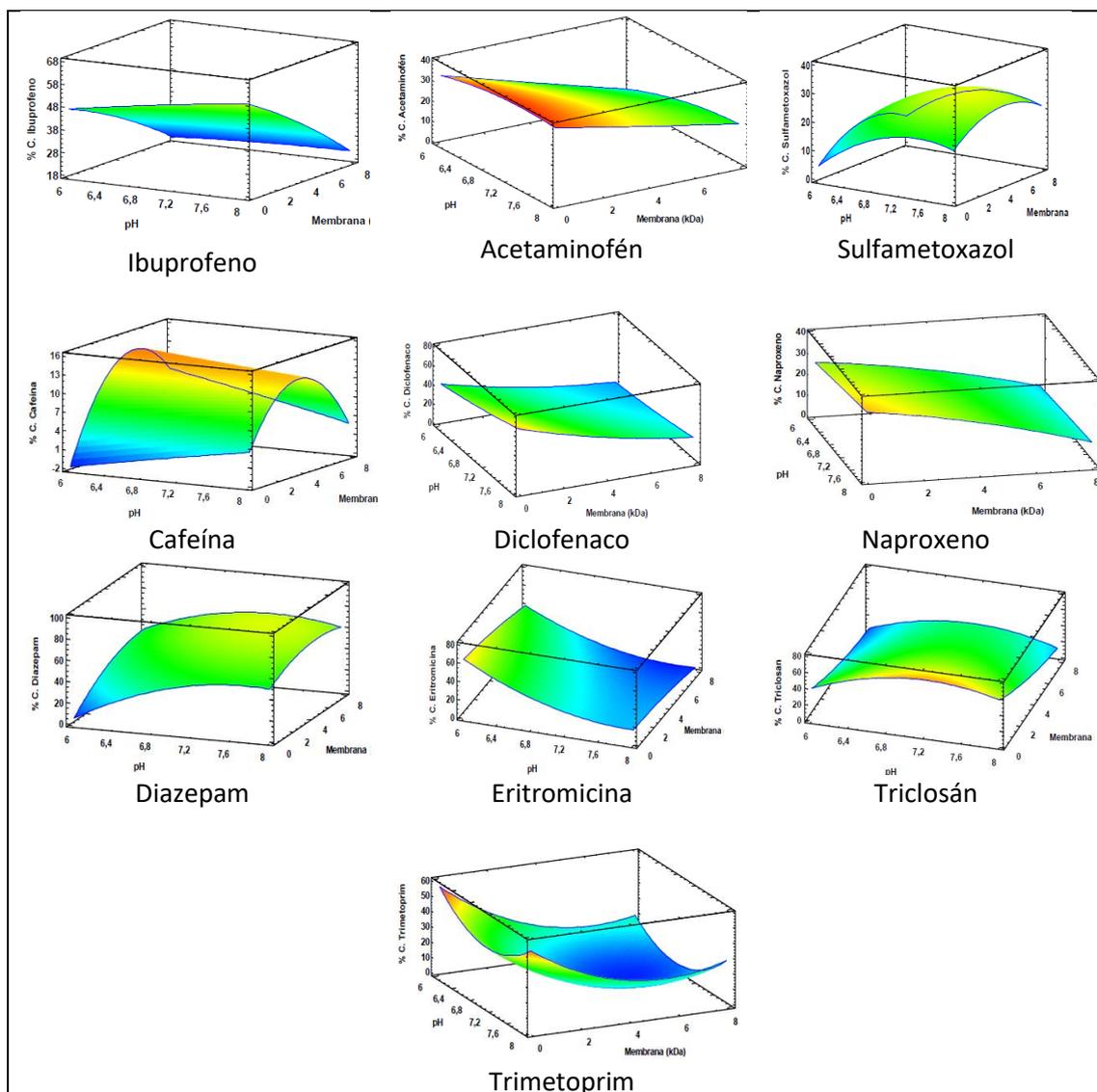


Figura 22. Superficies de respuesta para cada uno de los contaminantes

Se puede apreciar (Figura 22) que tal y como mostraba la Figura 21 la mayoría de los compuestos presentan un mayor índice de rechazo para la membrana de 1 kDa y un pH básico. Aunque existen excepciones como es el caso de la cafeína. Además, se observa que el índice de rechazo medio ronda el 35-40%, eliminándose hasta el 60% en compuestos como el Diazepam pero

alcanzándose valores del 15% para la cafeína. Es por ello que se debe tener en cuenta que esta tecnología no es plenamente efectiva en la eliminación de los contaminantes, pero sí puede ser necesaria previa a la siguiente etapa de nanofiltración disminuyendo su ensuciamiento.

Teniendo en cuenta las diferentes propiedades de los compuestos es importante destacar que ordenándolos según sus valores de pKa de menor a mayor tal y como se muestra en la *Tabla 10*, se obtiene la *Figura 22*, la cual se comenta a continuación de la misma.

Tabla 10: Compuestos del estudio y pKa

Compuesto	pKa	Compuesto	pKa
Diazepam	3,4	Trimetoprima	7,12
Diclofenaco	4,15	Triclosan	7,9
Naproxeno	4,15	Eritromicina	8,8
Ibuprofeno	4,91	Acetaminofén	9,4
Sulfametoxazol	5,5	Cafeína	10,4

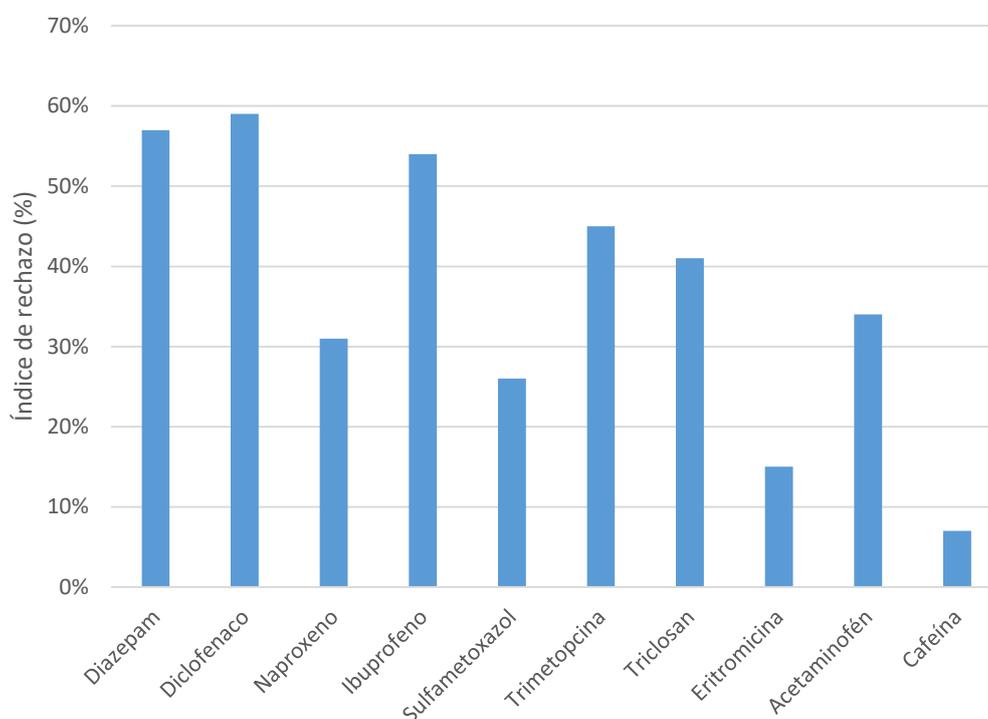


Figura 23. Tendencia del índice de rechazo en función del pKa del compuesto

Tal y como se puede apreciar en la *Figura 23*, existe una ligera tendencia que relaciona el índice de rechazo y el pKa de cada componente a priori. Cuanto menor es el pKa, es decir cuanto mayor tendencia tiene la especie a liberar protones, mayor es la retención por parte de la membrana de UF a pH básicos. Se ha comprobado que a un pH neutro y ácido (6) esta tendencia no se conserva. Esto conduce a pensar que es más conveniente trabajar a un pH de 8 o superior puesto que se consiguen un mayor rechazo de los compuestos. La razón de ellos es que mejora la repulsión electrostática entre los grupos retenidos sobre la membrana y los de la disolución alimento. Debido en parte a que queda cargada negativamente la membrana por la desprotonación de los compuestos.

Por último, se tiene en cuenta el análisis realizado sobre la evolución de la permeabilidad de la membrana con el paso del tiempo (Figura 24). Esto es importante a la hora de realizar el diseño de la planta ya que servirá como una estimación del permeado medio que se obtendrá y a su vez del tiempo recomendable entre limpiezas.

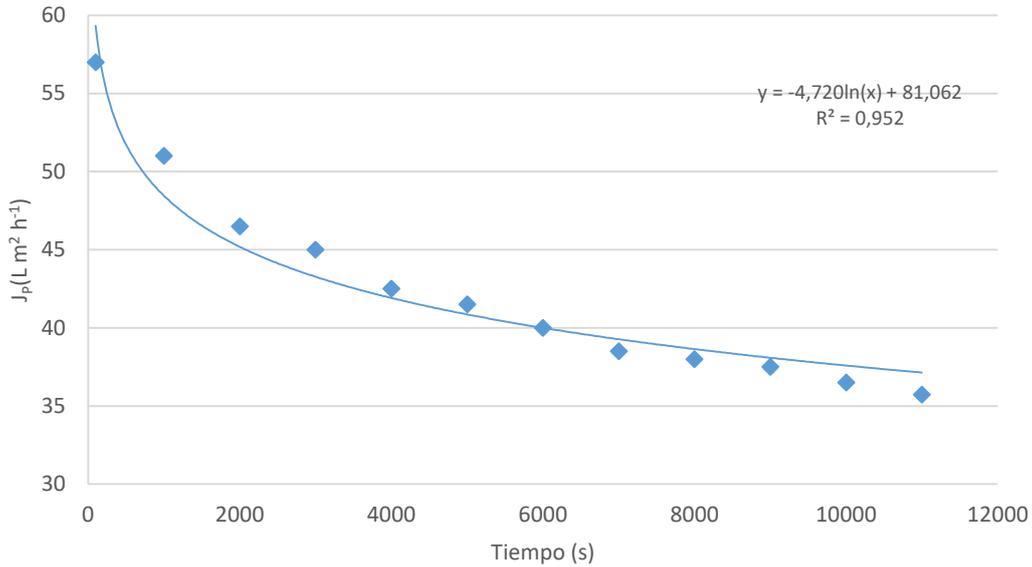


Figura 24. Evolución del Flux en función del tiempo

Se puede apreciar (Figura 24) como la tendencia es alcanzar un estacionario tras una caída exponencial en los primeros instantes del filtrado. Dicha disminución del permeado es debida al ensuciamiento de la membrana. Puesto que se alcanza un estacionario se ha ajustado la distribución de puntos a una tendencia logarítmica obteniéndose la expresión presentada en la Figura 24. A partir de ella es posible calcular el tiempo en el que se alcanza una reducción de permeado inicial del 50% tal y como se presenta en la Ec.11. La razón de elegir una disminución del caudal del 50%, en primer lugar, es debido a que las concentraciones de ensayo son superiores a las reales por lo que el tiempo de ensuciamiento será mayor en el caso real y, en segundo lugar, debido a que la velocidad tangencial del fluido en el ensayo es inferior a la empleada en el presente diseño de la planta

$$t_{r50\%} = EXP\left(\frac{57 * (1 - 50\%) - 81,062}{-4,720}\right) = 81123 \text{ s} = 23h \quad \text{Ec.11}$$

Durante ese periodo de tiempo el permeado medio obtenido se estima a partir de la integración de la función de reducción de permeado presentada en la Figura 24 obteniéndose el resultado presentado en la Ec.12

$$\bar{J}_p = \frac{\int_0^{81123} -4.720 * LN(x) + 81.062}{81123} = 33Lm^{-2}h^{-1} \quad \text{Ec.12}$$

Aunque puede parecer bajo el flux medio obtenido, se debe tener en cuenta como ya se ha comentado que, debido a la velocidad de filtrado y las concentraciones más bajas de los compuestos en la realidad, cabría esperar un flux medio superior en torno a 45Lm⁻²h⁻¹ el cual se aproxima a una reducción de flux del 30%.

6.2. Nanofiltración

En la evaluación de eficiencia técnica para el proceso de nanofiltración se emplea el trabajo "Removal of pharmaceutical compounds from wastewater secondary effluents by NF/RO membranes" (Martella, 2016). Este trabajo al igual que ocurre con el de ultrafiltración se deriva del proyecto general EVITECFA.

En este trabajo se estudian dos tipos de membrana: 300(± 50) y 200 Da para un pH de 8 debido a los resultados obtenidos en los ensayos de ultrafiltración. Es importante destacar que se preparan las mismas concentraciones de partida que en el caso de la ultrafiltración. (Tabla 9) y se emplean los mismos compuestos. Tras el ensayo de ambos tipos de membranas a distintas presiones y la misma disolución alimento se obtiene la Figura 25:

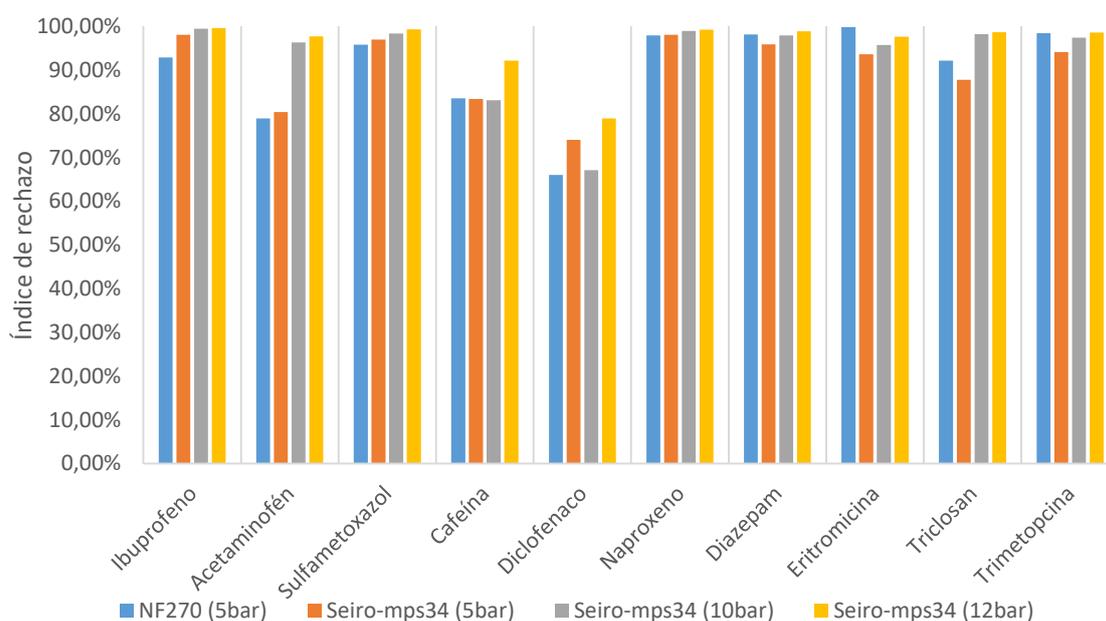


Figura 25: Índice de rechazo para cada membrana a distintas presiones transmembrana.

A partir de la Figura 25 se puede apreciar que los mayores índices de rechazo se obtienen para la membrana Seiro-MPS34, la cual se encuentra en el límite entre la nanofiltración y la ósmosis inversa, aunque ha sido operada en unas condiciones de presión transmembrana características de nanofiltración. Además, se puede apreciar como excepto en el caso de la cafeína y el diclofenaco, donde los comportamientos distan del resto de componentes, la diferencia entre emplear 10 y 12 bar es mínima. Es por ello que **se empleará 10 bar como presión transmembrana en el diseño** ya que se alcanza un rendimiento superior del 90% de eliminación en todos los casos excepto en los mencionados como excepciones, sin entrar en un sobregasto de conseguir 2 bar más de presión.

Aunque el rechazo obtenido por la membrana de nanofiltración es alto, se opta por la membrana de ósmosis inversa. La razón de ello es que el principal objetivo no es la obtención de un permeado objetivo, sino conseguir eliminar la mayor cantidad de contaminantes que actualmente pasan a formar parte del medio. En el caso en el que se busque una solución de compromiso en la que el permeado este fijado, la relación de la membrana NF270 de rechazo y permeado es mucho más favorable a la seleccionada en este caso.

Al igual que ocurre en el caso de las membranas de ultrafiltración, tras el ensayo a distintos pH de la muestra inicial, se alcanza la conclusión de que debido a las fuerzas electrostáticas generadas por los componentes retenidos sobre la membrana se consigue un mayor índice de rechazo para pH básicos en torno a 8 o superiores.

Por último, se analiza el flux de permeado producido para la membrana seleccionada a fin de determinar para futuras etapas de diseño los caudales generados, así como los ciclos de limpieza. Para ello se presenta la *Figura 26*:

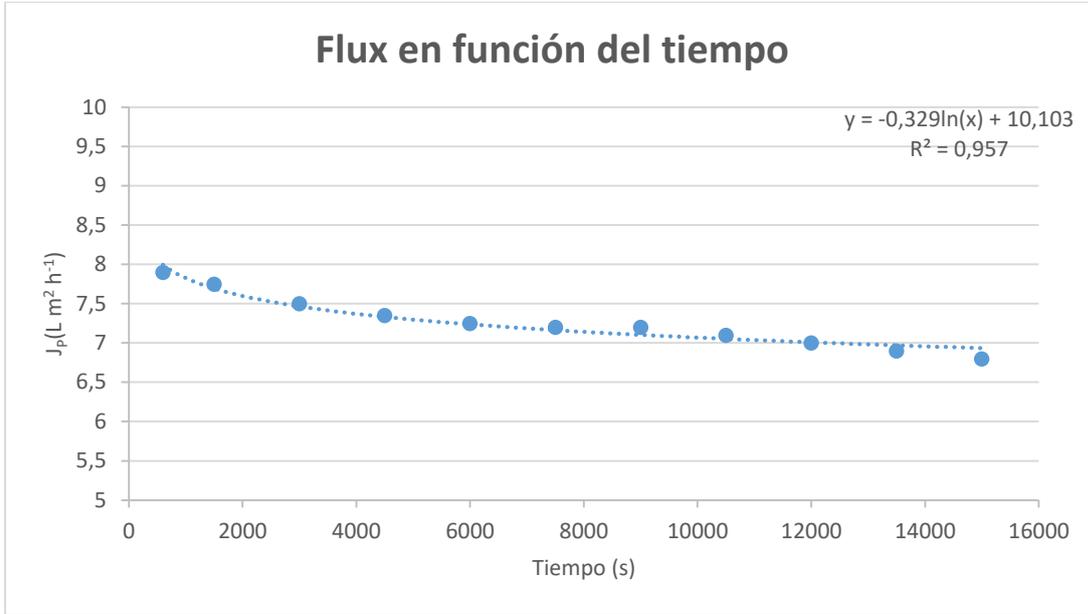


Figura 26. Evolución del flux con el tiempo para Seiro-MPS34

Nuevamente se puede apreciar que el comportamiento de ensuciamiento tiende a un estacionario y por lo tanto se ajusta a un comportamiento logarítmico. En este caso puesto que el flux obtenido es pequeño en comparación con los valores obtenidos en ultrafiltración se decide realizar limpiezas cuando el caudal tenga una caída del 20%. Por ello mediante la ecuación presentada en la *Figura 26* se calcula el tiempo necesario en la *Ec. 13*. Al igual que ocurre con el caso de UF, este 20% de caída realmente se espera que sea menor puesto que, las condiciones de la planta implican una velocidad mayor de filtrado, y además se esperan unas concentraciones de los contaminantes inferiores no solo por las de entrada de la planta tienden a serlo, sino porque existe un proceso de UF previo.

$$t_{r20\%} = EXP\left(\frac{8 * (1 - 20\%) - 10,103}{-0,329}\right) = 78840 s = 22hr \quad Ec.13$$

Del mismo que en el caso de la ultrafiltración mediante el cálculo de la integral de la función de evolución del flux con el tiempo entre el intervalo de tiempo entre limpiezas (*Ec.14*) es posible conocer el flux medio aproximado.

$$\bar{J}_p = \frac{\int_0^{78840} -0.329 * \ln(x) + 10.103}{78840} = 6.8 L m^{-2} h^{-1} \quad Ec.14$$

6.3. Reactor Biológico secuencial

En el caso del reactor biológico secuencial se consulta el trabajo “Diseño de un proceso biológico secuencial de sbr para la eliminación de antibióticos” (Peiró Ortiz, 2016) para consultar los resultados obtenidos en la eliminación de la Eritromicina y el Triclosan. Los datos del resto de compuestos, los cuales se presentan en la *Tabla 11*, se obtienen de proyectos que actualmente siguen en desarrollo.

Tabla 11: Compuestos del estudio y rechazos

Compuesto	Índice Rechazo (%)	Compuesto	Índice Rechazo (%)
Ibuprofeno	98.00%	Naproxeno	89.14%
Acetaminofén	99.00%	Eritromicina	25.72%
Sulfametoxazol	58.50%	Triclosan	91.61%
Diclofenaco	15.62%	Trimetopcina	-
Cafeína	-	Diazepam	-

Como se puede apreciar (*Tabla 11*) los porcentajes de eliminación para compuestos como el Ibuprofeno o el Acetaminofén son prometedores. Sin embargo, para compuestos como el Diclofenaco o el Sulfametoxazol el porcentaje de eliminación no es suficiente existiendo incluso compuestos sin estudios acerca de su eliminación (Cafeína, Diazepam, Trimetopcina). En el caso de los compuestos con un porcentaje bajo de eliminación, se ha comprobado que, mediante la adición de carbón activo en polvo (PAC), se consigue mejorar notablemente la eliminación de estos compuestos como se puede apreciar en la *Figura 27*, donde se pretende resumir los resultados obtenidos hasta la fecha para los compuestos estudiados, así como aquellos en los que se ha empleado ya PAC

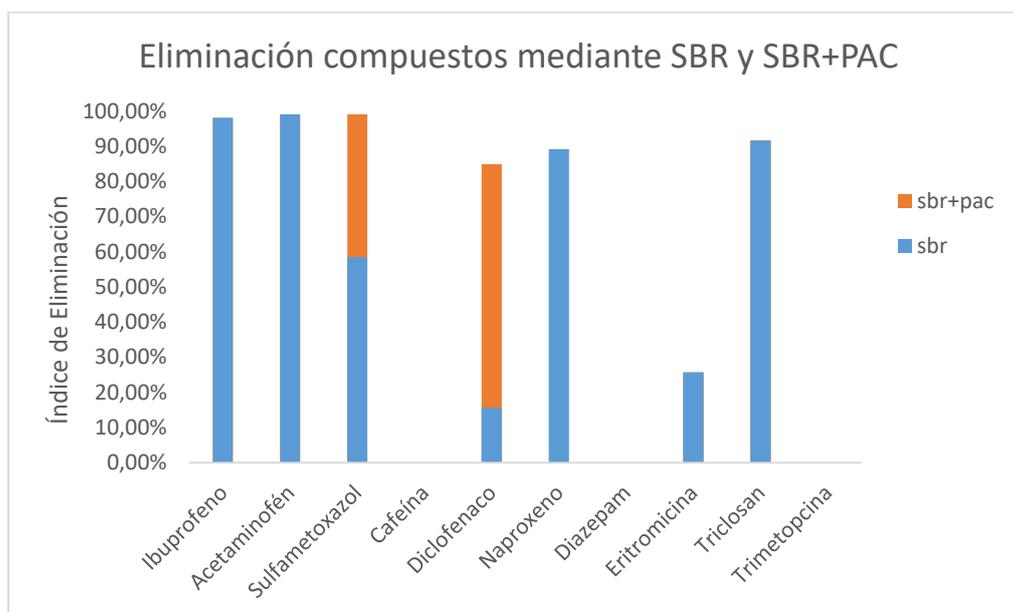


Figura 27. Porcentajes de eliminación de SBR (+PAC) por compuesto.

Como se comentaba anteriormente mediante el uso de PAC se consigue incrementar el rendimiento de eliminación hasta valores superiores al 80% de eliminación. Cabe esperar que

ocurra lo mismo con compuestos como la Eritromicina donde no se ha probado la adición de PAC.

Estos resultados se han obtenido para concentraciones iniciales de entrada que rondan los 1000 ng/L y empleando fangos activos procedentes de depuradoras. Se han realizado ciclos de 8 horas las cuales se distribuyen para cada una de las etapas del SBR según la *Tabla 12*:

Tabla 12: Ciclo SBR

Etapa	Llenado	Reacción Anaerobia	Reacción Aerobia	Sedimentación	Decantación	Parada
Horas	0.25	0.5	6.25	0.83	0.17	0.27

Cabe mencionar que los fangos activos una vez agotados deben de ser tratados por un gestor autorizado. En el caso del carbón activo este podría ser recuperado una vez saturado por un proceso térmico, aunque a día de hoy aún no está totalmente desarrollado.

6.4. Sistema completo

En este apartado se pretende realizar una visión general del proceso a partir de los datos presentados hasta este punto. Se calculan los caudales que se obtendrán con cada uno de los procesos, así como las concentraciones que cabe esperar en cada etapa del proceso.

El presente proyecto consiste en el diseño de una estación depuradora de aguas cuya asignación son 400.000 habitantes. Tomando como referencia el Plan Regional de Abastecimiento de la Junta de Castilla y León, para poblaciones de más de 100.000 habitantes se estima un consumo de 400 litros por habitante y día. Conocido el abastecimiento de la población (Q_A^m) (Ec.15) es posible calcular el caudal medio de agua residual (Q^m) (Ec.16) mediante un coeficiente de reducción (0.85-0.6) que se estimará en 0.7. (METCALF & EDDY, 1995). Además, como el caudal que se pretende tratar es a la salida de una EDAR, se considera que entre los fangos de la EDAR y pérdidas se pierde un 2%

$$Q_A^m = 400000 * 400 = 160\ 000 \frac{m^3}{dia} \quad Ec.15$$

$$Q^m = 160\ 000 * 0.6 * (1 - 0.2) = 94080 \frac{m^3}{dia} \quad Ec.16$$

En la siguiente tabla (*Tabla 13*) resumen se presentan los índices de rechazo esperados para cada tecnología y componente así como los coeficientes de reducción de caudal en base a la evaluación realizada previamente.

Tabla 13: Resumen índice de rechazo y factor de reducción por compuesto y tecnología

Compuesto	UF Índice Rechazo(%)	NF Índice Rechazo(%)	SBR (+CAP) Índice Rechazo(%)
Ibuprofeno	54	99.42	98.00
Acetaminofén	34	96.31	99.00
Sulfametoxazol	26	98.35	99.00
Cafeína	7	83.11	85.00*
Diclofenaco	59	67.07	84.85
Naproxeno	31	98.91	89.14
Diazepam	57	97.89	85.00*
Eritromicina	15	95.71	25.72
Triclosan	41	98.20	91.61
Trimetopocina	45	97.40	85.00*
Factor reducción, η	0.5	0.6	-

*: Se supone este índice de rechazo puesto que no se han encontrado estudios en los que se realice dicho procedimiento. Se estima como índice de rechazo un promedio del resto de índices obtenidos para los compuestos restantes puesto que suponer 0 distorsionaría el resultado global final obtenido

A partir de los factores de reducción y de rechazo es posible calcular los caudales de salida (permeado Q_P y rechazo Q_R) de cada etapa (Ec.17-18) del proceso y además las concentraciones de salida (permeado C_P y rechazo C_R) de los mismos (Ec.19-20) para cada compuesto según los índices de rechazo.

$$Q_P = Q_{entrada} * \eta \quad Ec.17$$

$$Q_R = Q_{entrada} - Q_P \quad Ec.18$$

$$C_P = (1 - R) * C_E \quad Ec.19$$

$$C_R = \frac{(Q_{entrada} * C_E - C_P * Q_P)}{Q_R} \quad Ec.20$$

En el caso de la ultrafiltración puesto que no se pueden calcular las concentraciones de entrada de una etapa previa, se tomarán las presentadas en la Tabla 9.

Estas ecuaciones (Ec.17 y Ec.19) se obtienen mediante el despeje de las Ec.5 y Ec.6, y a partir de ellas se elabora la Tabla 14 la cual resume las concentraciones de entrada (C_E) y salida, así como los caudales para cada una de las tecnologías.

Tabla 14: Resumen de caudales y concentraciones por tecnología

	UF			NF			SBR (+CAP)	
	C _E (ng/L)	C _P (ng/L)	C _R (ng/L)	C _E (ng/L)	C _P (ng/L)	C _R (ng/L)	C _E (ng/L)	C _S (ng/L)
Ibuprofeno	1000	460	1540	460	2.67	1146	1427	28.55
Acetaminofén	1000	660	1340	660	24.35	1614	1418	14.18
Sulfametoxazol	1000	740	1260	740	12.21	1832	1423	14.23
Cafeína	300	279	321	279	4712	627	408	61.26
Diclofenaco	300	123	477	123	40.50	247	411	62.30
Naproxeno	300	207	393	207	2.26	514	428	46.43
Diazepam	300	129	471	129	2.72	318	427.4	64.11
Eritromicina	300	255	345	255	10.94	621	424	314.86
Triclosan	300	177	423	177	3.19	438	427.2	35.84
Trimetopcina	300	165	435	165	4.30	406	427.7	64.01
Qentrada(m³s⁻¹)	1.7241			0.8620			1.2069	
Qpermeado(m³s⁻¹)	0.8620			0.5172			1.2069	
Qrechazo(m³s⁻¹)	0.8620			0.3448			-	

Una vez conocidas las concentraciones de entrada y de salida, es posible calcular la cantidad total en de contaminantes emergentes $m_{t,CE}$ a la entrada y en el vertido, de modo que se constate si el proceso es eficaz. Para ellos se emplea la Ec.21 tanto para la entrada como para los efluentes y se presentan los resultados en la Tabla 15.

$$m_{t,CE,j} = \sum_i^{10} Q_j * C_{j,i} \quad \text{Ec.21}$$

Tabla 15: Flujos máxicos de contaminantes emergentes

$m_{t,CE.entrada}$	$m_{t,CE.efluente}$		$m_{t,CE.retenido}$	%Retención
	$m_{t,CE.NF}$	$m_{t,CE.SBR}$		
759.70gr/dia	6.71gr/dia	73.59gr/dia	679.39gr/dia	89.34%

7. Diseño de la planta

Una vez se conoce el caudal medio de las aguas residuales es posible calcular el caudal punta (Ec.18) que será aquel que se empleará en el diseño de la planta con el fin de asegurar que será posible dar servicio en caso de que haya una subida del caudal medio de la población. El caudal punta se calcula mediante un coeficiente punta (φ_p) que multiplica al caudal medio, el cual se estima en 1.58 en base a las fórmulas empíricas de Harman y Fair & Geyer (Ec.17) (Hernández, 2001)

$$\varphi_p = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{400000 \text{ hab}}{1000}}} = 1.58 \quad \varphi_p = \frac{18 + \sqrt{\frac{400000 \text{ hab}}{1000}}}{4 + \sqrt{\frac{400000 \text{ hab}}{1000}}} = 1.58 \quad \text{Ec.17}$$

Harman (Hernández, 2001)

Fair & Geyer (Hernández, 2001)

$$Q^p = 94080 * 1.58 = 148960 \frac{m^3}{\text{día}} \quad \text{Ec.18}$$

7.1. Ultrafiltración

Partiendo de los datos presentado en la evaluación de la tecnología de ultrafiltración se realiza el diseño de dicho proceso en el siguiente apartado. Para la realización del diseño en primer lugar se construye el diagrama del proceso del proyecto (Figura 28) según la norma UNE-EN 10628-1:2015

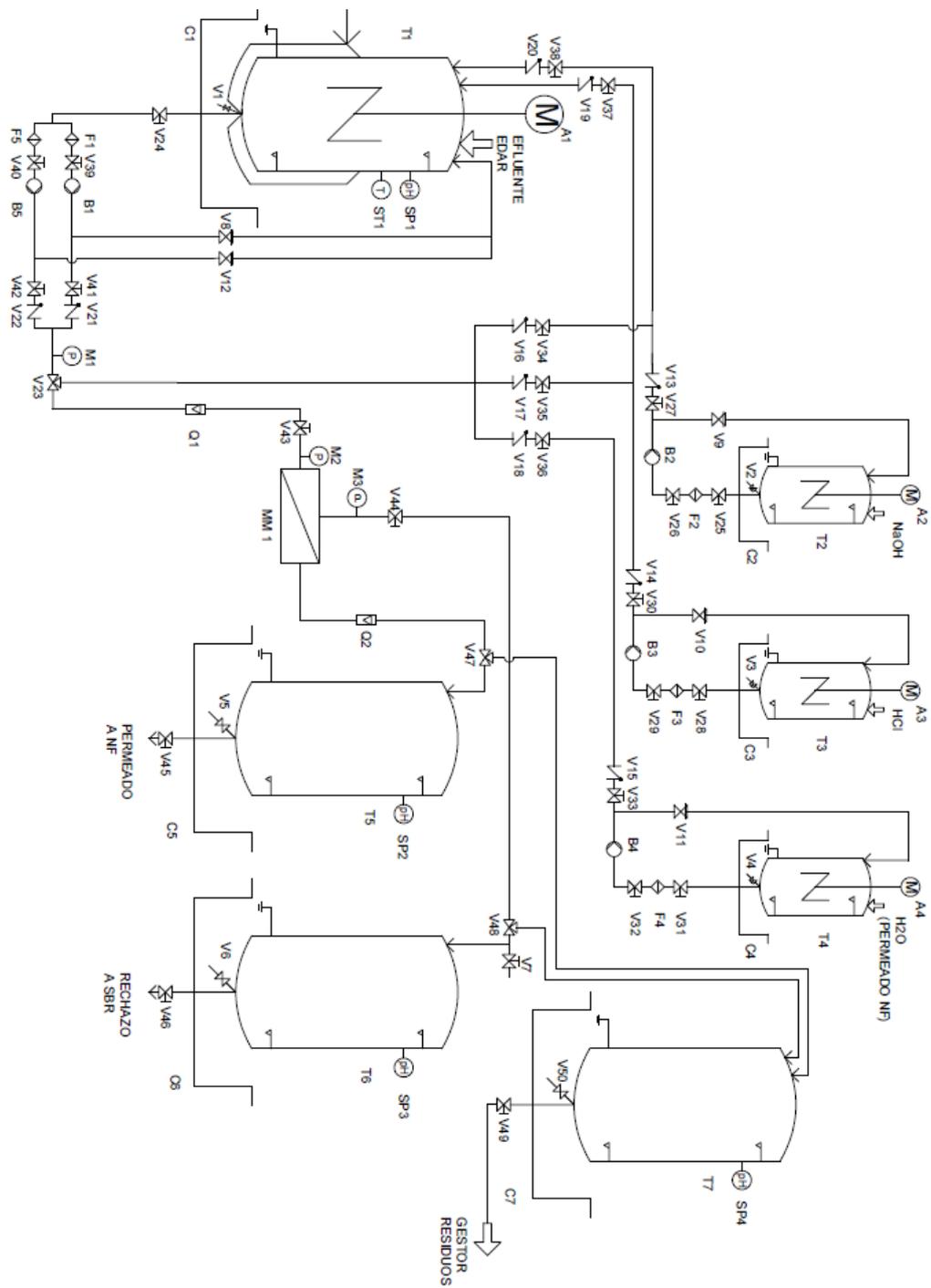


Figura 28. Diagrama flujo proceso ultrafiltración

En la *Figura 28* se puede apreciar que existen 3 circuitos que constituyen el proceso de ultrafiltración. Estos circuitos son el de filtrado, el circuito de acondicionamiento del agua y el de limpieza.

7.1.1. Circuito de filtrado

El circuito de filtrado comprende desde el tanque T1 de acondicionamiento del agua residual hasta el tanque de recogida del agua de limpieza T7. En primer lugar, se diseña el módulo de filtrado el cual es provisto por la empresa "TAMI INDUSTRIES" y el cual pertenece a la gama de productos "INSIDE CÉRAM". (ANEXO -Figura I)

De la gama ofrecida y en base a los resultados obtenidos en el apartado de evaluación se elige la membrana con un cut-off de 1kDa, la cual pertenece a la categoría de ultrafiltrado fino del catálogo. Puesto que el caudal a tratar es elevado se elige la membrana tubular con 39 canales por membrana, por ser la que más superficie de filtrado tiene (0.35m², para la categoría de filtrado elegida con un diámetro hidráulico de 2.5mm. Además, el fabricante proporciona el número de membranas que se pueden agrupar por cárter, así como la velocidad mínima y máxima de paso por cada canal (ANEXO -Figura II). Sabido que la velocidad media para el diseño es de 3.25 m s⁻¹ y el número de membranas por carter seleccionado es de 187 se calcula el número de carters a instalar (Ec.26). Este cálculo se realiza a partir la sección total de un carter (Ec.24) y la sección total necesaria para cumplir con la velocidad (Ec.25).

$$Sección_{carter} = 187 * 39 * \left(\pi * \frac{0.0025^2}{4} \right) = 0.0358m^2 \quad Ec.24$$

$$Sección_{necesario} = \frac{Q_p}{v_{media}} = \frac{148960}{3.25} = 0.5305m^2 \quad Ec.25$$

$$N_{carter} = \frac{Sección_{necesario}}{Sección_{carter}} = \frac{0.5305}{0.0358} = 14.81 \cong 15 \quad Ec.26$$

A partir de dichos cálculos se presenta en el ANEXO las *Figuras III y IV*, correspondientes a las dimensiones específicas de un cárter y al conjunto que se debería de montar respectivamente.

A continuación, se calcula el diámetro de las tuberías necesario (Ec.27) para la etapa de ultrafiltración. Para ello se estima una velocidad de circulación del fluido de 1.3m s⁻¹ (Beteta Riera, 2011). Además, se divide entre 2 el caudal puesto que como se aprecia en la *Figura 28* existen dos tuberías de impulsión, una para cada bomba.

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q_p}{\pi * v}} = \sqrt{\frac{4 * \frac{1.72}{2}}{\pi * 1.3}} = 0.91m \quad Ec.26$$

A partir del resultado se decide emplear una cañería de polietileno PN6 con un diámetro interno de 0.92m y externo de 0.95m para cada una de las bombas de impulsión.

Una vez conocido el diámetro de la tubería es posible calcular las pérdidas asociadas a ella en pos de calcular más adelante la presión requerida por las bombas. Para calcular las pérdidas se emplea la Ec. 27.

$$h_f = f \frac{L * u^2}{2 * g * D} \quad \text{Ec.27}$$

Dónde

- f: es el coeficiente de fricción
- u: es la velocidad del fluido ($1.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)
- L: es la longitud equivalente de la tubería
- g: es la intensidad del campo gravitatorio en la tierra
- D: el diámetro interno de la tubería

En primer lugar, se estima la longitud equivalente de la tubería la cual se compone de la longitud propia de la tubería (500 m) más la longitud equivalente en términos de fricción que aportan los accesorios como el caso de los codos. Se debe de tener en cuenta que puesto que no existe un emplazamiento físico de la planta se estima el dimensionamiento de la misma en base a otras ya existentes.

La longitud equivalente de un codo de 90° cuyo diámetro es 0.92m es 25m según Crane Co. De Vilbrandt (Vilbrandt, 1934)

A partir de estos datos se obtiene la siguiente longitud equivalente (Ec. 28)

$$L = L_{tubería} + L_{accesorios} = 500 + 25 * 4 = 600\text{m} \quad \text{Ec.28}$$

Conocida la longitud equivalente la única incógnita restante para resolver la ecuación y conocer las pérdidas es el coeficiente de fricción. Para ello, se calculará la rugosidad relativa (Ec.29) así como el número de Reynolds (Ec.30) y a partir del ábaco de Moody (ANEXO -Figura V) se hallará el valor de "f" (Ec.31)

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{1\text{mm}}{920\text{mm}} = 0.00109 \quad \text{Ec.29}$$

$$Re = \frac{4 * Q_p * \rho}{\mu * \pi * D} = \frac{4 * 1.72/2 * 998.20}{1.007 * 10^{-3} * \pi * 0.92} = 1\,179\,801.211 \quad \text{Ec.30}$$

$$f(1.09 * 10^{-3}, 1\,18 * 10^6) = 0.020 \quad \text{Ec.31}$$

Dónde:

- ε : rugosidad material
- ρ : densidad agua a 20°C
- μ : viscosidad agua a 20°C

A partir de estos datos es posible calcular las pérdidas asociadas a las tuberías (h_t) mediante la sustitución de los datos en la Ec.27 y obteniéndose el resultado de la Ec.32

$$h_t = 0.020 * \frac{600 * 1.3^2}{2 * 9.81 * 0.92} = 1.12mca = 0.11atm \quad Ec.32$$

A las pérdidas de la tubería se deben de añadir las pérdidas asociadas a la instrumentación. Estas se calculan mediante la Ec.33 la cual es una simplificación de la Ec.27 quedando agrupados términos en el coeficiente de singularidad K, consultable en bibliografía para cada elemento.

$$h_v = \sum_i K_i \frac{v^2}{2g} \quad Ec.33$$

Conociendo la K de las válvulas antiretorno ($K_A=2.9$) y de las válvulas de compuerta ($K_C=0.3$) es posible calcular las pérdidas para la velocidad de $1.3m s^{-1}$. Se obtiene

$$h_v = 2.9 \frac{1.3^2}{2 * 9.81} + 0.3 \frac{1.3^2}{2 * 9.81} = 0.27 mca$$

Una vez conocidas las pérdidas es posible plantear la ecuación de Bernoulli (Ec. 34) asumiendo que la altura de las bombas de impulsión y el agua (Z_e) es de 0 metros y la entrada al módulo de filtrado (Z_f) se encuentra a 1 metro de altura. Además, se considera que se encuentra a presión ambiente (P_e) 0 atm a la entrada y el objetivo en el módulo de filtrado es (P_f) es 2 atm o 202650 Pa. En este caso la velocidad no cambia entre la entrada y los módulos de filtrado.

$$Z_e + \frac{P_e}{\rho g} + \frac{v_e^2}{2g} + P_B = Z_f + \frac{P_f}{\rho g} + \frac{v_f^2}{2g} + h_t + h_v \quad Ec.34$$

Despejando los términos de la Ec.34 en base a las consideraciones expuestas queda el resultado siguiente:

$$P_B = 1 + \frac{202650}{998.20 * 9.81} + 1.12 + 0.27 = 23.08mca = 2.31atm$$

Con estos datos (Q y P_b) es posible seleccionar la bomba que cumpla con las condiciones del proceso. Se ha seleccionado la bomba ARS 500-58CI/330 CR del grupo bombas IDEAL (ANEXO - Figura VI). Esta bomba permite impulsar $2500m^3/h$ con una presión de 28.1mca lo cual cumple con las condiciones a Q medio y también deja un margen en caudal punta (superior al 10% necesario según bibliografía (FILMTEC Membranas, 2011)). Además, existe un margen por posibles pérdidas de presión no consideradas como podría ser la caída de presión en la entrada al módulo de filtrado. Serán necesarias en total 3 bombas iguales, dos en funcionamiento y 1 de reserva.

A partir del catálogo del fabricante se estipula en 242.7KW la potencia de la bomba.

7.1.2. Circuito de acondicionamiento

Corresponden a esta etapa del diseño los tanques de recepción del agua procedente de el tratamiento secundario de la EDAR y el tanque de adecuación de la corriente de entrada para su tratamiento.

Respecto a los tanques de recepción, se diseñan los tanques para el almacenamiento de al menos la cantidad de agua correspondiente a media carga del reactor biológico, es decir 4 horas a caudal punta (Ec. 35).

$$V_{agua} = Q_p * 4h = 24\ 827m^3 \quad Ec.35$$

Conocido dicho volumen se considera la instalación de tanques de 4067m³ (Ref.3565-ANEXO -Figura VII) provistos por la empresa TANKEROS.SL, especialistas en tanques de agua en grandes proyectos. A partir de la elección se calcula (Ec. 36) que se deben de instalar aproximadamente 6 tanques con estas características.

$$N_{tanque} = \frac{V_{agua}}{V_{tanque}} = \frac{24\ 827}{4067} = 6.1 \cong 6 \quad Ec.36$$

En lo que al tanque de acondicionamiento se refiere, se ha elegido un tanque del mismo proveedor en este caso de 1000m³ (Ref 2005 ANEXO -Figura VII) para conseguir un correcto acondicionamiento de la corriente de entrada. Mediante la elección de este tanque se obtiene un tiempo de residencia de casi 10 minutos del agua, para conseguir en primer lugar un caudal de impulsión constante por parte de las bombas y por otro lado alcanzar el pH objetivo (8). Este tanque precisa de un agitador y se ha seleccionado el agitador AMD.07.18.1410 perteneciente a la empresa GRUNDFOS. (ANEXO -Figura VIII) compatible con tanques de 6 metros y un volumen de 1000 m³. Este agitador según el catálogo de fabricante ANEXO -Figura VIII precisa los siguientes Vatios (Ec. 37).

$$P_{agitador} = \frac{11 \frac{W}{m^3} * 1000m^3}{1000} = 11kW \quad Ec.37$$

Por último, una vez diseñados los equipos físicos se calculan las cantidades de productos químicos necesarias para la gestión del proceso de ultrafiltración. Según la evaluación del proceso, es necesario un pH=8.

En primer lugar, se calcula la cantidad de hidróxido sódico (ANEXO -Figura XVI) necesario suponiendo que el caudal de entrada es ácido con un pH =6. Se calculan los pOH inicial y objetivo de la mezcla en base a la Ec. 38y a partir de ellos la variación de la concentración de sosa en un litro con la Ec.39. Conocido el peso molecular de la sosa cáustica (39.997gr/mol) se calculan los gramos por litro necesarios, puesto que al ser una base fuerte se disocia totalmente y los moles de OH⁻ y de sosa son equivalentes. Los datos obtenidos se presentan en la *Tabla 16*.

$$pH + pOH = 14 \quad Ec.38$$

$$pOH = -\log[OH^-] \quad Ec.39$$

Tabla 16: Resumen concentraciones y pOH.

Situación	pH	pOH	[OH ⁻]	ΔMolOH ⁻ /litro agua	gr NaOH /litro agua
Inicial	6	8	10 ⁻⁸	9.9*10 ⁻⁷	3.9597*10 ⁻⁵
Objetivo	8	6	10 ⁻⁶		

Conocidos los gramos por litro de agua y el Q_p diario (148 960 000litros día⁻¹) se calcula Ec. 40 la cantidad de sosa mínima necesaria para el correcto funcionamiento de la planta incluso en una situación puntual diaria.

$$kg NaOH = \frac{3.9597 * 10^{-5} * 148\ 960\ 000}{1000} = 5.898 \frac{kg NaOH}{dia} \quad Ec.40$$

En el caso del ácido clorhídrico (ANEXO -Figura XV), el cual se empleará para acidificar el medio en caso de que el pH sea demasiado básico, el procedimiento de cálculo es el mismo. En este caso no es preciso conocer el pOH sino que se calculará la concentración de protones a partir del pH por definición. Nuevamente se asume que la disociación es total por ser un ácido fuerte y se supone una situación límite de todo un día con un pH de entrada de 9. Los resultados se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17: Resumen cálculos cantidad HCl

Situación	pH	[H ⁺]	ΔMolH ⁺ /litro agua	gr* HCl /litro agua	Kg HCl /dia
Inicial	9	10 ⁻⁹	9*10 ⁻⁹	3.281*10 ⁻⁷	0.049
Objetivo	8	10 ⁻⁸			

7.1.3. Circuito de limpieza

A partir de los trabajos evaluados se sabe que aproximadamente 1 vez al día es necesario realizar una limpieza de la membrana para evitar que el flux de permeado de la misma caiga por debajo de aproximadamente un 70% del original, con la membrana limpia. Por ello se realizarán las limpiezas por carter necesitando cada uno de ellos una limpieza al día. Estas limpiezas se pueden combinar con el funcionamiento de la planta puesto que no es necesario que todos los módulos de filtrado funcionen simultáneamente puesto que solo deben hacerlo para el caudal punta.

La duración del ciclo de limpieza para cada compuesto (NaOH 0.1 M y HCl 10 ml/L) es de 7 minutos(420s). A partir de la velocidad permisible por el carter 3.25m s⁻¹ y una sección del carter de 0.0358m², tal y como se ha detallado anteriormente, se obtiene un caudal de 0.116 m³ s⁻¹. Conocido el caudal (0.116), el tiempo de limpieza (60 s), las limpiezas por carter diarias (14) y el número de carters (15) se calcula el volumen total de mezcla de limpieza necesaria diariamente (Ec. 41).

$$V_{tot} = 0.116 * 420 * 1 * 15 = 730 m^3 \quad Ec.41$$

A partir de este volumen aun no es posible calcular el volumen de los tanques puesto que se diseñarán teniendo en cuenta el volumen necesario para la limpieza del proceso de nanofiltración.

Conocido el volumen de líquido y las concentraciones se calcula la cantidad necesaria por día de cada uno de los compuestos de limpieza en las Ec. 42 y 43.

$$kg NaOH = \frac{0.1 * 39.99 * 730\ 000}{1000} = 2921 \frac{kg NaOH}{día} \quad Ec.42$$

$$HCl = \frac{10 * 730\ 000}{1000} = 7300 \frac{L HCl}{día} \quad Ec.43$$

Al igual que ocurre con los tanques, los agitadores y las bombas de impulsión así como el tanque de recogida de los efluentes de la limpieza, se diseñarán en la etapa de nanofiltración puesto que se deben tener en cuenta los de ambos procesos diseñado para cumplir la demanda de sendos.

7.1.4. Accesorios

En este apartado se diseñan componentes comunes a los circuitos anteriores como es el caso de las válvulas o los filtros previos a las bombas.

No es posible diseñar los filtros previos a las bombas de limpieza puesto que depende el diseño de las mismas del proceso de nanofiltración.

Se han seleccionado los filtros de la empresa HECISA. ANEXO -Figura IX). Se ha seleccionado el modelo HSC con caudales de hasta 4000 m³ h⁻¹, para el sistema de filtrado. Serán necesarios 3 filtros de para el sistema de filtrado.

Las válvulas se han elegido con un DN de 1000 (mm) acorde con las tuberías diseñadas de 0.91m de diámetro. Estas válvulas pueden ser provistas por la empresa COMEVAL. Las válvulas seleccionadas son las que se presentan en la Tabla 18 en base al ANEXO -Figura X

Tabla 18: Detalles válvulas proceso UF

Válvula	DN (MM)	Referencia
Retención	1000	Series SW / CH-SW UNICHECK
Compuerta	1000	Series 507
Seguridad	305	5200-VCI CASHCO
Muestreo Tanques	15	Series 900 -COMEVAL
3 vías	500	STOBU Series 800

Además de lo detallado hasta este punto serán necesarios controladores de nivel y pH en los tanques diseñados. Esto se verá reflejado en la etapa de evaluación económica.

7.2. Nanofiltración

Respecto al proceso de nanofiltración el diseño sigue el mismo procedimiento que el adoptado para el proceso de UF. En primer lugar, se presenta el diagrama de flujo (*Figura 29*) del proceso donde se pueden identificar los elementos que se diseñan seguidamente. Al igual que ocurre con el proceso de ultrafiltración se distinguen tres circuitos principales y se realiza el diseño en base a ellos.

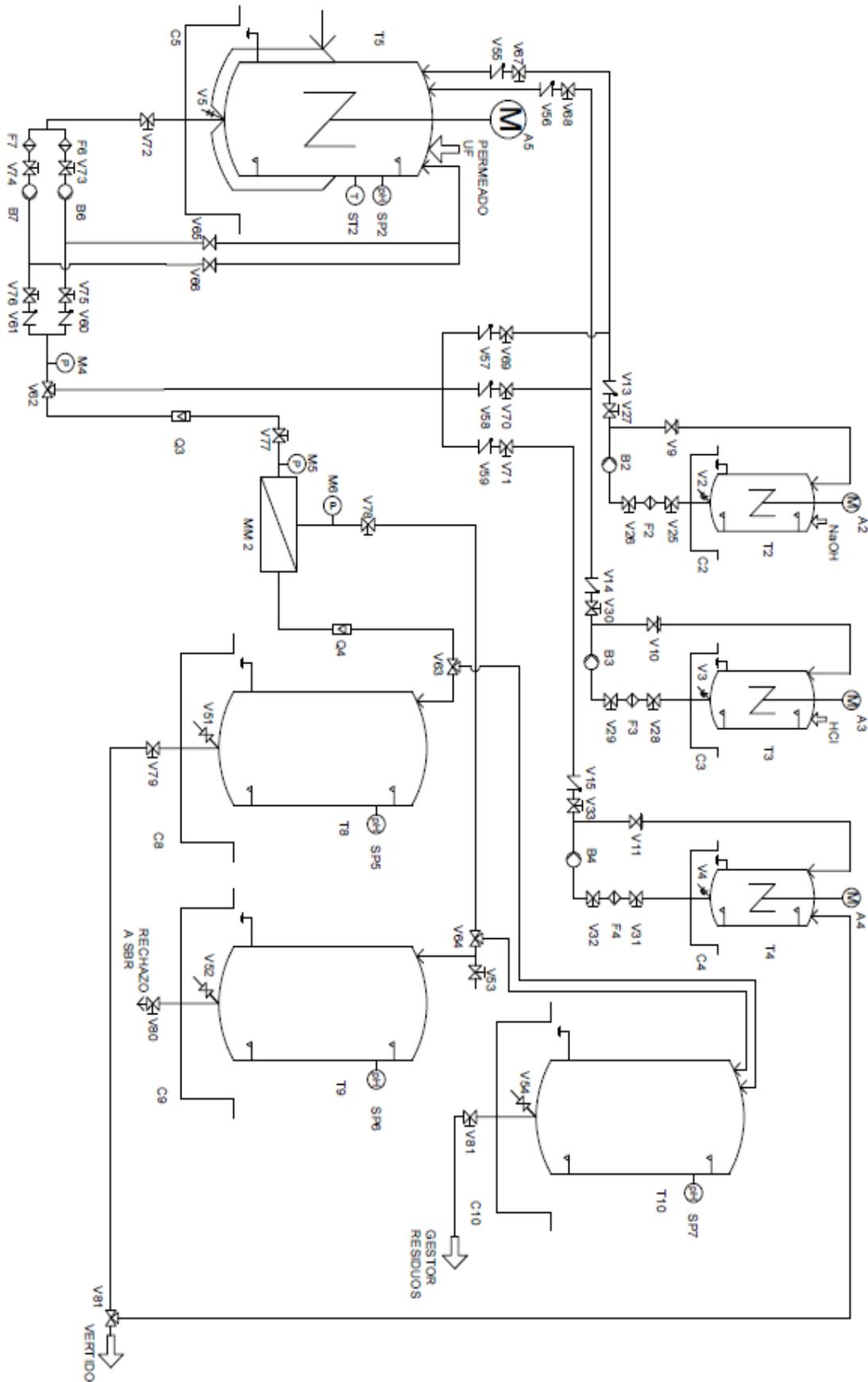


Figura 29. Diagrama flujo proceso ultrafiltración

7.2.1. Circuito de filtrado

En primer lugar, se realiza el diseño del módulo de filtrado. Como se ha presentado en la evaluación se escogen membranas SeIRO MPS-34 de la casa comercial KOCH MEMBRANE SYSTEMS. Son membranas con un cut-off de 200 Da (0.2kDa) y estables a cualquier pH.

A partir de la ficha técnica de las membranas (ANEXO -Figura X) se decide, debido a que este proceso es el que elimina un mayor porcentaje de los contaminantes emergentes, diseñar el número de membranas para cumplir con el máximo caudal admisible a caudal punta. Esto se realiza, para que cuando el caudal no sea punta o disminuya por debajo del medio, exista un margen caudal hasta el mínimo y evitar que caiga por debajo de éste.

El caudal máximo admisible según el fabricante son 285 L/min ($0.0047 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). A partir de este dato y conocido el caudal punta de permeado de UF ($0.8620 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ –Tabla 14) es posible calcular el número de elementos necesarios para cumplirlo a Q_p (Ec.44):

$$N_{\text{membranas NF}} = \frac{Q_p}{Q_{\text{max}}} = \frac{0.8620}{0.0047} = 181 \text{ membranas} \quad \text{Ec.44}$$

Conocido el número de membranas hace falta un soporte o carter de modo que queden agrupadas y se facilite la gestión del proceso. Puesto que no se ha conseguido uno propio del fabricante, se ha decidido escoger 8 elementos por carter ya que entra dentro de los estándares para grandes proyectos (FILMTEC Membranes, 2011). Asignando 8 elementos a cada carter, los 181 elementos de filtrado quedan repartidos en 23 carters.

Como se ha comentado anteriormente la presión de trabajo serán 10 bar y por lo tanto se procede a calcular las pérdidas asociadas a la conducción y los accesorios de esta para realizar la selección de la bomba.

En primer lugar, es necesario conocer el diámetro necesario de la tubería. Empleando la Ec.26 para el Q_p de permeado de la ultrafiltración ($0.8620 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), una velocidad de 1.3 m s^{-1} y considerando dos bombas se obtiene: $D=0.65\text{m}$.

Para el cálculo de las pérdidas asociadas a la tubería se asumen las misma longitud y número de accesorios (codos) que en el caso de la ultrafiltración. ($L=500\text{m}$ y 4 codos 90°). Esto implica como se ha detallado en el punto 7.1.1 unan longitud equivalente de 600 m de tubería. Se sigue el mismo procedimiento de cálculo que en el caso de la ultrafiltración (Ec.28-31) para el caudal y el diámetro de nanofiltración y tras la consulta del ábaco de Moody (ANEXO -Figura V) se obtiene una $f(0.0015,836 \ 877)=0.022$. Con esta f , y aplicando la Ec.27 se obtienen unas pérdidas en la tubería de 1.75 mca.

Conocidas las pérdidas en la tubería se calculan las asociadas a elementos singulares como válvulas de manera análoga al caso de UF. Se estiman dichas pérdidas según la Ec.33 en 0.27 mca.

Una vez calculadas las pérdidas asociadas a la impulsión se calcula según la ecuación de Bernoulli (Ec.34) la potencia de la bomba necesaria para cumplir con las condiciones necesarias para el proceso de nanofiltración.

$$P_B = 1 + \frac{1\ 013\ 249.97}{998.20 * 9.81} + 1.75 + 0.27 = 107mca = 10.7atm$$

Una vez conocida la presión necesaria, en torno a 11 atm, y el caudal $0.431m^3s^{-1}$ se selecciona la bomba "MC 250-600" (ANEXO -Figura XII) de la empresa ANDRITZ HYDRO.

Para el cálculo de la potencia de la bomba se emplea la Ec. 45(ecuación de Degremont) asumiendo una eficiencia de la bomba de 75% (μ) y a partir de la mitad del caudal punta de nanofiltración($Q_{pNF/2} = 1551.6m^3h^{-1}$).

$$P_{B\ NF} = \frac{Q_{pNF/2} * P_B}{\mu * 366} = \frac{1551.6m^3h^{-1} * 107}{0.75 * 366} = 600kW \quad Ec.45$$

7.2.2. Circuito de limpieza

Respecto al circuito de limpieza se calcula el caudal de limpieza a partir del caudal mínimo admisible por las membranas según ANEXO - Figura XI ($0.0016\ m^3s^{-1}$). Se deben de realizar limpiezas cada 22 horas para evitar caídas del caudal por encima de aproximadamente el 10% por lo tanto se realizan 1limpiezas al día alternadas de los carters de 25 minutos cada una. Esta limpieza se realiza durante un mayor tiempo que las de ultrafiltración debido a que las membranas de nanofiltración tienden a taponarse con mayor facilidad Puesto que se han diseñado 23 carters según la Ec.41:

$$V_{tot} = 0.0016 * 1500 * 1 * 23 = 55.2\ m^3$$

A partir del volumen calculado se selecciona el depósito con la referencia "1945" (ANEXO - Figura VII), con capacidad para $807m^3$ el cual es capaz de albergar los $730\ m^3$ de la ultrafiltración más los $55.2\ m^3$ de la nanofiltración. Serán necesarios 3 tanques de este tipo para los compuestos de limpieza: NaOH, HCl y H₂O

Conocidas las concentraciones de las disoluciones de limpieza (NaOH 0.1M y HCl 10 ml L) y el volumen necesario de cada una de ella es posible calcular las cantidades de cada compuesto. Se calculan según las Ec.42-43, obteniéndose los resultados expuestos en la Tabla 19:

Tabla 19: Resumen de reactivos de limpieza

Proceso	UF	NF	Total
NaOH (kg/d)	2921	220.74	3148
HCl (L/d)	7300	552	7868
Agua (m ³ /d)	730	55.2	785.2

Para los tanques escogidos en el circuito de limpieza se emplean los mismos agitadores de la empresa GRUNDFOS (AMD.07.18.1410). Teniendo en cuenta un consumo de $12Kw\ m^{-3}$ (ANEXO -Figura VII), el volumen de los tanques ($807m^3$) y la Ec.37 se calcula la potencia de éstos: $9.68kW$

Respecto a las bombas de impulsión del circuito de limpieza se precisa de bombas capaces de impulsar $423.36 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ con una presión similar a la del circuito de filtrado. Es por ello que se ha elegido la bomba GNI 150-26 del fabricante IDEAL (ANEXO -Figura VI). Esta bomba es capaz de impulsar $432 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ con una presión de 16 mca. Su potencia es de 30 Kw. Serán necesarias dos bombas una para la impulsión del ácido la base o el agua y otra de repuesto.

Se debe tener en cuenta que cuando se producen las limpiezas de los módulos de filtrado se generan efluentes ácidos y básicos los cuales no pueden ser vertidos a cauce. Estos efluentes se recogen en un tanque para su posterior retirada por un gestor autorizado. Este tanque precisa de un volumen igual al de limpieza, multiplicado por 3 puesto que son tres efluentes de limpieza los que se generan. Por lo tanto, es necesario un tanque de al menos 2421 m^3 . Se escoge el tanque con referencia 3105 con capacidad para 2.433 m^3 (ANEXO -Figura VI). Se recomienda la instalación de al menos 3 tanques puesto que el diseño implica el llenado de un tanque diario y por lo tanto una recogida diaria del gestor autorizado.

7.2.3. Circuito de acondicionamiento

Al igual que ocurre con el circuito de acondicionamiento en el proceso de ultrafiltración se diseñan los tanques intermedios para poder absorber crecidas de caudal y disminuciones sin necesidad de variar caudales operativos entre otros parámetros. El criterio de diseño es el mismo que el del proceso previo de modo que el volumen de agua que se almacenará durante 4 horas a caudal punta es (Ec. 35)

$$V_{\text{agua}} = Q_p * 4h = 3103.2 * 4 = 12412.8 \text{ m}^3$$

A partir de este volumen se decide instalar 3 tanques (Ec.36) de 4067 m^3 (Ref.3565-ANEXO -Figura VII) provistos por la empresa TANKEROS.SL

Además de la recogida del permeado también es preciso el diseño del tanque de acondicionamiento, así como los reactivos necesarios.

El tanque elegido pretende tener el mismo tiempo de residencia ($t_r=10\text{min}$) que el de ultrafiltración de modo que conocido el caudal de entrada y de salida ($51.72 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$) es posible calcular dicho volumen según la Ec.46.

$$V = Q_p * t_r = 51.72 * 10 = 517.2 \text{ m}^3 \quad \text{Ec.46}$$

Se ha elegido por lo tanto el tanque de 519 m^3 con referencia "1306" (ANEXO -Figura VII) lo cual implica un tiempo de residencia de prácticamente 10 minutos para una correcta homogenización del agua previa a su tratamiento. El tanque además precisa de un agitador para conseguir la homogenización de la mezcla hasta un pH objetivo de 8 como se ha comentado en la etapa de evaluación de la tecnología. El agitador seleccionado es AMD.07.18.1410 de la empresa GRUNDFOS. (ANEXO -Figura VIII) compatible con tanques de 7 metros y un volumen de 517 m^3 . Los Vatios precisados por este agitador se calculan como se ha hecho anteriormente a partir de la fórmula provista por el fabricante (Ec. 37)

$$P_{\text{agitador}} = \frac{14 \frac{\text{W}}{\text{m}^3} * 517 \text{ m}^3}{1000} = 7.23 \text{ kW}$$

Respecto a las cantidades de ácido o base necesarias en esta etapa se prescinde de su cálculo. La razón de ello es que el pH de la corriente de UF ya es de 8 y la variación y por lo tanto la cantidad de reactivo necesaria es despreciable, frente a los casos extremos calculados para la ultrafiltración. De modo que se pueden ajustar pequeñas variaciones de pH a partir de la cantidad diseñada para la ultrafiltración.

7.2.4. Accesorios

Tal y como se ha planteado en el apartado de diseño de accesorios para la ultrafiltración En este apartado se diseñan componentes comunes a los circuitos anteriores como es el caso de las válvulas o los filtros previos a las bombas.

En el caso de los filtros se han seleccionado los filtros de la empresa HECISA. ANEXO -Figura IX).

Estos filtros son el Modelo HSC-J, para las bombas del sistema de limpieza cuyo caudal admisible es de hasta $750 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, y el modelo HSC con caudales de hasta $4000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, para el sistema de filtrado. Serán necesarios 2 y 3 filtros de cada modelo respectivamente.

Las válvulas se han elegido con un DN de 650(mm) acorde con las tuberías diseñadas de 0.65m de diámetro. Estas válvulas pueden ser provistas por la empresa COMEVAL. Las válvulas seleccionadas son las que se presentan en la Tabla 20 en base al ANEXO I-Figura X

Tabla 20: Detalles válvulas proceso NF

Válvula	DN (MM)	Referencia
Retención	650	Series CV / CVC-SW UNICHECK
Aislamiento	650	Series 507
Seguridad	305	5200-VCI CASHCO
Muestreo Tanques	15	Series 900 -COMEVAL
3 vías	500	STOBU Series 800

Además de lo detallado hasta este punto serán necesarios controladores de nivel y pH en los tanques diseñados. Esto se verá reflejado en la etapa de evaluación económica.

7.3. Reactor Biológico secuencial

En este apartado se realiza el diseño del sistema de tratamiento referente al reactor biológico secuencial. Este diseño se basa en los resultados obtenidos tras la evaluación del proceso en la eliminación de contaminantes emergentes. El diseño se realiza según la norma UNE-EN 10628-1:2015 (Figura 30). Este tipo de tecnología no tendría sentido como sustitución de los dos procesos previos puesto que la cantidad de agua a tratar sería muchas más de la necesaria. Por ello se diseña como tratamiento de las corrientes concentradas de los procesos de membrana.

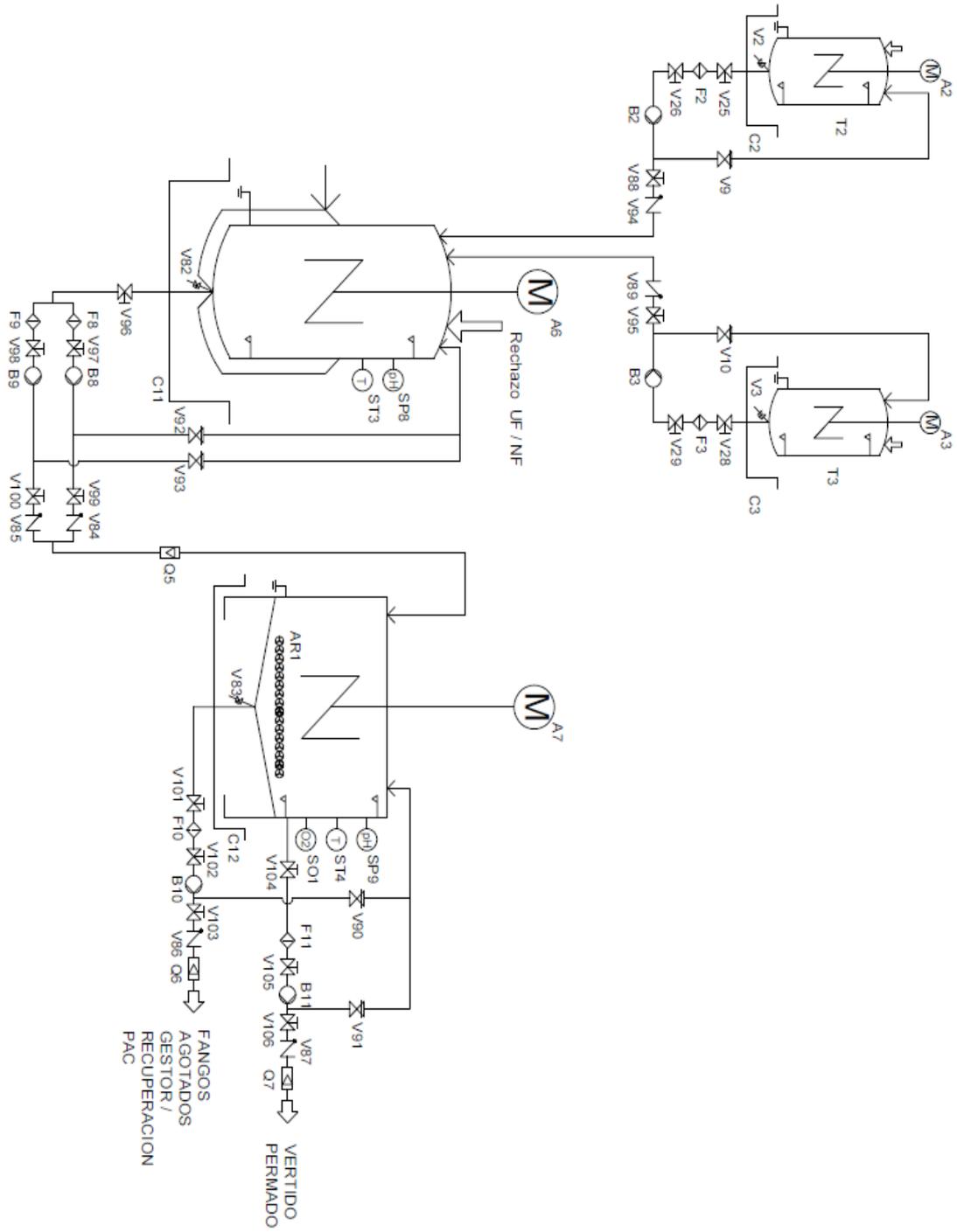


Figura 30. Diagrama flujo proceso reactor biológico secuencial

Al igual que ocurre con el resto de procesos se divide el diseño en distintas partes para su diseño, en este caso se contemplan las etapas de acondicionamiento, reacción biológica y vertido.

7.3.1. Circuito de reacción biológica

Esta etapa del proceso contempla el diseño del reactor, así como la impulsión del fluido hasta el mismo.

El primer paso para el diseño del reactor es la definición de la duración de las etapas del reactor biológico secuencial. En base a la bibliografía consultada y evaluada en el apartado de evaluación de este mismo proceso se decide realizar la distribución de tiempos por etapa presentada en la Tabla 21:

Tabla 21: Distribución de tiempos SBR

Etapa	Tiempo (min)
Llenado	10
Reacción	405
Sedimentación	50
Decantación	10
Parada	5

En total el proceso dura 480 minutos o lo que es lo mismo 8 horas. Teniendo en cuenta un funcionamiento continuo y diario de la planta es posible realizar 3 procesos completos al día por reactor. Una vez conocida esta información se procede a diseñar el número de reactores y su volumen.

El caudal de alimento del reactor SBR es la suma de los rechazos de UF y NF. Como se puede ver en la Tabla 14 este caudal es de $1.2069 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Este caudal durante 24 horas implica un volumen de agua a tratar en condiciones punta de $104\ 276.16 \text{ m}^3$ al día. Considerando tres limpiezas diarias implican un volumen de tratamiento de $34\ 758.72 \text{ m}^3$ por ciclo. Se considera la instalación de 4 reactores biológicos de $8\ 689\ 68 \text{ m}^3$ para procesar esta demanda. Estos reactores pueden ser provistos por la empresa TANK CONNECTION con una gama de tanques desde 95 a $35\ 000 \text{ m}^3$ (ANEXO -Figura XIII)

Sin embargo, para el llenado de estos tanques en 10 minutos es necesario el empleo de bombas con caudales de impulsión suficientes. Puesto que se deben de impulsar $8\ 689.68 \text{ m}^3$ en 600 segundos el caudal necesario es $52\ 138.08 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Se decide instalar 2 bombas para el llenado de cada reactor lo cual hace un total de 8 bombas con un caudal de trasiego de $26\ 069.04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ cada una. Las electrobombas de la empresa SANTOS MAQUINARIA ELÉCTRICA S.L son capaces de aportar hasta $50\ 000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (ANEXO -Figura XIV), es por ello que se han seleccionado para el diseño de este proceso.

Empleado la Ec.45 para el cálculo de potencia y asumiendo un rendimiento de las bombas del 75% se obtiene el consumo por bomba:

$$P_{B\ SBR} = \frac{26\ 069.04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} * 4}{0.75 * 366} = 379 \text{ kW}$$

Además de impulsar el agua también será necesaria su agitación de modo que en base al ANEXO -Figura VII se ha seleccionado el agitador AMD.15.45b.710 con capacidad de agitación para 2000 m³. Será necesaria la instalación de 4 agitadores por reactor para asegurar una correcta agitación de la biomasa y el agua a tratar. Para el cálculo de la potencia se emplea la fórmula utilizada previamente y provista por el fabricante.

$$P_{aSBR} = \frac{7.5 * 2000}{1000} = 15kW$$

Respecto a la selección de los aireadores se ha elegido Aireador/Mezclador Sumergible HURRICANE® de la empresa Fluence. (ANEXO -Figura XV)

7.3.2. Circuitos de acondicionamiento y vertido

El circuito de acondicionamiento pretende en primer lugar una correcta homogenización de la mezcla y por otro corregir el pH del alimento para evitar un daño irreparable en la biomasa del reactor. Es por ello que se calcula la cantidad de ácido necesaria para el acondicionamiento de la mezcla desde un pH básico de 8 hasta uno de 7 en base al volumen diario de agua. El cálculo se realiza de forma homóloga al realizado en el caso de la ultrafiltración Ec38-40) y se obtiene una cantidad de ácido para 104 276m³ al día de 3421.71 gr de HCl. Puesto que se precisa de una disolución 0.1M se calcula el volumen necesario del tanque para contener esta disolución de acondicionamiento en las Ec.47 – 48.

$$mol\ HCl = \frac{3421.71gr}{36.46\ gr} = 93.84mole \quad Ec.47$$

$$Vtotal = \frac{mol\ HCl}{[HCl]} = \frac{93.48}{0.1} = 934.8\ litros \quad Ec.48$$

Una vez calculadas todas las cantidades de reactivos de acondicionamiento para los tres procesos, se puede estimar que para la contención de los mismos es suficiente con tanques de 3m³ tanto para la sosa como para el ácido dando así servicio al acondicionamiento desde la ultrafiltración hasta el SBR. No se eligen tanques de ningún proveedor en este caso puesto que el margen del tanque de limpieza respecto al volumen necesario para cada compuesto es de 25m³ y por lo tanto es posible almacenarlo en ellos por tener la misma concentración.

Puesto que el tanque de acondicionamiento ha de albergar la misma cantidad de agua que pasará a los reactores se eligen 4 tanques iguales a los diseñados como reactores de modo que sean provistos por el mismo fabricante y empleen los mismos agitadores consiguiendo una mezcla lo más homogénea posible con un pH =7

En lo que al circuito de vertido se refiere, el principal elemento del diseño son las bombas las cuales se emplearán las mismas a las seleccionadas en el caso de la entrada en el reactor puesto que el tiempo de vaciado es igual al de vertido.

7.3.3. Accesorios

En este caso es necesaria la instalación de sensores de pH, así como de oxígeno disuelto y de temperatura para poder realizar un correcto seguimiento del proceso y actuar en caso de que sea necesario sobre el mismo para corregirlo. Estos dispositivos quedan reflejados en la parte de la evaluación económica.

7.4. Sistema completo

En este apartado se presenta un diagrama completo (*Figura 31*) de la instalación puesto que hasta el momento se han diseñado las operaciones por separado. Aportando este diagrama una visión general del proceso.

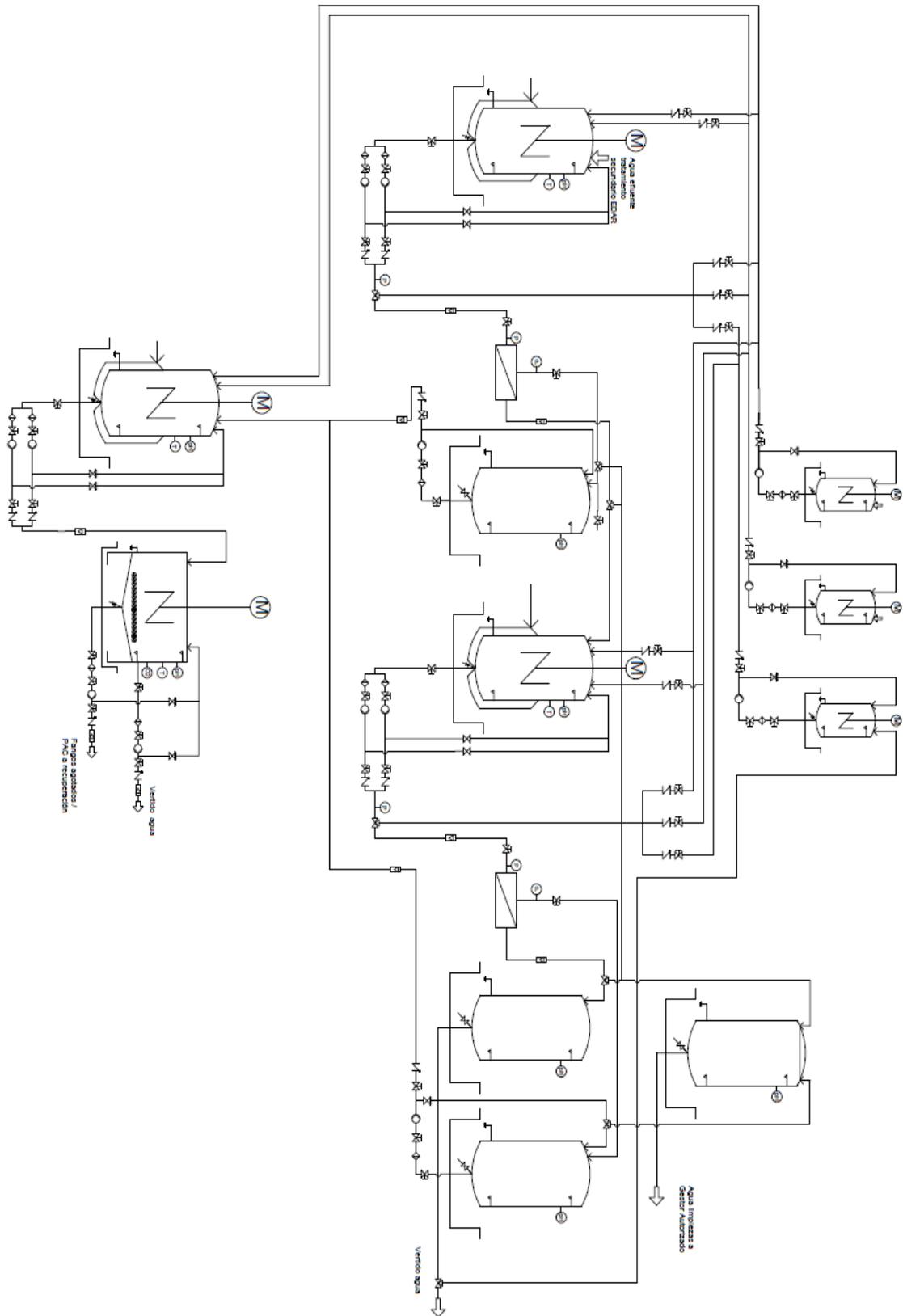


Figura 31. Diagrama de flujo de proceso del sistema completo

8. Evaluación Económica

El apartado de la evaluación económica se corresponde íntegramente con el documento de presupuesto. Se debe de tener en cuenta que, puesto que se trata de contaminantes emergentes el coste asociado al montaje del tratamiento terciario, es equivalente al coste de la eliminación total de los contaminantes emergentes.

Esto no ocurre con contaminantes los cuales se llevan controlando durante largos periodos de tiempo (Hadley, 1998) (Reig Martínez, Picazo Tadeo, & Hernández Sancho, 2001) (Dong hyun , Jeong dong, & Sang choon , 2014). En el estudio económico de este tipo de contaminantes, existen estudios donde se alcanza un balance entre el presupuesto de la instalación y el coste asociado al impacto de los contaminantes sobre el medio, también conocido como precios sombra (Hernandez Sancho, Molinos Senante, & Sala Garrido, 2009) (Molinos Senante, Hernández Sancho, & Sala Garrido, 2010). Esto es debido a que existen muchos estudios sobre los efectos de dichos contaminantes que analizan su efecto a largo plazo sobre el medio. A partir de ellos se realiza el cálculo de coeficientes asociados a cada contaminante y a partir de ellos el cálculo del coste del impacto sobre el medio.

En el caso de los contaminantes emergentes, aunque comienzan a presentarse precios sombra sobre algunos de ellos, es necesario el paso del tiempo y el estudio de los efectos no solo inmediatos sino a largo plazo de los mismos sobre el medio para establecer un valor real de las consecuencias.

Debido a ello, en este caso como se puede apreciar en el presupuesto el balance económico será negativo puesto que no se ha considerado ningún beneficio económico en la instalación de la planta.

Atendiendo al documento de presupuestos el coste de la instalación es de **TREINTA MILLONES TRESCIENTOS TREINTA Y CUATRO MIL QUINIENTOS CUATRO EUROS Y DIEZ CÉNTIMOS**

9. Conclusiones

En el presente Trabajo Final de Máster se ha estudiado la viabilidad técnica y económica de distintos procesos por separado y combinados para la eliminación de contaminantes emergentes específicos, con presencia demostrada en los efluentes de estaciones depuradoras de aguas.

La evaluación técnica se ha realizado para cada tecnología estudiada por separado a partir de proyectos previos analizando a su vez, no solo la eficacia de la misma sino, a partir de los resultados, las condiciones óptimas de operación para el rango de estudio.

Se puede concluir que la ultrafiltración es capaz de concentrar los compuestos estudiados en una corriente de rechazo. Para una separación más exhaustiva es necesaria la combinación de la ultrafiltración con un proceso de nanofiltración.

Se ha comprobado que la nanofiltración es capaz de retener casi en la totalidad los contaminantes emergentes presentes en el alimento, generando una corriente de permeado con una concentración despreciable de dichos contaminantes, en base a la concentración de entrada.

La evaluación técnica del reactor biológico secuencial permite concluir que es un método eficaz en la eliminación de los compuestos presentes en la corriente concentrada de rechazo. Además, es posible aumentar la eficacia de eliminación de aquellos compuestos con un bajo índice de eliminación mediante la adición de carbón activo en polvo al reactor biológico.

A partir de dicha evaluación, se ha diseñado una planta para el tratamiento del efluente de una EDAR correspondiente a una población de 400.000 habitantes equivalentes. Con el diseño de dicha instalación el alumno ha desarrollado capacidad de autodecisión, la capacidad del diseño de equipos e instalaciones de grandes dimensiones y la capacidad de autoaprendizaje aumentando así sus conocimientos y afianzando aquellos adquiridos durante el Máster en Ingeniería Química

Basado en el diseño de la planta se ha realizado una evaluación económica de la implantación de la misma. Sin embargo, debido a que actualmente es incierto el impacto económico a largo plazo de los efectos derivados del vertido de este tipo de contaminantes en el medio, esta evaluación económica refleja el coste íntegro de la eliminación de los contaminantes.

Por último y en base a los conocimientos adquiridos en la consecución del trabajo se contempla en proceso diseñado no solo como una opción a modo de sistema terciario en estaciones depuradoras de agua, sino que también podría ser interesante su aplicación a la recuperación de fármacos en el vertido de hospitales o laboratorios.

10. Bibliografía

- A.Hernandez, F.Tejerina, Arribas, J., Martinez, L., & Martinez, F. (1990). *Microfiltración Ultrafiltración y ósmosis inversa* (Vol. 4). Murcia: Secretariado de publicaciones Universidad de Murcia.
- AEMPS. (2015). *Utilización de medicamentos antidepresivos en España durante el periodo 2000-2013*. Madrid.
- Akinbowale, O. L., Peng, H., Grant, P., & Barton, M. D. (2007). Antibiotic and heavy metal resistance in motile aeromonads and pseudomonads from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farms in Australia. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 177-182.
- Al Saleh, I. (1994). Pesticides: a review article. *J Environ Pathol Toxicol Onco*, 151-161.
- Alderman, M. H., Madhavan, S., & Cohen, H. (1996). Antihypertensive drug therapy The effect of JNC criteria on prescribing patterns and patient status through the first yea. *American Journal of Hypertension*, 413-418.
- Baker, R. W. (2004). *Membrane Technology and Applications* (2ª ed.). Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Beteta Riera, A. (2011). *E.D.A.R para una población de más de 100.000 habitantes equivalentes*. Barcelona: UPC.
- Bolong, N., Ismail, A. F., Salim, M. R., & Matsuura, T. (2009). A review of the effects of emerging contaminants in wastewater and options for their removal. *Desalination*, 229-246.
- CABOT. (08 de 2017). Obtenido de <http://www.cabotcorp.com/solutions/products-plus/activated-carbon/powdered>
- Camacho Muñoz, M., Santos, J., Aparicio, I., & Alonso, E. (2010). Presence of pharmaceutically active compounds in Doñana Park (Spain) main watersheds. *Journal of Hazardous Materials*, 1159-1162.
- Damià Barceló, L., & López de Alda, M. J. (2007). *Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes*. Barcelona: Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales-CSIC .
- Dong hyun , O., Jeong dong, L., & Sang choon , L. (2014). A new approach to measuring shadow price: Reconciling engineering and economic perspectives. *Energy Economics*, 66-77.
- Duong, H. A., Pham, N. H., Nguyen, H. T., Hoang, T. T., Pham, H. V., Pham, V. C., . . . Alder, A. C. (2008). Occurrence, fate and antibiotic resistance of fluoroquinolone antibacterials in hospital wastewaters in Hanoi, Vietnam. *Chemosphere*, 968-973.
- Durá María, J. (2016). *DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS PARA ELIMINACIÓN DE COMPUESTOS FARMACÉUTICOS PROCEDENTES DE SALIDA DE EDAR (30.000 HE)*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- emis. (Febrero de 2010). *energie- en milieu-informatiesysteem voor het Vlaamse Gewes*. Obtenido de <https://emis.vito.be/en/techniekfiche/microfiltration>

- FILMTEC Membranes. (2011). *System Design: The Steps to Design a Membrane System*. The Dow Chemical Company.
- Foundation, A. W., Eau, L. d., & Africa, Q. R. (1998). *Tratamiento del agua por procesos de membrana*. Madrid: McGRAW H-HILL.
- GalaQuim. (08 de 2017). *CPL GalaQuim*. Obtenido de Carbón Activo: <http://www.galaquim.com/carbon-activo-pellets.html>
- Gallego Molina, A. D. (2011). *Caracterización y tratamiento mediante membranas de las aguas residuales de descalcado de una industria de curtidos para su reutilización*. Valencia.
- García Ivars, J., Durá María, J., Moscardó Carreño, C., Carbonell Alcaina, C., Alcaina Miranda, M., & Iborra Clar, M. (2016). Rejection of trace pharmaceutically active compounds present in municipal wastewaters using ceramic fine ultrafiltration membranes: Effect of feed solution pH and fouling phenomena. *Separation and Purification Technology*, 58-71.
- Gil, M. J., Soto, A., Usma, J., & Gutiérrez, O. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia*, 52-73.
- Global Asset Protection Services LLC. (2015). *SOLVENT RECOVERY WITH ACTIVATED CARBON*. Hartford Connecticut : XL CATLIN.
- González Cruz, M. C.-S. (2015). *PROYECTOS. Introducción al proyecto y documentos del proyecto*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia.
- Guerra, P., Kim, M., Shah, A., Alaei, M., & Smyth, S. A. (2014). Occurrence and fate of antibiotic, analgesic/anti-inflammatory, and antifungal compounds in five wastewater treatment processes. *Science of The Total Environment*, 235-243.
- Guizard, C. (1999). *Clasificación de las membranas y de los procesos que las utilizan. Cuaderno Firp S452-B Modulo de enseñanza en fenomenos interfaciales*. Mérida, Venezuela.
- Hadley, D. (1998). *Estimation of shadow prices for undesirable outputs: an application to UK dairy farms*. Loughborough: University of Nottingham.
- Hernandez Sancho, F., Molinos Senante, M., & Sala Garrido, R. (2009). Economic valuation of environmental benefits from wastewater treatment processes: An empirical approach for Spain. *Science of the Total Environment*, 953-957.
- Hernández, A. (2001). *Saneamiento y alcantarillado: vertidos de aguas residuales*. Paraninfo.
- Hernando, M., Mezcuá, M., Fernández Alba, A., & Barceló, D. (2006). Environmental risk assessment of pharmaceutical residues in wastewater effluents, surface waters and sediments. *Talanta*, 334-342.
- Himmelsbach, M., Buchberger, W., & Klampfl, C. W. (2006). Determination of antidepressants in surface and waste water samples by capillary electrophoresis with electrospray ionization mass spectrometric detection after preconcentration using off-line solid-phase extraction. *Electrophoresis*, 1220-1226.
- Jiménez Cartagena, C. (2011). Contaminantes orgánicos emergentes en el ambiente: productos farmacéuticos. *Lasallista de Investigación*, 143-153.

- Lapworth, D., & Gooddy, D. (2006). Source and persistence of pesticides in a semiconfined chalk aquifer of southeast England. *Environmental Pollution*, 1031-1044.
- Lonappan, L., Pulicharla, R., Rouissi, T., Brar, S. K., Verma, M., Surampalli, R. Y., & Valero, J. R. (2015). Diclofenac in municipal wastewater treatment plant: quantification using laser diode thermal desorption—atmospheric pressure chemical ionization—tandem mass spectrometry approach in comparison with an established liquid chromatography-electrospray ionizat. *Journal of Chromatography A*, 106-113.
- López, A., Dualde, P., Yusà, V., & Coscollá, C. (2016). Retrospective analysis of pesticide metabolites in urine using liquid chromatography coupled to high-resolution mass spectrometry. *Talanta*, 547-555.
- Martella, L. (2016). *Removal of pharmaceutical compounds from wastewater secondary effluents by NF/RO membranes*. Bologna: Università Di Bologna.
- Maurer, M., Escher, B. I., Richle, P., Schaffner, C., & Alder, A. C. (2007). Elimination of β -blockers in sewage treatment plants. *Water Research*, 1614-1622.
- METCALF & EDDY. (1995). *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid: McGraw-Hill.
- Molinos Senante, M., Hernández Sancho, F., & Sala Garrido, R. (2010). Economic feasibility study for wastewater treatment: A cost-benefit analysis. *Science of the Total Environment*, 4396-4402.
- Molinos-Senante, M., Reif, R., Garrido-Baserba, M., Hernández - Sancho, F., Omil, F., Poch, M., & Sala - Garrido, R. (2013). Economic valuation of environmental benefits of removing pharmaceutical and personal care products from WWTP effluents by ozonation. *Science of the Total Environment*, 409-415.
- Mulder, M. (2003). *Basic Principles of Membrane Technology*. Kluwer Academic Publishers.
- Naciones Unidas. (2017). *AGUAS RESIDUALES EL RECURSO DESAPROVECHADO*.
- NEW ENGLAND INTERSTATE WATER POLLUTION CONTROL COMMISSION. (2005). *Sequencing Batch Reactor Design and Operational Considerations*. Lowell, MA.
- Peiró Ortiz, G. (2016). *Diseño de un proceso biológico secuencial de SBR para la eliminación de antibióticos*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Petrovic, M., Gonzalez, S., & Barcelo, D. (2003). Analysis and Removal of Emerging Contaminants in Wastewater and Drinking Water. *Trends in Analytical Chemistry*, 685-696.
- RAE, R. A. (01 de 06 de 2017). *Diccionario de la lengua española (Edición del tricentenario)*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=2pNbk3K>
- Reche Guillem, N. (2015). *DESARROLLO DE UN PROTOCOLO DE CARACTERIZACIÓN Y TESTEO PARA MEMBRANAS TUBULARES CERÁMICAS EN UNA PLANTA PILOTO DE LABORATORIO*. Ibi.
- Reig Martínez, E., Picazo Tadeo, A., & Hernández Sancho, F. (2001). The calculation of shadow prices for industrial wastes using distance functions: An analysis for Spanish ceramic pavement firms. *International journal of productin economics*, 277-285.

- Rossner, A., Snyder, S., & Knappe, D. (2009). Removal of emerging contaminants of concern by alternative adsorbents. *Water Research*, 3787-3796.
- Santos, J., Aparicio, I., & Alonso, E. (2007). Occurrence and risk assessment of pharmaceutically active compounds in wastewater treatment plants. A case study: Seville city (Spain). *Environment International*, 596-601.
- Scott, K., & R, H. (1996). *Industrial membrane separation technology*. London.
- Sinclair, C., & Boxall, A. (2003). Assessing the Ecotoxicity of Pesticide Transformation Products. *Environmental Science and Technology*, 4617-4625.
- Sotto Díaz, A. (Diciembre de 2008). Aplicación e la tecnología de membranas de nanofiltración y ósmosis inversa para el tratamiento de disoluciones acuosas de compuestos fenólicos y ácidos carboxílicos.
- Taxe Würsch, A. (2005). *WASTEWATERS: OCCURRENCE OF PHARMACEUTICAL SUBSTANCES AND GENOTOXICITY Tesis Docteur Sciences*. Lausanne, EFPL: 2005.
- Ternes, T. A. (1998). Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. *Water Research*, 3245-3260.
- The Guardian. (08 de 2017). *The Guardian*. Obtenido de Clothing to dye for: the textile sector must confront water risks: <https://www.theguardian.com/sustainable-business/dyeing-textile-sector-water-risks-adidas>
- UK Government. (2016). *Tackling drug-resistant infections globally: Final report and recommendations*.
- UNITED NATIONS. (2000-2001). *A guide to World Resources 2000-2001*.
- Vilbrandt, F. (1934). *Chemical engineering plant design*. McGraw-Hill.
- Vona, A., Iborra Clar, M. I., Mendoza Roca, J. A., & Yolanda Picó, G. I. (2015). Comparison of different removal techniques for selected pharmaceuticals. *Journal of Water Processing Engineering*, 48-57.
- Wade, C. (19 de Noviembre de 2014). *ENFOS*. Obtenido de Wool & Water: Incredible Waste in Asia's Textile Industry: <http://www.enfos.com/blog/2014/11/19/waste-asias-textile-industry/>
- Watkinson, A., Murby, E., Kolpin, D., & Costanzo, S. (2009). The occurrence of antibiotics in an urban watershed: From wastewater to drinking water. *Science of The Total Environment*, 2711-2723.
- Won Jin, S., Lee, J., & Jeong Eun, O. (2010). Occurrence and fate of pharmaceuticals in wastewater treatment plants and rivers in Korea. *Environmental Pollution*, 1938-1947.
- World Economic Forum. (2016). *THE GLOBAL RISK REPORT 2016*.
- Zapata Montoya, J. E. (2006). *Efecto de la limpieza química en la permeabilidad de membranas cerámicas de ultrafiltración*. Granada: Universidad de Granada.
- Zuriga Agustí, E. (2009). *Diseño de una instalación de tratamiento para la reutilización de un efluente textil (Q=50 m³/día) mediante la combinación de un reactor biológico secuenciado y nanofiltración*. Valencia: Universitat Politècnica de València.

DOCUMENTO II

PRESUPUESTO

En este documento se presenta el coste económico asociado al proyecto diseñado en el presente trabajo final de máster. Este desarrollo del coste económico o presupuesto tiene en cuenta únicamente los elementos diseñados a lo largo del proyecto sin tener en cuenta los ensayos previos o estudios realizados en la obtención de los resultados presentados.

Para la realización del presupuesto se deben realizar las mediciones necesarias para la obtención de las diferentes unidades de obra que componen el proyecto, así como determinar el precio unitario de las mismas. A partir de estas premisas es posible obtener el precio (González Cruz, 2015) total del proyecto.

1. Presupuestos parciales

1.1. Presupuesto de mano de obra

En el presente apartado se recoge el coste económico asociado a la realización de la planta asumiendo 4 meses como el plazo de tiempo necesario para su consecución. Se considera que los operarios realizan jornadas completas de 8 horas al día. La mano de obra queda reflejada en la Tabla. I.

Tabla I. Presupuesto mano de obra

Código	Ud.	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Importe
1		MANO DE OBRA			
1.01	h	Peón ordinario	960	12.77	12 259.20
1.02	h	Oficial de primera	960	13.42	154 598.40
1.03	h	Jefe de montaje	960	14.20	163 584.00
		Ingeniero Químico	960	18.25	210 240.00
				Total	675 532.80

El coste total asociado a la mano de obra necesaria para la consecución de la instalación asciende a **SEISCIENTOS SETENTA Y CINCO MIL QUINIENTOS TREINTA Y DOS EUROS Y OCHENTA CÉNTIMOS**

1.2. Presupuesto equipos e instrumentación

Tabla II. Presupuesto equipos e instrumentación

Código	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Importe
2	ALMACENAMIENTO			
2.01	Tanque Ref 2005	1	92 790.00	92 790.00
2.02	Tanque Ref 3565	9	145 581.00	1 310 229.00
2.03	Tanque Ref 1945	3	78 620.00	235 860.00
2.04	Tanque Ref 3105	3	101 481.00	304 443.00
2.05	Tanque Ref 1306	1	70 565.00	70 565.00
2.06	Tanque 9000 m3	8	26 420.00	211 360.00
			Total	2 225 247.00
3	BOMBEO			
3.01	Bomba ARS-500-58CR	3	152 227.00	456 681.00
3.02	Bomba MC 250600	2	163 438.00	326 876.00
3.03	Bomba GNI-150-26	4	8 143.00	32 572.00
3.04	Bomba SANTOS 50 000 m ³ h ⁻¹	16	288 731.00	4 619 696v
			Total	5 435 825.00
4	AGITACIÓN			
4.01	Agitador AMD.07.18.1440	8	63 726.00	509 808.00
4.02	Agitador AMD.15.45b.710	16	72 560.00	1 160 960.00
4.03	Aireador HURRICANE®	4	125 226.00	500 904.00
			Total	2 171 672.00
5	FILTRADO			
5.01	Filtro HSCL	4	44 251.00	177 004.00
5.02	Filtro HSC	25	101 223.00	2 530 575.00
			Total	2 707 579.00
6	MÓDULO DE MEMBRANAS			
6.01	Membranas UF INSIDE CERAM + Carter 187	15	78 000.00	1 170 000.00
6.02	Membranas NF SEIRO MPS 34	181	4 560.00	825 360.00
6.03	Carter NF	23	1 460.00	33 580.00
			Total	2 028 940.00

Tabla II. Presupuesto equipos e instrumentación

Código	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Importe
7	VALVULERÍA Y CONDUCCIONES			
7.01	Valvula Series 900 (DN 15)	20	184.00	3 680.00
7.02	Valvula Series SW (DN 1000)	32	3 984.00	127 488.00
7.03	Valvula Series SW (DN 650)	9	2 987.00	26 883.00
7.04	Valvula Series 507 (DN 1000)	77	56 603.00	4 358 431.00
7.05	Valvula Series 507 (DN 650)	20	31 162.00	623 240.00
7.06	Valvula Series 800 (DN 500)	13	9 725.00	126 425.00
7.07	Valvula 5200 (DN 305)	43	11 940.00	513 420.00
7.08	Tubería PN6 DN (905) (mm)	500	386.64	14 870.65
7.09	Codos (DN 905)	4	840.27	3 361.08
7.10	Tubería PN6 DN (642) (mm)	500	195.92	7 535.46
7.11	Codos (DN 642)	4	670.71	2 682.58
			Total	5 808 017.04
8	EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN AUXILIAR			
8.01	Sensor pH	24	170.00	4 080.00
8.02	Sensor Temperatura	20	71.00	1 420.00
8.03	Sonda de oxígeno	8	250.00	2 000.00
8.04	Manómetro	10	325.00	3 250.00
8.05	Caudalímetro	14	252.00	3 528.00
			Total	14 278.00

Tabla III. Resumen presupuesto equipos e instrumentación

Código	Descripción	Importe €
2	ALMACENAMIENTO	2 225 247.00
3	BOMBEO	5 435 825.00
4	AGITACIÓN	2 171 672.00
5	FILTRADO	2 707 579.00
6	MÓDULO DE MEMBRANAS	2 028 940.00
7	VALVULERÍA Y CONDUCCIONES	5 808 017.04
8	EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN AUXILIAR	14 278.00
	Total	20 391 558.04

El coste total asociado a los equipos e instrumentación necesarios para la consecución de la instalación asciende a **VEINTE MILLONES TRESCIENTOS NOVENTA Y UN MIL QUINIENTOS CINCUENTA Y OCHO EUROS Y CUATRO CÉNTIMOS.**

2. Presupuesto total de ejecución material

Tabla IV. Resumen presupuesto total de ejecución material

Descripción	Importe €
Mano de obra	675 532.80
Equipos e instrumentación	20 391 558.04
Total	21 067 090.84

El importe total asociado al presupuesto total de ejecución material asciende a **VEINTIUN MILLONES SESENTA Y SIETE MIL NOVENTA EUROS Y OCHENTAY CUATRO CÉNTIMOS.**

3. Presupuesto total de ejecución por contrata

Tabla V. Resumen presupuesto total de ejecución por contrata

Presupuesto	Importe €
Presupuesto total de ejecución por contrata	21 067 090.84
Gastos Generales (13%)	2 738 721.81
Beneficio Industrial (6%)	1 264 025.45
Total	25 069 838.10

El importe total asociado al presupuesto total de ejecución por contrata asciende a **VEINTICINCO MILLONES SESENTA Y NUEVE MIL OCHO CIENTOS TREINTA Y OCHO EUROS Y DIEZ CÉNTIMOS**.

4. Presupuesto base de licitación

Tabla VI. Resumen presupuesto base de licitación

Presupuesto	Importe €
Presupuesto total de ejecución por contrata	25 069 838.10
IVA.(21%)	5 264 666.00
Total	30 334 504.10

El importe total asociado al presupuesto total de ejecución por contrata asciende a **TREINTA MILLONES TRESCIENTOS TREINTA Y CUATRO MIL QUINIENTOS CUATRO EUROS Y DIEZ CÉNTIMOS**.

DOCUMENTO III

ANEXO



TUBULAR CERAMIC MEMBRANES












INSIDE CÉRAM® tubular ceramic membranes produced by TAMI Industries made entirely from high purity raw materials. Large range of geometries that correspond to user's needs.

Tubular ceramic membranes operating in the separation ranges of :

Microfiltration
Ultrafiltration
Fine Ultrafiltration.

CUT-OFF TABLE

UF Fine	UF	MFT
1 kg/mol	15 kg/mol	0,14 µm
3 kg/mol	50 kg/mol	0,20 µm
5 kg/mol	150 kg/mol	0,30 µm
8 kg/mol	300 kg/mol	0,45 µm
		0,80 µm
		1,40 µm

Characteristics

Membranes are available in the following lengths:

Standard :
 Ø 10 mm : 250 / 600 / 1201 mm
 Ø 20 mm : 1178 mm
 Ø 25 mm : 580 / 1178 mm
 Ø 41 mm : 1020 mm

Special :
 Ø 25 : 850 / 1020 mm
 Ø 41 mm : 850 / 1000 mm

Advantages

- ⊕ Excellent performances in MF/ UF /UF Fine
- ⊕ Long working life.
- ⊕ Chemical stability
- ⊕ Geometrical configurations compatible with the existing industrial units.
- ⊕ Regeneration by chemical action.
- ⊕ Sterilization by vapour and oxidising agents.
- ⊕ Autoclavable.



Operation

The solution to be treated is fed into the carter containing the membranes, by a recirculation pump, which ensures that the liquid flows tangentially to the surface of the membranes.

Permeate (or filtrate) flows out of the carter through two permeate outlets.

Retentate is recirculated by a pump to the feed tank containing the solution to be treated.

Applications

-  Food and Beverage
 - ⊕ Milk, Wine, Juice, Sugar...
-  Bio-Industries
 - ⊕ Fermentation products
 - ⊕ Fermenter coupling
-  Environmental treatment
 - ⊕ Effluents
 - ⊕ Water
 - ⊕ Oil/ Water separation



©2015 TAMI Industries

Figura. I: Gama producto TAMI INDUSTRIE Figura. IS, INSIDE CÉRAM

TUBULAR CERAMIC MEMBRANES

	Ø Ext (mm)	Nbr (cx)	Ø Int (mm)	m ²	MWCO
	10	1	6	0,02	MF/UF/UFF
	10	7	2	0,06	MF/UF/UFF
	20	1	15	0,06	MF/UF
	20	5	6	0,13	MF/UF
	20	13	3,5	0,21	MF/UF
	20	32	2	0,33	MF/UF
	25	7	6	0,16	MF/UF/UFF
	25	8	6	0,20	MF/UF/UFF
	25	11	4,6	0,25	MF/UF
	25	19	3,5	0,25	MF/UF/UFF
	25	23	3,5	0,35	MF/UF/UFF
	25	39	2,5	0,5	MF/UF/UFF
	25	93	1,6	0,6	MF/UF
	41	37	3,6	0,43	MF/UF
	41	25	5,5	0,47	MF/UF
	41	61	3,5	0,71	MF/UF

Cut off	MF/UF	UF fine
pH	0-14*	2-14*
Solvent	Resistant	Sensitive**

* : Limited resistance to concentrated hydrofluoric acids .
** : Consult us

Technical Characteristics

Support

- Material : Titanium Oxide TiO₂
- Bursting Pressure : >90 bars
- Average pore diameter: 4,5 µm
- Max working pressure: 10 bars
- pH stable : 0-14
- Solvent : stable
- Operating temperature: < 250 °C

Active layer

- MFT Active layer : TiO₂ + ZrO₂
- UF Active layer : ZrO₂
- UF fine Active layer : TiO₂

Standard Method of Regeneration

	MF/UF/Fine UF*
Base	NaOH - 15 g/l 85°C-30mn
Acid	HNO ₃ - 5ml/l 50°C -15mn
Steam sterilisation	121°C - 30mn
Oxidants :	2x10 ⁻³ V/V
- H ₂ O ₂ en solution at pH <3	
- NaOCl	300 ppm Cl ⁻

*: Fine UF membranes must be stored in a humid environment and Acid cleaning with done H₃PO₄ 1 ml/l



Distributed by:

Head office: ZA Les Laurons – CS 65 - 26111 Nyons cedex - France
Tel 04 75 26 47 69/Fax 04 75 26 47 87
Email : tami-info@tami-industries.com
Web : www.tami-industries.com

June 2016

TAMI INDUSTRIES keeps the right to modify at any time non contractual values and information of the present document.

Figura. I: Gama producto TAMI INDUSTRIES, INSIDE CÉRAM



CARTERS FOR TUBULAR CERAMIC MEMBRANES










Carters designed specifically for TAMI Industries tubular membranes ensure a maximum of area in a minimum of space with several connection possibilities.

A carter is made up of one S.S. tube providing 2 connections allowing the product to enter and exit.

Retentate connections available are:

- ⊗ ISO flange
- ⊗ ANSI flange
- ⊗ Clamp
- ⊗ Screw clamp



On either end of the carter is located a permeate outlet (2 connections). Membranes are placed inside the carter in parallel and are secured and protected with individual gaskets.

TAMI Industries gaskets guarantee the maximum protection in a minimum of space.

Gaskets are available in five materials:

- ⊗ EPDM
- ⊗ FFKM
- ⊗ HNBR
- ⊗ SILICONE
- ⊗ VITON

Advantages

- ⊗ Unequaled surface to volume occupied ratio.
- ⊗ Individual gaskets for membrane protection.
- ⊗ Compatible configurations with existing industrial units.



Operation

The solution to be treated is fed into the carter by a pump which allows tangential circulation in the membranes.

The permeate (or filtrate) comes out through two permeate outlets.

The retentate circulates inside the membranes continuously, part is either sent towards the feed tank or extracted.

The recommend circulation velocity is between 2 and 4.5 m/s for UF, and 4 to 6 m/s for the MFT.

Applications

- ⊗ Food Industry
 - ⊗ Milk, wine, juice...
- ⊗ Bio-Industry / Bio-Pharma
 - ⊗ Fermentation products, ferment coupling
 - ⊗ Vaccines
 - ⊗ Antibiotics
- ⊗ Environment
 - ⊗ Effluents
 - ⊗ Process water
 - ⊗ Decreasing bath
 - ⊗ Oil/Water separation



© 2017 TAMI Industries

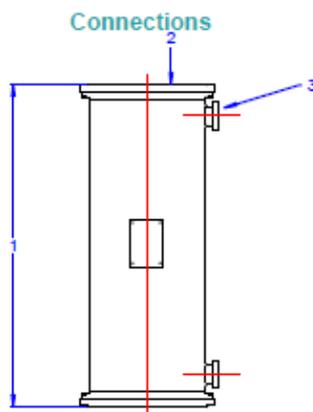
Figura. II: Carter TAMI INDUSTRIES, INSIDE CÉRAM-

CARTER FOR TUBULAR CERAMIC MEMBRANES

January 2017

Different carter capacities and corresponding filtration areas (m²)

Membrane type			Number of membranes per carter							
Shape	Ø ext (mm)	Channels	1	3	7	19	37	55	99	187
	25	8	0.20	0.60	1.40	3.80	7.40	11.00	19.80	37.40
	25	11	0.25	0.75	1.75	4.75	9.25	13.75	24.75	46.75
	25	23	0.35	1.05	2.45	6.65	12.95	19.25	34.65	64.45
	25	39	0.50	1.50	3.50	9.50	18.50	27.50	49.50	93.50
	25	93	0.60	1.80	4.20	11.40	22.20	33.00	59.40	112.20



Standard carter

carter - Ø25	1	2		3
Type	Length (mm)	Clamp	Flanges	Screw Clamp
Carter 1	1209	DN 38		Ø 25 Clamp
Carter 3	1209	DN 101,6	DN 65	DN 65 Ø 25 Clamp
Carter 7	1209	DN 101,6	DN 100	DN 100 Ø 25 Clamp
Carter 19	1209	DN 150	DN 150	DN 150 Ø 38 Clamp
Carter 37	1209	DN 200	DN 200	DN 200 Ø 38 Clamp
Carter 55	1209		DN 250	DN 250 Ø 51 Clamp
Carter 99	1234		DN 350	DN 350 Ø76.1 SMS
Carter 187	1234		DN 500	Ø104 SMS

Carter USDA: consult us.

Technical data

Process temperature: <95 °C

pH range: 0-14

Process maximum pressure: 10 bars,

(in aqueous phase, for fluids from the group II according to the directive 97/23/CE - article 9 - § 2.2)

● Material: 316 L/UB6/Duplex.

● Surface quality: (polishing grain)

● Standard: Ra < 1.6 µm.

● Option: Ra < 0.8 µm.

Distributed by:



Head office: ZA Les Laurons CS 65
26111 Nyons cedex - France
Tel +33 475 26 47 69/Fax +33 475 26 47 87
Email : tami-info@tami-industries.com
Web : www.tami-industries.com

TAMI INDUSTRIES keeps the right to modify at any time the non contractual values and information in the present document.

Figura. II: Carter TAMI INDUSTRIES, INSIDE CÉRAM-

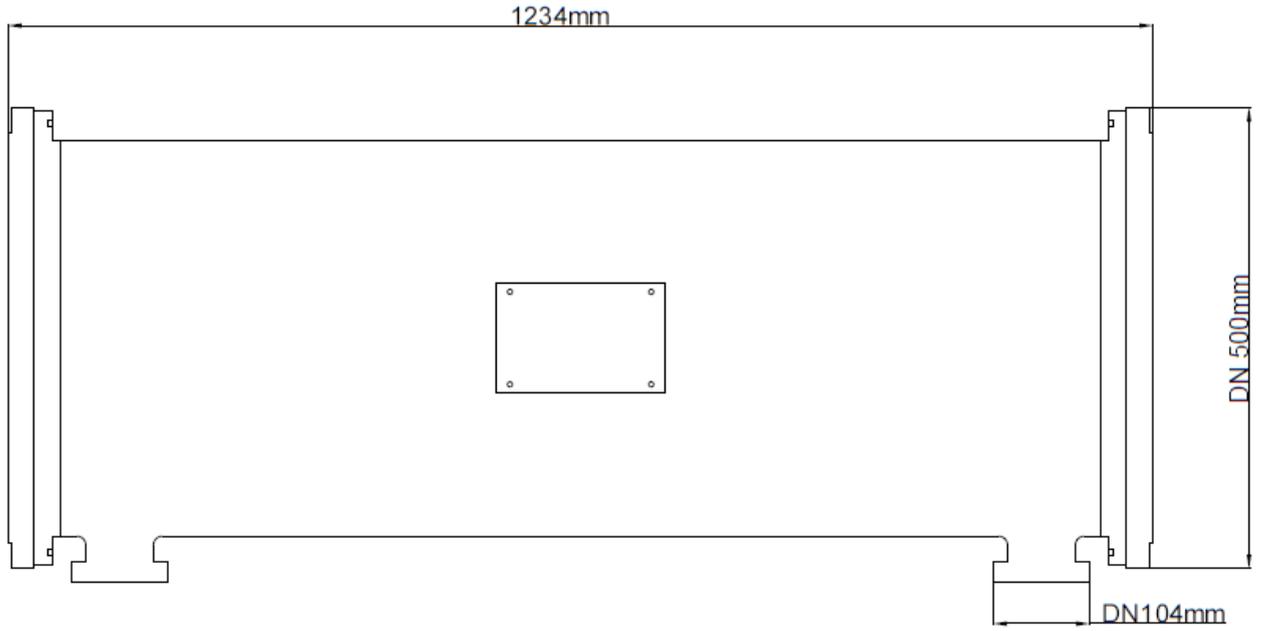


Figura. III: Carter TAMI INDUSTRIES, INSIDE CÉRAM-

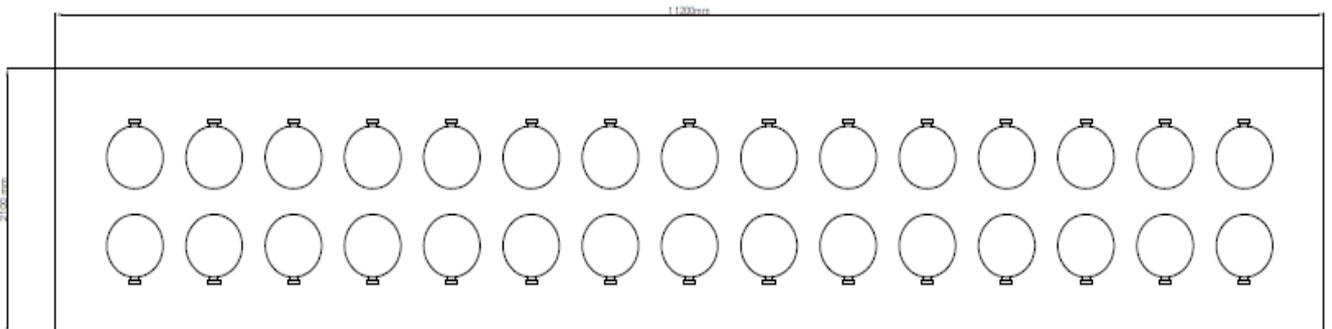


Figura. IV: Carter TAMI INDUSTRIES, INSIDE CÉRAM-

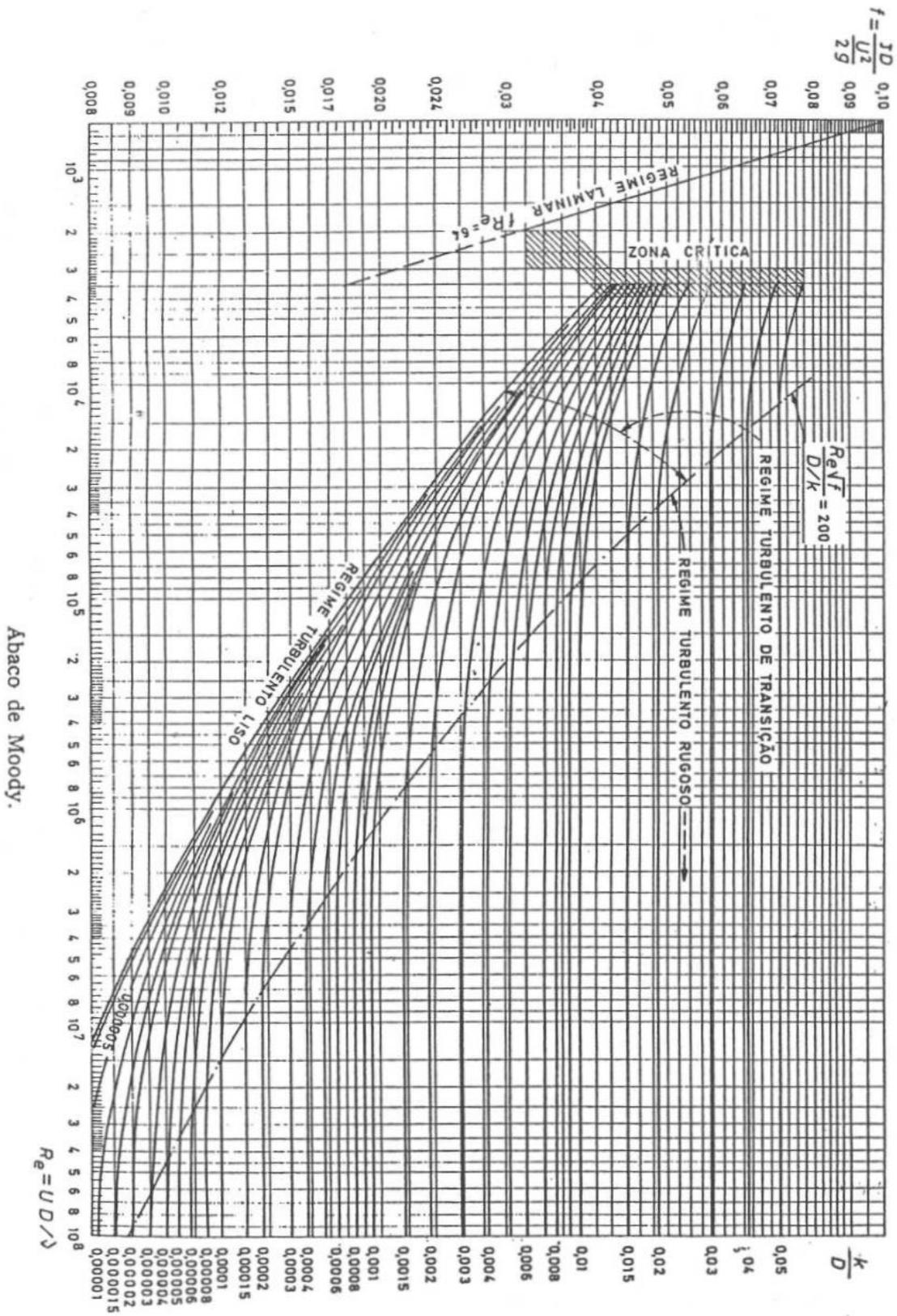


Figura. V: Ábaco de Moody

980 RPM

Tipo	Motor P2		DN mm	Paso mm	Peso Kg	m³/h Q	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500	3750	
	KW	HP					m.c.a.																						
ARS 250-350/26 CR	20	26	250	100	800	16	14,3	13,5	12,5	11,8	10,7	9,6	8,8	7,7	6,3														
ARS 250-350/38 CR	28,3	38,5	250	100	800	18,1	17	16,2	15,4	14,7	14	13,1	12	10,7	8,9														
ARS 250-400/75 CR	54,9	74,6	250	100	1250	25	24,3	23,8	23,2	22,6	21,7	20,6	19,2	17,3	14,9	11,9													
ARS 300-390/85 CR	82,2	85	300	125	1550	22	21,5	20,9	20,3	19,7	19,1	18,4	17,6	16,9	16,1	15,2	13	10,5	7,9	4,9									
ARS 300-390/70 CR	50,9	70	300	150	800	18,1	16,8	15,7	14,8	13,9	13,1	12,4	11,7	11	10,3	9,5	7,2	4,1											
ARS 400-440/185 CR	135,5	185	400	125	2300	29,4	29,3	29	28,7	28,3	27,9	27,3	26,7	26,1	25,4	24,6	22,6	20,4	18,1	15,8	13,6	11,6	9,9						
ARS 400-460/110 CR	81,9	110	400	125	2300	31,6	30,5	29,5	28,5	27,6	26,8	26	25,2	24,4	23,6	22,9	20,9	18,6	15,9	12,7	8,7								
ARS 400-460/140 CR	105,1	140	400	125	2300	27,2	26,3	25,5	24,7	23,9	23,1	22,3	21,5	20,7	19,9	19	16,8	14,4	11,7	8,7									
ARS 400-490/160 CR	119,5	162,4	400	125	2300	35,7	34,8	33,9	32,9	32	31	30	29,1	28,1	27,1	26,1	23,5	20,9	18,3										
ARS 400-490/265 CR	195,3	265,4	400	150	3800	38,7	37,8	37,1	36,3	35,5	34,8	34	33,3	32,5	31,8	31,1	29,3	27,4	25,6	23,6	21,5	19,3	16,9	14,3	11,6				
ARS 500-500/320 CR	236,9	320	500	150	4320	29	28,6	28,2	27,8	27,3	26,9	26,5	26,1	25,7	25,3	24,9	23,8	22,8	21,8	20,8	19,8	18,9	17,9	17	16	15,1	14,1		
ARS 500-540/330 CR	244,8	330	500	150	4500	42,1	41,3	40,7	40	39,5	38,9	38,4	37,9	37,4	37	36,5	35,4	34,2	32,9	31,4	29,5	27,2	24,5	21,2	17,2				
ARS 500-580/330 CR	242,7	329,9	500	150	4500				41,6	40,3	39,2	38,2	37,4	36,6	36	35,4	34,3	33,4	32,5	31,4	30,1	28,1	25,4	21,7	17				

Figura VI. Catálogo bombas IDEAL

Tipo	Motor P2		l/min	m³/h	0	1800	2400	3000	3300	3600	4000	4500	5400	6000	7200	8400	9600
	KW	HP			0	108	144	180	198	216	240	270	324	360	432	504	576
GNI 150-20	15	20		13	12,8	12,7	12,6	12,5	12,2	12	11,3	10,3	9,5				
GNI 150-20	18,5	25		14,6	14,6	14,6	14,5	14,3	14,2	14,1	13,6	13	12,3	10			
GNI 150-26	11	15		14	14	13,5	12,5	12	11,5	10	9						
GNI 150-26	15	20		16,2		16	15,8	15	14,7	14	12,5	11					
GNI 150-26	18,5	25		19		18,5	18,3	18	17,9	17,7	17	14,7	12,2				
GNI 150-26	22	30		21,5		21,5	21	20,5	20,3	20	19,5	18	16,5	12			
GNI 150-26	30	40		23,5		23	22,8	22,6	22,5	22,3	22	21,5	19	16			
GNI 150-32	22	30		21				21	20,5	20	19	16,8					
GNI 150-32	30	40		26,5				26,5	26	25,5	25	23,5	22				
GNI 150-32	37	50		33				33	32,5	32,3	32	31	29,7	26,7			
GNI 150-32	45	60		36,3					35,8	35,6	35,5	34,5	33,7	31			
GNI 150-40	55	75		41,5					41	40,5	40	38	36	31	25		
GNI 150-40	75	100		57					56	55,5	55,3	54	52,5	47,5	43	36	

Figura. VI: Catálogo bombas IDEAL

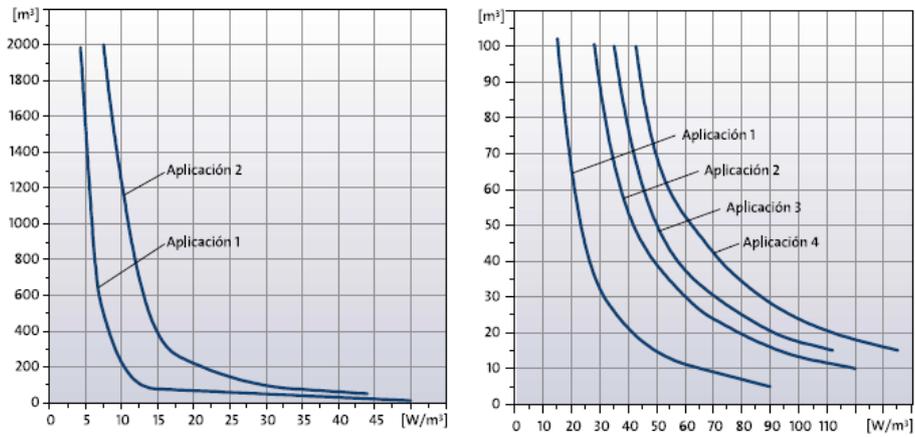
Medidas y Capacidades de los Tanques Cilíndricos.

Ø (m)	Radio (m)	Ø ref.	Altura Referencia																								
			01	15	02	25	03	35	04	45	05	55	06	65	07	75	08	85	09	95	10						
3,048	1,524	04	6	10	15	18	23	27	32	36	41	44	49														
3,810	1,905	05	9	15	23	29	36	42	50	56	63	69	77	83	90												
4,572	2,286	06	13	22	33	42	52	61	72	81	91	100	111	120	130	139	150										
5,334	2,667	07	18	30	44	56	71	83	98	110	124	136	151	163	177	189	204	216	230								
6,096	3,048	08	23	39	58	74	93	108	127	143	162	178	197	212	231	247	266	282	301	316	335						
6,858	3,429	09	30	49	73	93	117	137	161	181	205	225	249	269	293	313	337	357	381	401	425						
7,620	3,810	10	36	61	91	115	145	169	199	224	253	278	307	332	362	386	416	440	470	495	524						
8,382	4,191	11	44	74	110	139	175	205	241	271	306	336	372	402	437	467	503	533	569	598	634						
9,144	4,572	12	53	88	131	166	209	244	287	322	365	400	443	478	521	556	599	634	677	712	755						
9,906	4,953	13	62	103	153	195	245	286	338	378	428	470	519	561	611	653	703	744	794	836	886						
10,668	5,334	14	72	120	178	226	284	332	390	438	496	545	602	651	709	757	815	863	921	969	1,027						
11,430	5,715	15	82	137	204	259	326	381	448	503	570	625	692	747	813	869	935	991	1,057	1,113	1,179						
12,192	6,096	16	93	156	232	295	371	434	509	573	648	711	787	850	926	989	1,064	1,127	1,203	1,266	1,342						
12,954	6,477	17	105	177	262	333	419	490	575	646	732	803	888	959	1,045	1,116	1,201	1,273	1,358	1,429	1,515						
13,716	6,858	18	118	198	294	374	469	549	645	725	820	900	996	1,076	1,171	1,251	1,347	1,427	1,522	1,602	1,698						
14,478	7,239	19	132	221	327	416	523	612	718	807	914	1,003	1,110	1,199	1,305	1,394	1,501	1,590	1,696	1,785	1,892						
15,240	7,620	20	146	244	363	461	579	678	796	895	1,013	1,111	1,229	1,328	1,446	1,545	1,663	1,761	1,880	1,978	2,096						
16,002	8,001	21	161	269	400	508	639	747	878	986	1,117	1,225	1,355	1,464	1,594	1,703	1,833	1,942	2,072	2,181	2,311						
16,764	8,382	22	177	296	439	558	701	820	963	1,082	1,225	1,345	1,488	1,607	1,750	1,869	2,012	2,131	2,274	2,394	2,537						
17,526	8,763	23	193	323	480	610	766	896	1,053	1,183	1,339	1,470	1,625	1,756	1,913	2,043	2,199	2,329	2,486	2,616	2,772						
18,288	9,144	24	210	352	522	664	834	976	1,146	1,288	1,458	1,600	1,770	1,912	2,083	2,224	2,395	2,536	2,707	2,848	3,019						
19,050	9,525	25	228	382	567	721	905	1,059	1,244	1,398	1,582	1,736	1,921	2,075	2,260	2,414	2,598	2,752	2,937	3,091	3,275						
19,812	9,906	26	247	413	613	779	979	1,146	1,345	1,512	1,712	1,878	2,078	2,244	2,444	2,611	2,810	2,977	3,177	3,343	3,543						
20,574	10,287	27	266	445	661	840	1,056	1,235	1,451	1,630	1,846	2,025	2,241	2,420	2,636	2,815	3,031	3,210	3,426	3,605	3,821						
21,336	10,668	28	286	479	711	904	1,136	1,329	1,560	1,753	1,985	2,178	2,410	2,603	2,835	3,028	3,259	3,452	3,684	3,877	4,109						
22,098	11,049	29	307	514	762	970	1,218	1,425	1,674	1,881	2,129	2,336	2,585	2,792	3,041	3,248	3,496	3,703	3,952								
22,860	11,430	30	328	550	816	1,038	1,304	1,525	1,791	2,013	2,279	2,500	2,766	2,988	3,254	3,476	3,742	3,963									
23,622	11,811	31	351	587	871	1,108	1,392	1,629	1,913	2,149	2,433	2,670	2,954	3,190	3,474	3,711	3,995										
24,384	12,192	32	374	626	928	1,181	1,483	1,735	2,038	2,290	2,593	2,845	3,147	3,400	3,702	3,954											
25,146	12,573	33	397	665	987	1,255	1,577	1,845	2,167	2,435	2,757	3,025	3,347	3,615	3,937												
25,908	12,954	34	422	706	1,048	1,333	1,																				

Agitador/Acelerador	Potencia de salida, P _h [kW]	Potencia de entrada, P _i [kW]	Tensión nominal del motor [V]	Tipo de cable (Ø m)	Número de polos	Modo de funcionamiento 2)	Velocidad de la hélice [min ⁻¹]	i _h [A] 3)	Cos φ	Intensidad de arranque [A]	Número de álabes	Capacidad [m ³ /h]	Velocidad media [m/s]	Código de producto		
AMD.07.18.1410	0.75	1.3	400	H07RN-F4G1	4	St, triángulo	1410	1.9	0.75	9.3	3	231	2.6	96113490		
AMD.15.45B.710	1.5	2.01	230/400	A07RN-F 12G1.5	8	St, estrella	710	5.9	0.53	26.7	3	874	1.9	96496413		
AMD.25.45B.690	2.5	3.21	400			St, estrella	690	7.2	0.69	26.7		1058	2.3	96496412		
AMD.35.45B.705	3.5	4.86				St, triángulo	705	11.3	0.65	45.8		1245	2.71	96496411		
AMD.45.45B.675	4.5	6.08				St, triángulo	675	12.5	0.72	45.8		1435	3.12	96560925		
AMD.20.45.700	2.0	2.62				230/400	St, estrella	700	6.5	0.62		26.7	966	2.1	96560926	
AMD.30.45.710	3.0	4.23				400	St, triángulo	710	10.4	0.61		45.8	1151	2.51	96560927	
AMD.40.45.695	4.0	5.48					St, triángulo	695	12.0	0.68		45.8	1340	2.92	96560928	
AMG.15.40.325	1.5	1.88					230/400	St, estrella	325	4.2		0.75	21.0	1058	2.15	96094843
AMG.22.45.325	2.2	2.75						St, estrella	325	6.0		0.78	30.0	1350	2.34	96094844
AMG.30.47.328	3.0	3.75						St, triángulo	328	7.3		0.79	38.7	1629	2.50	96094845
AMG.40.52.326	4.0	5.00		St, triángulo	326			9.2	0.78	42.3	2118	2.72	96094846			
AMG.55.50.335	5.5	6.88	400/690	St, triángulo	335			12.9	0.82	65.8	2315	3.21	96094847			
AMG.75.58.336	7.5	9.38		A07RN-F 12G2.5	St, triángulo			336	16.4	0.84	98.4	3234	3.40	96094848		
AMG.110.68.334	11.0	13.70		St, triángulo	334			24.0	0.87	124.8	4563	3.49	96094849			
AMG.150.73.354	15.0	18.70		A07RN-F 12G4	St, triángulo			354	33.0	0.76	191.4	5907	3.92	96094850		
AMG.185.78.351	18.5	23.10		230/400	St, triángulo	351		39.0	0.80	241.8	6985	4.06	96094851			
AFG.15.130.76	1.5	1.84			400/690	St, triángulo		76	4.2	0.67	21.0	5874	1.23	96094852		
AFG.22.130.77	2.2	2.70				St, estrella	77	6.0	0.78	30.0	6782	1.42	96094853			
AFG.30.130.92	3.0	3.75				St, triángulo	92	7.3	0.78	38.7	7546	1.58	96094854			
AFG.40.130.93	4.0	5.00				St, triángulo	93	9.2	0.83	42.3	8453	1.77	96094855			
AFG.13.180.30	1.3	1.63				230/400	St, estrella	30	3.9	0.61	17.6	7461	0.81	96560917		
AFG.18.180.34	1.8	2.25	St, estrella				34	4.5	0.74	20.3	8770	0.96	96560919			
AFG.24.180.39	2.4	3.00	400				St, triángulo	39	7.1	0.61	32.0	10075	1.10	96560921		
AFG.37.180.46	3.7	4.63					St, triángulo	46	8.0	0.80	36.0	12147	1.33	96560922		
AFG.15.230.22	1.5	1.88					230/400	St, estrella	22	5.2	0.52	24.0	10470	0.70	96094856	
AFG.22.230.25	2.2	2.75		St, estrella				25	6.4	0.63	29.0	12265	0.82	96094857		
AFG.30.230.29	3.0	3.75		400/690	St, triángulo			29	8.6	0.66	41.3	15556	1.04	96094858		
AFG.40.230.35	4.0	5.00			St, triángulo			35	10.0	0.73	43.7	17500	1.17	96094859		

Figura. VIII: Catálogo Agitadores GRUNDFOS

Los diagramas de selección (curvas) de los agitadores Grundfos están basados en tanques cuadrados y redondos.



Tipo de agitador	Potencia de motor P _i [kW]	Longitud máx. del tanque para un agitador [m]			
		Aplicación 1	Aplicación 2	Aplicación 3	Aplicación 4
AMD.07.18.1410	0.75	6 m	2.5 m	2.0 m	1.5 m
AMD.15.45B.710	1.50	16 m	-	5.5 m	4.5 m
AMD.25.45B.690	2.50	20 m	-	6.0 m	5.0 m
AMD.35.45B.705	3.50	24 m	-	6.5 m	5.5 m
AMD.45.45B.675	4.50	28 m	-	7.0 m	6.0 m
AMD.20.45.700	2.00	16 m	11 m	5.0 m	4.5 m
AMD.30.45.710	3.00	20 m	13 m	6.0 m	5.0 m
AMD.40.45.695	4.00	24 m	14 m	6.5 m	5.5 m
AMG.15.40.325	1.50	20 m	10 m	5.5 m	4.0 m
AMG.22.45.325	2.20	22 m	11 m	6.0 m	4.5 m
AMG.30.47.328	3.00	24 m	12 m	6.5 m	5.0 m
AMG.40.52.326	4.00	26 m	13 m	7.0 m	5.5 m
AMG.55.50.335	5.50	31 m	15 m	8.6 m	6.0 m
AMG.75.58.336	7.50	37 m	18 m	10.0 m	7.5 m
AMG.110.68.334	11.00	45 m	22 m	12.5 m	9.0 m
AMG.150.73.354	15.00	55 m	27 m	15.0 m	11.0 m
AMG.185.78.351	18.50	65 m	30 m	18.0 m	13.0 m

Figura. VIII: Catálogo Agitadores GRUNDFOS



La Calidad...
como Norma

Filtros Autolimpiantes Serie HSC

Filtros a contralavado automático, estos filtros usan la propia agua filtrada para su limpieza. Se suministran completos, incluyendo cuadro de control y conexionado eléctrico de las diferentes partes

Ventajas:

Sin interrupción del flujo durante la limpieza.
Potencia consumida muy pequeña.
Pequeño consumo de agua para la limpieza.
Construcción robusta para obtener una larga vida y un muy bajo mantenimiento

Modelo HSC-J

7 tamaños diferentes, caudal nominal desde 20 a 750 m³/hr.
Grado de filtración desde 50 micras a varios mm. en la serie estándar y desde 5 to 40 micras en la serie "P" con elementos filtrantes tipo "HMP" o "HWP"
Materiales de construcción:
Acero Inoxidable clase 316
Aceros inoxidables Duplex y Super Duplex
Monel y otras aleaciones



Modelo HSC

8 tamaños diferentes, caudales nominales hasta 4,000 m³/hr.
Grado de filtración desde 50 micras a varios mm. en la serie estándar y desde 5 to 40 micras en la serie "P" con elementos filtrantes tipo "HMP" o "HWP"
Materiales de construcción:
Acero Carbono con epoxy, Acero Inoxidable clase 316
Aceros Duplex y Super Duplex, Monel y otras aleaciones.



Modelo HSC2

13 tamaños diferentes, caudales nominales hasta 22,000 m³/hr.
Grado de filtración desde 50 micras a varios mm. en la serie estándar y desde 5 a 40 micras en la serie "P" con elementos filtrantes tipo "HMP" o "HWP"
Materiales de construcción:
Acero Carbono con epoxy, Acero Inoxidable clase 316
Aceros Duplex y Super Duplex, Monel y otras aleaciones.



Figura. IX: Catálogo filtros HECISA

Válvulas de Aislamiento



PRODUCTOS	DISEÑO	PRESIÓN DISEÑO	TAMAÑOS	MATERIAL CONSTRUCTIVO	CONEXIONES	MODELO	MARCA
 VÁLVULAS DE FUELLE DIN / ANSI / API / FORJADAS	Paso Recto Paso en Y Paso Angular EN 558-1 ANSI B.16.10	PN16/160 ANSI150/900	DN15-DN600	1-2-3-4-5-6	Bridas, Soldar, Rosca	FABA PLUS FABA SUPRA	ARI* BACOY*
 VÁLVULAS DE GLOBO DIN / ANSI / API / FORJADAS	Paso Recto Paso en Y Paso Angular 3 vías EN 558-1 ANSI B.16.10	PN16/640 ANSI150/2500	DN15-DN600	1-2-3-4-5-6	Bridas, Soldar, Rosca	STOBU Series 800	ARI* COMEVAL* BACOY*
 VÁLVULAS DE COMPUERTA DIN / ANSI / API / FORJADAS	Husillo Interior Husillo Exterior	PN16/640 ANSI150/2500	DN15-DN1800	1-2-3-4-5-6	Bridas, Soldar, Rosca	Series 900 Series 33	COMEVAL* BACOY*
 VÁLVULAS DE COMPUERTA DIN ASIENTO ELÁSTICO	Husillo Interior Husillo Exterior	PN 10/16/25	DN 50-1000	2	Bridas	Series 504-507	COMEVAL*
 VÁLVULAS DE GILLOTINA DIN	Unidireccional Pasante Bidireccional	PN6/16	DN60-DN600	1-2-3-4-5	Wafer, Lug	Series VG	TCP*
 VÁLVULAS DE DIAFRAGMA DIN / ANSI EN 558-1 BS 5156	Paso Ondulado, Paso Recto	PN10/16 ANSI125/150	DN6-DN350	1-2-3-4-5-6	Rosca, Bridas	W, ST	DIAMAL*
 VÁLVULAS DE MARIPOSA DIN / ANSI	Concéntrica Doble excéntrica Triple excéntrica	PN10/40 ANSI150/300	DN25-DN1800	1-2-3-4-5-6	Wafer, Lug, Bridas, Ranuradas	Series VF	ARI* UNIVAL* SW HOGFORS*
 VÁLVULAS DE ESFERA DIN / ANSI / API / FORJADAS	Flotante Trunnion 2 o 3 cuerpos Segmentada	PN16/640 ANSI150/2500	DN6-DN900	1-2-3-4-5-6	Wafer, Bridas, Soldar	Series BV	BV* HOGFORS*
 VÁLVULAS DE MACHO DIN / ANSI	Macho recubierta PTFE, Lubricado, 2 y 3 vías	PN 10 / 160 ANSI 150 / 900	DN 50/350	1-2-3-4-5-6	Bridas, Soldar	Series VM	COMEVAL*

Figura X: Catálogo válvulas COMEVAL

Válvulas de Retención



PRODUCTOS	DISEÑO	PRESIÓN DISEÑO	TAMAÑOS	MATERIAL CONSTRUCTIVO	CONEXIONES	MODELO	MARCA
 VÁLVULAS RETENCIÓN CLAPETA OSCILANTE GLOBO DIN / ANSI / API / FORJADAS	Clapeta batiente Paso total	PN16/640 ANSI150/2500	DN15-DN900	3-4-5-6	Bridas, Soldar, Roscar	Series 300	COMEVAL*
 VÁLVULAS RETENCIÓN PISTÓN DIN / ANSI	Con muelle, paso ondulado	PN16/640 ANSI150/2500	DN 15 - DN 500	1-2-3-4-5	Bridas, Soldar	STOBU 003 SERIES 300	COMEVAL* ARI*
 VÁLVULAS RETENCIÓN CLAPETA OSCILANTE WAFER DIN / ANSI	Wafer Clapeta batiente Paso reducido	PN16/40 ANSI150/300	DN32-DN800	3-4-5-6	Wafer	Series CV // CVC	UNICHECK* CONVEY*
 VÁLVULAS RETENCIÓN DISCO DIN / ANSI	Wafer Disco cargado por muelle	PN6/160 ANSI150/900	DN15-DN350	3-4-5-6	Wafer	Series CVD CSD	CONVEY*
 VÁLVULAS RETENCIÓN DOBLE PLATO DIN / ANSI / API	Wafer Platos batientes Recargables por Muelle	PN16/420 ANSI150/2500	DN50-DN1200	1-2-3-4-5-6	Wafer, Lug, Soldar	Series SW / CH	SW UNICHECK*
 VÁLVULAS RETENCIÓN DE CLAPETA ENGOMADA	Clapeta revestida, sin asiento	PN 10 / 16	DN 40-500	2	Bridas	Series S107	UNICHECK*
 VÁLVULAS RETENCIÓN DE BOLA	Bola engomada, acción por Gravedad	PN16/40	DN25-DN300	1-2	Bridas, Roscar	3240 3141	UNICHECK*

Figura X: Catálogo válvulas COMEVAL

Válvulas de Control Autoaccionadas							
PRODUCTOS	DISÑO	PRESIÓN DISEÑO	TAMAOS	MATERIAL CONSTRUCTIVO	CONEXIONES	MODELO	MARCA
 VÁLVULAS REGULADORAS /REDUCTORAS de Presión de Acción Directa	Sensor externo NORMALMENTE ABIERTA	Entrada hasta 40 barg Salida hasta (16 barg)	1/2"-4" DN15-100	1-3-3	Bridas	FREDU	ARI*
 VÁLVULAS REDUCTORAS de Presión de Acción Directa	Ajustable	Entrada hasta PN 40 Salida hasta (12 barg)	1/2"-4" DN15-100	2-3	Bridas	VRCD	CSA*
 VÁLVULAS REGULADORAS /REDUCTORAS de Presión Pilotadas	Sensor interno Sensor externo De acción diferencial Sanitaria	Hasta 800 psig (55 barg)	1/2"-4" DN15-100	1-2-3-4-5-6	Bridas, Soldar, Rosca	Varios	CASHCO*
 VÁLVULAS REGULADORAS de Contrapresión	Sensor interno Sensor externo De acción diferencial Sanitaria	Hasta 800 psig (55 barg)	1/2"-4" DN15-100	1-3-4-5-6	Roscar, Bridas, Soldar	Varios	CASHCO*
 VÁLVULAS REGULADORAS de Temperatura	Termostáticas de 2 ó 3 vías	PN16-40	1/2"-2" DN15-500	1-2-3-4-5-6	Roscar, Bridas	Varios	CLOBIUS*
 VÁLVULAS PILOTADAS DE MEMBRANA	Tipo membrana con pilotos diversos	PN 16	1"- DN 300	2	Roscar, Bridas	MX	MAXOMATIC
 VÁLVULAS DE CONTROL de Presión, Nivel, caudal, sección	Pilotadas, de tipo piston, con regulador para líquidos	PN 25	DN 50- DN 300	2	Bridas	XLC - 400	CSA*
 VÁLVULAS DE FLOTADOR	acción directa	PN16-40	dn 50-250	2	Bridas, Roscar	ATHENA	CSA*
 VÁLVULAS ANTI ARETE	acción directa, con muelle	PN 16/2/40	dn 50-200	2	Bridas	VRCA	CSA*

Figura X: Catálogo válvulas COMEVAL

Válvulas y Equipamientos de Seguridad							
PRODUCTOS	DISÑO	PRESIÓN DISEÑO	TAMAOS	MATERIAL CONSTRUCTIVO	CONEXIONES	MODELO	MARCA
 VÁLVULAS DE SEGURIDAD DE APERTURA TOTAL DIN / ANSI / ASME NB	De Resorte Balanceadas	PN16/40	1/2"x1"-20x24" DN20/32-DN150/250	1-2-3-4-5-6	Bridas, Roscar, Soldar	900	ARI*
 VÁLVULAS DE ALIVIO TÉRMICO DIN / ANSI / ASME NB	De Resorte Balanceadas	PN16/40 ANSI150/2500	1/2"-1.1/2" DN15-DN100	1-2-3-4-5-6	Bridas, Soldar, Roscar	900	ARI*
 VÁLVULAS DE SEGURIDAD PILOTADAS ASME	Piloto Operadas	ANSI150/2500	1"x2"-12"x16"	3-5-6	Bridas	3800	VCI CASHCO*
 VÁLVULAS Y ESPRICALIDADES PARA TANQUES	Por peso, Pilotadas	Hasta 15 psig (presión) Hasta 12 psig (vacío)	2"-12"	3-4-5-6	Bridas	3100 4100 5100	VCI CASHCO*
 Válvulas de Presión y Vacío, descarga a Colector	Por peso Por resorte Pilotadas	Hasta 15 psig (presión) Hasta 12 psig (vacío)	2"-12"	3-4-5-6	Bridas	3200 4200 5200	VCI CASHCO*
 Válvulas de Vacío	Por peso Por resorte	Hasta 12 psig	2"-12"	3-4-5-6	Bridas	3300/3600 4300/4600	VCI CASHCO*
 Válvulas de Alivio de Presión a atmósfera	Por peso Por resorte Pilotadas	Hasta 15 psig	2"-12"	3-4-5-6	Bridas	3400 4400 5400	VCI CASHCO*
 Válvulas de Alivio de Presión a colector	Por peso Por resorte Pilotadas	Hasta 15 psig	2"-12"	3-4-5-6	Bridas	3500 4500 5500/1049	VCI CASHCO*
 Válvulas de Blanketing	Pilotadas	Hasta 14 psig	1/2", 1", 2"	3-4-5-6	Bridas	1078/1088	VCI CASHCO*
 Respiraderos de Emergencia	Guía inferior Guía superior Articulado	Hasta 15 psig	120" y 34"	3-4-5-6	Bridas	3700 3800 3900	VCI CASHCO*
 Cortallamas y protectores contra Detonaciones	AP2000	-	1/2"-24"	1-3-4-5-6	Bridas	7100 a 7700	VCI CASHCO*
 Silenciadores	En línea ó descarga Atmosférica	-	-	3-4	Bridas	-	GLAUNACI*

Figura X: Catálogo válvulas COMEVAL



SeIRO™ MPS-34 pH STABLE ELEMENTS

Nanofiltration Spiral Element Series - 8040

PRODUCT DESCRIPTION	Membrane Chemistry:	Proprietary composite nanofiltration membrane
	Membrane Type:	pH stable nanofiltration membrane
	Molecular Weight Cut-Off (MWCO)	200 Daltons
	Construction:	Spiral wound element with hard overwrap and polysulfone permeate tube
	Major Applications:	Acid and caustic recovery, product concentration
	Options:	Feed channel spacers: 31 mil (N) and 57 mil (Z)

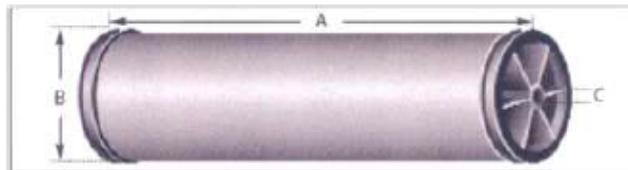
SPECIFICATIONS*	Model	Part Number	Rejection [%]		Permeate Flow gpd (m ³ /day)	Membrane Area ft ² (m ²)	Feed Spacer mil (mm)
			Glucose / Sucrose	NaCl			
	8040 MPS-34-NYHN	0770255	95 / 97	35	10,900 (41.2)	308 (28.6)	31 (0.8)
	8040 MPS-34-ZYHN	0770256	95 / 97	35	7,450 (28.1)	210 (19.5)	57 (1.4)

*Test Conditions: RO water at 440 psi (30 bar), 86°F (30°C). Feed solution for rejection tests is 3% glucose / 3% sucrose or 5% NaCl.

OPERATING AND DESIGN INFORMATION*	Typical Operating Pressure:	220-510 psi (15-35 bar)
	Maximum Temperature:	158°F (70°C)**
	Allowable pH - Continuous Operation:	0-14
	Allowable pH - Clean-In-Place (CIP):	0-14
	Maximum Pressure Drop Per Element:	10 psi (0.7 bar)
	Maximum Pressure Drop Per Vessel:	50 psi (3.5 bar)

* Consult Process Technology group for specific applications.
** Refer to the Operating Envelope of the SeIRO Elements when temperature is higher than 122°F (50°C).

NOMINAL DIMENSIONS



Model	A		B		C		Interconnector	O-Rings
	inches	(mm)	inches	(mm)	inches	(mm)		
8040 MPS-34-NYHN	40.0	(1016)	7.93	(202)	1.125	(28.6)	0030585	0035464
8040 MPS-34-ZYHN	40.0	(1016)	7.93	(202)	1.125	(28.6)	0030585	0035464

TYPICAL PROCESS STREAMS	5% HCl	15% Acetic acid	3% NaOH
	37% HCL	5% HNO ₃	20% NaOH
	15% H ₂ SO ₄	20% H ₃ PO ₄	10% KOH

Figura. XI: Ficha técnica membranas NF

SeIRO™ MPS-34 pH STABLE ELEMENTS

Membrane Characteristics and Performance:

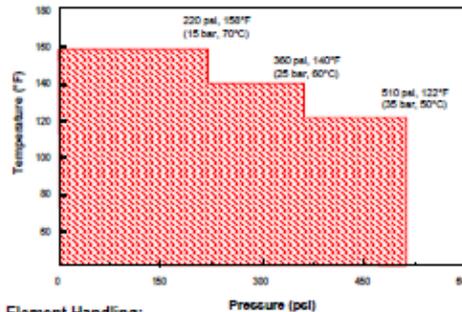
SeIRO™ composite nanofiltration membrane in a spiral wound configuration, with superior pH and temperature stability. Performance specifications shown on the front side of this document are nominal values.

Operating Limits:

- **Operating Pressure:** Maximum operating pressure for SeIRO MPS-34 is 510 psi (35 bar). Actual operating pressure is dependent upon system flux rate, as well as feed, recovery and temperature conditions.
- **Permeate Pressure:** Maximum allowed permeate pressure is 3 psi (0.2 bar).
- **Differential Pressure:** Maximum differential pressure limit is 10 psi (0.7 bar) per element. Maximum differential pressure for any length vessel is 50 psi (3.5 bar).
- **Temperature:** Maximum operating temperature is 158°F (70°C). For guidelines of recommended temperature and pressure please refer to the "Operating Envelope for SeIRO Elements" in this document.
- **pH:** Allowable range for continuous operation is 0-14.
- **Water Quality for Cleaning and Diafiltration:**
 - Turbidity: For best performance maximum feed turbidity is 1 NTU.
- **Chlorine and Chemical Exposure:**
 - It is not recommended to expose the MPS-34 membrane to chlorine or other oxidants, as it may affect the membrane performance.
 - Sodium metabisulfite (without catalysts such as cobalt) is the preferred chemical to eliminate free chlorine or other oxidizers in the feed.
 - It is not recommended to expose the MPS-34 membrane to organic solvents, such as alcohol, acetone, etc.
- **Feed Flow Rate:** Maximum and minimum flow rate for the MPS-34 spiral element are as follows:
 - Min. 25 gpm (95 liter/min)
 - Max. 75 gpm (285 liter/min)Actual feed flow rate is dependent upon system flux rate, feed characteristics, fouling tendency and system design.

Operating Envelope For SeIRO Elements:

It is important to follow the pressure - temperature relationship guidelines, in order to prevent irreversible compaction and performance deterioration. The following diagram should be used as a guideline to operating the MPS-34 spiral element:



Element Handling:

- **Recommended Cleaning Materials:** Depending on the nature of the feed, the following cleaning agents can be chosen:
 - 0.1-5% w/w sodium hydroxide at 122°F (50°C)
 - 0.2-1% w/w nitric or phosphoric acid at 122°F (50°C)
 - 0.1-0.5% w/w detergent mix KOCHKLEEN™ KLD-III at 122°F (50°C)
 - 0.5% anionic surfactant (such as SDS) at 122°F (50°C)Consult KMS regarding the use of other cleaning materials.
- **Lubricants:** For element installation, use only water or glycerin to lubricate seals. The use of petroleum or vegetable-based oils or solvents may damage the element and will void any warranty.
- **Storage Solution:** Should be made with:
 - Short Term (up to two weeks): 0.25 w/w sodium metabisulfite.
 - Long Term: 0.7% w/w benzalkonium chloride.
 - Glycerin should not be used for storage of SeIRO membranes.
 - The membrane element should not get dry. It should be stored in a sealed bag, at a temperature ranging from 36°F - 86°F (2°C - 30°C).

Service and Ongoing Technical Support:

Koch Membrane Systems (KMS) has an experienced staff of professionals available to assist end-users and OEM's for optimization of existing systems and support with the development of new applications. KMS also offers a complete line of KOCHKLEEN™ membrane pretreatment, cleaning, and maintenance chemicals.

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

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

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

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

The FLOW LINES DESIGN and KOCHKLEEN are trademarks of Koch Membrane Systems, Inc.

The STYLIZED K is a trademark of Koch Industries, Inc.

SeIRO is a trademark of Membrane Products Kiyot Weizmann, Ltd.

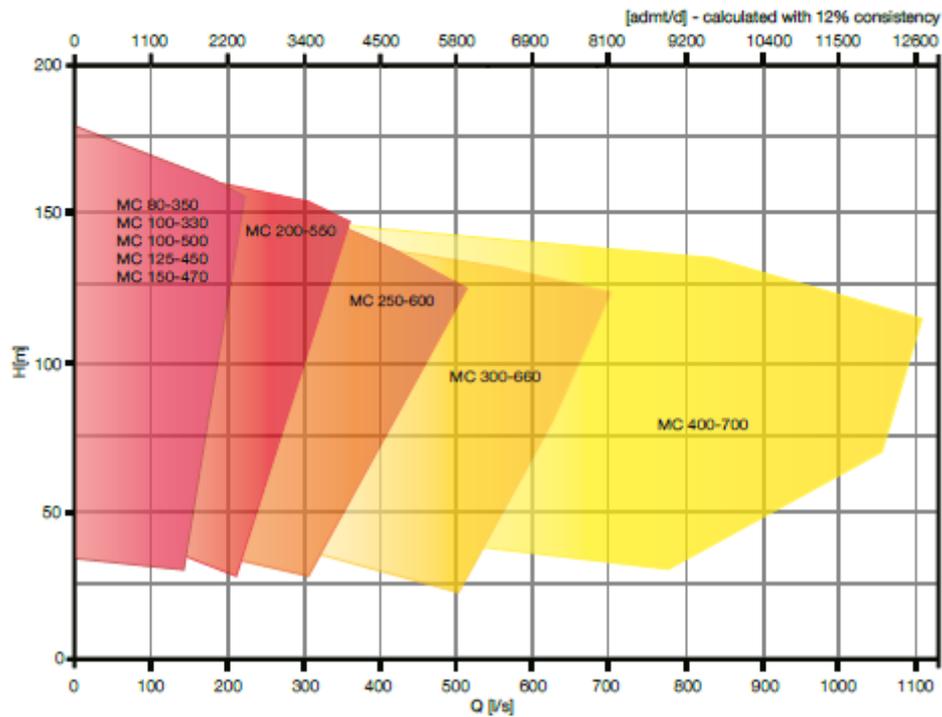
Koch Membrane Systems, Inc. is a Koch Chemical Technology Group, LLC company.

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

04/13 Rev 13-2

Figura XI. Ficha técnica membranas NF

Characteristic curves



Material combinations

MC series	EN-GJL 250	1.4460/1.4474	1.4462	1.4469	2.4602 Hastelloy*
Impeller/separator		■			■
Casing/casing cover		■			■
Bearing housing	■				
Front lining		■		■	
Key on motor side			■		
Fluidisator		■		■	
Suction flange		■		■	
Shaft			■		
Suction flange lining					■

European standard		US standard	
Number	Name	Grade	UNS
EN-JL1040	EN-GJL 250	Class 40B	/
1.4460/1.4474	X3CrNiMoN27-5-2	Grade 3A	J93370
1.4462	X2CrNiMoN22-5-3	Grade 3A	S32205
1.4469	GX2CrNiMoN26-7-4	Grade 5A	S32615
2.4602 Hastelloy*	NiCr21Mo14W	Grade 5A	N06022

Figura. XII: Catálogo bombas ANDRITZ HYDRO

Almacenamiento de Agua Potable

Tank Connection supera con vida útil extendida a los productos de sus competidores

Código de diseño	Tipo de construcción	Tanques LIQ Fusión 7000 FBE™		Otros tanques recubiertos		Tanques con esmalte Vitreo	
		PDT*	Vida útil**	PDT*	Vida útil**	PDT*	Vida útil**
AWWA D103	Pernado	40+	60-80+	30+	40+	30+	30-40
AWWA D100	Soldado	N/A	N/A	40+	60-80+	N/A	N/A
FM 4020	Pernado, soldado	40+	60-80+	30+	40+	30+	30-40
Criterios FM				10+	10-15+	N/A	N/A
NFPA - 22	Pernado, soldado	40+	60-80+	30+	40+	30+	30-40
AISC	Pernado, soldado, híbrido	40+	60-80+	20+	20-30+	25+	25-30+
EN 1991-4	Pernado – Recubrimiento vítreo	N/A	N/A	N/A	N/A	25+	25-30+
API 650	Soldado	N/A	N/A	40+	60-80+	N/A	N/A

*PDT – Espesor de diseño de la placa en años. Es función del diseño del tanque de acero
 ** Vida de servicio en años. En función del mantenimiento periódico y los recubrimientos

Capacidades típicas de tanques para líquidos

(Ver las gráficas de Capacidad de Tanque para las dimensiones "diámetro x altura")

DISEÑOS DE TANQUES RTP PERNADOS – Reservorios
 95 hasta 30.283 m³ (25.000 hasta 8'000.000 gal)

DISEÑOS DE TANQUES HÍBRIDOS *
 95 hasta 45.420 m³ (25.000 hasta 12'000.000 gal)

DISEÑOS DE TANQUES PERNADOS RTP – Elevados
 760 hasta 4.540 m³ (200.000 hasta 1'200.000 gal)

DISEÑOS DE TANQUES SOLDADOS EN SITIO
 380 hasta 94.620 m³ (100.000 hasta 25'000.000 gal)

DISEÑOS DE TANQUES PERNADOS RTP – Tanques verticales
 190 hasta 3.780 m³ (50.000 hasta 1'000.000 gal)

* Nota: la construcción híbrida combina la construcción RTP pernada con prácticas de soldadura en campo y componentes en concreto.

Figura. XIII: Catálogo tanques TANK CONNECTION

BOMBAS DE TURBINA VERTICAL Y CAMARA PARTIDA

TIPOS: turbina vertical, cámara partida y bomba de hélice.

IMPULSOR: semiabierto, canal cerrado.

PRESION MÁXIMA: 45 bar.

CAUDAL MÁXIMO: 15000-50000 m³/h.

ALTURA MÁXIMA: 250-300 m.

TEMPERATURA MÁXIMA: 130°-180°C

APLICACIONES: suministro de agua, riego y drenaje, agricultura, construcción naval, refrigeración, alimentación de calderas, protección contra inundaciones, refrigeración de plantas eléctricas...



Figura. XIV: Catálogo bombas SANTOS MAQUINARIA ELECTRICA S.L

Características del Aireador Sumergible Hurricane

Fluence fabrica el impulsor y estator completos a partir de una sola pieza de acero inoxidable 17-4, el cual es templado para alcanzar una dureza de 45 Rockwell HRC, logrando una mayor resistencia a la abrasión. Posicionado dentro del estator, el impulsor está equilibrado para obtener una mínima vibración y máxima acción de corte para triturar sólidos. El estator se puede cambiar sin tener que reemplazar el ensamblaje del aireador en su totalidad, lo cual simplifica su mantenimiento.

Con 14 tamaños de modelos que varían desde los 5 hasta los 100 hp (3,75 a 75 kW), el aireador/mezclador Hurricane se adapta a múltiples aplicaciones. También puede elegir opciones de armado fijo o removible. La base del aireador se caracteriza por tener soportes grandes, extendidos para tener estabilidad y amplio radio de apoyo. Estos soportes ajustables facilitan la nivelación del equipo en la mayoría de los pisos de los estanques, y sus soportes reductores de vibración evitan que el equipo se desplace sin control.

El aireador Hurricane también se caracteriza por:

- Construido 100% en acero inoxidable, y con materiales resistente a los rayos ultravioleta y a la corrosión
- Tubería de entrada de aire de acero inoxidable
- Un solo elemento móvil
- Tubería múltiple adaptada a estanques rectangulares o circulares, proporcionan una distribución de aire uniforme para la cobertura completa de todo el piso
- Fácil selección de su función como mezclador o como aireador/mezclador, cerrando la válvula del tubo de entrada de aire o cambiando la profundidad del agua en el estanque
- Tubería de difusor de aire a medida de cada necesidad para una mezcla de aireación más eficiente
- Tubería de difusor adaptada a depósitos de agua rectangulares o circulares, proporcionando una distribución de aire uniforme para la cobertura completa de la superficie

Aplicaciones Extensivas

El aireador/mezclador Hurricane es ideal para las siguientes aplicaciones:

- Digestores aeróbicos
- Tanques de almacenamiento de lodos
- Lodos activados
- Tanques de equalización de flujo
- Reactores biológicos secuenciales (SBR)
- Tratamiento de efluentes municipales
- Elaboración de vino y bebidas
- Productos lácteos
- Plantas de procesamiento de alimentos y carne

Figura. XV: Características aireador mezclador sumergible HURRICANE

COMPUESTO	PICTOGRAMAS	FRASES H	FRASES P
Ácido Clorhídrico 37% PANREAC		H290 Puede ser corrosivo para los metales, H335 Puede irritar las vías respiratorias, H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves,	P234 Conservar únicamente en el recipiente original, P390 Absorber el vertido para que no dañe otros materiales, P406 Almacenar en un recipiente resistente a la corrosión / con revestimiento interior resistente, P264 Lavarse...concienzudamente tras la manipulación, P280 Llevar guantes, prendas, gafas o máscara de protección, P302+P352 EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con agua y jabón abundantes,
Hidróxido sódico en lentes PANREAC		H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves, H290 Puede ser corrosivo para los metales,	P260 No respirar el polvo/el humo/el gas/la niebla/los vapores/el aerosol, P280 Llevar guantes, prendas, gafas o máscara de protección, P303+P361+P353 EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitarse inmediatamente las prendas contaminadas, Aclararse la piel con agua o ducharse, P305+P351+P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos, Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil, Seguir aclarando, P310 Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACION TOXICOLOGICA o a un médico,

Figura. XVI: Identificación de riesgos de reactivos

COMPUESTO	PICTOGRAMAS	FRASES H	FRASES P
			P501 Eliminar el contenido/el recipiente según Directiva 94/62/CE o 2008/98/CE,
Ibuprofeno SIGMA-ALDRICH		H302 Nocivo en caso de ingestión,	No posee
Acetaminofén SIGMA-ALDRICH		H302 Nocivo en caso de ingestión, H315 Provoca irritación cutánea, H319 Provoca irritación ocular grave, H335 Puede irritar las vías respiratorias,	P261 Evitar respirar el polvo, P305 + P351 + P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos, Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil, Seguir aclarando.
Naproxeno SIGMA-ALDRICH		H301 Tóxico en caso de ingestión,	P301 + P310 EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico.
Diclofenaco SIGMA-ALDRICH		H301 Tóxico en caso de ingestión,	P301 + P310 EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico.
Triclosan SIGMA-ALDRICH	 	H315 Provoca irritación cutánea, H319 Provoca irritación ocular grave, H410 Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos,	P273 Evitar su liberación al medio ambiente, P305 + P351 + P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos, Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil, Seguir aclarando. P501 Eliminar el contenido/ el recipiente en una planta de eliminación de residuos autorizada,
Trimetoprima SIGMA-ALDRICH	No posee	No posee	No posee
Cafeína SIGMA-ALDRICH		H302 Nocivo en caso de ingestión,	No posee
Diazepam SIGMA-ALDRICH		H301 + H311 Tóxico en caso de ingestión o en contacto con la piel, P280 Llevar guantes de protección/ prendas de protección,	P301 + P310 EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico, P312 Llamar a un CENTRO DE INFORMACION TOXICOLOGICA o a un médico en caso de malestar,
Eritromicina SIGMA-ALDRICH	No posee	No posee	No posee
Sulfametoxazol SIGMA-ALDRICH		H315 Provoca irritación cutánea, H317 Puede provocar una reacción alérgica en la piel, H319 Provoca irritación ocular grave, H335 Puede irritar las vías respiratorias,	P280 Llevar gafas/ máscara de protección, P280 Llevar guantes de protección, P305 + P351 + P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos, Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil, Seguir aclarando, P333 + P313 En caso de irritación o erupción cutánea: Consultar a un médico, P337 + P313 Si persiste la irritación ocular: Consultar a un médico,

Figura. XVII: Identificación de riesgos de contaminantes emergentes